



Centre de calcul du CERN.

Les expériences ATLAS et CMS au LHC viennent d'annoncer indépendamment la découverte d'une nouvelle particule de masse proche de 126 GeV dont tout laisse à penser qu'il s'agit du boson de Higgs, le chaînon manquant du « modèle standard » de la physique des particules. Les deux expériences observent des signaux dans deux modes de désintégration du boson de Higgs, qui, lorsqu'ils sont combinés, conduisent à une signification statistique de 5 déviations standard dans chacune des deux expériences. Bien que les signaux soient compatibles avec les prédictions théoriques pour le boson de Higgs standard, il est trop tôt pour conclure sur la nature exacte de la nouvelle particule.

Découverte du boson de Higgs au LHC ?

Lucia di Ciaccio⁽¹⁾ (lucia.di.ciaccio@cern.ch)

et Gautier Hamel de Monchenault⁽²⁾ (gautier.hamel.de.monchenault@cern.ch)

(1) Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules, CNRS et Université de Savoie, BP 110, 74941 Annecy-le-Vieux Cedex, membre de l'expérience ATLAS.

(2) Service de Physique des Particules, Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers, CEA/Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, membre de l'expérience CMS.

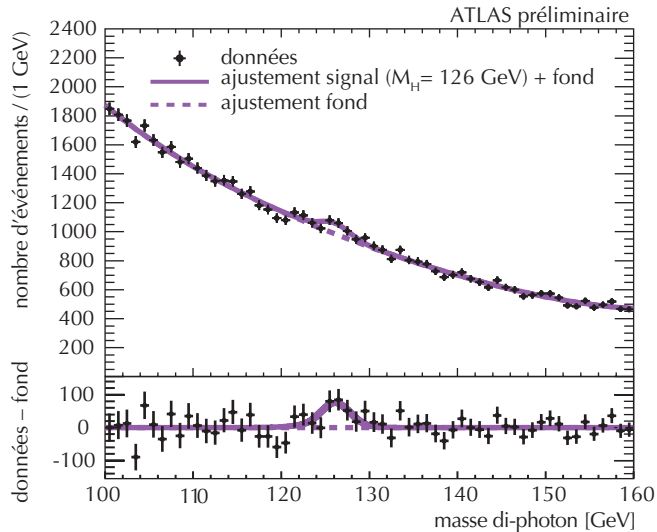
On se souvient que l'analyse des données du LHC enregistrées jusqu'à fin 2011 à 7 TeV d'énergie des collisions proton-proton par ATLAS et CMS, avait révélé, dans le contexte de la recherche du boson de Higgs du modèle standard, un excès d'événements par rapport aux prédictions du même modèle en absence de boson de Higgs [1]. Cet excès était compatible avec la production d'un boson de Higgs de masse dans la région autour de 126 GeV (environ 133 fois la masse du proton), mais avec une signification statistique insuffisante pour exclure la possibilité d'une fluctuation positive des bruits de fond.

Entre le mois d'avril et la fin du mois de juin 2012, ATLAS [2] et CMS [3] ont enregistré et analysé une quantité de données équivalente à celle de 2011, mais correspondant à une énergie des collisions de 8 TeV, plus favorable pour cette recherche. L'analyse préliminaire, rendue publique à

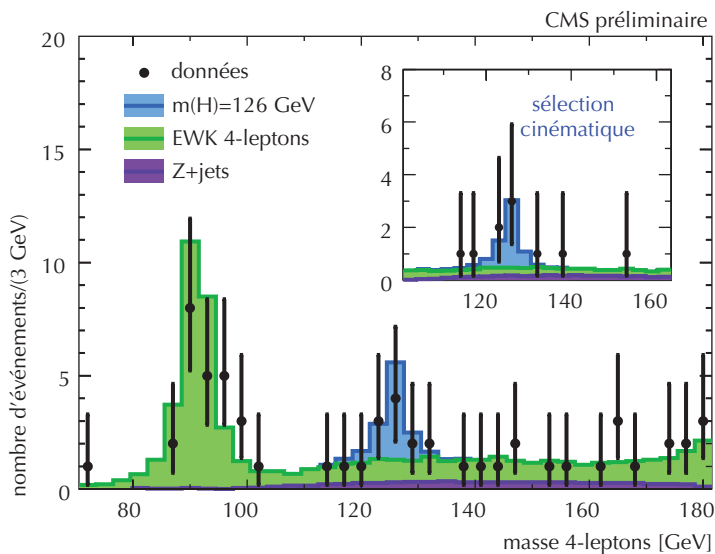
l'occasion d'un séminaire organisé le 4 juillet dernier au CERN, en prélude à la grande Conférence internationale de physique des hautes énergies, ICHEP, qui s'est tenue à Melbourne du 5 au 12 juillet, confirme les observations de 2011 et renforce l'interprétation de l'excès d'événements en termes d'une nouvelle particule avec une masse au voisinage de 126 GeV (à peu près la masse d'un atome d'iode). Les résultats préliminaires indiquent qu'il s'agit bien d'un boson, dont les propriétés sont compatibles avec celles du boson de Higgs.

Le mode principal de production du boson de Higgs au LHC résulte, dans la collision proton-proton, de l'interaction entre deux gluons de haute énergie, que l'on désigne par l'expression « fusion de gluons ». Le signal est observé avec divers degrés de signification statistique dans différents canaux





1. Spectre de masse di-photon mesuré par ATLAS. Lorsque les deux photons sont issus de la désintégration d'une particule, cette quantité correspond à la masse de la particule. Par conséquent, l'accumulation d'événements autour d'une valeur donnée indique l'existence d'une particule se désintégrant en deux photons. Les événements de bruit de fond donnent lieu à un spectre décroissant. La ligne continue en violet représente le résultat de l'ajustement effectué avec une courbe décrivant le spectre produit par une particule de masse 126 GeV, plus les événements de bruit de fond. La ligne violette en pointillé correspond à une courbe décrivant uniquement le bruit de fond. La figure du bas présente la même distribution, après soustraction du niveau de bruit de fond. On observe un excès d'événements par rapport au bruit de fond, autour d'une masse de 126 GeV. La signification statistique de l'excès au voisinage de 126 GeV est de 4,5 déviations standard.



2. Spectre de masse quatre-leptons mesuré par CMS pour des masses comprises entre 70 et 180 GeV, par intervalles de 3 GeV. Le spectre regroupe tous les événements dans les modes $(ee)(ee)$, $(\mu\mu)(\mu\mu)$ et $(ee)(\mu\mu)$, où (ee) représente une paire électron-positon et $(\mu\mu)$ une paire de muons, de charges opposées. La masse du système quatre-leptons est calculée à partir des énergies et impulsions mesurées des leptons identifiés dans l'état final. Lorsque les leptons sont les produits de la désintégration d'une particule, la masse quatre-leptons correspond à la masse de la particule. Le bruit de fond irréductible, dit électrofaible (EWK), est obtenu par la simulation ; il est représenté par un histogramme vert. On observe un pic autour de 91 GeV qui correspond à la désintégration rare du boson Z en quatre leptons, ainsi qu'un fond continu qui correspond à la production de paires de bosons Z. Le bruit de fond réductible, dit Z+jets, pour lequel deux des candidats leptons ne proviennent pas de la désintégration d'un boson Z, est représenté par un histogramme violet. On observe un léger excès d'événements par rapport aux bruits de fond, qui est compatible avec le signal attendu (représenté par l'histogramme bleu) pour un boson de Higgs standard de masse 126 GeV. Cet excès subsiste lorsqu'on applique une sélection cinématique, qui permet de réduire davantage le bruit de fond électrofaible par rapport au signal (spectre de masse dans l'encart, avec les mêmes conventions de couleur). La signification statistique du signal observé au voisinage de 126 GeV est de 3,2 déviations standard.



de désintégration du boson de Higgs [*]. Les deux principaux modes de désintégration sont ceux qui conduisent à la mesure la plus précise de la masse du boson. Il s'agit de la désintégration en deux photons (fig. 1) et de la désintégration en quatre leptons (électrons et muons) par l'intermédiaire de deux bosons Z (fig. 2). ATLAS et CMS ont étudié également d'autres modes de production et de désintégration. Ces modes additionnels sont plus complexes à analyser, en raison de la présence de neutrinos dans l'état final ou de bruits de fond importants. Pour cette raison, les résultats 2012 présentés par ATLAS dans le séminaire du 4 juillet concernent uniquement les deux modes de désintégration principaux. CMS a présenté en plus des résultats dans les canaux de désintégration en paires de bosons W, de leptons τ ou de quarks b, pour différents modes de production.

Pour chacune des deux expériences, la combinaison de tous les canaux publiés en 2011 et des canaux présentés en séminaire en 2012 conduit à la même signification statistique locale de cinq écarts standards autour de la même masse, $M_H \sim 126$ GeV. Cela signifie que chaque expérience estime indépendamment que la probabilité pour qu'une fluctuation des bruits de fond conduise à un excès égal ou supérieur à l'excès observé est de l'ordre de trois sur dix millions.

Il est intéressant de noter que l'analyse des données de 2012 a été effectuée à l'aveugle : la région de masse correspondant à l'excès observé en 2011 a été intentionnellement masquée, pour éliminer les risques de biais dans les phases d'optimisation des performances des analyses et de détermination des incertitudes systématiques.

Les résultats de l'analyse des données enregistrées jusqu'en juin 2012 et incluant des canaux additionnels plus complexes, ont été soumis pour publication environ un mois après le séminaire du 4 juillet [4, 5].

La découverte du boson de Higgs, seule pièce manquante jusqu'alors du modèle standard, couronne plus de deux décennies de recherches auprès d'accélérateurs toujours plus puissants. Cet aboutissement clôt un chapitre, mais en ouvre un nouveau encore plus captivant. Cette nouvelle particule est-elle l'unique boson de Higgs du modèle standard ? Pourrait-il s'agir du premier représentant d'un multiplet de bosons de Higgs tel que le prévoient les modèles supersymétriques [**] ? Les données col-

lectées par les deux expériences jusqu'à la fin de l'année 2012 apporteront des éléments de réponse, mais ce sont les mesures de précision effectuées au LHC dans les années à venir qui permettront de conclure sur la nature de cette nouvelle particule et, peut-être, de révéler la voie d'une nouvelle physique. Il y a, en effet, de fortes raisons théoriques de penser que le modèle standard n'est pas la théorie ultime, mais seulement la manifestation à basse énergie d'une théorie plus fondamentale (à l'instar de la mécanique classique par rapport aux théories de la relativité et de la mécanique quantique).

Le champ de recherches ainsi ouvert avec l'étude des propriétés de cette nouvelle particule observée par ATLAS et CMS est passionnant. Cette découverte majeure dans l'histoire des sciences marque, pour les années à venir et bien au-delà, le début d'un programme de physique extrêmement riche pour les expériences installées auprès du LHC ou d'accélérateurs futurs. ■

[*] Parmi le million de milliards de collisions inélastiques proton-proton à 7 et 8 TeV qui se sont produites au cœur des détecteurs ATLAS et CMS au rythme de 600 millions par seconde, seulement 200 000 bosons de Higgs de masse égale à 126 GeV auraient été créés. Ces bosons de Higgs se désintègrent instantanément, dans la grande majorité des cas selon des modes impossibles à distinguer des bruits de fond, et qui souvent ne déclenchent même pas l'enregistrement de l'événement. Pour une masse du boson de Higgs de 126 GeV, les désintégrations en deux photons détectables correspondent à moins de 0,1% des désintégrations du boson de Higgs ; les désintégrations ZZ en quatre leptons détectables sont encore 20 fois moins nombreuses.

[**] La supersymétrie regroupe une classe de modèles qui prolongent le modèle standard en postulant une symétrie entre bosons et fermions dans le but, entre autres, de rendre naturelle la masse relativement basse du boson de Higgs. Alors que dans le modèle standard ce dernier est unique, les modèles supersymétriques prédisent l'existence d'au moins cinq bosons de Higgs, dont plusieurs sont chargés. Dans certains de ces modèles, le boson de Higgs neutre le plus léger aurait des propriétés proches de celles du boson de Higgs du modèle standard.

Références

- 1• L. di Ciaccio et G. Hamel de Monchenault, « Derniers résultats sur la recherche du boson de Higgs au LHC », *Reflets de la physique* **28** (2012) 15-17.
- 2• ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2012-093, <http://cdsweb.cern.ch/record/1460439>
- 3• CMS Collaboration, CMS-PAS-HIG-12-020, <http://cdsweb.cern.ch/record/1460438>
- 4• L'article d'ATLAS : <http://arxiv.org/abs/1207.7214>
- 5• L'article de CMS : <http://arxiv.org/abs/1207.7235>