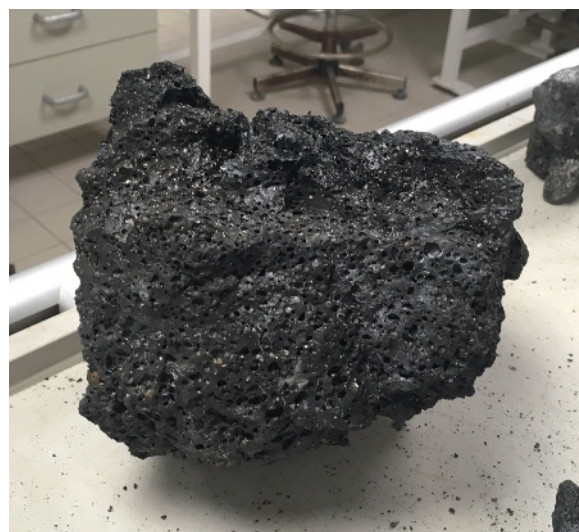


sol et bien détecter et localiser les micro-séismes, mais aussi des capteurs de déformation du terrain, pour détecter par exemple des gonflements du fond marin en réponse à des remontées de magma ou de gaz sous-jacentes; des capteurs électriques et magnétiques pour détecter des changements de la résistance électrique du sous-sol, qui signaleraient la remontée de fluides volcaniques; des capteurs géochimiques, afin de surveiller les sites de dégazage identifiés lors des campagnes *Mayobs* de 2019; enfin, des capteurs conçus pour suivre l'installation d'organismes vivants sur les nouveaux reliefs sous-marins.

Certaines des fibres optiques contenues dans les câbles sous-marins serviront non pas à transmettre à terre les mesures des capteurs électriques, mais permettront d'opérer deux types de dispositifs de mesure très innovants, purement optiques. Un premier type, commercialisé – le « DAS » (*distributed acoustic sensing*) –, consiste à envoyer depuis la terre une impulsion laser à haute cadence dans la fibre, d'en mesurer la diffusion en retour – c'est-à-dire les échos –, et d'analyser les interférences entre échos de segments proches. Ces interférences sont très sensibles aux déformations de la fibre lors du passage des ondes sismiques. Leur analyse en temps réel permet d'obtenir des milliers de points de mesure de déformation tout le long de la fibre, qui peut faire des dizaines de kilomètres de long, ce qui fait du câble une sorte d'antenne sismique de milliers de sismomètres.

Un deuxième type de mesure optique, plus précis, se fait uniquement à l'extrémité de la fibre, le faisceau laser pointant sur la partie déformable d'un capteur et s'y réfléchissant: ce peut être la masse mobile d'un sismomètre, ou la membrane déformable d'un pressiomètre, appareil qui suit les mouvements verticaux du fond marin. L'interférence produite entre la réflexion sur cette cible mobile et la réflexion en bout de fibre produit un signal lumineux qui peut être traduit en mouvement du sol pour le sismomètre – donc en vibration –, ou en pression d'eau pour le pressiomètre – donc en profondeur. Parce qu'ils sont purement optiques, ces systèmes allient grande résolution et grande robustesse: leurs capteurs en mer ne peuvent pas avoir de panne électronique, l'interrogateur et toute la partie électronique étant à terre, à des dizaines de kilomètres des zones de mesure.

Ce *popping rock* est un fragment de lave solidifiée susceptible d'éclater parce qu'il contient des bulles de gaz volcanique restées à la pression du fond (de l'ordre de 300 bars). Il a été remonté de quelque 3 000 mètres de profondeur près de Mayotte.



Où sera installé ce réseau de surveillance ?

Arnaud Lemarchand : Nous prévoyons de l'installer sur la zone de l'essai sismique principal, à une dizaine de kilomètres de Petite-Terre. C'est de là que peuvent venir d'éventuels risques pour les Mahorais, de sorte qu'elle exige plus d'attention que le nouveau volcan, plus lointain.

Ce réseau pourrait-il être détruit par une nouvelle éruption ?

Arnaud Lemarchand : Les stations installées près des panaches acoustiques seront en effet vulnérables. Les campagnes océanographiques nous ont cependant permis d'identifier les canyons et les coulées de lave récentes que le tracé du câble contourne. Seuls deux câbles secondaires équipés de fibres optiques, utilisées comme capteurs afin de mesurer les contraintes réparties le long du câble, traversent les zones en voie de déstabilisation, où pourraient se déclencher des glissements de terrain qui, s'ils se produisent, détruiront évidemment ces câbles secondaires...

Quand ce réseau de surveillance sera-t-il en place ?

Arnaud Lemarchand : Notre projet de système d'observation câblé est soumis au Programme d'investissements d'avenir (PIA). Il a été conçu avec toute la communauté scientifique nationale des géosciences et biologie marines et avec quatre grands instituts collaborant dans le cadre du Revosima. S'il est accepté, il débutera en 2021 pour une mise en place un à deux ans après. ■

PROPOS RECUEILLIS
PAR FRANÇOIS SAVATIER

BIBLIOGRAPHIE

S. CESCA ET AL., Drainage of a deep magma reservoir near Mayotte inferred from seismicity and deformation, *Nature Geoscience*, vol. 13(1), pp. 87-93, 2020.

A. LEMOINE ET AL., The 2018-2019 seismo-volcanic crisis east of Mayotte, Comoros Islands: Seismicity and ground deformation markers of an exceptional submarine eruption, *Geophysical Journal International*, vol. 223, pp. 22-44, 2020.

F. PAQUET ET AL., The Mayotte seismo-volcanic crisis: Characterizing a reactivated volcanic ridge from the upper slope to the abyssal plain using multibeam bathymetry and backscatter data, AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, décembre 2019. <https://bit.ly/3dv9f5J>





Éphémères deltas de lave

Le 31 décembre 2016, à Hawaï, un delta formé en quelques années par des coulées de lave s'est effondré dans l'océan. Comment naît et meurt une telle plateforme, créée par le brusque refroidissement de la lave au contact de l'eau de mer ? Réponse en images.

LES AUTEURS



MICHEL DETAY
est géologue et photographe
résidant à Hong Kong.



PIERRE THOMAS
est géologue
et planétologue,
professeur émérite
à l'École normale
supérieure de Lyon

A

Hawaï, le Kīlauea, l'un des volcans les plus actifs de la planète, déverse sur ses flancs une lave nommée pāhoehoe («rivière de satin» en hawaïien), très fluide parce que pauvre en silice et complètement dégazée. Celle-ci s'écoule à l'intérieur de tunnels jusqu'à la mer. Ses arrivées successives édifient régulièrement des plate-formes instables qui s'avancent sur la mer: des «deltas de lave». Les images présentées ici sont celles du delta de Kamokuna, depuis sa formation récente jusqu'à son effondrement fin 2016.

Ces structures éphémères doivent leur existence au fait que des tunnels – les tubes de lave – acheminent le magma jusqu'au rivage sans grande déperdition de chaleur: la température baisse de moins de 0,6 °C par kilomètre parcouru. Situé sur la pente est du volcan, le tunnel de Kazumura, par exemple, franchit 1 102 mètres de dénivelé et s'étend sur plus de 65 kilomètres! En interagissant avec l'eau de l'océan, les roches en fusion produisent tout un cortège de matériaux, la plupart fragiles, qui vont constituer le soubassement des deltas. Généralement, ces derniers se développent sur une largeur d'environ 1 kilomètre et s'avancent de plusieurs centaines de mètres dans la mer. Des croissances journalières atteignant 4 hectares ont déjà été observées dans le cas d'un delta de ce type, qui, juste avant de s'effondrer, mesurait 2,9 kilomètres de long et 500 mètres de large.

Les formations magmatiques disparaissent et se reforment le plus souvent de façon cyclique. Ainsi, à Hawaï, 31 effondrements se sont produits entre 1988 et 1989. L'effondrement s'accompagne parfois d'un retrait de la côte de plusieurs centaines de mètres: il était compris, dans les cas récents, entre 200 et 400 mètres. ■



AU-DESSUS ET EN DESSOUS

Au cours de la formation d'un nouveau delta de lave, des coulées de lave pāhoehoe, très fluides, débouchent dans l'océan. Celles visibles sur cette image nocturne sont des coulées en surface; elles sont accompagnées de coulées invisibles, qui cheminent à l'intérieur de tunnels souterrains.