

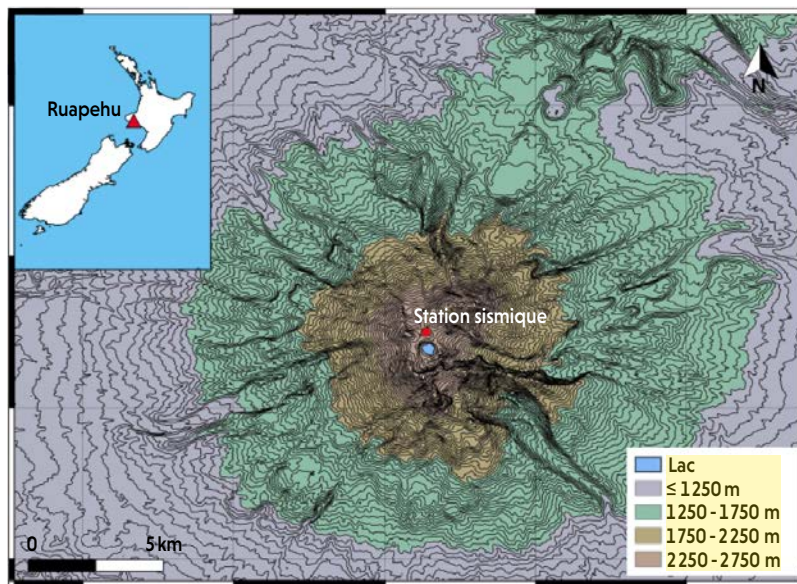
> de fragments de roche et de cendres. Même si elles restent sans commune mesure avec les impressionnantes éruptions magmatiques, comme celle du Kilauea à Hawaï en 2018, elles posent beaucoup de problèmes aux autorités : leur caractère brusque et explosif met les populations en danger, sans qu'on ait le temps de les évacuer. Il suffit de se replonger dans l'inextricable polémique mêlant science et politique qui est née au cours de l'année 1976 à propos de la Soufrière, en Guadeloupe, pour se rendre compte de l'enjeu sociétal de cette question.

Si le nombre de victimes dues aux éruptions magmatiques a fortement diminué au cours des dernières décennies, celui imputé aux éruptions phréatiques ne diminue pas de façon notable. L'absence de signaux précurseurs détectables par des instruments scientifiques explique ce nombre de décès relativement constant. En 2014, au Japon, le volcan Ontakesan a fait plus de 50 victimes dans un pays qui a beaucoup d'expérience et qui est le plus avancé du monde sur le plan technique en matière de surveillance volcanique. Les images de randonneurs tués par des nuées ardentes ont fait le tour du monde, comme celles, en janvier dernier, de skieurs fauchés par des bombes volcaniques sur les pistes d'une station installée sur le volcan Kusatsu-Shirane.

Plusieurs éléments expliquent la difficulté de mettre en évidence des précurseurs d'éruptions phréatiques. Les faibles variations de porosité et les modifications pétrophysiques de la roche, ainsi que les variations subtiles de température et de pression précédant ces éruptions sont ténues et difficiles à détecter. Certaines éruptions phréatiques pourraient en effet se produire parce qu'à proximité de la surface se produit un colmatage par le soufre et les argiles circulant avec les fluides volcaniques. Ces couches relativement imperméables bloqueraient les flux de chaleur et de gaz ascendants et créeraient ainsi les conditions nécessaires à un *blue-sky event*. Dans ce cas, si l'on ne dispose pas d'instruments proches de l'activité principale, située à l'intérieur du volcan, mettre en évidence des signaux précurseurs relève de l'impossible.

Certains volcans sont pourtant équipés d'une pléthore d'instruments allant de stations de mesures continues des flux de gaz ou de température jusqu'à des détecteurs de muons. Dans le cas du volcan Ruapehu, un sismomètre est même installé sur le sommet, à quelques centaines de mètres du lieu d'agitation sismique continue. Il peut donc enregistrer le trémor volcanique. Cette sorte de grondement sismique continu et de faible intensité est due au choc du magma, des roches et des bulles de gaz qu'il transporte contre les parois des cheminées du volcan. La station sismique détruite lors de l'éruption du Ruapehu a enregistré le trémor et tous les événements sismiques perceptibles en

Le mont Ruapehu est un volcan à trois sommets situé sur l'île nord de la Nouvelle-Zélande, dont il constitue le point culminant. Son lac de cratère se remplit d'eau entre les éruptions, ce qui en fait un instrument de surveillance très sensible dans la mesure où sa température et les gaz qui le traversent indiquent l'activité du volcan. Or dans les semaines qui ont précédé le 27 septembre 2007, aucun signe préalable à la violente explosion qui s'est produite n'a été perceptible sur le lac. Cela suggère que la cocotte-minute volcanique que représente le Ruapehu était scellée de façon si étanche qu'aucun gaz ne pouvait remonter au sommet du volcan.



son sommet depuis des décennies. Comme beaucoup de ces données sont directement accessibles aux chercheurs du monde entier, elles constituent une mine d'informations pour essayer d'interpréter le trémor volcanique.

TROIS MOIS AVANT L'ÉRUPTION, UNE SIGNATURE LUNAIRE

Pour ce faire, nous avons mis en œuvre une multitude de techniques d'analyse de données, dont certaines ont été développées dans d'autres domaines que la volcanologie, par exemple dans l'analyse financière. Après avoir étudié plus d'une douzaine d'années de données, nous avons fini par détecter une structure dans le trémor : une synchronisation entre le volcan et la Lune environ trois mois avant l'éruption.

Explicitons un peu notre observation. Les vibrations sismiques du sol du volcan – le trémor – semblent avoir été dans une certaine mesure modulées par les cycles lunaires ; hors période éruptive, le trémor n'est en revanche absolument pas synchronisé avec eux. C'est là, pour le moins, une observation surprenante ! Si la Lune est en effet capable de perturber de grandes masses reposant librement à la surface de la Terre, les forces qu'elle exerce à l'intérieur de la planète sont de trois ordres de grandeur trop faibles pour provoquer une fracture de la roche et, par là, une éruption.

Dès lors, comment expliquer notre observation ? Pourrait-il s'agir d'une structure erratique des données, qui ne se reproduira jamais ? Nous



avons évalué la probabilité de cette possibilité: les chances que la corrélation observée se produise de façon fortuite sont de 1 sur 3,5 millions, c'est-à-dire extrêmement faibles. D'où l'hypothèse suivante: lorsque le volcan est dans un état critique, c'est-à-dire dans un état prééruptif, les forces de marée influenceraient ses tremblements. Si cette hypothèse est correcte, alors il sera en principe possible de déduire du trémor qu'un volcan s'approche du seuil critique.

Pour tester cette idée, nous avons modélisé la mécanique du volcan en état critique afin de tenter de reproduire le phénomène en question et d'étudier les facteurs qui l'influencent.

Les chances que la corrélation observée se produise de façon fortuite sont de 1 sur 3,5 millions

Le volcan renferme un conduit vertical où la lave monte et descend, tandis qu'un bouchon solide poreux lié aux particules transportées par les flux de gaz est supposé s'être accumulé juste au-dessus de cette colonne magmatique. Il retient les volatiles libérés par le magma, de sorte qu'une poche de gaz se forme à quelques centaines de mètres de profondeur. Le volume de gaz sous pression qu'elle contient résulte de deux processus en concurrence: d'une part l'arrivée de fluides magmatiques, dont des gaz, depuis les niveaux plus profonds; d'autre part le flux de gaz qui percole à travers les portions superficielles poreuses du volcan. C'est cette poche de gaz sous forte pression qui est la source de l'essentiel de la microactivité sismique: elle répercute à la partie supérieure de l'édifice volcanique les vibrations qui se produisent en son sein lors de l'arrivée ou du départ de quantité de gaz.

Or, même faibles, les forces de marée compriment régulièrement le réservoir magmatique. Si l'on suppose par exemple que le passage de la Lune se traduit (avec un certain retard) par une hausse du niveau du magma, de l'ordre de 1 centimètre, alors l'accroissement de pression dans la poche de gaz se traduira par une augmentation de l'amplitude des vibrations de l'édifice volcanique supérieur, en raison de sa mise sous tension. À l'inverse, une baisse comparable du niveau de magma due à l'éloignement de la Lune se traduira par une diminution de l'amplitude des vibrations de l'édifice volcanique supérieur. Finalement, ces phénomènes se traduiront par une modulation périodique du trémor, corrélée au passage de la Lune.

Comment la poche de gaz peut-elle être si sensible à ces effets *a priori* extrêmement petits? Pour nous en persuader, nous avons essayé de reproduire numériquement la situation au Ruapehu. D'environ 20 centimètres de haut, la poche de gaz sous pression se trouve à quelque 10 mètres sous le fond du lac de cratère, profond de 200 mètres, au-dessus d'une colonne magmatique d'une dizaine de mètres de largeur. Nous avons supposé que l'arrivée permanente d'environ 50 kilogrammes de gaz par seconde met en vibration la poche de gaz sous pression et tenu compte du fait que la station sismologique du mont est distante de quelque 700 mètres. Nous avons alors calculé des sismogrammes s'étendant sur plusieurs cycles lunaires, et constaté que dans les conditions fixées dans notre modèle, l'influence des forces de marée se lit bien dans le trémor.

Une analogie allant dans le sens d'une possible influence de la Lune sur certaines cocottes-minute volcaniques surgit de la comparaison avec le comportement des lacs quand le sol est secoué. À cause de leur caractère fluide et de leur grande surface de contact avec le sol, les lacs répercutent en effet les mouvements telluriques instantanément. >