

Avis de Soutenance

Monsieur François DÉCOSSIN

Sciences de l'Univers

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
*Modélisation thermo-cinétique expérimentale et numérique de l'altération hydrothermale des roches volcaniques -
Exemple de La Soufrière de Guadeloupe (Caraïbes orientales, France)*

Travaux dirigés par Madame Caroline MARTEL
Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU
Unité de recherche : ISTO - Institut des Sciences de la Terre d'Orléans

Soutenance prévue le vendredi 26 juin 2026 à 14h30

Lieu : 1A rue de la Ferrollerie, 45100 Orléans

Salle : Amphithéâtre OSUC (E018)

Composition du jury proposé

Mme Caroline MARTEL	Directeur de recherche	Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO)	Directrice de thèse
M. Ivan VLASTELIC	Directeur de recherche	Laboratoire Magmas et Volcans (LMV)	Rapporteur
M. Laurent ARBARET	Professeur	Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO)	Co-directeur de thèse
M. Giuseppe SALDI	Maître de conférences	Université de Pérouse	Rapporteur
Mme Alexandra KUSHNIR	Chaire de professeur junior	Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES)	Examinatrice
M. Arnault LASSIN	Ingénieur-Chercheur	Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)	Examineur
M. Fabrice GAILLARD	Directeur de recherche	Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO)	Examineur
M. Michael J. HEAP	Professeur	Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES)	Examineur

Mots-clés : Altération hydrothermale, Instabilité, Cinétiques, Perméabilité, Modélisation géochimique, Kaolinite

Résumé :

L'activité volcanique associée à la remontée de fluides magmatiques à faible profondeur, en présence d'un système hydrothermal très actif, favorise l'altération hydrothermale des roches et peut former des couches argileuses de faible résistance au sein de l'édifice volcanique. Ce processus peut favoriser l'instabilité des flancs et aboutir à un effondrement partiel de ceux-ci. Il s'accompagne d'avalanches de débris de dôme et d'éventuelles coulées pyroclastiques denses résultant d'explosions dirigées latéralement, ce qui engendre des risques importants pour la population environnante. Dans le cadre du projet ANR MYGALE, nous nous intéressons aux échelles de temps d'altération hydrothermale des roches volcaniques afin de mieux évaluer le risque d'instabilité des flancs du volcan de La Soufrière de Guadeloupe (Caraïbes orientales, France). Nous avons caractérisé la minéralogie et la porosité 3D d'une série d'andésites non altérées à fortement altérées, provenant du dôme volcanique de La Soufrière. L'étude chimique et texturale montre la dissolution progressive du plagioclase en kaolinite, Na-alunite et silice. En comparant les paragenèses d'altération des produits naturels avec des simulations géochimiques à l'équilibre (GEM-Selektor), nous suggérons que l'altération hydrothermale prévalant à la base du dôme (à une pression proche de 100 bars et des températures entre 150 à 250 °C) est principalement dominée par la composition du fluide réactif (H₂O, HCl, et H₂SO₄) et, dans une moindre mesure, par le rapport eau/roche (W/R). Nous émettons l'hypothèse que des solutions acides contenant 0,1 mmol/L de HCl et 0,15 à 0,5 mmol/L de H₂SO₄, correspondant à un pH de 3,0 à 3,5, sont indispensables pour la co-précipitation de kaolinite, Na-alunite et silice. Nous étudions également l'altération du dôme volcanique

dans ces conditions hydrothermales acides, à l'aide d'expériences en batch et de percolation réactive, combinées à une modélisation cinétique (PHREEQC). Les expériences en batch mettent en évidence une forte réactivité des phénocristaux de plagioclase, conduisant à la formation de phases minérales secondaires, tandis que les pyroxènes et les oxydes de Fe-Ti restent largement inaltérés. Les réactions d'altération fluide-roche montrent des hétérogénéités minéralogiques spatiales, avec une dissolution intense du verre rhyolitique près de l'arrivée du fluide et une préservation des phases primaires vers la sortie, ainsi qu'une forte diminution de 4 ordres de grandeurs de la perméabilité. Les simulations cinétiques de la dissolution du plagioclase par différentes solutions aqueuses mettent en évidence l'influence de la température, du rapport W/R, de la taille des grains et du pH sur la libération de Na, Ca, Al et Si dans la phase fluide. La séquence d'altération simulée en fonction des conditions de réactivation de La Soufrière depuis 2018 (c'est-à-dire une augmentation de la température, une acidification des fluides et une réduction des précipitations) prédit la formation préférentielle de pyrophyllite et de silice, conférant une certaine cohésion interne des roches du dôme plutôt que la formation de plans de glissements argileux. En revanche, une augmentation du rapport W/R, telle que prédit par le réchauffement climatique, entraînerait la formation préférentielle de smectites qui contribueraient à accroître l'instabilité du dôme. L'approche combinée expérimentale et de modélisation fournit une vision détaillée des facteurs contrôlant la séquence d'altération hydrothermale dans les systèmes volcaniques.

Summary:

Volcano unrest associated to ascent of magmatic fluids at shallow depths in the presence of a very active hydrothermal system promotes extensive hydrothermal rock alteration and may form low-strength clay layers within the edifice. This process can favour flank instability and culminate in partial flank collapse with possible emplacement of debris-avalanches and pyroclastic-density-currents from laterally-directed explosions, engendering significant risks to the surrounding population. In the MYGALE ANR project, we focus on hydrothermal alteration timescales of andesitic rocks to better assess the hazard of volcano flank instability at La Soufrière de Guadeloupe volcano (Eastern Caribbean, France). We characterised the mineral chemistry and the 3D porosity of a suite of unaltered to highly altered andesite samples from the volcanic dome of La Soufrière. Chemical and textural investigation shows the progressive deterioration of plagioclase into kaolinite and Na-alunite, and silica precipitation. By comparing the alteration parageneses from the natural products with geochemical computations (GEM-Selektor), we suggest that hydrothermal alteration prevailing at the base of the dome (at pressure close to 100 bars and temperatures from 150 to 250 °C) is primarily dominated by the reactive fluid composition (H₂O, HCl, and H₂SO₄) and to a lesser extent by water/rock (W/R) ratio (from 0.5 to 10). We propose that acidic aqueous solutions containing 0.1 mmol/L HCl and 0.15–0.5 mmol/L H₂SO₄, corresponding to pH of 3.0–3.5, are mandatory to co-precipitate kaolinite, Na-alunite, and silica phases. We also investigate the alteration of the volcanic dome of La Soufrière under these acidic hydrothermal conditions, using both batch and reactive percolation experiments, combined with kinetic modelling (PHREEQC). Batch experiments highlight the high reactivity of the plagioclase phenocrysts, leading to the formation of secondary mineral phases, while the pyroxenes and Fe-Ti oxides remain largely unaltered. The fluid flow-through alteration experiments show mineralogical heterogeneities develop along the reacted cores, with intense dissolution of the rhyolitic glass and precipitation of clay minerals near the fluid inlet while preservation of primary phases toward the outlet, as well as a 4-orders of magnitude decrease of permeability. Kinetic simulations of plagioclase dissolution in various aqueous solutions highlight the influence of temperature, W/R ratio, grain-size, and pH on the release of Na, Ca, Al, and Si in the fluid phase. The alteration sequence simulated following the conditions of the reactivation of La Soufrière since 2018 (i.e., temperature increase, fluid acidification, and rainfall reduction) predicts the preferential formation of pyrophyllite and silica precipitation that act more as internal cohesion of the dome rocks rather than formation of slippery argillic discontinuities. In contrast, an increase in the W/R ratio, as predicted by global warming, would result in preferential formation of smectites that would increase dome instability. The combined experimental and modelling approach provides a detailed view of the controls on hydrothermal alteration sequence in volcanic systems.