

dessus du zéro absolu). Les systèmes cryogéniques n'ont encore jamais été si importants.

En décembre 1994, le CERN a testé pendant 24 heures le fonctionnement d'un tronçon d'essai complet du LHC : le succès de l'expérience a montré que le choix technique était pertinent. Depuis, les essais ont reproduit dix années de fonctionnement du LHC (voir la figure 2).

Depuis l'abandon du Supercollisionneur supraconducteur, qui aurait communiqué aux particules une énergie de 40 téraélectronvolts, la plupart des projets de recherche en physique des hautes énergies se fondent sur les 14 téraélectronvolts du LHC. Au début des années 1990, alors que s'achevait la conception du Supercollisionneur supraconducteur, la stratégie envisagée pour le LHC – l'utilisation de faisceaux de particules très intenses – paraissait osée, parce que l'on ignorait comment les détecteurs suivraient toutes les particules engendrées par les collisions et comment ils supporteraient les radiations correspondantes. Aujourd'hui la détection semble bien maîtrisée, au moins théoriquement.

Les grandes intensités de faisceau du LHC ont nécessité des conceptions nouvelles des systèmes d'acquisition de données. Les faisceaux sont constitués de bouffées de protons qui se succèdent à des intervalles de 25 nanosecondes. Aux points de collision, des bouffées circulant en sens inverse s'interpénètrent 40 millions de fois par seconde, donnant lieu, chaque fois, à une vingtaine de collisions entre deux protons : les collisions seront si fréquentes que les particules issues d'une collision traverseront encore les détecteurs quand la collision suivante se produira. Sur ces 800 millions de collisions par seconde, seule une par milliard provoquera un choc frontal de deux quarks. Pour analyser tous les événements, on devra envoyer l'information produite par chaque détecteur dans des « pipelines électroniques » qui stockeront les données de quelques milliers de collisions successives. Ainsi les circuits électroniques en aval auront le temps de sélectionner les événements intéressants et de les enregistrer avant que les données se perdent en fin de pipeline. Les détecteurs du LHC disposeront de dizaines de millions de canaux : le suivi de toutes les informations, pour reconstituer une collision entre deux protons, est un casse-tête.

Quand des quarks se heurtent

Les détecteurs de particules sont les « yeux électroniques » des physiciens : ils scrutent chaque collision, à la recherche d'événements intéressants. Le LHC sera équipé de quatre détecteurs. Deux seront des poupées russes monstrueuses, composées de modules emboîtés, autour des points de collision.

Chaque module fera ses observations quand il sera traversé par les particules. Ces détecteurs à usage général, ATLAS et CMS, avec une hauteur de 22 mètres, chercheront les bosons de Higgs et les particules supersymétriques, ainsi que les particules inattendues, tirant le maximum de données des débris issus des collisions. Deux autres détecteurs, ALICE et LHCb, analyseront des phénomènes plus spécifiques.

Le Modèle standard

Le Modèle standard de la physique des particules est une théorie qui résume tout ce que l'on sait aujourd'hui sur les particules élémentaires et leurs interactions. Il distingue deux types de particules : celles qui constituent la matière, et celles qui assurent les interactions de particules. Par exemple, la force électromagnétique qu'exerce un proton sur un électron résulte de l'échange mutuel de photons (les particules de la lumière).

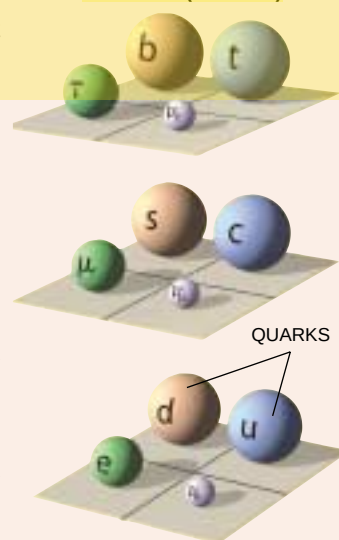
Les particules qui constituent la matière forment trois familles de quatre membres, chaque famille ne se distinguant des autres que par la masse de ses membres. Toute la matière que nous voyons autour de nous est composée par les particules les plus légères : ce sont les deux quarks « up » et « down », l'électron et le neutrino électronique. Les particules des deux autres familles n'apparaissent que lorsqu'elles sont produites par des collisions à haute énergie ; à l'exception des neutrinos, elles sont éphémères.

Les quarks sont liés en « hadrons » (du mot grec qui signifie « lourd ») par l'interaction forte, dont les vecteurs sont les gluons. Le proton et le neutron, qui constituent les noyaux atomiques, sont ainsi des hadrons. Les protons de ces noyaux attirent les électrons, grâce à la force électromagnétique, transmise par les photons, ce qui donne des atomes et des molécules. L'interaction faible, transmise par les bosons W et Z, contribue à l'émission d'énergie dans le Soleil et est à l'origine de la forme de désintégration radioactive où un noyau émet un électron et un neutrino.

La gravitation est l'interaction la plus faible, mais elle est familière parce qu'elle s'exerce sur tout objet possédant une masse, et que nous-mêmes vivons sur un objet massif, la Terre. Des particules nommées gravitons devraient transmettre cette interaction, mais les forces gravitationnelles sont si faibles qu'on n'a jamais détecté les gravitons. Aujourd'hui, le Modèle standard ne décrit pas le comportement des gravitons.

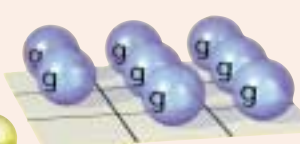
L'intégralité des comportements de la matière soumise aux diverses forces (sauf la gravitation) est décrite par un nombre limité d'équations élémentaires, construites à partir d'une fonction (un « lagrangien ») conçue selon un principe fondateur nommé « invariance de jauge ». Le Modèle standard n'explique pas pourquoi la nature a conçu trois familles de particules. Bien qu'il soit considéré comme l'une des plus belles constructions de la science du xx^e siècle, le Modèle standard pourrait ainsi n'être qu'un jalon vers une description encore plus fidèle des forces de la Nature.

FERMIONS (MATIÈRE)



BOSONS (FORCES)

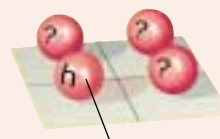
GLUONS



PHOTON



BOSON DE HIGGS



Sim Films