« Volcans de laboratoire » : dans les coulisses d'une éruption !

Grâce à des expériences menées en laboratoire, une équipe du Laboratoire Magmas et Volcans a démontré que le cisaillement visqueux peut provoquer la formation de bulles dans les magmas. Cette découverte met en lumière un mécanisme clé de la dynamique éruptive, susceptible d'influencer l'intensité et le style des éruptions, tout en contribuant à une meilleure évaluation des aléas volcaniques.



L'équipe devant le rhéomètre. De gauche à droite : Olivier Roche (LMV), Jean-Michel Andanson (ICCF) et Alain Dequidt (ICCF)

Les recherches d'un « volcanologue de laboratoire »

Chercheur à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), rattaché au Laboratoire Magmas et Volcans (LMV) de Clermont-Ferrand, Olivier Roche consacre ses travaux à l'étude du volcanisme explosif. Spécialiste de l'expérimentation en laboratoire, il se définit lui-même comme un « volcanologue de laboratoire ».

Au cours de sa carrière, il s'est intéressé aux écoulements multiphasiques associant gaz et particules, notamment les écoulements pyroclastiques, dont certains sont connus sous le nom de nuées ardentes. Ses recherches l'ont également conduit à étudier des phénomènes associés, tels que les tsunamis générés par l'entrée de ces écoulements dans l'océan. Plus récemment, il s'est intéressé aux processus à l'œuvre au sein des chambres magmatiques et qui précèdent le déclenchement des éruptions, avec un intérêt particulier pour les mécanismes de nucléation des bulles dans les magmas.

Dans le cadre de cette recherche, Olivier Roche a collaboré avec Jean-Michel Andanson, Alain Dequidt et David Pinel de l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF), Christian Huber de la Brown University (USA), et Olivier Bachmann de l'ETH Zurich (Suisse).

Publiés dans la revue *Science*, ces travaux ouvrent de nouvelles perspectives pour mieux comprendre l'origine des éruptions, améliorer la prédiction de leur style, et améliorer l'anticipation des aléas associés.

Principe de la volcanologie expérimentale

L'étude des produits éruptifs observés sur le terrain, comme les roches volcaniques contenant des bulles issues de la vésiculation du magma, permet aux volcanologues de reconstituer l'histoire d'une éruption. En revanche, elle ne donne accès qu'aux traces laissées par le phénomène, sans permettre d'en observer directement les mécanismes.

Or, les processus volcaniques sont souvent difficiles à étudier *in situ* en raison de leur dangerosité, de leur imprévisibilité et du fait qu'une grande partie d'entre eux se déroule à plusieurs kilomètres sous la surface. Dans ce contexte, les expériences de laboratoire constituent un outil essentiel pour mieux comprendre les mécanismes éruptifs.

La volcanologie expérimentale repose principalement sur deux approches.

La première consiste à reproduire les conditions naturelles de formation des magmas, à l'aide d'enceintes à haute pression et haute température. Des échantillons de roche y sont fondus, saturés en gaz puis décomprimés afin d'étudier les mécanismes de nucléation des bulles. Ces expériences reproduisent des conditions proches de celles rencontrées dans les profondeurs de la Terre. Néanmoins, il est techniquement difficile de combiner simultanément les phénomènes de décompression et de cisaillement qui caractérisent les conduits volcaniques. De plus, les observations sont généralement réalisées après l'expérience, sans que les phénomènes transitoires puissent être détectés.

Pour son étude, Olivier Roche et son équipe ont privilégié une seconde approche, dite analogique. Celle-ci repose sur l'utilisation d'un matériau dont le comportement reproduit certaines propriétés du magma naturel. Les chercheurs ont ainsi remplacé le magma silicaté saturé en eau par du polyéthylène oxyde (PEO) saturé en dioxyde de carbone (CO_2). Ce système présente l'avantage de pouvoir être étudié à pression atmosphérique et à une température modérée d'environ 80°C, tout en permettant d'obtenir des concentrations suffisantes en gaz dissous de l'ordre de 0.1 % en poids. A l'aide d'un dispositif adapté, il offre surtout la possibilité d'observer directement les effets du cisaillement au moment même où les bulles se forment.

Une nouvelle pièce du puzzle volcanique

Pour tester l'hypothèse selon laquelle le cisaillement visqueux constitue une source d'énergie mécanique supplémentaire capable de déclencher la nucléation des bulles, un échantillon de PEO est fondu puis déposé sous forme d'une fine couche sur un support en acier.

L'ensemble est placé dans une enceinte pressurisée où du CO_2 est injecté jusqu'à saturation complète en gaz du PEO liquide. La pression est ensuite relâchée très lentement pour éviter de déclencher spontanément la nucléation des bulles. Le PEO se retrouve alors dans un état de sursaturation en CO_2 à pression atmosphérique, avant d'être transféré dans un rhéomètre maintenu à 80°C, où il sera soumis à une contrainte de cisaillement contrôlée.

Cette expérience a mis en évidence l'existence d'un seuil critique de contrainte de cisaillement au-delà duquel la nucléation des bulles se produit. Elle montre également que cette valeur critique dépend à la fois de la pression de sursaturation initiale en CO_2.

Cette découverte majeure pourrait avoir des conséquences importantes pour l'étude des éruptions volcaniques. Aujourd'hui, le nombre de bulles par unité de volume observée dans les roches volcaniques est couramment utilisée pour estimer la vitesse de décompression du magma lors de sa remontée vers la surface. Or, si le cisaillement intervient lui aussi dans le déclenchement de la nucléation, les estimations actuelles pourraient être surestimées. Les méthodes d'interprétation des textures volcaniques pourraient ainsi nécessiter une réévaluation.

Ces résultats questionnent également les modèles numériques utilisés pour simuler les éruptions. La plupart reposent principalement sur les effets de la décompression pour prédire la formation des bulles, la fragmentation du magma et, *in fine*, le caractère effusif ou explosif d'une éruption.

Pourtant, l'effet de cisaillement est particulièrement intense le long des parois d'un conduit volcanique. Intégrer ce paramètre dans les modèles pourrait donc permettre d'améliorer la prédiction du régime éruptif des volcans.

Eruption effusive vs explosive, qu'est-ce que ça change ?

Les modèles de conduit volcanique ont pour objectif de prédire la manière dont une éruption va se dérouler. Dans le cas d'une éruption effusive, le magma s'écoule lentement à la surface sous forme de coulées de lave.

Ce comportement est généralement associé aux magmas basaltiques, pauvres en silice et donc peu visqueux, pauvres en volatils (généralement de l'eau sous forme vapeur), et dans lesquels les bulles de gaz s'échappent facilement, limitant l'accumulation de pression.

À l'inverse, les éruptions explosives résultent de magmas plus visqueux, car plus riches en silice, et souvent en eau. Les gaz y restent piégés plus longtemps, ce qui favorise une augmentation de la pression interne pouvant conduire à une fragmentation brutale du magma et à une éjection violente des matériaux.

Pendant longtemps, cette relation entre composition du magma et explosivité a été considérée comme simple : plus un magma était riche en silice et en eau, plus son potentiel explosif était élevé.

Les travaux de l'équipe d'Olivier Roche appuient des découvertes récentes et suggèrent toutefois une réalité plus nuancée. Au-delà d'un certain seuil de concentration en gaz volatils, le cisaillement pourrait favoriser la formation massive de bulles et leur coalescence, créant des chemins d'évacuation préférentiels pour le gaz.

Dans ce cas, l'éruption ne serait pas explosive, contrairement à ce qui pourrait être prédit à partir de la composition du magma.

Vers un modèle plus réaliste du volcan

Les prochaines recherches viseront à rapprocher encore davantage les expériences de laboratoire des conditions réelles rencontrées dans les systèmes volcaniques.

Une première étape consistera à combiner, au sein d'un même dispositif expérimental, les effets du cisaillement et de la décompression.

L'objectif est de reproduire plus fidèlement les conditions qui règnent dans les conduits volcaniques lors de la remontée du magma et de mieux comprendre l'interaction entre ces deux mécanismes.

L'équipe souhaite également intégrer des particules solides à son modèle expérimental car dans les magmas naturels, les cristaux sont connus pour faciliter la formation de bulles.

Enfin, si l'approche analogique retenue par les scientifiques a permis d'obtenir des premiers résultats prometteurs, elle repose sur des matériaux dont certaines propriétés diffèrent de celles des magmas naturels
L'un des défis à venir sera donc de développer de nouveaux analogues capables de reproduire plus fidèlement les effets complexes dus à la nature du liquide magmatique, des gaz dissous et des cristaux.

Pour en savoir plus :

Laboratoire Magmas et Volcans
Olivier Roche
olivier.roche@uca.fr
https://lmv.uca.fr/

J S. Lopes

© La Gazette du Laboratoire