

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 130 (2004)
Heft: 12: Cern construction du LHC

Artikel: Quelques compléments sur la physique de LHC
Autor: Dobay, Akos
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99317>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Quelques compléments sur la physique du LHC

Un peu à la manière d'un abécédaire, ce texte donne un rapide aperçu du Modèle Standard, le modèle qui décrit actuellement avec le plus de précision la structure de la matière à l'échelle atomique, ainsi qu'un survol des techniques de détection utilisées pour observer les particules.

L'anneau du LHC

Le LHC (Large Hadron Collider), le grand collisionneur de particules hadroniques, constitue une nouvelle étape dans la recherche fondamentale en physique des particules : celle qui consiste à décrire et à comprendre la structure de la matière à l'échelle de ses constituants premiers et remonter ainsi aux origines de notre univers. Le LHC est conçu pour accélérer deux faisceaux de *protons* (p) à une énergie de 14 TeV (Tera électron-Volt) dans le centre de masse de la collision, ce qui est environ 70 fois supérieur aux performances de son prédécesseur le LEP (Large Electron Positron collider). La fréquence de croisement entre les deux faisceaux sera de 40 MHz, chaque faisceau transportant en permanence environ 2 000 « paquets » de protons. A chaque croisement se produiront environ vingt collisions entre protons, ce qui engendrera quelque 800 millions de collisions par seconde.

Ce tour de force a été rendu possible grâce à la réalisation de puissants aimants supraconducteurs qui produisent chacun un champ magnétique de 9 teslas (fig. 1, page 8). Ces aimants sont fabriqués à l'aide de fils supraconducteurs tressés ensemble à travers lesquels on fait passer un courant de 12 000 ampères. Les aimants doivent être maintenus à une température de 1,9°K, soit environ 271°C au-dessous de zéro. Ces très basses températures sont assurées par de l'hélium liquide et un vide poussé pour isoler des échanges thermiques. Ce vide règne aussi à l'intérieur de la cavité où circule le faisceau.

Grâce à ce dispositif, il est possible d'accélérer des particules plus lourdes que celles qui étaient utilisées dans le LEP, tout en conservant l'ancienne architecture de l'anneau. En effet, le contrôle de la courbure du faisceau se fait par le biais d'un champ magnétique B : le rayon de courbure R est inver-

sement proportionnel à l'intensité du champ magnétique. Si B augmente, R diminue. Ainsi, à courbure constante, on peut augmenter la masse ou l'énergie des particules. En revanche, les effets de radiations deviennent plus importants, raison pour laquelle les cavernes expérimentales seront fermées pendant le fonctionnement de l'accélérateur.

Le Modèle Standard en physique des particules

Le Modèle Standard constitue à l'heure actuelle le cadre théorique dans lequel est conçue la physique des particules élémentaires et de leurs interactions. Ce modèle s'inscrit dans le prolongement d'une quête qui remonte à l'époque des Grecs - traditionnellement on cite les noms de Démocrite et Leucippe - dont la conception de la matière reposait sur l'idée de particules insécables et crochues qui, par la déclinaison de leur trajectoire, s'accrochaient de temps à autre pour former la matière composée. Aujourd'hui, les physiciens des particules conçoivent la matière comme formée de *quarks* et de *leptons*, tenus ensemble par des forces fondamentales appelées fortes, faibles et électromagnétiques. La gravitation, si faible à cette échelle, ne joue pratiquement aucun rôle. Les forces d'interactions sont véhiculées par des particules virtuelles appelées *bosons*, par opposition aux particules de matière, les quarks et les leptons, appelées *fermions*. Que sont ces nouvelles particules ?

Au fil de leurs expériences, les physiciens ont fini par mettre à jour un nombre sans cesse croissant de particules, toutes ayant des propriétés similaires à celles du proton ou du neutron, mais avec de légères variations. Alors que le proton et le neutron représentaient ce qu'il y avait de plus élémentaire, ces observations suggéraient l'existence d'une sous-structure interne composée. C'est ainsi que la première génération de quarks appelés *up* (u) et *down* (d) est apparue. Il existe actuellement six sortes de quarks différents, classées en trois générations successives, suivant la chronologie de leur découverte et de leur masse (tab. A, page 8). Le dernier quark, le *top* (t), fut observé en 1995 sur un autre accélérateur de particules, le Tevatron au Fermilab, près de Chicago.

Fig. 1 : Partie de l'aimant supraconducteur du LHC (Photo JP)

Quarks	up (u) down (d)	charm (c) strange (s)	top (t) bottom (b)
Leptons	électron (e) ν_e (e-neutrino)	muon (μ) μ (μ -neutrino)	tau (τ) τ (τ -neutrino)
Génération	I	II	III



La première génération constitue la matière stable, alors que les autres générations apparaissent à des niveaux d'énergie supérieurs et forment des particules dont la durée de vie est beaucoup plus courte.

Le Modèle Standard dénombre six leptons - lepton signifiant léger en grec - dont le représentant le plus connu est l'électron (*e*). Le lepton n'a encore révélé aucune structure interne.

Le tableau ci-dessus résume la vision moderne des constituants premiers de la matière et remplace, de fait, l'image encore courante de l'atome constitué d'un noyau de protons et de neutrons avec des électrons gravitant autour. La diversité des « atomes » repose sur la combinaison de ces douze particules élémentaires et leur antiparticule associée. Une antiparticule se distingue de sa particule par une charge opposée. Un exemple est l'électron (négatif) et le positron (positif) : leur masse est identique, mais leur signe est opposé. Les règles de composition des quarks divisent la matière en deux groupes d'*hadrons* - hadron signifiant lourd en grec : les *mésons* et les *baryons*. Les mésons sont constitués d'un quark et d'un antiquark, alors que les baryons sont composés de trois quarks.

Dans le Modèle Standard, les quarks véhiculent des propriétés quantiques. Ainsi le quark *strange* (*s*) confère l'« étrangeté ». La particule Ω^- , par exemple, est composée de trois quarks (*s*) ce qui en fait la particule la plus « étrange » dans le Modèle Standard. Le Modèle Standard est une théorie qui prédit les propriétés quantiques des particules, mais ne tient pas compte de leur masse. La masse est obtenue par un mécanisme *ad hoc* - qui correspond déjà à une extension du Modèle Standard - connu sous le nom de *mécanisme de Higgs*, auquel est aussi associée une particule du même nom : le *boson de Higgs*. Un des défis majeurs du LHC est de mettre en évidence ce mécanisme à partir de la particule qui lui est associée. Au vu de la fréquence des collisions, le LHC devrait permettre de produire par jour environ un événement indiquant la présence du boson de Higgs.

Les détecteurs de particules

Contrairement à ce que l'on pourrait penser - compte tenu de la taille des objets à étudier -, les dimensions d'un détec-

teur de particules sont immenses (voir figure 1, page 18). Le futur détecteur CMS (Compact Muon Solenoid) du LHC, par exemple, occupe un volume équivalent à un immeuble de quatre étages environ, soit 3800 m³ pour un poids total de 12 500 tonnes. Les techniques actuelles ont été optimisées de façon à permettre une détection aussi directe et rapide que possible et afin de traiter l'énorme quantité d'informations engendrées au cours d'une collision. Les détecteurs sont subdivisés en sous-détecteurs, dont chacun a une fonction bien spécifique.

Une des étapes consiste à repérer la trajectoire des particules secondaires créées lors d'une collision. Pour cette partie de la détection, on utilise des « chambres à fils » (dont il existe maintenant plusieurs sortes) et, dans les détecteurs modernes, des fines plaques de silicium. Déposées côte à côte, ces plaques constituent une « pixellisation » de l'espace. Le principe de fonctionnement d'une chambre à fils est l'ionisation d'un gaz au passage d'une particule. Les électrons sont arrachés à leur noyau et sont accélérés dans une différence de potentiel, entraînant dans leur mouvement une cascade d'autres électrons avoisinants. Ces électrons dérivent le long des lignes de champ pour être ensuite collectés dans un fil conducteur qui produit un courant à l'endroit même de l'ionisation. Cette technique apporte une information sur la trajectoire des particules : elle n'est pas utilisée, en principe, pour connaître leur énergie. Dans le cas des plaques de silicium, la dérive des électrons est induite par tension établie entre les deux bords de la plaque de silicium. Les électrons sont collectés sur un des bords de la plaque et produisent un signal électrique.

La mesure de l'énergie et de la quantité de mouvement des particules se font dans des calorimètres dits électromagnétiques ou hadroniques, suivant le type d'interactions de la particule à détecter. Dans le calorimètre électromagnétique, les atomes qui constituent le calorimètre interagissent avec les électrons et les photons de la particule incidente. La particule incidente est freinée dans le cristal et l'énergie est désintégrée en lumière selon le schéma suivant :



Ces particules secondaires en excitent d'autres pour finalement former ce qu'on appelle une *gerbe*. La gerbe est détectée à l'aide de photodiodes ou de photomultiplicateurs, puis convertie en un courant électrique proportionnel à l'énergie de la particule incidente.

Les calorimètres hadroniques sont similaires, dans leur principe de fonctionnement, aux calorimètres électromagnétiques, à la différence près que la détection repose sur l'interaction forte entre les noyaux du calorimètre et la particule incidente. Les particules qui véhiculent l'interaction forte se désintègrent ensuite en photons qui à leur tour produisent une gerbe électromagnétique.

Il ne faut pas oublier que la reconstruction d'une collision est basée sur l'ensemble des informations fournies par tous les sous-détecteurs, et que les informations manquantes dans un sous-détecteur peuvent être complétées à l'aide d'un autre. De même que les particules secondaires qui échappent à toutes observations peuvent être déduites grâce aux lois de conservation telles que la conservation de la quantité de mouvement ou encore la conservation de l'énergie totale lors d'une collision.

Akos Dobay, dr ès sciences
Laboratoire d'analyse ultrastructurale
UNIL, CH - 1015 Lausanne

Pour en savoir plus :

MURRAY GELL-MANN : « Le quark et le jaguar », Flammarion, 1997

DANIEL HUSSON : « Les quarks, histoire d'une découverte », L'Esprit des sciences, Ed. Ellipses, 2000

JEAN-PAUL AUFFRAY : « L'atome », Flammarion, 1997



Compétence multimarque

D'accord. Nous ne sommes que la deuxième plus grande entreprise d'ascenseurs de Suisse.

Pour l'entretien et la modernisation d'ascenseurs des différentes fabrications, nous sommes par contre le numéro 1 incontesté.

Peut-être que c'est la raison pour laquelle le CERN nous a choisi comme partenaire.

Parlons ensemble.

 **AS Ascenseurs**

www.lift.ch