



# *Un boson nommé Higgs* **Les défis expérimentaux de la découverte: CMS.**

Colloque de clôture "Gabriele Veneziano"

Guido Tonelli  
(CERN, INFN&University of Pisa)

College de France, Paris, May 24 2013



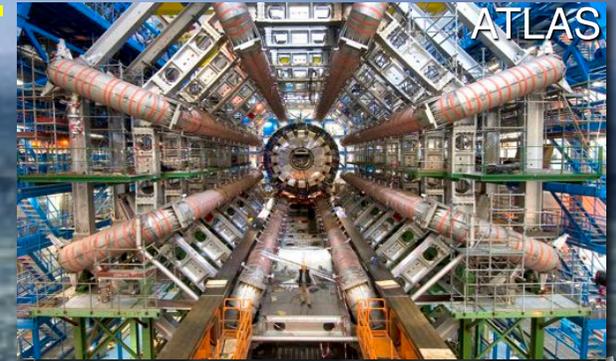
# Résumé

1. Brève introduction sur le LHC et CMS
2. Les défis de la chasse au boson de Higgs à 7/ 8TeV.
3. Faits saillants de la découverte.
4. Derniers résultats et études préliminaires sur les propriétés du nouveau boson.
5. Conclusion.



# 1. Brève introduction sur le LHC et CMS.

# Le premier défi: construire le grand collisionneur de hadrons et ses détecteurs gigantesques.





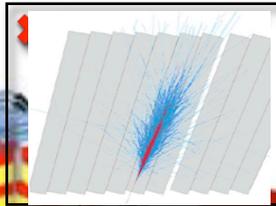
# Le Solenoid Compact a Muon (CMS)

## SUPERCONDUCTING COIL

Total weight : 14,000 t  
 Overall diameter : 14.6 m  
 Overall length : 21.6 m  
 Magnetic field : 3.8 Tesla

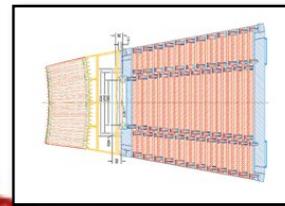
## CALORIMETERS

ECAL Scintillating  $PbWO_4$  Crystals



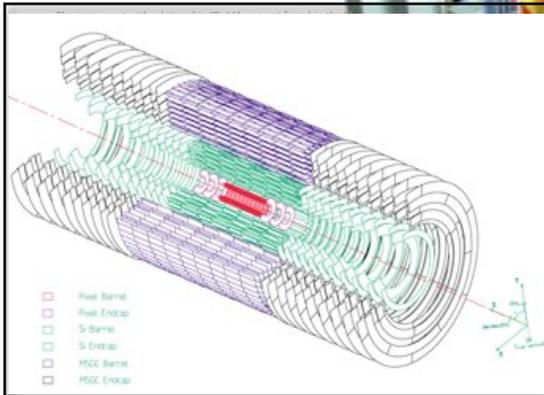
HCAL Plastic scintillator

copper sandwich



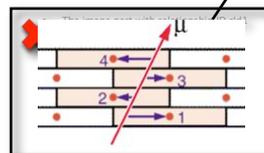
## IRON YOKE

## TRACKERS

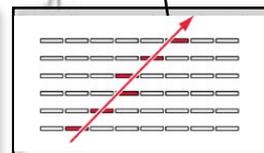


Silicon Microstrips  
 Pixels

## MUON BARREL

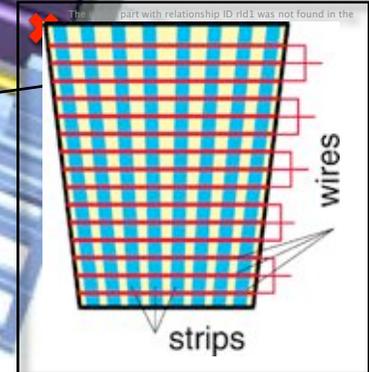


Drift Tube  
 Chambers (DT)



Resistive Plate  
 Chambers (RPC)

## MUON ENDCAPS



Cathode Strip Chambers (CSC)  
 Resistive Plate Chambers (RPC)

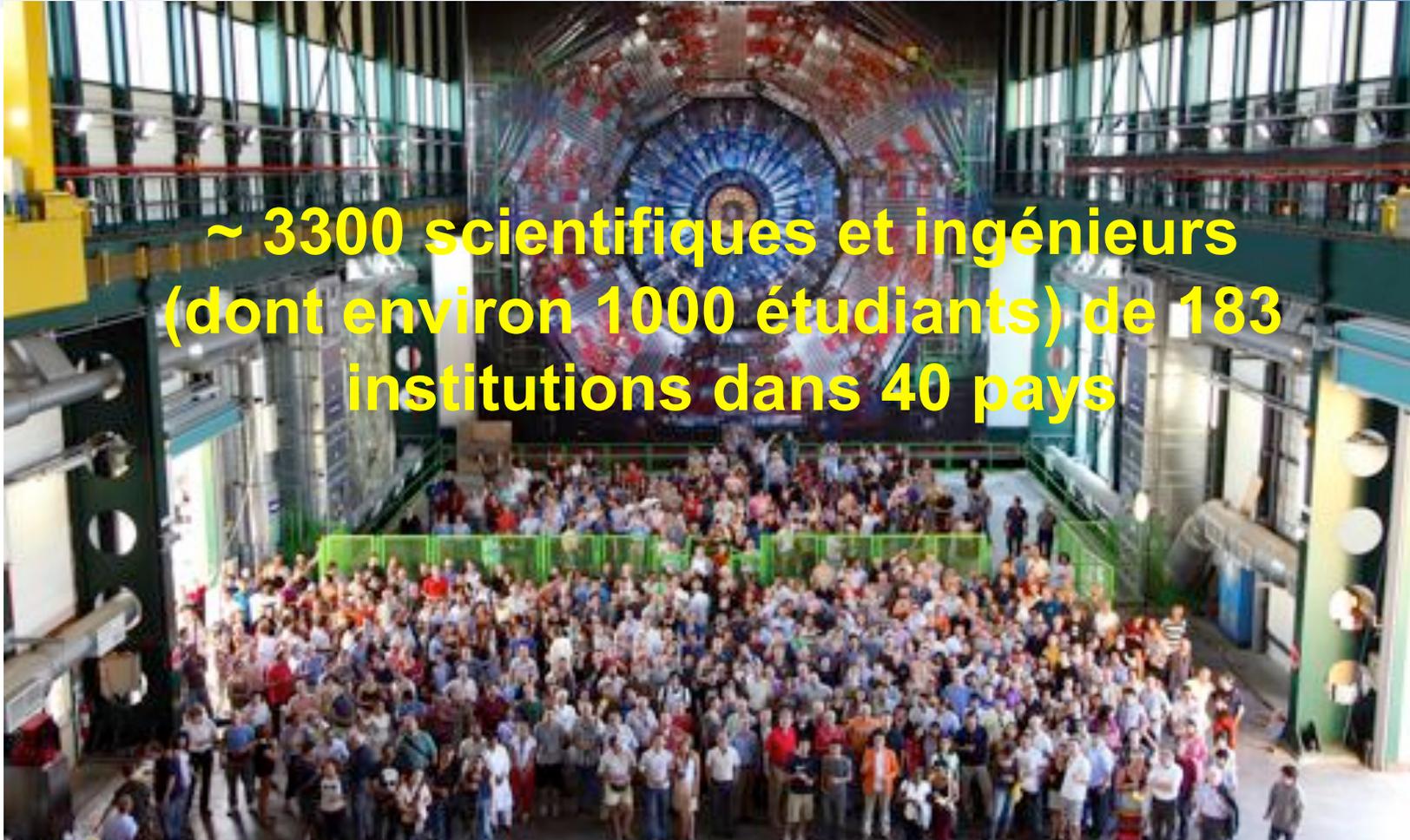


# Nombreuses années de dur travail.

- Les lettres d'intention pour ATLAS et CMS remontent à 1992.
- Le projet LHC a été approuvé en 1994.
- Il a fallu de nombreuses années de dur travail par des milliers de personnes confrontées à des défis incroyables pour achever la construction du LHC et des deux principaux détecteurs à usage général.



## Un autre élément clé: les personnes



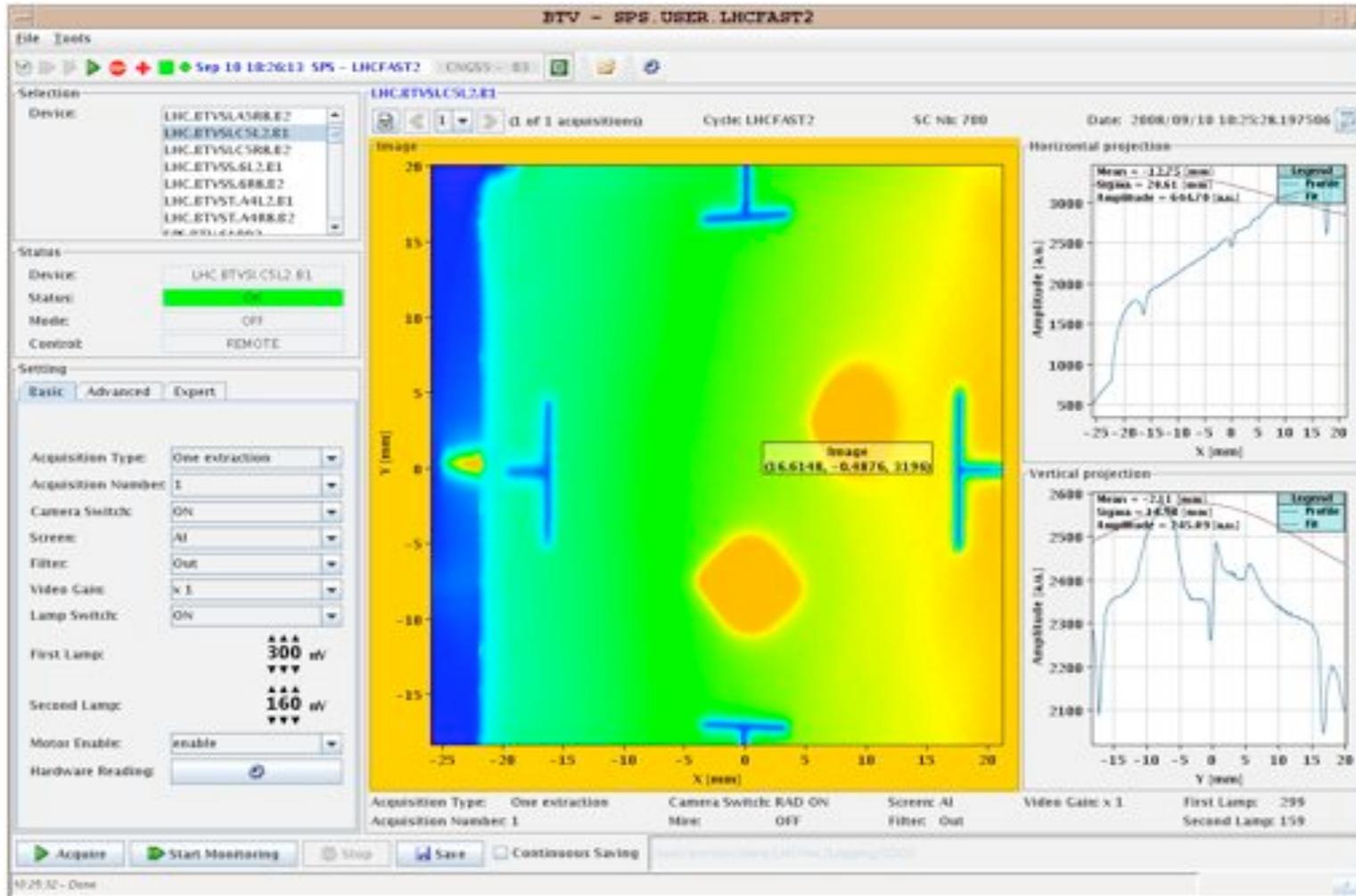
**~ 3300 scientifiques et ingénieurs  
(dont environ 1000 étudiants) de 183  
institutions dans 40 pays**

**Collaborations de ~ 1000 étudiants et post-doctorants peuvent faire des choses incroyables, faire face aux défis qui étaient autrefois considérés comme «mission impossible».**



# 10/09/2008: premier faisceau dans le LHC

- 2 shots of clockwise beam:  $2 \times 10^9$  protons chaque faisceau





# Beaucoup d'excitation dans toutes les salles de contrôle





# 19/09/2008: notre “vendredi noir”

Une interconnexion défectueuse entre deux aimants → d'énormes dégâts à des dizaines de dipôles.

- 1 an d'arrêt
- aucun espoir de faire fonctionner la machine à 14 TeV pour les premières années.
- 7 TeV énergie maximale (plus tard 8 TeV)





## 2. Les défis de la chasse au boson de Higgs à 7/8TeV.



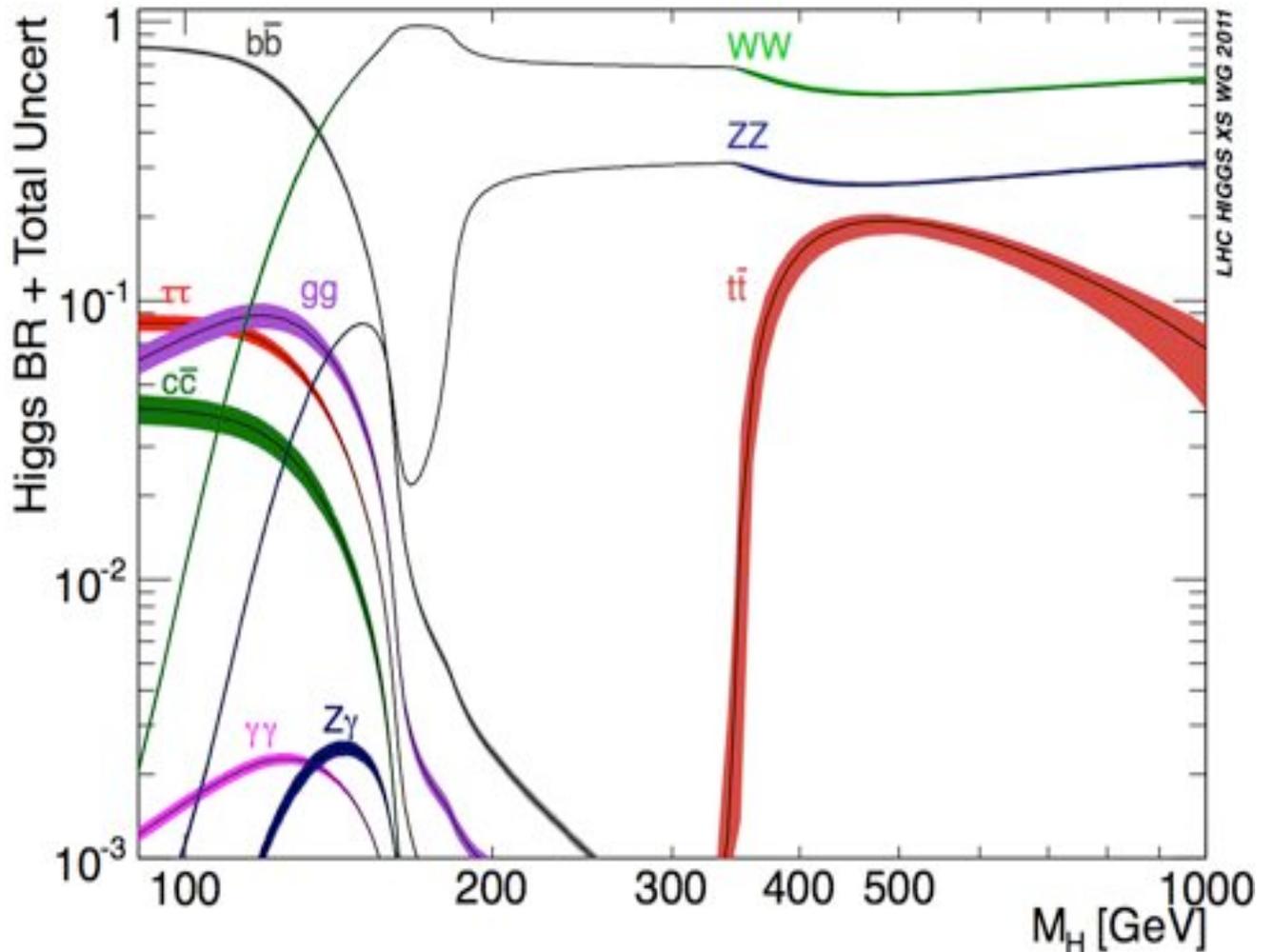
# Modes de désintégration du SM Higgs

Higgs couples à la masse

$$\Gamma_{Hff} \sim m_f^2$$

$$\Gamma_{HVV} \sim m_V^4$$

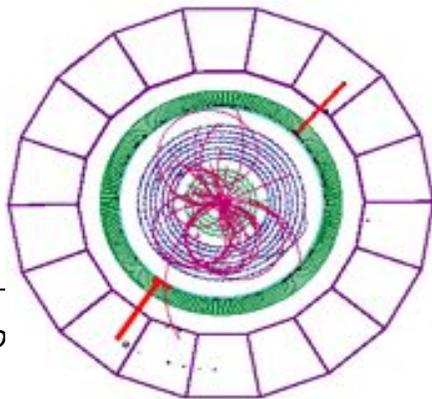
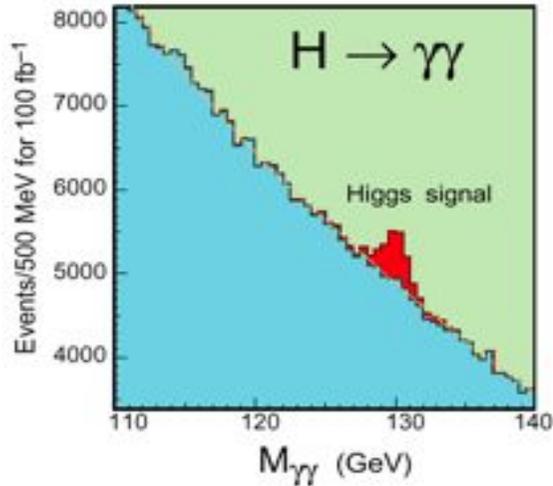
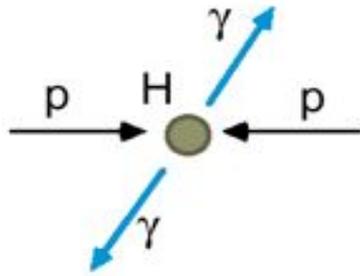
Différents canaux de désintégration sont utilisés pour explorer les régions de masse lourde et celle de masse légère.





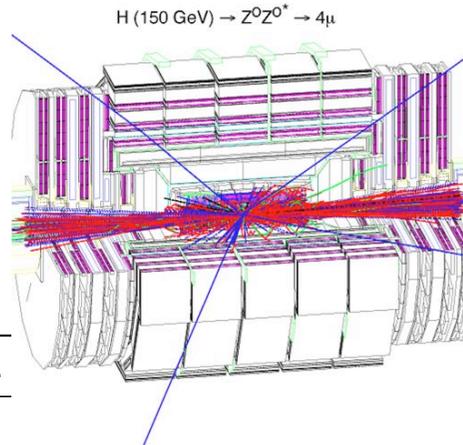
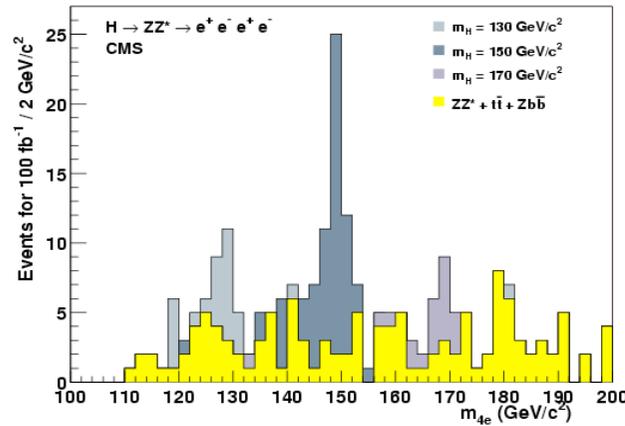
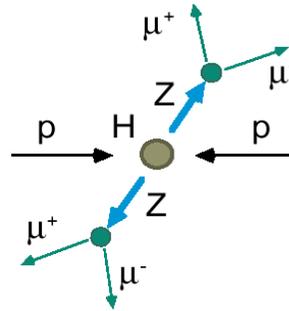
# La vieille stratégie.

Low  $M_H < 140 \text{ GeV}/c^2$



G. To

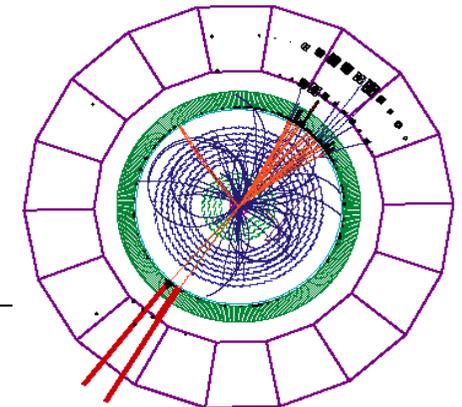
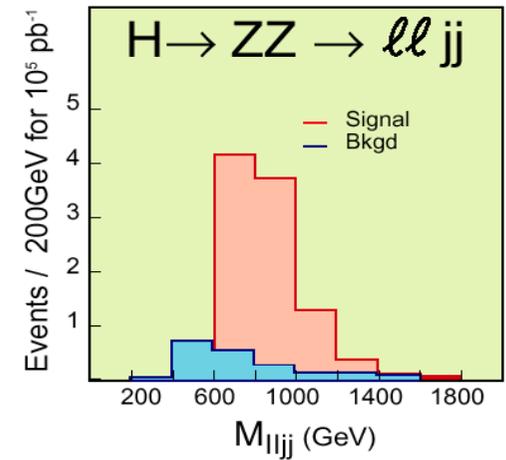
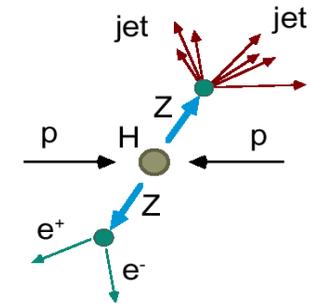
Medium  $130 < M_H < 500 \text{ GeV}/c^2$



CC\_

ce

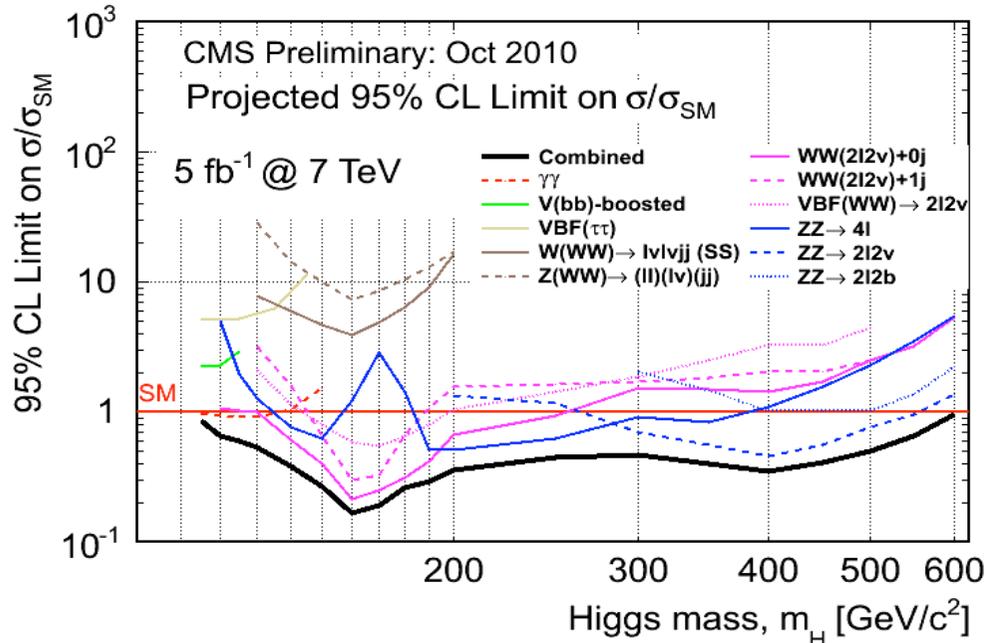
High  $M_H > \sim 500 \text{ GeV}/c^2$



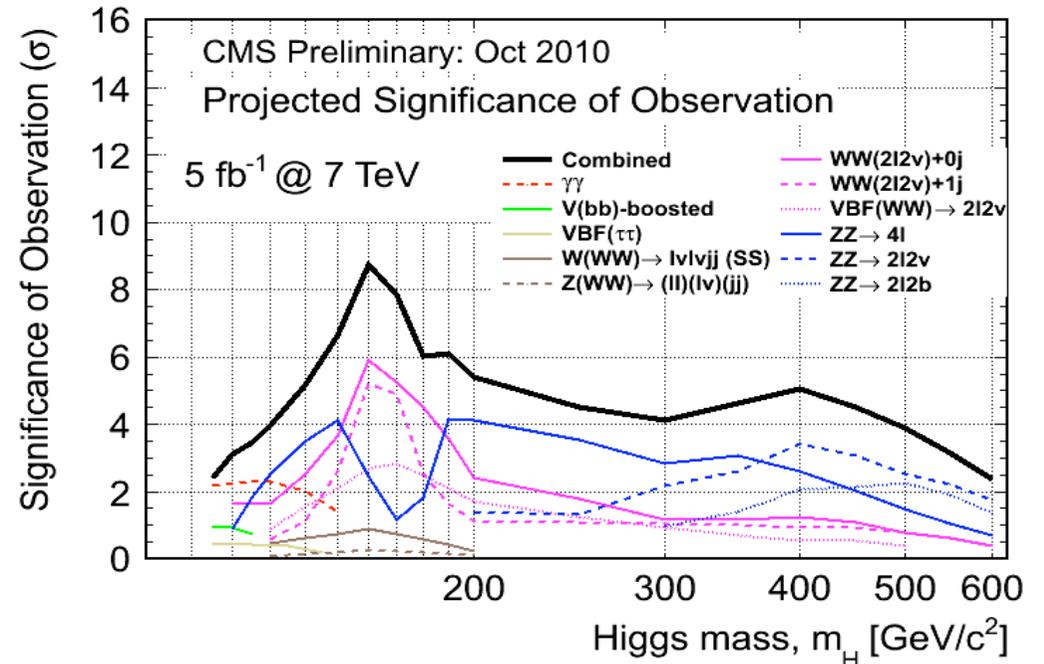


# La nouvelle stratégie

## CMS Sensibilité projetée @5fb<sup>-1</sup>



## CMS Significativité projetée @5fb<sup>-1</sup>



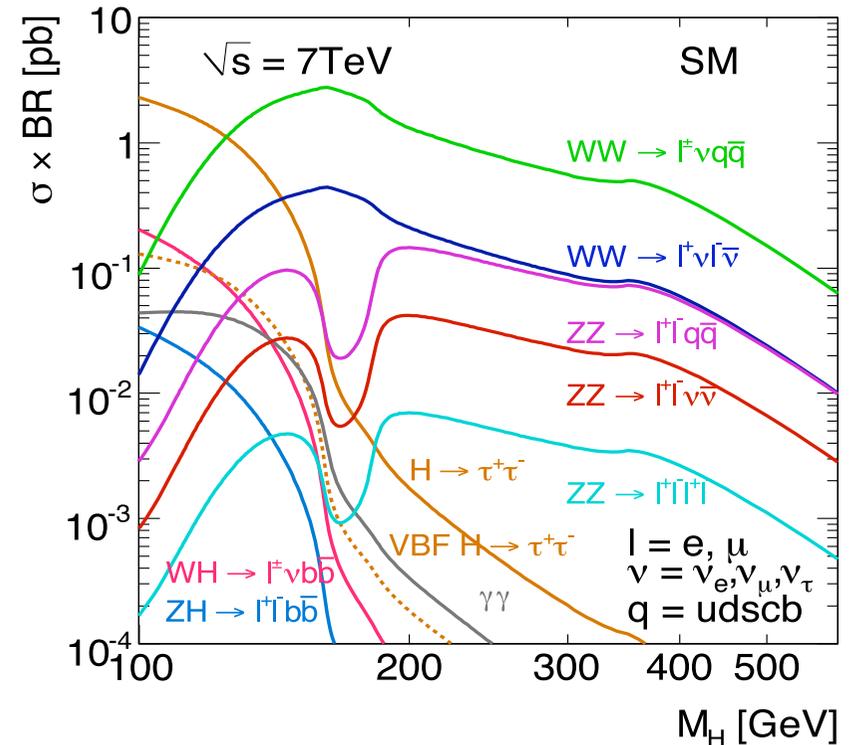
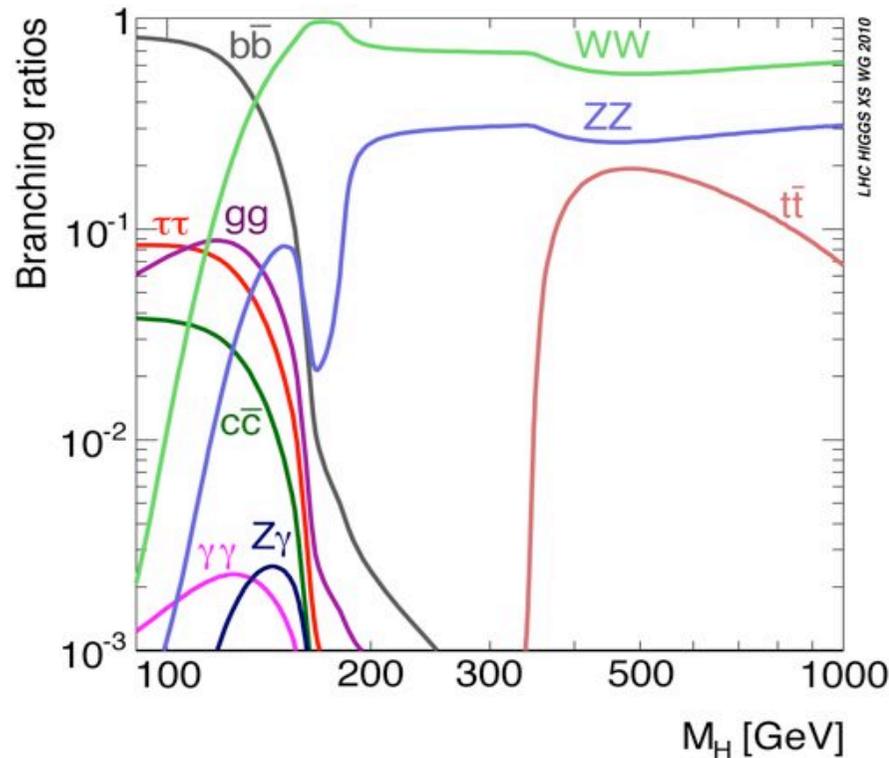
Octobre 2010: avec 5fb<sup>-1</sup> délivrée par le LHC nous pourrions atteindre une sensibilité dessous 1xMS dans la gamme de masse complet.

**Si le boson de Higgs serait caché dans la région de faible masse, nous pourrions commencer à voir des faible excès (2-3 sigma).**

Chaque canal, en particulier dans la région de faible masse, apporte des informations très importantes.



# Modes de désintégration du SM Higgs



**Recherches de Higgs lourds:** basé sur les modes de désintégration  $H \rightarrow WW$  et  $H \rightarrow ZZ$  reconstruits dans plusieurs canaux:  $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$  +  $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$  etc.

**Recherches de Higgs léger:**  $H \rightarrow \gamma\gamma$  ;  $H \rightarrow bb$ ;  $H \rightarrow \tau\tau$ ,  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\text{leptons}$ ,  $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ .

Events expected to be produced with  $L=1 \text{ fb}^{-1}$

$m_H, \text{ GeV}$	$WW \rightarrow l\nu l\nu$	$ZZ \rightarrow 4l$	$\gamma\gamma$
120	127	1.5	43
150	390	4.6	16
300	89	3.8	0.04



## Objectif: découvrir le boson de Higgs à 7 TeV!

Voici la «mission impossible» qui a été défini en Juillet 2010.

**«Nous allons découvrir (ou exclure pour toujours) le boson de Higgs, avant d'entrer dans la longue arrêt nécessaire pour faire fonctionner le LHC à 14 TeV»**

Après le terrible incident du LHC et la décision d'opérer à 7 TeV, personne ne croyait vraiment que nous aurions pu sérieusement abordé la découverte du boson de Higgs.

Si nous sommes ici aujourd'hui, c'est juste parce que, au cours des trois dernières années, un effort incroyable a été mis en place essentiellement à partir de zéro.

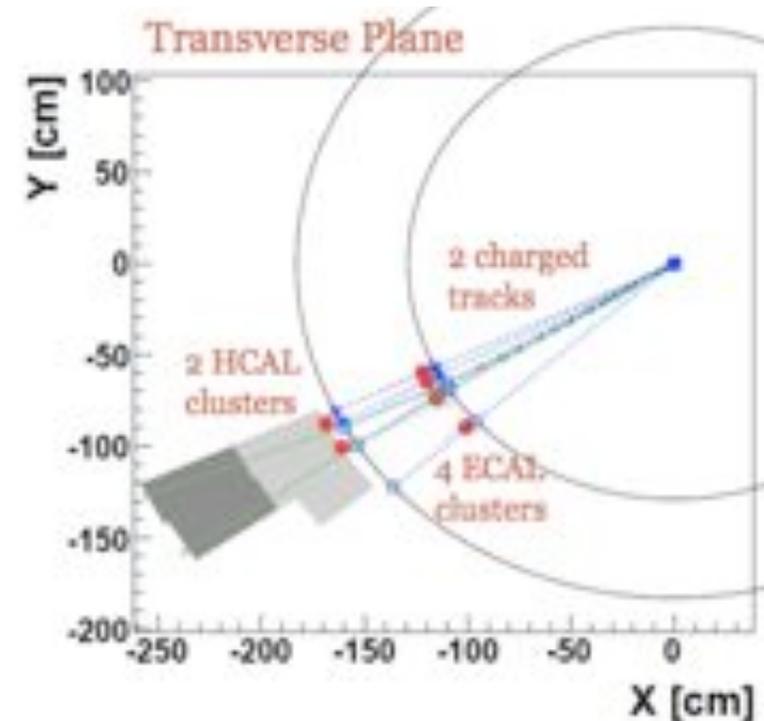
De nouvelles idées, des approches entièrement nouveau, des outils d'analyse très agressif et moderne.



# La chasse au boson de Higgs

La chasse du boson de Higgs nécessite une optimisation de l'ensemble des outils pour la physique et une compréhension détaillée de tous les processus SM.

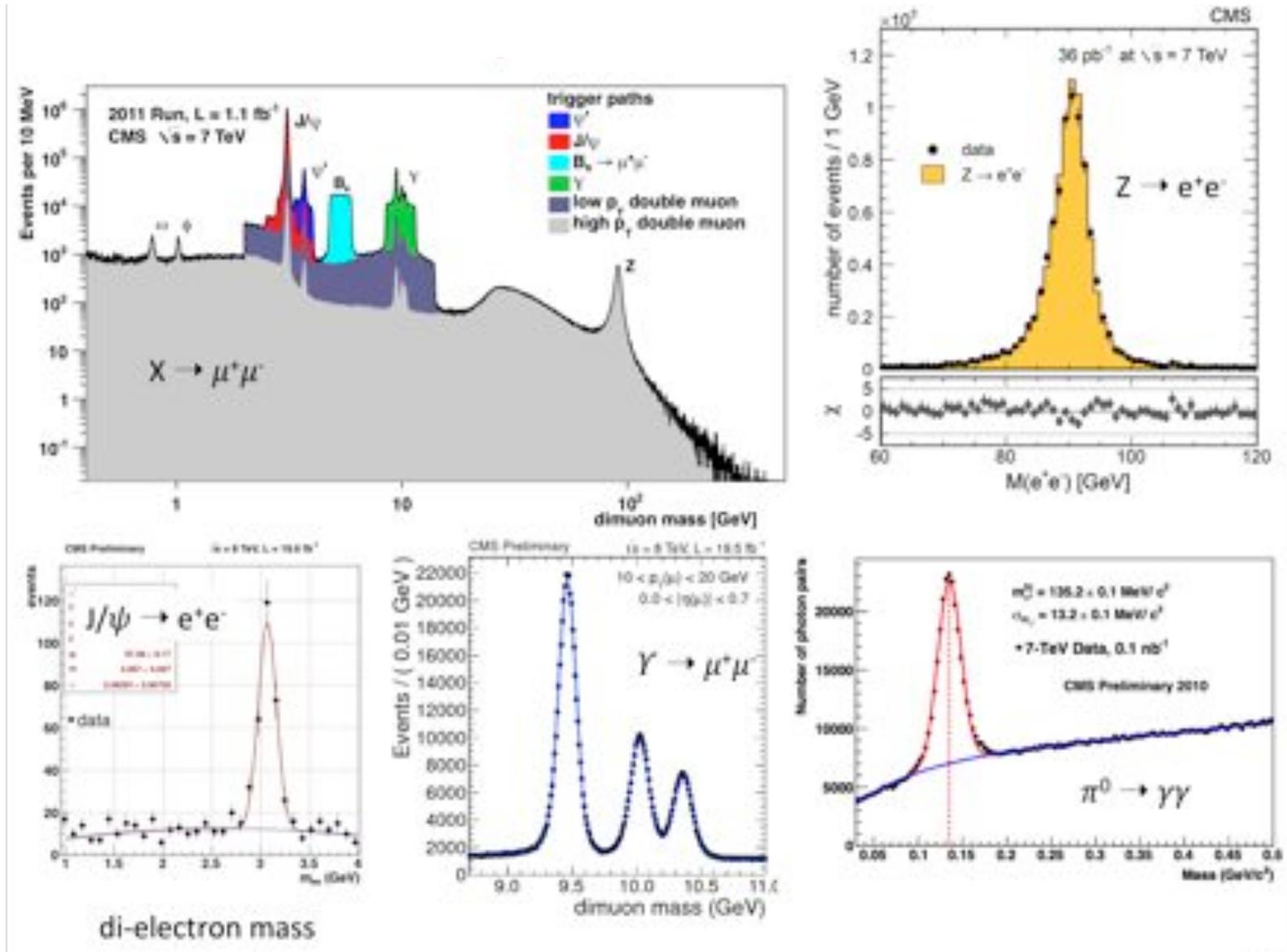
- **high efficiency identification** of leptons ( $e$ ,  $\mu$ ,  $\tau$ ) and photons,
- very **good momentum, energy, and angular resolution**, of isolated particles and jets,
- efficient **tagging of b-jets**,
- good missing-energy (**MET**) resolution,
- **robust against PU**.



Efficiencies and resolutions determined from control data samples.



# Affiner les outils utilisant les particules de MS.





# Reconstruction et identification des muons

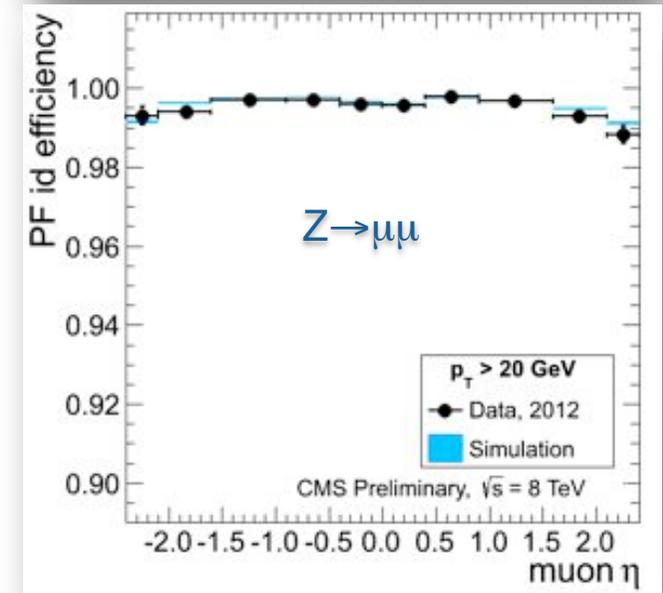
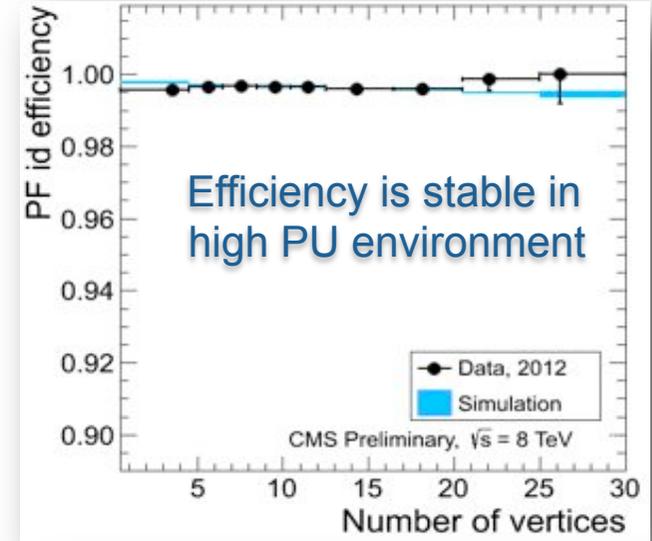
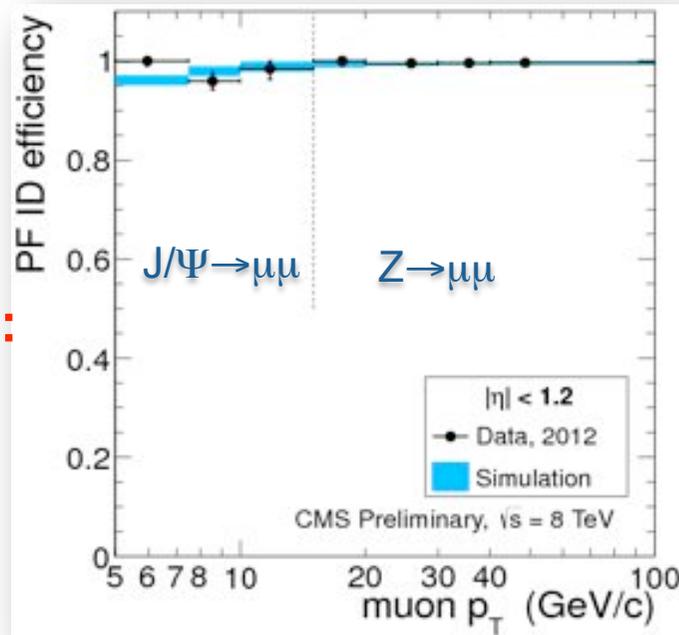
- Muon ID efficiency  $>96\%$  for  $p_T=5$  GeV;  
 $>99\%$  for  $p_T=10$  GeV;
  - Very important for  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$
  - Efficiency controlled in data with  $J/\Psi$  and  $Z$  T&P

**Muon momentum resolution:**

**1% for  $p_T < 100$  GeV,  
7-8% at 1 TeV.**

**pions mis-ID as muons:  
<0.5% for  $p_T > 2$  GeV.**

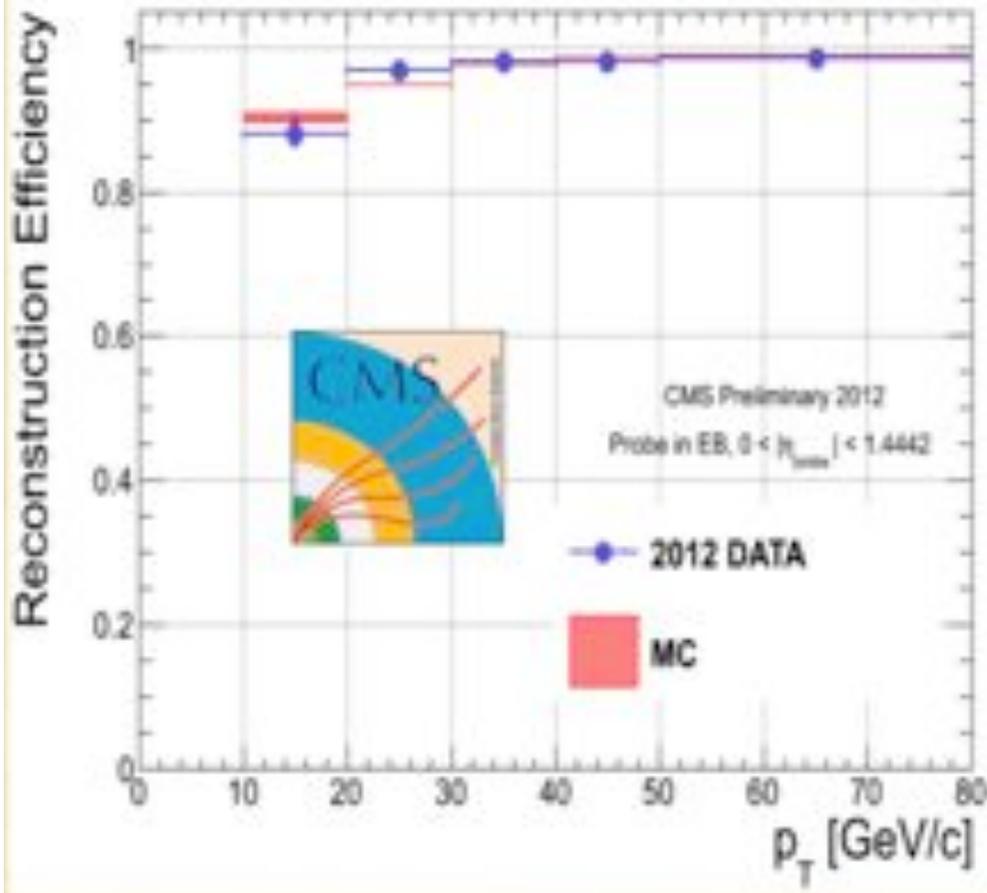
**Absolute scale known  
at 0.2%.**



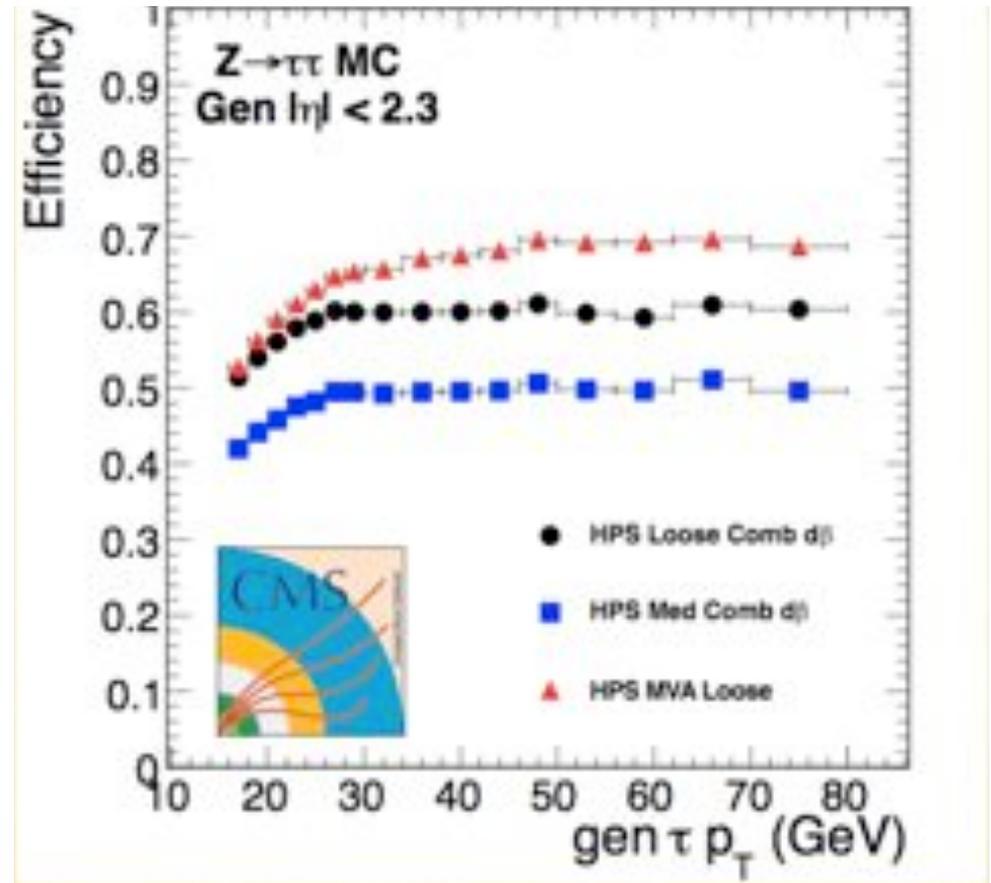


# Efficacité de la reconstruction d'électrons et taus

$\epsilon_e > 90\%$  for  $p_T > 15\text{GeV}$



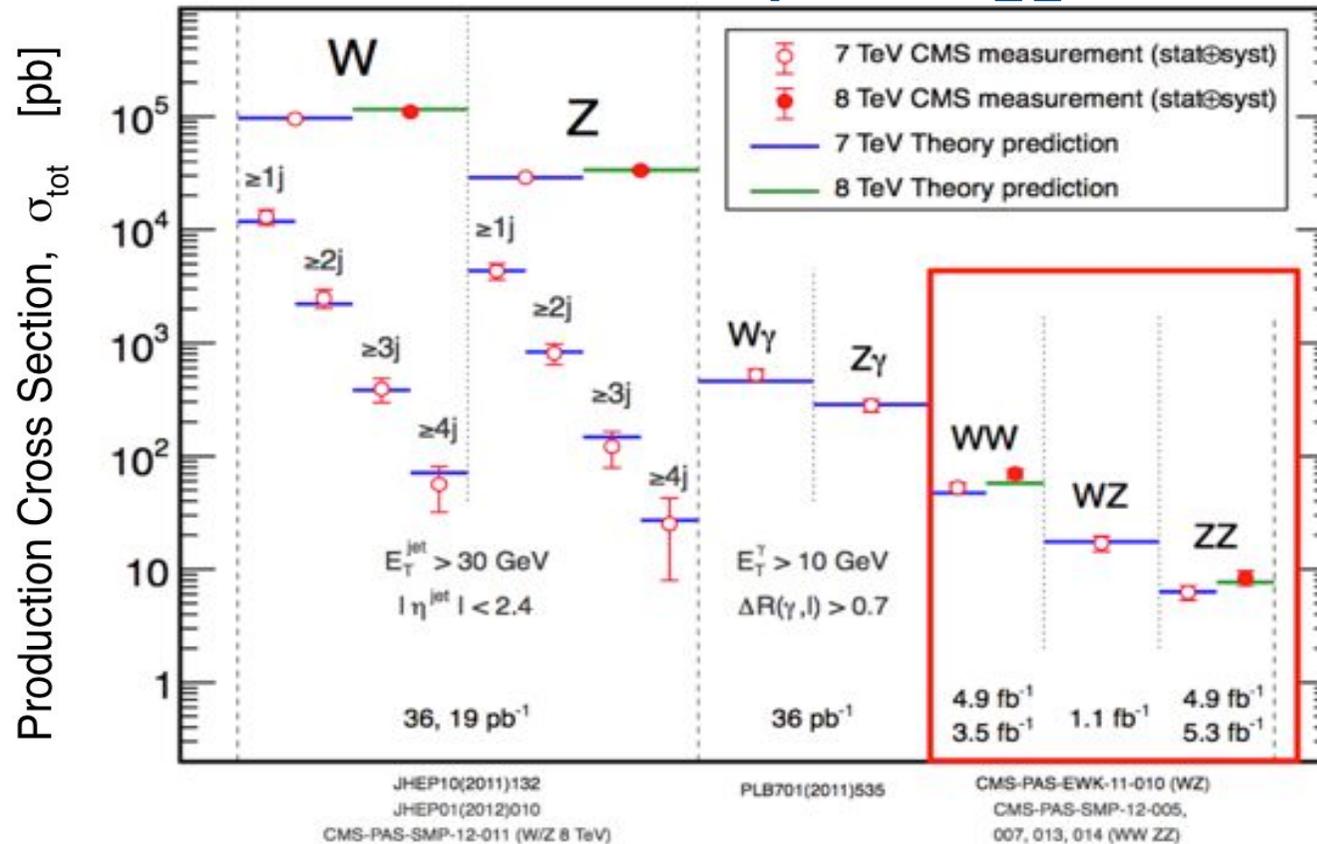
$\epsilon_\tau > 60\%$  for  $p_T > 25\text{GeV}$



fraction of jets faking  $\tau_h$  3%



# Mesurer les processus EWK = comprendre les fonds pour Higgs



$\sigma(\text{pp}) \rightarrow \text{H}$  (pour  $m_{\text{H}}=125\text{GeV}$ ) = 17.5pb

Même ordre de grandeur de la production de dibosons (WW, WZ, ZZ). Ces mesures sont également très importants pour valider la simulation du détecteur et de la physique, la reconstructions d'objets, les sélections des événements et en général les techniques d'analyse.



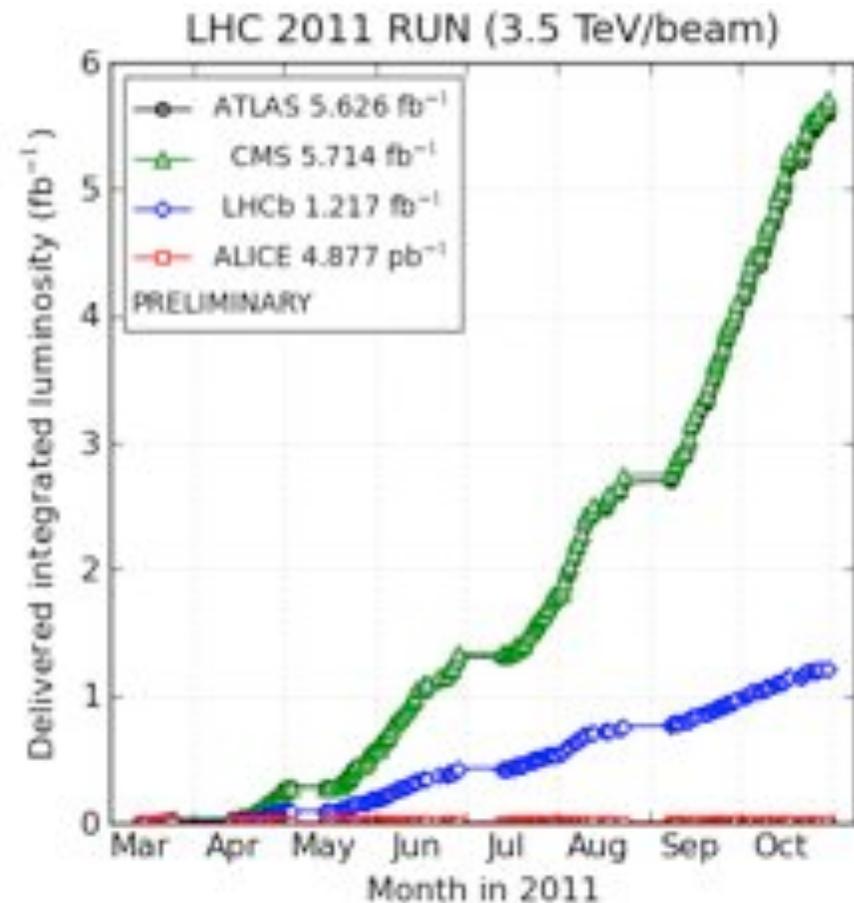
## 3. Faits saillants de la découverte



# La première étape décisive.

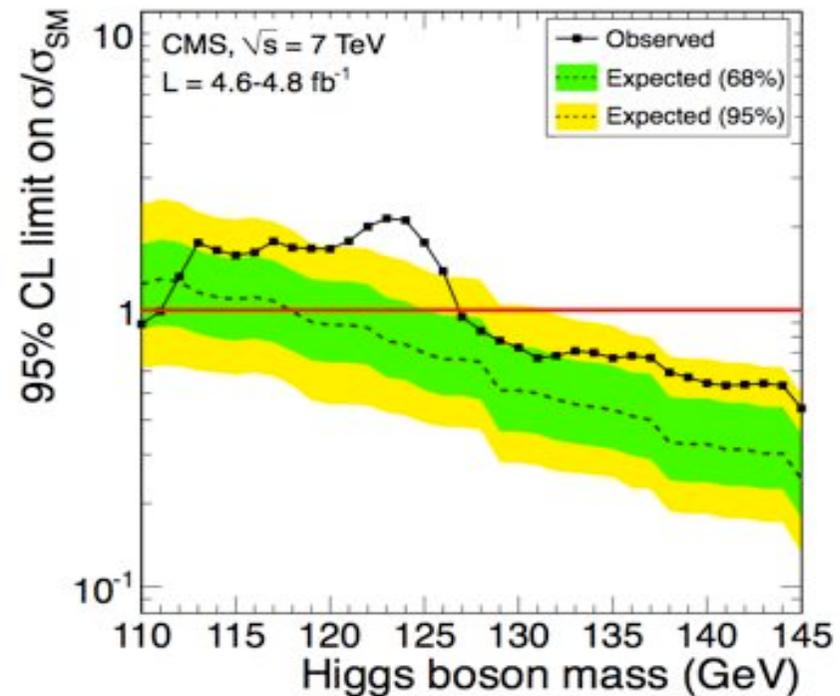
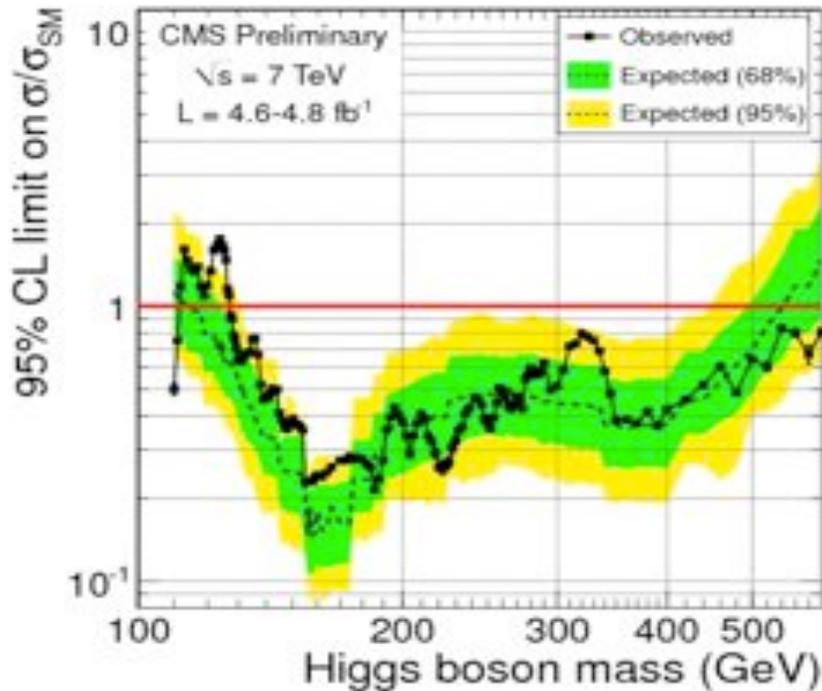
>5.5 fb<sup>-1</sup> livré à 7 TeV en 2011 (1fb<sup>-1</sup> était le but officiel de la machine)

**Pour la première fois la quantité de données était suffisante pour nous permettre de dire quelque chose de significatif sur la recherche du boson de Higgs dans une grande région de masse .**





# December 13, 2011: 1er séminaire spécial au CERN.



Exclusion prévue: 114.5 - 543 GeV  
**Exclusion observée 127.5 - 600 GeV.**  
Nous n'avons pas pu exclure la présence du boson de Higgs au-dessous de 127.5 GeV à cause de la présence d'un excès d'événements dans la région de faible masse.

**On observe un excès d'événements qui est plus compatible avec une hypothèse de Higgs du MS dans les environs de  $m_H \sim 124$  GeV,** mais la significativité statistique ( $2.6\sigma$  local et global  $1.9\sigma$  après correction pour le LEE dans la région de faible masse) n'est pas suffisante pour faire des déclarations concluantes.



# Depuis, de nouvelles données à 8 TeV et analyses aveugle.

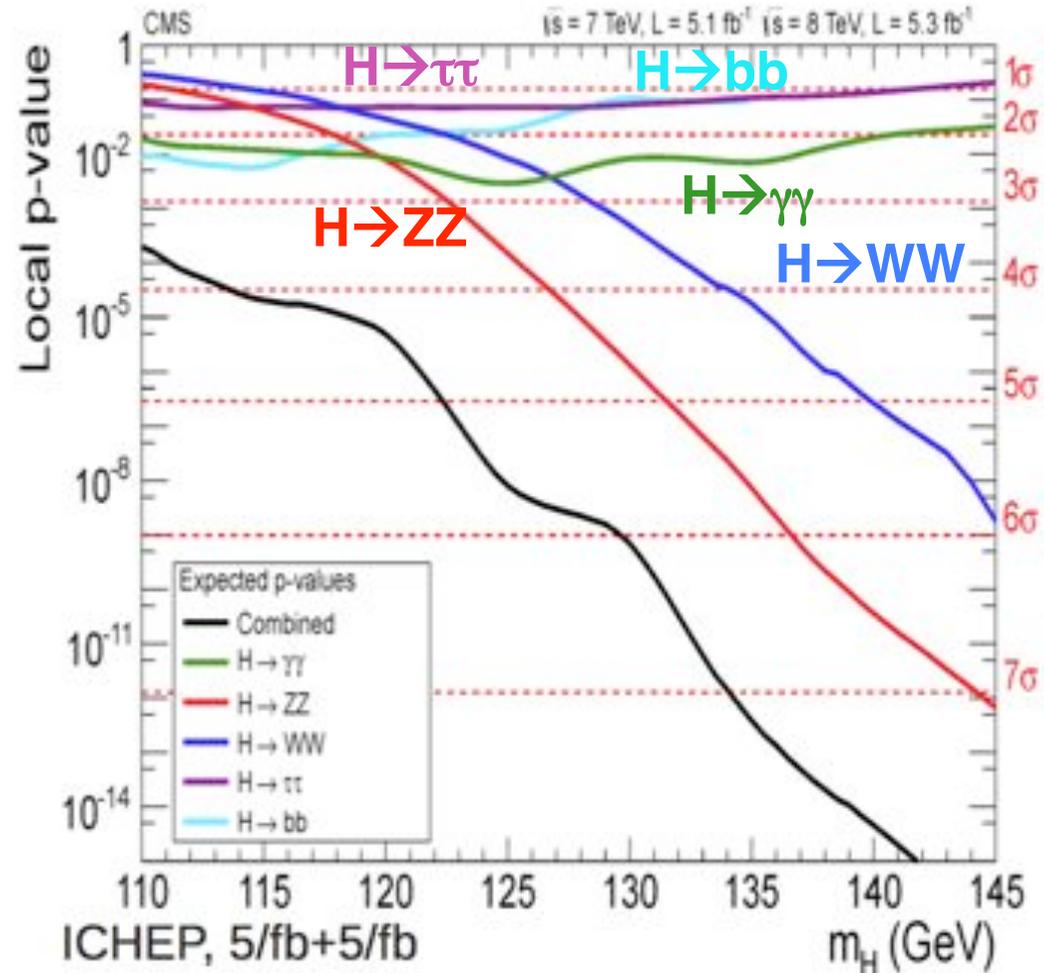
- Un grand nombre d'améliorations dans les analyses
- Une meilleure compréhension du détecteur
- Critères de sélection optimale pour améliorer la sensibilité.

**mais, pour éviter toute forme de partialité scientifique ou même psychologique, tout a été fait “à l'aveugle”, sans regarder les données.**

- Les analystes ont été autorisés à utiliser seulement des régions de contrôle loin de la "zone signal" possible.
- **La boîte de données à été ouverte a la moitié de Juin dès que le LHC nous a donné un supplément de  $5\text{fb}^{-1}$  de données à 8 TeV.**



# Sensibilité prévue dans la région de faible masse



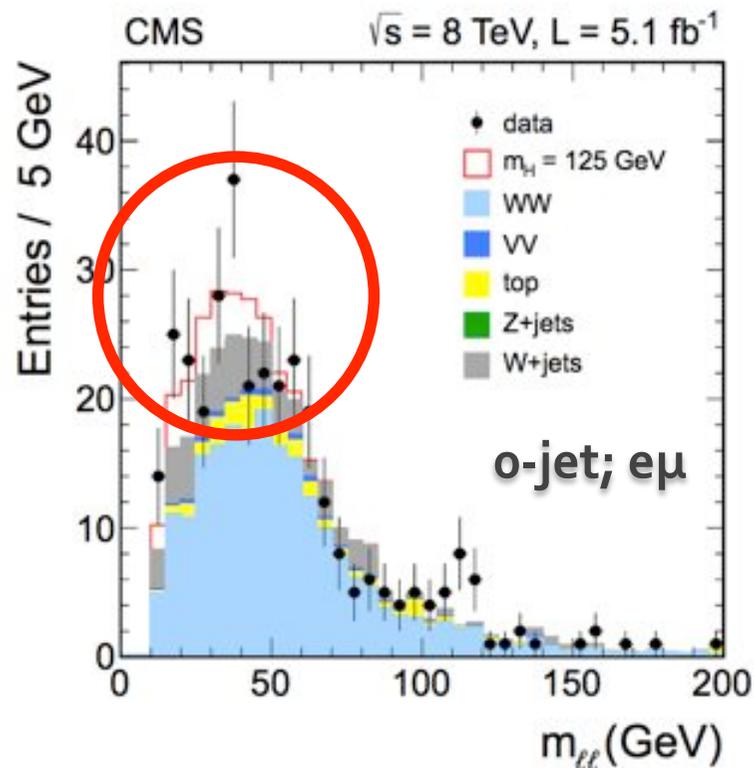
Concentrons-nous sur les trois modes “bosoniques”, celles montrant la sensibilité plus haute, et qui ont, en effet, joué un rôle clé dans la découverte du 4 Juillet.



# $H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$

**Signal: deux leptons de haut  $p_T$  + energie transverse manquante , faible distribution de masse invariante des deux leptons et aussi faible distribution de masse transverse (à discriminer le fond WW dominant).**

**Résolution de masse grossière:  $\sim 20\%$ .**



La présence d'un boson de Higgs à 125 GeV apparaîtrait comme un large excès d'événements.

Nous ne pouvons pas attendre de voir un pic étroit dans les distributions à cause de la présence de neutrinos (énergie transverse manquante) dans la désintégration.



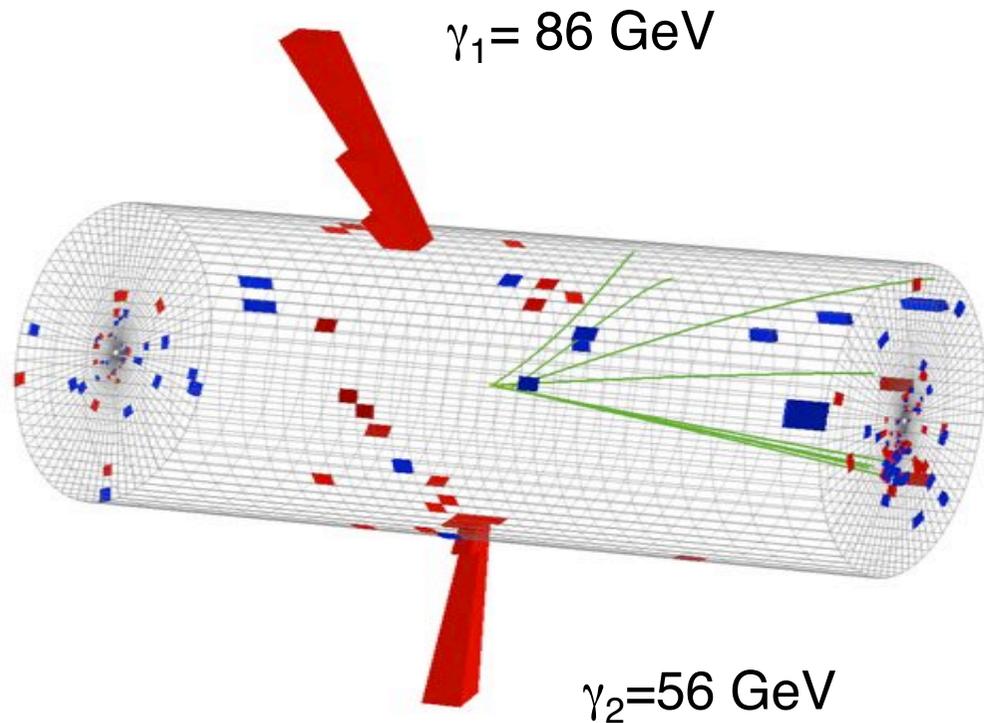
# Le spécialiste de la faible masse: $H \rightarrow \gamma\gamma$

**Signal:** deux photons, très énergétiques, isolés.  
Rechercher un excès de masse très étroite sur un fond tombant en douceur.

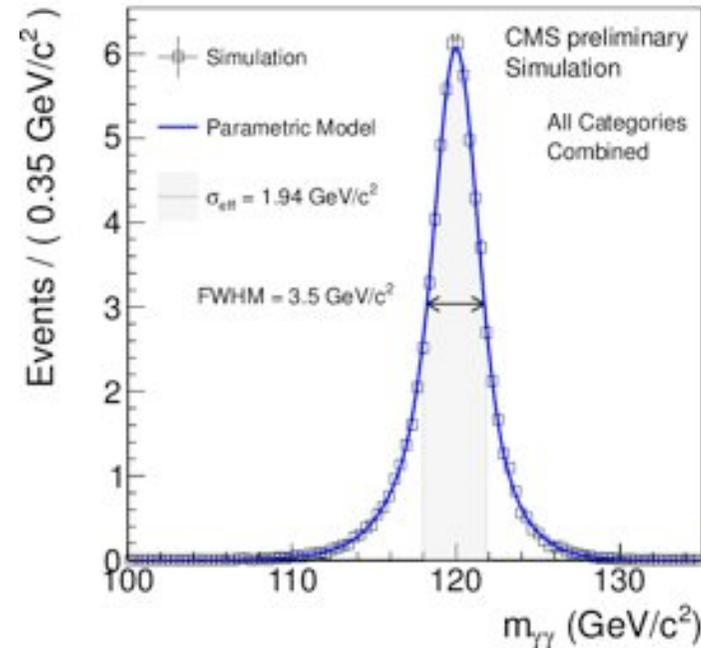
**Excellente résolution: 1-2%**  
**Pureté du signal: ~3%-30%**

Défis:

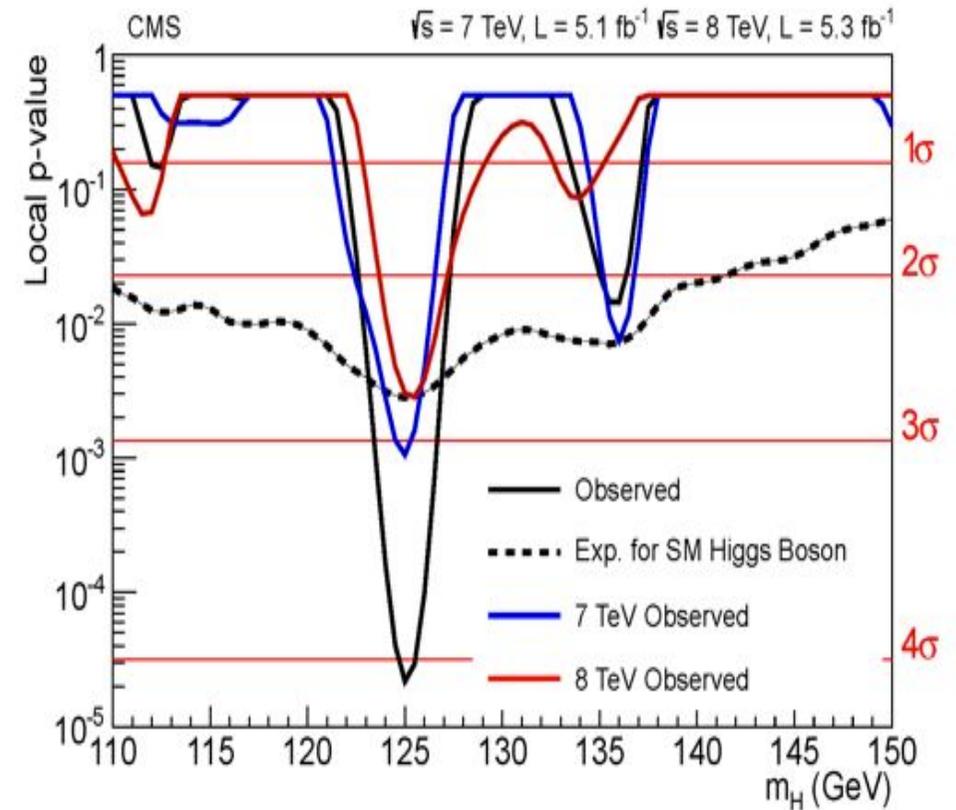
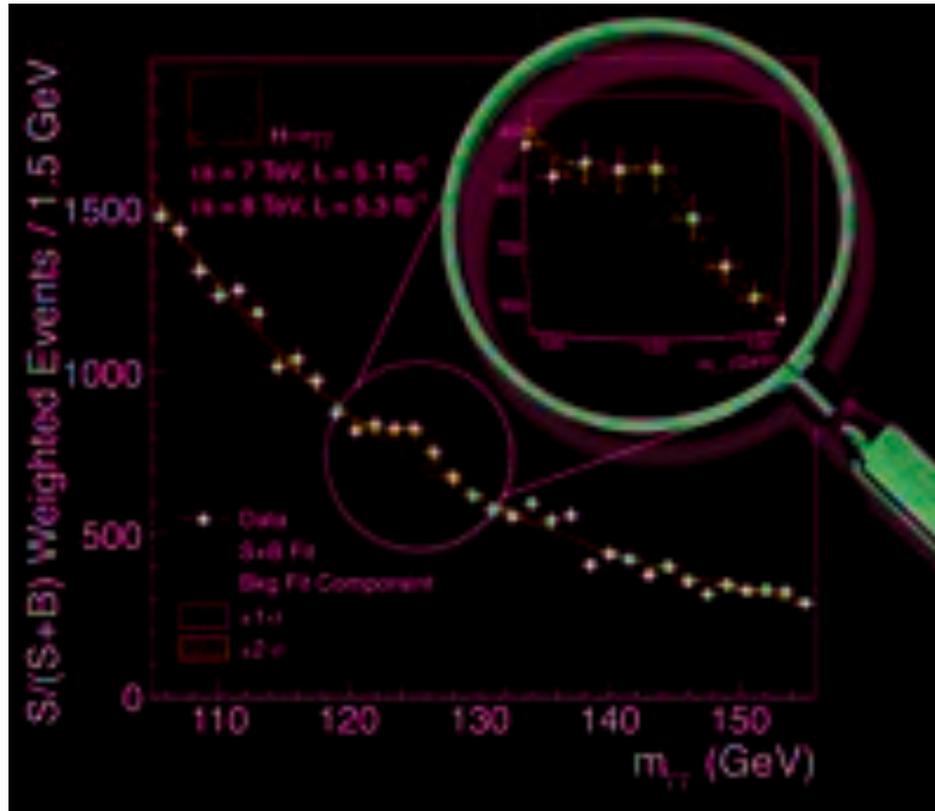
- Vertexing avec un grand pile-up
- Calibration des calorimètres électromagnétiques.
- Identification Photon.



**Fond:** Grande contamination de QCD di-photons. Mesurée à partir de données sur les bandes latérales de  $M_{\gamma\gamma}$ .



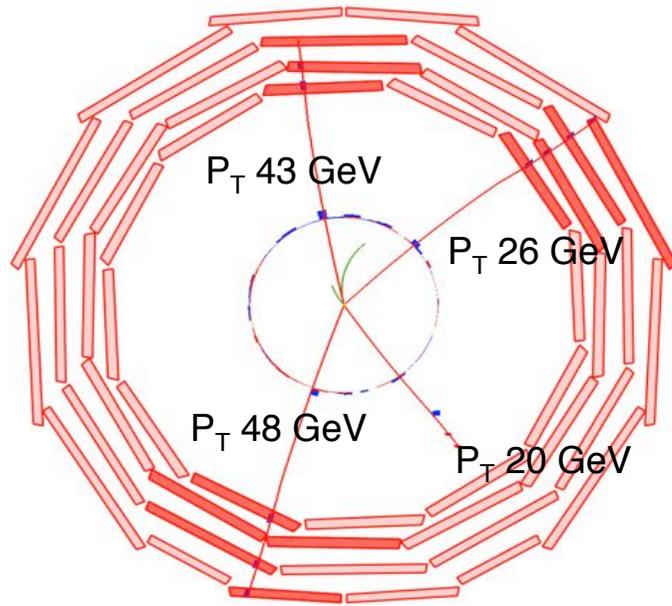
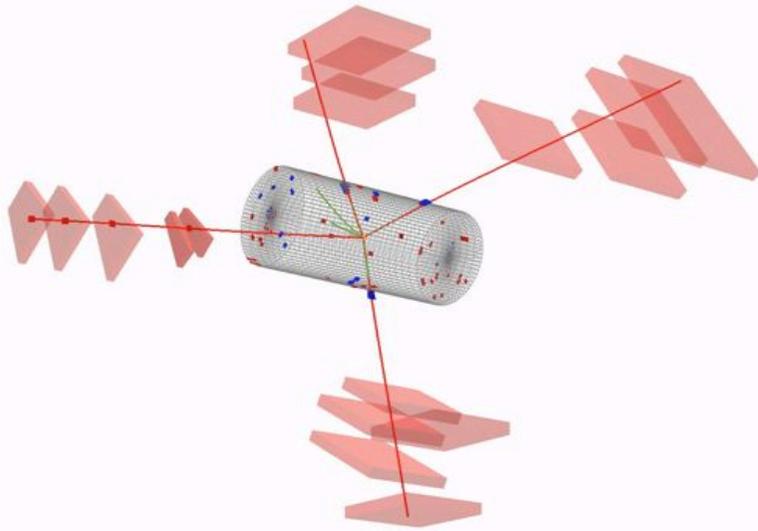
# Résultats sur $H \rightarrow \gamma\gamma$



**Pic clairement visible correspondant à un excès  $> 4\sigma$  à 125 GeV.**



# $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4e, 4\mu, 2e2\mu$ : le canal dorée



**Signature:** deux paires des leptons isolés de même saveur, haut  $p_T$  et de charge opposée. Une ou deux paires de masse invariante compatible avec le Z.

**Canal très propre (S/N:1) de haute résolution (1-2%), mais très faible taux ( $\sigma \sim 2.5 \text{ fb}^{-1}$ ).**

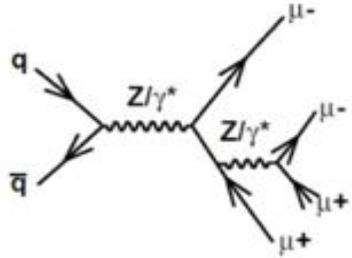
Cinématique bien définis: reconstruction de la masse invariante du système.

Fonds principaux:  $ZZ^*$  (irréductible) pour  $m_H < 2m_Z$ ,  $Zbb/cc$ ,  $Z$ +jets,  $tt$ ,  $WZ$ +jets

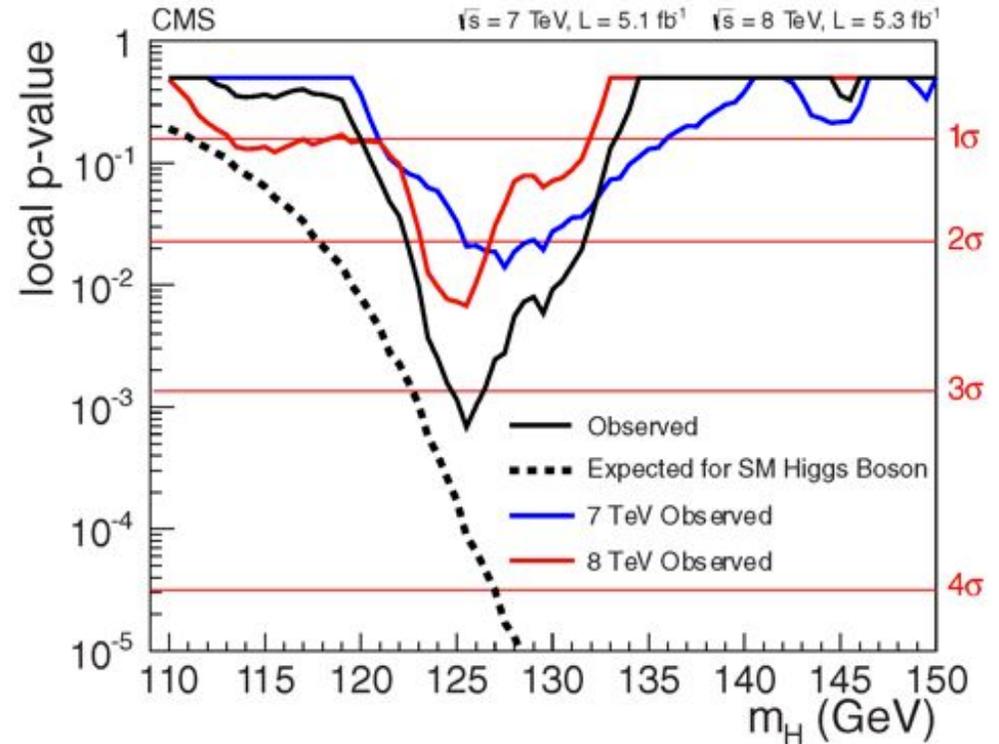
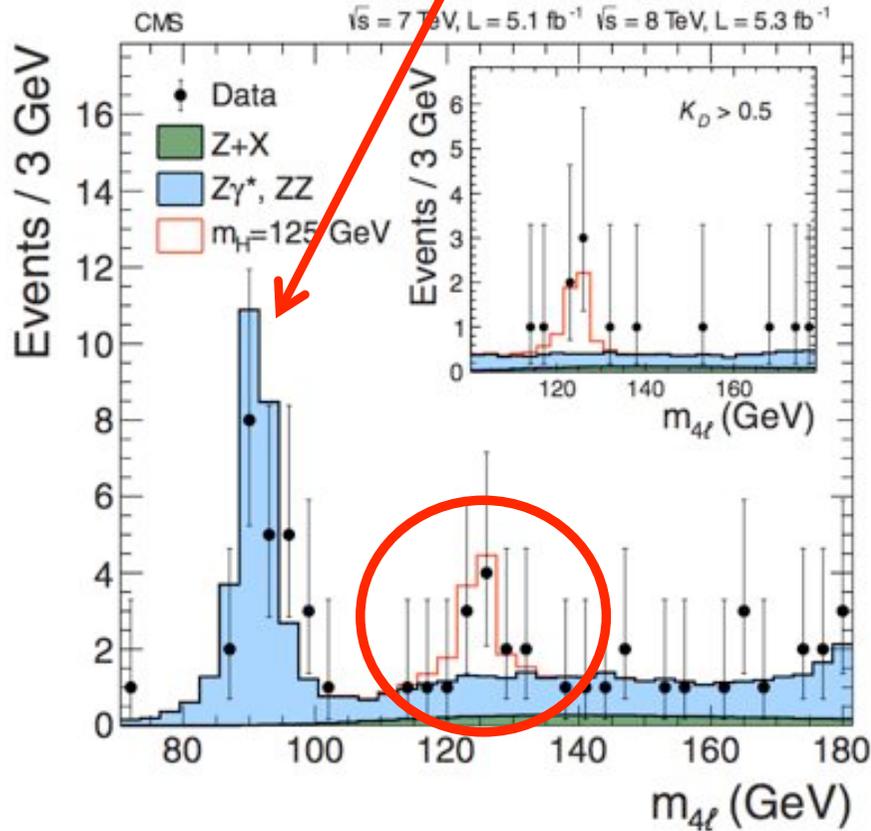
Supprimer les fonds avec isolement et coupures sur le paramètre d'impact des leptons.



# Résultats sur $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptons



Processus EWK très rare utilisé à des fins d'étalonnage.



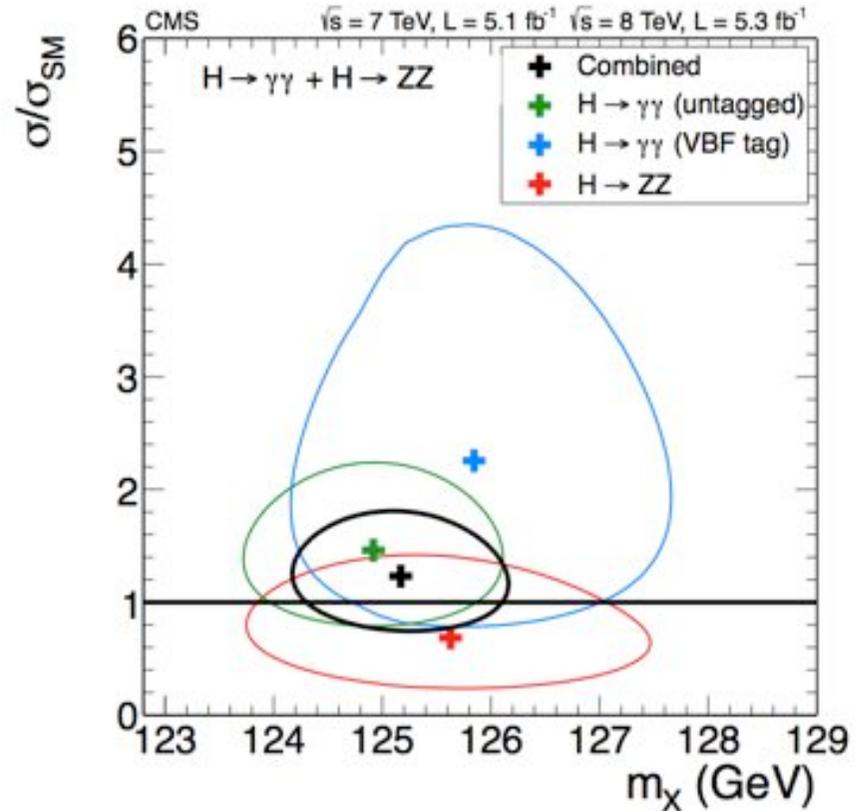
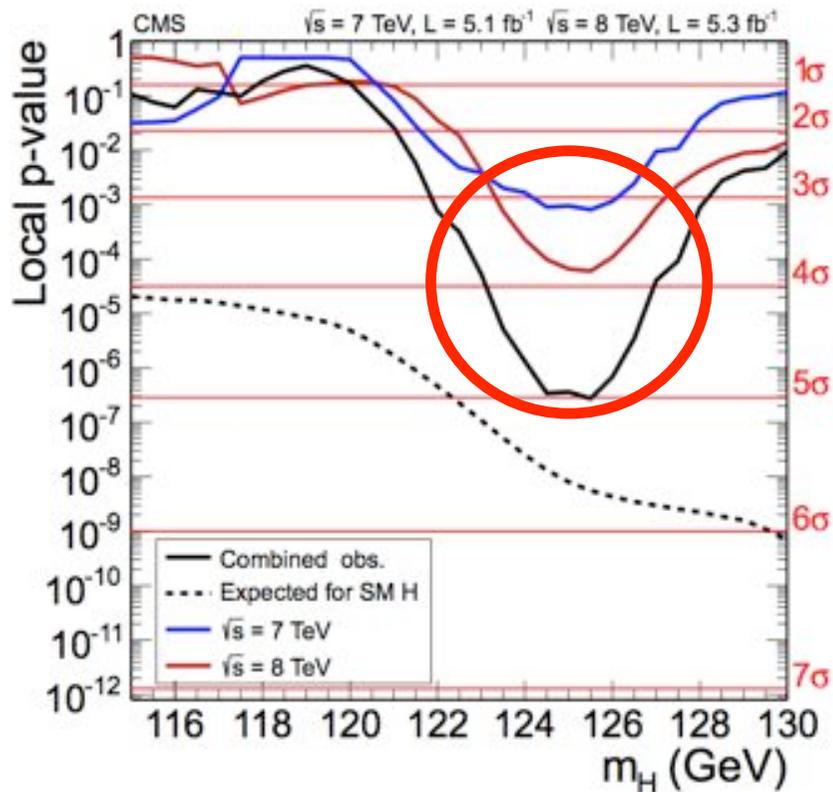
**Pic clairement visible correspondant à un excès  $>3\sigma$  à 125.5 GeV.**



# Découverte d'un boson de type Higgs.

Combined significance  $5.0\sigma$

$m_H = 125.3 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.5(\text{syst}) \text{ GeV}$

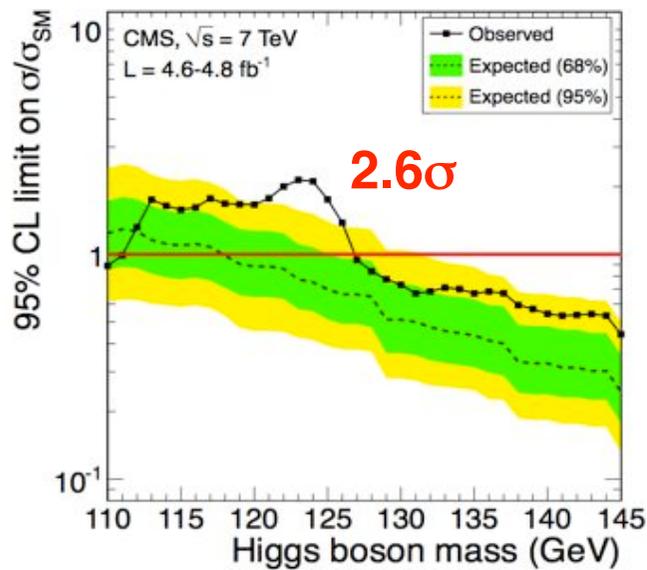


2nd Special Seminar at CERN, July 4th 2012.

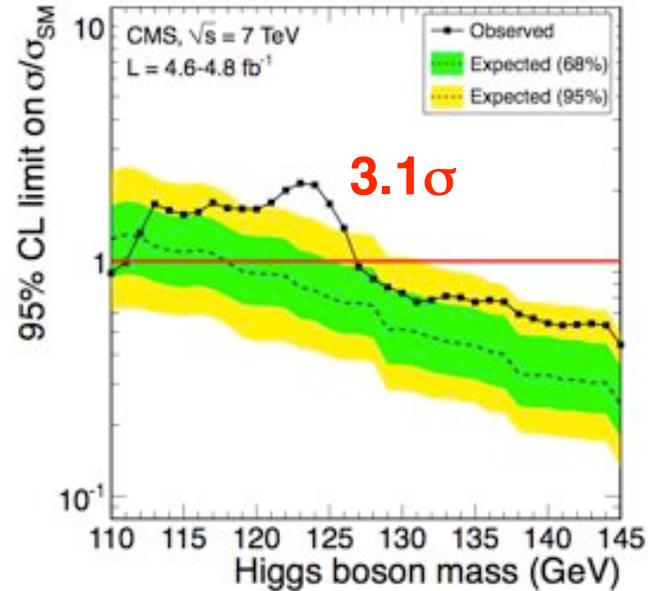
Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at LHC [arXiv 1207.7235v1](https://arxiv.org/abs/1207.7235v1)



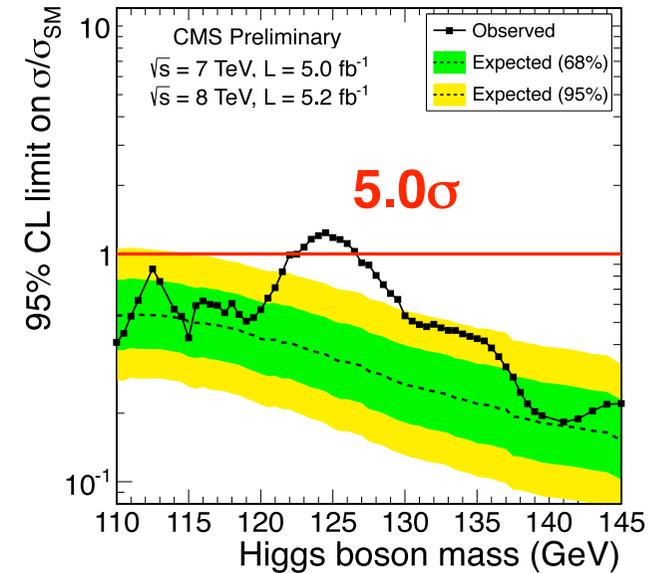
# Les sept mois qui ont changé la physique



13 Dec 2011 CERN Seminar



7 Feb. 2012 arXiv:1202.1488v1/v3

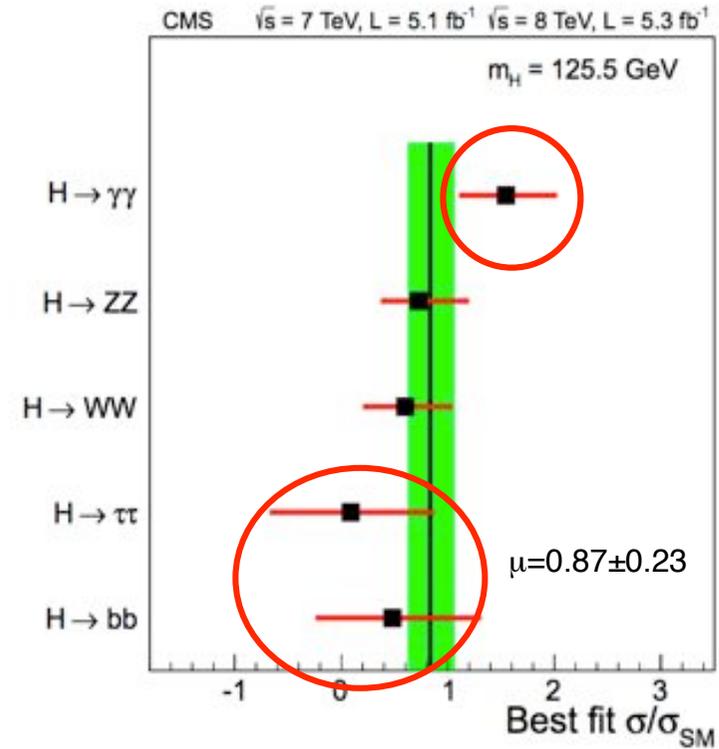
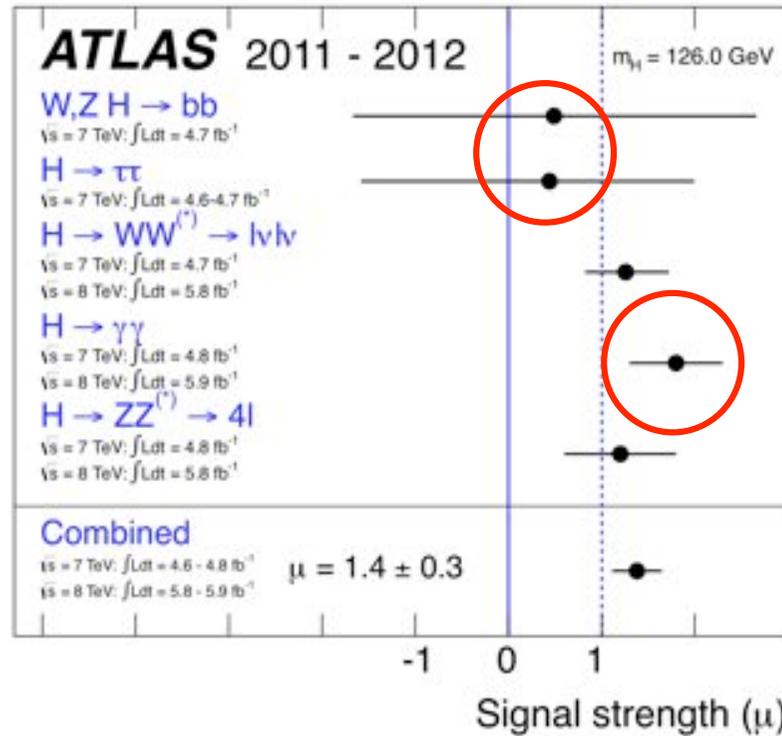


4 Lug 2012 CERN Seminar



# Questions ouvertes au moment de la découverte

## 1) Est-ce vraiment le boson de Higgs? Est-ce un scalaire?



L'intensité du signal  $\sigma/\sigma_{SM}$  dans différents modes est compatible avec l'hypothèse que la nouvelle particule est le boson de Higgs, mais ...

2) **Aucun signal dans les modes avec fermions ( $t\bar{t}$ ,  $b\bar{b}$ ): avons-nous besoin de plus de données ou s'agit-il de la première indication d'un problème dans le couplage de Yukawa?**

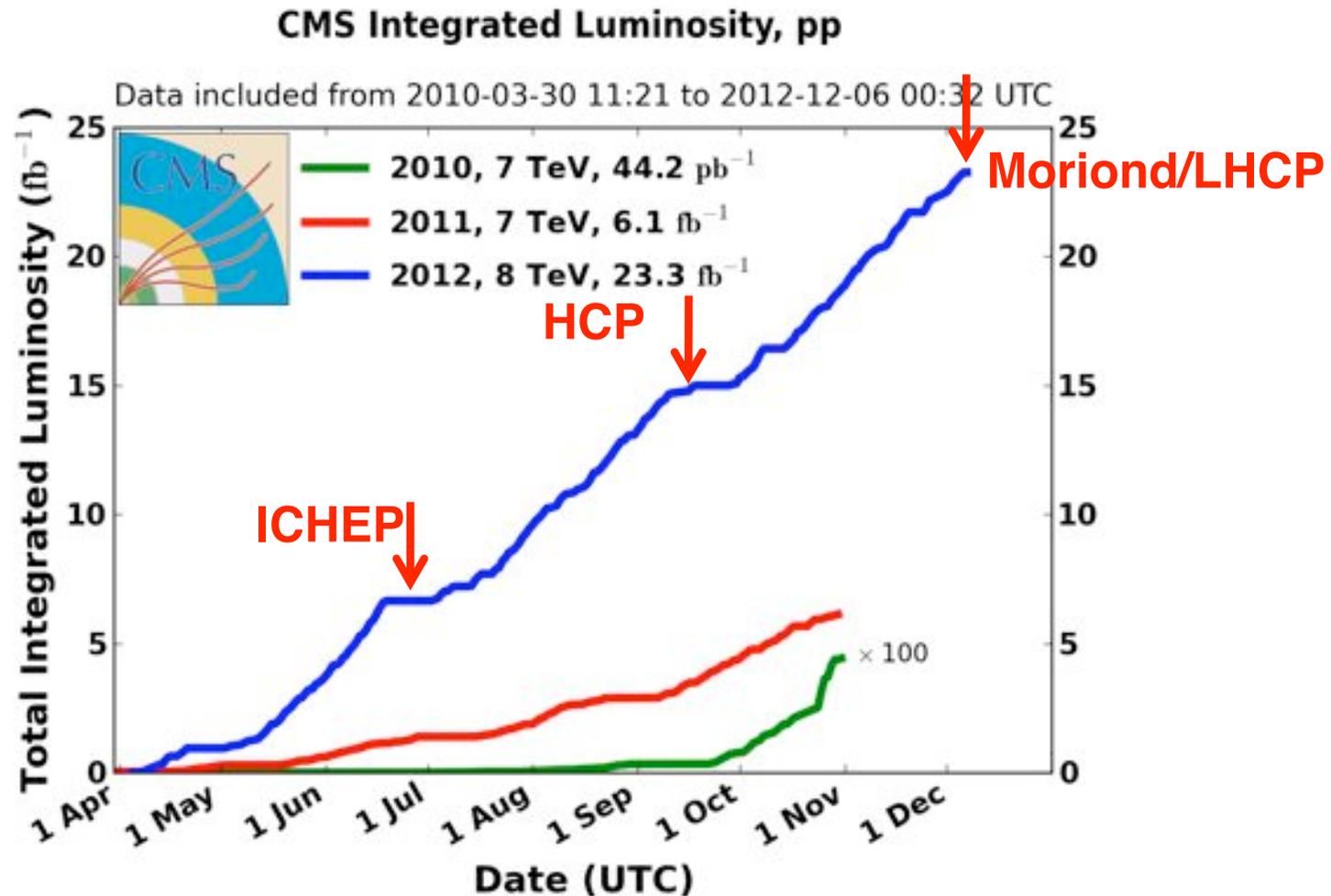
3) **il y a un soupçon d'un excès en  $H \rightarrow \gamma\gamma$  dans les deux expériences: statistique ou le première signe déjà d'une nouvelle physique?**



## 4. Derniers résultats et résultats préliminaires sur les propriétés.



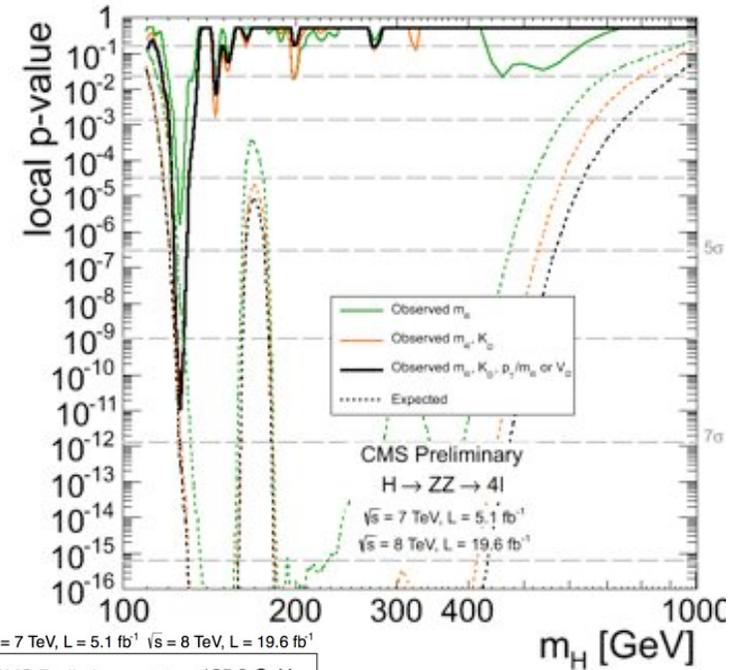
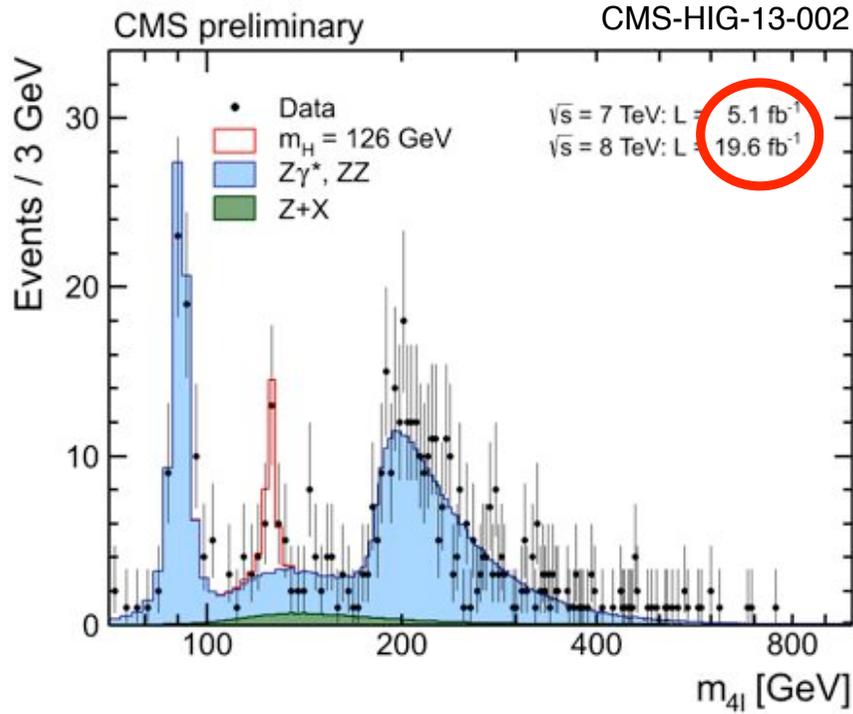
# Les nouvelles données recueillies depuis la découverte.



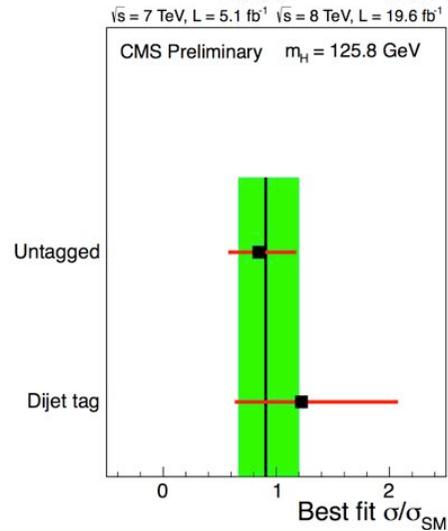
Des nouveaux résultats présentés à la Conférence HCP à Kyoto en Novembre, au Conseil du CERN en Décembre, à Moriond en Mars et à LHCP en Mai.



# L'intensité du signal en $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptons

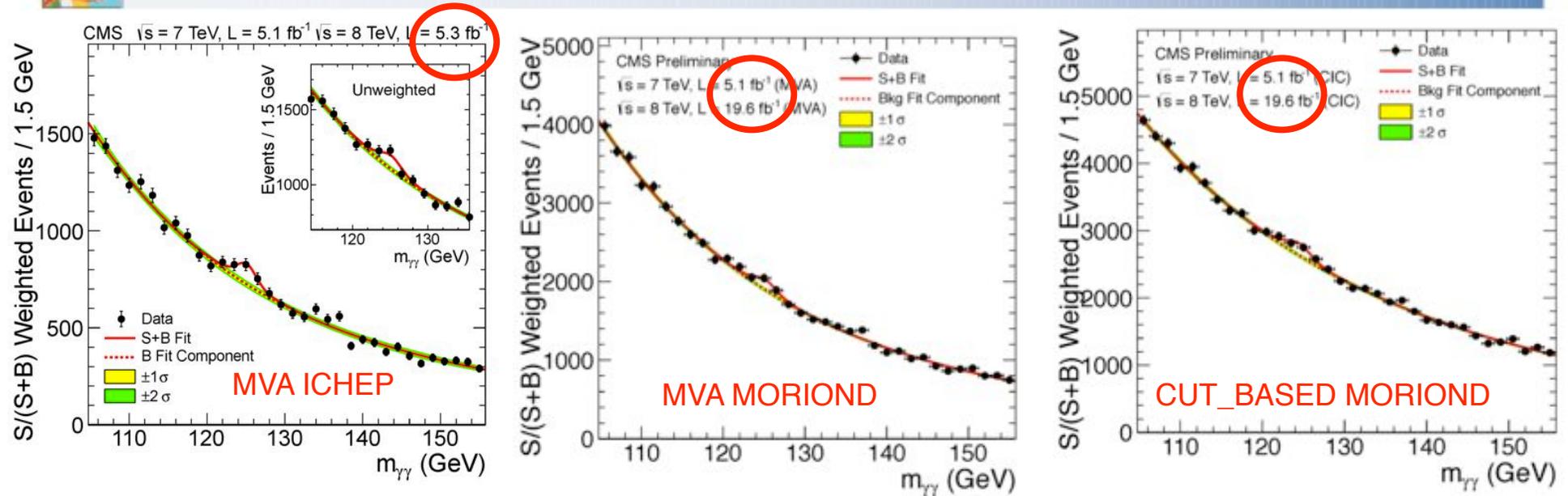


Signal de Higgs à  **$6.7\sigma$  ( $7.2$ )**  
 $\mu = 0.91^{+0.30}_{-0.24}$  @  $m_H = 125.8 \text{ GeV}$





# L'intensité du signal en $H \rightarrow \gamma\gamma$ .



**4.1 $\sigma$  (2.8 expected)**

**3.2 $\sigma$  (4.2 expected)**

**3.9 $\sigma$  (3.5 expected)**

En comparaison avec les résultats publiés l'intensité du signal diminue, en raison de deux effets: la ré-analyse de données à 8 TeV et l'ajout de nouvelles données.

## Signal strength $\mu$ :

CMS-HIG-13-001

	MVA analysis (at $m_H=125$ GeV)	cut-based analysis (at $m_H=124.5$ GeV)
7 TeV	$1.69^{+0.65}_{-0.59}$	$2.27^{+0.80}_{-0.74}$
8 TeV	$0.55^{+0.29}_{-0.27}$	$0.93^{+0.34}_{-0.32}$
7 + 8 TeV	$0.78^{+0.28}_{-0.26}$	$1.11^{+0.32}_{-0.30}$



# $M_H$ est un paramètre extrêmement important.

$M_H$  est le seul paramètre libre de la théorie  $M_H^2 = 2\lambda v^2$   $v=246\text{GeV}$ .

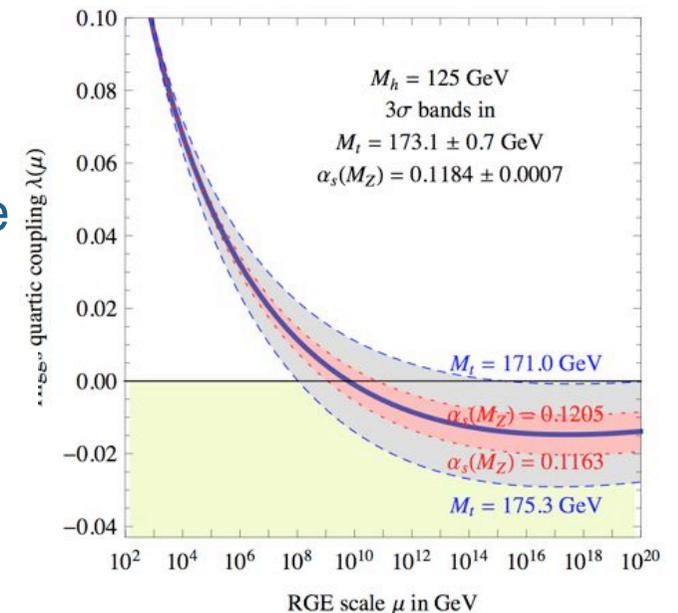
Une fois mesurée avec précision, nous pouvons extraire l'autocouplage  $\lambda$  et évaluer l'évolution du potentiel de Higgs avec énergie.

**Est-ce que le potentiel de Higgs s'annule à l'échelle de Planck?**

EWSB déterminée par la physique de Planck?  
absence de nouvelles échelles d'énergie entre l'échelle de Fermi et celle de Planck?

$$\lambda(M_{\text{Pl}}) = -0.0144 + 0.0028 \left( \frac{M_h}{\text{GeV}} - 125 \right) \pm 0.0047 M_t \pm 0.0018 \alpha_s \pm 0.0028 t_h$$

arXiv:1205.6497





# Pourrait ce boson être l'inflaton?

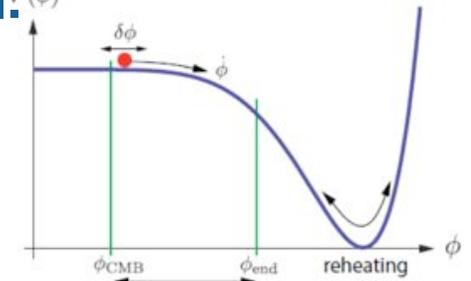
L'inflation est entraînée par une densité d'énergie du vide à pression négative  
**Un champ scalaire, qui roule lentement, pourrait faire le travail.**

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)d\vec{x}^2$$

$$\Rightarrow \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p)$$

$$\begin{cases} \rho = \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + V(\phi) \\ p = \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 - V(\phi) \end{cases} \Rightarrow \rho + 3p = 2(\dot{\phi}^2 - V(\phi))$$

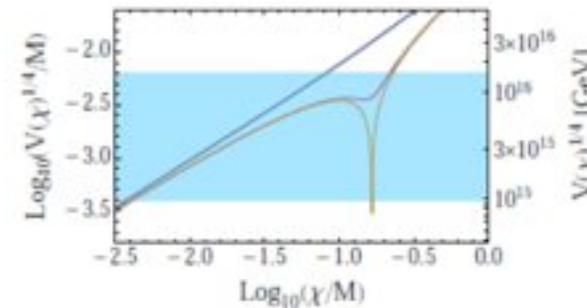
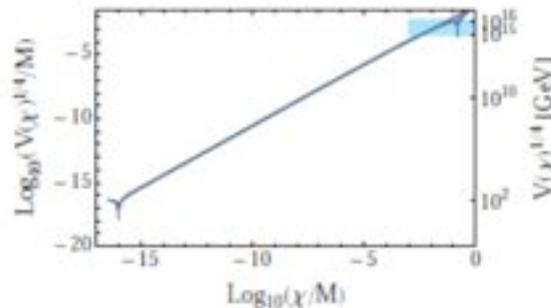
$$\text{if } \dot{\phi}^2 < V(\phi) \Rightarrow \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) > 0$$



[Source - arXiv:0907.5424]

arXiv: 0907.5424

**Le potentiel de Higgs pourrait développer un autre minimum proche de l'échelle de Planck et s'asseyant dans cette fausse vide pourrait déclencher l'inflation et ensuite mettre fin à elle pour atteindre le deuxième minimum où il se trouve encore aujourd'hui.**



Higgs potential as function of Higgs field value,  $m_t=171.8$  GeV,  $m_h=125.2, 125.158, 125.1577$  GeV

Pour correspondre à l'amplitude de la densité de perturbation la masse du Higgs doit avoir une valeur bien définie:  $m_H = 126.0 \pm 3.5$  GeV (pour  $M_{\text{top}}=173.2$  GeV).

arXiv:1112.5430



# Mesure de la masse

CMS-HIG-13-001-2

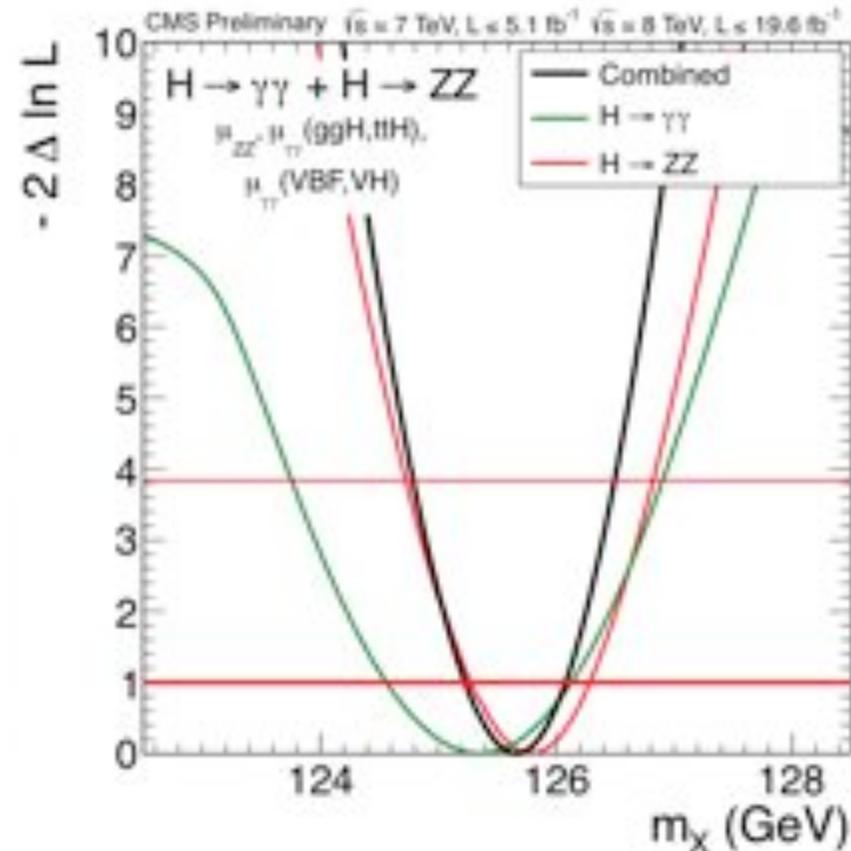
- Mass is measured  $m_x = 125.7 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 0.3(\text{syst.}) \text{ GeV} = 125.7 \pm 0.4 \text{ GeV}$

## $H \rightarrow \gamma\gamma$

- systematics from  $Z \rightarrow ee$  to  $H \rightarrow \gamma\gamma$  extrapolation (0.25% for  $e \rightarrow \gamma$  and 0.40% for  $H_T 90 \rightarrow 125 \text{ GeV}$ )
- $m_x = 125.4 \pm 0.5(\text{stat.}) \pm 0.6(\text{syst.}) \text{ GeV}$

## $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

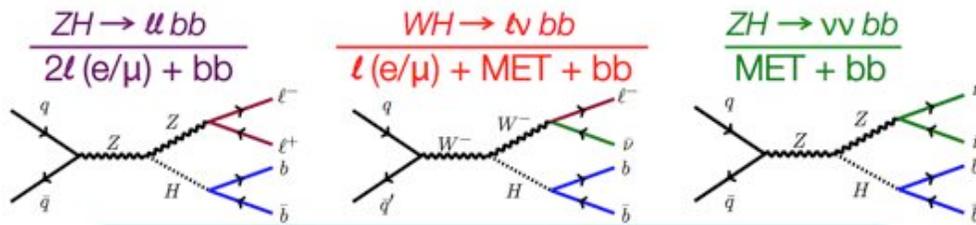
- 3D fit using  $m_{4l}$ ,  $\sigma(m_{4l})$ ,  $K_D$
- very small syst. uncertainties thanks to good control of lepton momentum scale and resolution
- $m_x = 125.8 \pm 0.5(\text{stat.}) \pm 0.2(\text{syst.}) \text{ GeV}$



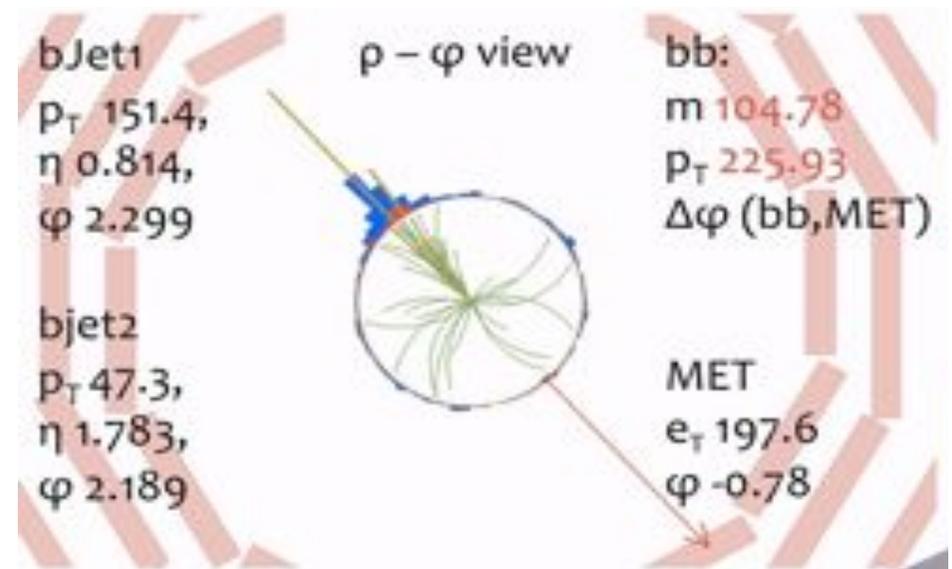


# Couplage aux fermions: $H \rightarrow bb$

- Le  $H \rightarrow bb$  est le rapport de branchement dominante dans la région de faible masse ( $\sim 60\%$ ), mais l'immense fond de la QCD en di-jet rend cette canal très difficile au LHC.
- **La meilleure option: production associée:  $qq \rightarrow VH$ ;  $H \rightarrow bb$ ; états finaux avec leptons, energie trasverse manquant et b-jets. Pureté du signal (S/N):  $\sim 1-10\%$ ; plusieurs sous-canaux.**



$qq \rightarrow ZH$ ;  $Z \rightarrow \nu\nu$ ,  $H \rightarrow bb$

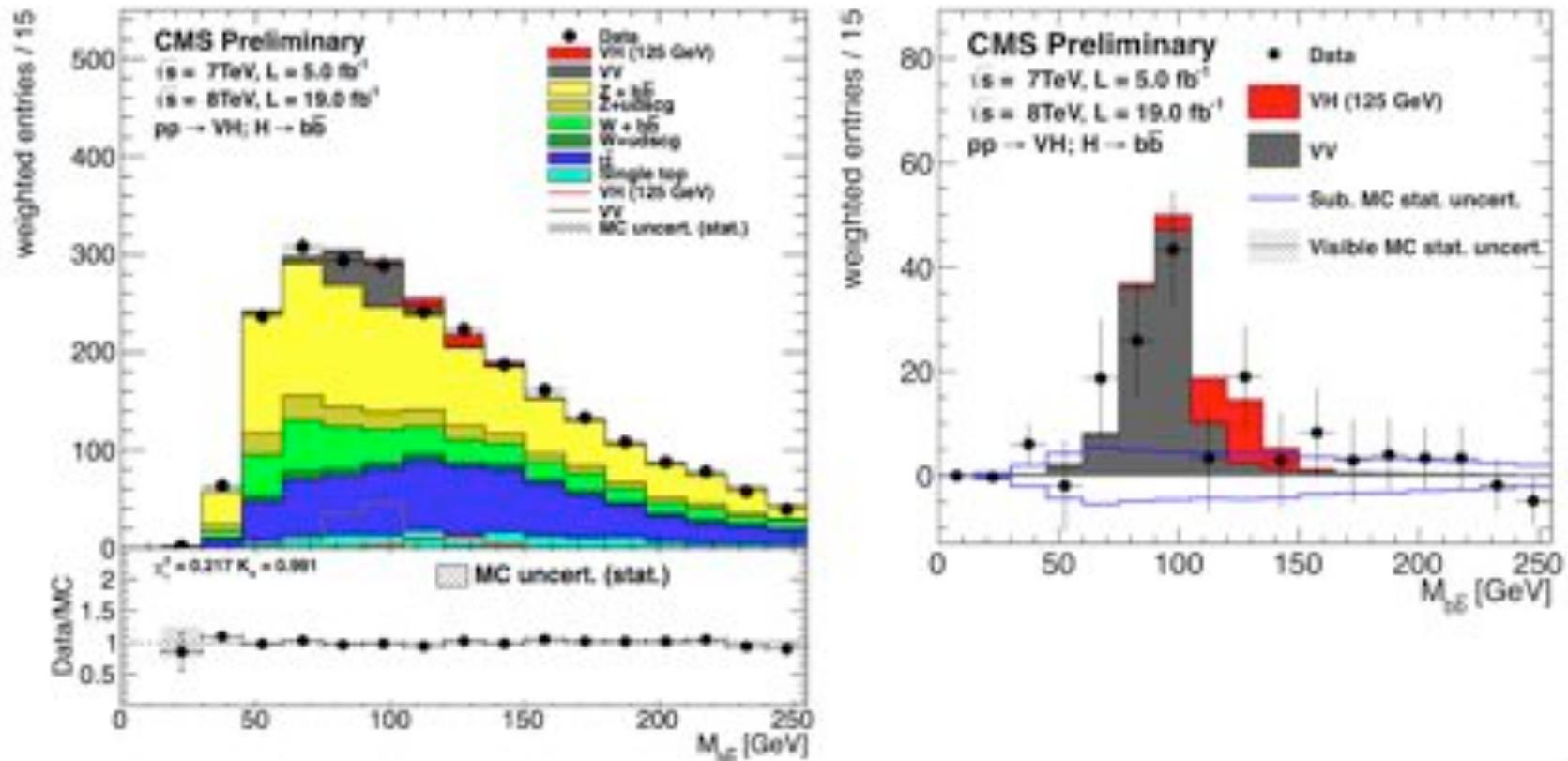


- **Principaux critères de sélection**
- **VH topologie :  $\Delta\Phi(V,H)$**
- **$P_T(V) > 100-160$  GeV (W/Z boosté )**
- **Deux b-tagged jets**
- Les principaux fonds (V+jets, ttbar étudiés à partir des données)



# Couplage aux fermions: $H \rightarrow b\bar{b}$

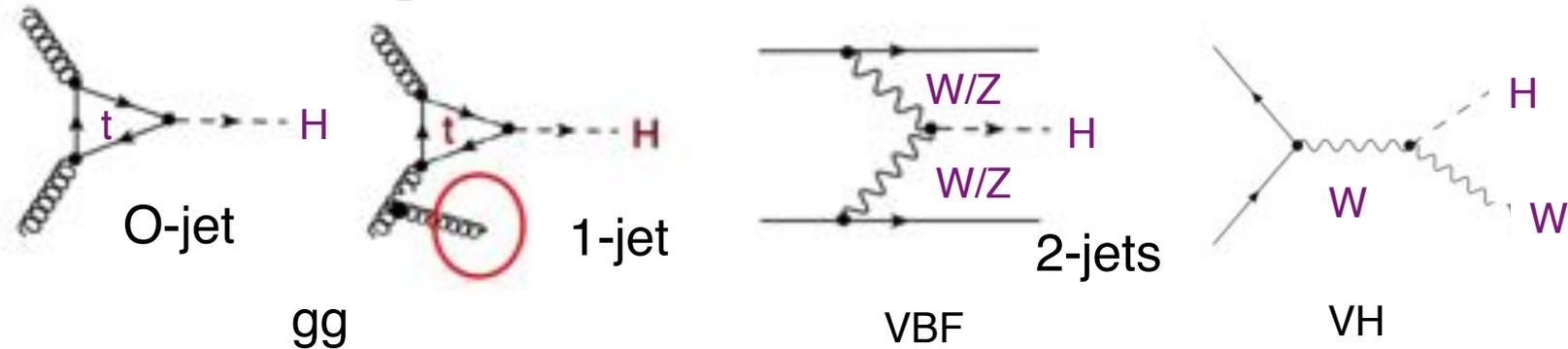
Résolution en masse  $\sim 10\%$ , même en présence d'un signal, nous ne nous attendons pas à voir beaucoup plus qu'un faible, large excès.



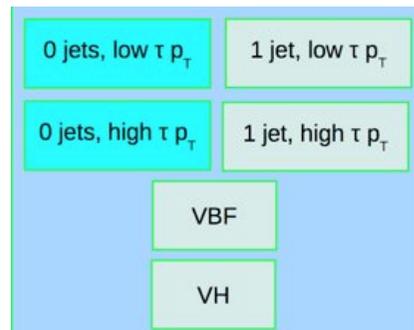
**Juste un soupçon d'excès  $2.1\sigma$  ( $2.1\sigma$ ) à 125GeV compatible avec un signal de Higgs dans la région de faible masse.**  
**Best-fit  $\mu = 1.0 \pm 0.5$ .**



# Couplage aux fermions: $H \rightarrow \tau\tau$



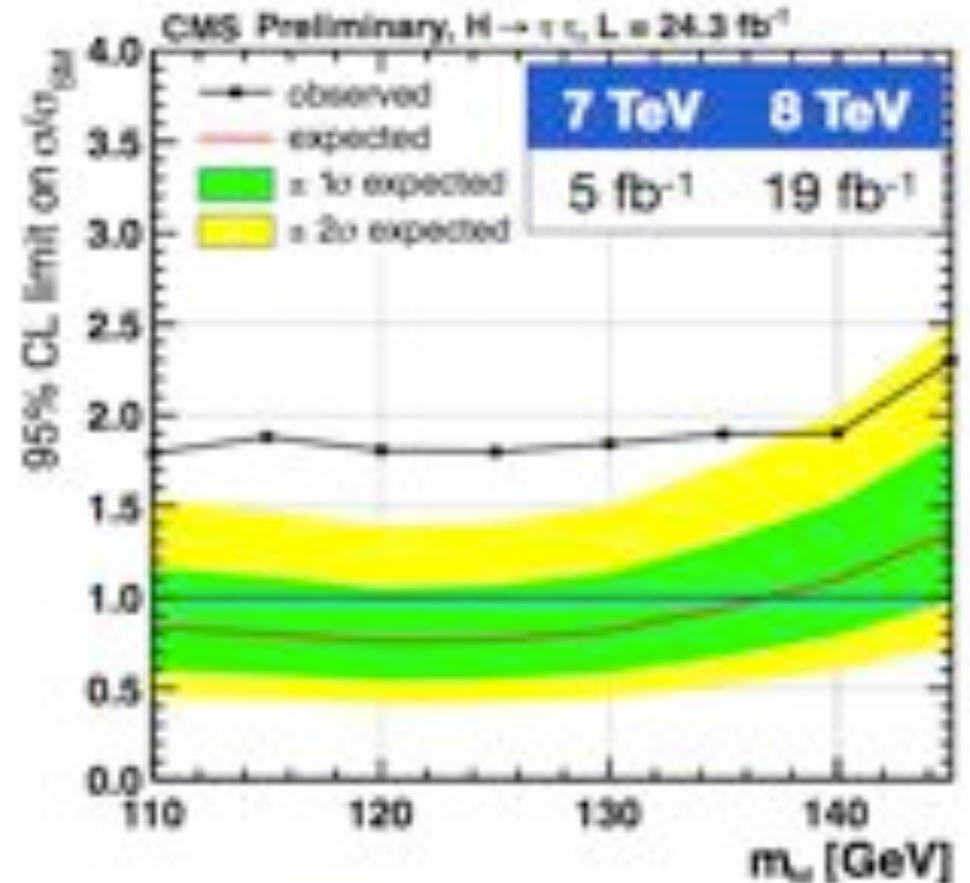
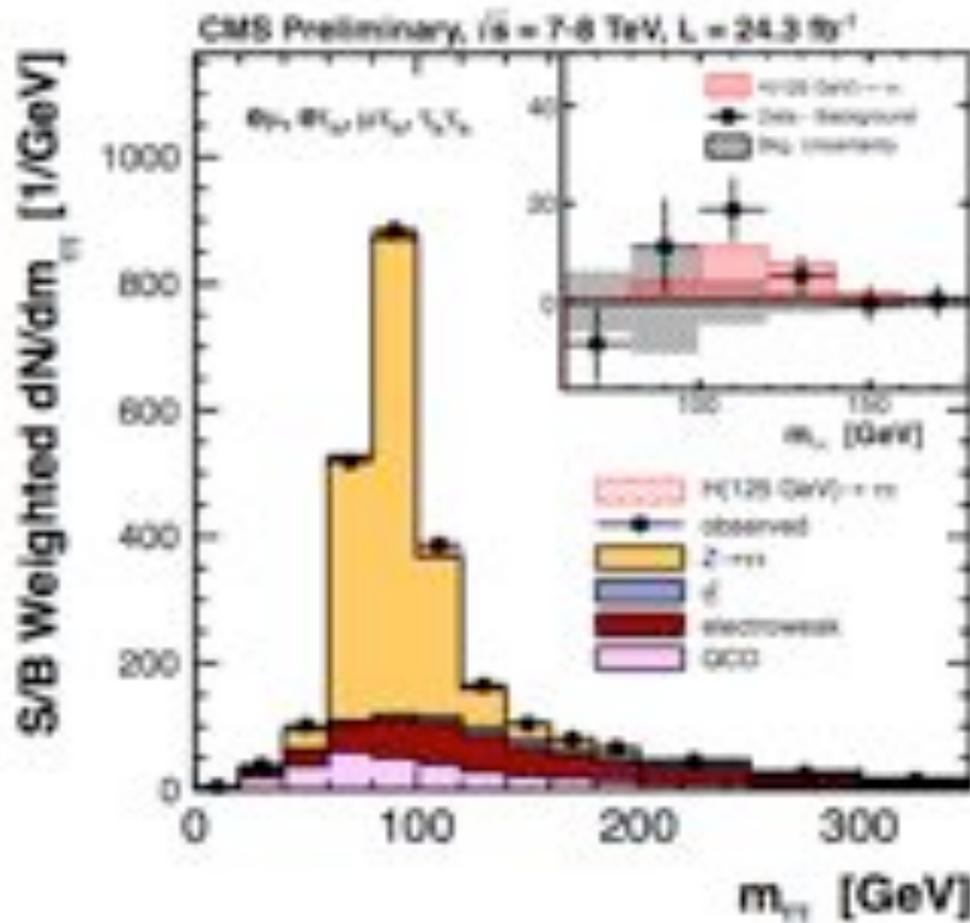
L'analyse recherche un large excès dans la distribution de masse invariante des paires de taus reconstruit. Les événements sont classés selon plusieurs modes de production et plusieurs états finales indépendantes ( $e\tau_h$ ,  $\mu\tau_h$ ,  $e\mu$ , et  $\mu\mu$ ). **Pureté du signal (S/N): 0.3-30%.**



La masse invariante  $m_{\tau\tau}$  est reconstruite en utilisant des algorithmes qui combinent la partie visible des produits de désintégration du  $\tau$  et l'énergie transverse manquante. **Résolution en masse de l'ordre de 15-20% à 125GeV.** Principal fond irréductible  $Z \rightarrow \tau\tau$ . Canal plus sensible VBF.



# Couplage aux fermions: $H \rightarrow \tau\tau$



CMS-HIG-13-004

Présence d'un large excès (résolution 15%) dans la région de faible masse:  $2.9\sigma$  ( $2.6\sigma$ ) à 125GeV. Best-fit  $\mu=1.1\pm 0.4$ . Premiers signes que la nouvelle particule couple directement aux fermions.



# Vue d'ensemble d'aujourd'hui

decay mode	probed production modes (cross-contamination can be large)				$\sigma_M / M$	significance of the excess	
	gg→H	VBF	VH	ttH		expected ( $\sigma$ )	observed ( $\sigma$ )
ZZ	✓	✓			1-2%	7.1	6.7
YY	✓	✓	✓		1-2%	3.9	3.2
WW	✓	✓	✓		20%	5.3	3.9
bb			✓	✓	10%	2.2	2.0
ττ	✓	✓	✓		15%	2.6	2.8

@  $m_x = 125.7$  GeV

3.4  $\sigma$  combined

**Une preuve manifeste de la présence de la nouvelle particule dans tous les canaux, y compris ceux fermioniques.**



# Avons-nous observé un scalaire?

## Spin/parité $\Leftrightarrow$ distribution angulaire des produits finaux de dégradation

Puisqu'il se désintègre en deux photons: spin 1 est interdite par la symétrie de Bose (Landau-Yang théorème).

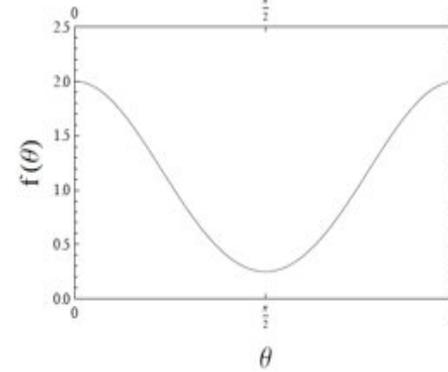
1)  $gg \rightarrow X \rightarrow \gamma\gamma$   $qq \rightarrow X \rightarrow \gamma\gamma$

Gao et al. 2010

spin-0: flat in  $\cos\theta^*$

spin-2: quartic in  $\cos\theta^*$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \frac{1}{4} + \frac{3}{2}\cos^2\theta + \frac{1}{4}\cos^4\theta$$

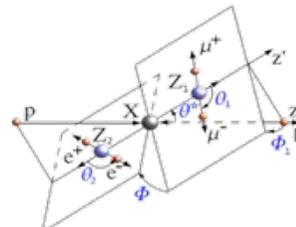


2)  $gg \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  Choi et al. 2002, De Rujula et al 2010

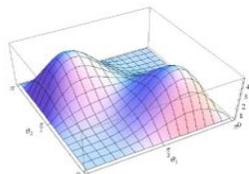
$$\text{MELA} = \left[ 1 + \frac{\mathcal{P}_{\text{bkg}}(m_1, m_2, \theta_1, \theta_2, \Phi, \theta^*, \Phi_1 | m_{4\ell})}{\mathcal{P}_{\text{sig}}(m_1, m_2, \theta_1, \theta_2, \Phi, \theta^*, \Phi_1 | m_{4\ell})} \right]^{-1}$$

3)  $gg \rightarrow X \rightarrow W^-W^+ \rightarrow \ell^-\ell^+\nu\nu$  Ellis et al. 2012

arXiv:1001.5300

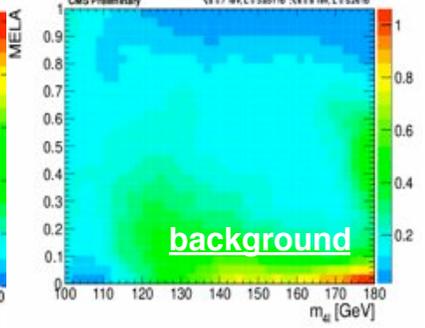
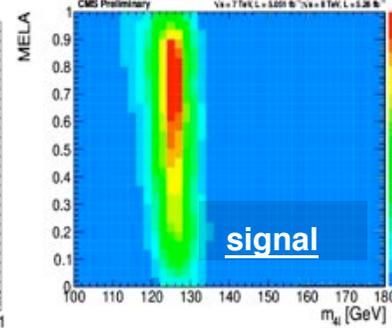
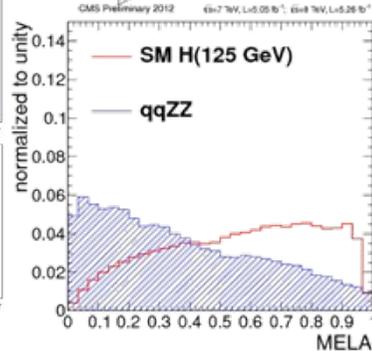
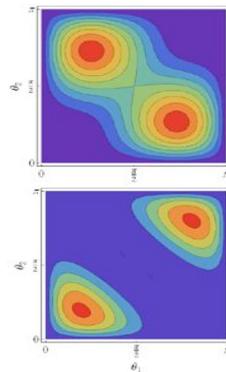
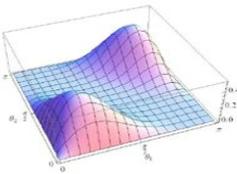


Polar angle distribution for  $X_2 \rightarrow W^+W^-$



Polar angle distribution for  $X_0 \rightarrow W^+W^-$

(for  $\phi = \pi$ )

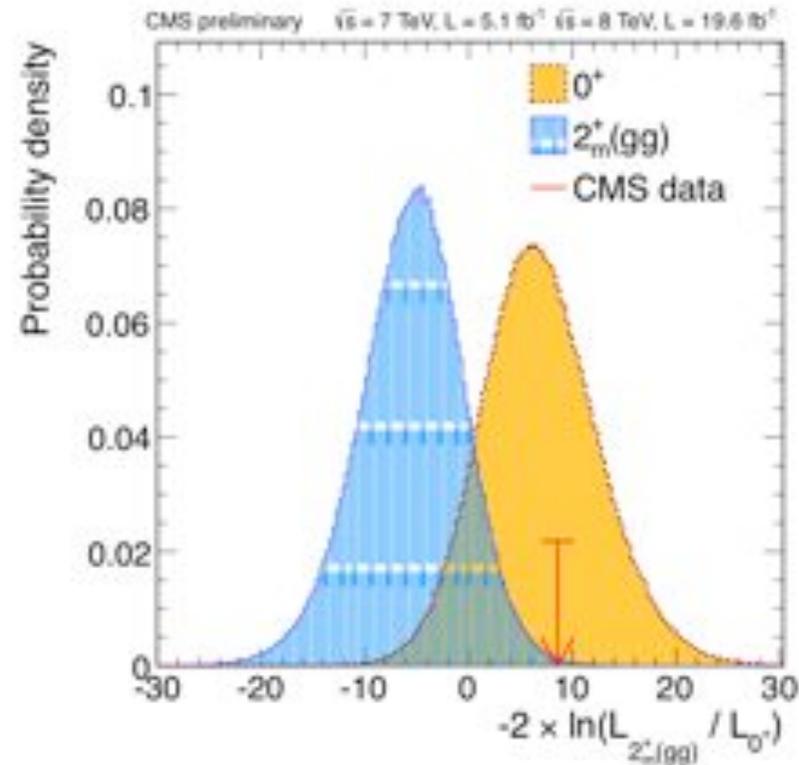




# Résultats sur le spin et la parité

CMS-HIG-13-002

- Tests in  $ZZ \rightarrow 4l$  disfavor  $J^P = 0^-$  (pseudo-scalar) w.r.t.  $J^P = 0^+$  (SM Higgs scalar boson), with  $1-CL_S^{\text{obs.}} = 99.84\%$  ( $3.3\sigma$ )
- $ZZ \rightarrow 4l$  and  $WW \rightarrow 2l2\nu_l$  combined to improve discrimination between  $J^P = 0^+$  and  $J^P = 2^+_m(\text{gg})$  (KK graviton-like with minimal couplings)
- $J^P = 2^+_m(\text{gg})$  hypothesis disfavored with  $1-CL_S^{\text{obs.}} = 99.4\%$  ( $2.84\sigma$ )
- Data are well compatible with the SM expectation  $J^P = 0^+$

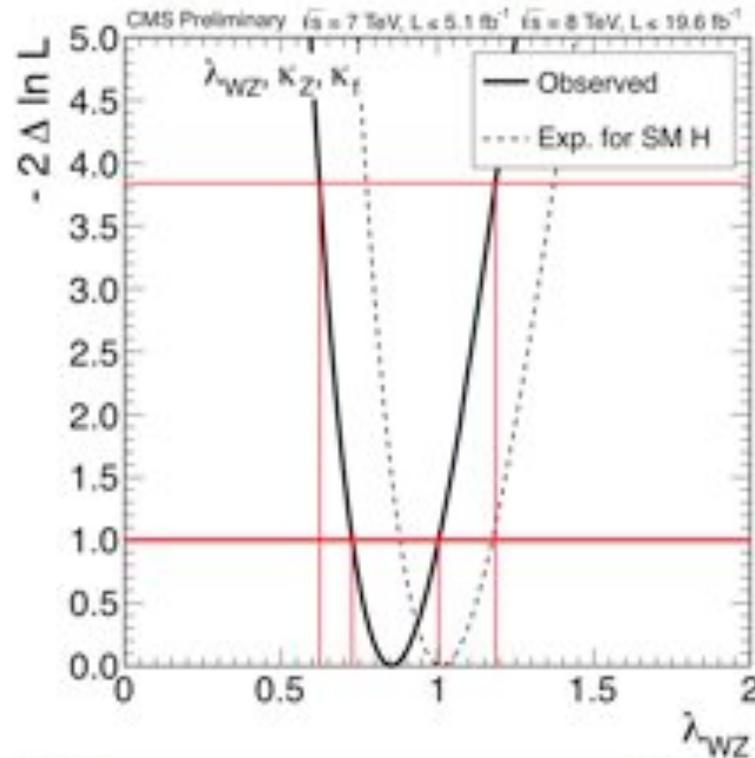


**Les hypothèses pseudo-scalaires et spin-2 sont exclus à 99.9% CL ou plus. Tous les résultats sont cohérents avec l'hypothèse que le nouveau boson est en effet un scalaire.**



# Custodial symmetry: es que c'est le Higgs?

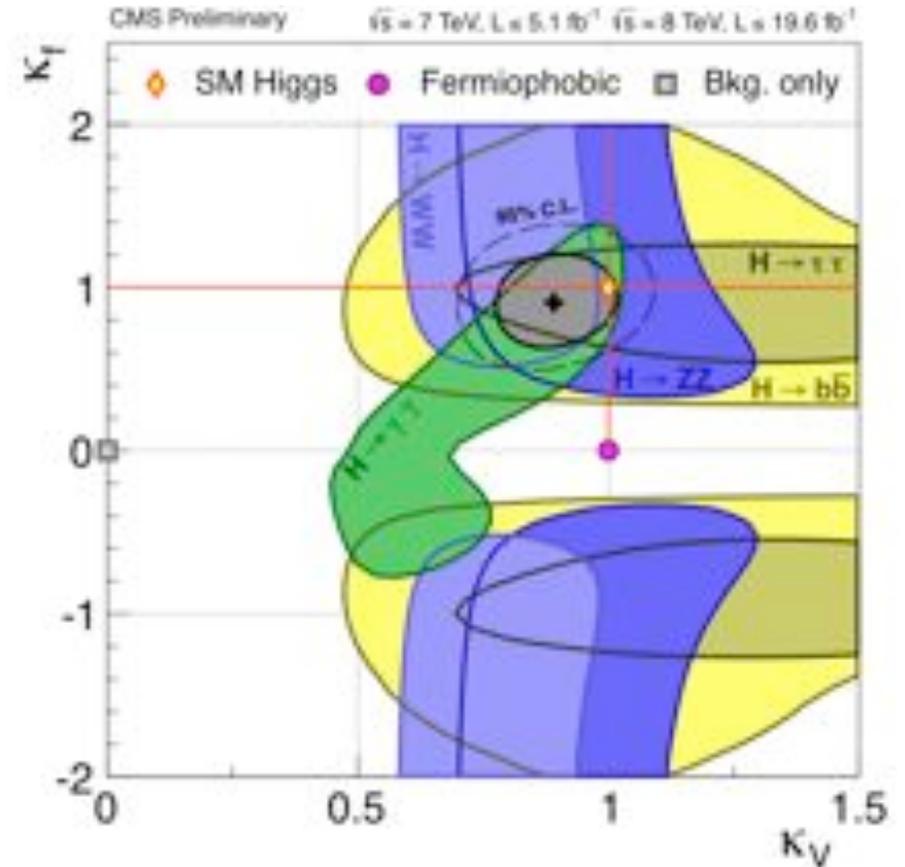
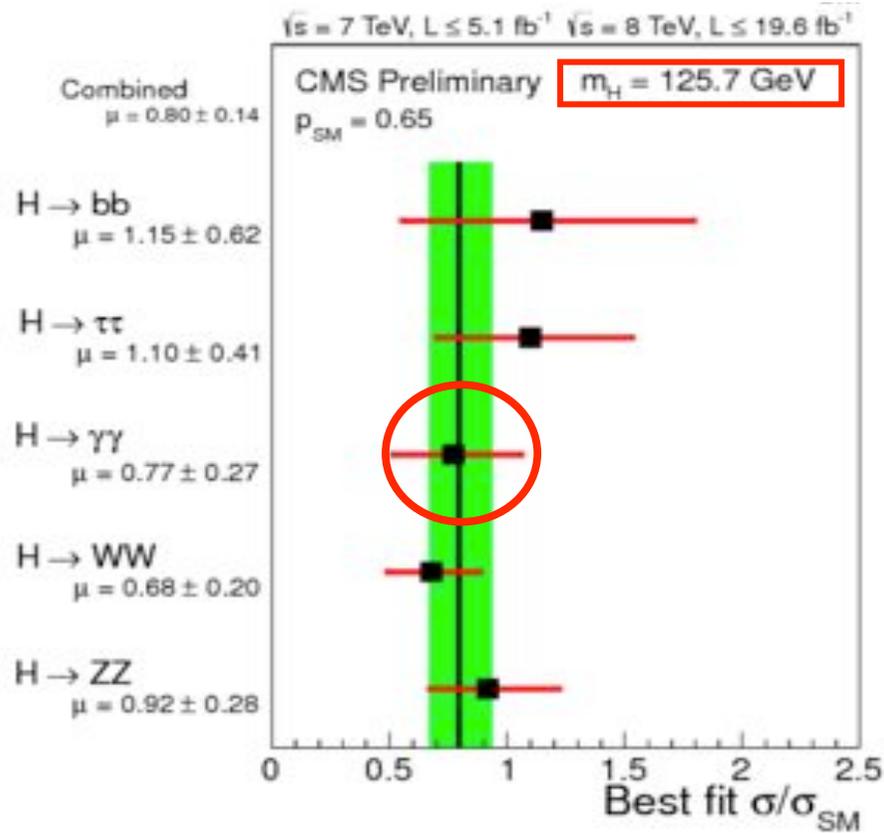
Mesurer le rapport de couplage W/Z,  $\lambda_{WZ} = \kappa_W / \kappa_Z$  nous permet de contrôler si la nouvelle particule se comporte comme le boson de Higgs.



**Les valeurs mesurées de la  $\lambda_{WZ}$  sont pleinement cohérentes avec 1 comme prévu par le MS.**



# Intensité des signaux et constantes de couplage.

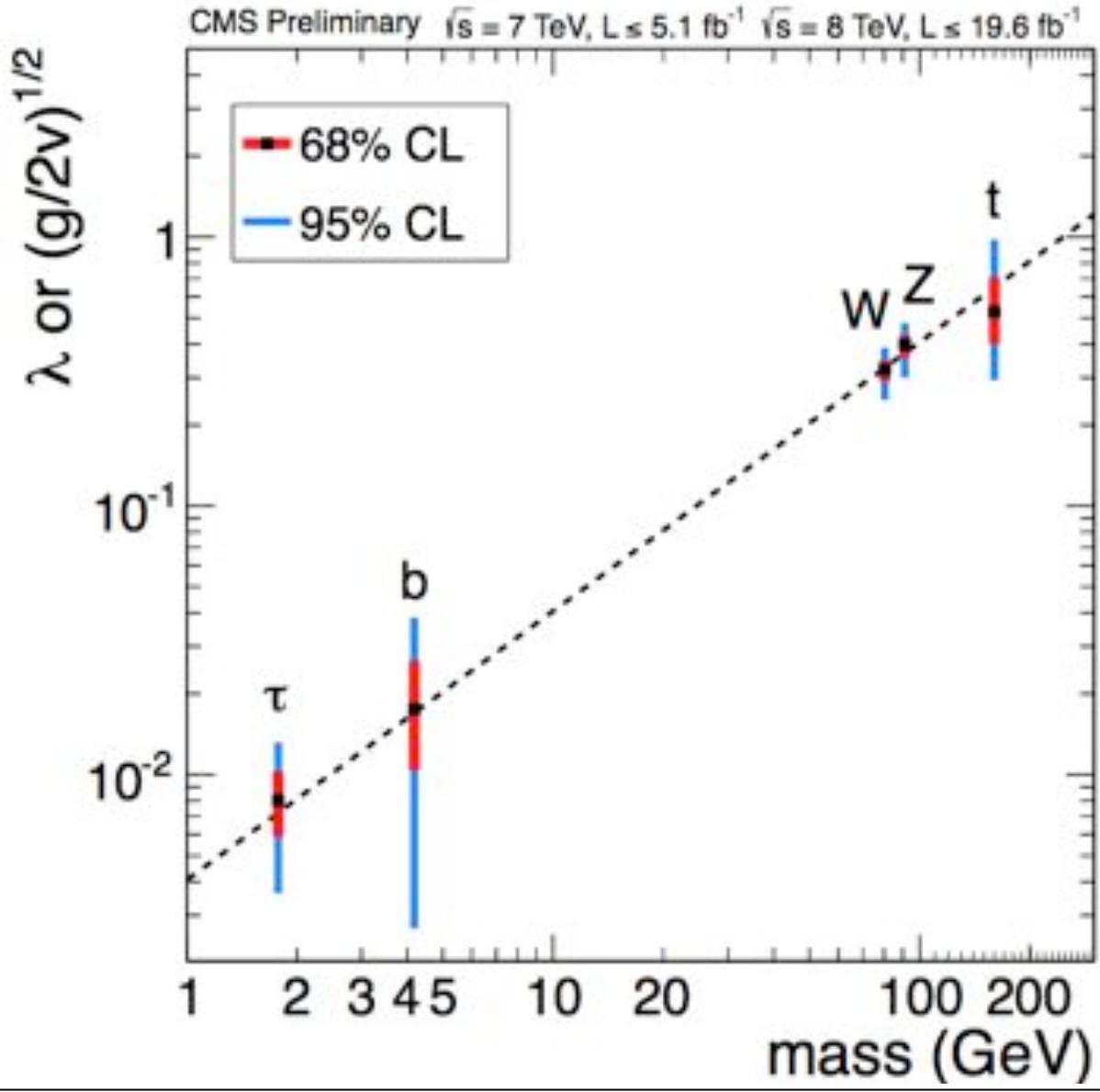


**CMS  $\mu=0.80\pm0.14$ .**

**Intensité des signaux  $\sigma/\sigma_{MS}$  dans différents modes et constantes de couplage. Tous les résultats sont cohérents avec l'hypothèse que la nouvelle particule est définitivement un ou le boson de Higgs.**



# Il marche comme un canard, il fait coin-coin comme un canard ...





# 5. Conclusion.

- En analysant les données de 2011 et 2012, **nous avons découvert un nouveau boson autour d'une masse de  $125\text{GeV}/c^2$ . Le résultat est conforme, dans les incertitudes, avec les attentes d'une (du) scalaire de Higgs du Modèle Standard.**
- La collecte de nouvelles données nous permettra un examen plus rigoureux de cette conclusion préliminaire; en particulier de savoir si les propriétés de la nouvelle particule impliquent de la physique au-delà du Modèle Standard.
- En conséquence de cette observation une révision importante de nos stratégies de recherche est en cours. La chasse à la nouvelle physique est toujours ouverte.

**Nous ne sommes qu'au début de l'exploration de la région du TeV.  
Restez à l'écoute!**