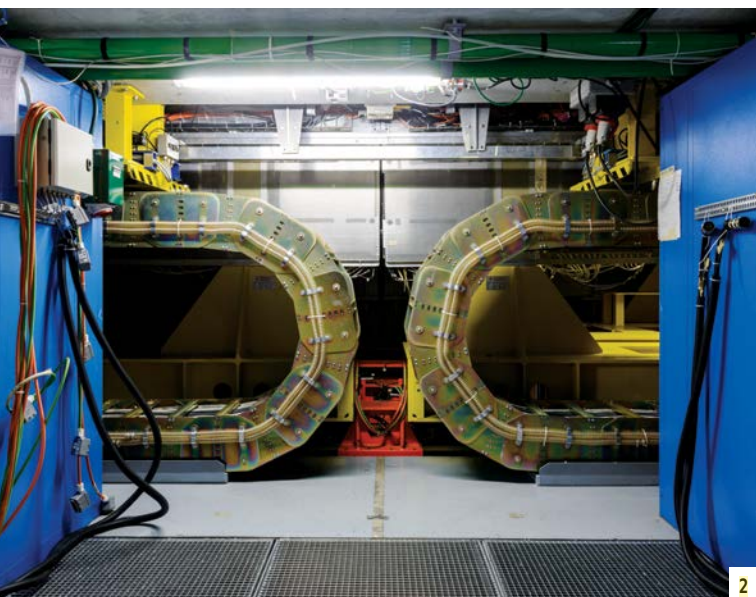
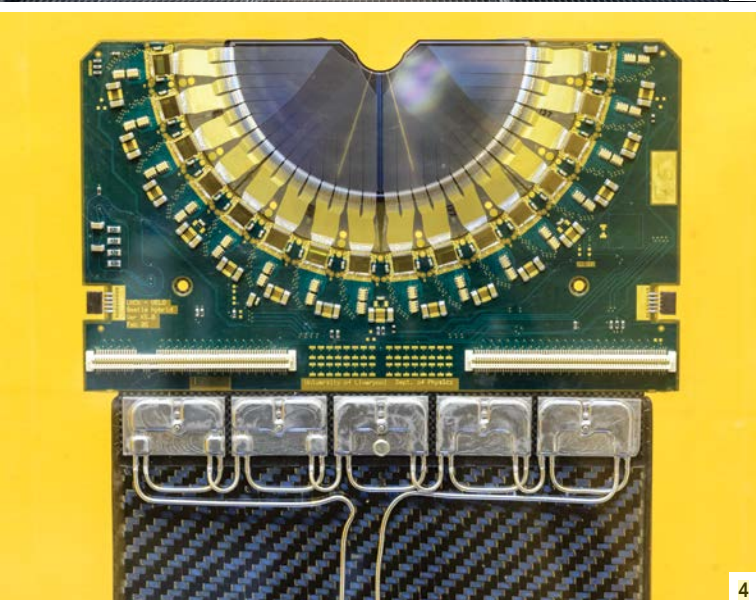


LES DIVERSES FACETTES DE LHCb

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 Wipac

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 >

Le modèle standard n'est clairement qu'une approximation, la face visible d'une théorie plus fondamentale dont nous espérons qu'elle apportera des solutions à toutes ces énigmes. L'objectif de l'expérience *LHCb*, comme celui d'*Atlas*, de *CMS* et de nombreuses autres dans le monde, est de découvrir des éléments de cette théorie plus complète sous la forme de nouvelles particules non incluses dans le modèle standard, mais prédites par cette théorie plus fondamentale.

Le Grand collisionneur de hadrons, qui abrite l'expérience *LHCb*, est un accélérateur circulaire de 27 kilomètres de long où deux faisceaux de protons de haute énergie circulent en sens opposés, à des vitesses proches de celle de la lumière. Dans *LHCb*, ces faisceaux entrent en collision jusqu'à 40 millions de fois par seconde. L'énergie accumulée quand les protons s'écrasent l'un sur l'autre peut donner naissance à des particules très différentes des protons de départ, par exemple des particules contenant des quarks *b*. Même si ces particules sont très éphémères, elles voient le jour et se désintègrent en d'autres particules plus stables, que les instruments de *LHCb* détectent tout en mesurant leurs caractéristiques (nature, énergie, etc.).

Bien que de taille modeste comparé à ses grands frères répartis sur l'anneau du LHC, le détecteur *LHCb* mesure tout de même une vingtaine de mètres de long et une dizaine de mètres de haut. Sa configuration allongée lui confère une apparence très différente des géométries cylindriques d'*Atlas* et de *CMS*. Cette géométrie étirée a été choisie pour optimiser l'étude des hadrons beaux.

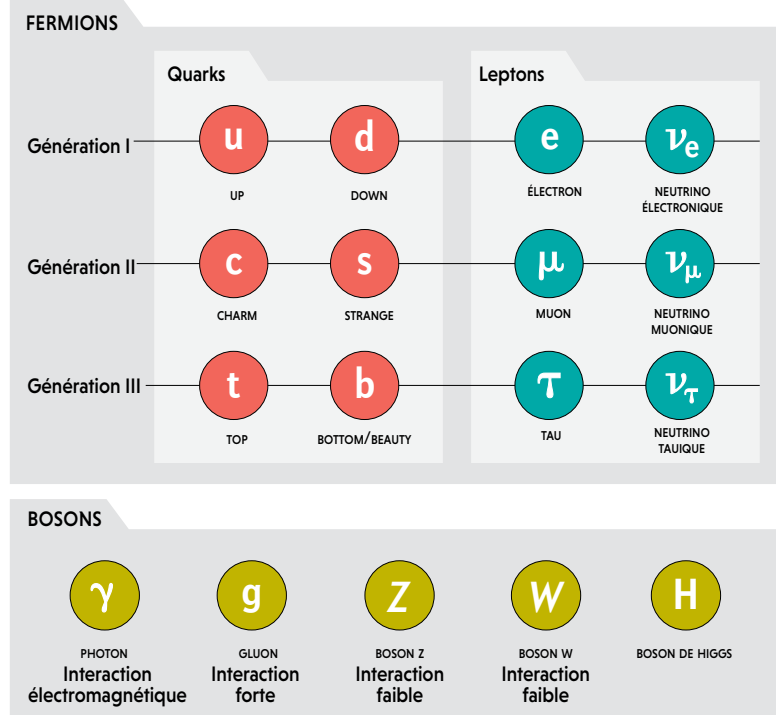
En effet, quand des hadrons beaux se forment au LHC, seule une petite partie de l'énergie accumulée dans la collision des protons est convertie en masse, car les hadrons beaux sont relativement légers (en unités d'énergie, autour de 5 GeV, ou gigaélectronvolts, ce qui est juste un peu plus lourd qu'un noyau d'hélium). L'excédent d'énergie tend à projeter les hadrons beaux nouvellement créés vers l'avant par rapport au point de collision, sur une trajectoire très proche des faisceaux de protons, d'où cette configuration allongée vers l'avant des détecteurs de l'expérience.

Même si son agencement est inhabituel, on retrouve dans *LHCb* beaucoup de composants utilisés dans les autres expériences : un gros aimant, des trajectographes pour reconstituer la trajectoire des particules produites lors des collisions et des calorimètres pour mesurer l'énergie des particules.

Plusieurs attributs sont cependant uniques à *LHCb* et ont été conçus spécifiquement pour la physique des particules de beauté. Par exemple, un détecteur au silicium de précision placé à juste 8 millimètres du

LE MODÈLE STANDARD

Le modèle standard décrit les particules élémentaires et leurs interactions (hors gravitation). Il inclut six quarks et six leptons (qui sont des « fermions », des particules de matière), ainsi que cinq bosons, qui véhiculent les forces fondamentales. Mais les physiciens pensent qu'il existe d'autres particules que celles du modèle standard ; ils tentent de les détecter grâce à des projets ambitieux tels que l'expérience *LHCb* (Large Hadron Collider beauty).



point de collision des protons permet de reconstituer avec précision le point de l'espace où les particules instables se désintègrent, un outil utile parce que les hadrons beaux se propagent typiquement vers l'avant sur un centimètre seulement avant de se désintégrer en un ensemble de particules plus légères. *LHCb* est également équipé d'un système Rich (Ring-Imaging Cherenkov), des détecteurs permettant d'identifier les particules produites lors de la désintégration des hadrons beaux. La nature des particules est déterminée à partir des motifs lumineux que nombre d'entre eux émettent en traversant ces détecteurs.

LA QUÊTE D'UNE NOUVELLE PHYSIQUE

Au cours de la première période d'exploitation du LHC, de 2010 à 2012, l'accélérateur a produit de l'ordre de 10^{12} hadrons beaux dans l'expérience *LHCb*. Ces particules se sont désintégrées de diverses façons, suivant des processus plus ou moins intéressants pour nous. En effet, nous recherchons des désintégrations susceptibles de servir de « poteaux indicateurs » d'une