

Le CERN et le boson de Higgs

Qu'est-ce que le mécanisme de Brout-Englert-Higgs ?

Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs (ou mécanisme BEH) décrit la façon dont les particules fondamentales acquièrent leur masse. Selon cette théorie, développée de façon indépendante en 1964 par Robert Brout et François Englert, en Belgique, et par Peter Higgs, au Royaume-Uni, les particules fondamentales acquièrent une masse en interagissant avec un champ présent dans tout l'Univers. Plus ces particules interagissent fortement

avec le champ, plus elles seront massives. En revanche, les particules qui n'interagissent pas avec ce champ n'ont pas de masse ; c'est le cas, par exemple, du photon. Ce mécanisme est à la base du Modèle standard, la théorie qui décrit les particules élémentaires et les forces qui agissent sur elles. Plus tard, en 1964, les Américains Gerald Guralnik et Carl Hagen et leur collègue britannique Tom Kibble ont approfondi plus avant cette nouvelle idée.

Qu'est-ce que le boson de Higgs ?

Le boson de Higgs est la particule quantique associée au champ de Higgs. Dans la mesure où le champ ne peut pas être observé directement, les expériences ont recherché cette particule dont la découverte prouvait l'existence du champ. Le 4 juillet 2012, les collaborations ATLAS et CMS ont annoncé l'observation d'une particule

dont les caractéristiques étaient compatibles avec celles du boson de Higgs tant attendu. Les analyses réalisées depuis lors par les deux collaborations ont confirmé que la particule découverte a les caractéristiques du boson décrit par la théorie.

Pourquoi est-ce si important ?

Au début des années 1970, les physiciens ont compris qu'il y avait des liens très étroits entre deux des quatre forces fondamentales, la force faible et la force électromagnétique. Ces deux forces peuvent être décrites dans le cadre d'une théorie unifiée, qui constitue la base du Modèle standard. Les équations fondamentales de la théorie unifiée décrivent de façon correcte les deux forces sous la forme d'une force électrofaible et de ses particules porteuses de force associées - à savoir le photon et les

bosons W et Z -, sauf qu'aucune de ces particules ne semble avoir de masse. Or si le photon a effectivement une masse nulle, nous savons que les particules W et Z ont une masse très élevée, équivalente à près de 100 fois la masse d'un proton. Le mécanisme de Brout-Englert-Higgs résout ce problème en donnant une masse aux bosons W et Z. Parallèlement, dans le cadre du Modèle standard, le mécanisme confère une masse aux autres particules fondamentales, comme l'électron et les quarks.

Le mécanisme de Higgs est-il responsable de la masse telle que nous la connaissons tous ?

Le champ de Higgs ne donne leur masse qu'aux particules élémentaires telles que les électrons et les quarks. Les quarks forment les protons et les neutrons à l'intérieur du noyau atomique. La plus grande part de la masse de la matière qui nous entoure (et qui nous compose) vient de ces protons et neutrons composites. Les quarks qu'ils contiennent ne représentent qu'une partie minuscule de leur masse, qui provient essentiellement de la force

nucléaire forte qui lie les quarks entre eux. Cependant, sans le champ de Higgs, l'Univers ne serait pas tel que nous le connaissons. Les particules élémentaires, telles que les électrons, se déplaceraient à la vitesse de la lumière, comme le font les photons. Ces particules ne pourraient pas s'organiser en structures plus complexes telles que les atomes et les molécules, et nous n'existerions pas.



Depuis combien de temps le CERN recherche-t-il le boson de Higgs ?

La recherche du boson de Higgs au CERN a réellement commencé à la fin des années 1980, au LEP (Grand collisionneur électron-positon), qui abrite le tunnel qui héberge actuellement le LHC (Grand collisionneur de hadrons). Au cours des années 1990, les expériences menées auprès du collisionneur Tevatron, au laboratoire Fermi, aux États-Unis, avaient également pour but la

recherche du boson de Higgs. La grande difficulté était qu'initialement la théorie ne prédisait pas la masse de la particule, qui pouvait donc se trouver en un point quelconque d'une vaste gamme de masses. Le LEP a été arrêté en 2000 pour céder la place au LHC et les expériences LHC ont repris cette recherche en 2010.

Est-ce la fin de la quête pour les physiciens ?

La découverte du boson de Higgs ne met pas un terme aux recherches ; les physiciens doivent étudier cette particule en détail afin de pouvoir mesurer ses propriétés. De plus, bien des questions restent sans réponse. Par exemple, quelle est la nature de la matière noire, qui

forme une grande partie de l'Univers ? Pourquoi y a-t-il bien plus de matière que d'antimatière dans l'Univers, alors que matière et antimatière ont été produites en égale quantité au début de l'Univers ? Et bien d'autres questions encore...

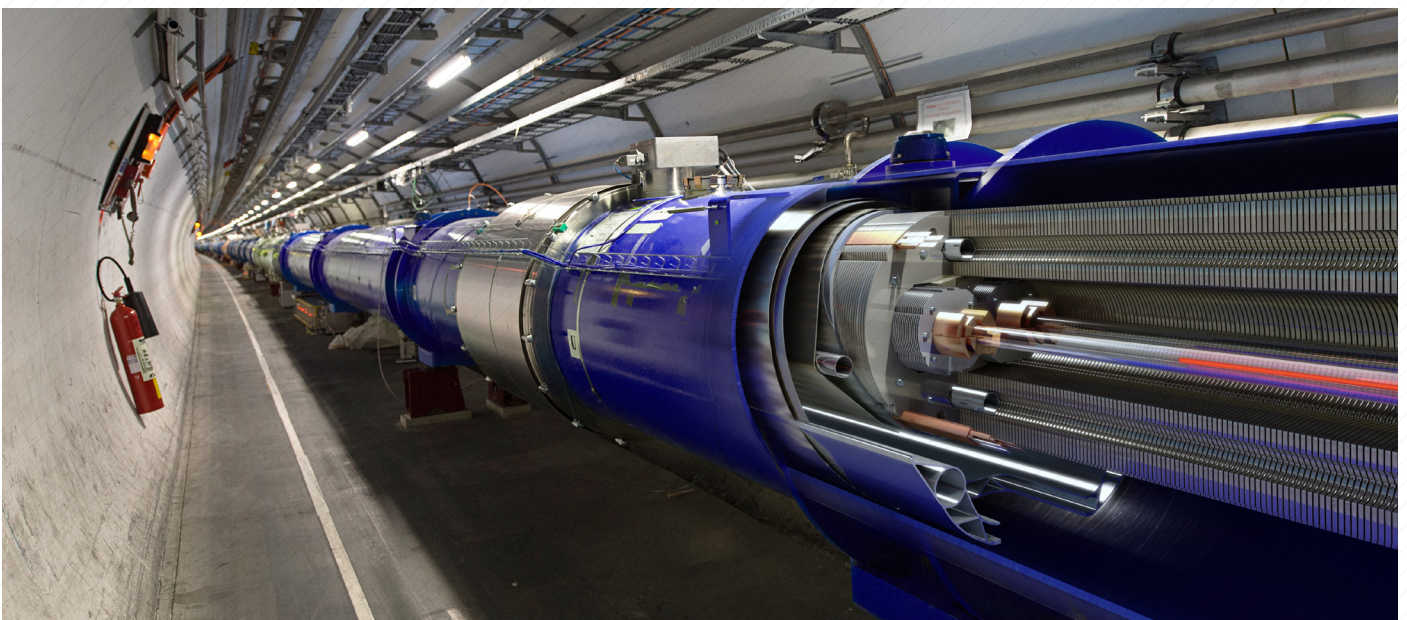
Quelques données sur le LHC

Le LHC est l'accélérateur de particules le plus puissant du monde ; il fait entrer en collision des protons à une énergie record, au centre de quatre grandes expériences, ALICE, ATLAS, CMS et LHCb. Le LHC a également réalisé des collisions d'ions plomb pendant de courtes périodes. L'anneau du LHC, de 27 km de circonférence, est constitué de plusieurs milliers d'aimants supraconducteurs, refroidis à -271°C et situés dans un tunnel enterré 100 m sous terre, à proximité de Genève. Le LHC a fonctionné à une énergie de collision de 7 TeV pendant deux ans, puis de 8 TeV pendant 1 an. Il a ensuite été stoppé début 2013 pour un premier long arrêt. Au cours de ses premières années d'exploitation, le LHC a produit jusqu'à 600 millions de collisions par seconde, ce qui a permis aux expériences d'enregistrer un énorme volume de données (plus de

25 pétaoctets par an, soit l'équivalent de plus de 5 millions de DVD). Les données sont stockées et analysées par une collaboration d'envergure planétaire, la Grille de calcul mondiale pour le LHC (WLCG), qui relie entre eux 300 000 cœurs de processeurs dans 160 centres de calcul à travers le monde.

Les premiers projets concernant le LHC se sont fait jour en 1984 et sa construction a été approuvée par le Conseil du CERN en 1996. La construction de la machine et de ses expériences a commencé peu après.

Près de 8000 scientifiques, ingénieurs et étudiants de près de 100 nationalités participent aux expériences du LHC.





Quelques données concernant ATLAS

ATLAS est l'un des deux détecteurs polyvalents auprès du LHC. Il explore un large éventail de domaines de la physique, allant de la recherche du boson de Higgs à celle d'autres dimensions, en passant par la quête des particules qui pourraient constituer la matière noire. Mesurant 46 m de long, 25 m de haut et 25 m de large, et

pesant 7000 tonnes, le détecteur ATLAS est le détecteur de particules le plus volumineux jamais construit. Il se situe dans une caverne, à 100 m sous terre, à proximité du site principal du CERN et de la commune de Meyrin (Suisse). Trois mille scientifiques de 177 instituts dans 38 pays participent à la collaboration ATLAS.

Quelques données concernant CMS

Le détecteur CMS (solénoïde compact pour muons) est un détecteur polyvalent auprès du LHC. Il est conçu pour explorer un large éventail de domaines de la physique, allant de la recherche du boson de Higgs à celle d'autres dimensions, en passant par la quête des particules qui pourraient constituer la matière noire. Bien que ses buts scientifiques soient les mêmes que ceux de l'expérience ATLAS, la collaboration CMS a

opté pour d'autres solutions techniques et un système magnétique de conception différente. Le détecteur dans son ensemble mesure 21 mètres de long, 15 mètres de large et 15 mètres de haut. Le détecteur se trouve 100 m sous terre à proximité du village de Cessy (France). Deux mille six cents scientifiques de 182 instituts dans 42 pays participent à CMS.

Qu'est-ce que le CERN ?

- Le CERN, Organisation européenne pour la Recherche nucléaire, est le plus éminent laboratoire de recherche en physique des particules du monde. Il a été fondé en 1954.
- Il compte 20 États membres : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Slovaquie, la Suède et la Suisse. La Roumanie a le statut de candidat à l'adhésion. Israël et la Serbie sont États membres associés en phase préalable à l'adhésion. La Commission européenne, les États-Unis d'Amérique, la Fédération de Russie, l'Inde, le Japon, la Turquie et l'UNESCO ont le statut d'observateur.
- 2 500 employés, ressortissants des États membres, 900 boursiers et attachés scientifiques et 11 000 utilisateurs scientifiques d'environ 100 nationalités effectuent des recherches à l'aide des outils scientifiques (accélérateurs et détecteurs) mis au point par le CERN et exploités au Laboratoire.
- Budget : 1 200 millions de CHF en 2013
- Le CERN fait fonctionner un complexe de 8 accélérateurs, dont le plus gros est le LHC. Ces accélérateurs alimentent de nombreuses expériences dont les expériences auprès du LHC.
- Les missions du CERN sont de repousser les limites de la connaissance, de développer de nouvelles technologies, de former les scientifiques et les ingénieurs de demain et d'unir des peuples de différentes nations et de différentes cultures à travers la science.

Y a-t-il déjà eu des prix Nobel attribués pour des travaux effectués au CERN ?

Carlo Rubbia et Simon van der Meer ont reçu le prix Nobel de physique en 1984 pour « leurs contributions décisives au grand projet qui a conduit à la découverte des particules de champ W et Z, véhicules de l'interaction faible. »

Georges Charpak a reçu le prix Nobel de physique en 1992 pour « l'invention et la mise au point de détecteurs de particules, en particulier la chambre proportionnelle multifils ». Les détecteurs de particules élaborés par Charpak ont révolutionné la physique expérimentale des particules en augmentant considérablement le volume de données susceptibles d'être enregistrées par les détecteurs.

