

LHC Saison 2

Chiffres clés

Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) est le plus puissant accélérateur de particules jamais construit. Il se trouve au CERN, l'Organisation européenne pour la Recherche nucléaire, dans un tunnel situé à 100 mètres sous terre, de part et d'autre de la frontière franco-suisse, près de Genève (Suisse).



QU'EST-CE QUE LE LHC ?

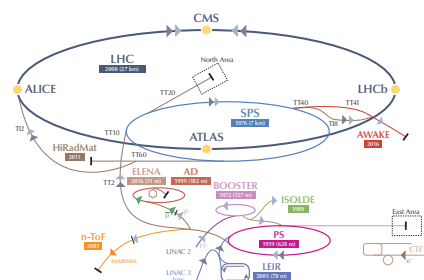
Le LHC est un accélérateur de particules qui accélère des protons ou des ions à une vitesse proche de celle de la lumière. Il consiste en un anneau de 27 kilomètres de circonférence composé essentiellement d'aimants supraconducteurs et équipé de structures accélératrices qui augmentent l'énergie des particules qui y circulent.

POURQUOI EST-IL APPELÉ « GRAND COLLISIONNEUR DE HADRONS » ?

- « Grand » fait référence à ses dimensions, environ 27 km de circonférence.
- « Collisionneur » parce qu'il permet à deux faisceaux de particules se déplaçant en sens opposé d'entrer en collision en quatre points de la machine.
- « Hadrons » parce qu'il accélère des protons ou des ions, qui appartiennent à la famille de particules appelées hadrons.

COMMENT FONCTIONNE LE LHC ?

La chaîne d'accélérateurs du CERN se compose d'une succession d'accélérateurs d'énergies croissantes. Chaque machine accélère un faisceau de particules à une énergie déterminée avant de l'injecter dans la machine suivante. Celle-ci porte alors le faisceau à une énergie encore plus élevée, et ainsi de suite. Le LHC est le dernier maillon de cette chaîne, celui où les faisceaux atteignent leur plus haute énergie.



• À l'intérieur du LHC, deux faisceaux de particules se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière, avant d'entrer en collision. Les faisceaux circulent en sens inverse, dans des tubes distincts placés sous ultravide. Ils sont guidés le long de l'anneau de l'accélérateur par un puissant champ magnétique, maintenu par des aimants supraconducteurs ; au-dessous d'une température spécifique, certains matériaux deviennent en effet supraconducteurs et n'offrent alors aucune résistance au passage du courant électrique. Pour tirer parti de ce phénomène, les aimants du LHC sont par conséquent refroidis à $-271,3^{\circ}\text{C}$ (1,9 K), une température plus froide que celle de l'espace intersidéral. L'accélérateur est donc relié à un grand système de distribution d'hélium liquide, qui refroidit les aimants, ainsi qu'à d'autres systèmes annexes.

QUELS SONT LES OBJECTIFS PRINCIPAUX DU LHC ?

Le Modèle standard de la physique des particules est une théorie élaborée au début des années 1970 et qui décrit les particules fonda-

mentales et leurs interactions. Elle prédit avec exactitude une grande variété de phénomènes et est parvenue à expliquer, jusqu'à présent, presque tous les résultats des expériences en physique des particules. Mais le Modèle standard est incomplet. Il laisse sans réponse de nombreuses questions, auxquelles le LHC contribuera à apporter des éléments d'explication.

• **D'où vient la masse ?** Le Modèle standard n'explique pas l'origine de la masse, ni pourquoi certaines particules sont très lourdes alors que d'autres ne possèdent aucune masse. Cependant, les théoriciens Robert Brout, François Englert et Peter Higgs ont proposé une théorie pour résoudre ce problème : les particules acquièrent une masse à travers le mécanisme de Brout-Englert-Higgs, en interagissant avec un champ invisible, dit « champ de Higgs », présent dans tout l'Univers. Celles qui interagissent fortement avec le champ de Higgs sont lourdes, celles qui n'interagissent que faiblement sont légères. À la fin des années 1980, les physiciens ont commencé à chercher le boson de Higgs, la particule associée au champ de Higgs. En juillet 2012, le CERN a annoncé la découverte du boson de Higgs, qui confirmait l'existence du mécanisme de Brout-Englert-Higgs. Cette découverte ne représente cependant pas la fin de cette aventure, car les chercheurs doivent étudier le boson de Higgs en détail afin de mesurer ses propriétés et d'observer ses désintégrations rares.



• **La supersymétrie existe-t-elle ?** Le Modèle standard n'offre pas une description unifiée de l'ensemble des forces fondamentales. En effet, il est difficile d'élaborer une théorie de la gravité similaire aux théories des autres forces. La supersymétrie, théorie fondée sur l'hypothèse qu'il existe pour chaque particule standard connue un partenaire plus massif, pourrait faciliter l'unification des forces fondamentales.

• **Que sont la matière noire et l'énergie noire ?** La matière que nous connaissons et qui constitue toutes les étoiles et les galaxies ne représente que 4 % du contenu de l'Univers. La chasse aux particules ou aux phénomènes responsables de la matière noire (23 %) et de l'énergie noire (73 %) reste donc ouverte.

• **Où est passée l'antimatière ?** Lors du Big Bang, matière et antimatière ont dû être produites en quantités égales, mais d'après ce que nous avons pu observer jusqu'à présent, notre Univers n'est constitué que de matière.

• **Comment était la matière au tout début de notre Univers ?** Tous les ans, sur certaines périodes, le LHC fait entrer en collision des ions plomb pour recréer des conditions similaires à celles qui prévalaient immédiatement après le Big Bang. En effet, lorsque des ions lourds entrent en collision à des énergies élevées, ils forment pendant un instant le plasma quarks-gluons, une « boule de feu » constituée de matière chaude et dense qui peut être étudiée par les expériences.

COMMENT LE LHC A-T-IL ÉTÉ CONÇU ?

Les scientifiques ont commencé à imaginer le LHC au début des années 1980, alors que l'accélérateur précédent, le LEP, n'était pas encore en fonction. En décembre 1994, le Conseil du CERN a approuvé la construction du LHC, et en octobre 1995 l'étude de conception technique du LHC a été publiée.

Des contributions du Japon, des États-Unis, de l'Inde et d'autres États non membres ont accéléré le processus et, entre 1996 et 1998, quatre expériences (ALICE, ATLAS, CMS et LHCb) ont été officiellement approuvées. Les travaux de construction ont alors commencé sur les quatre sites.

LE LHC À 13 TeV : CHIFFRES CLÉS

Caractéristique	Valeur
Circonférence	26659 m
Température d'exploitation des dipôles	1,9 K (-271,3°C)
Nombre d'aimants	9593
Nombre de dipôles principaux	1232
Nombre de quadripôles principaux	392
Nombre de cavités radiofréquence	8 par faisceau
Énergie nominale, mode protons	6,5 TeV
Énergie nominale, mode ions	2,56 TeV/u (énergie par nucléon)
Énergie nominale, collisions de protons	13 TeV
Nombre de paquets par faisceau de protons	2808
Nombre de protons par paquet (au départ)	1,2 x 10 ¹¹
Nombre de tours par seconde	11245
Nombre de collisions par seconde	1 milliard

COMBIEN COÛTE LE LHC ?

• Coûts de construction (en millions de francs suisses)

	Personnel	Matériel	Total
Machine et zones LHC*	1224	3756	4980
Détecteurs (part du CERN)	869	493	1362
Informatique LHC (part du CERN)	85	83	168
Total	2178	4332	6510

* Inklus : R&D sur la machine, injecteurs, tests et pré-exploitation

• Coût de la première période d'exploitation

Les coûts du LHC pendant l'exploitation (coûts directs et indirects) représentent environ 80 % du budget annuel du CERN pour les opérations, la maintenance, les arrêts techniques, les réparations et les travaux de consolidation, en personnel et en matériel (pour la machine, les injecteurs, l'informatique et les équipements). Les ressources directement allouées pour les années 2009 à 2012 étaient d'environ 1,1 milliard de francs suisses par an.

• Coût du premier long arrêt (LS1)

Le coût du premier long arrêt (d'une durée de 22 mois) est estimé à environ 150 millions de francs suisses.

Les travaux de maintenance et d'amélioration représentent environ 100 millions de francs suisses pour le LHC et 50 millions de francs suisses pour la chaîne d'accélérateurs hors LHC.

QUELS SONT LES DÉTECTEURS DU LHC ?

Il y a sept expériences installées dans le LHC: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, TOTEM et MoEDAL. Ces expériences utilisent des détecteurs pour analyser la myriade de particules produites lors des collisions dans l'accélérateur. Elles sont conduites par des collaborations de chercheurs provenant d'instituts du monde entier. Chacune est différente et se caractérise par ses détecteurs.

QUEL EST LE FLUX DE DONNÉES PROVENANT DES EXPÉRIENCES LHC ?

Le Centre de Calcul du CERN enregistre plus de 30 pétaoctets de données provenant des expériences du LHC, un volume qui pourrait remplir environ 1,2 million de disques Blu-ray, ce qui représente 250 années de vidéo haute définition. Plus de 100 pétaoctets de données sont archivés de façon permanente, sur bande.

QUELLE EST LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ DU LHC ?

La consommation totale d'électricité du LHC (et des expériences) équivaut à 600 GWh par an, et a atteint un pic de 650 GWh en 2012, quand le LHC a fonctionné à une énergie de 4 TeV. Pour la deuxième période d'exploitation, la consommation d'électricité est estimée à 750 GWh par an.

La consommation totale d'électricité du CERN est de 1,3 TWh par an ; par comparaison, la production totale d'énergie électrique est environ de 20 000 TWh dans le monde, de 3 400 TWh dans l'Union européenne, de 500 TWh en France, et de 3 TWh dans le canton de Genève.

QUELLES SONT LES PRINCIPALES RÉUSSITES DU LHC À CE JOUR ?

• **10 septembre 2008** : premier faisceau dans le LHC

• **23 novembre 2009** : premières collisions dans le LHC

• **30 novembre 2009** : record mondial avec une énergie par faisceau de 1,18 TeV

• **16 décembre 2009** : record mondial avec des collisions à une énergie de 2,36 TeV, et un volume important de données enregistrées

• **Mars 2010** : premiers faisceaux à 3,5 TeV (19 mars) et premières collisions à haute énergie, à 7 TeV (30 mars)

• **8 novembre 2010** : premiers faisceaux d'ions plomb dans le LHC

• **22 avril 2011** : le LHC établit un nouveau record mondial d'intensité de faisceaux

• **5 avril 2012** : premières collisions à 8 TeV

• **4 juillet 2012** : annonce de la découverte au CERN d'une particule aux caractéristiques compatibles avec celles du boson de Higgs

• **28 septembre 2012** : Tweet du CERN : « Objectif atteint pour le LHC en 2012 avec 15 fb⁻¹ (~un million de milliards) de collisions pour ATLAS et CMS »

• **14 février 2013** : à 7 h 24 du matin, les derniers faisceaux pour la physique sont extraits de la machine, ce qui marque la fin de la première période d'exploitation et le début du premier long arrêt

• **8 octobre 2013** : le prix Nobel de physique est attribué à François Englert et Peter Higgs pour « la découverte théorique du mécanisme contribuant à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques et récemment confirmée par la découverte, par les expériences ATLAS et CMS auprès du LHC du CERN, de la particule fondamentale prédite par cette théorie »

QUELS SONT LES PRINCIPAUX OBJECTIFS DE LA DEUXIÈME PÉRIODE D'EXPLOITATION DU LHC ?

La découverte du boson de Higgs n'était que le premier chapitre de l'histoire du LHC. Le redémarrage de la machine cette année marque en effet le début d'une nouvelle aventure, car le LHC fonctionnera à une énergie pratiquement deux fois supérieure à celle de sa première exploitation. Grâce aux travaux effectués pendant le premier long arrêt, le LHC pourra désormais produire des collisions à 13 TeV (6,5 TeV par faisceau), ce qui permettra aux physiciens d'aller plus loin dans la compréhension de la nature de notre Univers.

COMBIEN DE TEMPS DURERA L'EXPLOITATION DU LHC ?

Il est prévu que le LHC fonctionne pendant les 20 prochaines années, avec plusieurs arrêts pour des travaux d'amélioration et de maintenance.