

les roches d'origine magmatique l'emportent largement sur les roches sédimentaires.

Pouvons-nous en conclure que nous marchons sur un océan de magma sur lequel flotterait la croûte terrestre? Non. L'idée que la matière constituant le manteau terrestre (les 2885 kilomètres séparant la croûte du noyau de la Terre) est en fusion est fautive. Nous ne marchons pas sur un océan de magma, et il n'y a pas de « feu central », car les roches qui constituent le manteau sont à l'état solide. Étant donné l'augmentation de la pression et de la température avec la profondeur, la fusion, même partielle, des roches du manteau – des péridotites, formées de silicates de fer (10%) et de magnésium (90%) – est impossible.

Pour autant, une énorme masse d'eau, estimée à l'équivalent de deux à trois hydros-

■ L'AUTEUR



Michel DETAY est géologue et volcanologue de terrain. Il a observé et photographié un grand nombre de volcans.

LES ÎLES ÉOLIENNES, ici Panarea et Stromboli, sont des volcans sous-marins qui ont fini par émerger. L'eau conditionne leur volcanisme, puisque ces îles sont nées de la subduction sous-marine de la plaque africaine sous la plaque européenne.

Voyons comment. Le magma primaire, celui qui apparaît loin en profondeur sous la croûte, se forme par fusion partielle à partir des péridotites. *A priori*, se dit-on, ce matériau fond quand la température s'élève, par exemple quand la convection fait remonter des roches profondes et très chaudes, donc moins denses. Toutefois, la hausse de la température ne joue qu'un rôle mineur par rapport à celui de la baisse de pression qui accompagne la remontée.

Franchir le solidus

En effet, pour qu'une roche fonde, il faut soit augmenter sa température, soit abaisser la pression qu'elle subit. Cela revient à dire que sur la carte de tous ses états physiques possibles – son « diagramme de phase » – il

phères, soit deux ou trois fois 10^{21} kilogrammes – est dissoute dans le manteau. Cette eau s'y trouve soit sous sa forme moléculaire habituelle (H_2O), soit sous la forme d'ions hydroxydes (OH^-) attachés aux silicates des roches. Ainsi, l'eau peut faire partie de la formule chimique de certains minéraux, où l'ion OH^- est intégré dans la structure cristalline. C'est le cas dans les amphiboles, la lawsonite, la chlorite, etc. Ces deux derniers minéraux contiennent ainsi 14% d'eau.

On trouve aussi de l'eau dans des minéraux anhydres tels que l'olivine ou le quartz, car il arrive que leur structure intègre des défauts ponctuels contenant de l'eau. Quelle que soit son origine, l'eau des profondeurs influe de façon cruciale sur les propriétés physico-chimiques du manteau supérieur.

L'ESSENTIEL

■ Un volcan peut changer de style éruptif au cours d'une même période d'activité, voire d'une même éruption.

■ Le phénomène est lié aux composés volatils contenus dans le magma, dont l'eau.

■ Jusqu'à 90% du volume des gaz volcaniques est de la vapeur d'eau.

■ L'eau et les autres composés volatils finissent par occuper plus de 90% du volume éruptif, ce qui rend l'éruption explosive pendant sa première phase au moins.

Sauf mention contraire, les photographies sont de Michel Detay

faut lui faire franchir le *solidus*, la courbe tracée par ses points de fusion en fonction de la pression et de la température (voir la figure page 59). Le *solidus* est donc la courbe qui sépare la région du diagramme où la roche est à l'état purement solide de celle où elle est partiellement fondue.

On constate que, à pression donnée, la température de fusion d'un type de roche est plus basse quand cette roche est hydratée ou contient de l'eau. En d'autres termes, au cours de la baisse de pression accompagnant leur remontée, les roches hydratées franchiront plus facilement le *solidus* que les roches sèches (voir la figure page 59). Ainsi, l'addition à une roche de seulement 1% d'eau abaisse son point de fusion d'environ 100 °C. La température d'une roche variant peu au cours de sa



CES CINQ VOLCANS GÉANTS du Kamtchaka font partie des quelque 1 500 volcans terrestres qui ont été actifs au cours des 10 000 dernières années. Phénomène rare, ils sont entrés simultanément en éruption en janvier 2013.

remontée, il y aura donc plus facilement fusion partielle en présence d'eau ou lorsque la pression diminue. Ces deux mécanismes de déclenchement de la fusion partielle sont de loin les plus fréquents.

Lorsque la roche commence à fondre, un liquide interstitiel apparaît. De 20 à 30 % seulement de la masse de roche-mère est susceptible de fondre. Plus chaud et moins dense que le solide environnant, le liquide formé tend à remonter vers la surface (voir l'encadré page 58). Son ascension dure généralement des milliers, voire des centaines de milliers d'années, mais il arrive dans certains cas que sa durée n'excède pas quelques mois. Ce sont en fait des volumes de magma – ce que l'on nomme des diapirs – qui remontent. Les lampes à lave, ces lampes décoratives à l'intérieur desquelles des « bulles » de cire fondue se distinguent d'une masse avant de remonter très lentement donnent une idée de l'ascension d'un diapir.

Un magma riche en eau

Due à la différence entre la densité du manteau et celle de la croûte, la poussée d'Archimède subie par le diapir tend à diminuer au fil de la remontée. Un équilibre (temporaire) entre cette poussée et les forces de pression finit par s'établir, et un réservoir de magma se forme, typiquement à plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres de profondeur (voir l'encadré page 58). C'est là, dans la chambre magmatique, que les substances volatiles vont commencer à jouer un rôle.

Les gaz volcaniques émis par les volcans sont, par ordre d'importance, composés d'eau (50 à 90 %), de dioxyde de carbone (CO_2 , 5 à 25 %) et de dioxyde de soufre (SO_2 , 3 à 25 %). Viennent ensuite d'autres composés volatils en bien plus faibles proportions, tel le monoxyde de carbone (CO), l'acide chlorhydrique (HCl), le dihydrogène (H_2), l'hydrogène sulfuré (H_2S), l'acide fluorhydrique (HF), le soufre (S_2 est la forme dominante à haute température) et l'hélium (He)... (voir l'exemple ci-contre).

Ces gaz volcaniques sont libérés en des proportions variables selon la température et la composition du magma, non seulement pendant l'éruption à proprement parler, mais aussi à la faveur des phénomènes pré- et postéruptifs, tels les fumerolles ou encore les solfatares. Leur apparition et augmentation pendant la

© NASA Robert Simmon