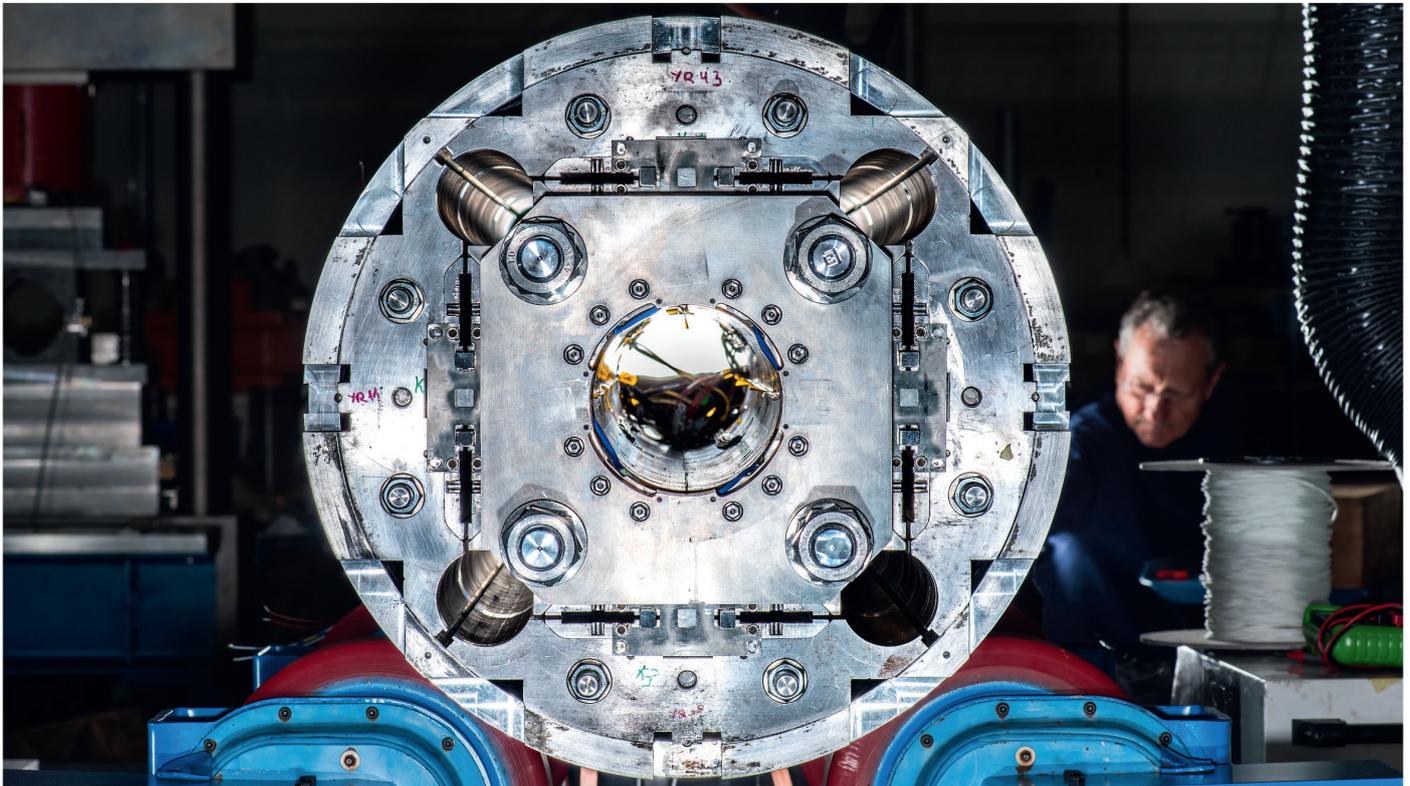


Le LHC à haute luminosité : un nouvel horizon pour les sciences et les technologies

Le LHC à haute luminosité (HL-LHC, pour High-Luminosity LHC) est une amélioration majeure du Grand collisionneur de hadrons (LHC). Le LHC fait entrer en collision d'infimes particules de matière (protons) à une énergie de 13 TeV pour étudier les composants élémentaires de la matière et les forces qui les relient. Le LHC à haute luminosité permettra de poursuivre ces études de manière plus détaillée, en augmentant d'un facteur cinq à dix le nombre de collisions.



Prototypage d'un aimant quadripôle pour le LHC à haute luminosité. (Image : Robert Hradil, Monika Majer/ProStudio22.ch)

QU'EST-CE QUE LA LUMINOSITÉ ?

La luminosité est une caractéristique essentielle d'un collisionneur, indiquant le nombre de collisions susceptibles de se produire par unité de surface et en un temps donné. La luminosité cumulée se mesure en femtobarns inverses (fb^{-1}), un femtobarn inverse représentant 100 millions de millions de collisions. D'ici à la fin de ses premières années d'exploitation à l'énergie de 13 TeV (fin 2018), le LHC devrait avoir produit 150 femtobarns inverses de données. Le HL-LHC produira plus de 250 femtobarns inverses de données par an, et sera capable d'accumuler jusqu'à 4 000 femtobarns inverses.

POURQUOI LA HAUTE LUMINOSITÉ ?

Les phénomènes recherchés par les physiciens ont une probabilité très faible de se produire. C'est pourquoi les physiciens ont besoin d'une très grande quantité de données pour les déceler. Augmenter la luminosité permet de produire plus de données pour étudier les mécanismes connus en détail et observer de nouveaux phénomènes très rares qui pour-

raient se manifester. À titre d'exemple, le LHC à haute luminosité produira chaque année au moins 15 millions de bosons de Higgs, contre environ trois millions en 2017.

COMMENT FONCTIONNERA LE LHC À HAUTE LUMINOSITÉ ?

Accroître la luminosité suppose d'augmenter le nombre de collisions : au moins 140 collisions se produiront à chaque fois que les paquets de particules se croiseront au cœur des détecteurs ATLAS et CMS, contre environ 40 actuellement. Pour y parvenir, le faisceau devra être plus intense et plus concentré que celui du LHC. De nouveaux équipements devront être installés sur environ 1,2 kilomètre des 27 kilomètres du LHC.

• Des aimants de focalisation plus puissants et une nouvelle optique

De nouveaux aimants quadripôles supraconducteurs plus puissants seront installés de part et d'autre des expériences ATLAS et CMS. Ils concentreront les paquets de particules avant leur croisement. Ces

aimants seront formés d'un composé supraconducteur, le niobium-étain, utilisé pour la première fois dans un accélérateur, et qui permet d'atteindre des champs plus élevés que l'alliage niobium-titane utilisé pour les aimants actuels du LHC (12 teslas contre 8 teslas). Vingt-quatre nouveaux aimants quadripôles sont en cours de fabrication.

L'utilisation d'aimants formés de niobium-étain permettra d'éprouver cette technologie pour les futurs accélérateurs. Une nouvelle optique de faisceau (la manière dont les faisceaux sont orientés et concentrés) permettra notamment de maintenir le taux de collisions à un niveau constant pendant toute la durée de vie du faisceau.

• Des « cavités-crabe » pour orienter les faisceaux

Ces équipements supraconducteurs novateurs donneront une impulsion transversale aux paquets de particules avant qu'ils ne se croisent de manière à élargir la surface de recouvrement de deux paquets et donc



d'accroître la probabilité de collisions. Seize cavités-crabe seront installées de part et d'autre de chacune des expériences ATLAS et CMS.

• **Une protection de la machine renforcée**

Les faisceaux contenant plus de particules, la protection de la machine doit être renforcée. Une centaine de nouveaux collimateurs, plus efficaces, seront installés en remplacement ou en complément des collimateurs existants. Ces équipements absorbent les particules qui s'éloignent de la trajectoire du faisceau et qui pourraient endommager la machine.

• **Des aimants de courbure plus compacts et plus puissants**

Deux aimants de courbure actuels seront remplacés par deux paires d'aimants de courbure plus courts et deux collimateurs. Formés du composé supraconducteur niobium-étain, ces nouveaux aimants dipôles généreront un champ magnétique de 11 teslas contre 8,3 teslas pour les aimants actuels, et incurveront donc la trajectoire des protons sur une distance plus courte.

• **Des liaisons supraconductrices innovantes**

Des lignes électriques supraconductrices innovantes relieront les convertisseurs de puissance à l'accélérateur. Ces câbles d'une centaine de mètres de long sont formés d'un matériau supraconducteur fonctionnant à plus haute température que celui des aimants, le diborure de magnésium. Ils pourront transporter des courants avec des intensités records, jusqu'à 100 000 ampères !

• **Une chaîne d'accélération renouvelée**

Les performances du HL-LHC reposent aussi sur la chaîne d'injecteurs, les quatre accélérateurs qui pré-accélèrent les faisceaux, avant de les envoyer dans l'anneau de 27 kilomètres. Cette chaîne d'accélérateurs

est en cours d'amélioration. Un nouvel accélérateur linéaire, le Linac 4, premier maillon de la chaîne, est en phase de tests pour remplacer l'actuel Linac 2. Des améliorations sont également prévues sur le Booster du PS, le PS, et le SPS, les trois autres maillons de la chaîne d'accélération.

QUEL EST LE PLANNING DES TRAVAUX ?

Pour pouvoir installer les nouveaux équipements et déplacer certains composants, de nouvelles structures souterraines et bâtiments de surface sont nécessaires. Les travaux de génie civil ont démarré en avril 2018 sur le site du point 1 du LHC (à Meyrin, en Suisse), où l'expérience ATLAS est située, et sur le site du point 5 du LHC (à Cessy, en France), qui accueille l'expérience CMS. Sur chaque site, un puits d'environ 80 mètres sera creusé, ainsi qu'une caverne souterraine et une longue galerie de 300 mètres. Quatre tunnels de connexion permettront de relier la galerie au tunnel LHC. Cinq bâtiments de surface seront construits sur chaque site.

Pendant ce temps, les nouveaux équipements sont en cours de fabrication en Europe, au Japon et aux États-Unis. Le Canada et la Chine ont également fait part de leur intérêt pour rallier le projet et contribuer à la réalisation d'équipements de pointe. Les expériences préparent également des améliorations majeures de leur détecteur pour faire face à l'avalanche de données promise par le HL-LHC.

L'installation des premiers composants (les aimants de courbure de 11 teslas et leurs collimateurs, l'instrumentation de faisceau, certains collimateurs et le blindage) débutera durant le deuxième long arrêt technique du LHC, en 2019 et 2020. Mais l'installation de la plupart des équipements ainsi que les améliorations majeures des expériences interviendront au cours du troisième arrêt technique du LHC, entre 2024 et 2026.

COMBIEN COÛTERA LE LHC À HAUTE LUMINOSITÉ ?

Le budget matériel pour l'accélérateur est fixé à 950 millions de francs suisses entre 2015 et 2026, avec un budget du CERN constant.

QUI PARTICIPE AU PROJET ?

Le CERN avec ses États membres et États membres associés est épaulé par une collaboration internationale de 29 instituts dans 13 pays, dont les États-Unis et le Japon.

QUELLES SERONT LES RETOMBÉES POUR LA SOCIÉTÉ ?

Le HL-LHC permettra d'enrichir nos connaissances fondamentales, mission première du CERN. Pour mettre au point la nouvelle machine, le CERN pousse dans leurs retranchements plusieurs technologies comme l'électrotechnique, notamment les supraconducteurs, les technologies du vide, l'informatique, l'électronique ou encore les procédés industriels.

À long terme, ces innovations pourront avoir des retombées dans notre vie quotidienne. Par exemple, les aimants supraconducteurs trouvent des applications dans le domaine de l'imagerie médicale et du traitement du cancer avec des faisceaux de particules (hadronthérapie). De nombreux débouchés sont également envisagés dans le domaine de l'électrotechnique : les câbles en diborure de magnésium font ainsi l'objet d'une étude de l'industrie européenne pour le transport de grandes puissances électriques sur de grandes distances, respectueux de l'environnement.

Le projet HL-LHC contribue par ailleurs à former de nombreux scientifiques – physiciens, ingénieurs ou techniciens. Actuellement, environ 200 étudiants, doctorants, post-doctorants et boursiers de 23 nationalités différentes participent au projet.

