

En quoi consiste la méthode ? Elle n'est pas sans rappeler la radiographie aux rayons X. Ces derniers traversent l'organisme, sont plus ou moins absorbés par les tissus et les os qu'ils rencontrent sur leur passage, et nous donnent des images de l'intérieur du corps humain, liées à cette absorption variable. De même, les rayons cosmiques traversent la matière. Serait-il possible d'observer les entrailles des volcans au moyen de ces rayons cosmiques, plus ou moins absorbés par la matière qu'ils traversent ? L'idée fut proposée au milieu des années 1960 par l'équipe de Luis Alvarez (1911-1988), lauréat du prix Nobel de physique en 1968 : il suggéra d'utiliser les rayons cosmiques pour ausculter la grande pyramide de Khéphren et y rechercher la chambre de la Reine.

Découverts en 1912 par le physicien américain d'origine autrichienne Victor Hess, les rayons cosmiques arrivant sur Terre sont constitués d'une « pluie » de particules produites par les rayons cosmiques primaires qui bombardent l'atmosphère terrestre. Les particules produites dans ces « cascades » sont de natures variées : électrons et photons, entre autres, mais aussi muons. Le muon est une particule élémentaire qui a les mêmes propriétés que l'électron, si ce n'est qu'il est instable

## ■ LES AUTEURS



**Nolwenn LESPARRE** est géophysicienne à l'Institut de radioprotection et de sûreté

nucléaire, à Fontenay aux Roses.

Elle a été lauréate du Prix *Le Monde* de la recherche universitaire 2012.



**Dominique GIBERT** est géophysicien à l'Institut de physique du Globe de Paris et professeur

à l'Université de Rennes 1. Il coordonne le projet DIAPHANE.



**Jacques MARTEAU** est physicien des particules à l'Institut de Physique nucléaire de Lyon.

Il a travaillé sur les expériences neutrinos OPÉRA et T2K.

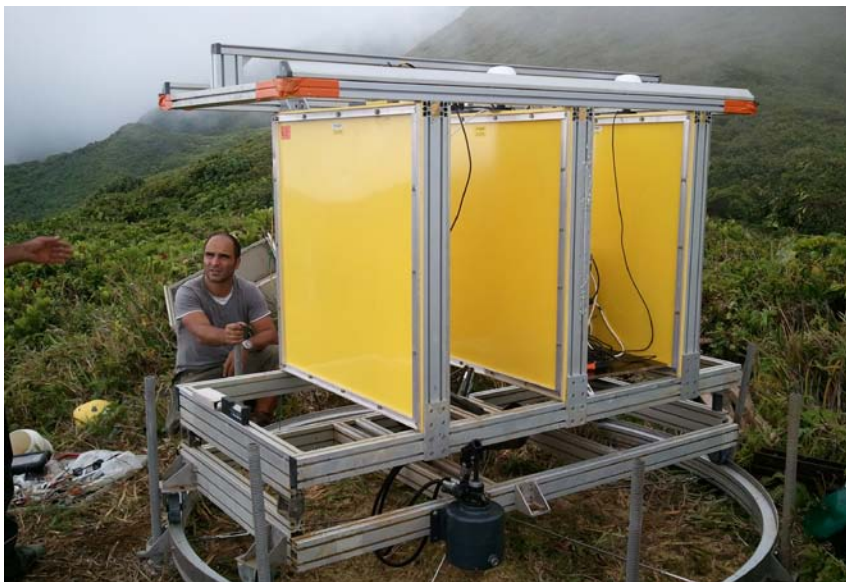
(sa durée de vie est égale à 2,2 microsecondes) et que sa masse est environ 200 fois supérieure (206,8 fois précisément). Les muons sont parfois surnommés électrons lourds. Ce sont ces muons, sur lesquels nous reviendrons, qu'utilisa l'équipe d'Alvarez pour « voir » à travers les épaisses parois de la pyramide.

C'est au milieu des années 1990 que l'équipe japonaise de Kanetada Nagamine eut l'idée d'utiliser les muons cosmiques pour ausculter les volcans. Depuis, les détecteurs de particules ont été notablement améliorés, ce qui a conduit plusieurs équipes à s'intéresser à la radiographie des volcans à l'aide des muons. Avoir accès à de telles images permettrait de suivre l'évolution des entrailles des volcans et, par exemple, de détecter une remontée de magma ou l'apparition de poches de vapeur avant toute manifestation visible.

## Un volcan sous surveillance

Parmi ces équipes, le groupe DIAPHANE réunit des géophysiciens et des physiciens des particules de l'Institut de physique du Globe de Paris, de l'Institut de physique nucléaire de Lyon et du laboratoire Géosciences Rennes. Cette équipe mène des expériences sur plusieurs volcans aux Philippines, sur l'Etna et aux Antilles, où elle s'intéresse surtout à la Soufrière, surveillée en permanence par l'équipe de l'Observatoire volcanologique de Guadeloupe (voir l'encadré page ci-contre). Comme nous l'avons évoqué, ce volcan subit des éruptions phréatiques, c'est-à-dire l'expulsion violente de grands volumes d'eau sous forme de panaches de vapeur.

L'énergie thermique du volcan est emmagasinée dans les réservoirs hydrothermaux – des poches d'eau chaude. L'apport de chaleur en provenance de la chambre magmatique et l'accumulation d'énergie résultant de l'obstruction progressive des exutoires – fumerolles et sources – servant habituellement à son évacuation peuvent entraîner une surpression telle qu'elle déclenche une éruption. La quantité d'énergie stockée et la rapidité avec laquelle elle est évacuée déterminent la violence de l'éruption. Ces deux paramètres dépendent du volume des réservoirs d'énergie et de la structure du dôme volcanique. L'altération du dôme est accentuée par la circulation de fluides



© Dominique Gibert

**2. LES DÉTECTEURS DU TÉLESCOPE** de la Soufrière mis au point par les auteurs sont constitués de barreaux scintillants arrangés en séries perpendiculaires, constituant une matrice (les carrés jaunes). Ces barreaux captent les muons et un photomultiplicateur transforme le signal initial en un signal électrique. Un télescope comporte au moins trois matrices, chacune contenant 256 pixels de 25 centimètres carrés. L'espacement des trois matrices définit la résolution des mesures. Le détecteur résiste aux conditions météorologiques difficiles qui règnent à la Soufrière : pluies, ouragans, etc. De surcroît, il est transportable par hélicoptère dans des endroits difficiles d'accès.