

possible de repérer les signes précurseurs de la prochaine grande éruption. Des travaux en cours suggèrent cependant qu'à cause des rejets dans l'atmosphère, les mois qui suivraient une superéruption seraient plus critiques qu'on ne l'estimait auparavant.

La majeure partie des volcanologues s'accordent sur le fait que nous avons très peu de chances de vivre une explosion supervolcanique aujourd'hui. Ces éruptions catastrophiques ne surviennent que tous les 100 000 à 500 000 ans environ. Néanmoins, l'impact planétaire de ces événements a alerté les scientifiques depuis les années 1950.

L'une des premières découvertes des géologues, à la fin du XIX^e siècle, fut celle de gigantesques vallées circulaires – de 30 à 60 kilomètres de diamètre et de plusieurs kilomètres de profondeur – ressemblant en tout point aux caldeiras en forme de bol qui surmontent de nombreux volcans. Les caldeiras se forment lorsque la chambre magmatique (des roches en fusion) située sous une cheminée volcanique se vide et provoque l'effondrement du sol en surface. Ayant remarqué que ces vallées en forme de caldeiras se trouvent près de certains des plus grands dépôts de roches volcaniques formés d'un seul jet, les chercheurs en ont conclu qu'il s'agissait des vestiges de volcans plusieurs milliers de fois plus grands qu'un volcan tel que le célèbre mont Saint Helens, dans l'État de Washington. Les dimensions de ces caldeiras et le volume estimé de matériau rejeté indiquent également que les chambres magmatiques situées en profondeur devaient être monstrueuses.

Les phénomènes engendrant la chaleur nécessaire pour créer des chambres magmatiques aussi massives étant rares, les supervolcans sont eux-mêmes des formations géologiques peu répandues. Durant les deux derniers millions d'années, seules quatre régions ont connu des explosions qui ont libéré en une seule fois plus de 750 kilomètres cubes de débris : le parc national de Yellowstone, dans le Wyoming, la Long Valley, en Californie, le lac Toba, à Sumatra, et Taupo, en Nouvelle-Zélande. La recherche d'éruptions de tailles comparables se poursuit dans d'autres régions où la croûte continentale est suffisamment épaisse pour accueillir des chambres magmatiques géantes, notamment dans l'Ouest de l'Amérique du Sud et dans l'extrême Est de la Russie.

Au milieu des années 1970, des mécanismes susceptibles de créer de vastes chambres magmatiques ont été découverts. À l'aplomb de Yellowstone, la plaque tectonique nord-américaine se déplace au-dessus d'un panache de roche visqueuse remontant à travers le manteau (la couche de 2 900 kilomètres d'épaisseur située sous la mince croûte terrestre). Fonctionnant comme un colossal bec Bunsen, ce « point chaud » a fait fondre une part suffisamment importante de la croûte pour alimenter des éruptions catastrophiques durant les 16 derniers millions d'années. À Toba, l'origine de la chambre est différente. Cette région se trouve au-dessus d'une zone de subduction, où une plaque tectonique glisse sous une autre. Cette convergence produit un échauffement, principalement par le biais de la fusion partielle du manteau surplombant la plaque descendante.

Quelle que soit la source de chaleur, la pression régnant dans une chambre magmatique augmente à mesure que le magma s'accumule sous la masse de roche qui la surplombe. Une superéruption se produit lorsque le magma atteint

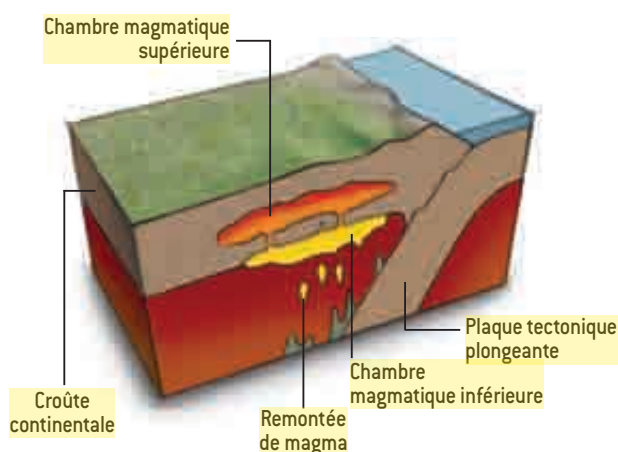
une pression telle qu'il soulève la roche qui l'emprisonne et crée des fractures verticales qui courent jusqu'à la surface. Le magma remonte le long de ces failles pour former un anneau de cheminées éruptives. Lorsque ces cheminées fusionnent les unes avec les autres, la portion de sol délimitée par cet anneau n'est plus portée, elle s'effondre alors d'un bloc ou comme un piston, soit par morceaux, dans ce qui reste du magma sous-jacent. Cet effondrement expulse violemment vers l'extérieur, par les bords de l'anneau, un surplus de laves et de gaz (voir l'encadré ci-dessous).

La signature des zircons

Des zones d'ombres entachaient néanmoins ce scénario. En particulier, les chercheurs se sont vite rendu compte que toutes les chambres magmatiques de grandes dimensions ne provoquent pas nécessairement une éruption catastrophique. Yellowstone, par exemple, abrite les caldeiras de trois des plus jeunes supervolcans du monde – formés il y a 2,1 millions d'années, 1,3 million d'années et 640 000 ans, l'un pratiquement au-dessus de l'autre –, mais entre ces événements explosifs, la chambre sous-jacente a libéré lentement et tranquillement des volumes de magma similaires. On ne sait toujours pas avec certitude pourquoi le magma s'écoule parfois lentement vers la surface.

L'examen de minuscules cristaux piégés dans la lave et les cendres rejetées à Yellowstone a offert un regard nou-

Les vastes chambres de magma en fusion qui alimentent les supervolcans se forment au-dessus de points chauds (des panaches de roches qui remontent des profondeurs



1. La chaleur dégagée par la descente de la plaque océanique fait fondre la roche du manteau, créant une remontée de magma qui vient s'accumuler à la base de la croûte continentale. Cette chambre magmatique inférieure agit comme un immense bec Bunsen qui fait fondre les parties de la croûte continentale dont le point de fusion est le moins élevé. Une partie du magma remonte aussi le long de conduits verticaux reliant les deux chambres.

veau sur le mécanisme de formation du magma. Durant des décennies, les géologues ont supposé que la chambre magmatique se comporte pendant des millions d'années comme un réservoir de roche liquéfiée, et qu'à chaque fois qu'une fraction de magma s'en échappe vers la surface, du fluide neuf remonte immédiatement d'en dessous pour remplir la chambre. Si cette vision était correcte, on devrait observer un nombre bien plus élevé d'éruptions catastrophiques, car il est mécaniquement et thermiquement impossible que des corps magmatiques monstrueux se maintiennent dans la croûte sans se vider fréquemment.

Cette idée reposait sur une technique dite « d'analyse globale des roches », qui permet d'obtenir un ensemble de mesures chimiques associé aux cendres collectées. Ces données révélaient les grandes lignes de l'évolution du magma, mais ne permettaient pas de déterminer l'âge du magma éjecté et la profondeur à laquelle il s'était formé.

Chaque fragment de roche est constitué de milliers de minuscules cristaux, chacun ayant une composition et une histoire propres. Aussi, lorsque des progrès techniques ont permis, à la fin des années 1980, d'analyser avec précision des cristaux individuels, ce fut comme si l'on pouvait lire les chapitres d'un livre plutôt que de se fier à la seule quatrième de couverture. Les chercheurs découvrirent par exemple que certains cristaux – et donc les magmas dans lesquels ils se sont initialement formés – apparaissent plus tôt que d'autres et que certains se for-

ment à de grandes profondeurs, tandis que d'autres se forment près de la surface.

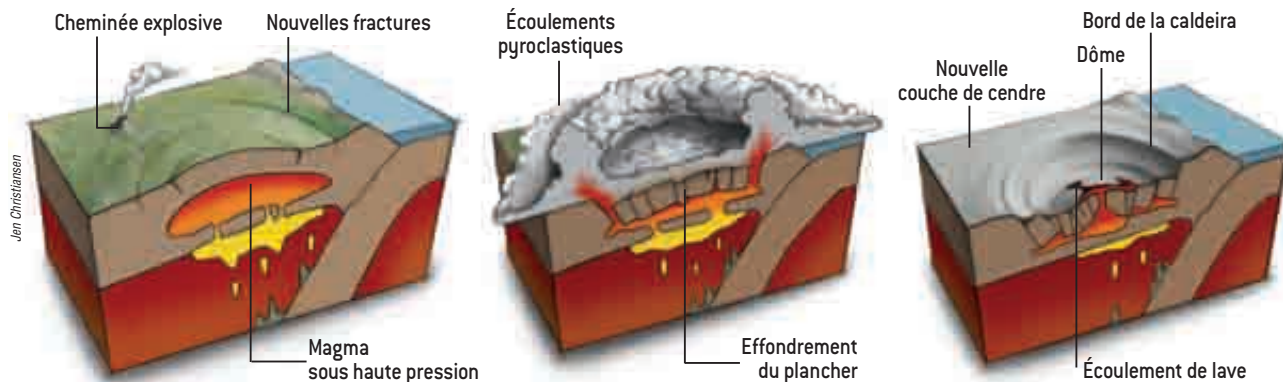
Au cours de ces dix dernières années, les géochimistes ont accordé une attention particulière à un cristal volcanique nommé zircon. Comme les zircons résistent à d'importantes variations de température et de pression sans que leur composition originelle soit affectée, plusieurs chercheurs, dont John Valley, de l'Université de Wisconsin-Madison, les ont utilisés pour étudier l'évolution initiale de la croûte terrestre. Quand j'ai intégré l'équipe de J. Valley, en 1998, nous avons reconstitué l'histoire du magma d'origine de Yellowstone par le biais des zircons, histoire qui a livré à son tour nombre d'indices sur le comportement à venir du volcan.

La première étape fut de mesurer les rapports des divers isotopes de l'oxygène dans les zircons issus de la dernière superéruption survenue à Yellowstone – il y a 640 000 ans, elle donna naissance au tuf de Lava Creek, un dépôt de cendres fossilisées atteignant par endroits 400 mètres d'épaisseur – et de dépôts plus récents formés lors d'éruptions ultérieures moins violentes. Les premières analyses achevées, nous avons eu la surprise de constater que la composition en oxygène de ces zircons ne concordait pas avec celle du manteau profond et brûlant, comme cela aurait été le cas si les chambres magmatiques se remplissaient toujours par le bas tandis qu'elles se vidaient. Les zircons nés dans le manteau auraient dû avoir une signature distinctive : lorsque les éléments dissous dans les magmas s'assemblent

Supercycles

de la Terre), et au-dessus de zones de subduction (régions où une plaque tectonique glisse sous une autre). Dans les deux cas, les supervolcans évoluent selon un cycle éruptif qui est peut-être plus pré-

visible qu'on ne le pensait autrefois. Voici les quatre grandes étapes de ce cycle qui commence par la formation de la chambre magmatique, représenté ici dans le cas d'une zone de subduction.



2. Le volume de la chambre magmatique supérieure augmentant, le sol qui la surplombe gonfle et se fissure. Le magma, plus riche en silice et moins chaud que celui du manteau, est très résistant à l'écoulement, si bien que l'eau et les gaz peinent à s'échapper. Ainsi, lorsqu'un bouchon de ce magma visqueux atteint la surface par une faille verticale, le matériau sous pression explose violemment plutôt que de s'écouler lentement.

3. De nouvelles cheminées explosives apparaissent et se rejoignent le long d'un anneau aussi large que la chambre magmatique. La surface terrestre, contrainte et privée de soutien, finit par se fragmenter et plonger dans la chambre. Une masse énorme de magma est alors brutalement éjectée par le bord de l'anneau. La libération soudaine de ce magma provoque la création d'immenses nuages de cendres, de gaz et de roches brûlants, les écoulements pyroclastiques, qui dévastent la région environnante.

4. Après l'éruption, une dépression en forme de cratère, la caldeira, se forme au-dessus de la chambre magmatique partiellement vidée. Avec le temps, le sol effondré dans la chambre fond par-dessous, créant une masse de magma plus modeste qui, associée à d'autres forces, fait s'élever un dôme au centre de la caldeira. Avant que cette masse n'enfle suffisamment pour alimenter une nouvelle superéruption, de la lave peut s'écouler calmement et par intermittence de cette région.