



HAL
open science

Quete de l'origine de la masse

G. Sauvage

► **To cite this version:**

G. Sauvage. Quete de l'origine de la masse. Les Journees d'Instrumentation et de Prospective Giens 2002, Oct 2002, Giens, France. pp.15-17. in2p3-00013795

HAL Id: in2p3-00013795

<https://in2p3.hal.science/in2p3-00013795v1>

Submitted on 3 Jul 2003

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quête de l'origine de la masse

Pour les physiciens des particules partis à la quête du (ou des) boson(s) de Higgs, l'accroissement de l'énergie des faisceaux d'accélérateurs est une priorité. Après le LEP puis le Tevatron, les expériences se poursuivront auprès du LHC et à plus long terme probablement auprès d'un collisionneur linéaire d'électrons de très haute énergie.

Depuis plus de deux décennies, les progrès expérimentaux et théoriques en physique des hautes énergies n'ont cessé de confirmer ce que nous appelons le modèle standard de physique des particules. Dans ce modèle, les interactions faibles et électromagnétiques sont unifiées en une seule interaction électrofaible. Les interactions fortes γ ont aussi été intégrées avec, comme groupe de symétrie, le groupe $SU(3)_C \oplus SU(2)_L \oplus U(1)_Y$. Un des premiers grands succès de la théorie a été la découverte, au début des années quatre-vingt au Cern, des bosons intermédiaires W^+ , W^- et Z^0 , médiateurs de l'interaction faible, avec une masse un peu en dessous de 100 GeV, en accord avec les prédictions.

Depuis, les mesures de précision effectuées au LEP au Cern, aussi bien à LEP100 (production de Z^0) qu'à LEP200 (production de paires W^+W^-), ainsi qu'au SLC à Slac et au Tevatron à Fermilab ont vérifié ces prédictions avec une précision inégalée dans ce domaine d'énergie.

Néanmoins, dans la construction de ce modèle théorique, où, au départ, les particules élémentaires, quarks et leptons, ont une masse nulle, un mécanisme de brisure de symétrie est nécessaire pour leur donner une masse. Le mécanisme le plus couramment admis est l'introduction d'un doublet supplémentaire de champs scalaires se couplant aux particules de la théorie et faisant apparaître une nouvelle particule appelée boson de Higgs. Aucune prédiction sur la valeur de la masse de cette particule n'est cependant faite: d'où la recherche systématique effectuée sur l'ensemble du domaine d'énergie accessible auprès des accélérateurs.

Le Higgs au LEP

Le boson de Higgs n'étant pas présent dans des données déjà existantes, comme cela a été vérifié, il a été recherché à la plus haute énergie accessible au LEP. Les mesures de précision permettent, de façon indirecte, de donner une limite sur la masse grâce aux corrections radiatives faisant intervenir des boucles avec un boson de Higgs virtuel. Les limites sont peu contraignantes car, en général, ces corrections dépendent logarithmiquement de la masse du boson de Higgs: $M_H = 91^{+58}_{-37}$ GeV et $M_H \leq 211$ GeV avec 95 % de degré de confiance. La recherche directe au LEP a été faite *via* la réaction de pro-

duction $e^+e^- \rightarrow Z^0 H^0$. Au cours des dernières années de fonctionnement du LEP, afin d'explorer la plus haute masse possible pour le boson de Higgs, l'énergie des faisceaux a été poussée à son extrême limite par l'ajout de cavités RF supraconductrices supplémentaires. Le résultat final est que la masse du Higgs est supérieure à 114,4 GeV avec 95 % de degré de confiance. Pour aller plus haut en masse, il faut se tourner vers des accélérateurs plus énergiques comme le Tevatron à Fermilab (collisions proton-antiproton à $2 \times 0,96$ TeV), le LHC au Cern (collisions proton-proton à 2×7 TeV) dont on espère la mise en route en 2007 et, à plus long terme, le collisionneur linéaire à électrons-positrons d'énergie comprise entre 0,5 et 1 TeV.

Le Dapnia et l'IN2P3 ont participé activement à cette recherche avec les expériences UA1 et UA2 au SppS du Cern pour la découverte des bosons intermédiaires W et Z , puis plus récemment avec les quatre expériences Aleph, Delphi, L3 et Opal au LEP (mesures de précision et recherche directe). Ils continuent à le faire avec l'expérience D0 à Fermilab (run II) et les futures expériences Atlas et CMS au LHC. Enfin, dans un futur plus lointain, ils participeront au collisionneur linéaire à électrons.

Le Higgs au Tevatron

Au Tevatron, le run IIa qui vient de commencer doit permettre d'accumuler une luminosité intégrée vingt fois plus grande (2 fb^{-1}), à une énergie dans le centre de masse un peu plus élevée qu'avant et avec une luminosité instantanée nettement plus élevée ($10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ au lieu de $2 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Cette augmentation de luminosité a obligé les deux expériences CDF (*Collider Detector at Fermilab*) et D0 à modifier leur électronique de lecture et déclenchement car les croisements entre faisceaux étaient plus proches. Des améliorations ont aussi été apportées aux détecteurs avec, par exemple pour D0, l'installation d'un solénoïde supraconducteur pour que le détecteur de traces mesure aussi l'impulsion des particules chargées et l'installation de détecteurs au silicium plus performants pour détecter des vertex secondaires. Le mode le plus prometteur pour détecter le boson de Higgs à Fermilab est la production associée $q\bar{q} \rightarrow W H^0$ ou $q\bar{q} \rightarrow Z H^0$, le boson de Higgs se désinté-

grant en une paire de quarks $b, H^0 b\bar{b}'$. L'étiquetage du quark b par la présence d'un vertex secondaire est donc particulièrement important. La limite sur la masse du boson de Higgs pourra être montée un peu au-dessus de la limite atteinte par LEP II, soit jusqu'à environ 120 GeV à la fin du run IIa. On estime qu'il faut une luminosité intégrée de 10 fb^{-1} pour exclure le boson de Higgs jusqu'à une masse de 140 GeV.

Le Higgs au LHC

Au LHC, le Dapnia et l'IN2P3 participent à la construction des deux expériences généralistes Atlas et CMS. L'énergie des faisceaux de protons, 7 TeV, et la luminosité instantanée $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ puis $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ donneront accès à une recherche du boson de Higgs jusqu'à une masse de l'ordre du TeV. À basse masse, autour de 120 GeV, le mode le plus prometteur est la production de Higgs par fusion de gluons $gg H^0$ ou par fusion de W ou $Z, qq' \rightarrow WWqq'$ ou $ZZqq' \rightarrow H^0 qq'$, suivie par la désintégration du Higgs en 2 photons $H^0 \rightarrow \gamma\gamma$. Les calorimètres électromagnétiques de ces deux expériences ont été soigneusement optimisés pour détecter ce mode. Plusieurs groupes français sont engagés dans la construction des calorimètres d'Atlas et de CMS. Ils ont montré à Giens les progrès spectaculaires réalisés ces dernières années avec l'assemblage de la première des deux roues du calorimètre central pour Atlas (photo), et la livraison du premier quart des 80 000 cristaux de tungstate de plomb et la réalisation d'environ un sixième des modules du baril central pour CMS.

Au-dessus d'une masse d'environ 140 GeV, les désintégrations du boson de Higgs en une paire de W ou en une paire de $Z, H \rightarrow W^+ W^-$ ou $H \rightarrow Z^{0(*)} Z^0$, sont plus indiquées pour sa mise en évidence. Cela conduit, en excluant les états purement hadroniques trop difficiles à isoler des interactions hadroniques QCD ordinaires, à rechercher des états finals $2l2\nu$ (2 leptons chargés, 2 neutrinos) ou $lvjj$ (lepton neutrino et 2 jets) pour les paires de W et à rechercher des états finals 4 leptons chargés (électron, muon ou tau) ou 2 leptons chargés 2 neutrinos pour les paires ZZ . Les autres sous-détecteurs d'Atlas et de CMS, tels que le détecteur de traces interne comprenant des détecteurs à pixels de silicium et des détecteurs de silicium, le calorimètre hadronique et le spectromètre à muons, seront sollicités pour mesurer soit l'énergie transverse manquante (présence de neutrinos), soit l'impulsion des électrons et des muons

(lepton chargé). Plusieurs groupes français sont engagés dans la construction de ces sous-détecteurs. Les calendriers montrés à Giens laissent espérer que ces détecteurs seront effectivement prêts à voir les premières collisions proton-proton en 2007. La découverte du boson de Higgs est de première importance, mais l'étude de ses propriétés (valeur de sa masse, valeur de la section efficace de production, rapports d'embranchement...) l'est également pour le caractériser complètement. Un certain nombre de ces mesures seront faites au LHC et le collisionneur linéaire à électrons-positrons ambitionne de les effectuer avec une encore plus grande précision.

Vers un collisionneur linéaire électrons-positrons

Des physiciens du Dapnia et de l'IN2P3 se sont regroupés dans la collaboration Socle pour étudier la physique auprès d'un tel collisionneur et définir le détecteur à construire. Plusieurs programmes de R&D sont déjà engagés : calorimètre électromagnétique à plaques de tungstène et de détecteurs au silicium, TPC, détecteurs au silicium, capteurs Cmos pour un détecteur à pixels... De plus, ces deux organismes ont participé et participent *via* les projets Tesla et Clic aux R&D accélérateurs nécessaires pour montrer la faisabilité d'un accélérateur linéaire supraconducteur.

Le programme ci-dessus a été décrit dans le cadre du modèle standard strict avec un seul boson de Higgs. Or, on sait qu'en dehors de l'absence de mise en évidence du boson de Higgs le modèle standard présente plusieurs difficultés théoriques graves telles que le problème de l'ajustement très fin des corrections à apporter aux masses, la question de la hiérarchie entre l'échelle de grande unification et l'échelle électrofaible ou le fait que la gravitation n'entre pas facilement dans ce cadre théorique. Une façon élégante de surmonter ces difficultés est de supposer l'existence d'une symétrie supplémentaire, la supersymétrie, dans laquelle à chaque fermion on fait correspondre un partenaire boson supersymétrique, et réciproquement. Dans ce cas, le secteur du Higgs se complique et, au lieu d'introduire un doublet de champs scalaires pour expliquer la masse, il faut en introduire au moins deux ; dans le modèle supersymétrique minimal (nombre minimal de paramètres supplémentaires), il apparaît alors deux bosons de Higgs chargés H^+ et H^- et trois bosons neutres appelés h, H et

A. Bien entendu, cette nouvelle symétrie est brisée dans la mesure où aucune particule supersymétrique n'a été vue à ce jour, cette brisure se situant à l'énergie du TeV. Cela renforce évidemment la nécessité d'effectuer des mesures précises sur le ou les bosons de Higgs trouvés, pour préciser quel scénario de supersymétrie la nature aurait choisi. D'autres modèles ont été proposés pour résoudre les difficultés théoriques indiquées ci-dessus, par exemple des modèles avec des extradimensions ou des modèles de technicouleur. Ces derniers pourront être aussi testés au LHC et au collisionneur linéaire.

La quête de l'origine de la masse, axe majeur de recherche en physique des particules, mobilise, on le voit, beaucoup de physiciens au sein de l'IN2P3 et du Dapnia. Les prochaines années, avec les prises de données au Tevatron de Fermilab et le démarrage du LHC, sont donc attendues de pied ferme.

*Première roue
du calorimètre
d'Atlas
(enveloppée
de plastique
rouge) avant son
introduction
dans le cryostat.
© Cern*

