

Masterclasses

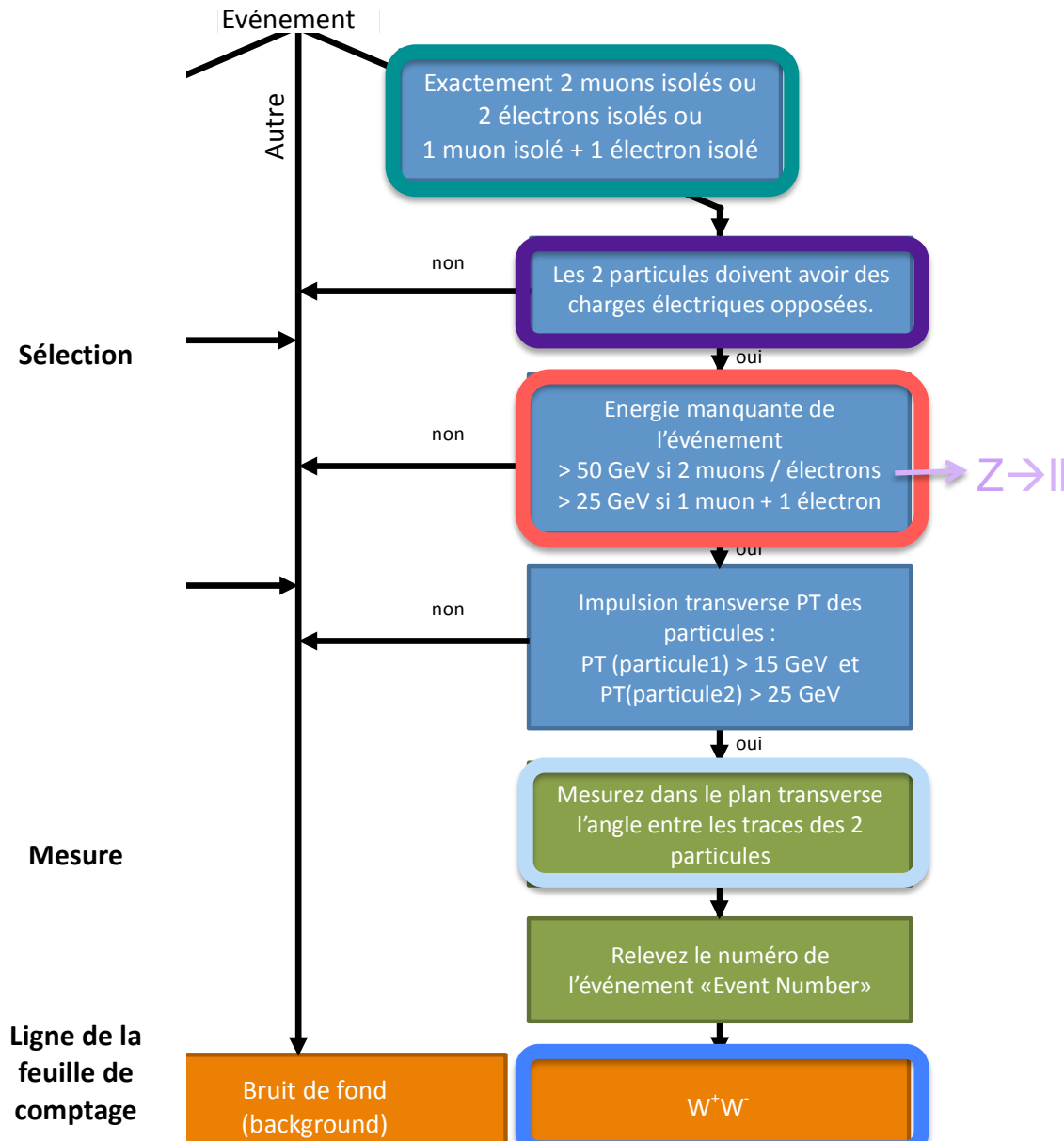
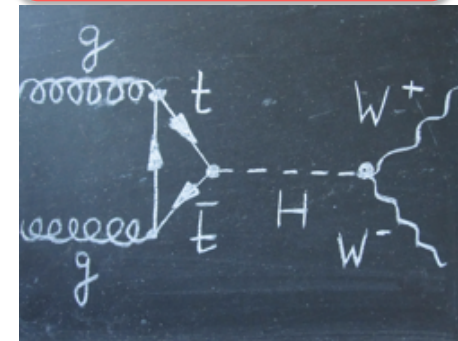
Avez-vous découvert le
boson de Higgs?

Sélection des événements

$pp \rightarrow H \rightarrow 2 W$

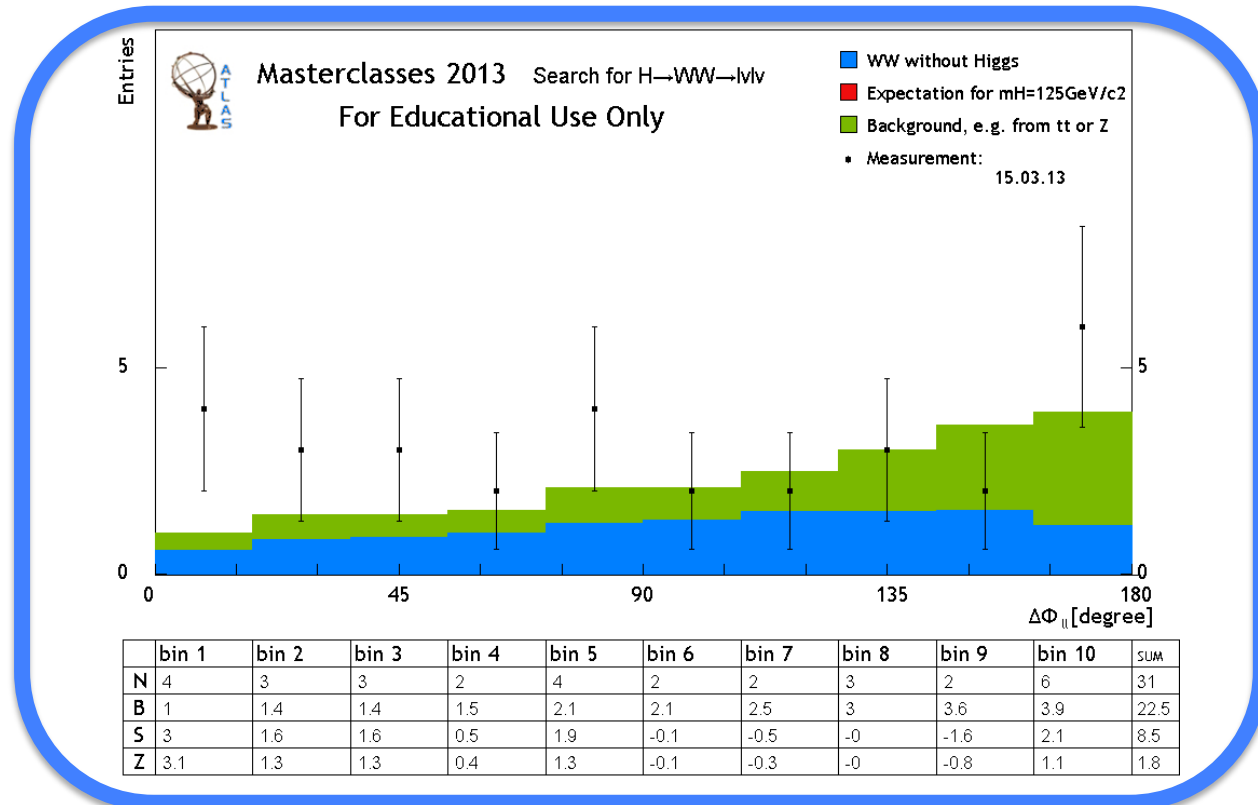
\rightarrow 2 leptons chargés

\rightarrow + 2 neutrino



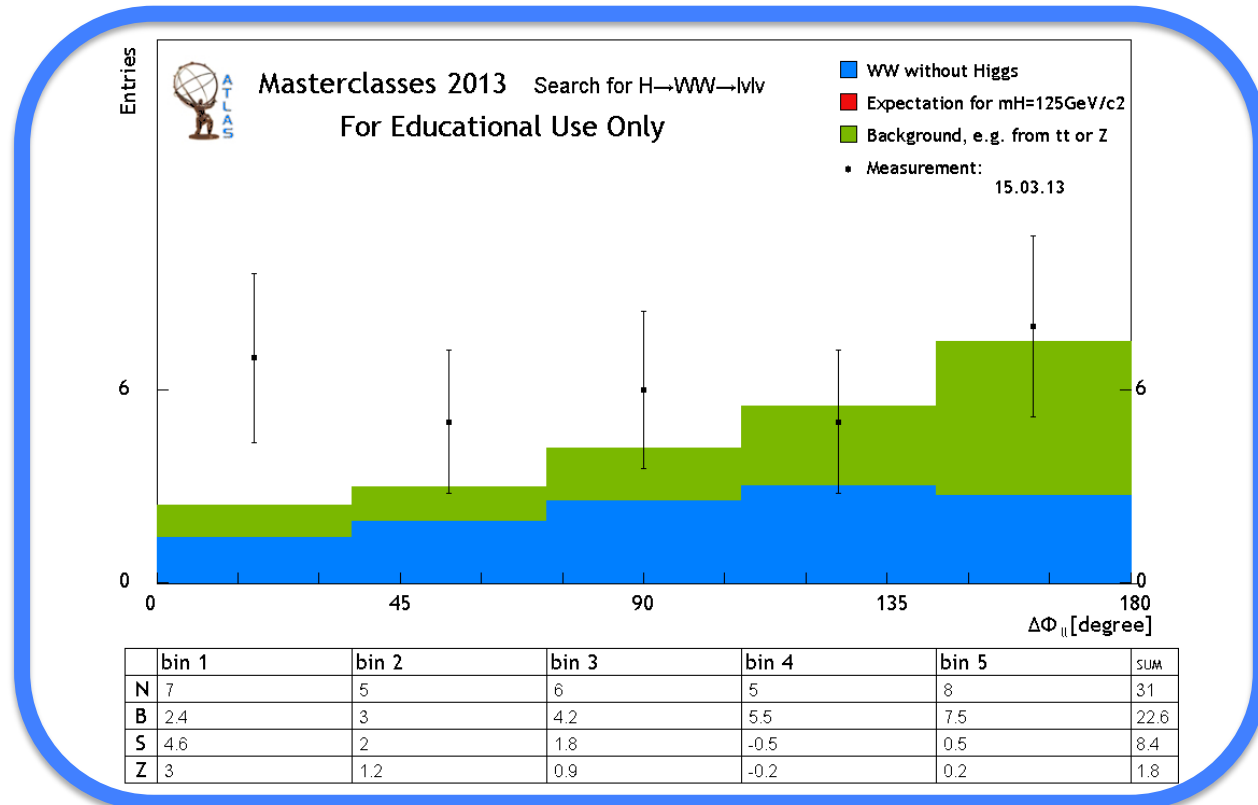
- Paires de W venant d'autres processus du MS
- Z + jets de particules
- Paires des quarks top
- W + jets
- Quarks top produits tout seul

Vos résultats



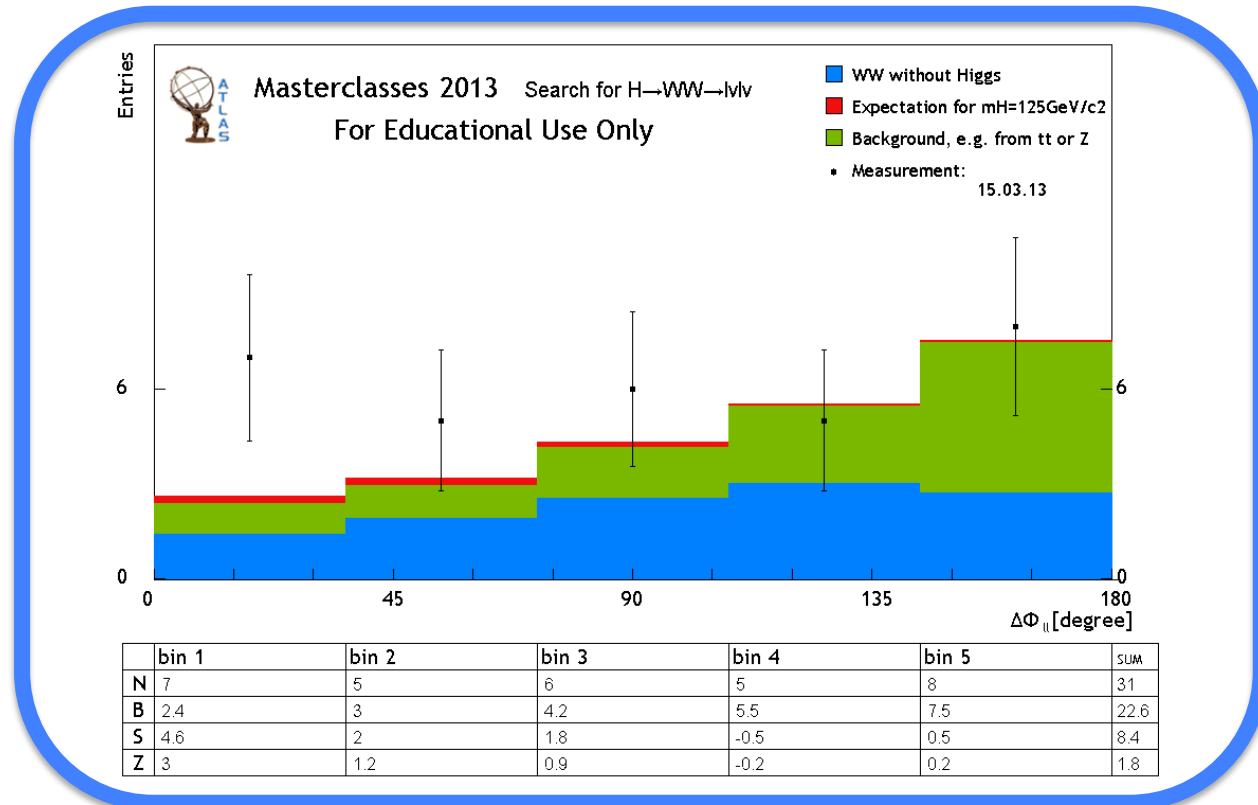
- Présentation dans un histogramme
- Incertitude statistique sur la mesure
- Confrontation aux prédictions théoriques
- Peu d'événements analysés

Vos résultats



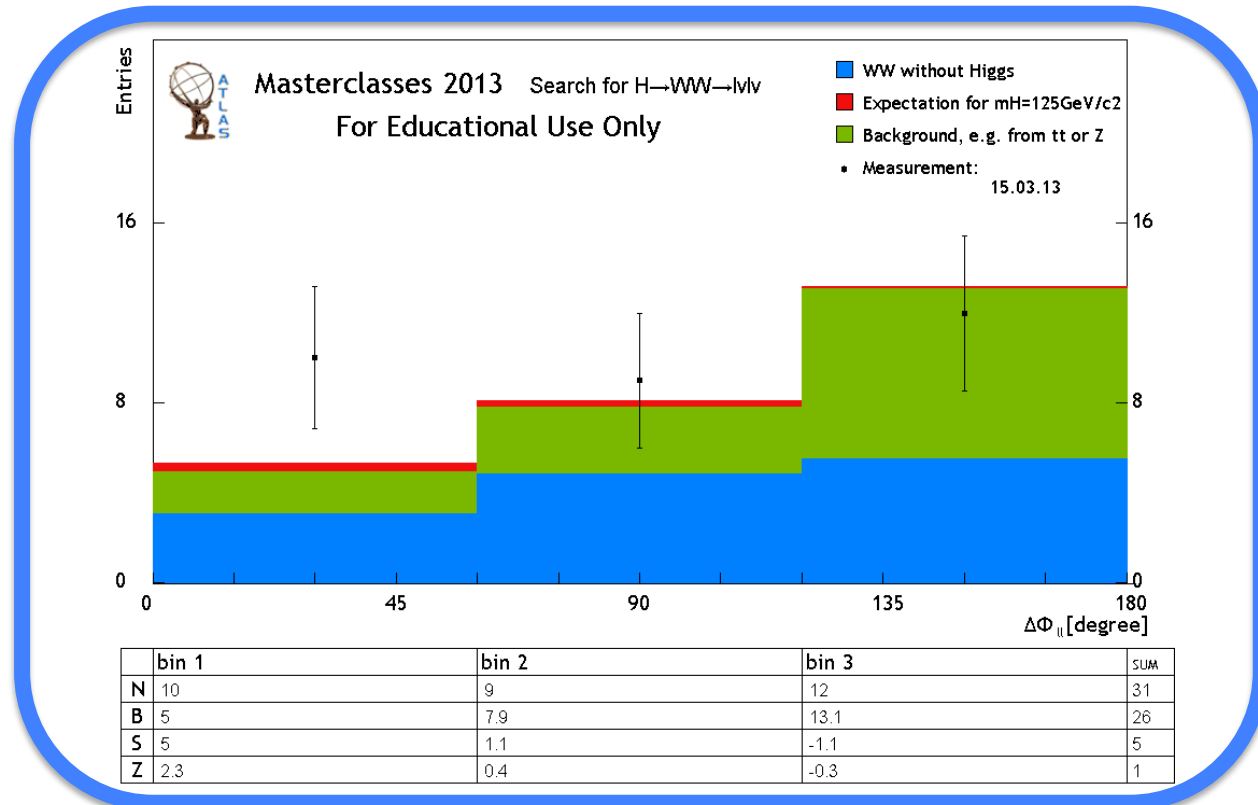
- Présentation dans un histogramme
- Incertitude statistique sur la mesure
- Confrontation aux prédictions théoriques
- Peu d'événements analysés

Vos résultats



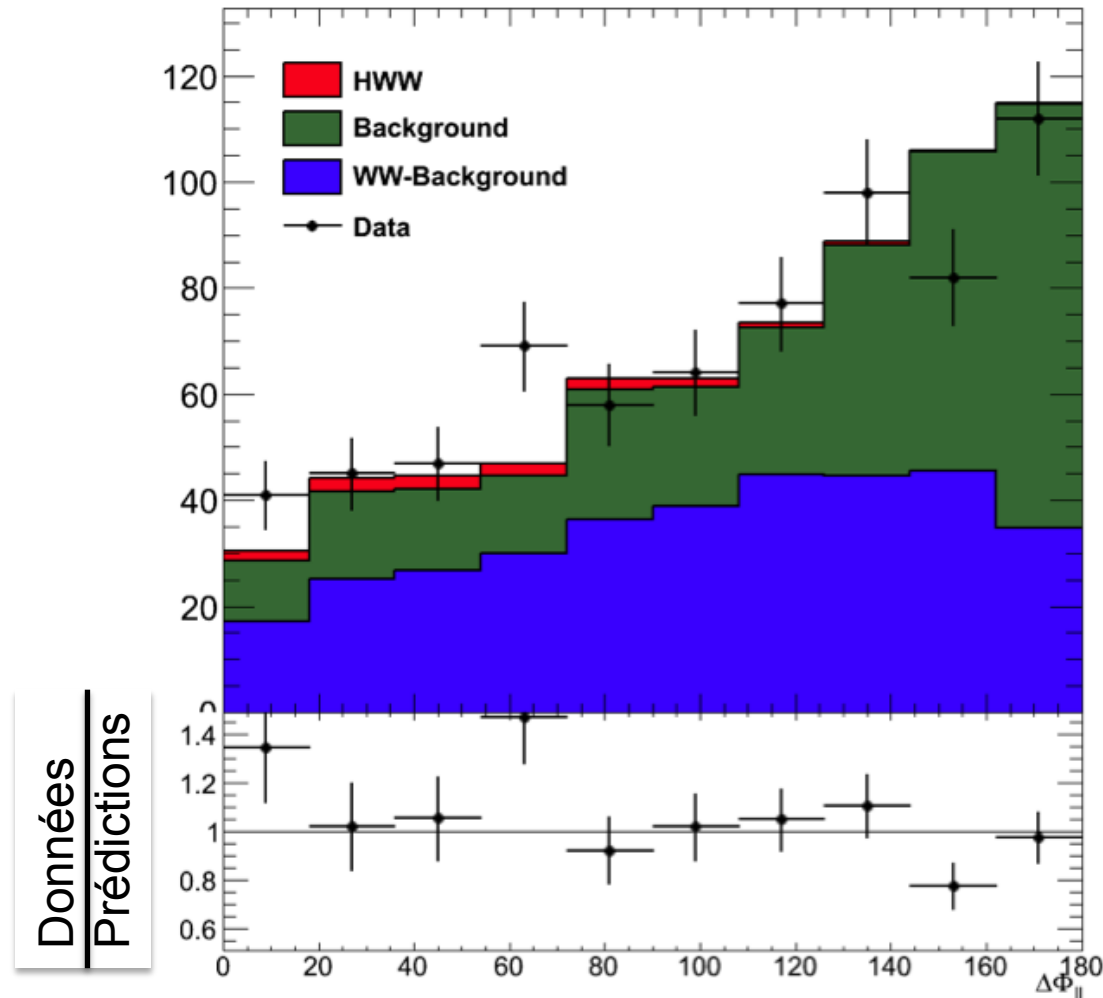
- Présentation dans un histogramme
- Incertitude statistique sur la mesure
- Confrontation aux prédictions théoriques
- Peu d'événements analysés
- Difficile de voir un excès...

Vos résultats



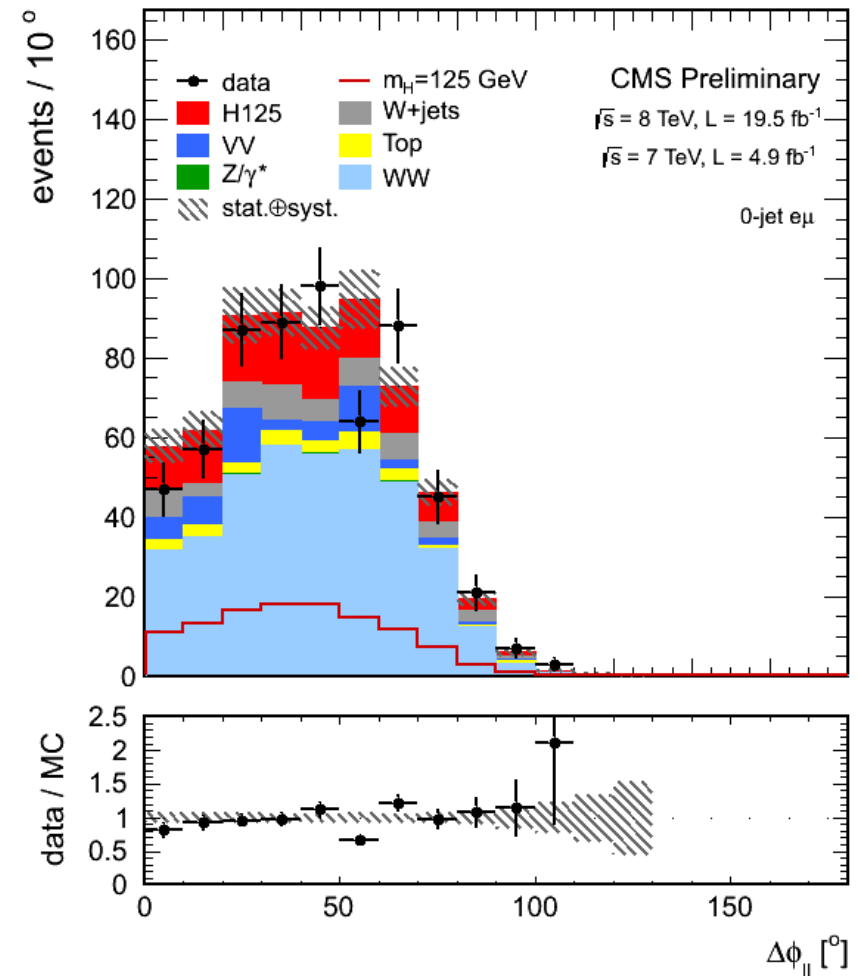
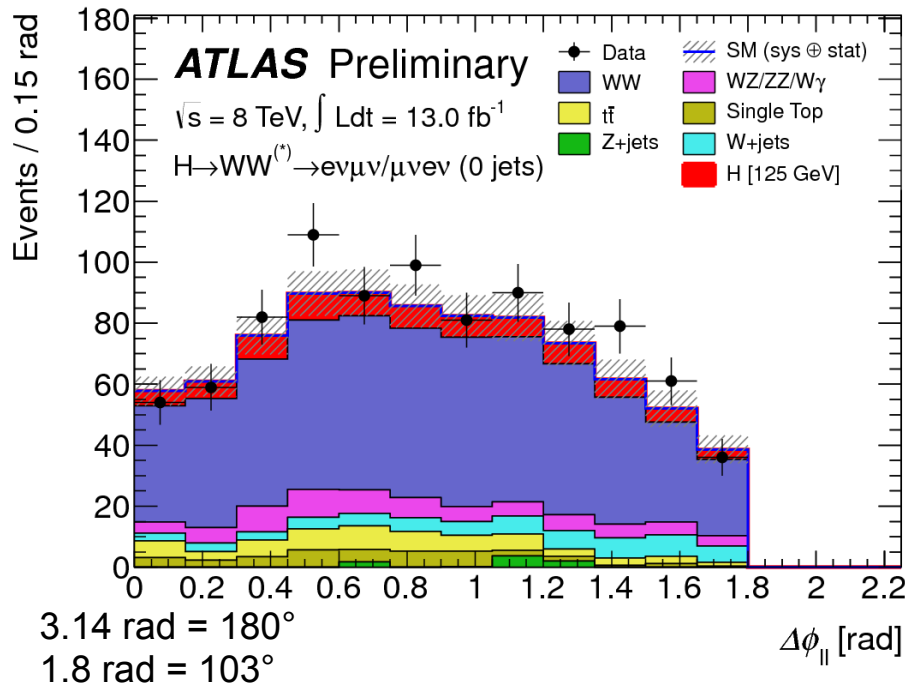
- Présentation dans un histogramme
- Incertitude statistique sur la mesure
- Confrontation aux prédictions théoriques
- Peu d'événements analysés
- Difficile de voir un excès...

Si vous aviez tourné sur tous les événements des Masterclasses



ATLAS
Masterclasses
 $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$
 $L = 1.154 \text{ fb}^{-1}$

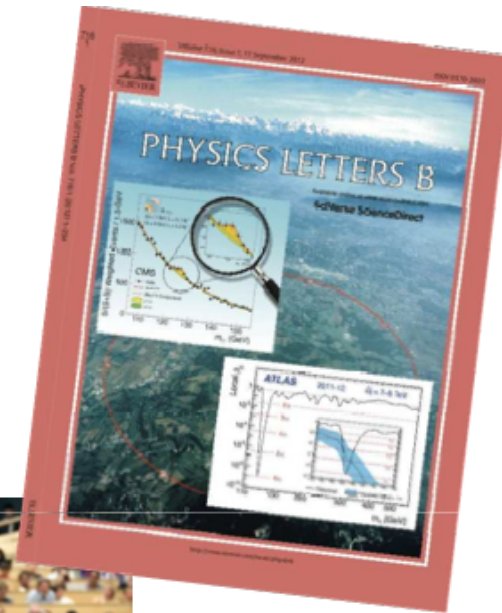
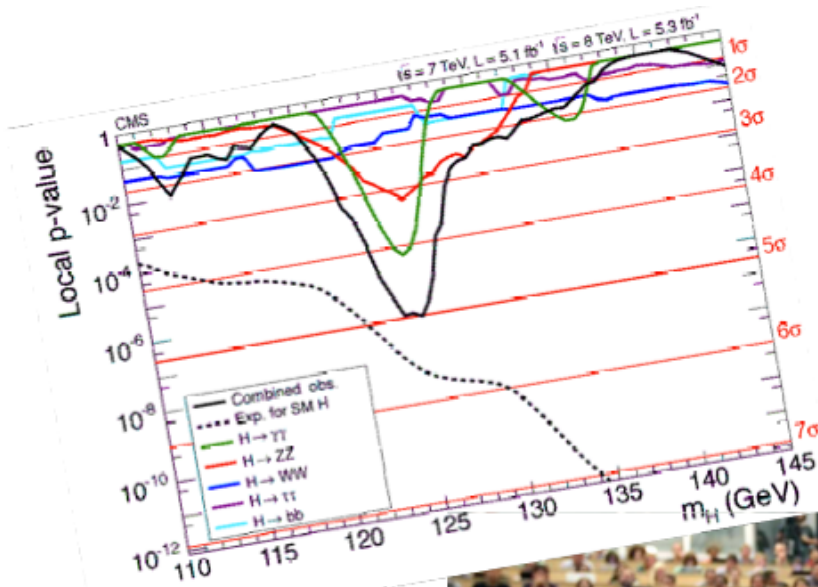
Les histogrammes montrés en conférence la semaine passée pour le canal WW



Avec plus d'événements et des sélections plus fortes.

Masterclasses

A-t-on découvert le boson
de Higgs?



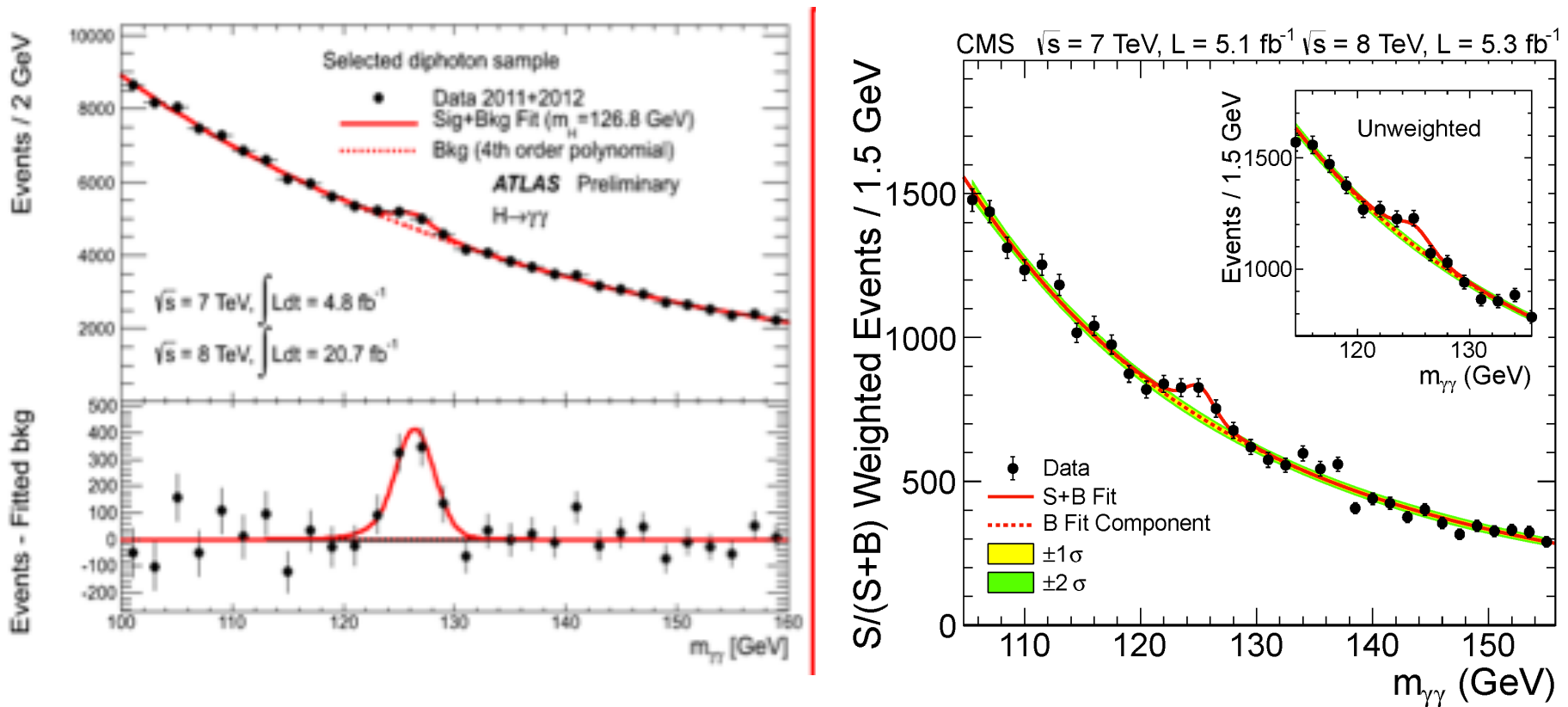
4 juillet 2012 :
date
historique!



Rolf Heuer :
« **We have it!** »

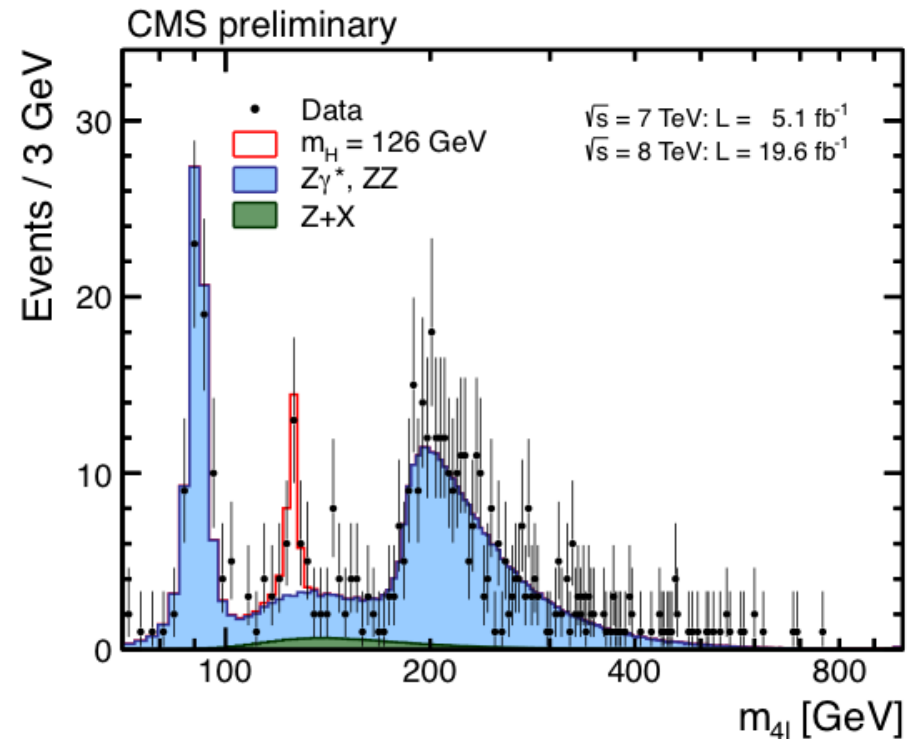
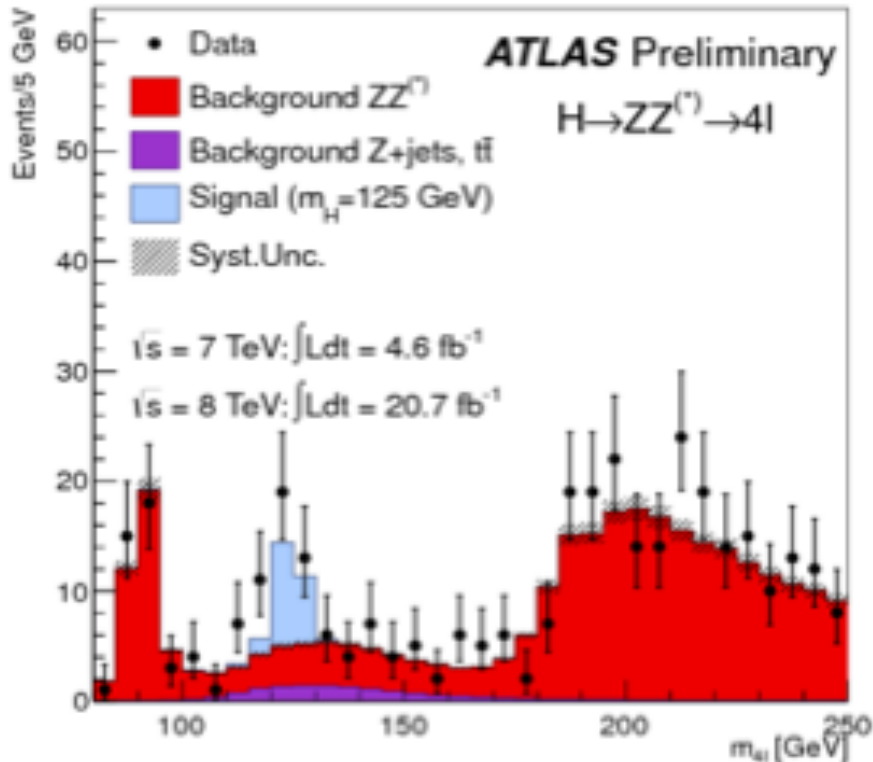


H → 2 photons



On est sur! On a bien découvert une particule de masse ~ 125 GeV, mais est-ce vraiment le boson de Higgs?

H → 2Z



On est sur! On a bien découvert une particule de masse ~ 125 GeV, mais est-ce vraiment le boson de Higgs?

Comment savoir si c'est le Higgs?

Sa masse M_H : non prédite

Ses propriétés : définies en fonction de M_H

→ On va tester toutes les propriétés pour vérifier si c'est bien le Higgs du MS :

- modes de désintégration et taux
- couplage aux particules
- spin

Masterclasses

Et maintenant?

Qu'est-ce que la découverte change pour nous?

Découverte majeure au LHC → enthousiasme!

Reste la question de la nature de la particule :
Higgs du MS ou a-t-on découvert de la nouvelle physique?

Va-t-on faire d'autres découvertes?

Répondrons-nous à d'autres questions ouvertes de la physique des particules?

Masterclasses

Qui est le boson de Higgs?

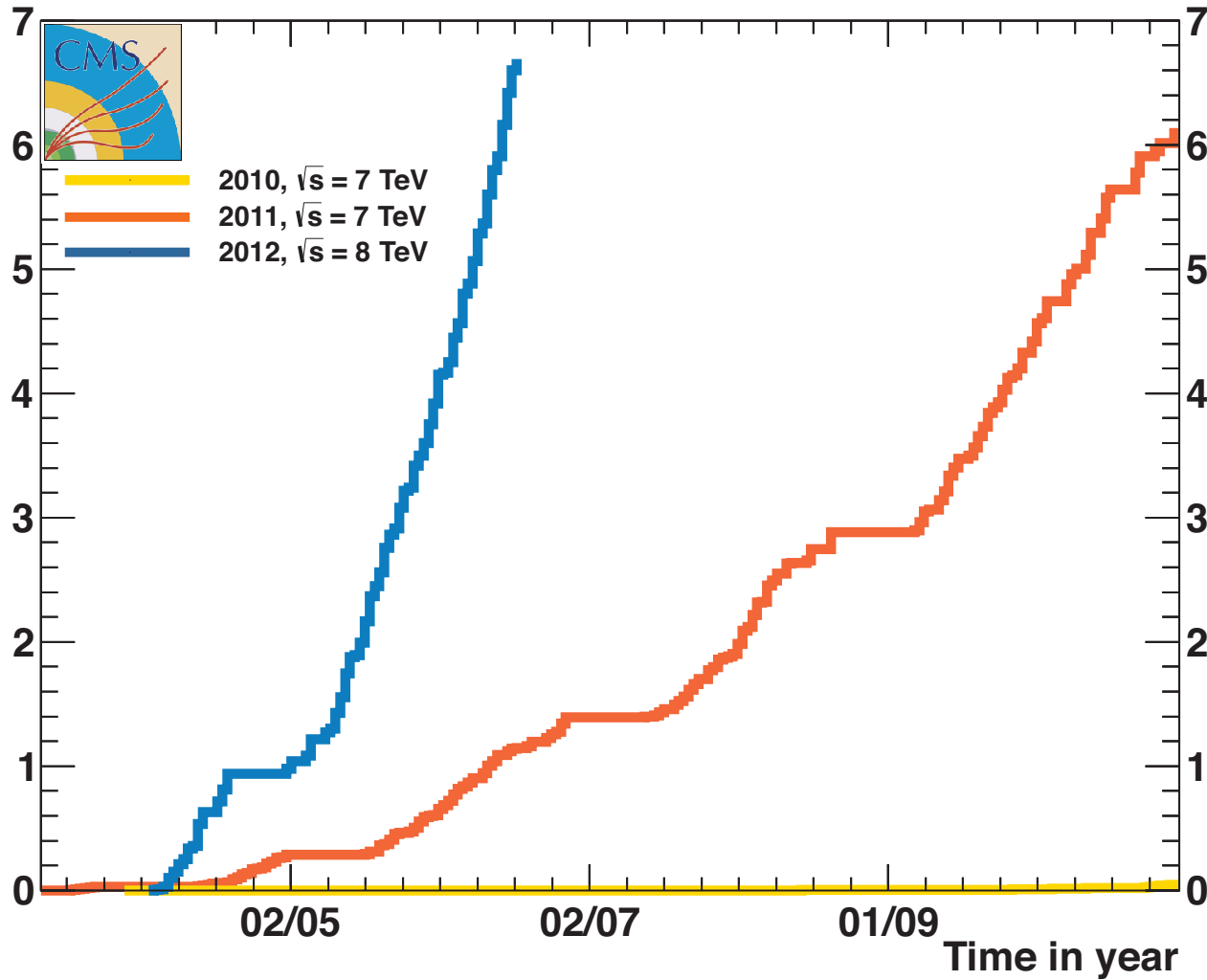
Le Boson de Higgs

Particule spéciale dans le Modèle Standard

- **Boson** : spin entier 0
 - (les médiateurs des interactions ont spin 1)
 - (les particules de matière ont des spins 1/2)
- **Higgs** : le nom d'un des 3 inventeurs
- **Son rôle** : lié à l'origine des masses des autres particules
- **Sa découverte** : Peut-être le 4 juillet 2012 😊

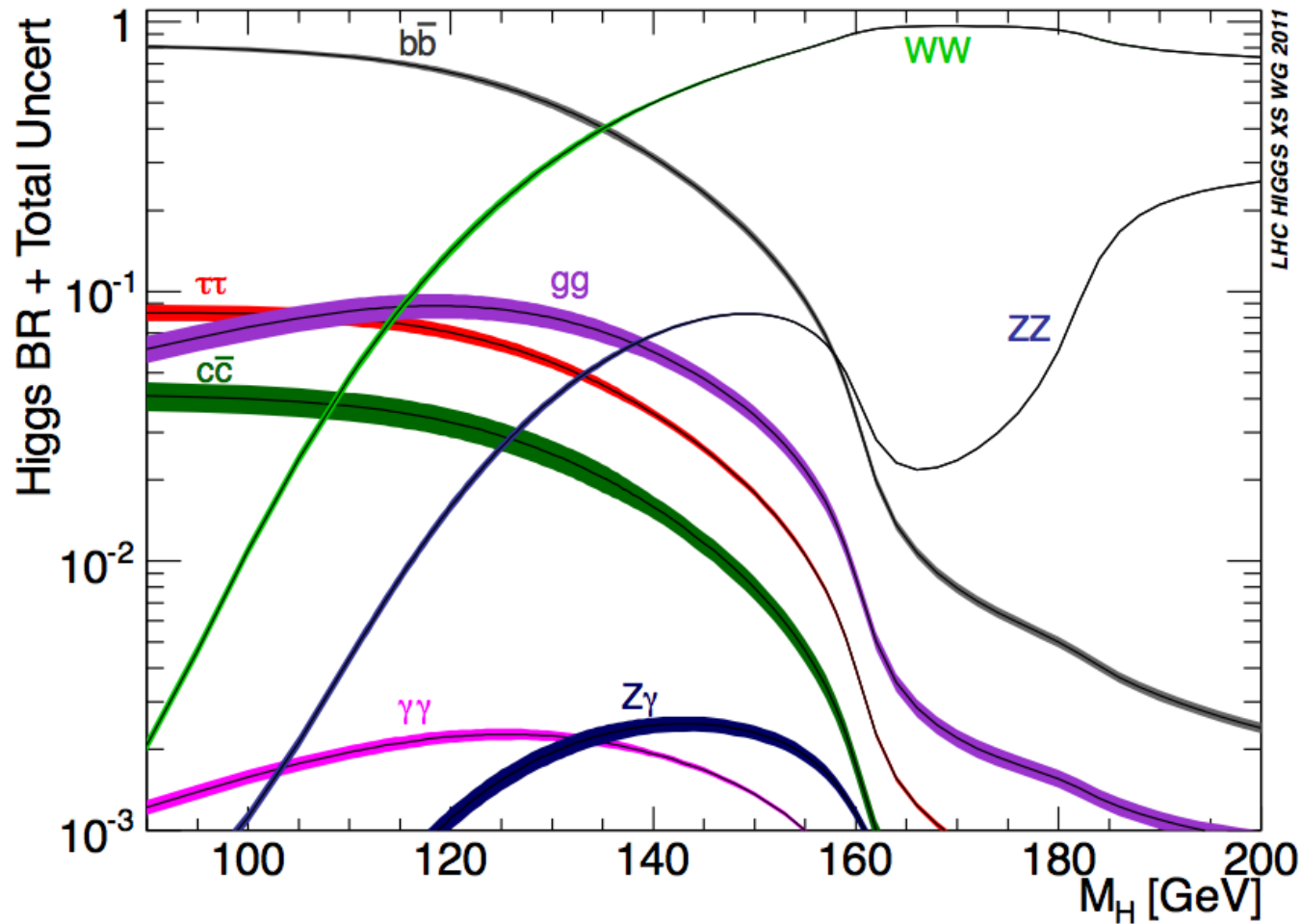
Combien de Higgs?

Nombre de collisions proton-proton
(en centaine de millier de milliards)



Nombre de Higgs potentiellement
produits (en dizaine de milliers)

Dans quel canal de désintégration?



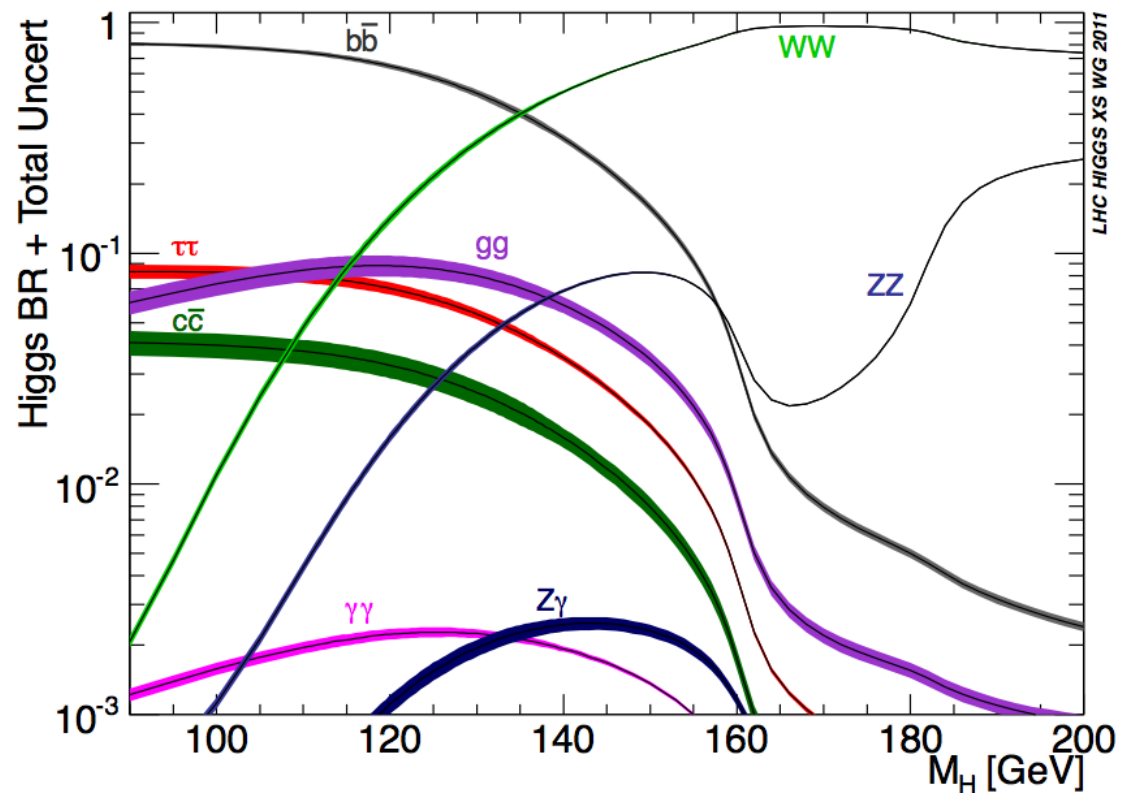
Masterclasses

Comment ça se passe au
LHC ?

La recherche du boson de Higgs

Différents modes de désintégration :

- $H \rightarrow 2$ photons
- $H \rightarrow 2 Z \rightarrow 4 l$
- $H \rightarrow 2 W \rightarrow 2 l + 2 \nu$
- ...



→ Un maximum de canaux de désintégration étudiés

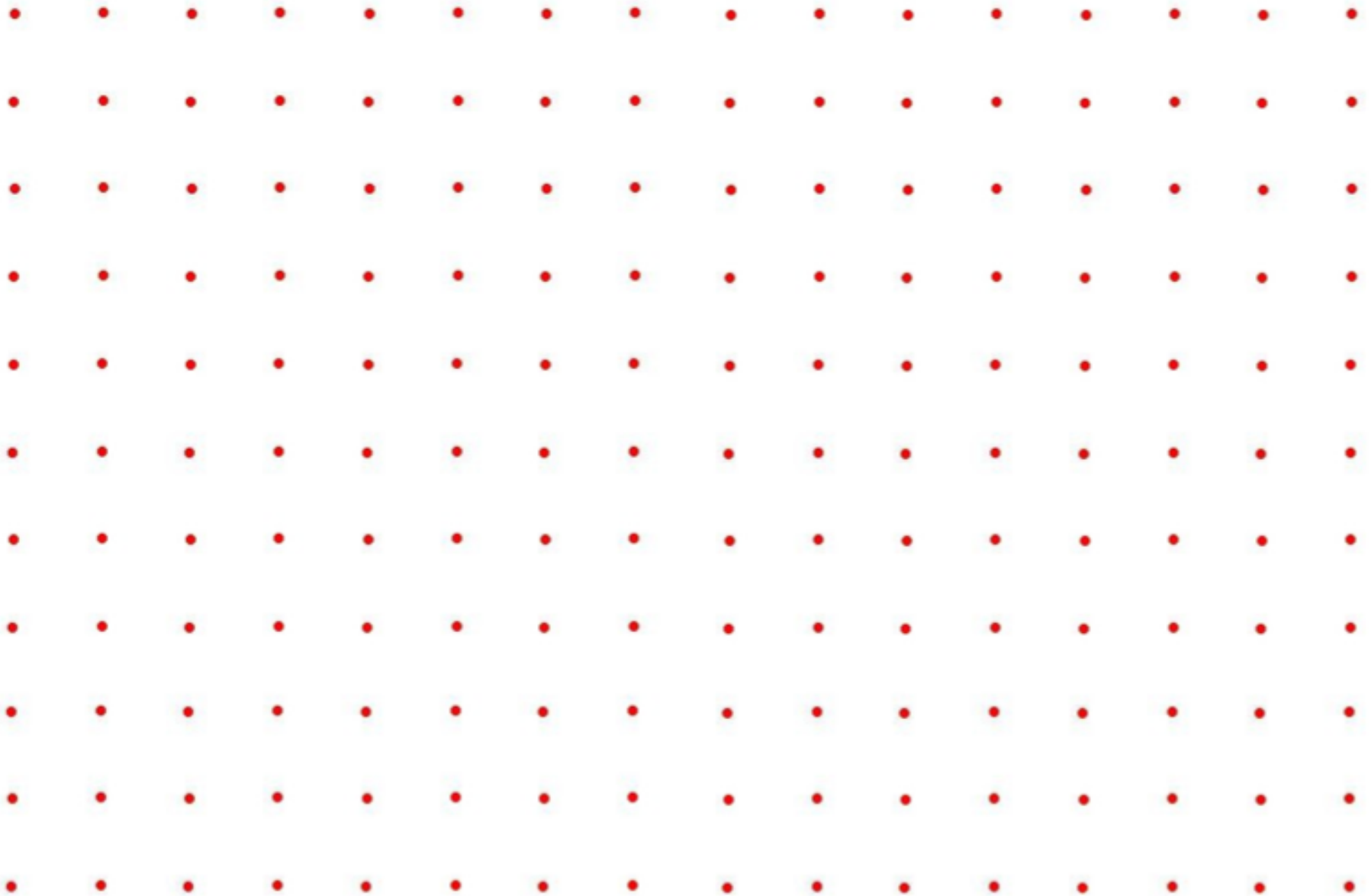
La recherche du boson de Higgs

Des analyses très complexes :

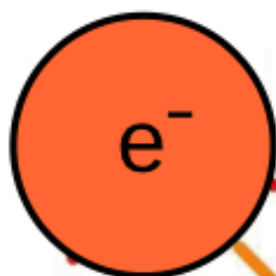
- sélection d'événements,
- détermination des bruits de fond,
- technique d'analyses multi variées,
- méthodes statistiques,
- Beaucoup de vérifications

Beaucoup de monde impliqué : quelques centaines de personnes par collaboration

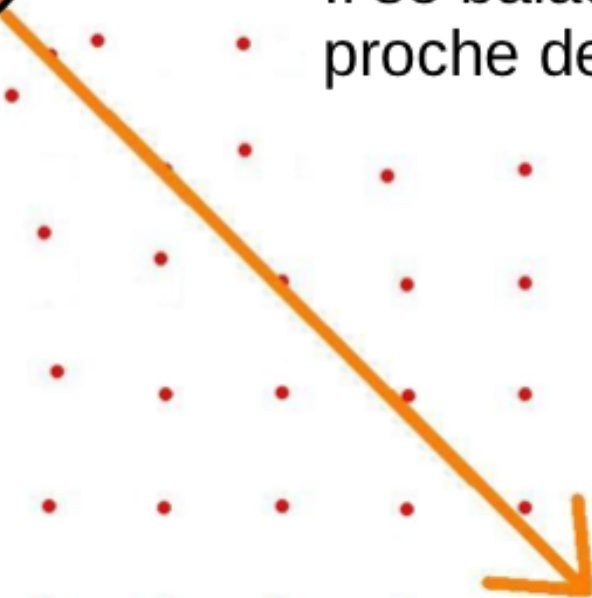
Champ de Higgs



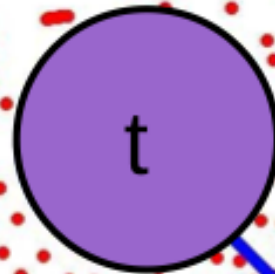
Champ de Higgs



L'électron **interagit très peu**
avec le champs de Higgs
Il se balade a une vitesse
proche de celle de la lumière



Champ de Higgs



Le top **interagit beaucoup** avec le champs de Higgs. Il lui faut beaucoup plus d'énergie pour se déplacer: il **paraît plus lourd!**

Nombres d'événements attendus

ATLAS Masterclasses, $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$, $L = 1.154 \text{ fb}^{-1}$

| Drell Yan | $t\bar{t}$ | WW | W + jets | single-top | total Background | Signal | S/\sqrt{B} | Data |
|-----------|------------|--------|----------|------------|------------------|--------|--------------|------|
| 22.63 | 30.43 | 242.51 | 39.37 | 20.74 | 355.67 | 9.86 | 0.52 | 381 |

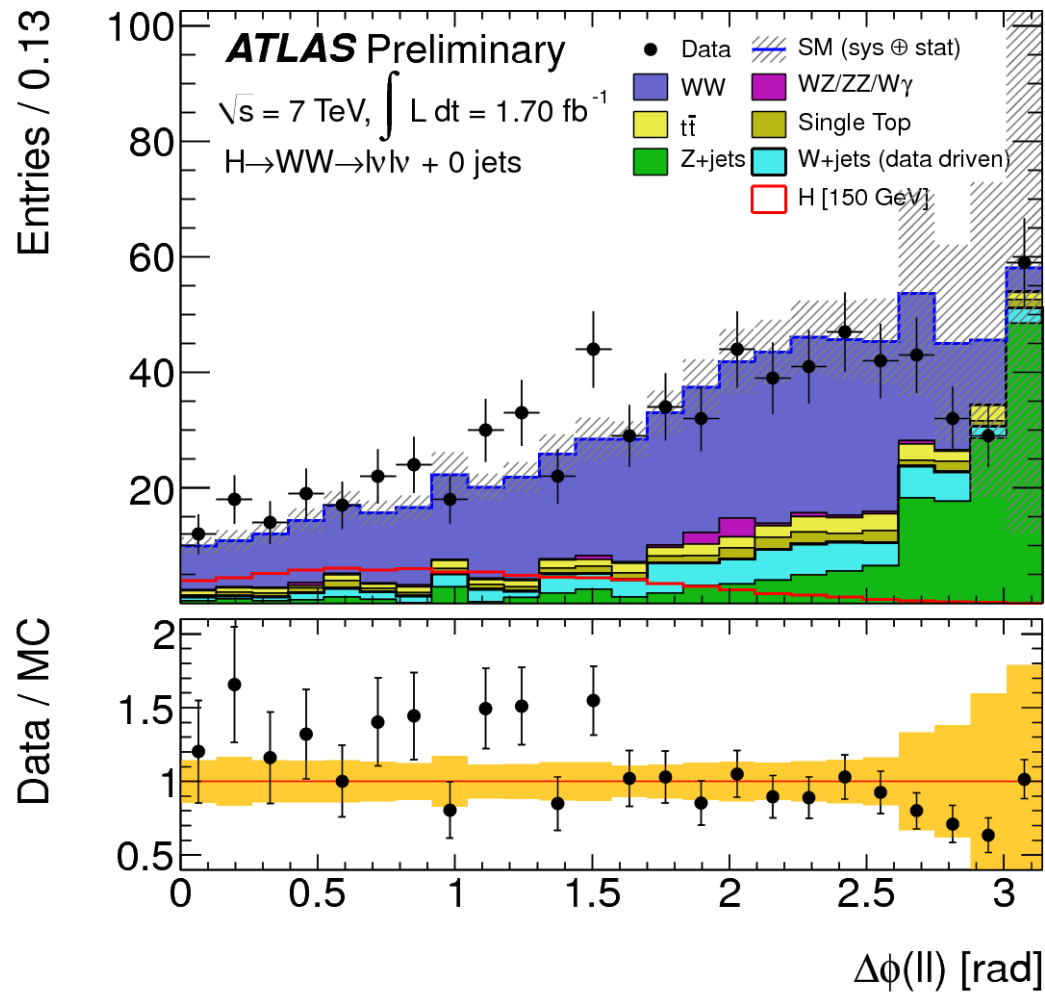
Table 1: Number of events left after all cuts in the **H0** bin.

| Drell Yan | $t\bar{t}$ | WW | W + jets | single-top | total Background | Signal | S/\sqrt{B} | Data |
|-----------|------------|--------|----------|------------|------------------|--------|--------------|------|
| 94.36 | 64.16 | 101.37 | 12.65 | 31.93 | 304.47 | 4.85 | 0.28 | 312 |

Table 2: Number of events left after all cuts in the **H1** bin.

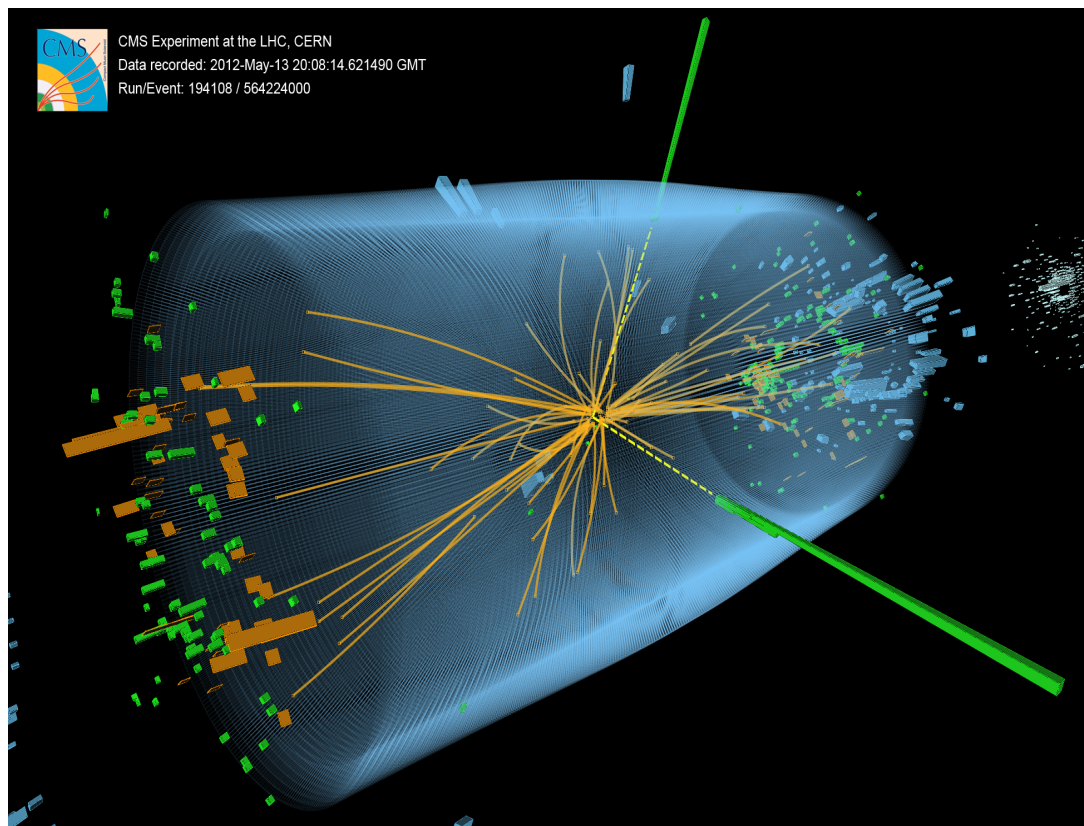
Hence we expect to have 14.7 Higgs events in total among 660 Background events. In Data we found 693 events in total which is in good agreement with the Monte Carlo simulation.

Comparaison avec l'analyse publiée d'ATLAS avec 1.7 fb^{-1}



le canal $H \rightarrow \gamma\gamma$

Canal qui en juillet 2012 a donné la signification la plus grande!
(Il n'a pas été updaté pour HCP)



le canal $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptons

Canal qui est sensé être le plus sensible à 125 GeV



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Tue Oct 4 00:10:13 2011 CEST
Run/Event: 177782 / 72158025
Lumi section: 99

$\mu^-(Z_2) p_T : 15 \text{ GeV}$

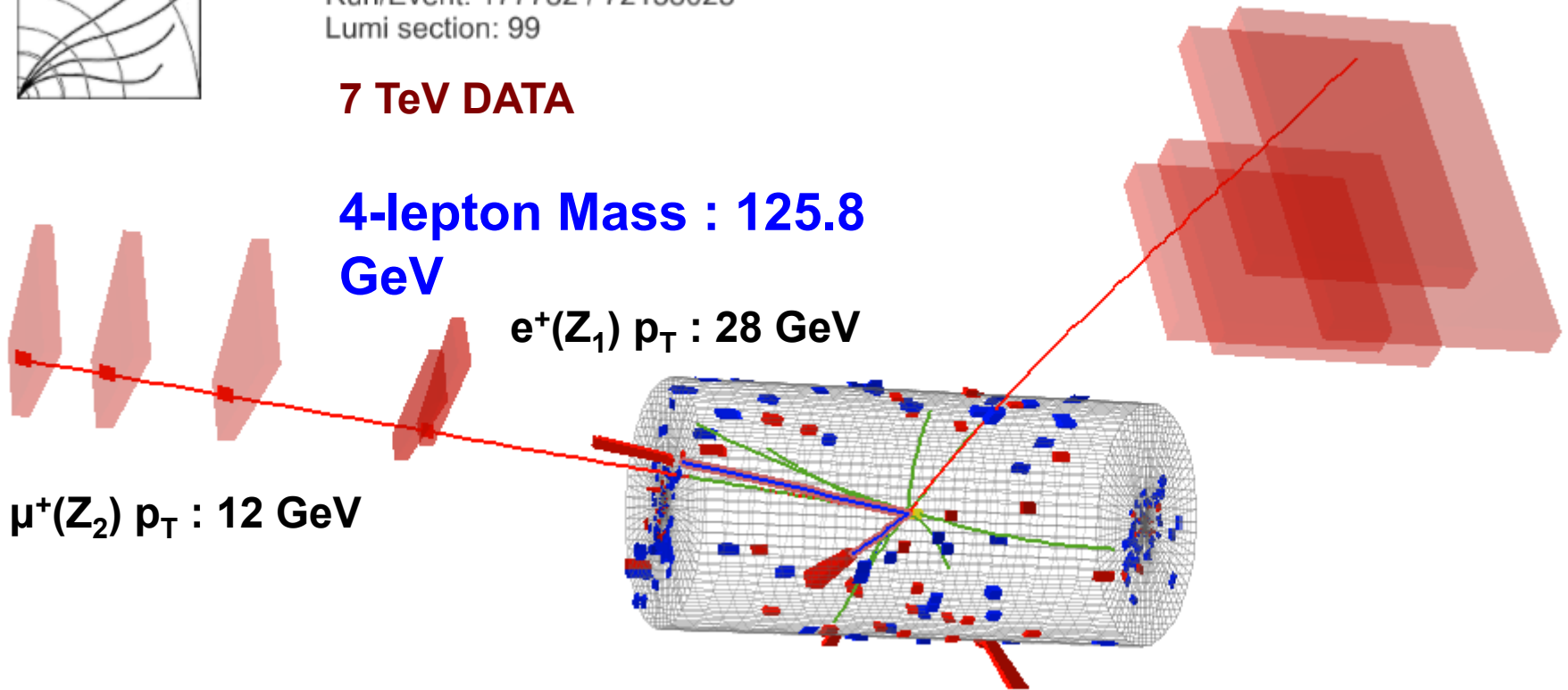
7 TeV DATA

4-lepton Mass : 125.8 GeV

$e^+(Z_1) p_T : 28 \text{ GeV}$

$\mu^+(Z_2) p_T : 12 \text{ GeV}$

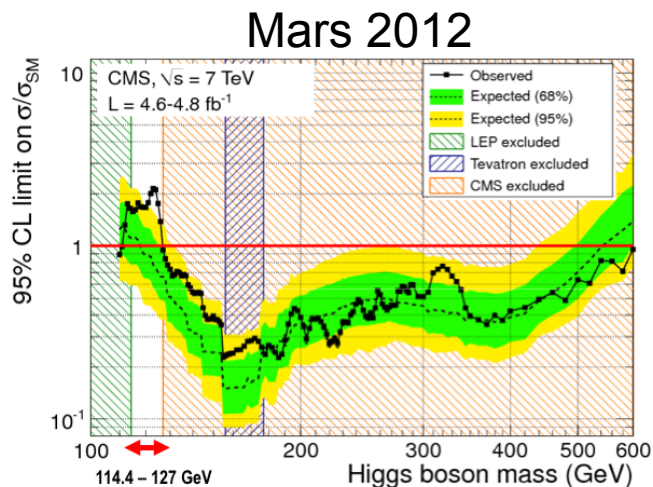
$e^-(Z_1) p_T : 14 \text{ GeV}$



Test statistique pour l'exclusion

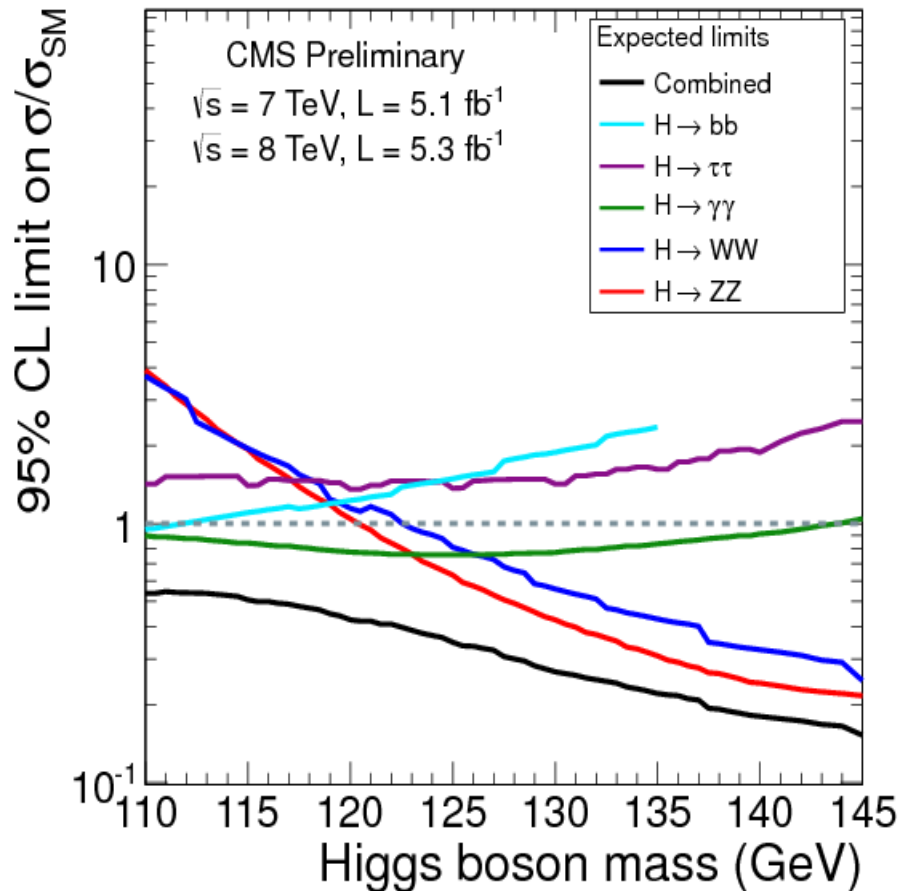
On teste la compatibilité avec l'hypothèse signal+bruit de fond. Si la limite sur le rapport σ/σ_{SM} est <1 pour une masse considérée, cette masse est exclue pour un Higgs du Modèle Standard.

Début juillet, il restait uniquement une zone non exclue : $\sim[115-130]$ GeV



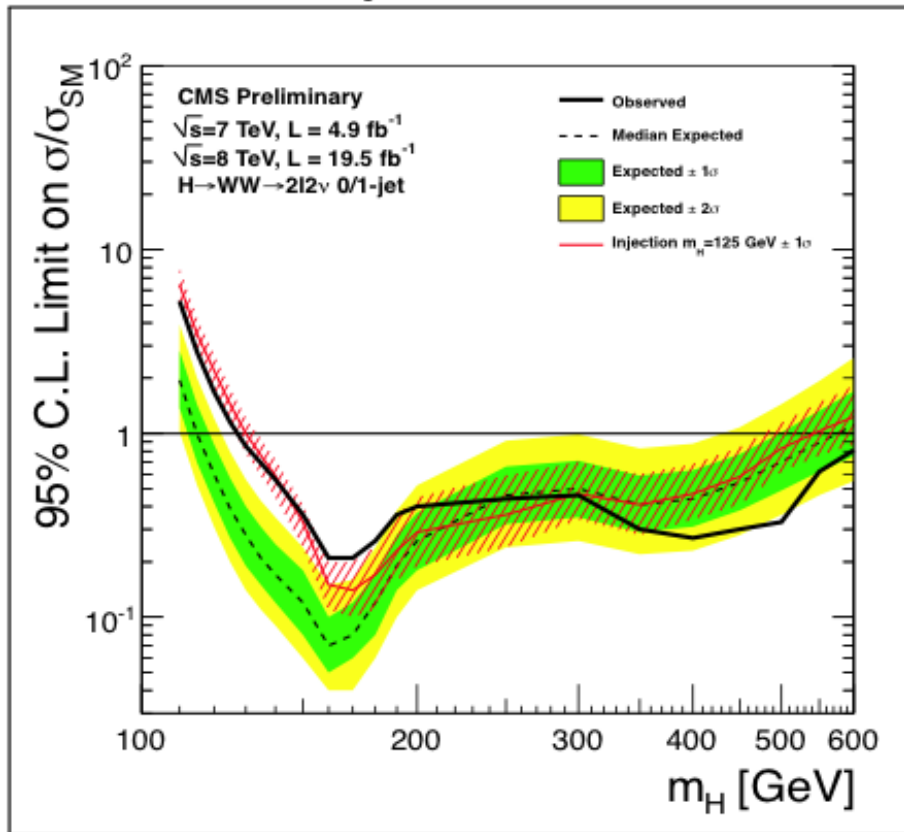
Autour de 125 GeV, ZZ, $\gamma\gamma$ et WW ont les plus grandes sensibilités, suivi par $\tau\tau$ et bb.

Juillet 2012

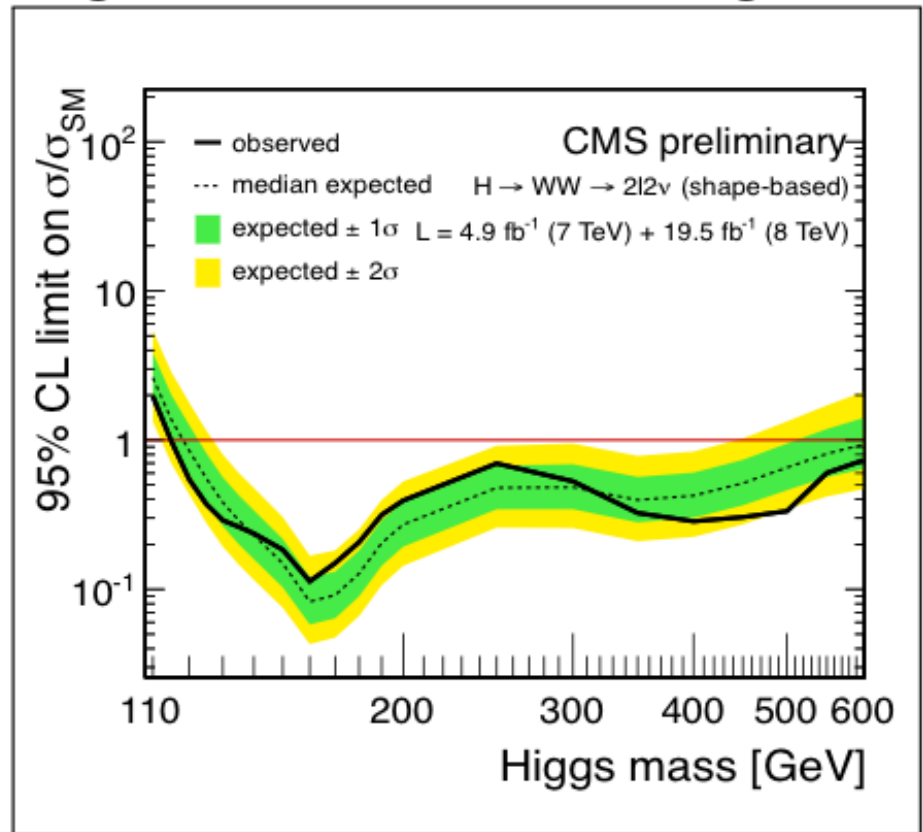


H → WW

standard analysis



using $m_H = 125$ GeV as background



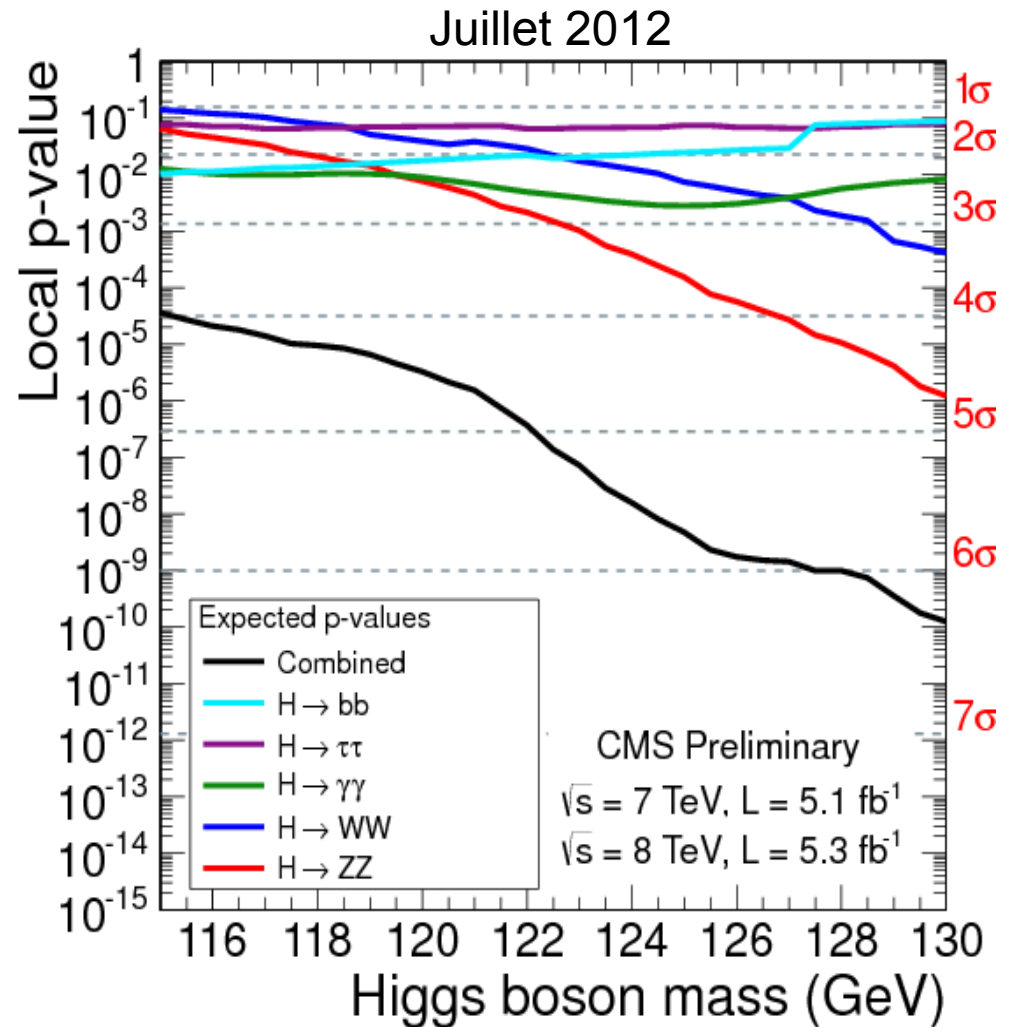
Test statistique pour la découverte

On dénomme par **p-value** la probabilité qu'une fluctuation du bruit de fond produise un excès aussi grand que le signal moyen attendu pour un boson de Higgs ou observé.

Pour une masse donnée, on parlera de p-value **locale**.

On peut passer de la probabilité à la **significance** (en σ).

Lorsqu'on regarde une zone étendue en masse, il y a un risque qu'une fluctuation arrive au hasard pour n'importe quelle masse. Tenir compte de cela (« **look elsewhere effect** ») va avoir tendance à diminuer la signification du résultat.



Situation en Juillet 2012

Juillet 2012

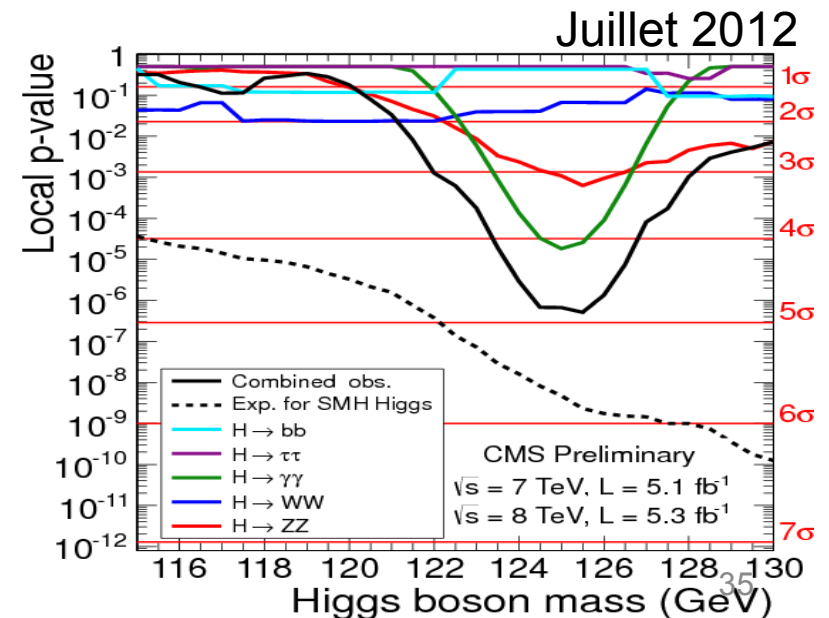
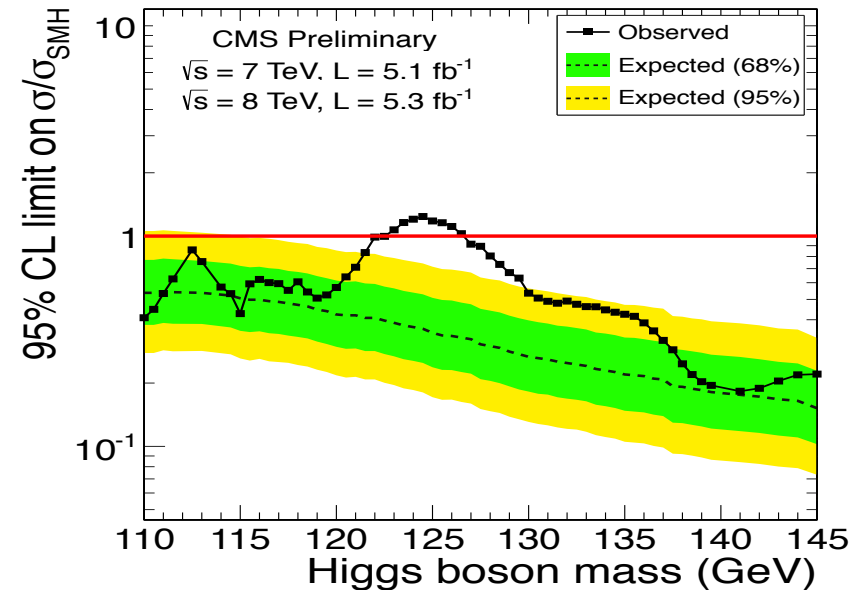
Analyses **re-optimisées** en 2012

Analyses dites « **blind** » (toutes les sélections sont déterminées avant de regarder dans la zone de signal) en 2012

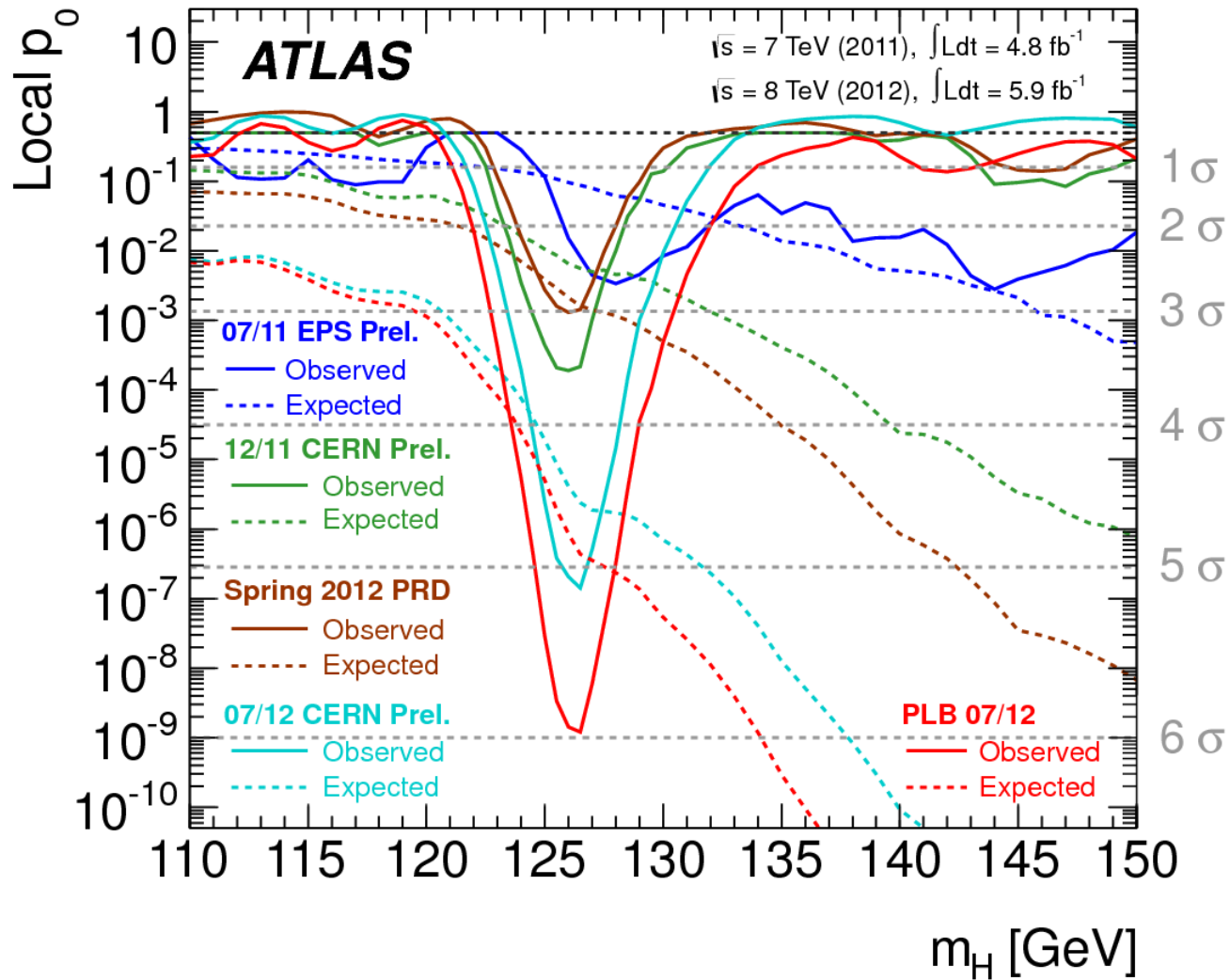
Nombreuses **vérifications** & analyses indépendantes

→ **Excès proche de 125 GeV**
significance observée pour la combinaison des canaux : **4.9 σ**
significance attendue : **5.9 σ**

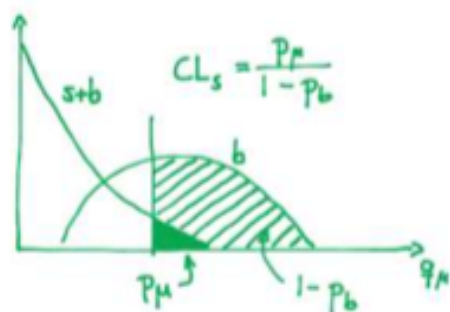
ATLAS aussi a annoncé une significance observée de **5 σ** (pas exactement la même combinaison)



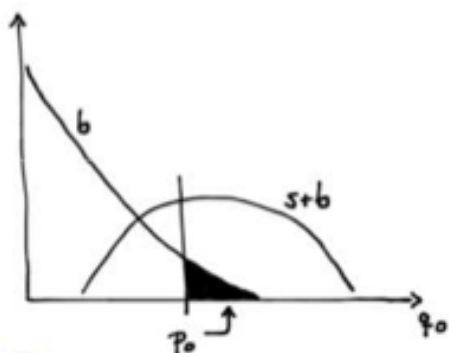
Evolution de l'excès au cours du temps dans ATLAS



Quelques définitions utiles...

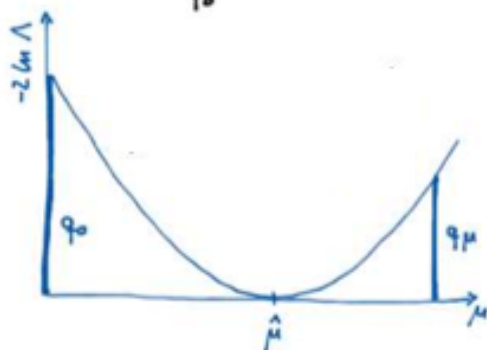


Test de compatibilité avec l'hypothèse signal+bruit de fond



Quantifie la probabilité d'un excès par rapport au bruit de fond seul

$5\sigma \sim 1/3$ millions
 $3\sigma \sim 1/700$



Evalue l'intensité du signal

