

Voyage au pays du Seigneur des anneaux

Le Cern - 17 octobre 2006

Le Cern (Centre européen de recherches nucléaires) est situé sur le territoire de Meyrin, dans la banlieue de Genève ; ses installations s'étendent dans le Pays de Gex à la frontière franco-suisse comme la commune de Ferney-Voltaire. À l'est, au-delà du lac de Genève, ce sont les Alpes, à l'ouest le Jura et le col de la Faucille, au sud au-delà de la trouée de Bellegarde le barrage de Génissiat, qui alimenta le CERN en énergie électrique, enfin au nord Divonne-les-Bains.

A 14 heures, nous nous trouvons dans la salle de conférences de MICROCOSM pour assister à une conférence et un film consacrés à la présentation du Cern, son histoire, son devenir. Pour faciliter la lecture de ce qui va suivre, il faut procéder à un rappel de l'état actuel des connaissances de la physique des particules élémentaires. Les constituants ultimes de la matière sont les quarks et leptons, en interaction par l'intermédiaire des bosons (le photon pour l'électromagnétisme, les particules W et Z pour l'interaction faible, les gluons pour l'interaction forte). A chacune de ces particules est associée une antiparticule.

La création du Cern remonte à 1954 ; elle avait pour objectif d'affirmer la présence de la communauté scientifique européenne dans le domaine de la recherche des particules élémentaires.

Les principales étapes du développement du CERN ont été :

- 1959 : mise en place du synchrotron à protons.
- 1971 : les ISR : anneaux de stockage à intersection de protons. La réalisation de ces anneaux a constitué un grand exploit technique. Ils ont permis la mise en évidence des courants neutres, étape décisive de la théorie de l'interaction faible qui venait d'être élaborée. La chambre à bulles Gargamelle fut à cette époque le moyen de détection le mieux approprié pour visualiser les interactions de neutrinos avec des quarks. Gargamelle dut être arrêtée en 1978, car elle menaçait de se fêler.

En 1981 le synchrotron à protons fut transformé en collisionneur protons-antiprotons sous l'impulsion de Rubbia et Van der Meer, dans le but de mettre en évidence l'existence des bosons intermédiaires W+, Z, W-, responsables de l'interaction faible. Ce fut le cas en 1983 et cet exploit scientifique valut à leurs auteurs le prix Nobel.

Théorie et expérience avaient ainsi permis d'élaborer la théorie dite électrofaible, qui prédit qu'au-delà d'une certaine énergie, électromagnétisme et interaction faible se fondent en une même interaction. Mais la course aux hautes énergies ne pouvait s'arrêter là ; des négociations se sont engagées pour la définition du grand anneau de collisions qui allait devenir le LEP (collisionneur à haute énergie d'électrons et positrons). Il s'agit d'un anneau de 9 km de diamètre, 28 km de circonférence, situé entre 50 et 150 mètres sous le pays de Gex, qui a pu être ainsi considéré comme le Seigneur des Anneaux. Il a fonctionné de 1989 à 2000 ; il a apporté la preuve qu'il existait trois et seulement trois familles de particules de matière, dont l'une nous est bien connue, puisqu'elle constitue notre environnement : électrons, neutrinos, associés aux baryons constitués des quarks *Up* et *Down*.

Moyennant une transformation ingénieuse du LEP, on pouvait envisager en 2000 la mise en évidence de la fameuse particule, dite de Higgs, dernier maillon (provisoirement) manquant pour assurer la cohérence définitive de la théorie électrofaible. Mais il fallait céder la place au LHC (Large Hadron Collider), le futur collisionneur, objet final de notre visite, car l'anneau du LHC est le même que celui du LEP. Collisionneur protons - protons à haute énergie (7 TEV par faisceau), il a commencé à faire l'objet de négociations pour sa définition dès les années 1990. Le LHC sera, au moment de son entrée en action, le seul accélérateur au monde, et cela pour une longue période, capable de délivrer des particules à ce niveau d'énergie, qu'on convient de rapprocher de celui qui correspond aux tout premiers instants de l'univers, selon le modèle du Big bang, c'est-à-dire aux environs de 10^{-26} secondes. A ce niveau, par exemple, la matière prend le pas sur l'antimatière.

Sur l'anneau, en différents sites, sont implantés les collisionneurs et leur environnement de détecteurs :

- Atlas et CMS : détecteurs multi-usages pour l'étude des interactions protons - protons, destinés à la mise en évidence du boson de Higgs.
- Alice : pour l'étude des interactions entre ions lourds ; on pourra y étudier un plasma de quarks et de gluons ; certains avancent l'idée qu'on pourrait également observer la création de mini-trous noirs.

- LHCb : (b comme beauté) destiné à la désintégration du quark b, pour mettre en évidence une dissymétrie des processus physiques par rapport au renversement de l'écoulement du temps ; car les physiciens n'hésitent pas à étudier des particules qui remontent le temps !

Outre les prouesses scientifiques auxquelles le LHC doit donner lieu, il faut ici mentionner l'exploit technique qui consiste à assurer le maintien dans l'anneau des bobinages supraconducteurs à une température de 1,9 K (*note 1*), cela pour atteindre des inductions magnétiques comprises entre 2 et 8 Teslas, et cela dans un «vide» de qualité spatiale.

En fin d'exposé, il est fait état d'une expérience de chasse aux neutrinos. Dans la montagne du Gran Sasso, à 150 km de Rome, on traque, à 1 400 m de profondeur, des neutrinos tauiques issus de l'oscillation des neutrinos muoniques émis par un accélérateur du Cern, par bombardement de protons sur une cible de carbone.

Nous avons ainsi la tête pleine de quarks, bosons, neutrinos, leptons, etc... lorsque nous empruntons un autocar pour nous rendre sur le point n° 8, dénommé LHCb. Pour caractériser ce collisionneur, on use du vocable «usine à beauté», c'est-à-dire qu'on y étudiera des variétés de méson comme le «beau» constitué d'un quark étrange et un antiquark beau pour mettre en évidence des violations de symétrie, responsables de la disparition de l'antimatière.

Avant notre descente dans le puits au fond duquel est logé le collisionneur, nous pouvons nous faire une idée de sa profondeur (autour de 100 mètres) en nous penchant prudemment par-dessus sa «margelle», pour ceux qui ne risquent pas d'en éprouver un sentiment de vertige.

Par groupe de douze, munis de nos casques, nous empruntons l'ascenseur qui nous mène au terme de notre visite. Après avoir cheminé entre des murs de protection, nous nous trouvons au pied d'un immense solénoïde de plusieurs mètres de diamètre.

On ne peut qu'éprouver un sentiment de grandeur, devant cette installation et son environnement de moyens de mesure : calorimètre, compteur à effet Tcherenkov ; si nous ne pouvons demeurer sur le site

que pendant un temps trop court, cela nous suffit pour évaluer les exploits techniques réalisés pour la mise en œuvre de ces moyens d'essais, uniques au monde. La visite s'achève ; nous nous retrouvons pour le retour à la Gare de Genève.

Notre journée a été bien remplie ; il ne nous reste plus qu'à attendre l'année prochaine et les années suivantes pour prendre connaissance des résultats que dispensera le LHC. Bien sûr, en premier lieu, il s'agit de la mise en évidence du fameux boson de Higgs, mais il faut sans doute attendre des surprises propres à faire avancer l'humanité dans sa connaissance du monde fascinant des particules élémentaires.

A propos des niveaux d'énergie

On exprime les énergies en électronvolts.

Compte-tenu de l'équivalence masse - énergie, on exprime les masses en eV/C^2 , où C est la vitesse de la lumière.

- masse de l'électron = 0,5 MeV/C²
- masse du proton = 938 MeV/C²
- masse du boson Z = 94 GeV/C²
- masse probable du boson de Higgs = au-delà de 114 GeV, en dessous de 165 GeV, selon les derniers résultats du Fermilab (Chicago).

Glossaire

Modèle standard : modèle cohérent, qui prévaut à l'heure actuelle pour la description du monde des particules élémentaires. Il sera certainement dépassé dans les décennies prochaines sans pour autant être invalidé.

Fermions - Bosons : on distingue les particules de matière, les fermions, et les particules médiatrices d'interaction, les bosons. Par exemple, le photon et le boson de l'interaction électromagnétique.

Leptons - Quarks : particules de matière, qui se distinguent les unes des autres par la nature des interactions auxquelles elles sont soumises. Protons et neutrons sont constitués de trois quarks.

Particules - antiparticules : à chaque particule est associée une antiparticule. On parle également de

matière et antimatière. La question est de savoir pourquoi cette dernière a disparu.

Boson de Higgs : particule, encore aujourd'hui hypothétique, qui constitue le dernier maillon de la théorie de l'interaction électrofaible..

Supraconductivité : des alliages ont la propriété d'avoir une résistivité nulle en dessous d'une certaine température critique. On fait appel à ces matériaux pour constituer des bobinages qui doivent supporter des courants intenses pour échapper à la dissipation d'énergie par effet joule on fait ainsi appel aux bobinages supraconducteurs.

Chambre à bulles : ce fut pendant longtemps un des meilleurs moyens de visualisation de trajectoire des particules.

Il s'agit d'une enceinte contenant un liquide fortement détendu à une pression à laquelle il devrait se trouver en phase vapeur. Les particules qui traversent l'enceinte provoquent la formation de bulles de gaz au sein du liquide. Les traces sont ainsi photographiées et analysées.

A cette occasion, il faut signaler la **chambre à bulle** de Bernard Grégory, ancien directeur général du CNRS, érigée dans le parc du CNRS, comme un monument ; elle date de 1962.

Jacques Michard

Note 1 :

K : degré Kelvin. 0°K, soit le zéro absolu, est égal à 273,15 degrés Celsius

MeV : Megaélectronvolts (soit 1 million d'électronvolts) ;

GeV : Gigaélectronvolts (soit 1 milliard d'électronvolts)

1 Tesla = 10 000 gauss.

Pour en savoir plus

Bibliographie :

Journal du CNRS n° 181 février 2005, n°205-206 de février-mars 2007

Images de la Physique 2005

Bulletin du CERN

Site Web : pour le LHCb – lhcb.CERN.ch/ihcb

