

retomberaient comme d'épais flocons de neige. Dans un rayon de 200 kilomètres autour de la caldeira, la lumière du Soleil serait pratiquement étouffée, si bien que le ciel à midi rayonnerait d'une lueur crépusculaire. Les maisons, les habitants et les animaux seraient enterrés. À 300 kilomètres de la caldeira, la couche de cendre atteindrait encore 50 centimètres d'épaisseur ; mélangée à l'eau de pluie, son poids suffirait pour provoquer l'effondrement des toitures. Une épaisseur moindre bloquerait le fonctionnement des centrales et des relais électriques. Une épaisseur de quelques millimètres seulement, qui pourrait recouvrir la moitié de la planète, provoquerait la fermeture des aéroports et réduirait dramatiquement la production agricole.

C'est seulement progressivement que les pluies (rendues acides par les gaz volcaniques) nettoieraient cette épaisse couche de cendre. Comme la cendre flotte, elle bloquerait le trafic sur la plupart des voies fluviales. De fait, de

récents forages pétroliers dans le golfe du Mexique ont rencontré une couche épaisse de débris supervolcaniques dans le delta du Mississippi, à plus de 1 600 kilomètres de leur source dans le Yellowstone. C'est seulement en descendant à la surface du Mississippi, puis en s'agrégeant aux sédiments qui se déposent au fond de l'océan, que cette masse de débris a pu s'accumuler aussi loin de sa source.

Des dégâts dans l'atmosphère

Les chercheurs ont de bonnes raisons de penser que le rejet de grands volumes de gaz dans la haute atmosphère aurait d'autres conséquences visibles durant de nombreuses années. Si certaines de ces conséquences ne sont pas aussi dramatiques qu'on le redoutait, d'autres en revanche seraient pires. L'examen de la composition de petits sous-produits des éruptions passées a été une fois de plus très éclairant à ce sujet.

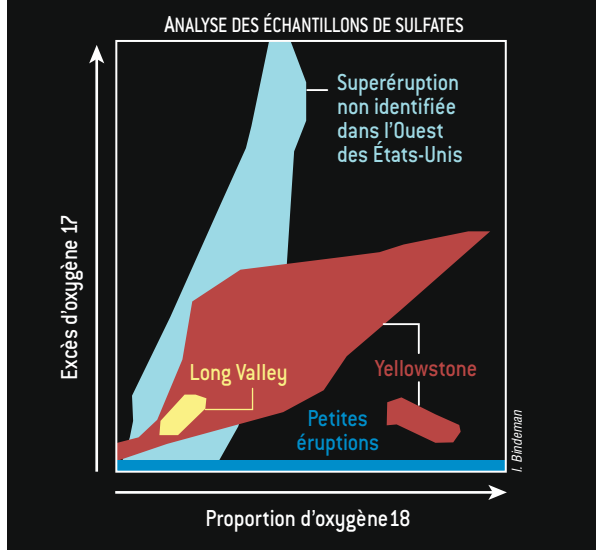
Des divers gaz qui participent à toute éruption volcanique, le dioxyde de soufre est celui qui cause les plus graves atteintes à l'environnement ; il réagit avec l'oxygène et l'eau pour produire des gouttelettes d'acide sulfurique (H_2SO_4). Ces gouttelettes seraient la principale cause de l'atténuation de la lumière solaire à la suite d'une superéruption, et provoqueraient un spectaculaire refroidissement climatique. Sachant que le cycle hydrologique de la planète met des années pour évacuer totalement ces gouttelettes d'acide, de nombreux chercheurs ont parlé d'« hivers volcaniques » apocalyptiques susceptibles de durer des siècles. Ces dernières années cependant, d'autres chercheurs ont revu à la baisse ces estimations alarmistes.

L'acide sulfurique produit après de grandes éruptions volcaniques se retrouve presque toujours piégé à l'état de trace dans la neige et dans la glace lorsqu'il précipite à partir de l'atmosphère contaminée. En 1996, des chercheurs étudiant des carottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique ont localisé le pic d'acide sulfurique qui a suivi l'éruption du Toba, il y a 74 000 ans. Cette éruption éjecta 2 800 kilomètres cubes de lave et de cendre et fit chuter la température moyenne de la planète de 5 à 15 degrés Celsius. Les conséquences d'un tel refroidissement furent certainement dramatiques, mais pas aussi longues qu'on le pensait : les carottes glaciaires montrent que l'acide sulfurique a disparu au bout de six années. Certains chercheurs suggèrent même que cette disparition a pris un ou deux ans seulement.

Cette résorption plus rapide que prévu des hivers volcaniques est une nouvelle rassurante. De nouvelles méthodes développées ces dernières années pour étudier la composition isotopique de l'oxygène dans les pluies acides d'origine volcanique ont néanmoins fait apparaître une image inquiétante des effets à long terme du dioxyde de soufre dans l'atmosphère. Pour que le dioxyde de soufre (SO_2) se transforme en acide sulfurique (H_2SO_4), il faut qu'il s'oxyde, c'est-à-dire qu'il doit acquérir deux atomes d'oxygène d'un autre composé présent dans l'atmosphère. La nature précise des composés intervenant dans ce processus fait actuellement l'objet d'un intense débat. Aussi, lorsque j'ai commencé à travailler avec John Eiler à l'Institut de technologie de Californie en 2003, nous avons cherché à identifier ces composants dans les échantillons de cendres provenant des superéruptions de Yellowstone et de Long Valley.

La destruction de l'ozone

Les gaz mortels vomis en 1999 par le mont Pinatubo, en Indonésie, apparaissent colorés et brillants sur les images satellitaires de la haute atmosphère (ci-dessus). Ces gaz, émis en bien plus grandes quantités par les supervolcans, peuvent grignoter la couche d'ozone avant de retomber sous forme de pluies acides et de se mélanger aux cendres volcaniques pour former des sulfates. Les échantillons de sulfates prélevés dans quatre dépôts supervolcaniques contiennent un excès inhabituel d'oxygène 17 (ci-dessous). Un tel excès apparaît uniquement dans les composés qui ont acquis ces isotopes légers de l'oxygène lors de réactions avec certains gaz présents dans la haute atmosphère terrestre, notamment l'ozone. Les matériaux provenant d'écoulement au sol, notamment les produits des petites éruptions, ne présentent pas une telle anomalie.



Nous avons commencé nos analyses en nous concentrant sur un oxydant particulièrement efficace, l'ozone (O_3). Ce gaz est connu pour protéger la Terre du rayonnement ultraviolet émis par le Soleil. En raison des transformations chimiques subies par certains gaz en présence de cet intense rayonnement solaire, l'ozone se caractérise par une anomalie de sa signature isotopique en oxygène qui, en termes simples, peut être vue comme un excès d'oxygène 17.

Lorsque l'ozone ou toute autre molécule stratosphérique riche en oxygène interagit avec le dioxyde de soufre SO_2 , elle transfère sa signature isotopique en oxygène à l'acide résultant – autrement dit, l'anomalie de l'oxygène 17 persiste dans l'acide nouvellement formé. En 2003, des géochimistes de l'Université de Californie, à San Diego, ont trouvé des preuves que cette signature est également préservée dans les pluies acides et dans les composés sulfatés qui se forment lorsque ces pluies réagissent avec des cendres sur le sol.

L'excès d'oxygène 17 et d'autres signatures chimiques que nous avons découverts dans les sulfates des cendres de Yellowstone et de Long Valley signifient ainsi que de grandes quantités d'ozone stratosphérique ont participé aux réactions impliquant les gaz issus des superéruptions survenues dans ces régions. D'autres chercheurs étudiant les cendres d'éruptions géantes plus anciennes dans le Colorado et le Nebraska ont démontré que ces événements ont également grignoté l'ozone stratosphérique. Les superéruptions volcaniques endommageraient ainsi la couche d'ozone pendant un laps de temps plus long que ne dure leur impact sur les températures.

Une perte significative d'ozone stratosphérique se traduirait par une intensification du rayonnement ultraviolet à la surface de la Terre et, *in fine*, par une augmentation des cancers et autres dégâts génétiques. L'ampleur et la durée de cette destruction de l'ozone sont encore controversées. L'examen de carottes glaciaires montre que l'éruption du mont Pinatubo, en 1999, a entraîné une diminution de trois à huit pour cent de la quantité d'ozone. Que se serait-il passé après un événement des centaines de fois plus violent ? La réponse n'est pas simple, car les processus d'oxydation atmosphérique sont fort complexes et encore mal compris.

Les techniques d'étude et de surveillance des volcans se développent lentement, mais sûrement. En l'état actuel des connaissances, nous sommes incapables de parer à une superéruption, et ce que nous pouvons dire sur les conséquences d'une telle catastrophe reste encore de l'ordre de la spéculation. Seule certitude : une telle catastrophe ne surviendra pas avant longtemps.

Ilya BINDEMAN est professeur de géochimie à l'Université de l'Oregon, aux États-Unis.

I. BINDEMAN, J. EILER, B. WING et J. FARQUHAR, *Rare sulfur and triple oxygen isotope geochemistry of volcanologic sulfate aerosol*, in *Earth and planetary science letters*, à paraître.

B. HUIMING, M. THIEMENS, D. LOOPE et X.-L. YUAN, *Sulfate oxygen-17 anomaly in an oligocene ash bed in mid-north america : was it the dry fogs ?*, in *Geophysical research letters*, vol. 30, pp. 1843-1848, 2003.

I. BINDEMAN et J. VALLEY, *Magmatic evolution based on analyses of zircons and individual phenocrysts*, in *Journal of petrology*, vol. 42, pp. 1491-1517, 2001.

