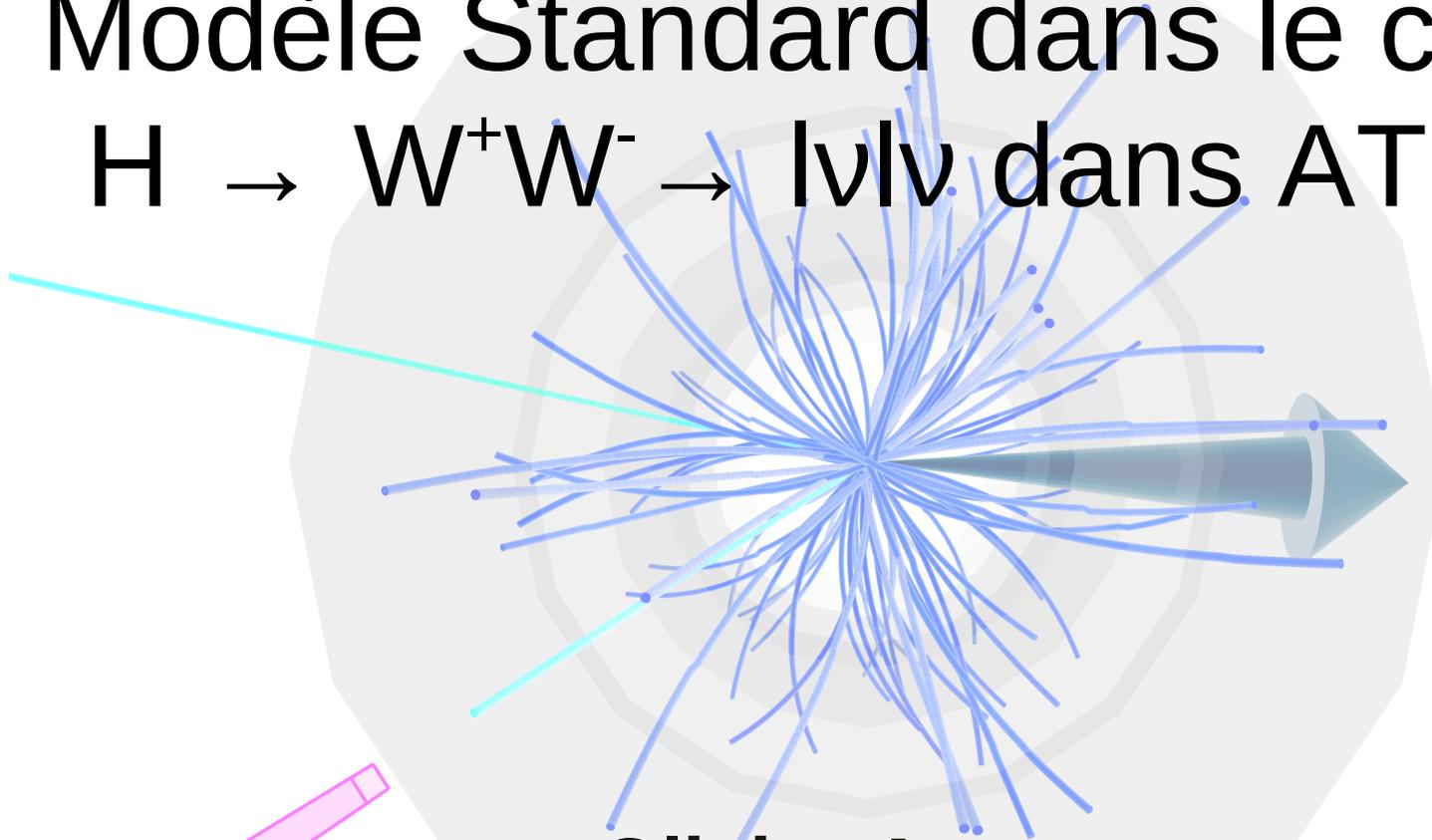


Recherche du boson de Higgs du Modèle Standard dans le canal $H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l\nu l\nu$ dans ATLAS

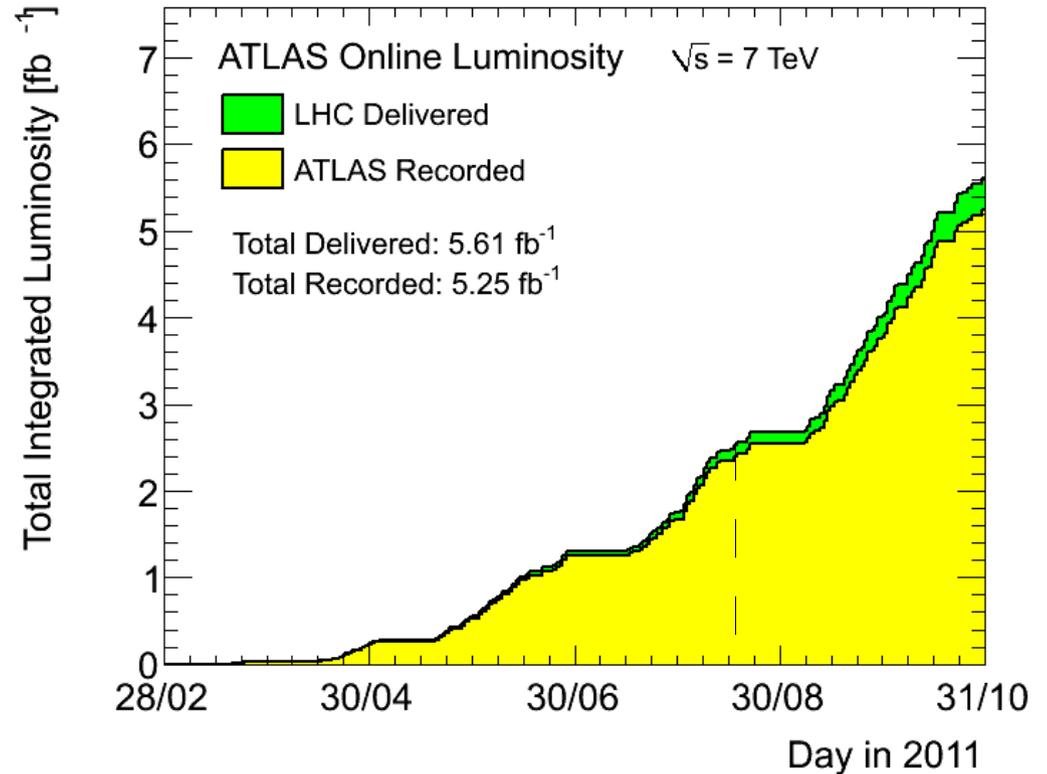
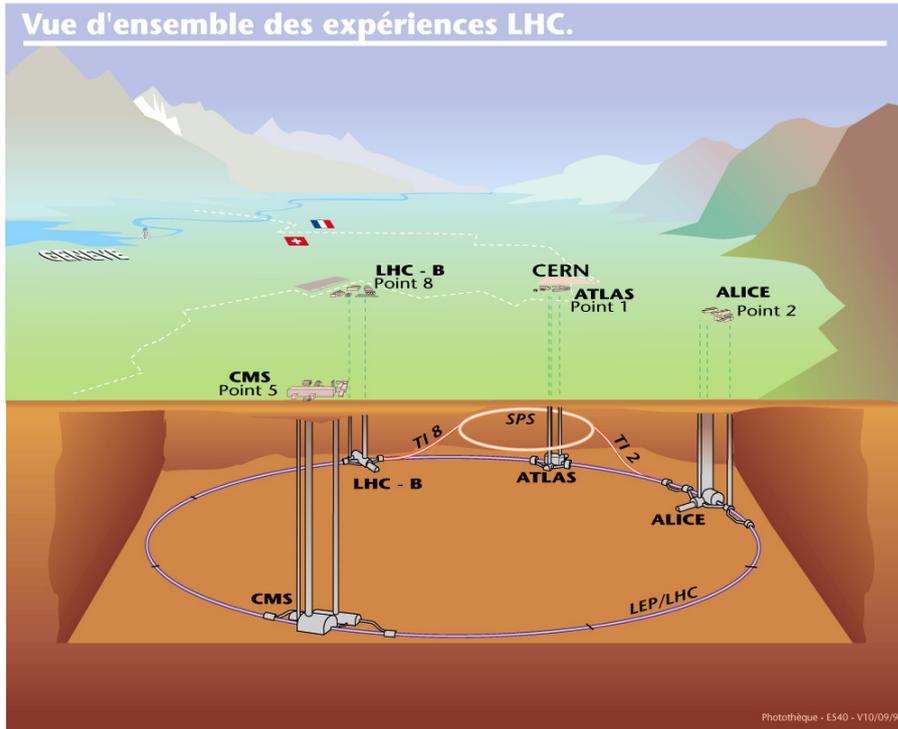


Olivier Arnaez

Johannes Gutenberg Mainz Universität

Centre de Physique des Particules de Marseille

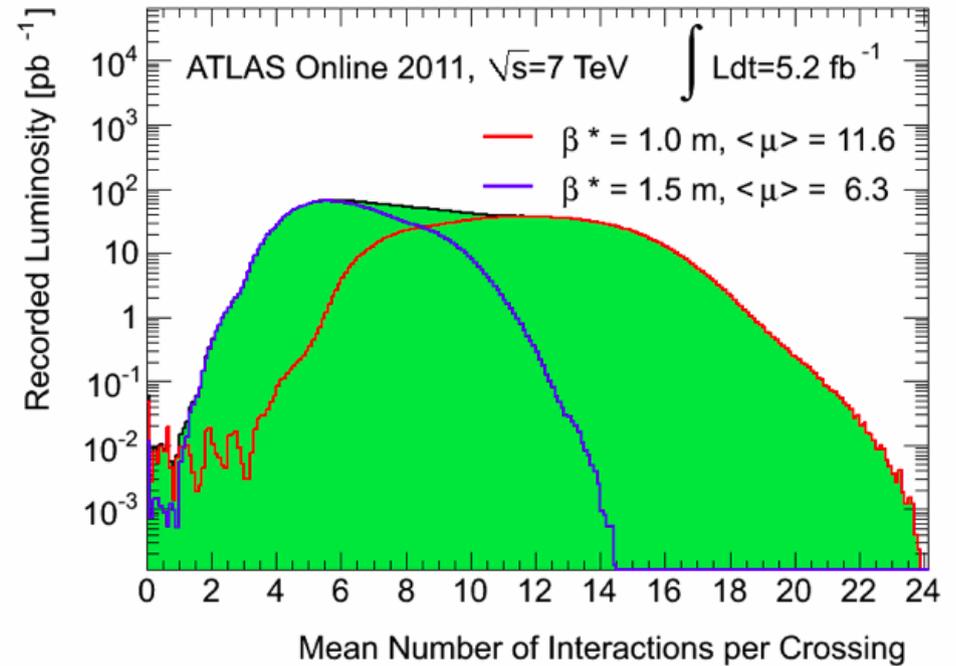
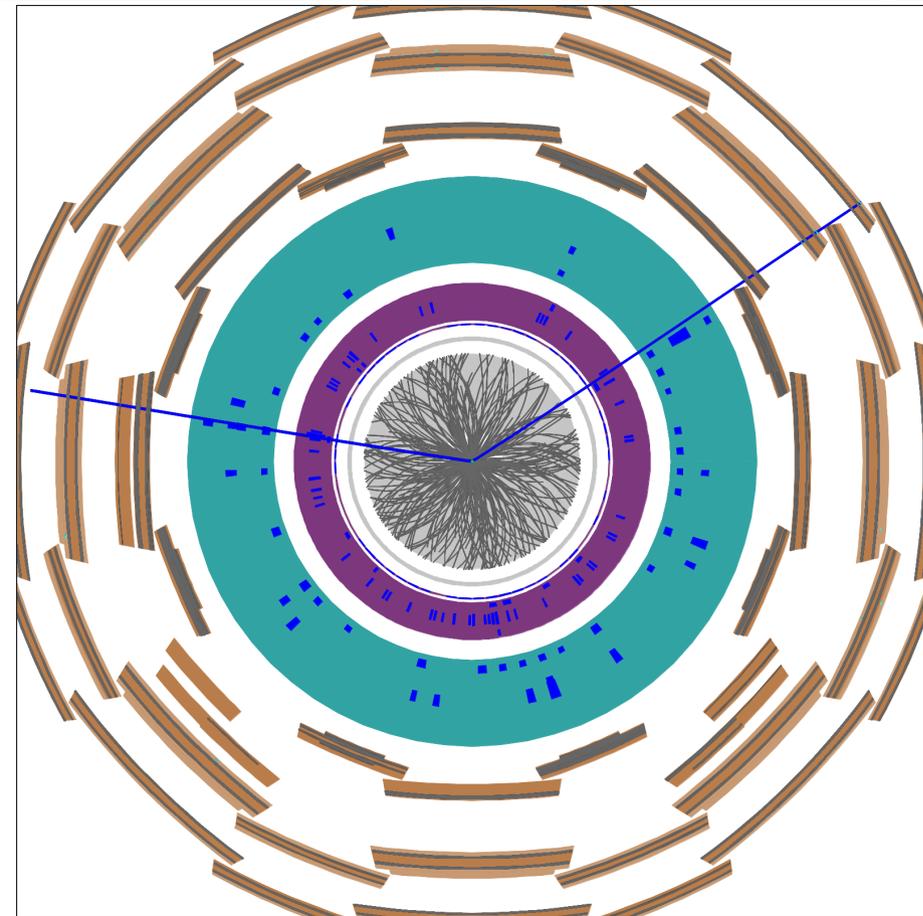
Quelle année 2011 !



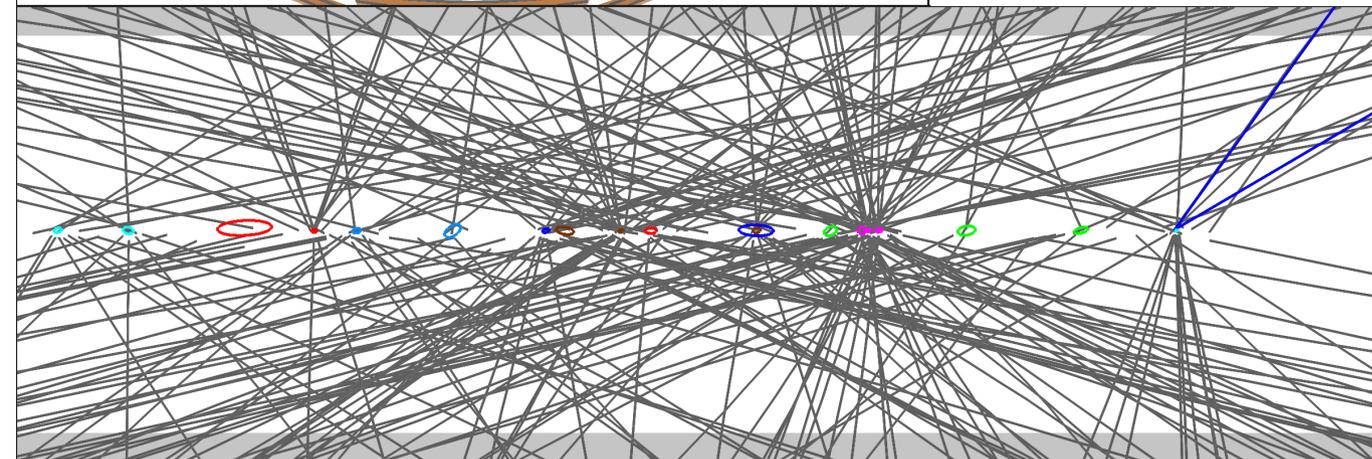
Depuis son démarrage en 2009, le LHC n'arrête pas de battre des records de luminosité, fournissant toujours plus de collisions aux expériences !

| | Nominalement | Fin 2011 | A partir d'avril 2012 |
|------------------------|--|---|--|
| E_{CM} | 14 TeV | 7 TeV | 8 TeV ? |
| Luminosité instantanée | $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ | $\sim 3 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ | $[5-6] \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ |
| Luminosité intégrée | $100 \text{ fb}^{-1}/\text{an}$ | ($\sim 500 \text{ pb}^{-1}/\text{semaine}$) | $50 \text{ fb}^{-1}/\text{an} ?$ |
| Ecart des collisions | 25 ns | 50 ns | 50 ns a priori |

Cependant...



- Le prix à payer est un fort taux « d'empilement »
- Cela pose problème en termes de :



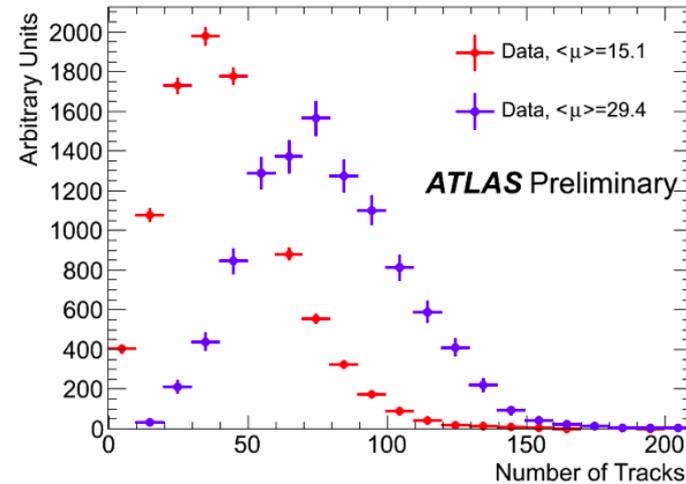
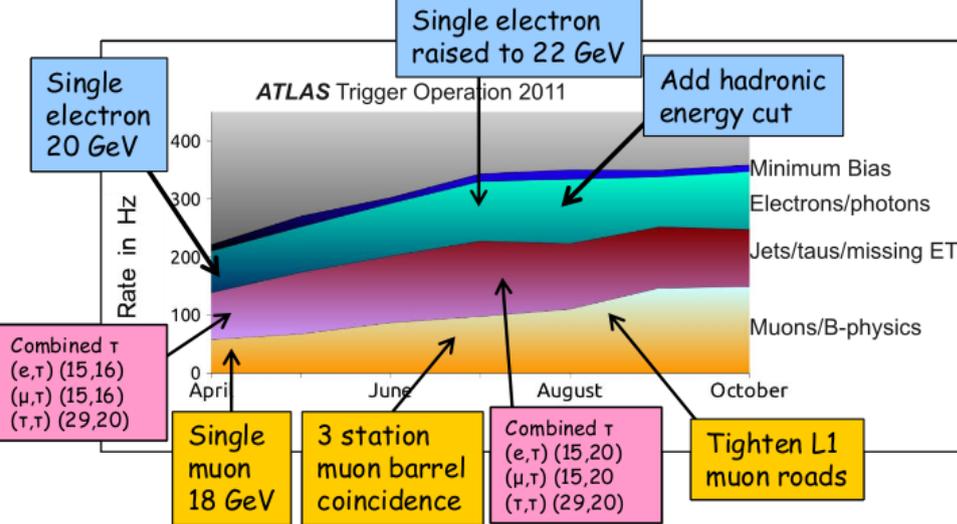
- Déclenchement
- Reconstruction et séparation des objets
- Résolutions (E_{miss})
- Ressources informatiques
- Adéquation de la simulation

Effet de l'empilement

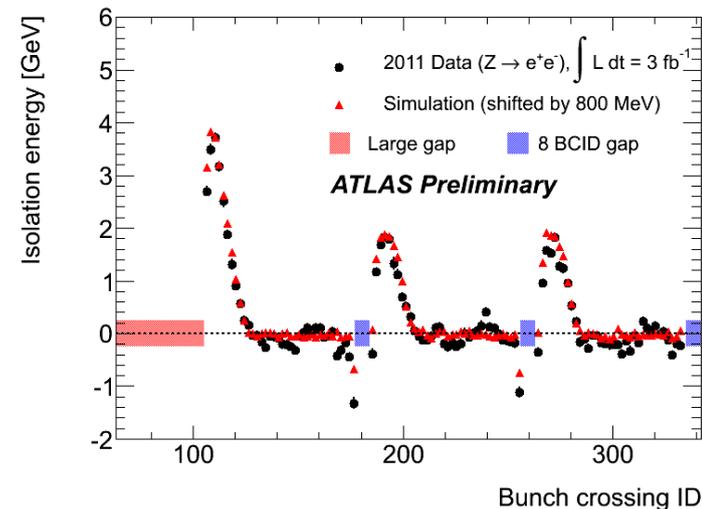
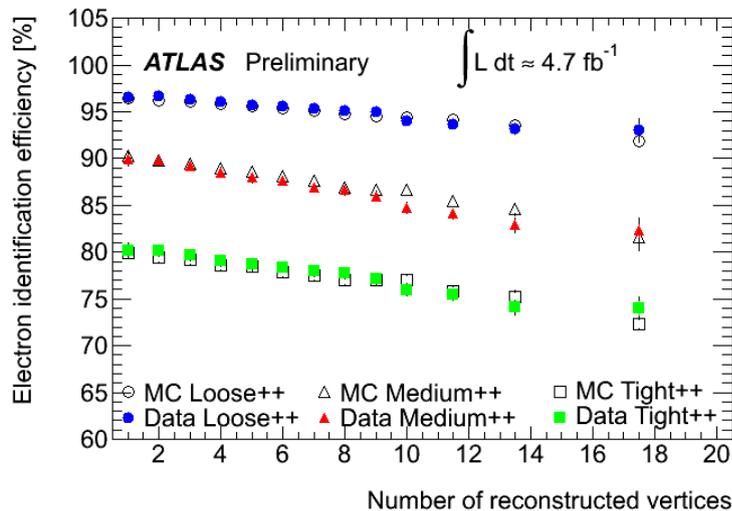
- Grande occupation du détecteur
- Stratégie d'ATLAS en matière de déclenchement : privilégier les signatures inclusives à un lepton isolé (généralistes)

→ Taux de déclenchement toujours plus haut

→ besoin d'ajuster régulièrement les seuils de déclenchement



- Dépendance des efficacités de sélection :

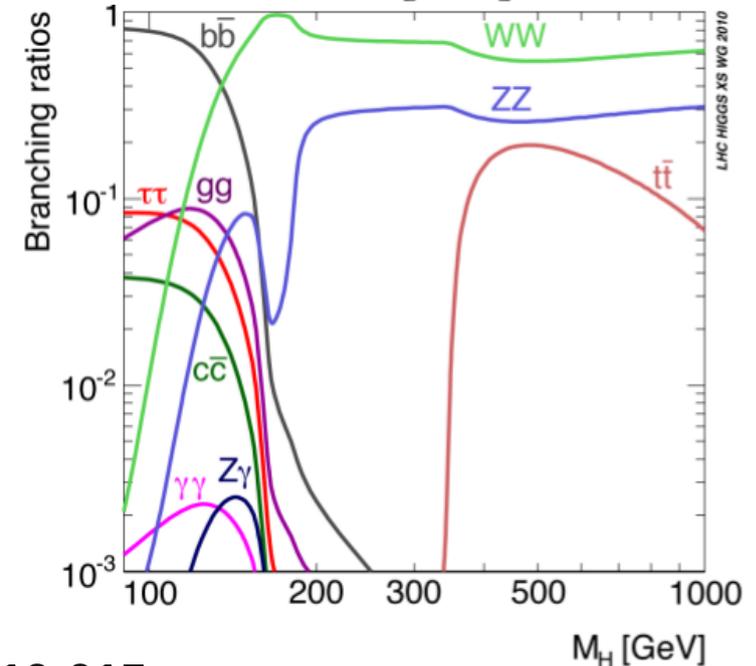
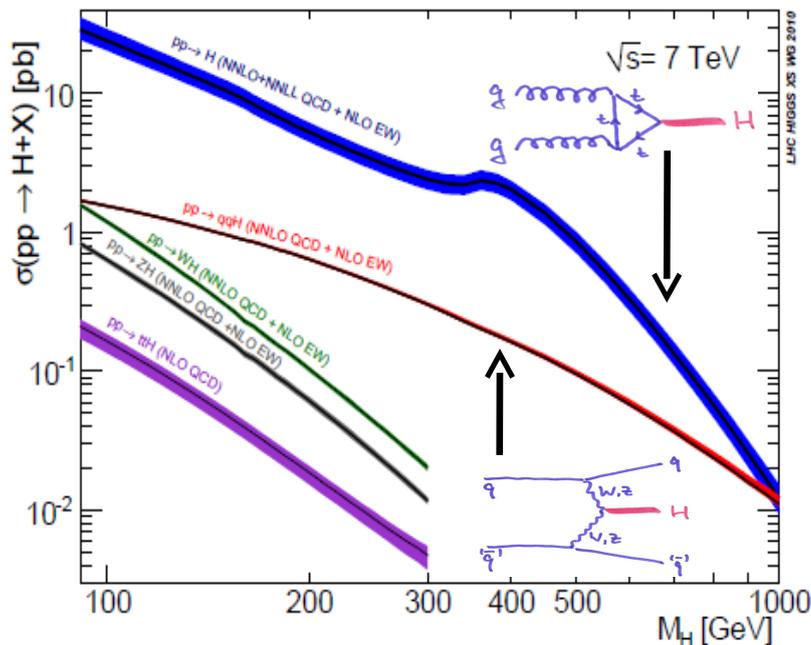
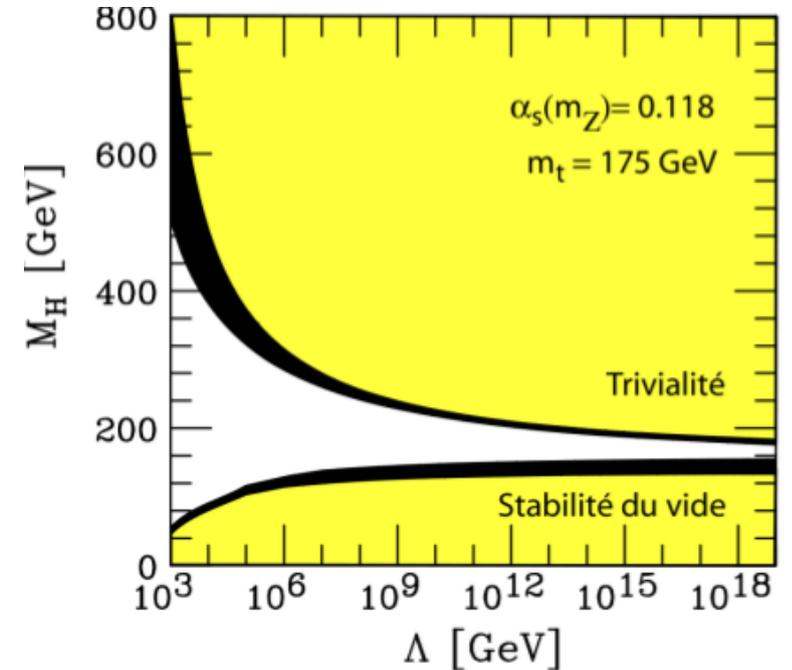


Sommaire

- Le boson de Higgs
- Le détecteur ATLAS
- Le canal $H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l\nu l\nu$
 - La sélection
 - Les régions de contrôle
 - Limites d'exclusion
- Autres analyses de recherche de Higgs Modèle Standard dans ATLAS et CMS
- Combinaisons de résultats
- Prochaines étapes

La recherche du boson de Higgs

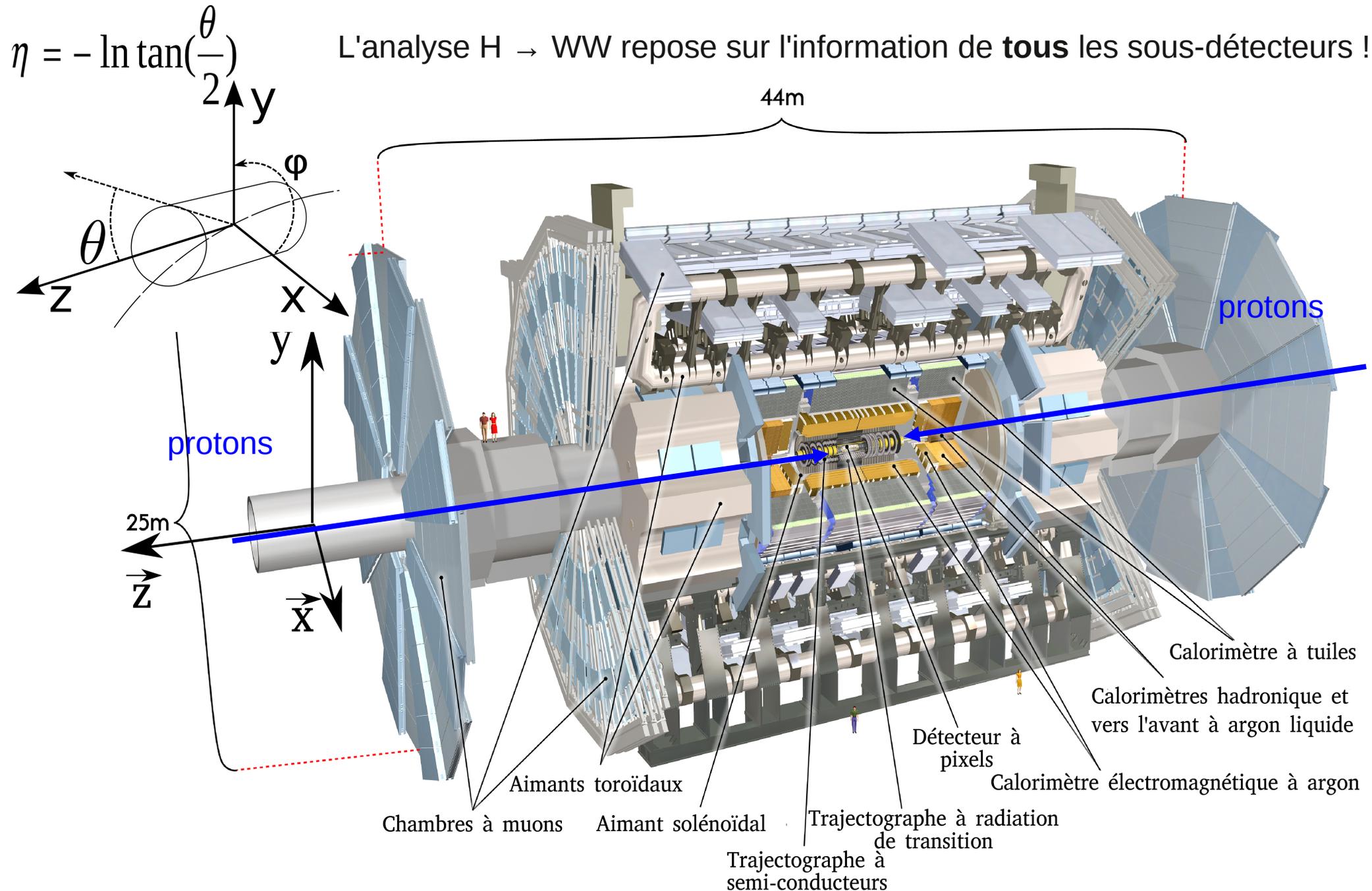
- Élément manquant du Modèle Standard afin d'expliquer les masses des particules élémentaires
- Bénéficie d'une « grande » section efficace de production au LHC grâce à la forte présence de gluons
- Canal de recherche WW le plus efficace dans la région $\sim 125\text{-}190$ GeV



ATL-PHYS-PUB-2010-015

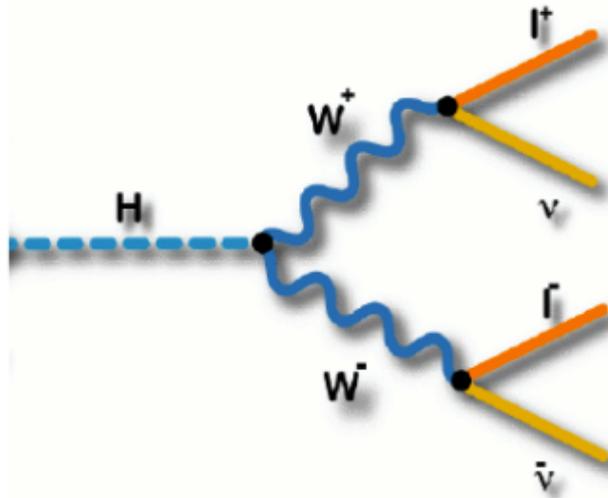
A Toroidal LHC Apparatus

L'analyse $H \rightarrow WW$ repose sur l'information de **tous** les sous-détecteurs !



Higgs se désintégrant en $WW \rightarrow l\nu l\nu$

Présentation basée sur
arXiv:1112.2577

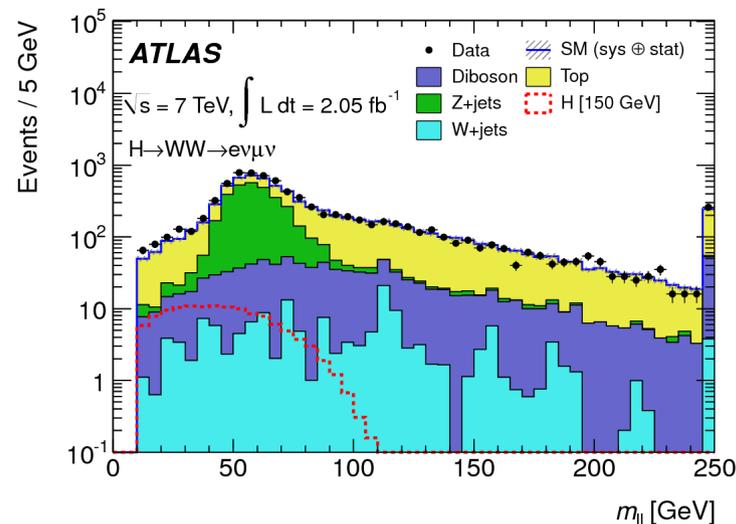
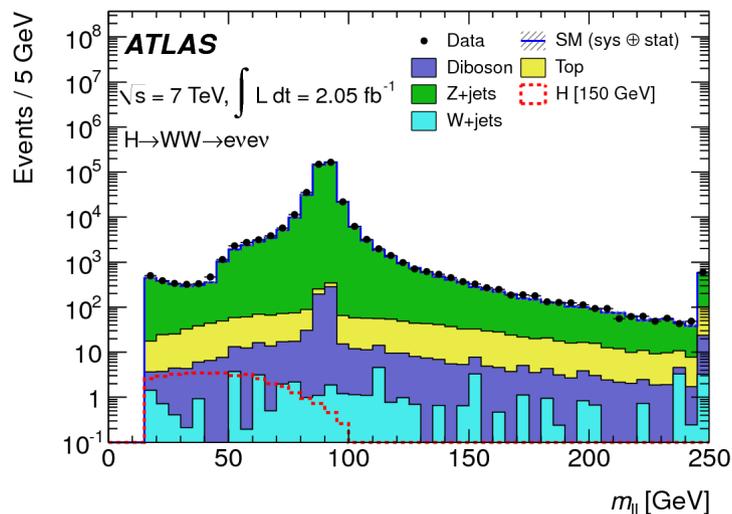


- Présence de deux leptons de hautes énergies isolés et de charges opposées
→ suppression d'une partie du fond multi-jets et W/Z +jets
- Grande énergie transverse manquante due aux neutrinos
→ distinguo avec les processus Drell-Yan Z/γ^*
- Spin 0 du Higgs → petit angle d'ouverture des leptons
→ topologie différente du continuum di-boson WW
- Canal privilégié grâce à son grand rapport d'embranchement et son état final clair
- Expérience de comptage effectuée sur le spectre de masse du Higgs entre 110 et 300 GeV avec des coupures dépendant de l'hypothèse de masse testée
- Résultats présentés ici pour une luminosité intégrée de 2.05 fb^{-1}

Sélection (1) : les leptons

- Les événements doivent contenir deux leptons (coupures strictes) isolés de charge opposées (électrons ou muons)
 - Les électrons doivent avoir $p_T > 20$ GeV ;
 - Les muons doivent avoir $p_T > 15$ GeV ;
 - Au moins un lepton par événement doit avoir $p_T > 25$ GeV et déclenché l'acquisition des données.
- L'analyse applique un Z-veto et supprime les résonances à basses masses (Y en particulier) dans les canaux e-e et μ - μ en supprimant les régions
$$|m_{\parallel} - m_Z| < 15 \text{ GeV} \quad \text{et} \quad m_{\parallel} < 15 \text{ GeV}$$

Dans le canal e- μ , on applique également $m_{\parallel} > 10$ GeV.



Sélection (2) : E_T manquante

- De façon à réduire les fonds n'ayant pas pas de neutrino dans l'état final (DY/Z, ZZ, di-jets), on requiert une grande énergie transverse manquante

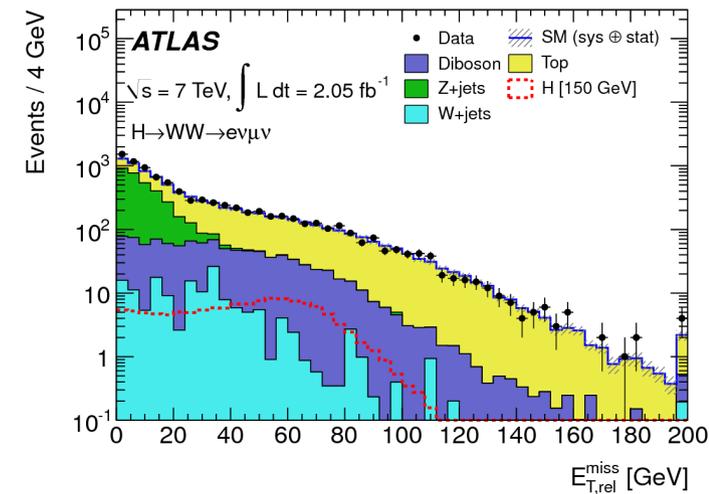
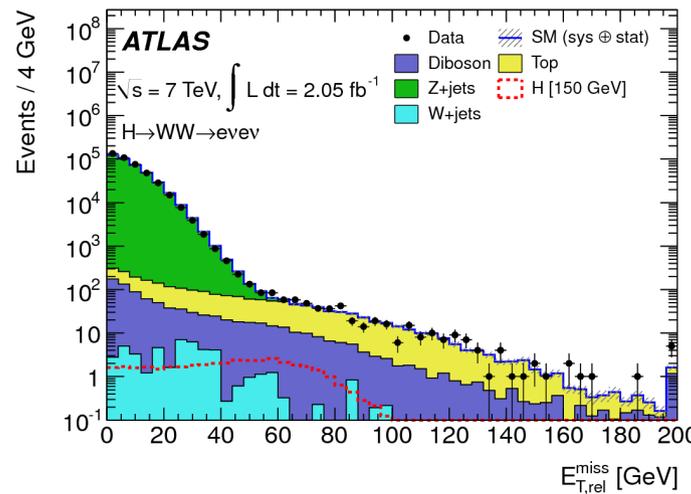
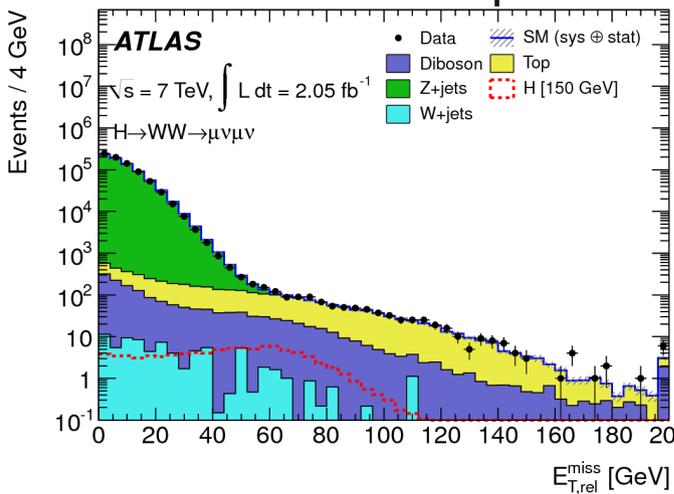
- $E_{T,miss} > 40$ GeV pour e-e et μ - μ
- $E_{T,miss} > 25$ GeV pour e- μ

- En fait, on utilise une projection ($E_{T,miss,rel}$) de l'énergie transverse manquante :

- $E_{T,miss,rel} = E_{T,miss,rel}$ si $\Delta\phi > \pi/2$
- $E_{T,miss,rel} = E_{T,miss,rel} \cdot \sin(\Delta\phi)$ si $\Delta\phi < \pi/2$

Avec
 $\Delta\phi = \min(\Delta\phi(E_{T,miss}, l), \Delta\phi(E_{T,miss}, jet))$

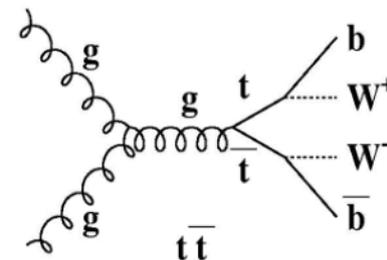
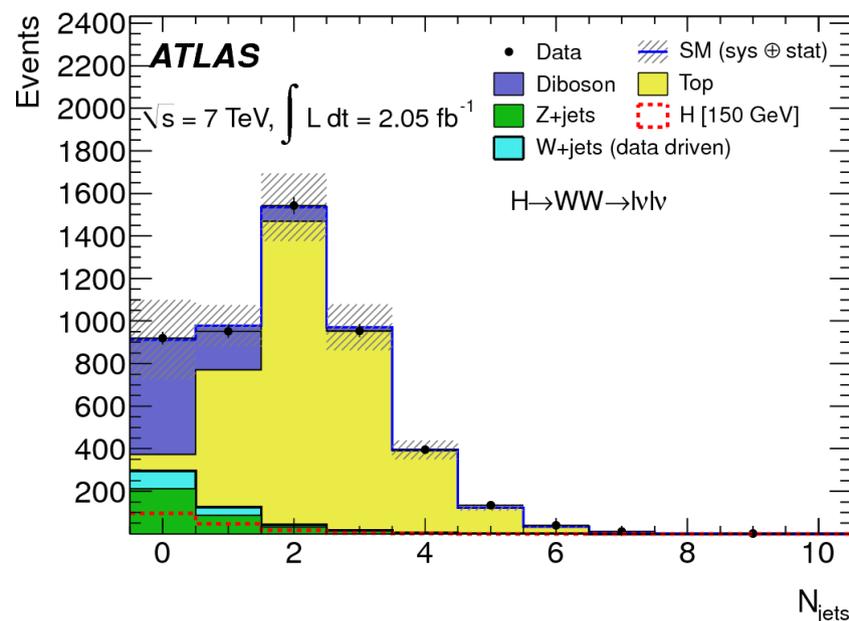
pour réduire l'impact de mauvaises mesures de l'énergie des particules sur l'énergie transverse manquante



| Chiffres pour 1.7fb^{-1} | WW | Z/ γ^* + jets | $t\bar{t}$ | $tW/tb/tqb$ | WZ/ZZ/W γ | Total Bkg. | Observed |
|-----------------------------------|----------------|----------------------|----------------|--------------|------------------|--------------------|----------|
| $m_{e\ell} > 15$ GeV, | | | | | | | |
| $m_{e\mu} > 10$ GeV | 1380 ± 100 | 970000 ± 70000 | 6200 ± 600 | 630 ± 70 | 1200 ± 100 | 970000 ± 70000 | 997813 |
| $ m_Z - m_{e\ell} > 15$ GeV | 1220 ± 80 | 91000 ± 7000 | 5500 ± 600 | 560 ± 60 | 92 ± 9 | 98000 ± 7000 | 104253 |
| $E_{T,rel}^{miss}$ | 660 ± 50 | 300 ± 200 | 2700 ± 300 | 310 ± 40 | 28 ± 4 | 4000 ± 500 | 4051 |

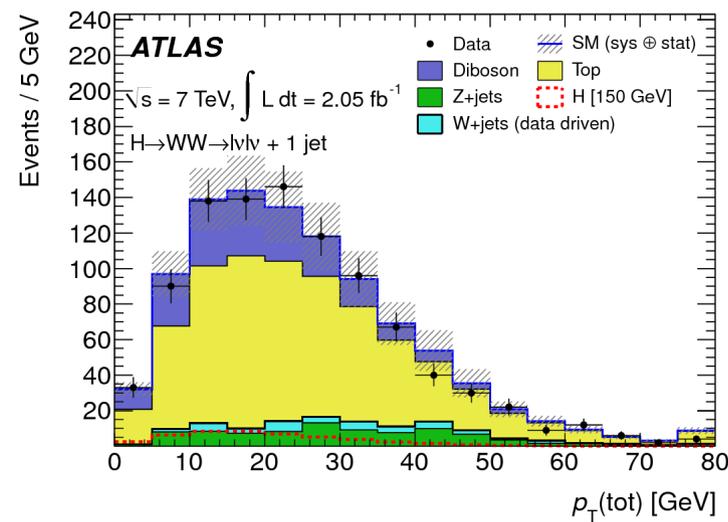
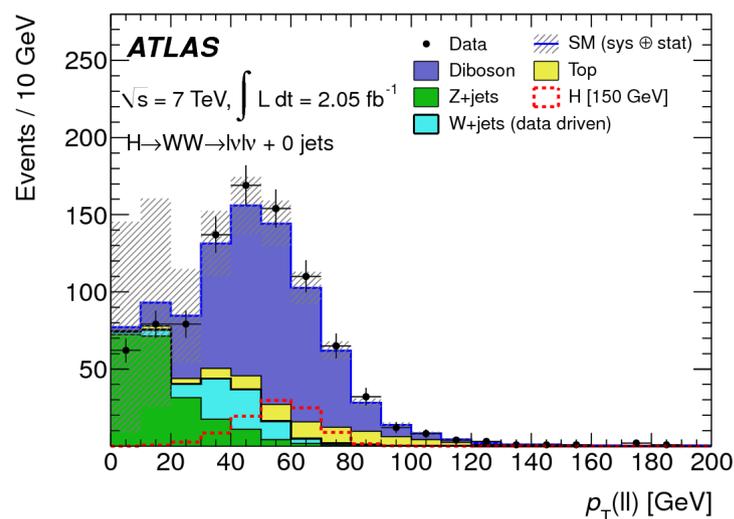
Sélection (3) : Séparation en nombre de jets

- La composition du fond et les modes de production du Higgs (ggF, VBF, VH) étant différents, il est plus efficace de procéder à une optimisation des coupures de sélection en fonction du nombre de jets
- À cause de l'empilement, nous utilisons seulement les jets avec $E_T > 25 \text{ GeV}$ et $|\eta| < 4.5$
- Ici, seules les analyses avec 0 et 1-jet sont présentées
 - Plus grande sensibilité dans le canal 0-jet (fond principal de WW)
 - Canal à 1 jet également sensible mais fond important de top



Sélection (4) : Coupures *analyse-dépendent*

- Dans l'analyse 0-jet, un fond principal est le DY/Z qui peut être rejeté par une coupure en impulsion transverse $p_T(\ell) > 30$ GeV
- Dans l'analyse 1-jet, le fond dominant après la présélection est le fond de top :
 - on rejette les événements pour lesquels le jet est *b-tagged* (significances des paramètres d'impact des traces et coupures topologiques sur les vertex secondaires à base de réseau neuronal)
 - on requiert aussi que $|p_{T\text{tot}}| < 30$ GeV avec $p_{T\text{tot}}$ la somme vectorielle des impulsions des leptons, du jet et du vecteur d'énergie transverse manquante
 - enfin, on coupe la région correspondant au pic $Z \rightarrow \tau\tau$: $|M_{\tau\tau} - M_Z| < 25$ GeV en utilisant pour $M_{\tau\tau}$ l'approximation colinéaire



Sélection (5) : Coupures topologiques

- La présence du fond de continuum QCD WW et du top peut être contrôlée en appliquant des coupures sur :

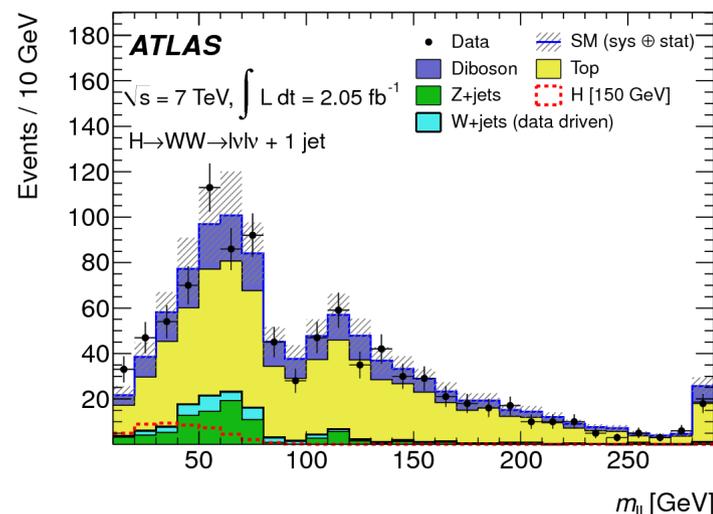
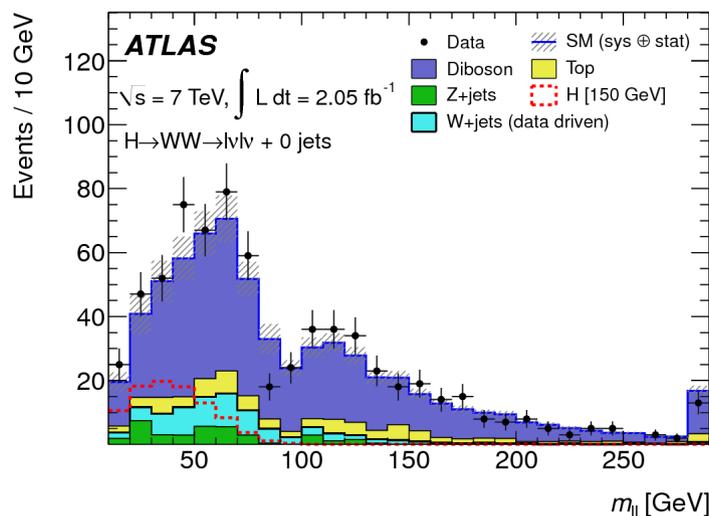
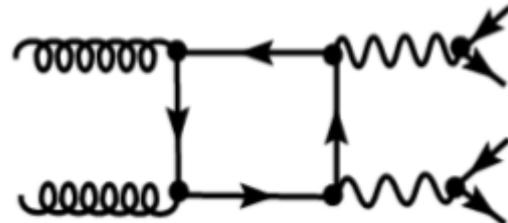
- la masse invariante m_{ll}

- $m_H < 170$ GeV, $m_{ll} < 50$ GeV
- $170 < m_H < 220$ GeV, $m_{ll} < 65$ GeV
- 220 GeV $< m_H$, $50 < m_{ll} < 180$ GeV

- l'angle azimuthal entre les leptons (exploitant la corrélation de spin dans les désintégrations du boson de Higgs)

- $m_H < 170$ GeV, $\Delta\phi_{ll} < 1.3$
- $170 < m_H < 220$ GeV, $\Delta\phi_{ll} < 1.8$

- la masse transverse : $0.75m_H < m_T < m_H$ avec $m_T^2 = m_v^2 + 2(e_v |\mathbf{p}_{T,i}| - \mathbf{p}_{T,v} \cdot \mathbf{p}_{T,i})$ et $e_v^2 = \mathbf{p}_{T,v} \cdot \mathbf{p}_{T,v} + m_v^2$
(v=visible, i=invisible)



Sélection (5) : Coupures topologiques

- La présence du fond de continuum QCD WW et du top peut être contrôlée en appliquant des coupures sur :

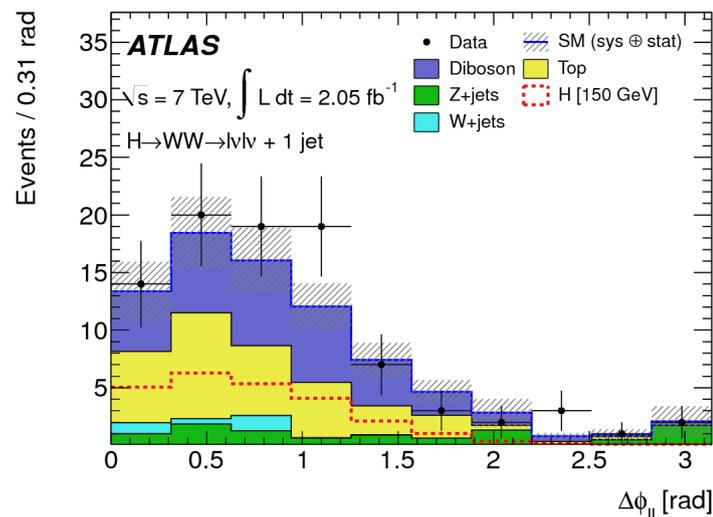
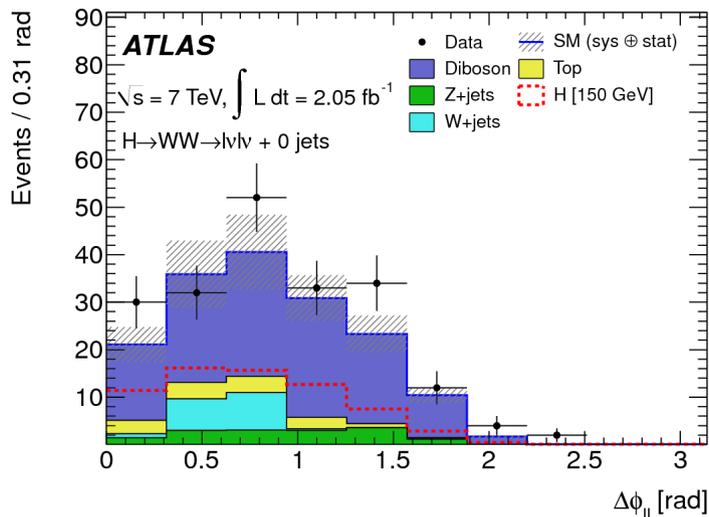
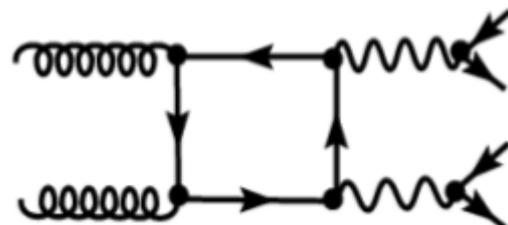
- la masse invariante m_{\parallel}

- $m_H < 170$ GeV, $m_{\parallel} < 50$ GeV
- $170 < m_H < 220$ GeV, $m_{\parallel} < 65$ GeV
- 220 GeV $< m_H$, $50 < m_{\parallel} < 180$ GeV

- l'angle azimuthal entre les leptons (exploitant la corrélation de spin dans les désintégrations du boson de Higgs)

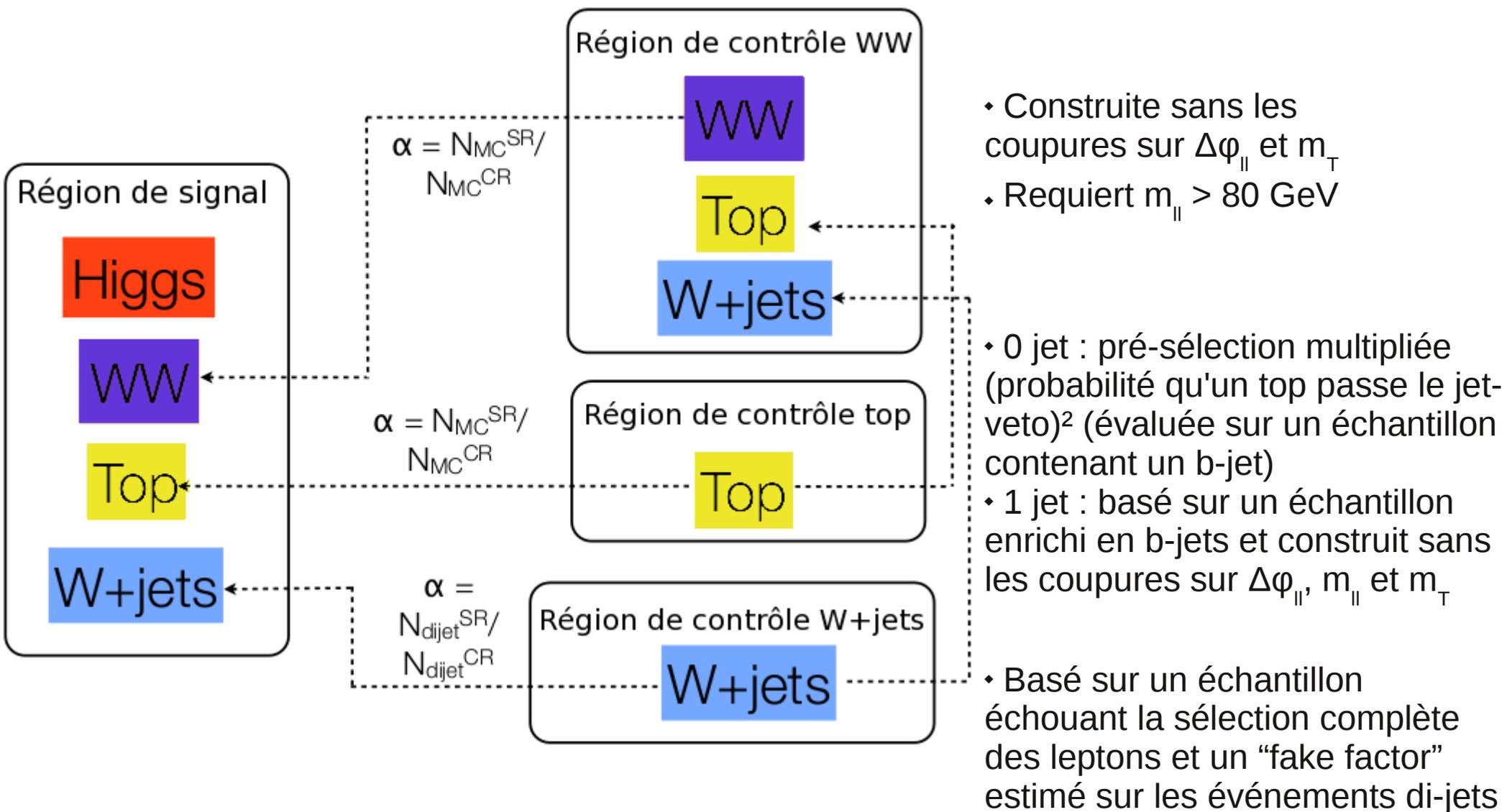
- $m_H < 170$ GeV, $\Delta\phi_{\parallel} < 1.3$
- $170 < m_H < 220$ GeV, $\Delta\phi_{\parallel} < 1.8$

- la masse transverse : $0.75m_H < m_T < m_H$ avec $m_T^2 = m_v^2 + 2(e_v |\mathbf{p}_{T,i}| - \mathbf{p}_{T,v} \cdot \mathbf{p}_{T,i})$ et $e_v^2 = \mathbf{p}_{T,v} \cdot \mathbf{p}_{T,v} + m_v^2$
(v=visible, i=invisible)



Régions de contrôle (1)

- Les fonds dominants sont contrôlés sur les données :

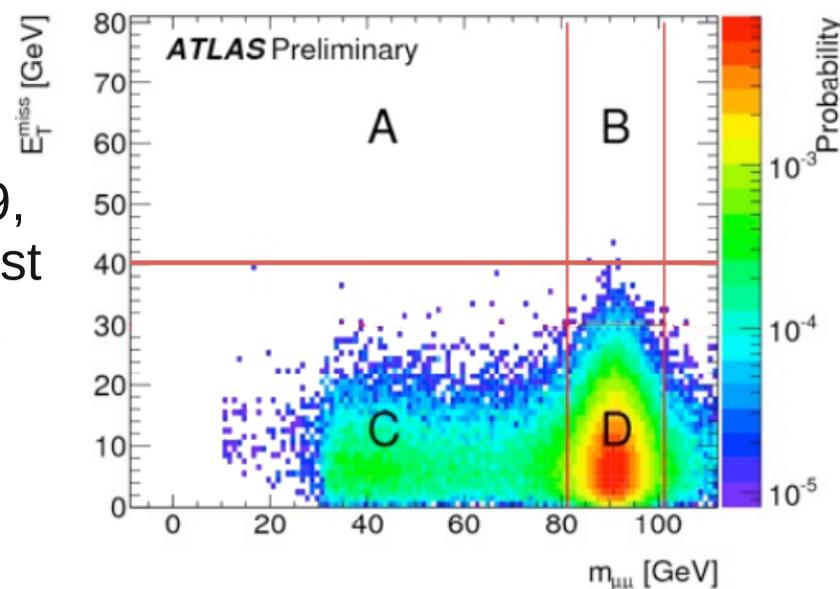


Régions de contrôle (2)

- En outre, le fond Drell-Yan prédit par le Monte Carlo est corrigé des imperfections dans le modélage des queues d'énergie transverse manquante (région supérieure à 40 GeV) à partir de la région du pic du Z.

$$A_{MC}^{corr} = A_{MC} \frac{B_{data}}{D_{data}} \frac{D_{MC}}{B_{MC}}$$

Les facteurs de corrections sont entre 0.8 et 0.9, indiquant que le fond dans la région du signal est inférieur à celui prédit par le MC d'environ 15%.



- Les estimations dans les autres régions de contrôle sont en bon accord avec les prédictions du Monte Carlo :

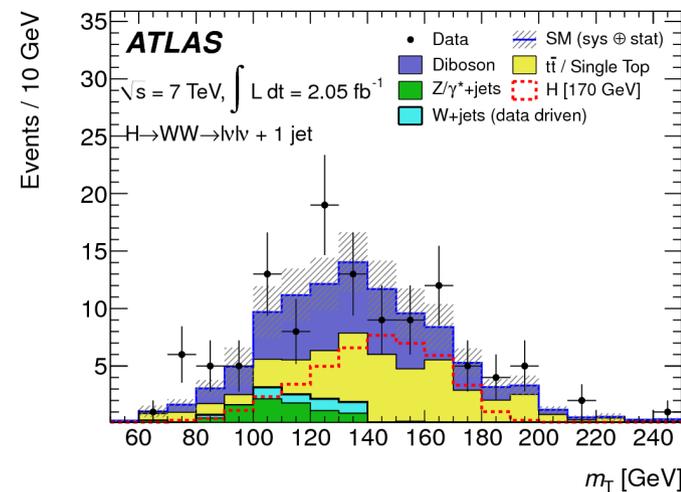
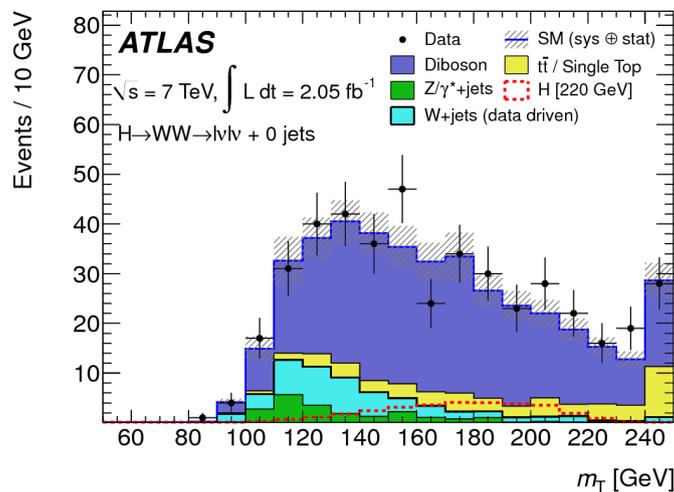
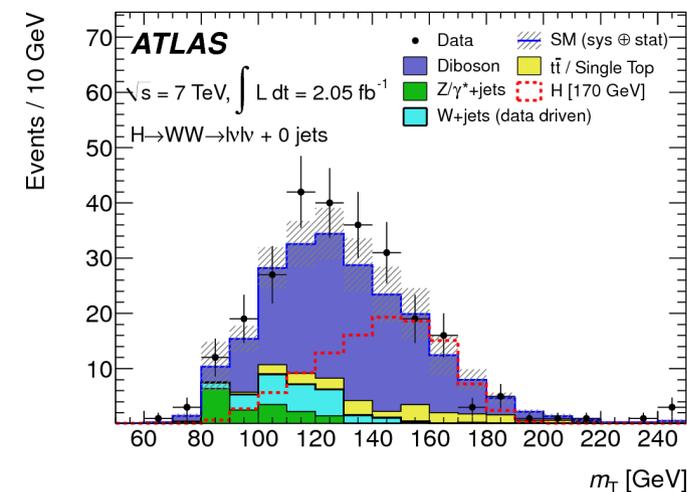
| Control Regions | Signal | WW | W + jets | Z/ γ^* + jets | $t\bar{t}$ | $tW/tb/tqb$ | WZ/ZZ/W γ | Total Bkg. | Observed |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|--------------|-------------|------------------|--------------|----------|
| WW 0-jet ($m_H < 220$ GeV) | 1.7 ± 0.4 | 223 ± 30 | 20 ± 15 | 6 ± 8 | 25 ± 10 | 15 ± 4 | 8 ± 3 | 296 ± 36 | 296 |
| WW 0-jet ($m_H \geq 220$ GeV) | 10 ± 2 | 173 ± 23 | 24 ± 12 | 13 ± 19 | 15 ± 6 | 8 ± 3 | 3.3 ± 0.6 | 236 ± 33 | 258 |
| WW 1-jet ($m_H < 220$ GeV) | 1.0 ± 0.3 | 76 ± 13 | 5 ± 3 | 5 ± 5 | 56 ± 14 | 23 ± 5 | 5.3 ± 1.4 | 171 ± 21 | 184 |
| WW 1-jet ($m_H \geq 220$ GeV) | 5.8 ± 1.5 | 51 ± 9 | 3.9 ± 1.8 | 10 ± 10 | 35 ± 9 | 18 ± 4 | 2.8 ± 0.6 | 120 ± 17 | 129 |
| $t\bar{t}$ 1-jet | 0.9 ± 0.3 | 3.9 ± 1.0 | - | 1 ± 17 | 184 ± 64 | 80 ± 19 | 0.2 ± 0.9 | 270 ± 69 | 249 |

Résultats

- Nombre d'événements après chaque coupure dans les données la simulation :

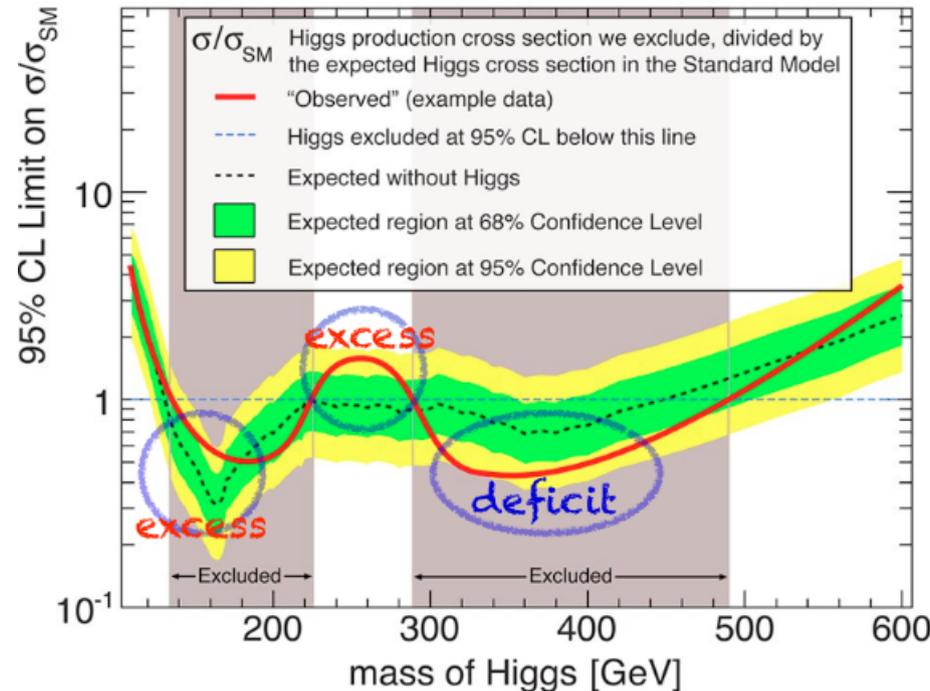
| $H + 0\text{-jet Channel}$ | Signal | WW | W + jets | $Z/\gamma^* + \text{jets}$ | $t\bar{t}$ | $tW/tb/tqb$ | WZ/ZZ/W γ | Total Bkg. | Observed |
|--|-------------|--------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|----------|
| Jet Veto | 99 ± 21 | 524 ± 52 | 84 ± 41 | 174 ± 169 | 42 ± 14 | 32 ± 8 | 15 ± 4 | 872 ± 182 | 920 |
| $p_T^{\ell\ell} > 30 \text{ GeV}$ | 95 ± 20 | 467 ± 45 | 69 ± 34 | 30 ± 12 | 39 ± 14 | 29 ± 8 | 13 ± 4 | 648 ± 60 | 700 |
| $m_{\ell\ell} < 50 \text{ GeV}$ | 68 ± 15 | 118 ± 15 | 21 ± 8 | 13 ± 8 | 7 ± 4 | 5.8 ± 1.8 | 1.9 ± 0.6 | 166 ± 19 | 199 |
| $\Delta\phi_{\ell\ell} < 1.3$ | 58 ± 13 | 91 ± 12 | 12 ± 5 | 9 ± 6 | 6 ± 3 | 5.8 ± 1.8 | 1.7 ± 0.6 | 125 ± 15 | 149 |
| $0.75 m_H < m_T < m_H$ | 40 ± 9 | 52 ± 7 | 5 ± 2 | 2 ± 4 | 2.4 ± 1.6 | 1.5 ± 1.0 | 1.1 ± 0.5 | 63 ± 9 | 81 |
| $H + 1\text{-jet Channel}$ | Signal | WW | W + jets | $Z/\gamma^* + \text{jets}$ | $t\bar{t}$ | $tW/tb/tqb$ | WZ/ZZ/W γ | Total Bkg. | Observed |
| 1 jet | 50 ± 9 | 193 ± 20 | 38 ± 21 | 74 ± 65 | 473 ± 124 | 174 ± 26 | 14 ± 2 | 967 ± 145 | 952 |
| b-jet veto | 48 ± 9 | 188 ± 19 | 35 ± 19 | 73 ± 61 | 174 ± 49 | 66 ± 11 | 14 ± 2 | 549 ± 83 | 564 |
| $ \mathbf{p}_T^{\text{tot}} < 30 \text{ GeV}$ | 39 ± 7 | 154 ± 16 | 18 ± 9 | 38 ± 32 | 106 ± 30 | 50 ± 9 | 9.7 ± 1.5 | 376 ± 48 | 405 |
| Z $\rightarrow \tau\tau$ veto | 39 ± 7 | 150 ± 17 | 18 ± 8 | 34 ± 23 | 102 ± 23 | 48 ± 8 | 9 ± 2 | 361 ± 38 | 388 |
| $m_{\ell\ell} < 50 \text{ GeV}$ | 26 ± 6 | 33 ± 5 | 3.3 ± 1.4 | 8 ± 7 | 20 ± 7 | 11 ± 3 | 1.8 ± 0.5 | 77 ± 12 | 90 |
| $\Delta\phi_{\ell\ell} < 1.3$ | 23 ± 5 | 25 ± 4 | 2.1 ± 1.0 | 4 ± 6 | 17 ± 6 | 9 ± 3 | 1.5 ± 0.4 | 60 ± 10 | 72 |
| $0.75 m_H < m_T < m_H$ | 14 ± 3 | 12 ± 3 | 0.9 ± 0.4 | 1.3 ± 1.9 | 8 ± 2 | 4.0 ± 1.6 | 0.7 ± 0.3 | 28 ± 4 | 29 |

- Distributions utilisées pour l'expérience de comptage :



Limites d'exclusion (1)

- Une fonction de vraisemblance permet de calculer la signification du signal ainsi que les limites sur la production du boson de Higgs et de produire des figures synthétiques telles



- Cette fonction est basée sur le produit des probabilités Poissonniennes du nombre d'événements dans la région de signal et les régions de contrôle (WW 0 et 1-jet et top 1-jet) et ce, pour chaque canal de désintégration (e-e, μ - μ , e- μ) et nombre de jets dans l'état final (0 ou 1 jet)
- Les normalisations des sections efficaces de production du fond WW et du top peuvent varier indépendamment dans les régions de contrôle ; les autres composantes sont normalisées en utilisant des paramètres de nuisance de forme gaussienne qui incluent les incertitudes systématiques.

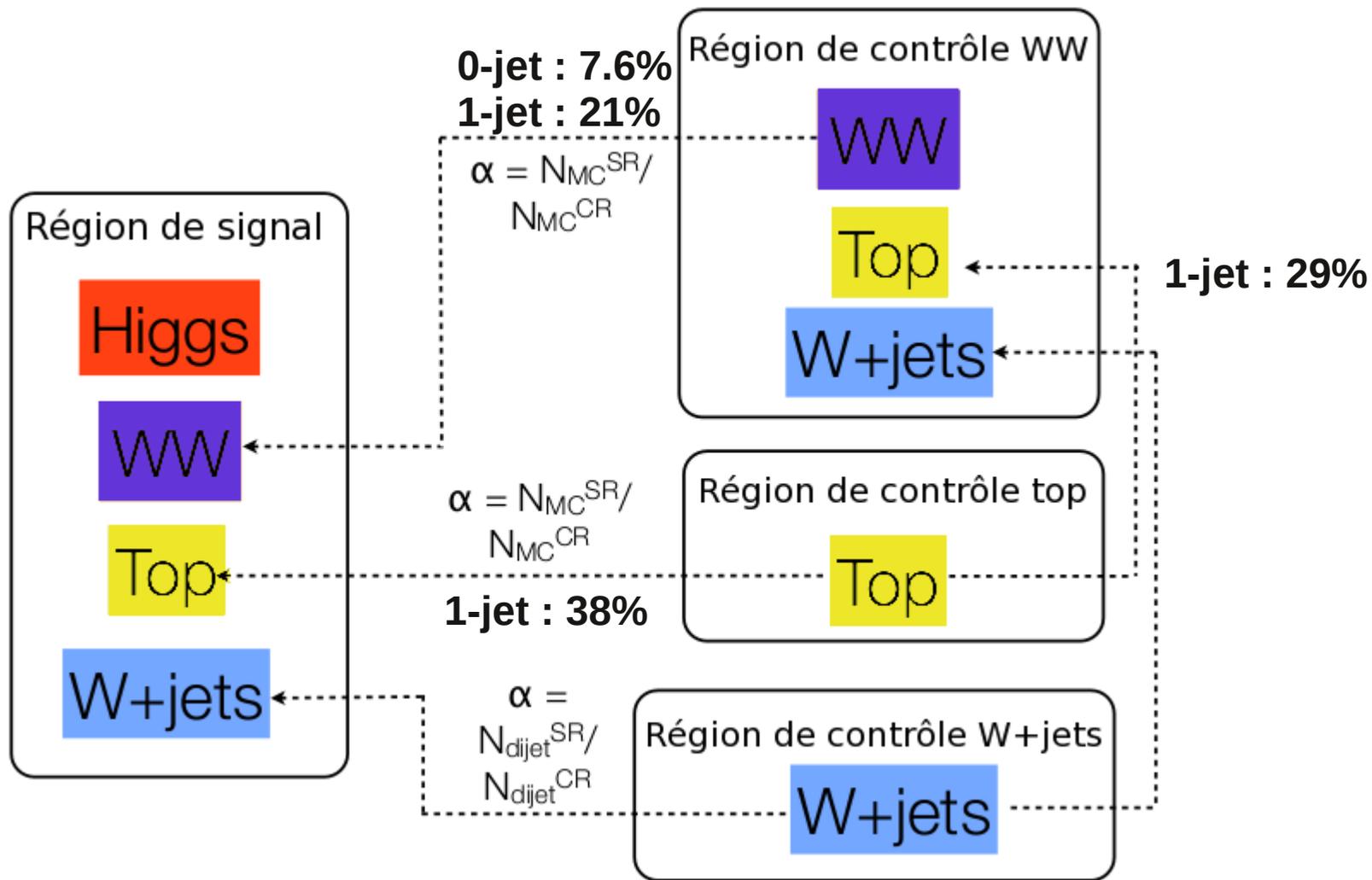
Systematiques (1)

- On considère $-8/+12\%$ et $\pm 8\%$ dus à l'échelle QCD et 1% et 4% dus aux PDF comme incertitudes théoriques sur les sections efficaces de production dans les modes $gg \rightarrow H$ et respectivement $qq \rightarrow qqH$. De plus 10% et 20% d'incertitudes sont ajoutées sur les sections efficaces exclusives dans les bins 0-jet et 1-jet.
- En outre les sources de systématiques suivantes sont variées afin d'observer l'effet sur les nombres d'événements attendus :

| Source of Uncertainty | Treatment in the analysis |
|-------------------------------|---|
| Jet Energy Resolution (JER) | $\sim 14\%$, see Ref. [69] |
| Jet Energy Scale (JES) | Takes into account close-by jets effect, jet flavor composition uncertainty and event pile-up uncertainty in addition to global JES uncertainty Global JES $< 10\%$ for $p_T > 15$ GeV and $ \eta < 4.5$, see Ref. [70] Pile-up uncertainty $2-5\%$ for $ \eta < 2.1$ and $3-7\%$ for $2.1 < \eta < 4.5$ These are summed in quadrature before application. |
| Electron Selection Efficiency | Separate systematics for electron identification, reconstruction and isolation, added in quadrature Total uncertainty of $2-5\%$ depending on η and E_T |
| Electron Energy Scale | Uncertainty smaller than 1% , depending on η and E_T |
| Electron Energy Resolution | Energy varied within its uncertainty, 0.6% of the energy at most |
| Muon Selection Efficiency | $0.3-1\%$ as a function of η and p_T |
| Muon Momentum Scale | η dependent scale offset in p_T , up to $\sim 0.13\%$ |
| Muon Momentum Resolution | p_T and η dependent resolution smearing functions, $\leq 5\%$ |
| b-tagging Efficiency | p_T dependent scale factor uncertainties, $5.6-15\%$, see Ref. [68] |
| b-tagging Mis-tag Rate | up to 21% as a function of p_T , see Ref. [68] |
| Missing Transverse Energy | 13.2% uncertainty on topological cluster energy Electron and muon p_T changes from smearing propagated to MET Effect of out-of-time pileup: MET smeared by 5 GeV in $1/3$ of MC events |
| Luminosity | 3.7% [25] |

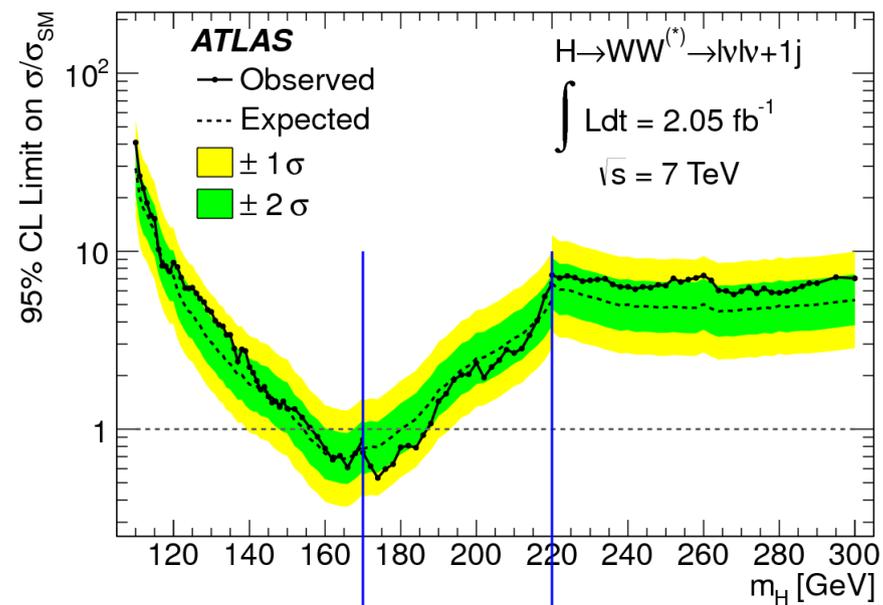
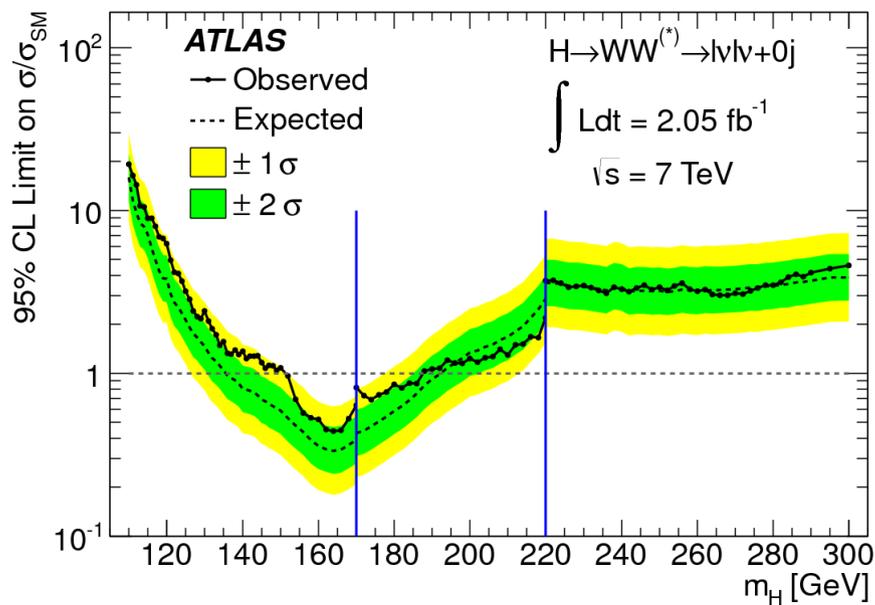
Systemématiques (2)

- Effet sur les facteurs d'extrapolation :

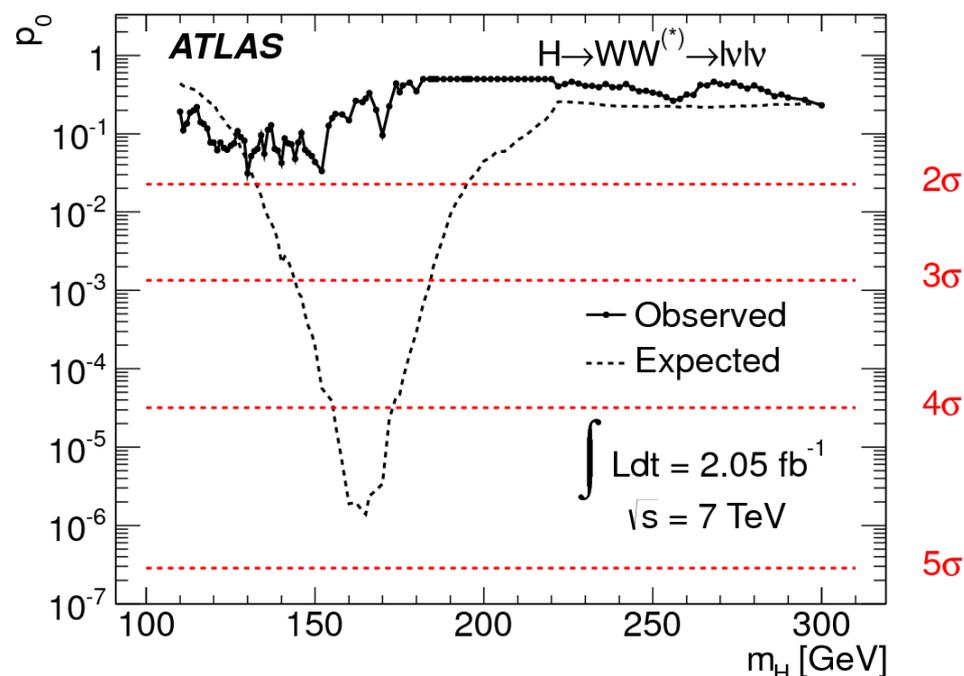
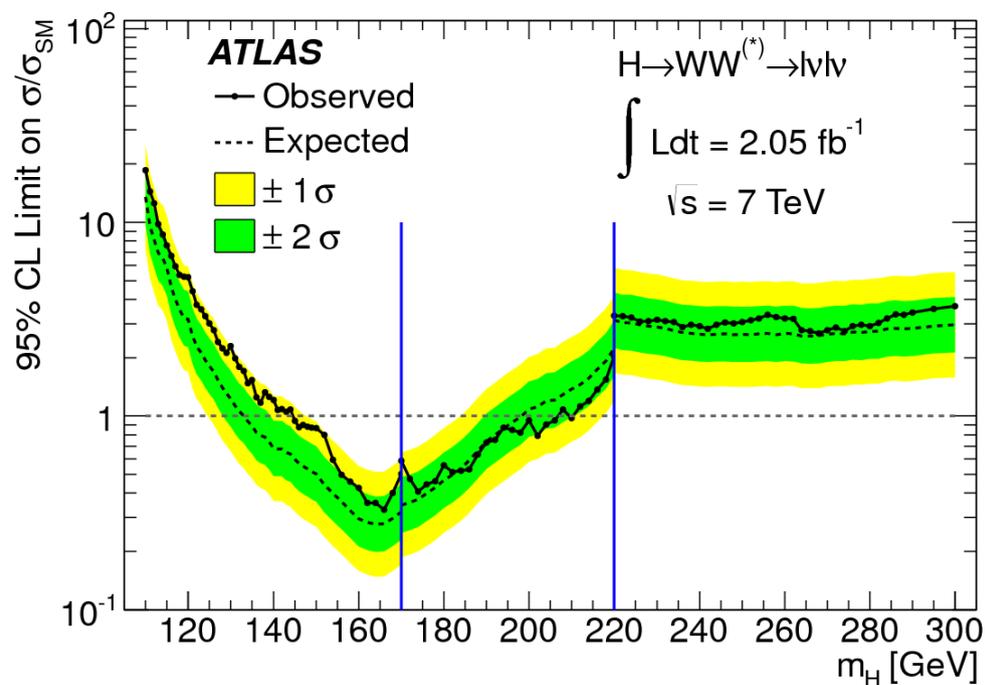


Limites d'exclusion (2)

- Limites d'exclusion dans les canaux 0 et 1-jet :



Résultat



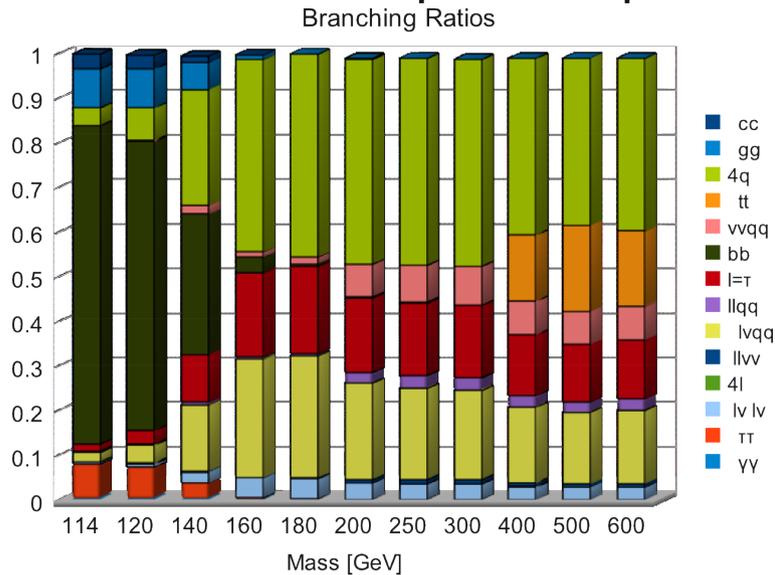
- Limites d'exclusion à gauche et probabilité de l'hypothèse "fond seul" à droite dans l'analyse $H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l\nu l\nu$ avec $L=2.05 \text{ fb}^{-1}$
- Aucun excès significatif est observé, la déviation la plus grande par rapport au fond attendu étant de 1.9σ .
- En l'absence de signal on s'attend à pouvoir exclure l'intervalle de masse du Higgs $[134, 200] \text{ GeV}$ à 95% de degré de confiance. L'intervalle effectivement exclu est $[145, 206] \text{ GeV}$
- Cette mesure à elle seule permet donc d'exclure à 95% de degré de confiance une large part de l'intervalle qui était encore autorisé en-dessous de 300 GeV

Quid des autres analyses de recherche du boson de Higgs du Modèle Standard au LHC ?

Basé sur les résultats présentés lors du CERN seminar du 13/12/2011
<https://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=164890>

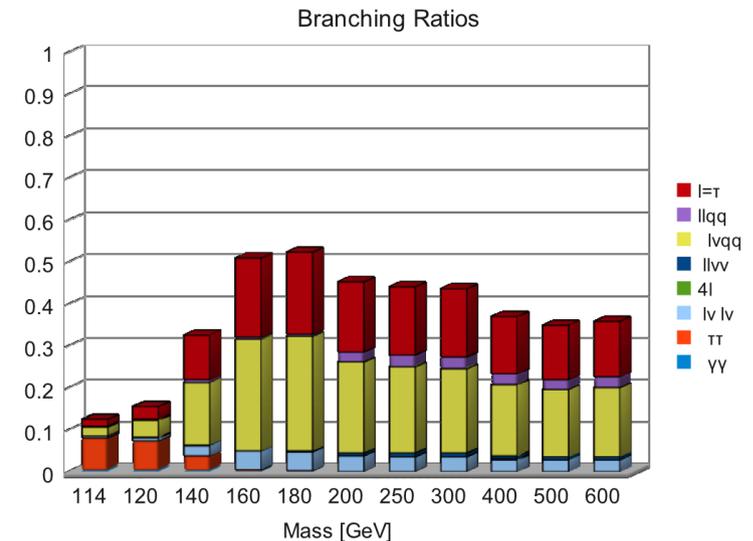
Les différentes analyses

- Même si $H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l\nu l\nu$ est un canal privilégié dans la région [125, 190] GeV, il ne peut couvrir l'ensemble du spectre en masse non-exclu à ce jour
- D'autres canaux et méthodes de recherche (recherche de pic par exemple) viennent compléter le panel à notre disposition au LHC

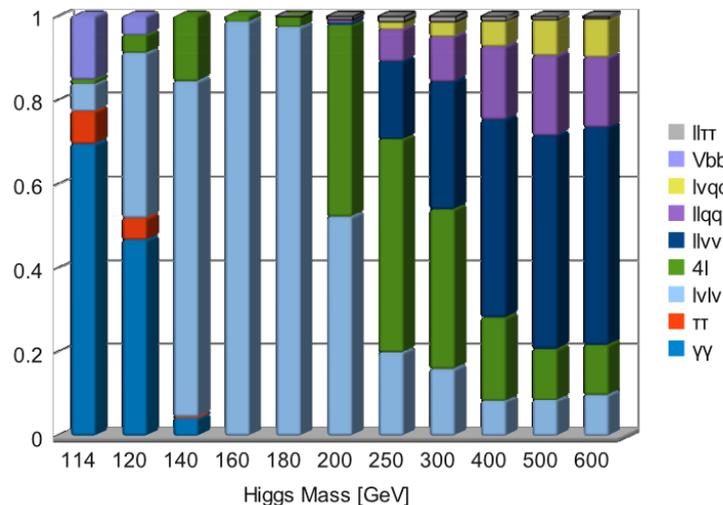


Production attendue

Coupures de sélection
 (déclenchement)



Combination - Channel Weight (L Norm)



Prise en compte du
S/B

Les analyses dans ATLAS

- Mise à jour récente (13/12/2011) de deux analyses clés dans la région [110,130] GeV

| Channel | m_H range (GeV) | Int. lumi fb^{-1} | Main backgrounds | Number of signal events after cuts | S/B after cuts | Expected σ/σ_{SM} sensitivity |
|--|-------------------|----------------------------|--|------------------------------------|------------------------|---|
| $H \rightarrow \gamma\gamma$ | 110-150 | 4.9 | $\gamma\gamma, \gamma j, jj$ | ~ 70 | ~ 0.02 | 1.6-2 |
| $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow ll + \nu$ | 110-140 | 1.1 | $Z \rightarrow \tau\tau, \text{top}$ | ~ 0.8 | ~ 0.02 | 30-60 |
| $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow l\tau_{had}$ | 100-150 | 1.1 | $Z \rightarrow \tau\tau$ | ~ 10 | $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ | 10-25 |
| $W/ZH \rightarrow bbl(l)$ | 110-130 | 1.1 | $W/Z + \text{jets}, \text{top}$ | ~ 6 | $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ | 15-25 |
| $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$ | 110-300 | 2.1 | $WW, \text{top}, Z + \text{jet}$ | ~ 20 (130 GeV) | ~ 0.3 | 0.3-8 |
| $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$ | 110-600 | 4.8 | ZZ^*, top, Zbb | ~ 2.5 (130 GeV) | ~ 1.5 | 0.7-10 |
| $H \rightarrow ZZ \rightarrow ll \nu\nu$ | 200-600 | 2.1 | $ZZ, \text{top}, Z + \text{jets}$ | ~ 20 (400 GeV) | ~ 0.3 | 0.8-4 |
| $H \rightarrow ZZ \rightarrow ll qq$ | 200-600 | 2.1 | $Z + \text{jets}, \text{top}$ | 2-20 (400 GeV) | 0.05-0.5 | 2-6 |
| $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu qq$ | 240-600 | 1.1 | $W + \text{jets}, \text{top}, \text{jets}$ | ~ 45 (400 GeV) | 10^{-3} | 5-10 |

Les analyses dans CMS

- Mise à jour récente (13/12/2011) de la plupart des analyses :

| Channel | m_H range (GeV/ c^2) | Lumi (fb $^{-1}$) | sub- channels | m_H reso- lution |
|---|------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| $H \rightarrow \gamma\gamma$ | 110 – 150 | 4.7 | 4 | 1–3% |
| $H \rightarrow \tau\tau$ | 110 – 145 | 4.6 | 9 | 20% |
| $H \rightarrow bb$ | 110 – 135 | 4.7 | 5 | 10% |
| $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ | 110 – 600 | 4.6 | 5 | 20% |
| $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ | 110 – 600 | 4.7 | 3 | 1–2% |
| $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\ell 2\tau$ | 190 – 600 | 4.7 | 8 | 10–15% |
| $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\ell 2\nu$ | 250 – 600 | 4.6 | 2 | 7% |
| $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\ell 2q$ | { 130 – 164 200 – 600 | 4.6 | 6 | 3% |

L'analyse $H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l\nu l\nu$ dans CMS (1)

- Analyse très similaire à celle d'ATLAS

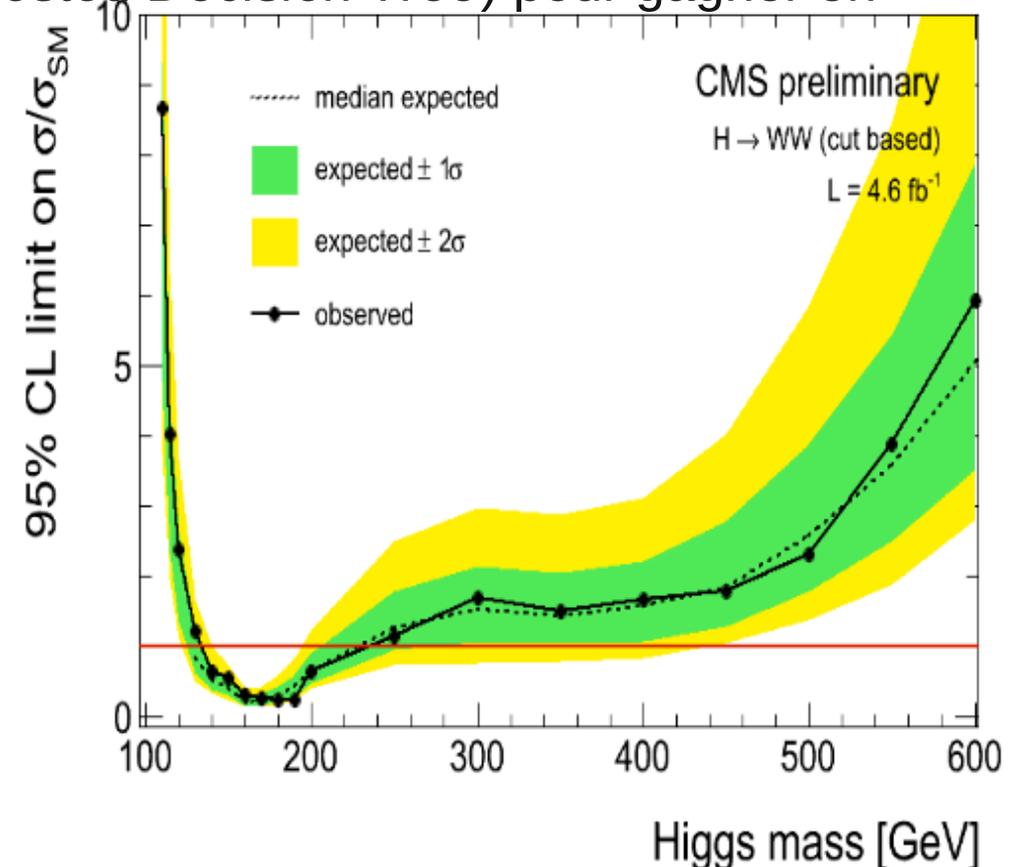
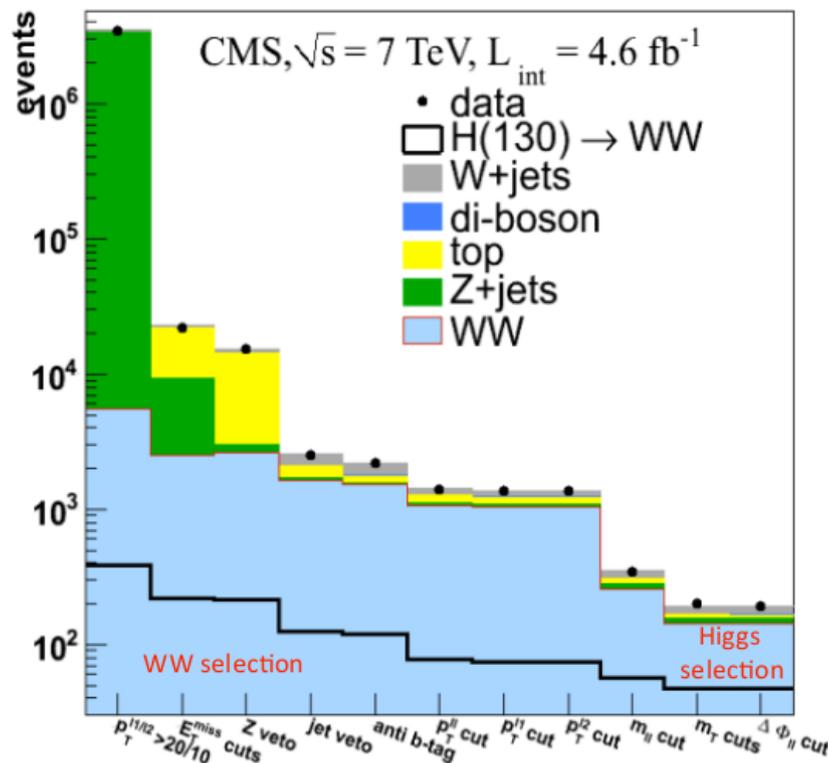
Exclusion :

attendue : [129,236] GeV

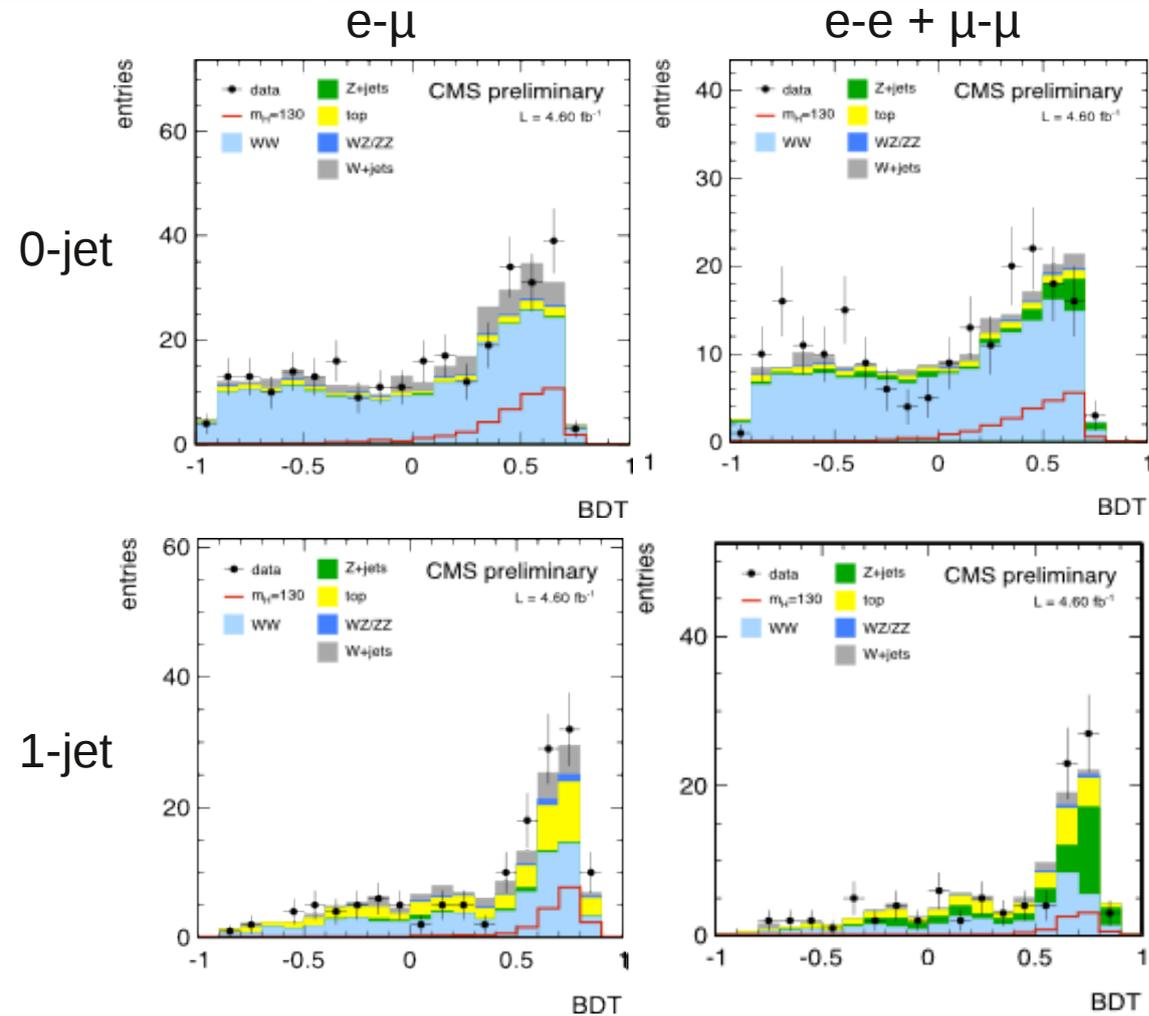
observée : [132,238] GeV

- Mais :

- Coupures en général plus strictes
- Différentes compositions du fond (moins de top, W et Z/DY) pour un total équivalent ?! Allons devoir attendre leur papier pour mieux comprendre...
- Utilise une analyse multivariée (*Boosted Decision Tree*) pour gagner en signficance



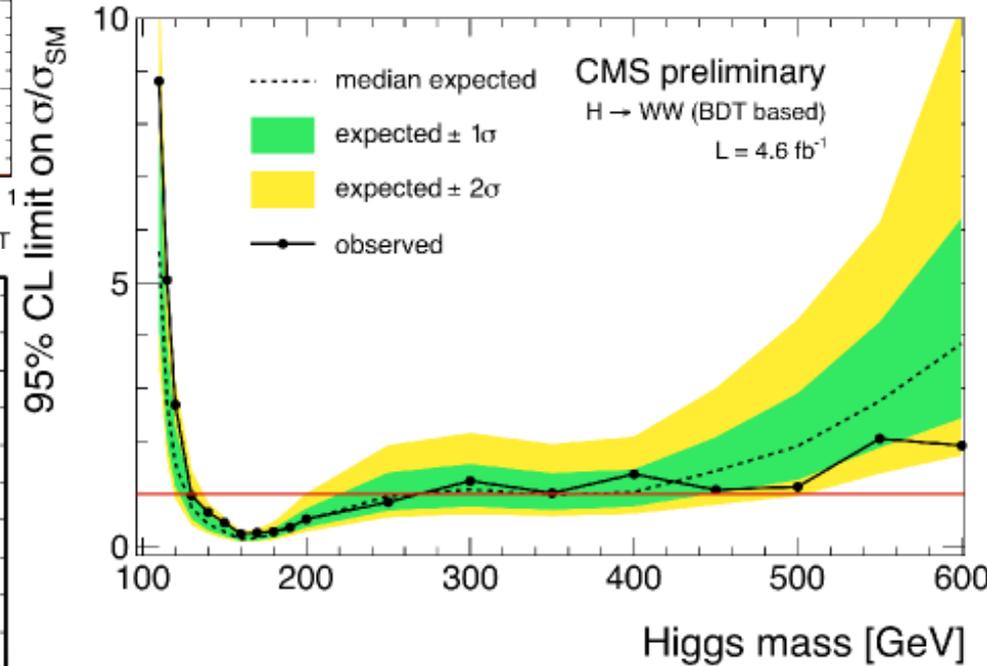
L'analyse $H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l\nu l\nu$ dans CMS (2)



Exclusion :

attendue : [127,270] GeV

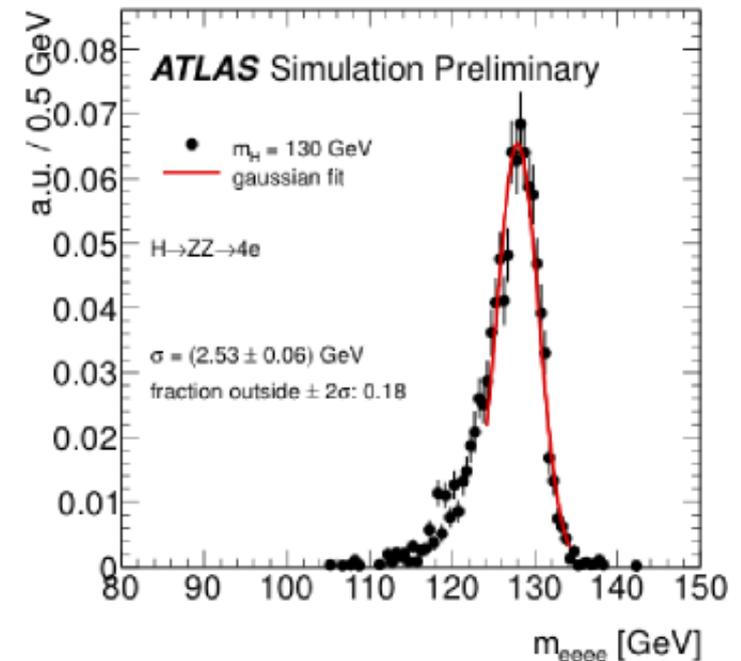
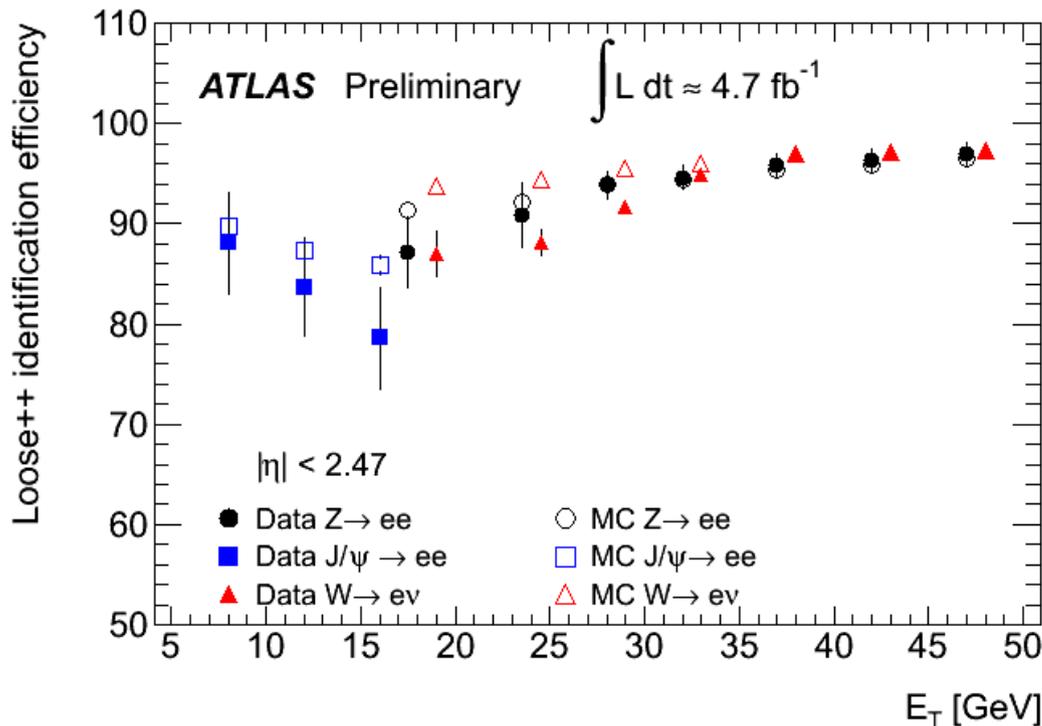
observée : [129,270] GeV



- L'analyse de CMS bénéficie grandement du plus grand échantillon de données ($\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ contre $\sim 2 \text{ fb}^{-1}$ pour ATLAS)
- La méthode multivariée apporte numériquement peu de rejet ($\sim 2\text{-}3 \text{ GeV}$) sur la borne inférieure mais c'est dans une région de masse plus qu'intéressante !

L'analyse $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$

- Analyse sensible sur un grand intervalle de masse
- N'est pas une simple expérience de comptage : présence d'un pic !!
- Peu de fond (ZZ , $t\bar{t}$), $S/B \sim 1$
- Acceptance "faible", $O(15\%)$
 - Dans ATLAS, gros travail sur l'acceptance des leptons (GSF, réoptimisation des coupures, meilleur étalonnage...)



L'analyse $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ dans ATLAS

Ensemble du spectre :

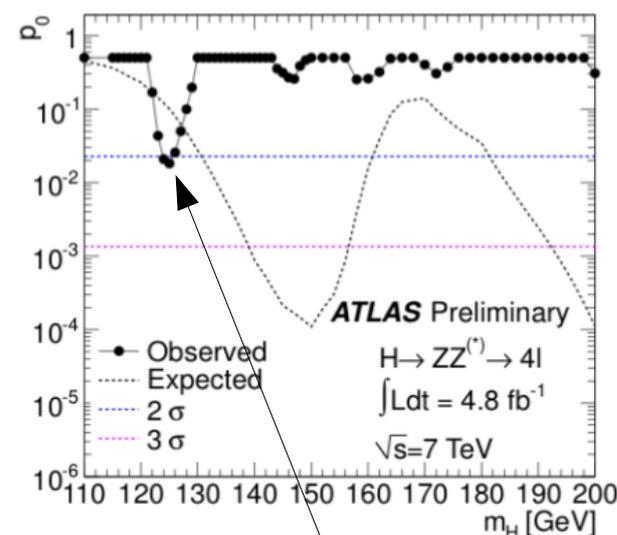
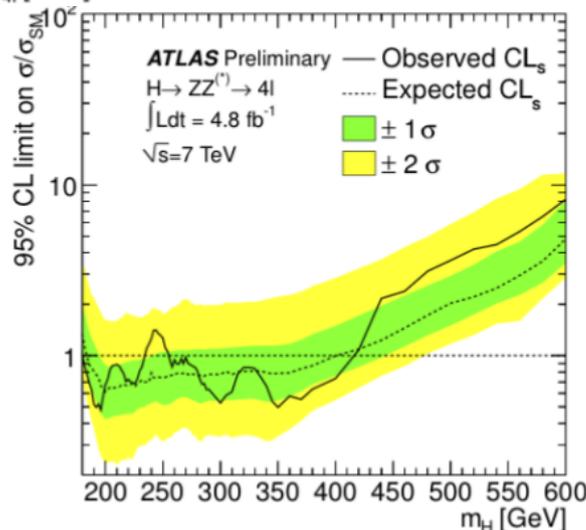
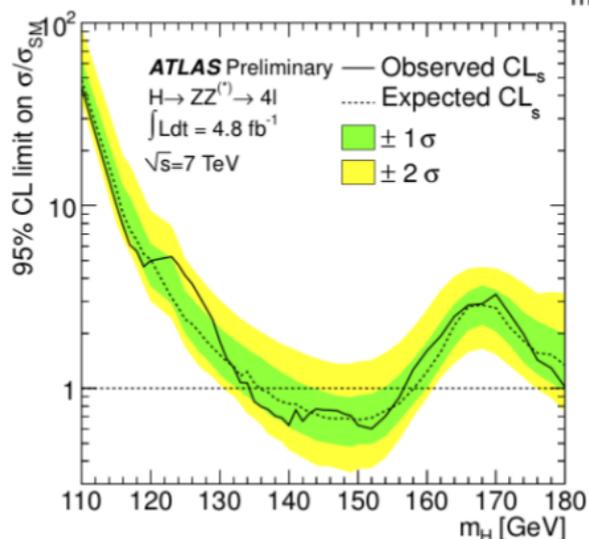
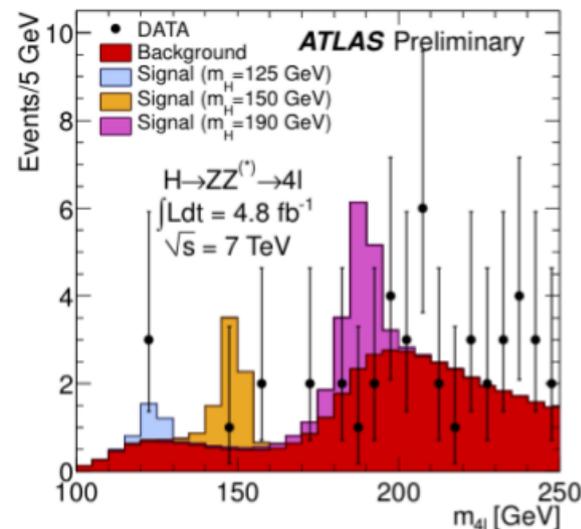
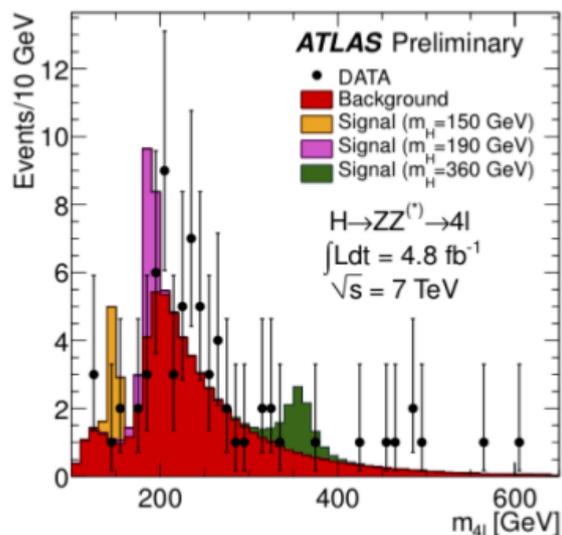
Observés : 24 4μ + 30 $2e2\mu$ + 17 $4e$ = 71

Attendus pour le fond : 62 ± 9

3 évts avec $m_H < 140$ GeV : 4μ : 124.6 GeV

$2\mu 2e$: 123.6 GeV

$2e2\mu$: 124.3 GeV

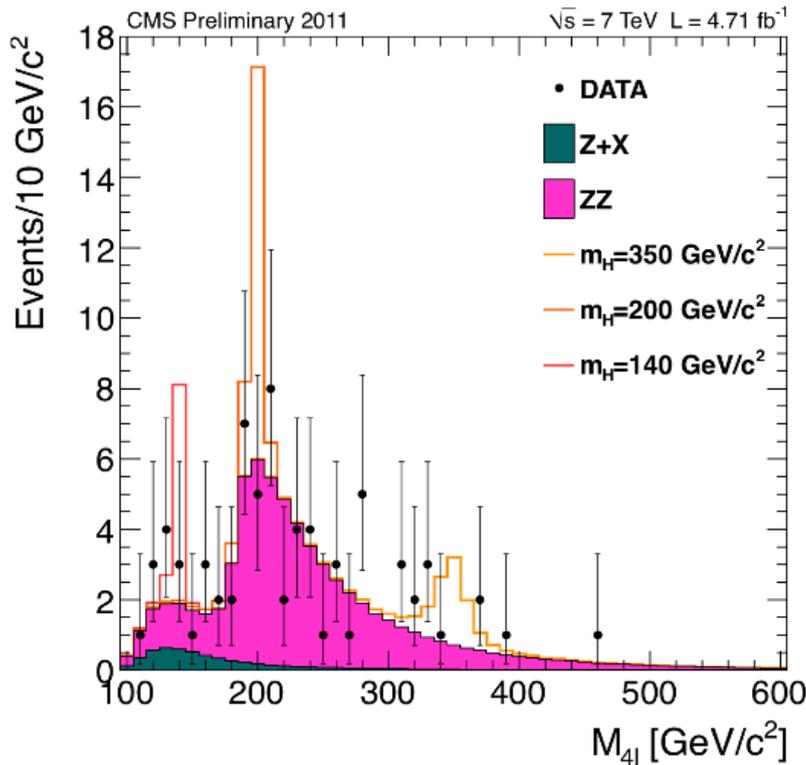


Exclusion : observée = [135,156]U[181,234]U[255,415] GeV
attendue = [137,158]U[185,400] GeV

Après LEE : $\sim 1\sigma$

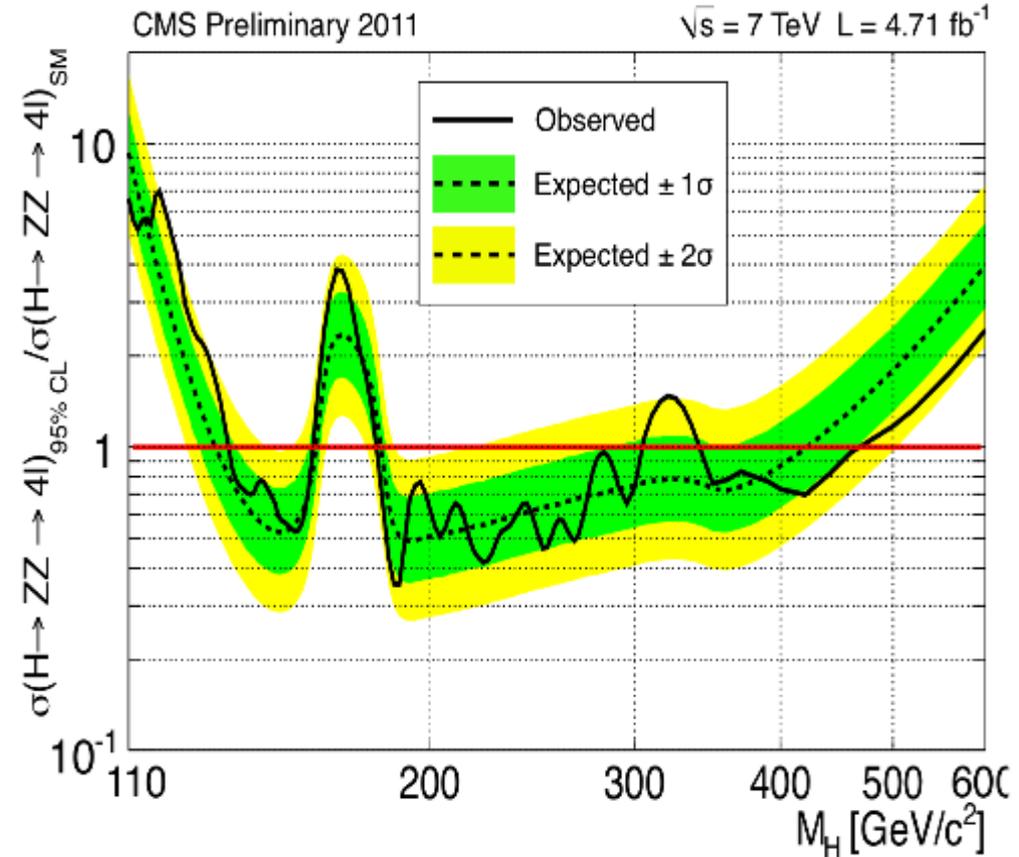
L'analyse $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ (CMS)

- CMS a des coupures plus lâches :



Entre 100 et 160 GeV :

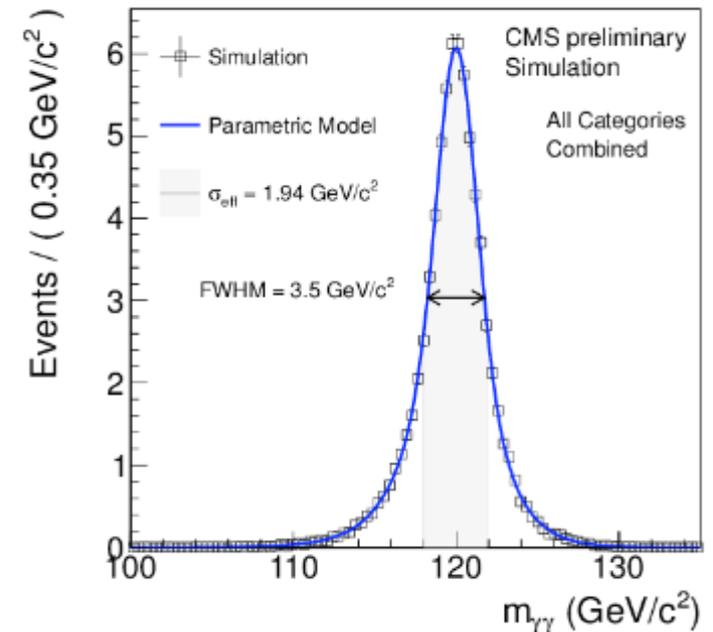
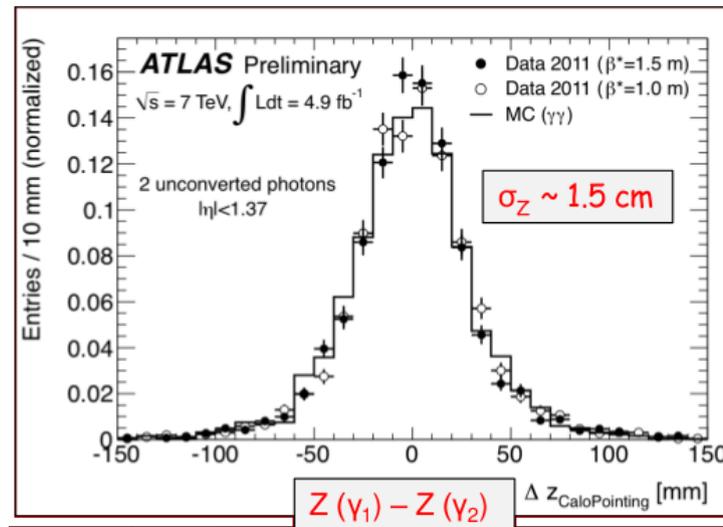
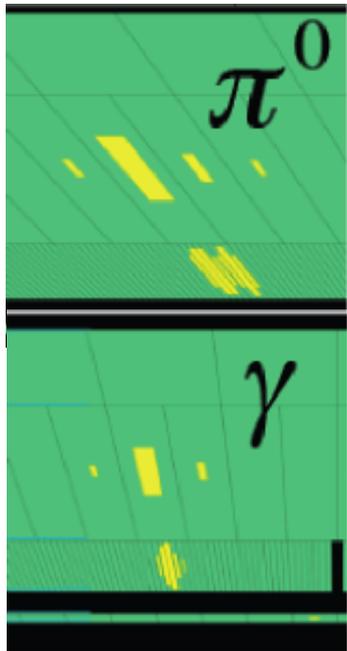
| | | | |
|--------------|-----|-----|------|
| Final state: | 4e | 4μ | 2e2μ |
| Obs. events: | 3 | 5 | 5 |
| Exp. events: | 1.7 | 3.3 | 4.5 |



- Exclusion :
 - observée : [134, 158] U [180, 305] U [340, 460] GeV
 - attendue : [130, 160] U [182, 420] GeV

L'analyse $H \rightarrow \gamma\gamma$

- Excellent sensibilité à basse masse
- Présence d'un pic étroit au-dessus d'un fond irréductible important de QCD di-photon (en principe "lisse")
- Nécessite un bon rejet des fonds γj et jj et une bonne résolution en énergie et sur la position du vertex
- Séparation en catégories (région centrale/à l'avant, convertis/non-convertis,...)
- Contrôle des fonds à partir de la méthode des matrices

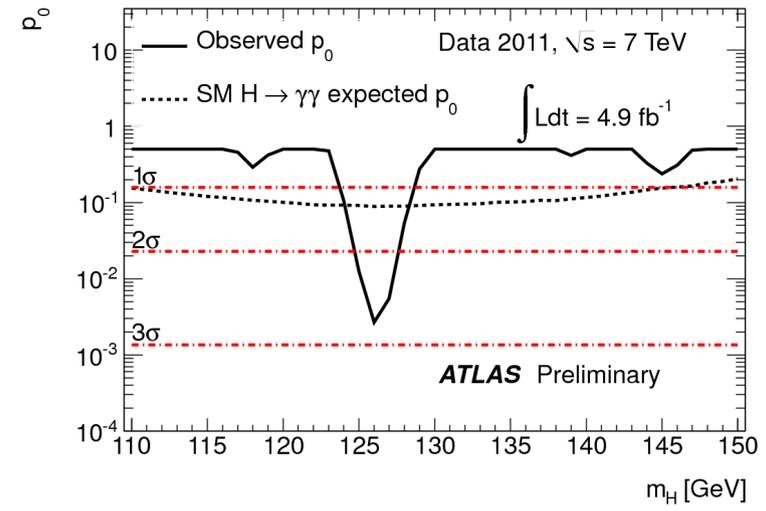
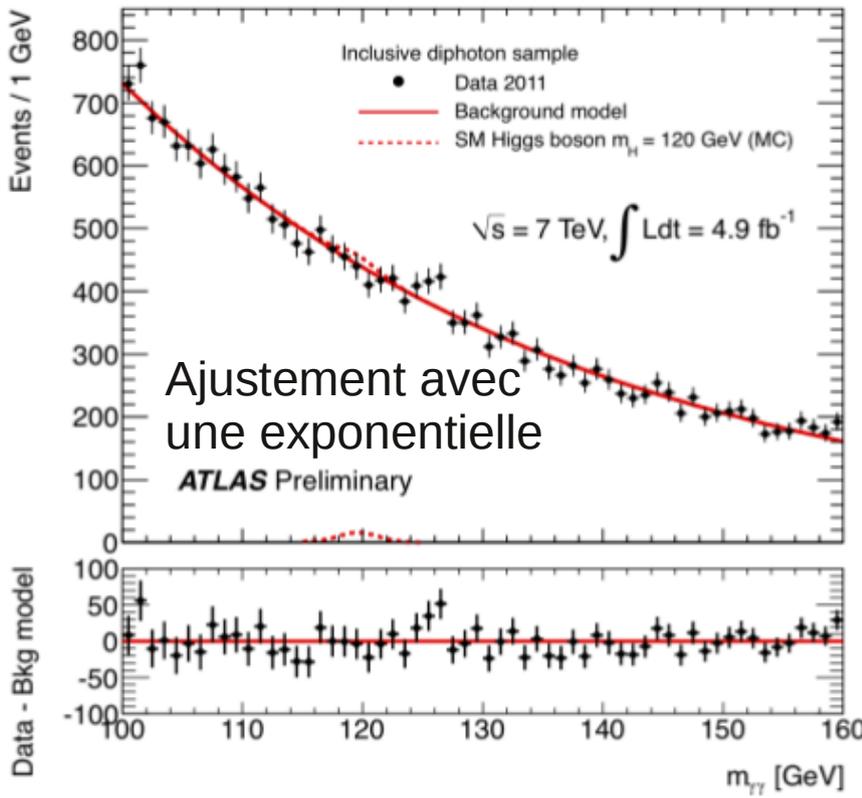
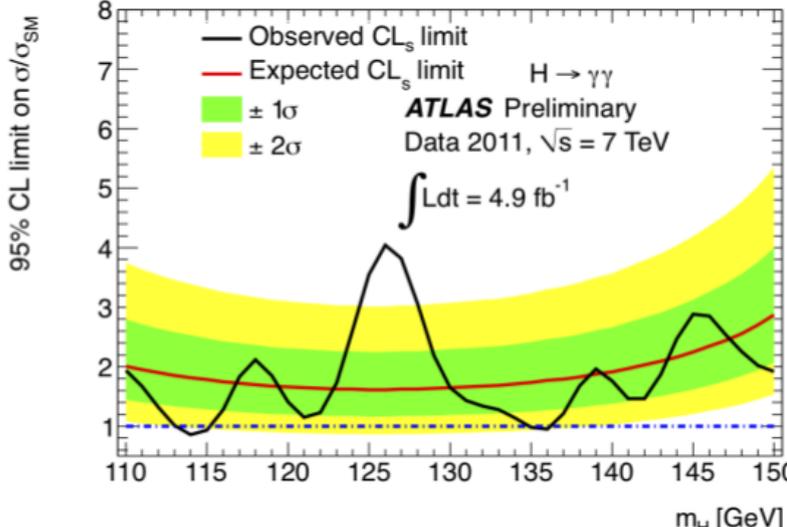
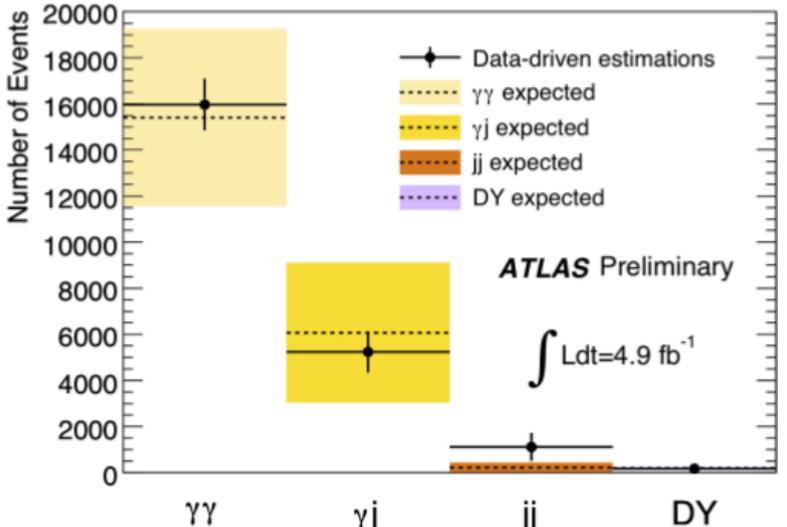


L'analyse $H \rightarrow \gamma\gamma$ dans ATLAS

- ATLAS utilise des photons isolés avec $E_T(\gamma_1, \gamma_2) > (40, 25) \text{ GeV}$
- Séparation également en régions de la direction de la paire $\gamma\gamma$
- $S/B \sim 0.02$

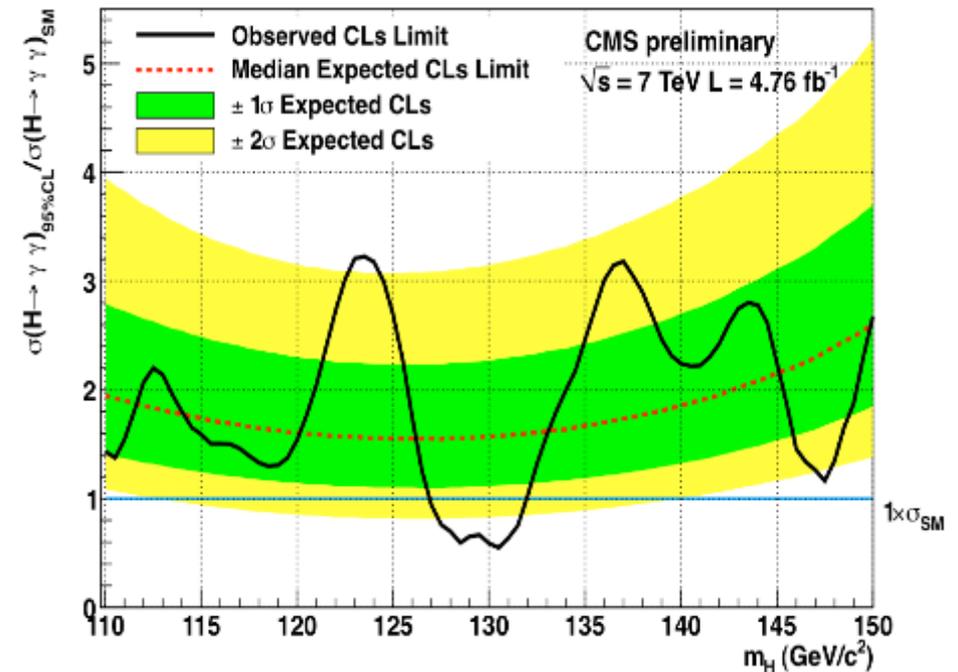
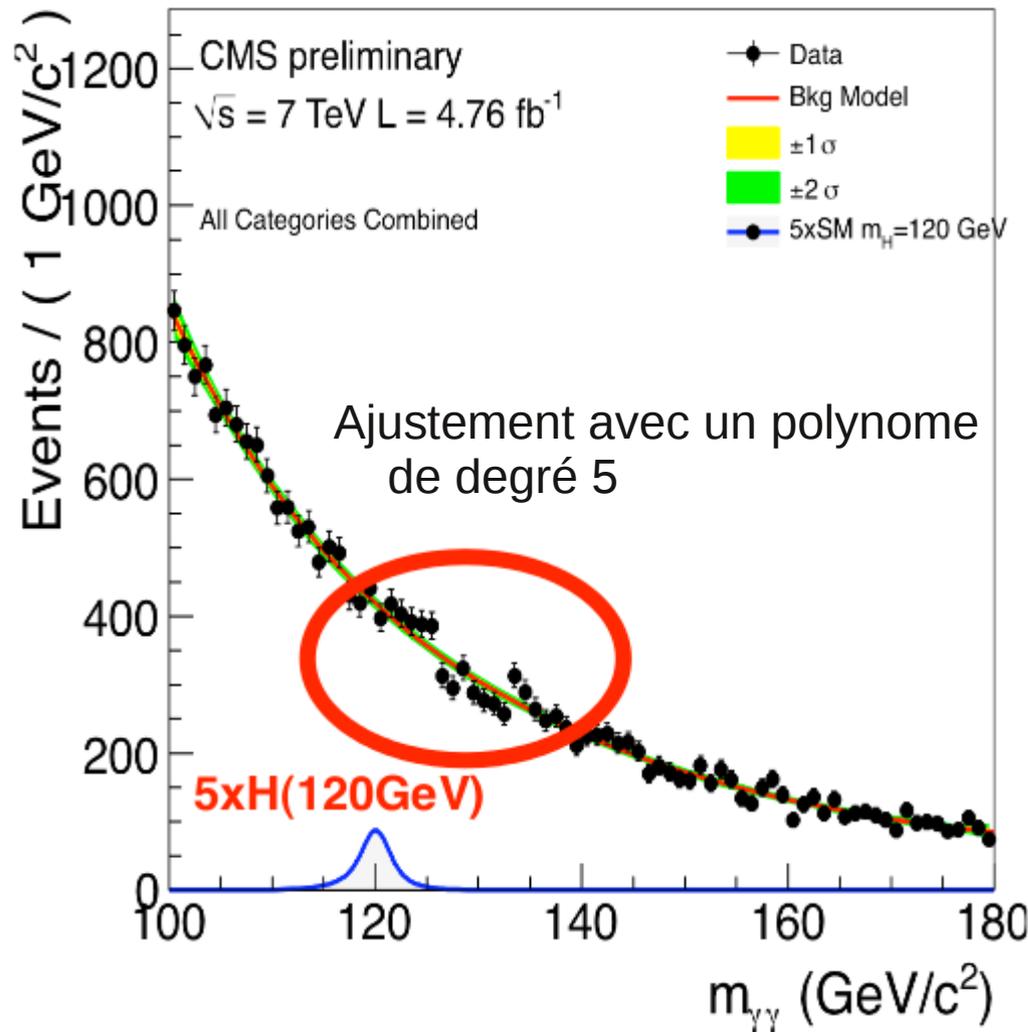
- Exclusion :
 $[114, 115] \text{ GeV}$
 $[135, 136] \text{ GeV}$

- Déviation max. à $m_H \sim 126 \text{ GeV}$
 2.8σ
 LEE \downarrow
 1.5σ



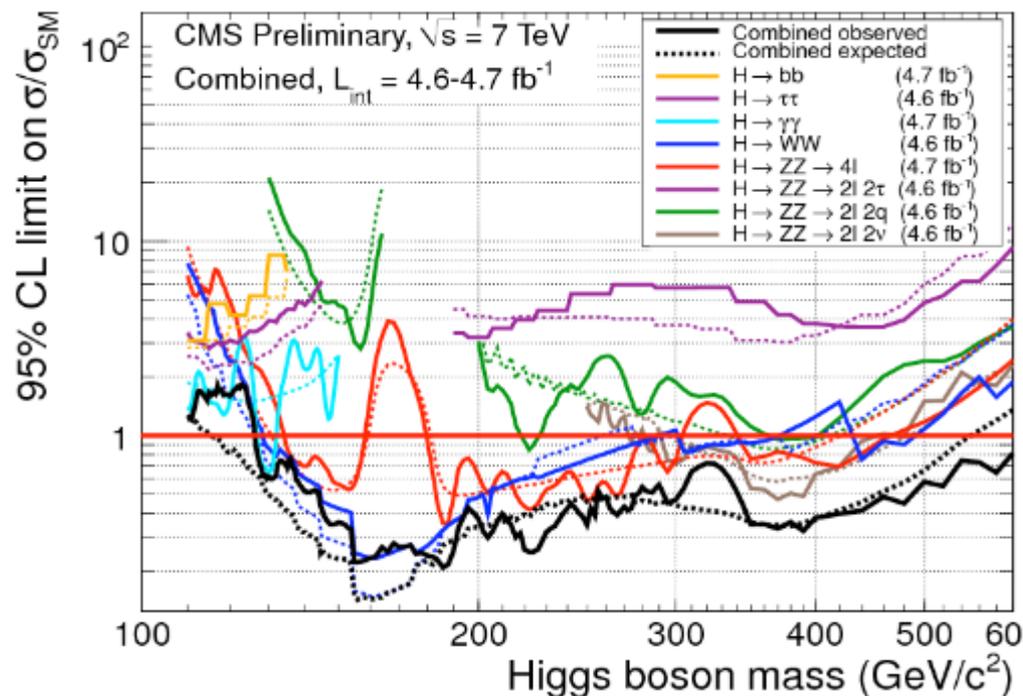
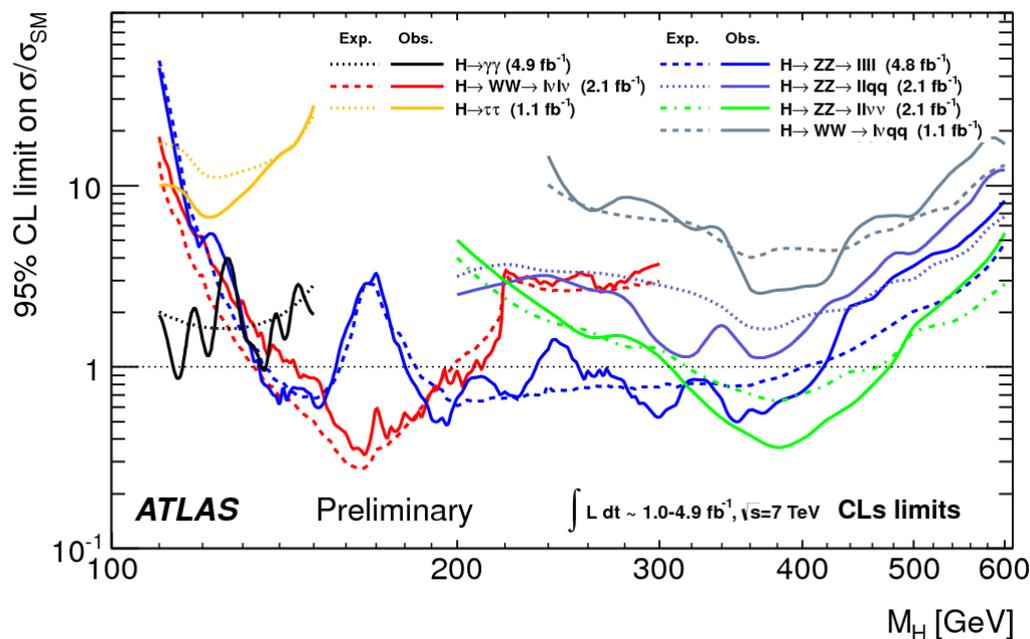
L'analyse $H \rightarrow \gamma\gamma$ dans CMS

- CMS utilise des photons dont les seuils en énergie dépendent de l'hypothèse de masse ($pT_1 > m_H/3$, $pT_2 > m_H/4$)



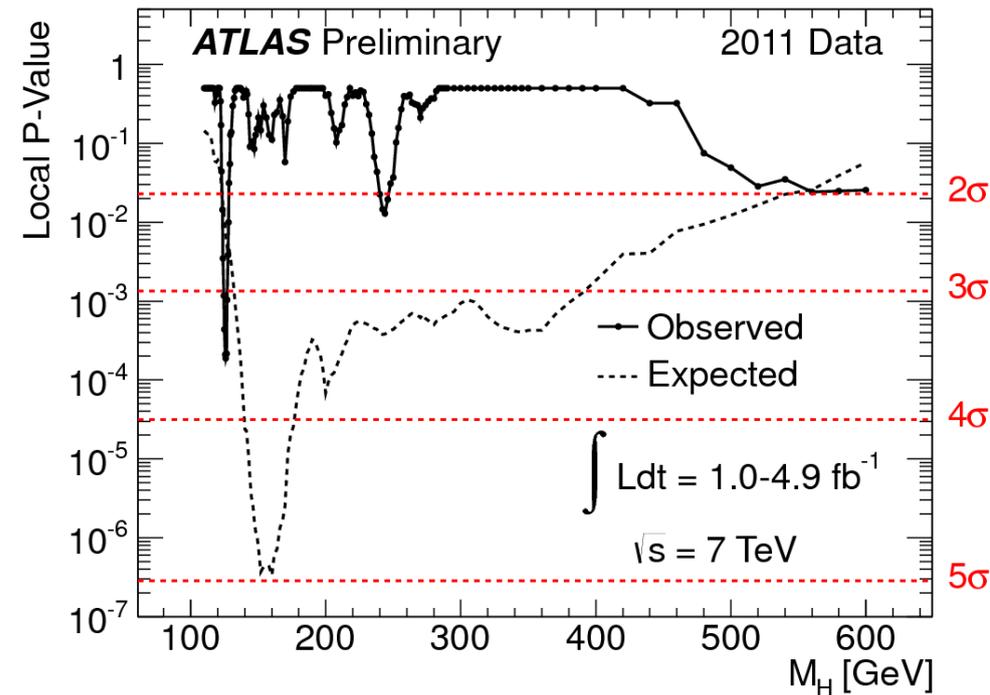
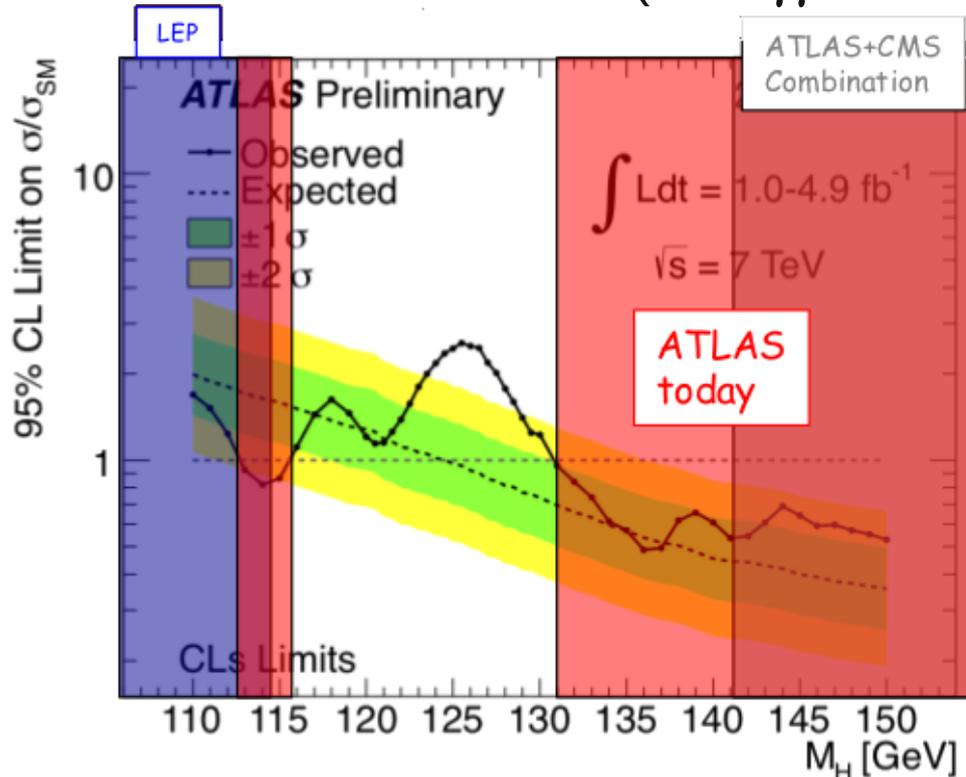
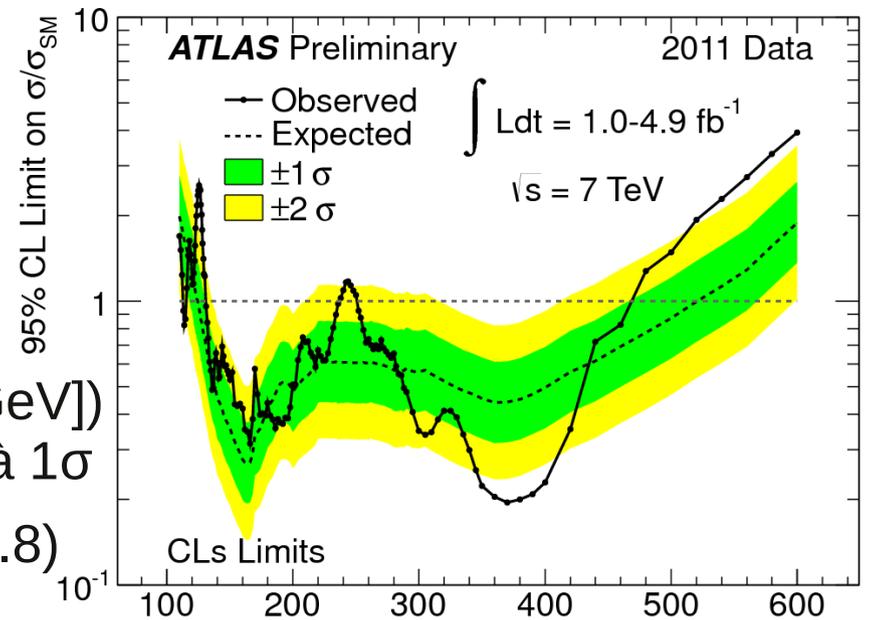
Combinaison des canaux

- En général, pour chaque hypothèse de masse du boson de Higgs, plusieurs canaux de recherche sont exploités
- Possibilité de combiner ces différents canaux afin d'extraire des limites d'exclusion :



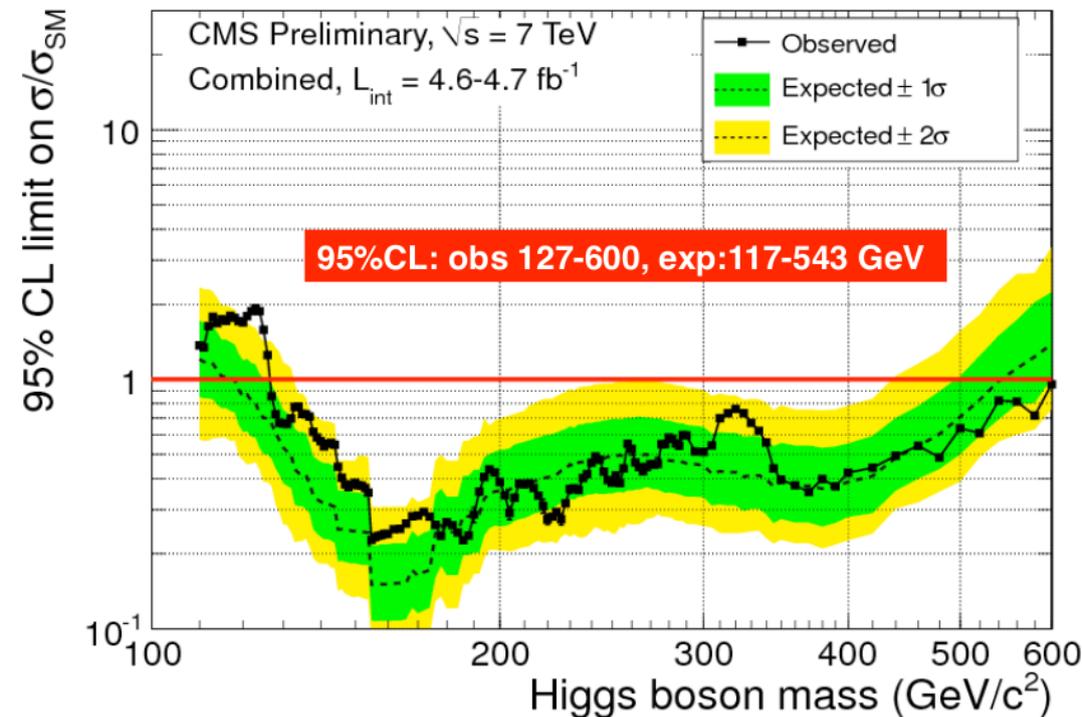
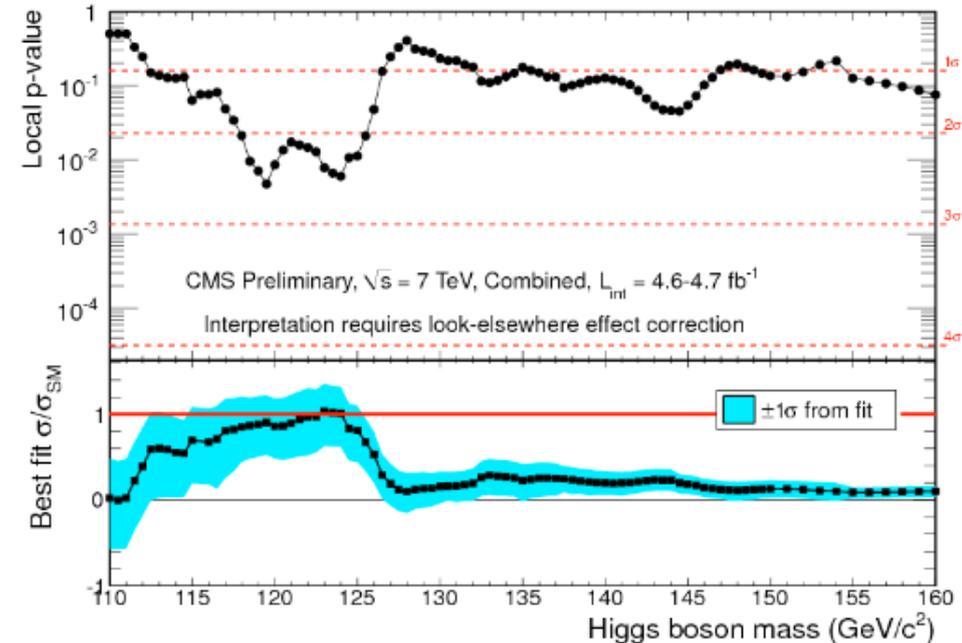
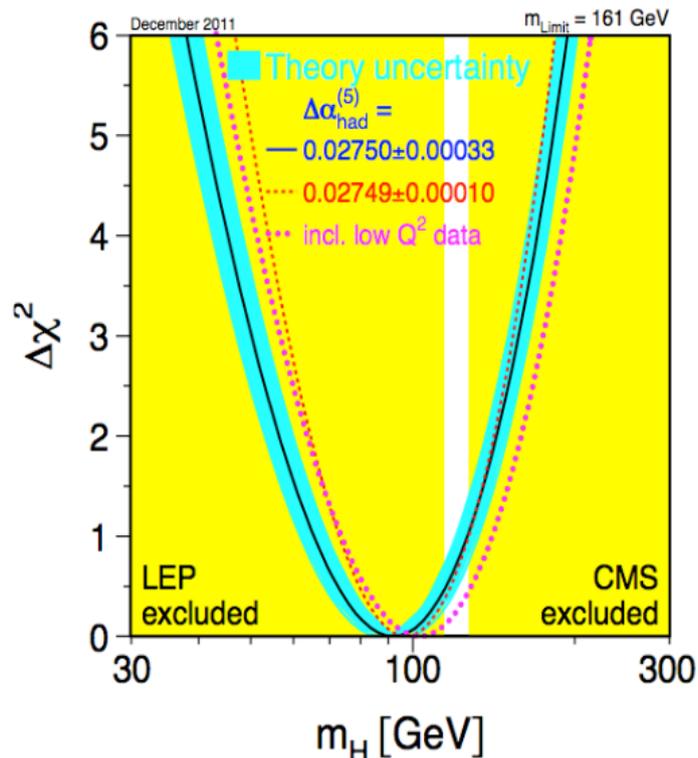
Combinaison ATLAS

- ATLAS étend la zone d'exclusion du boson de Higgs
- A basse masse, seule la région [115.5, 131] GeV est encore autorisée (à 95% de degré de confiance)
- Indication (2.2σ après LEE dans [110,146 GeV]) pour un signal à $m_H \sim 126$ GeV compatible à 1σ avec les attentes du SM (sauf $\gamma\gamma$ à $2\times SM \pm 0.8$)



Combinaison CMS

- CMS étend la zone d'exclusion jusqu'à 127 GeV à 95% de degré de confiance laissant peu de place à un Higgs Modèle Standard compatible avec les autres paramètres électrofaibles
- Modeste excès d'événements à 124 GeV, 1.9σ après prise en compte du LEE

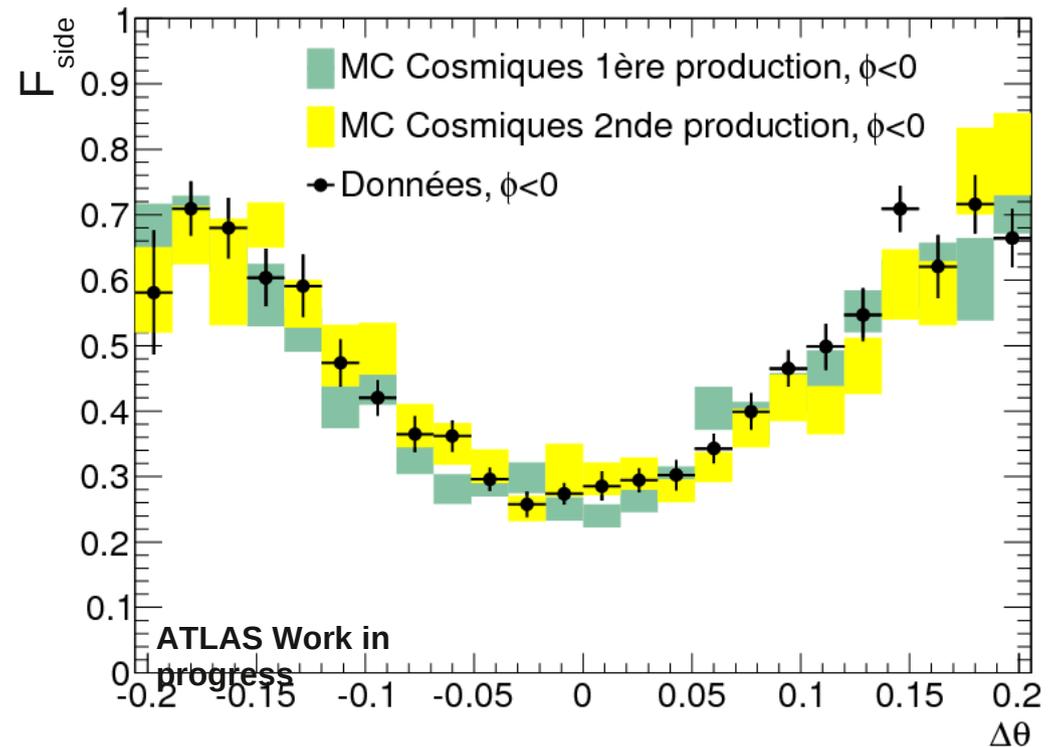
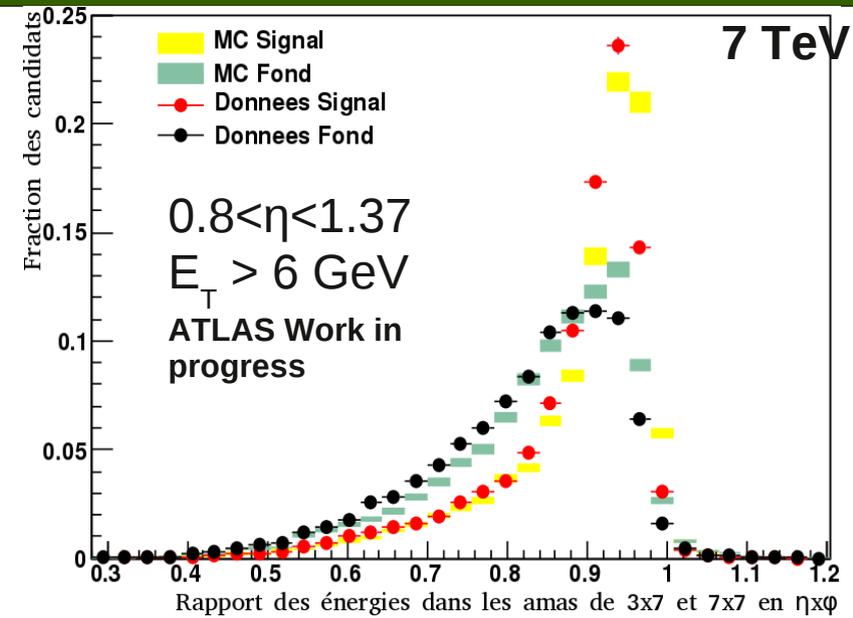
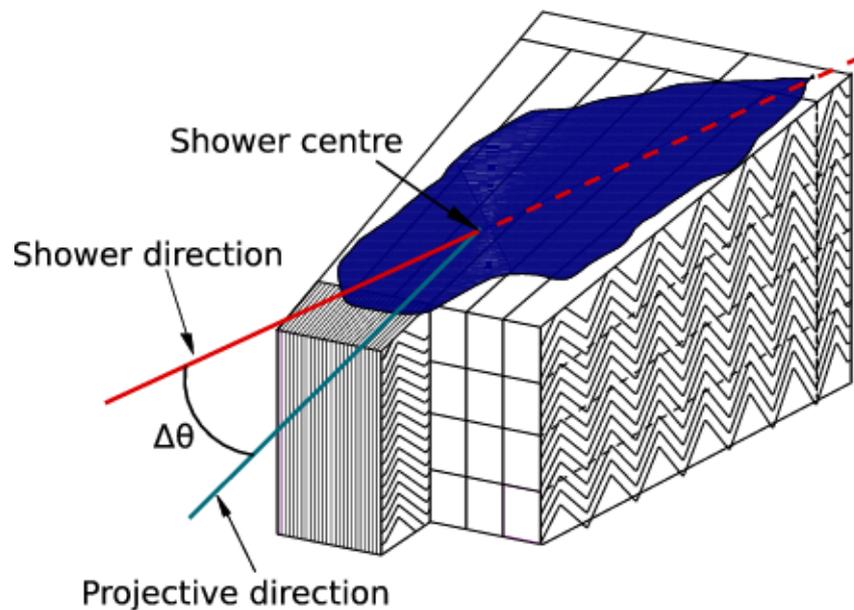


Conclusion

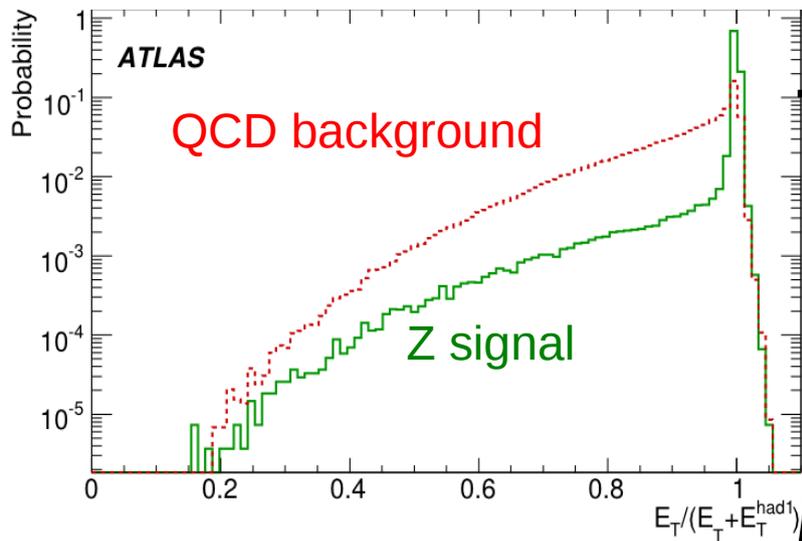
- L'année 2011 a été très fructueuse en matière de recherche de Higgs !
- La zone d'exclusion a été largement étendue, spécialement à basse masse, laissant peu de place pour un boson de Higgs vérifiant les propriétés du Modèle Standard
- Léger excès dans la région [124, 126] GeV pouvant très bien être une simple fluctuation du fond comme une première indication sur données de la masse du Higgs...
- Dans le futur proche, les collaborations ATLAS et CMS vont publier des papiers sur chacune des analyses contribuant dans cette région ainsi que des combinaisons ATLAS/CMS pour Moriond (aucune combinaison LHC n'est prévue avant Moriond)
- Les collaborations travaillent d'ores et déjà au maintien (et l'amélioration !) des performances dans un contexte de grande luminosité instantanée tel que celui que nous aurons à partir d'avril 2012
- Les $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ enregistrés en mai-juin devraient permettre de clore un chapitre de la physique des particules et peut-être d'en ouvrir un nouveau !

Matière additionnelle

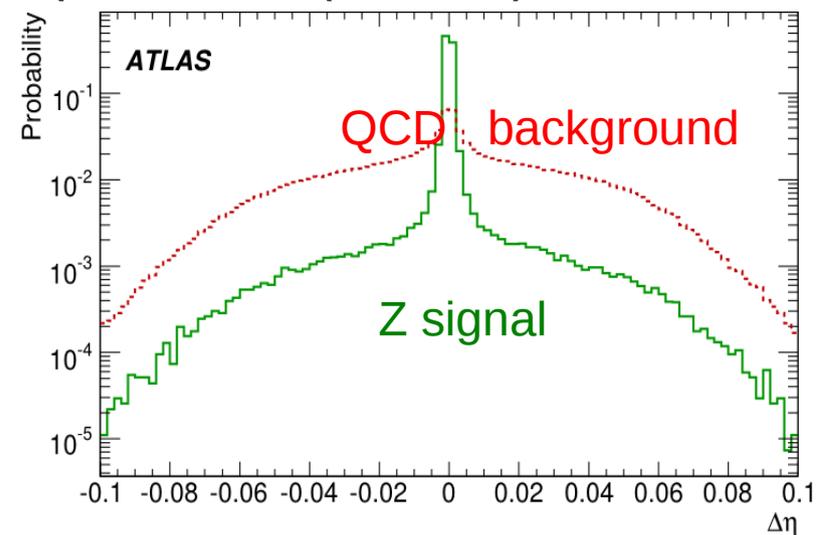
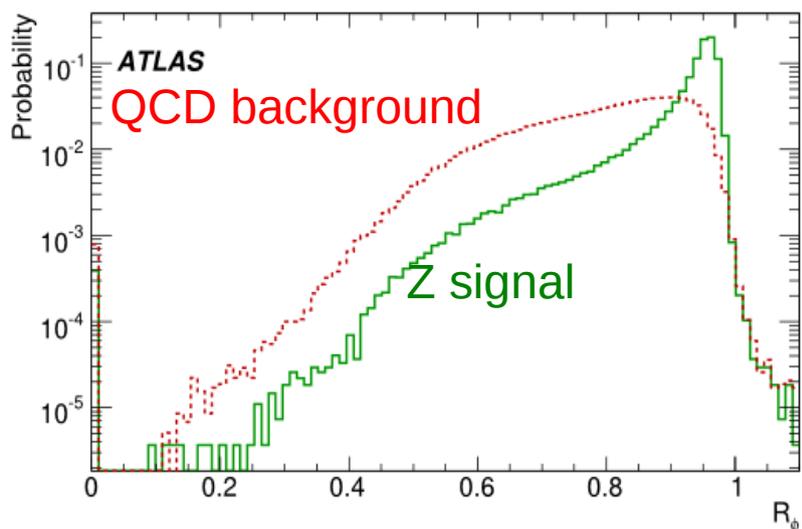
Formes de gerbes EM



Cuts used

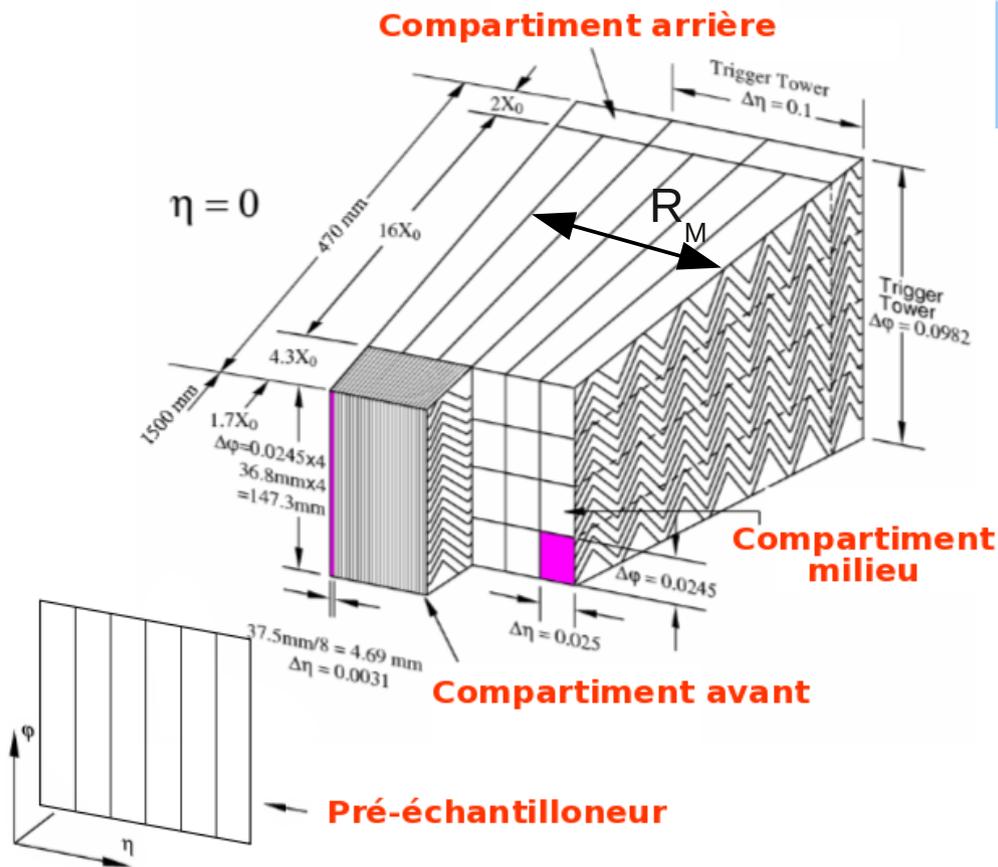


- Acceptance of the precision region ($\eta < 2.47$)
- Leakage in the HAD CAL
- Width of the shower in different samplings
- 2nd largest energy deposit in the strips
- # of track's hits (> 1 in pixels, > 9 in Si), ratio of high-threshold TRT hits
- Track-matching ($\Delta\eta < 0.005$, $\Delta\phi < 0.02$, E/p)
- Transverse impact parameter (< 1 mm)
- Isolation



Le calorimètre électromagnétique

Calorimètre EM au plomb/LAr divisé en 3 compartiments longitudinaux + pré-échantillonneur en amont



| Compartiment | Granularité $\Delta\eta \times \Delta\phi$ | Longueur de radiation |
|---------------------|---|-----------------------|
| Pré-échantillonneur | 0.025×0.1 | |
| Avant | 0.003×0.1 | $4.3 X_0$ |
| Milieu | 0.025×0.025 | $16 X_0$ |
| Arrière | 0.05×0.025 | $2 X_0$ |

} $\sim 22X_0$

- **Résolution en énergie :**

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{0.3 \text{ GeV}}{E} \oplus \frac{10\%}{\sqrt{E}} \oplus 0.7\%$$

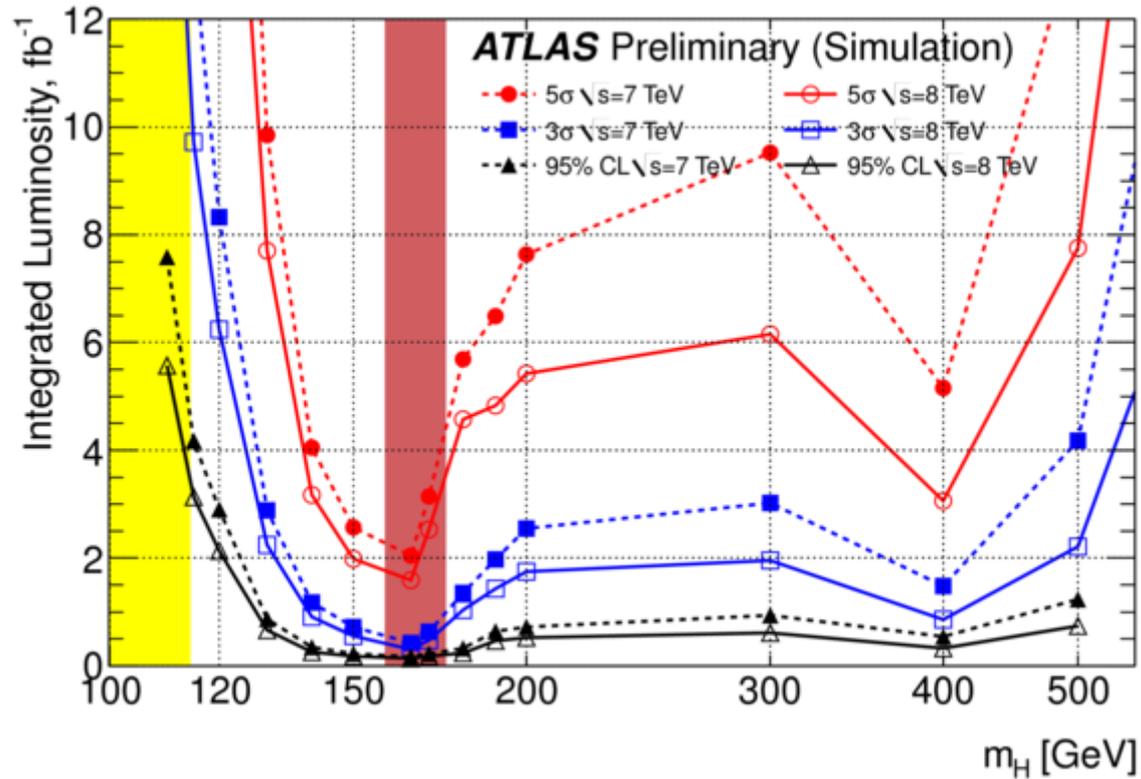
Linéarité meilleure que 1%

- **Résolution angulaire :**

$$\sigma(\Phi) \sim 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\sigma(\eta) \sim 5.10^{-4} \text{ rad}$$

Higgs



ATL-PHYS-PUB-2011-001

Higgs (3)

| Process | Generator | cross-section σ (pb) (\times BR) |
|---|-----------|--|
| Inclusive $W \rightarrow \ell\nu$ | ALPGEN | 10.5×10^3 [57, 58] |
| Inclusive $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$ ($M_{\ell\ell} > 40$ GeV) | ALPGEN | 10.7×10^2 [58, 59] |
| Inclusive $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$ ($10 < M_{\ell\ell} < 40$ GeV) | ALPGEN | 3.9×10^3 [59] |
| $t\bar{t}$ | MC@NLO | 164.6 |
| Single top t-channel | AcerMC | 64.2 [60, 61] |
| Single top Wt | AcerMC | 15.6 [60, 61] |
| Single top s-channel | MC@NLO | 4.6 [60, 61] |
| WZ | MC@NLO | 18.0 |
| ZZ | MC@NLO | 5.6 |
| $qq/qg \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ ($\ell = e, \mu, \tau$) | MC@NLO | 4.7 |
| $gg \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ ($\ell = e, \mu, \tau$) | gg2WW | 0.14 |
| $\gamma W \rightarrow \ell\nu$ ($\ell = e, \mu, \tau$) | MADGRAPH | 135.4 |
| $b\bar{b}$ (2- ℓ filter, $p_T > 10$ GeV) | PYTHIA | 4270 |

ATLAS Higgs boson signal simulation:

- POWHEG Monte Carlo + PYTHIA for showering and hadronization for ggH and qqH
- PYTHIA for WH/ZH
- Cross section normalization to NNLO calculations (for gg, VBF and VH processes)
- Reweighting of Higgs boson pT spectrum in gg process (De Florian et al, arXiv:1109.2109)
- Uncertainties according to the recommendations of the LHC Higgs cross-section group

Limites d'exclusion (3)

A likelihood function is constructed that contains a signal region and two control regions for three lepton channels and two jet bins:

$$\mathcal{L}(\mu, \theta) = \prod_{\ell=ee, \mu\mu, e\mu} \prod_{j=0,1} \text{Poisson}(N_{\ell j}^{SR} |\mu s_{\ell j} + \alpha_{\ell,j}^{WW} \dot{b}_{e\mu,j}^{WW} + \delta_j^1 \alpha_{\ell,j}^{top} \dot{b}_{e\mu,j}^{top} + \sum_k b_{\ell jk})$$

$$\text{Poisson}(N_{\ell j}^{WW} |\mu s_{\ell j} + \beta_{\ell,j}^{WW} \dot{b}_{e\mu,j}^{WW} + \delta_j^1 \beta_{\ell,j}^{top} \dot{b}_{e\mu,j}^{top} + \sum_k b_{\ell jk})$$

$$\text{Poisson}(N_{\ell j}^{top} |\mu s_{\ell j} + \delta_j^1 \dot{b}_{e\mu,j}^{top} + \sum_k b_{\ell jk})$$

$$\prod_{\theta} \text{Gaussian}(\theta|0, 1)$$
(3)

Here, μ is the normalized signal strength, the ratio of the cross-section over the SM Higgs boson cross-section, θ represents the full suite of nuisance parameters which are constrained by a Gaussian probability density function (PDF), N represents the number of observed events in each jet and lepton channel region, s represents the expected number of signal events and b the expected number of background events given a particular set of values for the nuisance parameters. The expected number of events in each channel is multiplied by a log-normal response term for each systematic uncertainty that applies to the channel, i.e., $s_{\ell j}$ is the product of the luminosity, cross-section, acceptance, and the product of log-normal functions of each of the systematic uncertainties for the decay channel ℓ and jet multiplicity j .

Additional \dot{b} parameters are introduced without a constraint to normalize the expected number of events in the signal region using the control region. A set of extrapolation factors α (and β), obtained from MC simulation, describe the theoretical knowledge on the ratio of the number of expected events in the signal (or main control) region to the control region.

Profile likelihood : $q_{\mu} = -2 \ln \frac{\mathcal{L}(\mu, \hat{\theta}_{\mu})}{\mathcal{L}(\hat{\mu}, \hat{\theta})}$ $\hat{\mu}$ and $\hat{\theta}$ refer to the global maximum of the likelihood and $\hat{\theta}_{\mu}$ corresponds to the conditional maximum likelihood of θ given μ and the data. The constraint $0 \leq \hat{\mu} \leq \mu$ is applied; the lower bound since the signal is positive and the upper bound to guarantee a one-sided limit.

$$p_{\mu} = P(q_{\mu} \geq q_{\mu}^{obs} | \text{signal+background}) = \int_{q_{\mu}^{obs}}^{\infty} f(q_{\mu} | \mu, \hat{\theta}_{\mu}^{obs}) dq_{\mu}, \quad p_0 = P(q_{\mu} \geq q_{\mu}^{obs} | \text{background-only}) = \int_{q_{\mu}^{obs}}^{\infty} f(q_{\mu} | 0, \hat{\theta}_0^{obs}) dq_{\mu}, \quad CLs(\mu) = \frac{p_{\mu}}{p_0}$$

For CLs= α the Confidence Level is defined as $(1 - \alpha)$. The observed limit at 95% Confidence Level is set by an iterative procedure on μ .

Limites d'exclusion (4)

