



DOSSIER PRESSE | CLERMONT-FERRAND | 9 OCTOBRE 2013

Les chercheurs clermontois directement concernés par le Nobel de physique 2013

Le prix Nobel de physique 2013 vient de récompenser les travaux théoriques portant sur le mécanisme à l'origine de la masse des particules élémentaires. Proposé depuis près de 50 ans, ce mécanisme attendait sa validation ou son rejet expérimental. Il est attribué à François Englert et Peter Higgs, et les expériences Atlas et CMS au CERN sont citées dans le communiqué.

Ces expériences impliquent des physiciens du monde entier, dont une équipe du Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand (LPC) qui est engagée depuis plus de vingt ans dans la collaboration ATLAS.

Suite à la rencontre presse
suivie d'un cocktail

Mercredi 9 octobre à 11h00

avec le

Laboratoire de Physique
Corpusculaire

de Clermont-Ferrand

(LPC, UBP/CNRS-IN2P3)

Amphithéâtre Recherche du pôle de
Physique du campus des Cézeaux

Le monde de l'infiniment petit s'interprète en termes de particules élémentaires. Toutes les particules découvertes à ce jour, qu'il s'agisse des particules de matière ou de celles qui traduisent leurs interactions, satisfont au "Modèle Standard des particules élémentaires". Nous constatons que la plupart des particules élémentaires ont "aujourd'hui" une masse, alors que la théorie prévoit que ce n'était pas le cas une fraction de seconde après le Big Bang. Mais environ 1 centième de milliardième de seconde après la naissance de notre Univers, un champ quantique particulier, le champ BEH, se serait propagé à travers l'Univers. Interagissant avec les particules élémentaires jusqu'alors dénuées de masse, celles-ci peuvent acquérir une masse d'autant plus importante que cette interaction est plus intense. De plus, de ce champ aurait émergé une particule élémentaire, le fameux boson BEH, qui serait la signature de ce mécanisme. Ce champ subsisterait depuis cette époque primordiale, mais les bosons, abondamment produits, ont disparu depuis longtemps. Le seul moyen de tester ce mécanisme est de reproduire en laboratoire les conditions qui permettraient de produire puis d'observer ce boson, en faisant appel à des accélérateurs qui mettent en collision des particules de très haute énergie.

Le prix Nobel 2013 de physique récompense justement la découverte de ce mécanisme, confirmée par les expériences du CERN, à Genève. Le libellé du comité Nobel est le suivant :

"Le prix Nobel de Physique 2013 a été décerné conjointement à François Englert et Peter W. Higgs pour la découverte théorique du mécanisme qui contribue à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques et qui a été récemment confirmée par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences Atlas et CMS du grand Collisionneur de Hadrons (LHC) du CERN."

La contribution des théoriciens

Des théoriciens précurseurs tels que P.W. Anderson (Prix Nobel en 1977), Y. Nambu (Prix Nobel en 2008) et J. Goldstone ont élaboré certains concepts qui ont été exploités en 1964 par trois groupes de théoriciens, lesquels ont publié, à quelques mois d'intervalle, comment et pourquoi certaines particules médiatrices des interactions élémentaires devaient avoir une masse, d'autres non, et par extension les particules de matière également. Ce mécanisme dit de brisure spontanée de symétrie du vide conduit à l'apparition d'un champ isotrope (on dit scalaire) qui remplit tout l'espace et interagit plus ou moins selon la nature de la particule et lui confère sa masse. Ces trois publications émanaient, par ordre chronologique, de R. Brout - F. Englert, P. Higgs, G.S. Guralnik – C.R. Hagen – T.W.B. Kibble.

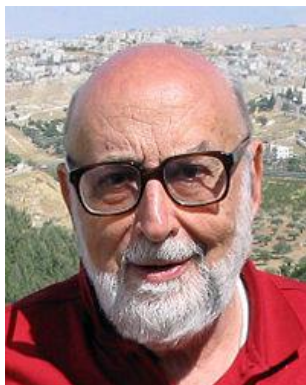
On peut relever deux aspects particulièrement étonnants.

Tout d'abord, à l'époque de leurs travaux, ces chercheurs disposaient de très peu d'informations expérimentales : un petit nombre de particules de matière découvertes, ainsi que le photon, sans masse, qui est le médiateur de l'interaction électromagnétique, force à longue portée. Il était admis qu'un autre médiateur (celui de l'interaction nucléaire faible, appelé W car "faible" se dit "Weak" en anglais) devait être massif, car la force associée est à courte portée.

Ensuite, bien des années plus tard, d'autres théoriciens feront appel à ce mécanisme, toujours non validé, pour unifier justement dans un formalisme unique les interactions électromagnétiques et nucléaires faibles, ce qui vaudra les prix Nobel de physique en 1979 à S.L. Glashow – A. Salam – S. Weinberg, puis en 1999 à G. 't Hooft – M. Veltman ; ces théoriciens prévoient effectivement l'existence non pas d'un mais de plusieurs médiateurs de l'interaction faible, les bosons W^\pm et Z^0 . Ces bosons massifs seront découverts au CERN et vaudront le prix Nobel à C. Rubbia et Simon van der Meer en 1984.

Il est paradoxal qu'un mécanisme inspiré par si peu d'informations disponibles et non validé par l'expérience ait pu conduire à ces grandes découvertes.

Finalement, le comité Nobel retient les noms de François Englert et Peter Higgs pour ce mécanisme qui apporte de la masse aux particules élémentaires, Robert Brout étant malheureusement décédé il y a peu de temps. Néanmoins, nous utiliserons le sigle BEH pour désigner le champ et le boson.



François Englert



Peter W. Higgs

La contribution des expérimentateurs

La sanction expérimentale prit du temps : il s'agissait de démontrer l'existence ou la non existence du boson BEH, une épopée qui a pris 48 ans et mobilisé des moyens à l'échelle planétaire. La théorie prévoyant l'existence du boson ne dit pas quelle serait sa masse, ce qui obligea les expérimentateurs à le rechercher dans un vaste domaine de masse. Très vite, il est apparu que sa masse devait être élevée. Par conséquent, en raison de la loi $E = mc^2$, pour produire une masse m élevée, il faut disposer d'une énergie E élevée, que seuls les collisionneurs de particules, qui provoquent des chocs frontaux, ont pu fournir à partir des années 1980.

Période pré-LHC

Le collisionneur SPS (Super Synchrotron à Protons du CERN) mettait en collision des protons sur des antiprotons, avec une énergie de collision allant jusqu'à 900 GeV (Giga électron-volts, 1 Giga = 1 milliard). Cette énergie est déjà élevée, mais la probabilité de production est encore très faible à cette énergie, de plus les faisceaux d'antiprotons étant peu intenses, il y a peu de collisions par seconde. Les deux expériences implantées sur le SPS, appelées UA1 et UA2, ont fonctionné de 1981 à 1990. Elles n'ont pas trouvé le boson BEH. Par contre, elles ont découvert les bosons W^+ , W^- et Z^0 cités plus haut.

La concurrence et le relai ont été reportés sur le Tévatron, près de Chicago. Il s'agissait toujours de collisions proton sur antiprotons, mais les intensités ont continué à croître ainsi que l'énergie, pour atteindre en gros 2 TeV dans la collision (1 TeV est le Téra électron-volts et correspond à 1000 GeV). Le collisionneur a fonctionné de 1983 à 2011, avec deux expériences dénommées CDF et D0. La principale découverte est celle du quark le plus lourd: le quark top, en 1995. Il n'y a pas eu de mise en évidence directe du boson BEH; cependant, une ré-analyse complète des données enregistrées montre quelque chose autour de la masse de 126 GeV qui est celle donnée par les résultats auprès du LHC, mais de façon beaucoup moins significative.

Au CERN, le collisionneur LEP mettait en collision des électrons et des anti-électrons. Les énergies étaient bien inférieures à celles des collisionneurs de protons, mais le fait d'avoir des électrons qui sont des particules élémentaires (alors que les protons sont composés de quarks, particules élémentaires) pouvait permettre de produire le boson BEH -avec très peu de bruit de fond- à condition qu'il ne soit pas trop lourd. Les collisions ont atteint 209 GeV. Le LEP a fonctionné de 1989 à 2000: le boson n'a pas été découvert.

En conclusion, avant l'avènement du LHC (les premières collisions ont été produites en 2010), il n'y a pas eu de mise en évidence directe du fameux boson; par contre, des zones d'exclusion ont été définies (il est plus facile d'exclure que de mettre en évidence). Pour simplifier, d'après les résultats du LEP, le boson devait avoir une masse supérieure à 115 GeV. La plupart des laboratoires IN2P3 travaillant dans le domaine des particules élémentaires, dont le LPC de Clermont-Ferrand, a participé à cette recherche malheureusement infructueuse.



Collisionneur LEP du CERN (Europe)
(1989-2000)



Collisionneur Tévatron de Fermilab (USA)
(1983-2011)

Le LHC

Le LHC du CERN (Large Hadron Collider ou Grand Collisionneur de Hadrons) est le plus grand et le plus complexe instrument scientifique jamais construit pour la physique des particules aux hautes énergies. Il est situé en sous-sol, à 100 mètres de profondeur, de part et d'autre de la frontière franco-suisse. Il est constitué de deux anneaux de 27 km de circonférence dans lesquels des protons sont accélérés à des vitesses proches de celle de la lumière. Les croisements de ces anneaux permettent des collisions frontales entre les particules accélérées.

Les débris de ces collisions sont enregistrés et analysés par des détecteurs géants implantés aux points de collision. Cela permet de remonter à ce qui s'est passé pendant les collisions, de tester les prévisions des théoriciens ou de mettre en évidence des phénomènes inconnus.

Après de longs travaux de R&D impliquant des technologies de pointe dans les domaines les plus divers (Génie civil, câbles supraconducteurs et aimants, cavités radiofréquences, cryogénie, mécanique, électronique, informatique, etc.) la construction a duré de 1998 à 2008.

Depuis les premières collisions en 2009, les performances se sont constamment améliorées, qu'il s'agisse des intensités des faisceaux, des énergies de collision (records mondiaux successifs), des périodes effectives de collision, de la qualité des faisceaux délivrés aux 4 expériences, en particulier aux détecteurs Atlas et CMS qui demandent les plus grandes intensités pour la quête du boson scalaire.



Tunnel et aimants du LHC (CERN)

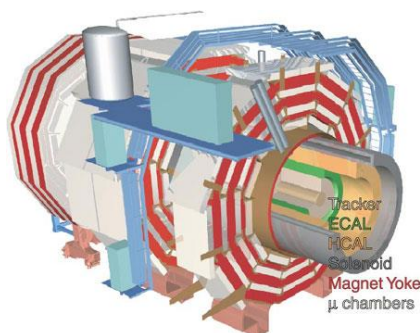
Les détecteurs Atlas et CMS

Il est apparu immédiatement que la construction des détecteurs posait des problèmes encore plus "insurmontables" que celle du collisionneur LHC lui-même. Du coup, le CERN a demandé que se créent officiellement des collaborations de R&D (Recherche et Développement) dédiées à des éléments des détecteurs géants qui seraient construits. Les laboratoires ont donc mené en parallèle des travaux de R&D sur des éléments des futurs détecteurs, ainsi que d'autres travaux consistant à élaborer des grandes collaborations (mondiales) ayant chacune en charge un grand détecteur et définissant avec précision ses objectifs de physique.

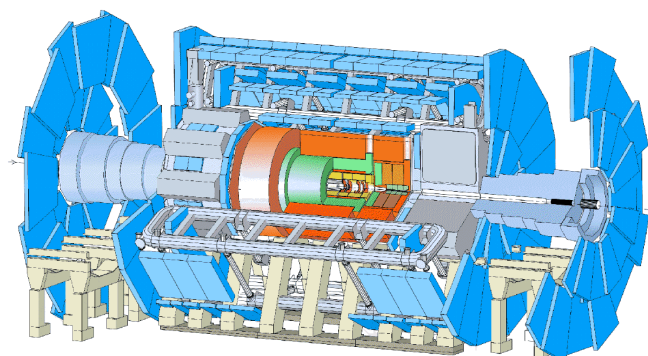
La conception puis la construction d'Atlas et de CMS ont donc pris une vingtaine d'années. Maintenant, les premiers résultats tombent, et pas les moindres puisque l'objectif prioritaire du CERN qui était la découverte (ou non découverte) du ou d'un boson BEH est atteint après seulement deux années et demi de fonctionnement.

Les collaborations mondiales Atlas et CMS, qui comptent chacune plus de 3000 physiciens, annoncent donc la découverte certaine d'un boson BEH d'une masse voisine de 126 GeV, mais pas "du" boson BEH. En effet, des modèles théoriques plus complets (mais pas encore validés) prévoient qu'il puisse y avoir plusieurs types de ces bosons. Les données enregistrées jusqu'à présent demandent plus d'analyses pour aller plus loin et, de plus, la remise en marche du LHC à une énergie presque doublée en 2015 devrait être encore plus productive. Nous ne sommes qu'au début de l'exploitation du LHC, les expériences vont continuer au-delà de l'année 2030. En raison des nouvelles améliorations prévues sur le LHC à l'horizon 2022, les détecteurs doivent être considérablement repris, d'où ... de nouveaux travaux de R&D auxquels les laboratoires participent activement.

Néanmoins, le comité Nobel estime que ces résultats expérimentaux valident enfin le mécanisme "le plus simple" élaboré il y a 48 ans par les théoriciens, et notamment par François Englert et Peter Higgs. Le fait que les particules élémentaires, telles que les quarks (les constituants du proton, par exemple) ou les électrons, aient une masse signifie qu'elles ne se propagent pas à la vitesse de la lumière : la matière peut ainsi se structurer en particules, noyaux, atomes, molécules. Sans ce mécanisme, notre Univers et donc nous-mêmes n'existerions pas !



Expérience CMS
(Longueur 21 m)



Expérience Atlas
(Longueur 45 m)

La contribution française et celle du LPC

Le LHC est situé aux deux tiers en France. En tant que pays hôte, avec la Suisse, la France a apporté une contribution financière supplémentaire à son financement usuel du CERN pour la construction du LHC. Elle a bien entendu participé activement à l'élaboration des collaborations Atlas et CMS et des détecteurs éponymes, via 10 laboratoires mixtes CNRS-Université dépendant d'un institut commun du CNRS (l'IN2P3) et du laboratoire IRFU du CEA.

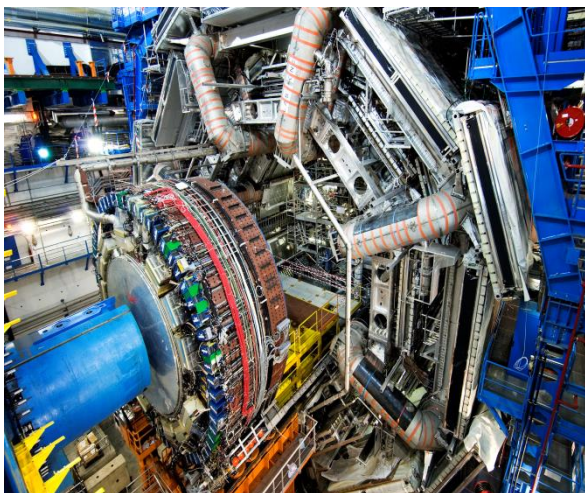
Le LPC est l'unité mixte de recherche CNRS-IN2P3/UBP de Clermont-Ferrand. Il est l'un des laboratoires fondateurs de la collaboration Atlas, à l'époque où celle-ci s'appelait EAGLE (avant son mariage avec la collaboration ASCOT) et ne comportait qu'une quinzaine de laboratoires. Aujourd'hui, Atlas regroupe 177 laboratoires issus de 38 pays.

La contribution du LPC s'est déroulée en 3 temps et a concerné, en moyenne, une quinzaine de personnes chaque année :

- De 1989 à 1998 : Deux expériences de R&D officielles au CERN (dénommées RD1 et RD34) qui ont conduit au choix, par la collaboration Atlas, de l'option promue par le LPC, d'un Calorimètre Hadronique à Tuiles Scintillantes (le Tilecal) destiné à mesurer les hadrons (jets de quarks et gluons, hadrons isolés et muons), alors qu'il y avait deux options concurrentes.
- De 1998 à 2008 : Construction du Calorimètre avec la contribution d'une vingtaine d'autres laboratoires, impliquant des travaux de mécanique, d'optique, d'électronique et d'informatique.
- A partir de 2009 : Participation au fonctionnement d'Atlas (postes de 8 heures jours et nuits), à sa maintenance, à la prise des données et aux analyses de physique. Il faut noter que pendant la période 1990-2009, l'équipe du LPC a participé également à la prospective des analyses de physiques qui seraient effectuées lorsque le LHC fournirait de vraies données.

Le LHC a été arrêté début 2013. Sa remise en route en 2015 s'accompagnera d'une amélioration de ses performances : l'énergie de collision devrait être pratiquement doublée, ce qui permettra d'aller plus loin dans l'analyse des propriétés du boson BEH et, nous l'espérons, de mettre en évidence une "nouvelle physique".

A l'horizon 2022, le LHC va connaître de nouvelles améliorations qui nécessitent, naturellement, une nouvelle évolution technologique d'Atlas. Le LPC est engagé depuis 2005 dans de nouveaux travaux de R&D visant à améliorer le Tilecal.



Vue partielle (à gauche) d'un élément extrait du Tilecal.
Le Tilecal complet pèse 2900 tonnes.

Contacts

Alain Falvard (Directeur du LPC) 04 73 40 72 72 et 06 16 57 45 59

Dominique Pallin (Responsable équipe ATLAS/LPC depuis 2009)

04 73 40 72 93 et 06 64 62 39 56

François Vazeille (Créateur et responsable équipe ATLAS/LPC jusqu'à fin 2008, responsable communication)

04 73 40 54 44 et 06 85 25 39 70

Janine Pellet (Communication) 04 73 40 73 05 et 06 20 40 66 98

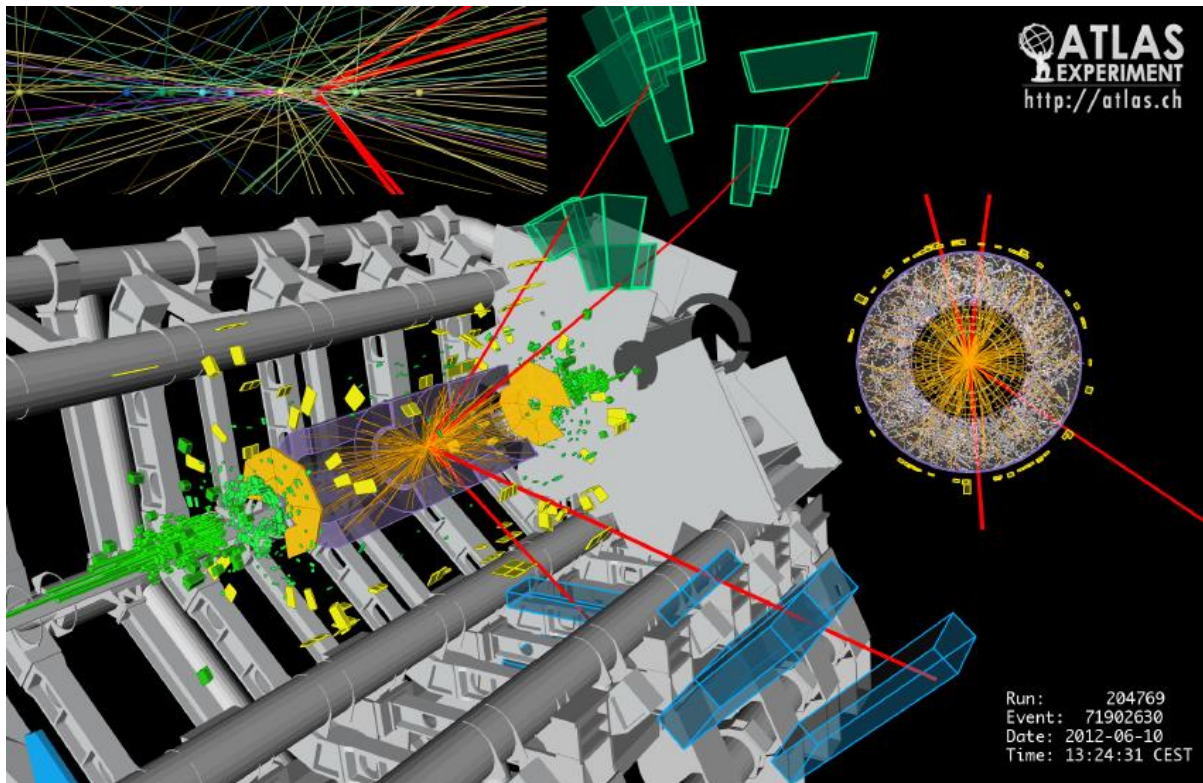
et E-mails nom@clermont.in2p3.fr

Liens utiles

Atlas CERN <http://atlas.ch/>

LPC <http://clrwww.in2p3.fr/>

LHC-France <http://www.lhc-france.fr/>



Reconstruction d'un candidat BEH se désintégrant en 4 muons (trajectoires en rouge) dans l'expérience Atlas, enregistré le 10 juin 2012 à 13h 24 m 31 s.