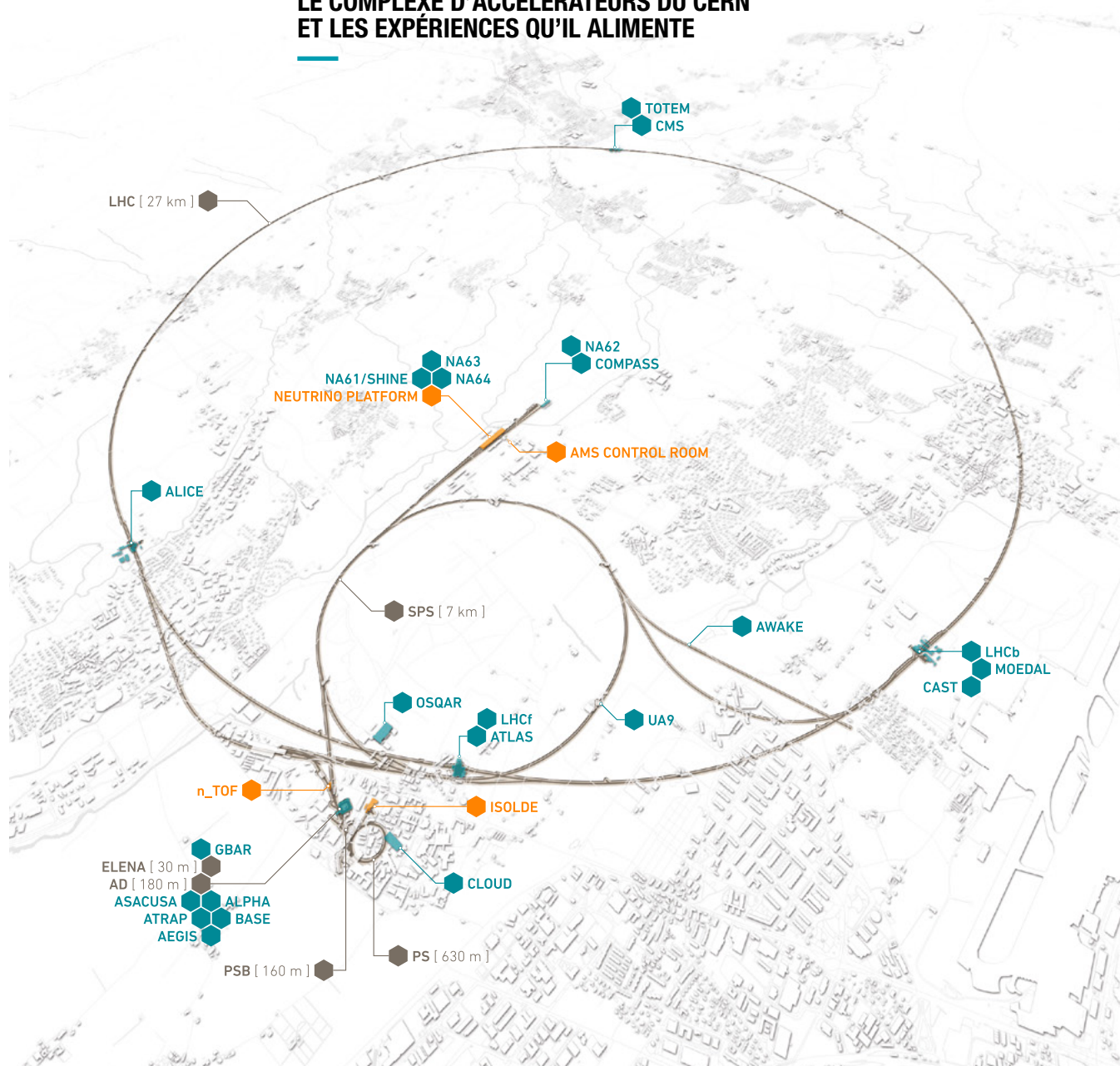


# EXPLORER LA NATURE DE L'UNIVERS

*Pour explorer l'infiniment petit, des physiciens du monde entier étudient au CERN des collisions de particules produites par des accélérateurs. Le Laboratoire compte un grand nombre d'expériences qui mènent des recherches pour mieux comprendre les constituants fondamentaux de la nature et les lois qui les régissent.*

## LE COMPLEXE D'ACCÉLÉRATEURS DU CERN ET LES EXPÉRIENCES QU'IL ALIMENTE

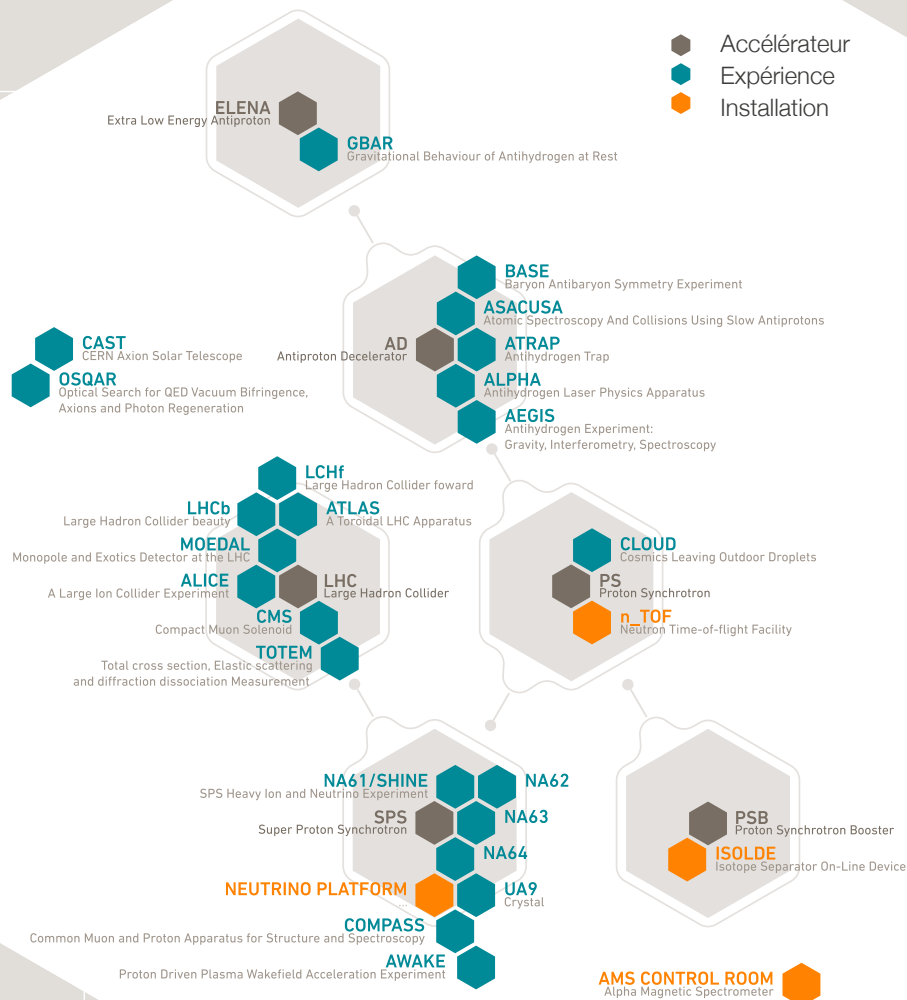


Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) est le collisionneur le plus puissant jamais construit ; il concentre une énergie de plusieurs téraélectronvolts (TeV) dans un minuscule espace d'un milliardième de milliardième de millimètre, ce qui permet aux physiciens d'explorer un territoire subatomique inconnu.

Installé dans un tunnel souterrain de 27 kilomètres de circonférence, le LHC génère chaque jour des dizaines de milliers de milliards de collisions proton-proton au centre de quatre grands détecteurs, ALICE, ATLAS, CMS et LHCb. Grâce aux excellents résultats du LHC en 2016 (voir p. 21), les expériences ont recueilli plus de 50 % de données de plus que prévu.

Des centaines d'analyses de physique ont été entreprises et plus de 300 publications scientifiques ont été produites par les expériences LHC pendant l'année ; plus de 100 nouveaux résultats ont été validés pour la conférence ICHEP qui s'est tenue mi-2016 à Chicago.

Le LHC ne pourrait toutefois pas fonctionner sans les accélérateurs plus petits qui l'alimentent et qui sont également utilisés par diverses expériences hors LHC ; celles-ci peuvent aller des tests de haute sensibilité sur l'antimatière à des mesures précises sur la formation des nuages dans l'atmosphère. Leurs résultats illustrent la richesse du programme de physique du CERN, qui a pour mission de comprendre les lois fondamentales de l'Univers.



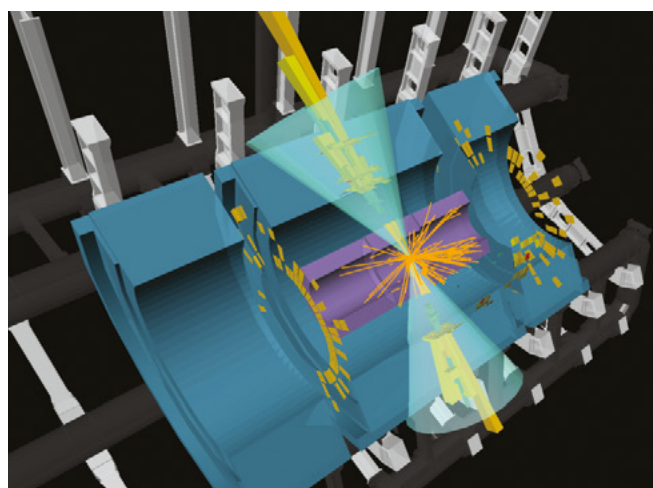


Des physiciens des expériences LHC discutent les analyses de données. Environ 10 000 physiciens participent à ces expériences. (OPEN-PHO-EXP-2017-002-1)

## AUX FRONTIÈRES DE L'ÉNERGIE

Le Modèle standard de la physique des particules regroupe l'ensemble des connaissances actuelles sur le comportement des particules élémentaires. Les physiciens ont pourtant de bonnes raisons de penser qu'il existe de nouvelles particules au-delà de celles décrites par le Modèle standard, d'autant que celui-ci ne décrit que 5 % de l'Univers (le reste étant composé de matière noire, invisible, et d'énergie noire). En 2016, deuxième année d'exploitation à l'énergie de 13 TeV, les expériences LHC ont poursuivi les recherches de nouveaux phénomènes, la caractérisation du boson de Higgs à 13 TeV et la compréhension des performances de leurs détecteurs à une énergie plus élevée. Les expériences polyvalentes ATLAS et CMS sont idéales pour chercher des signes directs de nouvelles particules. Leurs résultats concernant une « bosse » intrigante, observée pour la première fois dans les données de 2015 et semblant signaler la présence d'une particule d'environ 750 GeV de masse, étaient très attendus. L'analyse des données de 2016 a toutefois révélé que cette bosse était une fluctuation statistique ; elle a néanmoins mis en effervescence la communauté des théoriciens et fait redoubler les efforts pour rechercher de nouveaux phénomènes dans cette région de masses.

ATLAS et CMS ont également présenté des résultats sur de nombreux autres phénomènes nouveaux, qui pourraient par exemple être liés à des dimensions supplémentaires de l'espace ou à de nouvelles symétries fondamentales de la nature. La recherche de particules supersymétriques dans les données, avec notamment de nouvelles limites



Un événement « dijet » sélectionné par ATLAS dans sa quête de phénomènes nouveaux. Les deux jets centraux (jaune) ont une masse combinée de 4,6 TeV. On y voit également les dépôts d'énergie dans les calorimètres et les trajectoires reconstituées dans le détecteur interne. (ATLAS-PHOTO-2016-014-8)

de production pour les « gluinos » et les « squarks » et les premières limites pour les neutralinos (partenaires supersymétriques des bosons de jauge neutres, du photon et de la particule de Higgs) à 13 TeV, a déjà repoussé les limites des masses au-delà de celles définies à des énergies de 7 et 8 TeV pendant la première exploitation du LHC, entre 2010 et 2013. D'autres recherches ont porté sur de possibles nouveaux bosons de Higgs aux propriétés différentes. Des recherches plus générales sur la nouvelle physique, par exemple la quête de résonances « dijet » et « dilepton », de particules lourdes à longue durée de vie, et de candidats à la matière noire, ont aussi avancé. Aucune trace n'ayant été détectée, ATLAS et CMS ont pu restreindre les propriétés possibles de ces particules.

L'expérience MoEDAL, à côté de LHCb, a publié les résultats de sa quête des monopôles magnétiques, particules portant une charge magnétique unique prédites par Paul Dirac dans les années 1930. Aucun monopôle n'ayant été observé, la collaboration MoEDAL a présenté des limites inédites sur la production de certains types de ces particules hypothétiques. Le LHC a fonctionné jusqu'en décembre, et les expériences LHC ont poursuivi l'analyse des données, en quête d'indices de l'existence de nouvelles particules et de nouveaux phénomènes.

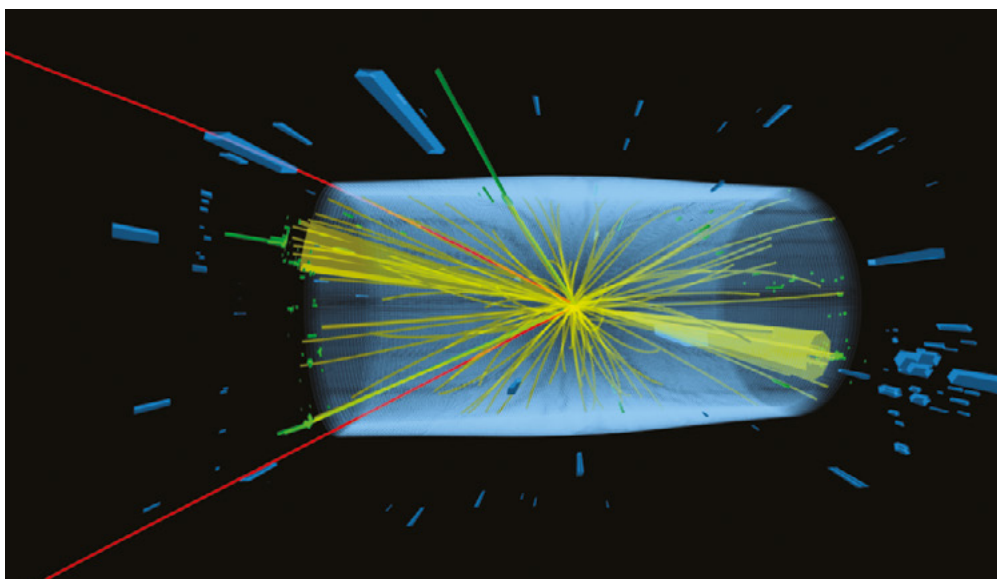
## LE BOSON DE HIGGS ET LE MODÈLE STANDARD

Découvert par ATLAS et CMS en 2012, presque 50 ans après avoir été prédit, le boson de Higgs est la dernière pièce du puzzle du Modèle standard. C'est aussi une particule scalaire, élément fondamentalement différent des autres particules telles que les quarks, et donc lié à de nombreuses questions ouvertes de la physique. D'abord repéré à une énergie de 8 TeV pendant la première période d'exploitation du LHC, le boson de Higgs a été observé à nouveau par ATLAS et CMS lors de la deuxième période, à 13 TeV, au taux prédit par le Modèle standard et avec un niveau de signification total supérieur. Vu la nature unique de ce boson, les principaux objectifs sont maintenant d'observer de nouveaux modes de sa production et de sa désintégration, et d'obtenir des mesures plus précises de ses couplages avec les autres particules. De nombreuses mesures ont été présentées cette année par ATLAS et CMS, en particulier lors de la conférence ICHEP. Elles ont confirmé les conclusions selon lesquelles, dans la limite des incertitudes statistiques actuelles, les propriétés du boson de Higgs observé sont telles que prédites par le Modèle standard.

Plusieurs mesures précises d'autres processus du Modèle standard ont été réalisées à partir des données de la première exploitation, un ensemble de données très bien connu et étalonné, y compris des mesures à quelques pour cent près de sections efficaces inclusives, qui ont exigé

des théoriciens des calculs de l'ordre sous-dominant. ATLAS a aussi annoncé la première mesure de la masse du boson W à partir des données du LHC avec une précision de 0,023 %, précision semblable à celle de la meilleure mesure unique obtenue par d'autres collisionneurs. Les deux expériences ont publié de nouvelles mesures du quark top, dont sa masse, sa largeur et la section efficace de la production de paires. Le quark top, particule élémentaire la plus lourde, présente un intérêt particulier pour la recherche de nouveaux phénomènes. Vu le volume de données recueilli lors de la deuxième période d'exploitation, les études de précision pourront progresser encore et permettre de vérifier tout écart entre théorie et expérimentation susceptible d'être un signe de physique au-delà du Modèle standard.

LHCb, qui étudie les particules contenant des quarks beauté, cherche des failles dans les processus du Modèle standard. L'énergie plus élevée de la deuxième exploitation ayant entraîné une augmentation de la section efficace des hadrons de saveurs beauté et charme, l'expérience a plus que doublé le nombre de désintégrations recueillies et obtenu de nouveaux résultats qui améliorent la précision des mesures dans le domaine des saveurs. LHCb a par exemple réalisé la première observation de la désintégration très rare  $B^0 \rightarrow K^+K^-$ , avec un rapport d'embranchement de  $8 \times 10^{-8}$ , soit la désintégration de beauté purement hadronique la plus rare jamais observée. La collaboration a également rapporté la première mesure de la polarisation du photon dans les désintégrations de mésons  $B_s$ . Elle étudie encore des écarts, par rapport au Modèle standard, de variables du domaine des saveurs, intrigants mais encore peu significatifs. En 2016, NA62 a débuté la prise de données. L'expérience produit des kaons grâce à un faisceau de protons du Supersynchrotron à protons (SPS) pour chercher des désintégrations extrêmement rares. Les désintégrations de kaons étant prédites précisément par le Modèle standard, tout écart entre les taux prédits et les mesures peut avoir des conséquences, en particulier pour la symétrie CP (charge et parité). NA62 a recueilli un gros volume de données, correspondant à presque 10 % des statistiques totales nécessaires, et fonctionnera encore au moins deux ans.



*Collision proton-proton à 13 TeV dans le détecteur CMS, montrant des signes caractéristiques de la désintégration d'un boson de Higgs en deux électrons de haute énergie (vert), deux muons de haute énergie (rouge) et deux jets de haute énergie (cônes jaunes). (CMS-PHO-EVENTS-2016-007-3)*

## La théorie a le vent en poupe

En 2016, le département de théorie a obtenu d'importants résultats, donnant lieu à 262 publications, dans divers domaines : la prédiction théorique la plus précise de la section efficace de production du boson de Higgs, qui constitue une contribution significative à la physique du LHC ; l'analyse systématique des effets non linéaires dans les oscillations acoustiques baryoniques, qui sont des observables cruciaux en cosmologie pour l'étude de l'énergie noire et de la

contrainte de masse sur les neutrinos ; la détermination précise du contenu en photons des protons de haute énergie, qui contribue à réduire les incertitudes sur certaines prédictions théoriques en rapport avec la physique du LHC ; l'exploration des théories de démultiplication « *clockwork* », qui proposent un mécanisme induisant la production de particules plus légères en raison d'une atténuation exponentielle des interactions. Le CERN est un centre névralgique pour la communauté mondiale de la théorie. Il a accueilli 772 scientifiques,

vingt-cinq instituts de théorie et huit ateliers en 2016. Les membres de l'équipe Théorie ont contribué à tous les groupes de travail sur la physique du LHC et ont dirigé des recherches importantes sur les possibilités de physique d'un collisionneur de hadrons de 100 TeV dans le cadre d'une étude sur un futur collisionneur circulaire. Ils sont également à l'origine d'initiatives pour lancer de nouvelles recherches de physique, à la fois dans le cadre de la plateforme neutrino et du groupe de travail sur la physique au-delà des collisionneurs (voir p. 48 et 49).

## UNE PHYSIQUE FORTE

La force forte, qui assure la cohésion des protons et des autres hadrons, est un sujet complexe. L'étude de sa nature, décrit par la chromodynamique quantique (QCD, un pilier du Modèle standard), permet aux physiciens d'étendre leur connaissance de la matière nucléaire et d'enquêter sur la boule de feu chaude et dense apparue immédiatement après le Big Bang, il y a 13,7 milliards d'années. Pour étudier ce plasma quarks-gluons, ils font entrer en collision dans le LHC des particules plus lourdes, en général des ions plomb. Un plasma quarks-gluons est alors formé, pendant moins de  $10^{-22}$  seconde, puis ce système en interaction se refroidit et se désintègre en hadrons. Ce bref moment laisse néanmoins une empreinte significative sur les distributions de particules de l'état final mesurées par les détecteurs.

L'expérience ALICE utilise les exploitations avec des ions lourds pour tenter de décrire l'évolution du plasma quarks-gluons. En 2016, la collaboration a présenté 25 articles et préparé environ 30 nouveaux résultats, présentés lors de conférences de premier plan sur les ions lourds. Ces résultats couvraient trois grands thèmes. Le premier concerne les anisotropies azimutales dans la production de particules se formant en raison du flux du plasma quarks-gluons, sur lesquelles ALICE a publié des premiers résultats issus des données de la deuxième exploitation, et des mesures plus précises des corrélations des anisotropies azimutales, permettant de faire la distinction entre les contributions des premières étapes de la collision et la dynamique du flux du plasma quarks-gluons. Le deuxième porte sur des mesures des quarkoniums, états liés de quarks lourds, qui se dissolvent dans le plasma quarks-gluons chaud, mais qui peuvent aussi être formés par la recombinaison d'un quark charmé et d'un anti-quark charmé dans le plasma quarks-gluons. Le troisième thème concerne les mesures par « sonde dure », qui utilisent des particules énergétiques et des jets pour étudier le plasma quarks-gluons.

Toutes les mesures montrent que l'énergie de collision plus élevée de la deuxième exploitation (5,02 TeV par paire de nucléons, contre 2,76 TeV lors de la première exploitation)

produit un plasma quarks-gluons plus chaud, dont la durée de vie pourrait être légèrement plus longue. Les mesures plus précises du flux et des corrélations du flux permettent d'identifier d'autres propriétés du plasma quarks-gluons, notamment sa viscosité, avec une précision croissante. Les quatre expériences LHC participent désormais au programme d'ions lourds. Cette année, ATLAS a détecté la diffusion lumière-lumière dans les puissants champs électriques générés lors de collisions périphériques d'ions lourds, et CMS a présenté plusieurs résultats, parmi lesquels l'observation de propriétés collectives dans des collisions proton-proton et une étude des effets anormaux de chiralité dans les collisions proton-plomb.

D'autres expériences étudient les motifs des hadrons issus du plasma quarks-gluons. La plupart sont des cousins exotiques de particules nucléaires connues qui composent la matière ordinaire. En 2016, LHCb a annoncé l'observation de trois nouveaux hadrons exotiques et confirmé l'existence d'un quatrième en analysant l'intégralité des données de la première exploitation. Ces particules seraient des « tétraquarks », formés de deux quarks et deux antiquarks, nouvel état dont l'interprétation théorique est encore à l'étude. LHCb et CMS ont conjointement recherché, sans confirmer son existence, un tétraquark repéré récemment par l'expérience D0 au Fermilab, aux États-Unis.

*Le détecteur LHCb dans sa caverne. (CERN-PHOTO-201609-209-2)*



## CLOUD fait progresser la climatologie

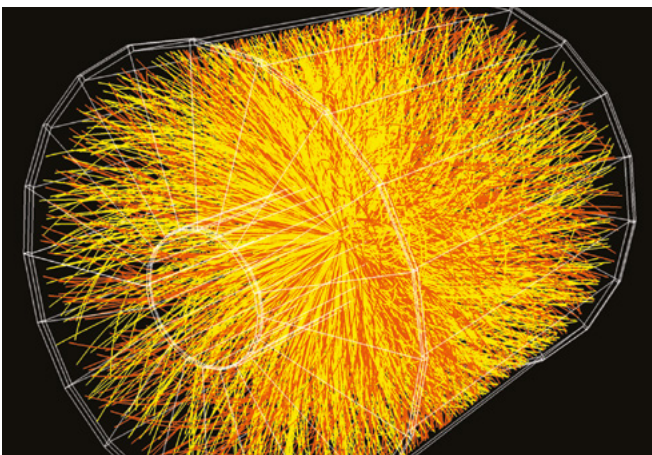
À l'avenir, les prévisions climatiques reposeront sur des bases empiriques plus solides grâce à des mesures de la production et du taux de croissance des particules d'aérosol de l'atmosphère publiées en 2016 par l'expérience CLOUD (*Cosmics Leaving OUtdoor Droplets*).

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), si la quantité de dioxyde de carbone double dans l'atmosphère d'ici à 2050, la température terrestre médiane devrait augmenter de 1,5 à 4,5 °C. L'une des principales causes de l'incertitude de ces prévisions de températures est le manque de connaissances sur les particules d'aérosol dans l'atmosphère et leurs effets sur les nuages. Pour la production d'aérosols, tous les modèles de climat utilisent des paramétrisations relativement simples qui ne sont pas fondées sur des données expérimentales.

En mesurant la formation des aérosols en conditions atmosphériques dans un environnement contrôlé en laboratoire, CLOUD a découvert les principaux processus responsables de la formation de nouvelles particules dans la troposphère, source d'environ la moitié des particules qui sont à l'origine de la formation des nuages. Dans un article publié en 2016, la collaboration a démontré que des particules peuvent se former à partir de vapeurs organiques produites naturellement par la biosphère. CLOUD a également publié le tout premier modèle sur les aérosols fondé exclusivement sur des mesures de laboratoire, qui se rapproche des observations atmosphériques. Les taux de production mesurés de ces processus atmosphériques subtiles peuvent à présent être utilisés dans les modèles de circulation pour déterminer avec plus de précision les prévisions de températures mondiales.



Les faisceaux de particules du Synchrotron à protons (PS) sont injectés dans l'environnement contrôlé et ultra-propre de CLOUD afin de simuler l'ensemencement des nuages. (CERN-EX-1310264-03)



Représentation d'une collision plomb-plomb enregistrée par le détecteur ALICE, dans laquelle un total de 3 161 particules chargées ont été détectées. (ALICE-PHO-GEN-2016-001-3)

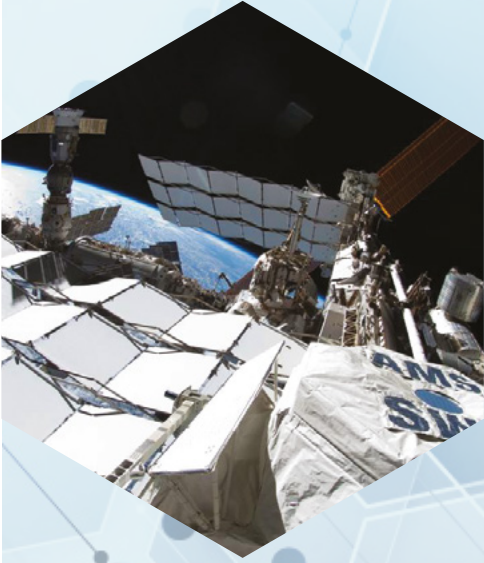
L'expérience DIRAC, qui étudie les hadrons instables produits à partir d'un faisceau du Synchrotron à protons (PS), a observé un nouveau type d'atome exotique, composé d'un pion et d'un kaon, permettant de tester la chromodynamique quantique aux basses énergies. Deux expériences du SPS ont livré de nouveaux résultats permettant de mieux comprendre des aspects obscurs de la force forte. L'installation COMPASS a réalisé des mesures de processus exclusifs pour l'étude des distributions partoniques généralisées, essentielles pour comprendre des contributions de la chromodynamique quantique au LHC. L'expérience NA61/Shine a recueilli ses premières données pour l'étude sur la production de particules avec des cibles neutrino.

## LES FACÉTIES DE L'ANTIMATIÈRE

La fabrication au CERN des premiers antiatomes en 1995 a marqué le début d'une ère de tests visant à déterminer si l'antimatière se comporte comme la matière ordinaire. Dans le cas contraire, cela pourrait être le signe d'une violation des symétries fondamentales, comme la symétrie charge-parité-temps (CPT), et donc de l'existence d'une nouvelle physique au-delà du Modèle standard. Le Décélérateur d'antiprotons (AD) héberge cinq expériences sur l'antimatière, une sixième étant en phase de construction. L'une d'elles, BASE, a annoncé en décembre avoir conservé des antiprotons plus d'un an, un record de durée de vie de l'antimatière dans l'Univers. Stocker l'antimatière en la maintenant à basse température permet de réaliser des mesures plus précises de ses propriétés.

En 2016, l'expérience ALPHA a atteint un des buts poursuivis depuis des années par la communauté de l'antimatière : la première mesure du spectre de l'antihydrogène, ouvrant ainsi la voie à la spectroscopie de précision et à de nouveaux tests de la symétrie CPT. Dans le même temps, la collaboration ASACUSA a réalisé la mesure la plus précise à ce jour du rapport de masses antiproton sur électron. Ces mesures, avec celles réalisées par ATRAP, BASE et ALPHA, ramènent les limites concernant les différences de masse et de charge entre protons et antiprotons, et entre électrons et positons, à moins d'un milliardième. Les expériences AEGIS et GBAR vont tester l'effet de la gravité sur l'antimatière et le nouvel anneau ELENA a été installé (p. 47).

## Résultats de l'espace



Le Spectromètre magnétique alpha (AMS) est un détecteur de physique des particules de pointe arrimé à la Station spatiale internationale.

Située à bord de la Station spatiale internationale et exploitée à partir d'un centre de contrôle au CERN, l'expérience AMS a publié cette année d'importants résultats sur les rayons cosmiques. AMS est une expérience de physique des particules unique, qui étudie les rayons cosmiques en dehors de l'atmosphère pour rechercher la matière noire, l'antimatière et d'autres entités exotiques. Cette année a marqué la fin d'une première collecte de données de cinq ans, avec la publication de plusieurs articles importants. Les derniers résultats portent sur la détection de 17,6 millions d'électrons et de positons et de 350 000 antiprotons. Conformément aux précédentes mesures, le flux de positons présente de grandes différences avec le flux d'électrons. Ces mesures requièrent une interprétation théorique précise pour déterminer si elles trouvent leur origine dans les collisions de matière noire ou dans de nouvelles sources astrophysiques. Les dernières données d'AMS révèlent aussi que les flux de protons, d'hélium et de lithium dévient tous de la traditionnelle dépendance, selon une loi de puissance unique, à une « rigidité » d'environ 300 GV, ce qui est complètement inattendu. La dernière mesure effectuée par AMS du rapport des abondances de bore et de carbone réserve aussi des surprises, et les attentes concernant l'élucidation de la nature des rayons cosmiques sont grandes.

Trouver des différences, même infimes, entre l'antimatière et la matière pourrait permettre d'expliquer pourquoi on ne peut voir que la matière à l'échelle cosmologique alors que, au moment du Big Bang, matière et antimatière étaient présentes en quantité égale. Détecter une violation de CP est un prérequis pour comprendre ce déséquilibre. C'est pourquoi l'expérience LHCb recherche particulièrement de nouvelles manifestations de cette légère asymétrie. En 2016, LHCb a démontré pour la première fois la violation de CP dans les baryons et a publié la mesure la plus précise de l'angle gamma du triangle d'unitarité, qui caractérise l'ampleur de la violation de CP dans le Modèle standard.

Des recherches de haute précision de la violation de CP dans le système charmé ont également été menées, sans qu'aucun signe ait été clairement observé. L'analyse des données restantes de la deuxième période d'exploitation sera déterminante pour résoudre ces questions fondamentales.



## FAISCEAUX EXOTIQUES

Les faisceaux de particules du CERN sont utilisés pour étudier la matière, mais aussi pour alimenter des expériences de physique nucléaire fondamentale, pour la production d'isotopes médicaux et pour la science des matériaux. En 2016, l'installation de faisceaux exotiques ISOLDE a mené à bien 46 expériences pour des utilisateurs étudiant différents domaines : la structure nucléaire (23 %), les désintégrations (20 %), la diffusion/excitation coulombienne (23 %), l'astrophysique nucléaire (7 %), la science des matériaux (11 %), et la biophysique et la médecine. La principale avancée de l'année a été la réalisation de la première phase d'HIE-ISOLDE, permettant d'accélérer des faisceaux très divers à l'énergie de 5,5 MeV par nucléon.

L'année a commencé avec la production d'un échantillon de  ${}^7\text{Be}$  à ISOLDE, qui a permis aux chercheurs de l'installation n\_TOF d'étudier une réaction intéressante dans le cadre de l'énigme du lithium cosmologique. D'après les observations astronomiques, l'Univers contient beaucoup moins de lithium-7 que ce que prédit la théorie de la nucléosynthèse, période qui a immédiatement suivi le Big Bang et au cours de laquelle les éléments les plus légers se sont formés. En étudiant une réaction particulière, liée à la production de lithium-7, n\_TOF a obtenu une mesure directe du taux de réaction, pouvant aider à comprendre l'absence de lithium cosmique. Par ailleurs, en science des matériaux, d'importants résultats sur la nature du dopage dans les semiconducteurs au nitrure ont été obtenus, ainsi que des données sur le mouillage de surface du graphène.

L'expérience ALPHA piège des atomes d'antihydrogène et les illumine au moyen de lasers afin de modifier leurs propriétés électroniques. (CERN-PHOTO-201603-070-11)

## L'avenir de la physique avec les insaisissables neutrinos



Les neutrinos restent l'un des sujets les plus prometteurs dans la quête d'une nouvelle physique depuis que l'on a découvert, il y a près de 20 ans, qu'ils peuvent osciller et possèdent donc une masse. La plateforme neutrino inaugurée en 2014 a été mise en place afin de servir de point d'ancrage pour la communauté du neutrino en Europe. Elle accueille des travaux de R&D sur les technologies des détecteurs dans le cadre de projets menés hors d'Europe. D'importants progrès ont été réalisés en 2016, avec l'achèvement de l'extension du hall EHN1 dans la zone Nord et la construction des cryostats pour les prototypes de chambres à projection temporelle à argon liquide (en phase simple et en phase double) de l'expérience DUNE. La rénovation des deux modules ICARUS et la construction de leurs nouveaux cryostats est achevée. L'équipement sera expédié au Fermilab aux États-Unis en 2017 pour être intégré à l'expérience d'oscillations de neutrinos à courte distance. La plate-forme neutrino accueille aussi la construction du spectromètre Baby-MIND qui sera utilisé pour une expérience neutrino au Japon. Pour appuyer ces efforts, un groupe neutrino a été mis en place dans le département Physique expérimentale, et un groupe de travail est consacré aux études sur les neutrinos dans le département Physique théorique.

*Prototype de détecteur élaboré au CERN pour l'expérience DUNE aux États-Unis, qui recevra les neutrinos envoyés par le Fermilab, à 1 300 km de là. (CERN-PHOTO-201612-306-19)*



*Un robot manipule les échantillons permettant de produire les différents isotopes pour les installations de physique nucléaire MEDICIS et ISOLDE.*

*(OPEN-PHO-EXP-2016-013-3)*

L'installation CERN MEDICIS, située en aval d'ISOLDE, devrait commencer à produire des isotopes à partir de 2017, pour une utilisation à des fins de diagnostic et de traitement de certains cancers.

## LE CÔTÉ OBSCUR DE LA NATURE

Il existe peut-être des aspects de l'Univers que nous ne percevons pas. En complément des recherches directes de nouvelles particules par le LHC, qui pourraient permettre de résoudre le mystère de la matière noire dans l'Univers, les physiciens ont mis au point des expériences dont le but est de percer les secrets du vide.

En 2016, NA64, une nouvelle expérience auprès du SPS, a rendu compte d'une recherche directe (en-deçà du GeV)

de photons noirs, particules qui se désintègreraient de manière invisible en particules de matière noire en laissant dans le détecteur une signature manifestée par une énergie manquante. Aucune trace de ce type de désintégration n'a été observée, ce qui a permis à NA64 de définir de nouvelles limites aux propriétés du photon noir, en particulier sa capacité d'expliquer l'écart, connu de longue date, qui existe entre les mesures effectuées et les prédictions du moment magnétique anomal du muon.

L'expérience CAST, qui traque les hypothétiques axions au moyen d'un puissant aimant pointé vers le Soleil, a lancé un nouveau programme de mesures de trois ans. Dans ce cadre, CAST recherche les caméléons, candidats à l'énergie sombre, en utilisant un détecteur pixellisé et un capteur de force. La recherche d'axions, quant à elle, se fait au moyen d'une cavité résonnante.