



#### LES DELTAS DE LAVE MODIFIENT SANS CESSER LE TRAIT DE CÔTE

Le 3 janvier 2017, l'imageur OLI (*Operational Land Imager*) du satellite *Landsat 8* révéla le nouveau trait de côte créé par l'effondrement du delta de lave de Kamokuna (*ci-dessous*). Le lieu de l'effondrement est indiqué (*flèche rouge*). Non loin de lui, une nouvelle coulée se signale par un panache de vapeur. L'ensemble de la côte est marqué par des effondrements successifs reconnaissables à leurs formes en arc de cercle. Ci-dessus, la même côte en voie de transformation prise en novembre 2017, c'est-à-dire avant que la période d'effondrement ne débute.



#### BIBLIOGRAPHIE

M. Detay, **Traité de volcanologie physique**, Lavoisier, 2017.

G. Marie, **Processus préparant la construction et l'érosion des deltas de lave formés par les coulées du volcan Kilauea (Pu'u 'O'o-Kupaianaha, Hawaï)**, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 12(2), pp. 75-90, 2006.

T. N. Mattox et M. T. Mangan, **Littoral hydrovolcanic explosions : A case study of lava-seawater interaction at Kilauea Volcano**, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 75, pp. 1-17, 1997.

## L'ESSENTIEL

> Dans l'expérience *LHCb*, au collisionneur LHC du Cern, les physiciens recherchent notamment des indices de l'existence de particules non prévues par la théorie en vigueur, le « modèle standard ».

> Au lieu de viser la production directe de ces nouvelles particules, les chercheurs

de *LHCb* espèrent détecter leur influence indirecte, sous la forme de particules « virtuelles » servant d'intermédiaires dans certaines désintégrations.

> Certains des résultats obtenus semblent incompatibles avec le modèle standard. Il s'agit peut-être d'indices d'une physique non décrite par le modèle standard.

## L'AUTEUR



**GUY WILKINSON**  
physicien des particules à l'université d'Oxford, en Grande-Bretagne, et ancien porte-parole de l'expérience *LHCb* au Cern, à Genève

# Beauté hors-norme au LHC

Malgré ses succès, tels que la prédiction et la découverte du boson de Higgs, le modèle standard de la physique des particules est incomplet. Au Cern, l'expérience *LHCb*, qui étudie les désintégrations des « particules de beauté », a-t-elle fourni les premiers indices d'une théorie plus fondamentale ?

**I**l est rare que le journal télévisé s'ouvre avec un reportage sur la recherche en physique, comme cela a été le cas le 4 juillet 2012. Ce jour-là, toutes les chaînes du monde ont consacré une partie de leur émission à une nouvelle en provenance de Genève : des recherches entamées il y a près d'un demi-siècle venaient d'aboutir avec la découverte du boson de Higgs au LHC (Large Hadron Collider), le Grand collisionneur de hadrons du Cern.

Pour les physiciens, l'événement était historique. Cette particule était en effet la dernière pièce manquante dans le modèle standard de la physique des particules ; plus même : le boson de Higgs est un élément essentiel de cette théorie, qui décrit les particules connues de l'Univers et les forces qu'elles exercent les unes sur les autres.

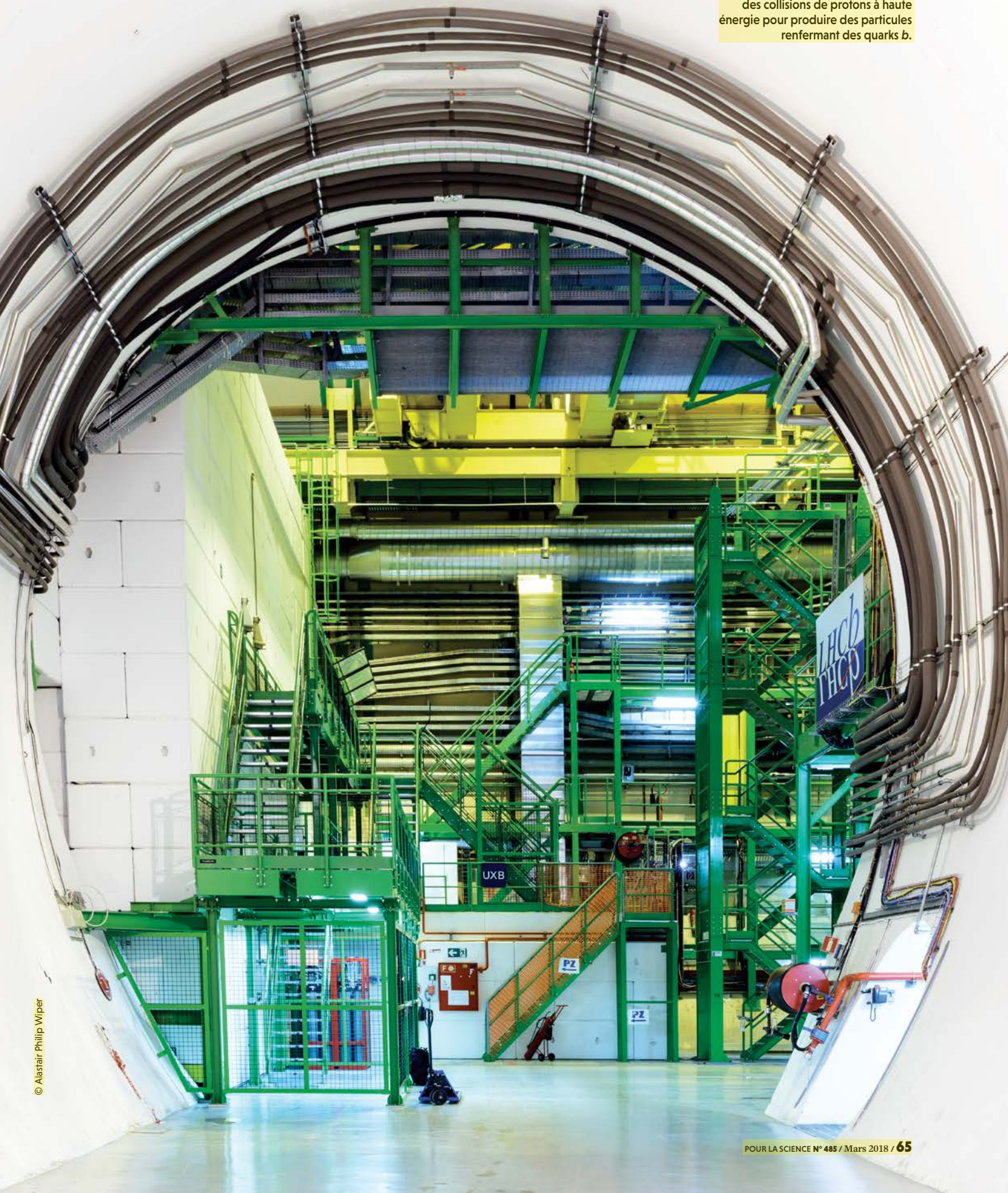
Pourtant, les physiciens pensent qu'il existe d'autres particules élémentaires que celles du modèle standard ; cette nouvelle traque, encore plus difficile, a déjà débuté.

Les complexes expérimentaux *Atlas* et *CMS*, qui ont permis de découvrir le boson de Higgs, joueront encore un rôle important dans cette nouvelle quête. Ils tenteront de produire directement ces nouvelles particules lors de collisions énergétiques entre protons. Mais une autre expérience du LHC, moins connue et plus modeste, contribuera aussi à cette recherche d'une nouvelle physique.

Ainsi, l'expérience *LHCb*, sur laquelle je travaille, aborde cette traque avec une stratégie différente : mettre en évidence des effets indirects de ces particules inconnues sans les produire directement. Pour ce faire, nous nous focalisons sur la production de certaines ➤



Aperçu de la caverne qui abrite l'expérience LHCb, 100 mètres sous terre. Au cœur de cet assemblage de détecteurs, les physiciens réalisent des collisions de protons à haute énergie pour produire des particules renfermant des quarks *b*.





particules, les hadrons dits beaux, et nous cherchons à voir comment ces particules inconnues influent sur les caractéristiques de ces hadrons. Plus précisément, nous analysons ce qui se passe quand des hadrons beaux sont créés au LHC puis se désintègrent en d'autres particules. Les hadrons beaux font d'excellents objets d'étude, car ils se désintègrent de très nombreuses façons différentes; et nous disposons de prédictions très précises sur la façon dont ces réactions devraient se dérouler. Toute déviation par rapport à ces prédictions laisse alors soupçonner une manifestation de particules encore jamais observées.

Une telle recherche est complexe et requiert une grande précision. Mais elle a le potentiel de découvrir des particules qui pourraient rester hors de portée d'*Atlas* ou de *CMS*. Or l'expérience *LHCb* a d'ores et déjà donné plusieurs résultats qui ne sont pas en accord avec les prédictions du modèle standard. Si ces résultats sont confirmés, nous avons peut-être entre nos mains les premiers éléments pour comprendre les lois du monde à un niveau plus fondamental encore que tout ce que l'humanité a pu entrevoir jusqu'ici.

## UN MODÈLE À SUCCÈS

Le modèle standard, élaboré dans les années 1960 et 1970, a été extrêmement efficace pour décrire le comportement des particules élémentaires et les forces qui agissent sur elles. Il a été testé avec succès dans le cadre de nombreuses expériences.

Pour résumer, dans ce modèle, les particules élémentaires dont la matière est constituée sont rangées en deux catégories: les quarks et les leptons (voir l'encadré page 68). Il existe six quarks répartis par paires dans trois groupes, nommés générations: *u* (ou *up*) et *d* (ou *down*), *c* (ou *charm*) et *s* (ou *strange*), *b* (ou *bottom*) et *t* (ou *top*). Les deux derniers ont eu plusieurs noms; le quark *b* a été un temps nommé *beauty* ou «beau».

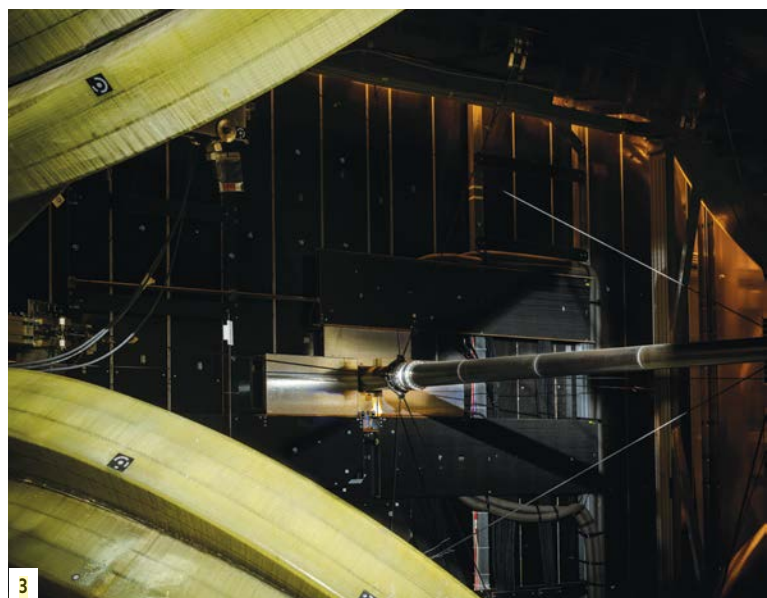
Nous n'observons jamais ces quarks individuellement; ils se regroupent pour former des hadrons. Ainsi, les hadrons «beaux» mettent en jeu un ou plusieurs quarks *b*.

De façon analogue, il existe trois «générations» de leptons, chacune incluant deux particules: la première regroupe l'électron (*e*) et le neutrino électronique ( $\nu_e$ ), la deuxième le muon ( $\mu$ ) et le neutrino muonique ( $\nu_\mu$ ), la troisième le tau ( $\tau$ ) et le neutrino tauique ( $\nu_\tau$ ).

Les quarks *u* et *d* ainsi que l'électron (tous de la première génération) sont les constituants des atomes, c'est-à-dire de la matière ordinaire. Les particules des deux autres générations sont instables: elles ont une durée de vie très courte et se désintègrent en particules de la première génération; ces particules fugaces sont cependant produites en grands nombres dans les accélérateurs de particules.



1



3

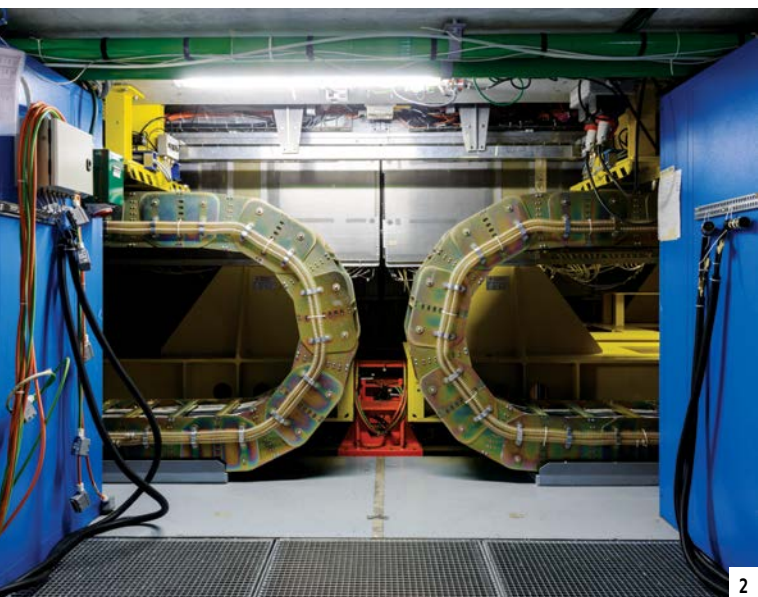


5

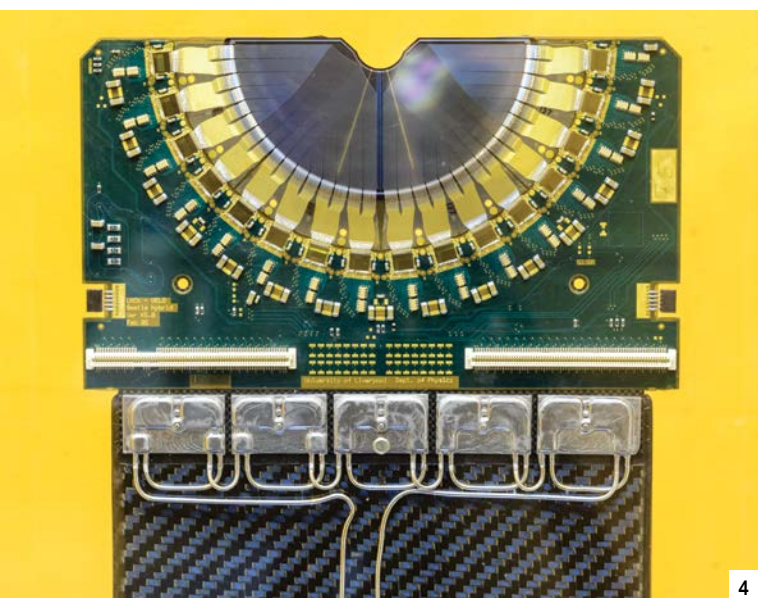


## LES DIVERSES FACETTES DE LHCb

Le dispositif expérimental pèse 5 600 tonnes et implique près de 700 scientifiques. Il est vu ici de côté (1) et de dessous (2). Des protons sont accélérés dans un tube (3) à des vitesses proches de celle de la lumière avant de pénétrer au cœur du dispositif où ils entrent en collision. Des détecteurs traquent les particules produites. L'un d'eux, nommé Velo (Vertex locator), utilise des capteurs en silicium (4) pour traquer les hadrons beaux. Pour limiter la quantité d'information stockée et à analyser, des processeurs sélectionnent les réactions les plus intéressantes (5). À l'intérieur de la salle de contrôle (6), les physiciens assurent le suivi des opérations.



2



4



6

© Alastair Philip Wipier

Les hadrons sont des particules soumises à la force électromagnétique, à l'interaction faible et à l'interaction forte (la force gravitationnelle est aussi présente, mais à l'échelle subatomique elle est négligeable). Chacune de ces forces fondamentales est véhiculée par une particule: le photon est l'agent de l'interaction électromagnétique, les bosons W et Z sont les porteurs de l'interaction faible et les gluons sont les médiateurs de l'interaction forte. Le boson de Higgs a un rôle particulier, mais crucial: il est associé à un mécanisme qui confère une masse non nulle à certaines des particules citées précédemment.

Malgré les succès du modèle standard, les physiciens pensent que ce modèle est incomplet. Il serait une approximation, à faible énergie, d'une théorie plus fondamentale. En effet, le modèle standard rend très bien compte de certaines observations et mesures, mais il ne contient aucun élément de réponse pour d'autres. À l'échelle cosmique, il n'est pas en mesure d'expliquer pourquoi l'Univers est essentiellement constitué de matière, alors qu'au moment du Big Bang, la matière et l'anti-matière ont dû être créées en proportions égales. Il ne nous renseigne pas davantage sur la nature de la matière noire. Cet excédent de masse dans l'Univers nous est invisible, mais son existence semble indispensable pour expliquer la dynamique des galaxies et des amas de galaxies.

## LE MODÈLE STANDARD, UN TABLEAU INCOMPLÉT

Et même dans le monde des particules subatomiques connues, il subsiste de nombreuses énigmes. Le boson de Higgs s'est révélé avoir une masse qui n'est pas beaucoup plus élevée que celle des bosons W et Z, alors que le modèle standard suggère qu'il devrait être environ  $10^{16}$  fois plus lourd! Et nous ne savons pas pourquoi les particules de matière se rangent en trois générations. Celles-ci semblent être des copies les unes des autres, mais avec une impressionnante hiérarchie des masses, depuis les quarks *u* et *d* qui ne «pèsent» presque rien, jusqu'au quark *t*, qui est presque aussi lourd qu'un noyau d'or.

Sur ces questions et beaucoup d'autres, le modèle standard ne dit rien. Ainsi, malgré une longue histoire de réussites éclatantes, le ➤