

# Observation d'une nouvelle particule à une masse de 125 GeV

Expérience CMS, CERN

4 Juillet 2012

## Résumé

Au cours d'un séminaire commun entre le CERN et la conférence "ICHEP 2012" [1] à Melbourne, les chercheurs de la collaboration CMS (« compact muon solenoid ») auprès du LHC (« Large Hadron Collider ») du CERN ont présenté leurs nouveaux résultats préliminaires concernant la recherche du boson de Higgs du modèle standard (MS) dans les données prises jusqu'en juin 2012.

CMS observe un excès d'événements à une masse d'environ 125 GeV [2] avec une signifiante statistique de cinq écarts types (5 sigma) [3] au-dessus de l'attendu pour le bruit de fond. La probabilité pour le bruit de fond seul, de fluctuer à ce niveau ou au-delà est d'environ un sur trois millions. La mise en évidence est la plus forte dans les deux états finals offrant la meilleure résolution en masse : en premier le canal avec deux photons dans l'état final, et en second l'état final avec deux paires de leptons chargés (électrons ou muons). Nous interprétons cela comme étant dû à la production d'une particule jamais observée auparavant, avec une masse d'environ 125 GeV.

Les données de CMS excluent par ailleurs l'existence du boson de Higgs du MS dans la plage 110-122.5 GeV et 127-600 GeV à 95% de niveau de confiance [4] – les masses plus faibles ont déjà été exclues par le collisionneur LEP au CERN à un niveau de confiance comparable.

A l'intérieur des incertitudes statistiques et systématiques, les résultats obtenus dans les divers canaux de recherche sont conformes aux attentes pour le boson de Higgs du MS. Toutefois, des données supplémentaires seront nécessaires pour établir si cette particule possède toutes les propriétés du boson de Higgs MS, ou si certaines diffèrent, impliquant une nouvelle physique au-delà du modèle standard.

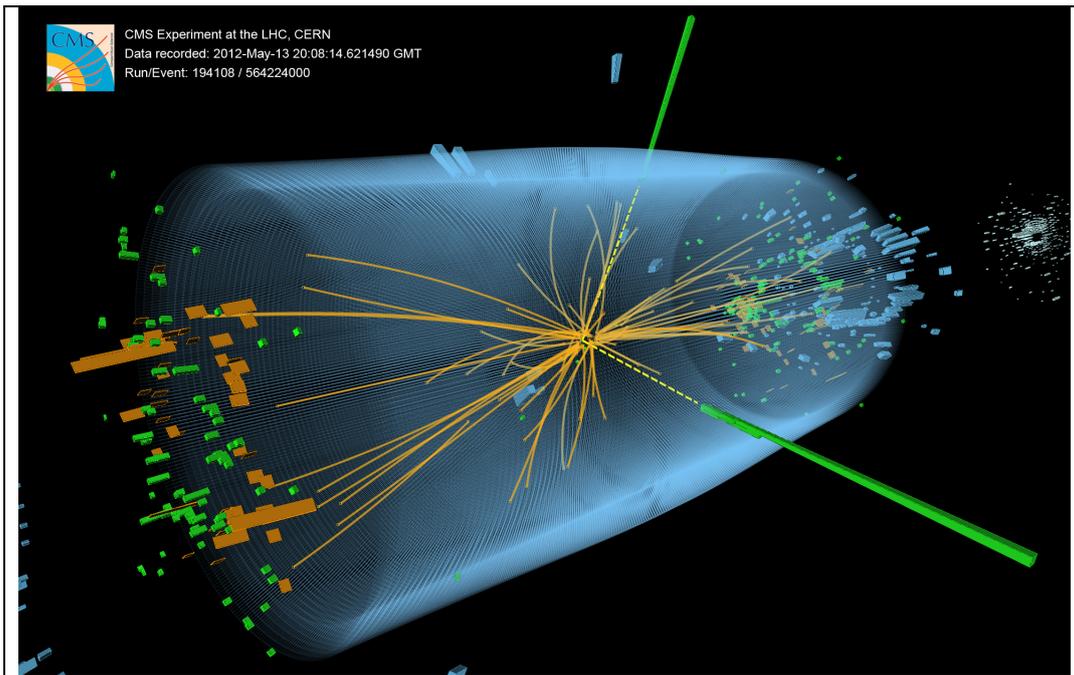
Le LHC continue de fournir de nouvelles données à un taux impressionnant. Avant la fin 2012, CMS espère avoir plus que triplé le total de ses données actuelles. Ces données permettront à CMS de mieux élucider la nature de cette particule nouvellement observée. Elles permettront également d'étendre la portée de ses nombreux autres axes de recherche de nouvelle physique.

## Stratégie de recherche de CMS

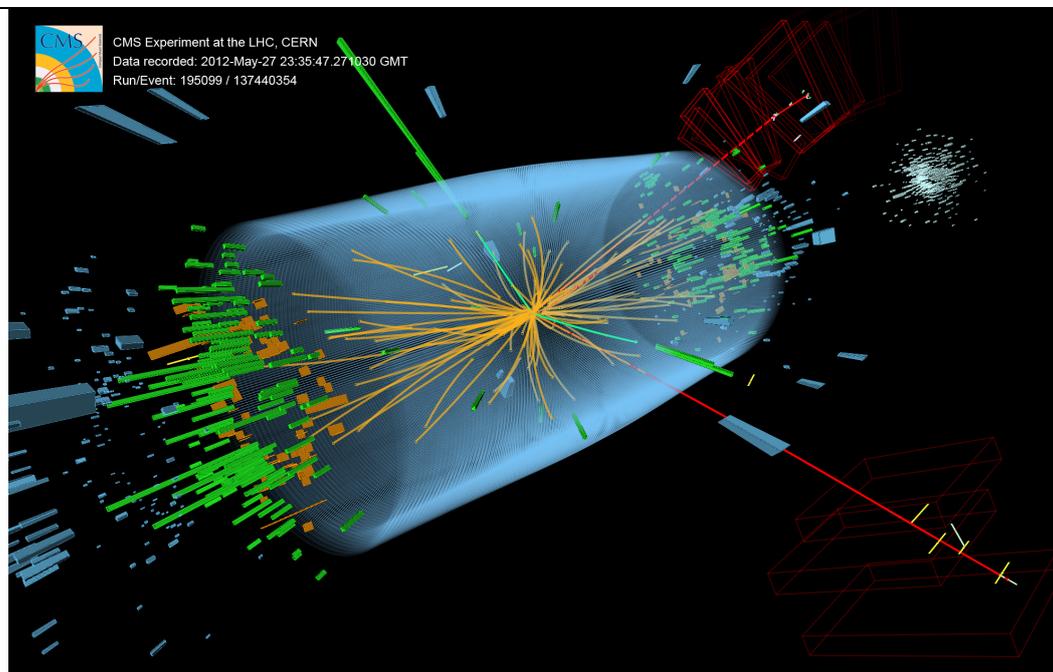
CMS a analysé la totalité des données de collisions proton-proton accumulées en 2011, puis en 2012 jusqu'au 18 juin. Ces données représentent jusqu'à  $5.1 \text{ fb}^{-1}$  de luminosité intégrée [5] à une énergie dans le centre de masse de 7 TeV en 2011 et jusqu'à  $5.3 \text{ fb}^{-1}$  à 8 TeV en 2012.

Le modèle standard prédit que le boson de Higgs ne survive qu'un très court laps de temps avant de se briser, ou se « désintégrer », en particules bien connues. CMS a étudié cinq principaux canaux de désintégration du boson de Higgs. Trois canaux correspondent à la production de paires de particules bosoniques ( $\gamma\gamma$ , ZZ or WW) et deux autres à la production d'une paire de particules fermioniques (bb or  $\tau\tau$ ), où  $\gamma$  désigne un photon, Z et W désignent les véhicules de la force de l'interaction faible, b désigne le quark "beau", et  $\tau$  le lepton tau. Les canaux  $\gamma\gamma$ , ZZ et WW sont sensibles de façon égale à la recherche du boson de Higgs autour de 125 GeV, et tous plus sensibles que les canaux bb and  $\tau\tau$ .

Les canaux  $\gamma\gamma$  et ZZ sont particulièrement importants car tous deux offrent la possibilité de mesurer la masse d'une nouvelle particule avec précision. Dans le canal  $\gamma\gamma$ , la masse est déterminée à partir des énergies et des directions de deux photons de haute énergie mesurés par le calorimètre électromagnétique à cristaux (ECAL, Figure 1). Dans le canal ZZ, la masse est déterminée par la désintégration des deux Z en deux paires d'électrons, ou deux paires de muons, ou une paire d'électrons et une paire de muons (Figure 2). Ces particules sont mesurées par le ECAL, le trajectographe interne et les chambres à muons.



**Figure 1.** Événement enregistré par le détecteur CMS en 2012 à une énergie dans le centre de masse de la collision proton-proton de 8 TeV. L'événement montre les caractéristiques attendues pour la désintégration du boson de Higgs du modèle standard en une paire de photons (lignes jaunes pointillées et tours vertes). L'événement pourrait également être dû à des processus de bruits de fond connus du modèle standard.



**Figure 2.** Événement enregistré par le détecteur CMS en 2012 à une énergie dans le centre de masse de la collision proton-proton de 8 TeV. L'événement montre les caractéristiques attendues pour la désintégration du boson de Higgs du MS en une paire de bosons Z, avec un de ceux-ci se désintégrant en une paire d'électrons (lignes et tours vertes) et l'autre Z en une paire de muons (lignes rouges). L'événement pourrait également être dû à des processus de bruits de fond connus du modèle standard.

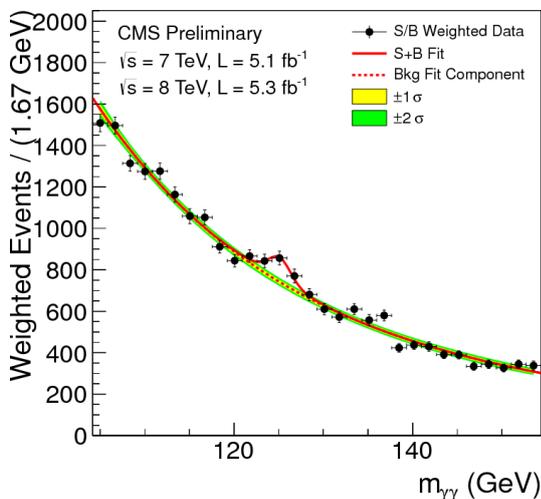
Le canal WW est plus complexe. Chaque W est identifié via sa désintégration en un électron et un neutrino, ou un muon et un neutrino. Les neutrinos traversent les détecteurs de CMS sans laisser de trace, de telle sorte que le boson de Higgs du MS dans le canal WW se manifeste par un excès sur une large plage de masse, plutôt que par un pic étroit. Le canal bb a des bruits de fond importants provenant du modèle standard, de telle façon que l'analyse recherche une production du boson de Higgs en association avec un W ou Z, qui se désintègre en électron(s) ou muon(s). Le canal  $\tau\tau$  est mesuré en observant les désintégrations des  $\tau$  en électrons, muons et hadrons.

### Résumé des résultats de CMS

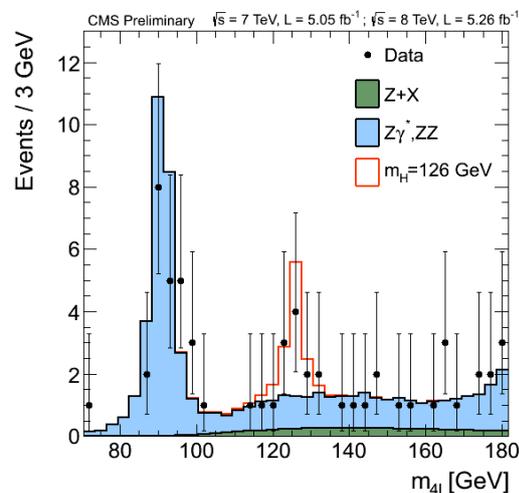
Les données de CMS devraient être suffisamment sensibles pour exclure complètement la plage de masse 110-600 GeV à 95% de niveau de confiance, si le boson de Higgs du MS n'existe pas. De fait, les données de CMS excluent effectivement l'existence du boson de Higgs du MS dans deux grandes plages de masse, 110-122.5 GeV et 127-600 GeV, à 95% de niveau de confiance.

La plage 122.5-127 GeV ne peut être exclue car nous voyons un excès d'événements dans trois des cinq canaux étudiés:

1. **canal  $\gamma\gamma$**  : la distribution en masse est montrée dans la Figure 3. Il y a un excès d'événements au-dessus du bruit de fond avec un significance de 4.1 sigma à une masse proche de 125 GeV. L'observation d'un état final à deux photons implique que la nouvelle particule est un boson, pas un fermion, et qu'elle ne peut pas être une particule de « spin 1 ».
2. **canal ZZ**: la Figure 4 montre la distribution en masse pour les quatre leptons (deux paires d'électrons, ou deux paires de muons, ou une paire d'électrons avec un paire de muons). En tenant compte aussi des caractéristiques angulaires de la désintégration, le canal produit un excès de 3.2 sigma au-dessus du bruit de fond à une masse proche de 125 GeV.
3. **canal WW**: un excès étalé dans la distribution en masse de 1.5 sigma est observé.
4. **canal bb et  $\tau\tau$** : aucun excès observé.

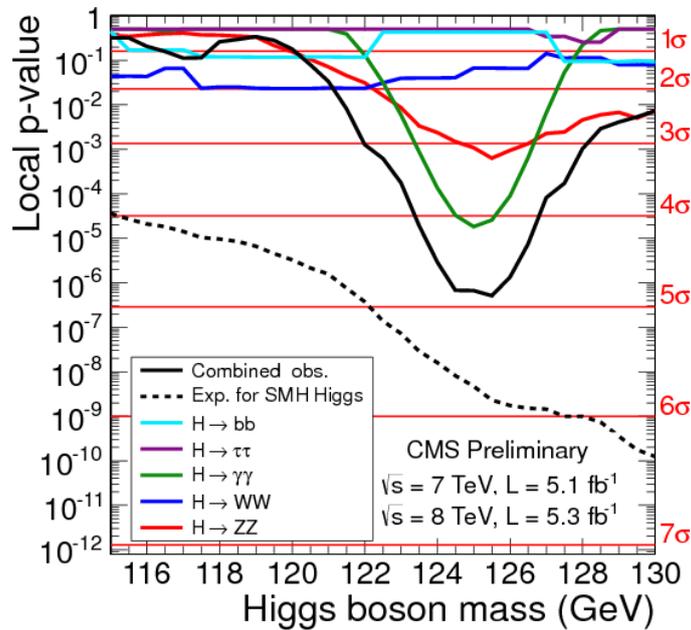


**Figure 3.** Spectre de masse invariante di-photon ( $\gamma\gamma$ ) pour les données 2011 et 2012 de CMS (points noirs avec barres d'erreurs). Les données sont pondérées par le rapport signal sur bruit pour chaque sous-catégorie d'événements. La ligne rouge plein montre le résultat de l'ajustement pour le signal plus bruit de fond; la ligne rouge pointillée montre le bruit de fond seul.



**Figure 4.** Distribution de la masse quatre-leptons reconstruite pour la somme des canaux  $4e$ ,  $4\mu$ , et  $2e2\mu$ . Les points représentent les données, l'histogramme plein représente le bruit de fond et l'histogramme vide l'attendu pour le signal. Les contributions sont montrées superposées. Les mesures sont présentées pour la somme des données accumulées à des énergies dans le centre de masse de 7 TeV and 8 TeV.

La signifiante statistique pour le signal, pour un ajustement combiné des cinq canaux (Figure 5), est de 4.9 sigma au-dessus du bruit de fond. Un ajustement combiné des deux canaux les plus sensibles et de plus hautes résolutions ( $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ ) conduit à une signifiante statistique de 5.0 sigma. La probabilité pour le bruit de fond seul de fluctuer à ce niveau ou au-delà est d'environ un sur trois millions.



**Figure 5.** Probabilité (“p-value”) pour que l’hypothèse bruit de fond seul fournisse autant ou plus d’événements que observé dans les données de CMS, en fonction de la masse pour les cinq canaux considérés. La ligne noire montre la combinaison de la « p-value » locale pour la combinaison de tous les canaux.

La masse de la nouvelle particule est déterminée comme étant  $125.3 \pm 0.6$  GeV, indépendante de toute hypothèse sur les rendements relatifs attendus pour les canaux de désintégration. Le taux de production mesuré ( $\sigma_{\text{DAT}}$ ) de cette nouvelle particule est conforme au taux prédit ( $\sigma_{\text{SM}}$ ) pour le boson de Higgs du modèle standard:  $\sigma_{\text{DAT}}/\sigma_{\text{SM}} = 0.80 \pm 0.22$ .

Une attention particulière a été portée à la compréhension des nombreux détails des performances du détecteur, de la sélection des événements, de la détermination du bruit de fond, et des autres sources possibles d’incertitudes systématiques et statistiques. L’analyse des données 2011 [6] a montré un excès autour d’environ 125 GeV. Par conséquent, pour éviter un risque de biais dans le choix des critères de sélection pour les données 2012, qui pourraient améliorer artificiellement cet excès, l’analyse des données 2012 s’est effectuée “à l’aveugle” [7], au sens où la région d’intérêt n’a pas été étudiée avant que l’ensemble des critères de sélection aient été entièrement examinés et approuvés.

Pour vérification générale, l’analyse a été effectuée par au moins deux équipes indépendantes. Nombre de caractéristiques renforcent la confiance dans les résultats:

- L’excès est mesuré autour de 125 GeV autant dans les données 2011 (7 TeV) que dans les données 2012 (8 TeV) ;
- L’excès est mesuré à la même valeur de masse dans les deux canaux de haute résolution en masse ( $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ );
- L’excès mesuré dans les canaux WW et bb est cohérent avec celui qui résulterait d’une particule de 125 GeV;
- L’excès est mesuré dans des états finals variés impliquant photons, électrons, muons et hadrons.

Les résultats préliminaires présentés aujourd'hui seront améliorés, avec l'objectif de soumettre pour à publication vers la fin de l'été.

### Plans futurs

La nouvelle particule observée autour de 125 GeV est compatible, dans la limite de la précision statistique, avec l'hypothèse du boson de Higgs du modèle standard. Toutefois, des données supplémentaires seront nécessaires pour mesurer ses propriétés telles que les rapports d'embranchement dans les divers canaux ( $\gamma\gamma$ , ZZ, WW, bb and  $\tau\tau$ ) et, ultimement, son spin et sa parité, et affirmer s'il s'agit du boson de Higgs du modèle standard ou du résultat d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard.

Le LHC continue d'offrir d'excellentes performances. A la fin 2012, CMS espère plus que tripler son lot total de données, et ainsi sonder plus profondément la nature de la nouvelle particule. Si il est confirmé que cette particule est le boson de Higgs du modèle standard, ses propriétés et les implications seront étudiées en détail. S'il ne s'agit pas du boson de Higgs du modèle standard, CMS explorera la nature de la nouvelle physique que cela implique, et qui pourrait inclure des particules supplémentaires observables au LHC. Dans l'un ou l'autre cas, les recherches de nouvelles particules ou forces, qui pourraient être observées dans les futures périodes de prise de données à plus hautes énergies et plus hautes intensités, se poursuivront.

### A propos de CMS

Pour plus d'informations : <http://cern.ch/cms> ou contact: [cms.outreach@cern.ch](mailto:cms.outreach@cern.ch).

CMS est une des deux expériences généralistes sur le LHC qui ont été construites pour la recherche de nouvelle physique. Elle est bâtie pour détecter un large spectre de particules et de phénomènes produits dans les collisions proton-proton et d'ions lourds à hautes énergies dans le LHC et aidera à répondre aux questions telles que: "De quoi l'univers est-il réellement fait et quelles forces y agissent?" et "qu'est-ce qui donne la masse à toute chose?" Il mesurera aussi les propriétés des particules bien connues avec une précision sans précédent et sera à la recherche de phénomènes complètement nouveaux et non prédits. Une telle recherche non seulement augmente notre compréhension sur la façon dont l'univers fonctionne, mais peut éventuellement nourrir de nouvelles technologies qui changent le monde dans lequel nous vivons comme cela a été souvent le cas dans le passé.

La conception de l'expérience CMS date de 1992. La construction du gigantesque détecteur (15 m de diamètre sur 29 m de long avec un poids de 14000 tonnes) a nécessité 16 ans d'effort, d'une des plus grandes collaborations internationales scientifiques jamais rassemblée: plus de 3100 scientifiques et ingénieurs provenant de 169 institutions et laboratoires de recherche appartenant à 39 pays du monde entier.

Pour plus d'informations, contacter : [cms.outreach@cern.ch](mailto:cms.outreach@cern.ch).

### Notes

[1] ICHEP désigne la « 36th International Conference on High Energy Physics », Melbourne, Australie du 4 au 11 Juillet, 2012". Les résultats seront présentés conjointement: en personne au CERN et en liaison vidéo temps-réel avec ICHEP.

[2] L'électron volt (eV) est une unité d'énergie. A GeV is 1,000,000,000 eV . En physique des particules, où masse et énergie sont interchangeables, il est commun d'utiliser  $eV/c^2$  comme unité de masse (utilisant  $E = mc^2$ , où c est la vitesse de la lumière dans le vide).

On utilise encore plus communément un système d'unités naturelles où c est égal à 1 (et donc,

$E = m$ ), et simplement eV et GeV comme unité de masse.

- [3] L'écart type décrit l'étalement d'un ensemble de mesures autour d'une valeur moyenne. Il peut être utilisé pour quantifier le niveau de désaccord entre un ensemble de données et une hypothèse donnée. Les physiciens expriment les écarts types en unités appelés "sigma". Plus le nombre de sigma est grand, moins les données sont compatibles avec l'hypothèse. Typiquement, moins une découverte est probable, plus le nombre de sigma nécessaires pour prouver sa véracité est grand.
- [4] Le niveau de confiance est une mesure statistique du pourcentage de résultats positifs attendus dans un intervalle donné. Par exemple, un niveau de confiance de 95% signifie que les résultats d'un test seront, en moyenne, 95% des fois ceux attendus.
- [5] <http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html>
- [6] <http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011>
- [7] <http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses>