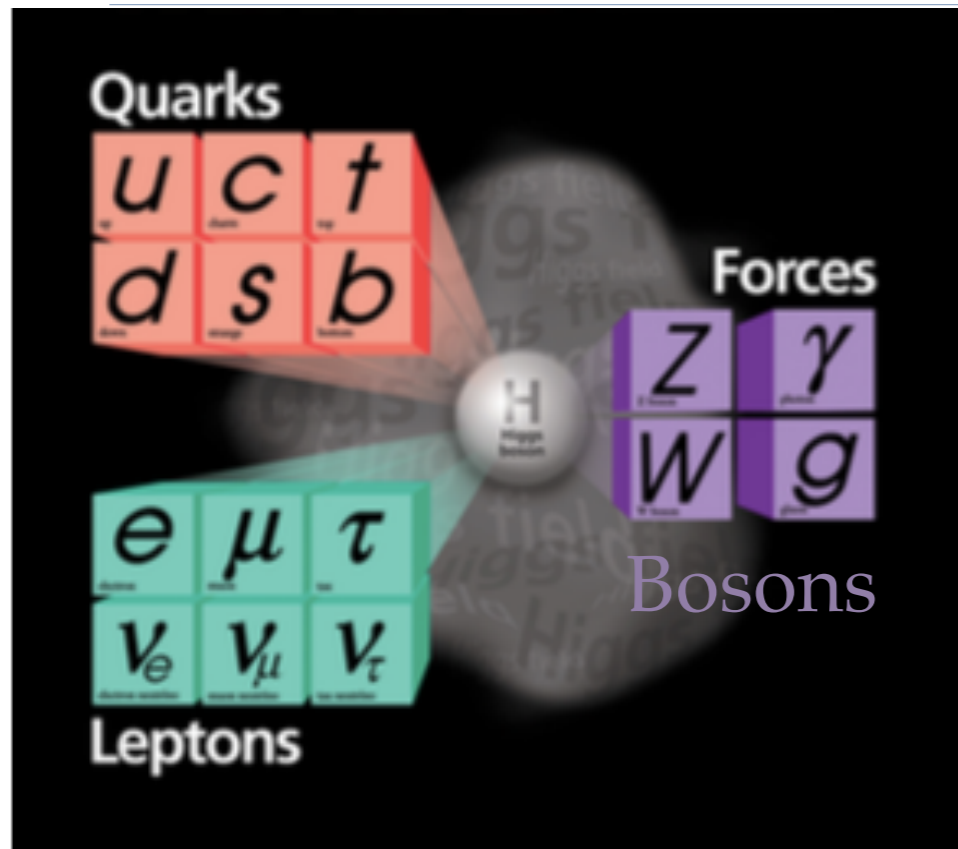




Tests du Modèle Standard avec l'expérience ATLAS

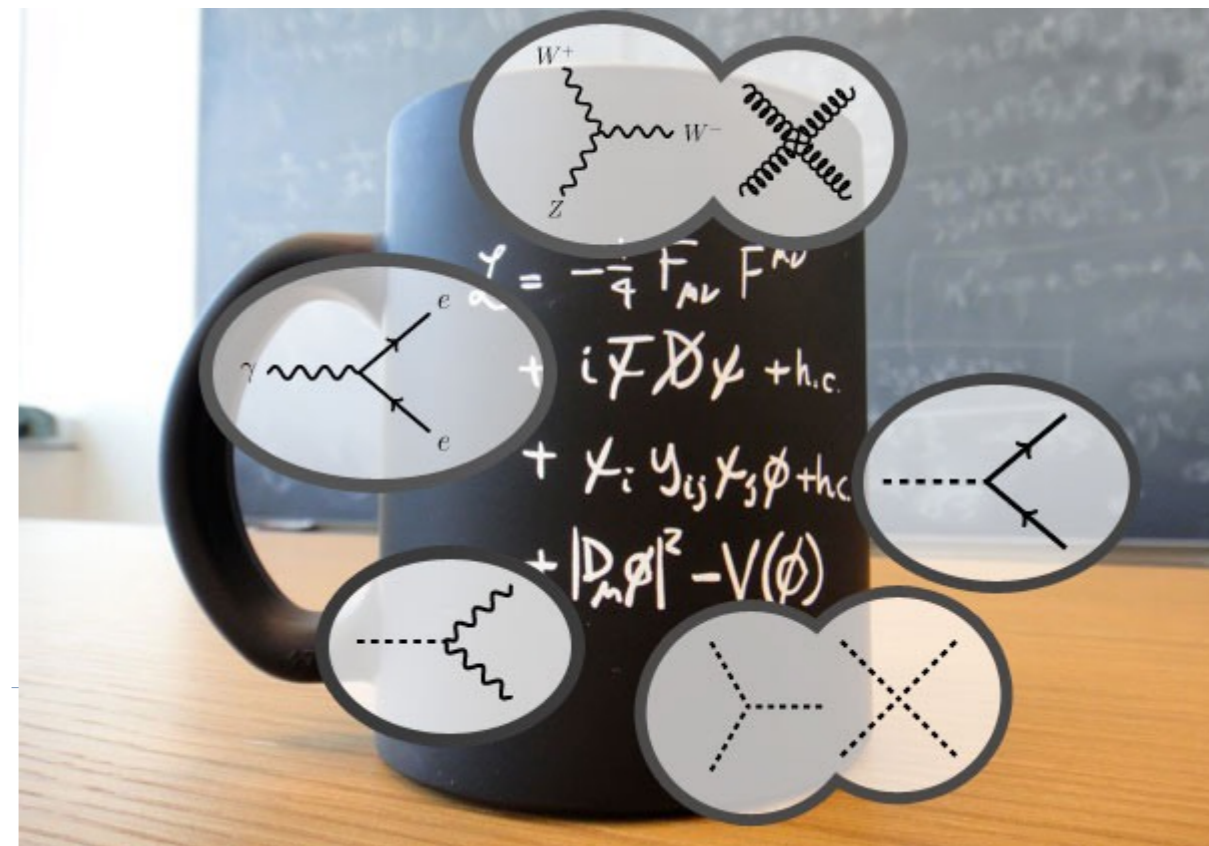
Narei LORENZO MARTINEZ - CNRS-IN2P3 (LAPP-Annecy)

Le modèle standard de la physique des particules 2



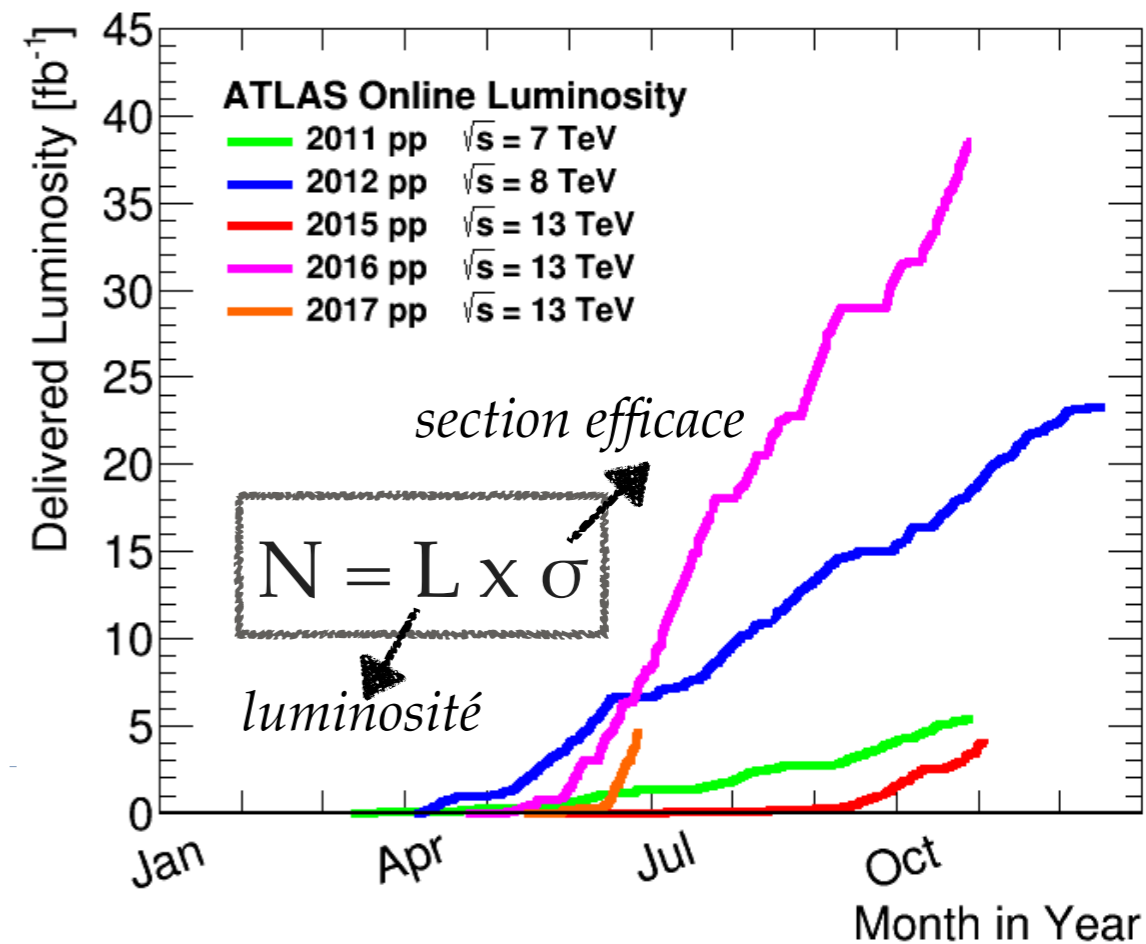
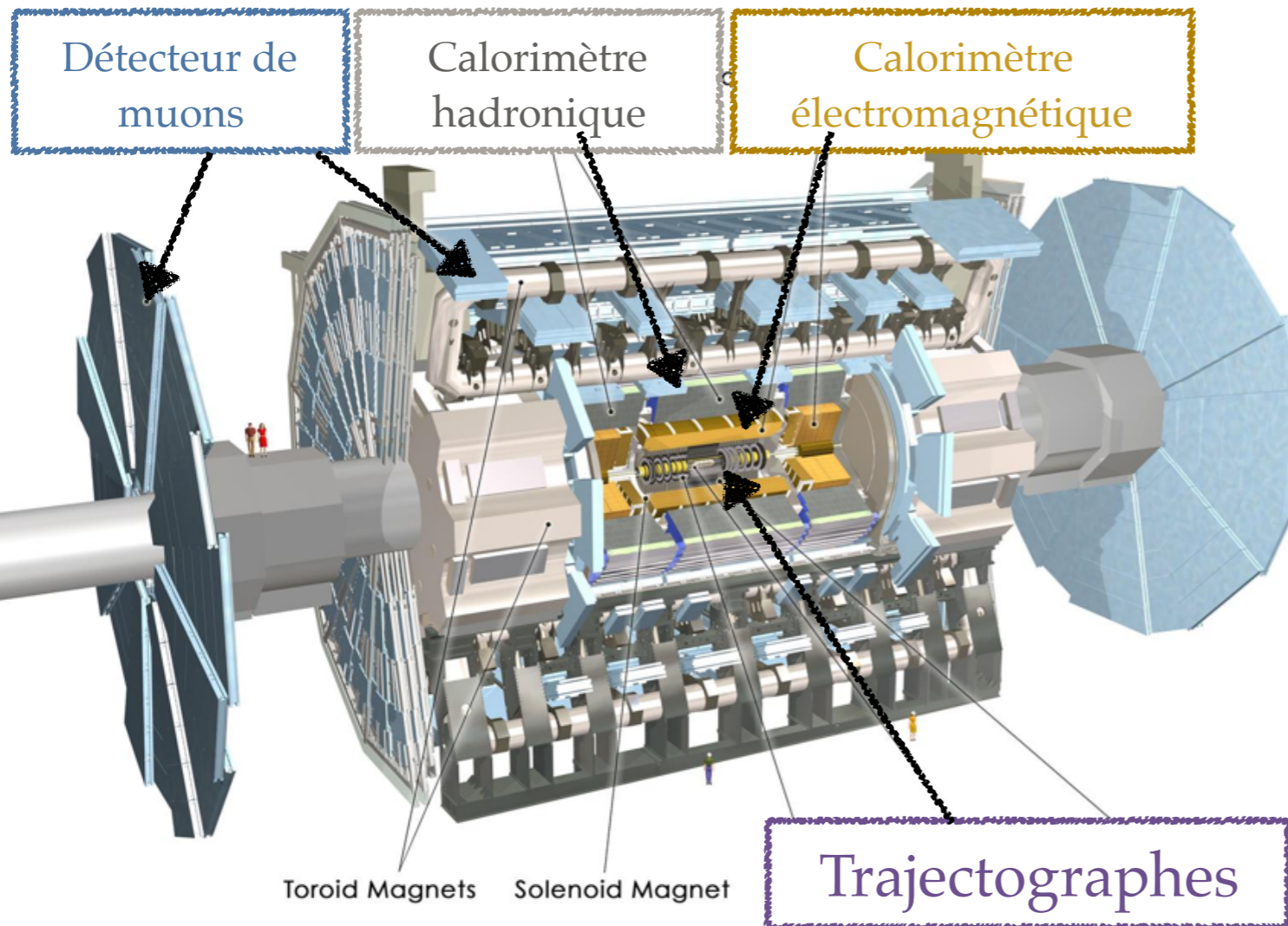
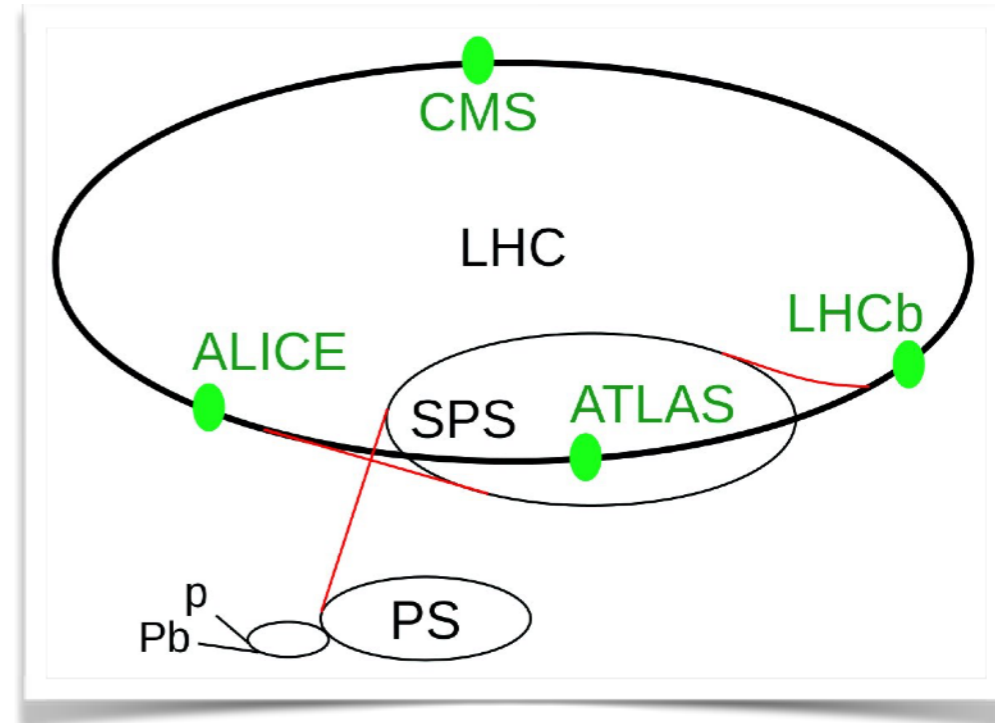
- ❖ Principes de symétries
- ❖ 3 forces : forte (QCD), faible, électromagnétisme (EW)
- ❖ Prédiction des interactions entre particules et médiateurs des forces
- ❖ 19 paramètres libres
- ❖ Depuis finalisation vers 70', jamais mis en défaut

- ❖ **Problèmes:** gravitation, expansion de l'univers, matière noire, oscillation des neutrinos et leur masse
- ❖ Pas théorie ultime ?
- ❖ Recherche **directe** et **indirecte**
 - ❖ **Aucune nouvelle physique en vue**
 - ❖ Mesure précises, comparaison avec prédictions, processus rares, sensibles à la nouvelle physique



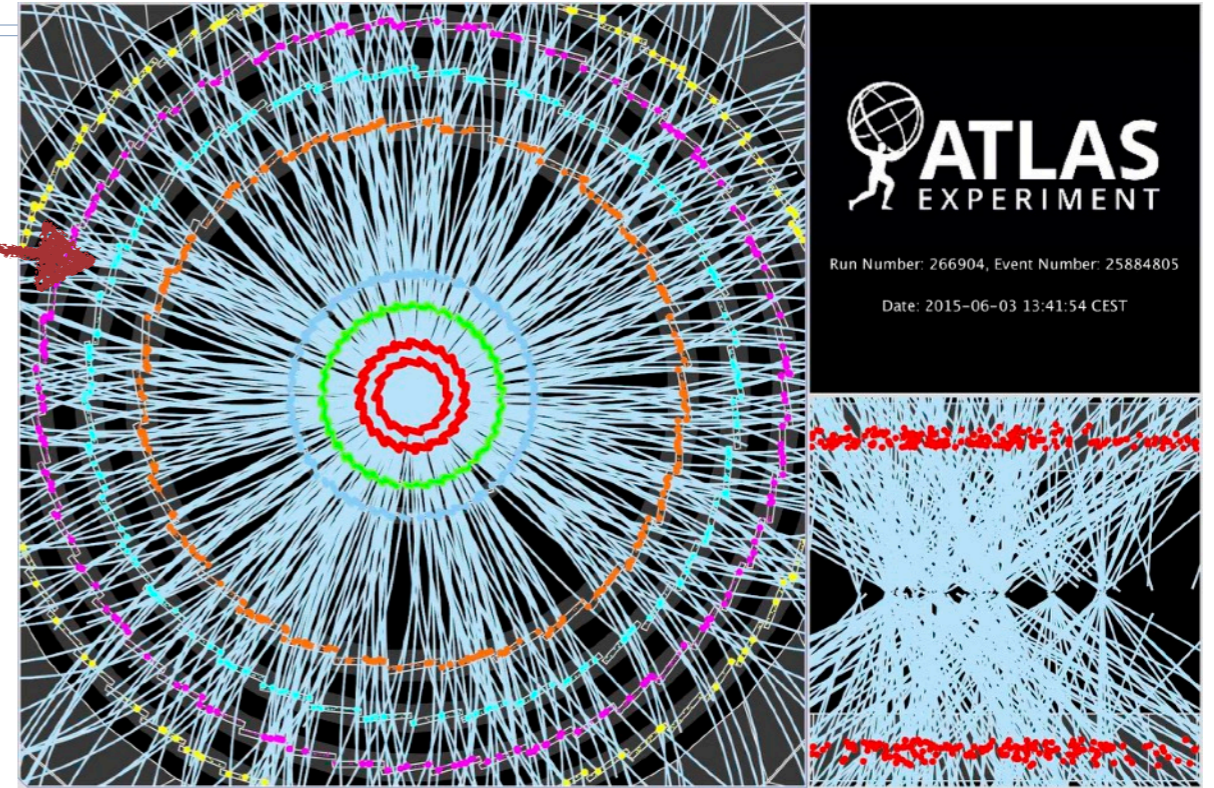
Le LHC et ATLAS

- ❖ LHC: Genève, 27km de circonférence, ~100m sous terre
- ❖ Collisions p-p, énergies dans centre de masse 7 (2011), 8 (2012) et 13 TeV (2015-)
- ❖ ATLAS un des 4 détecteurs du LHC, collaboration de > 3000 personnes
- ❖ Luminosité intégrée totale proche de 80 fb⁻¹



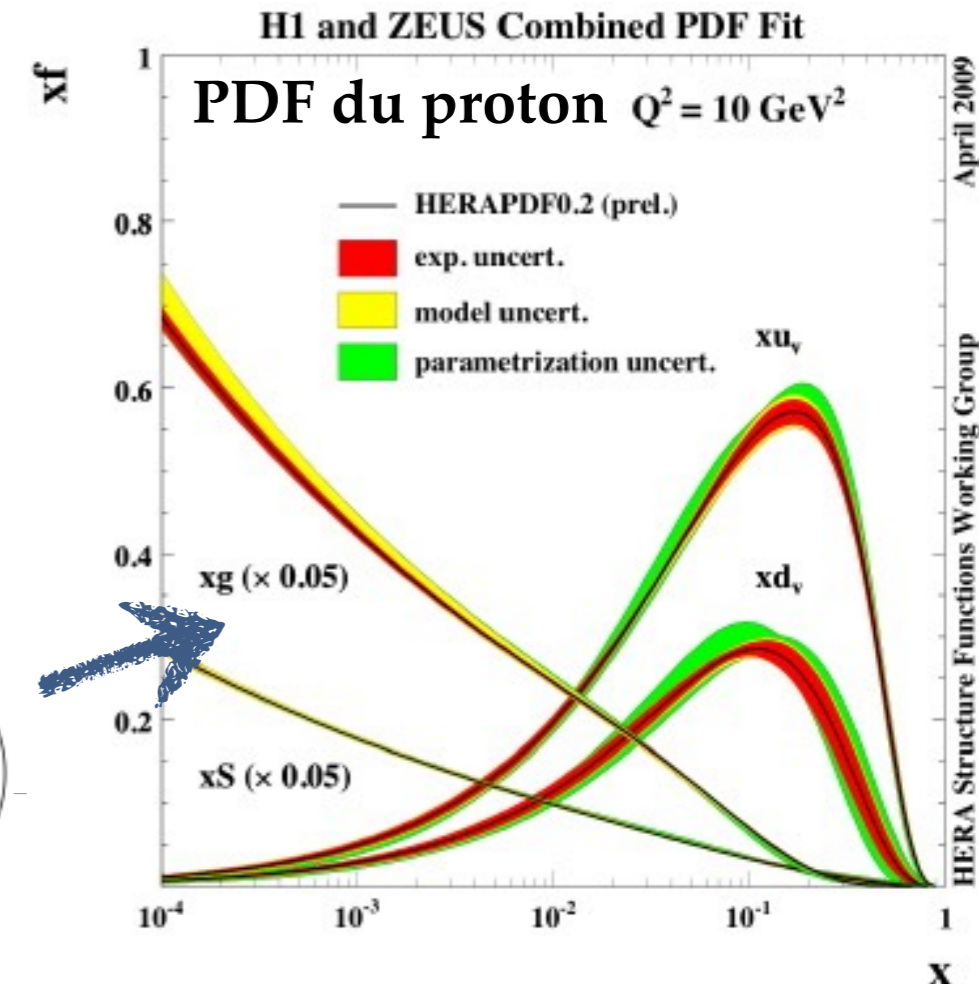
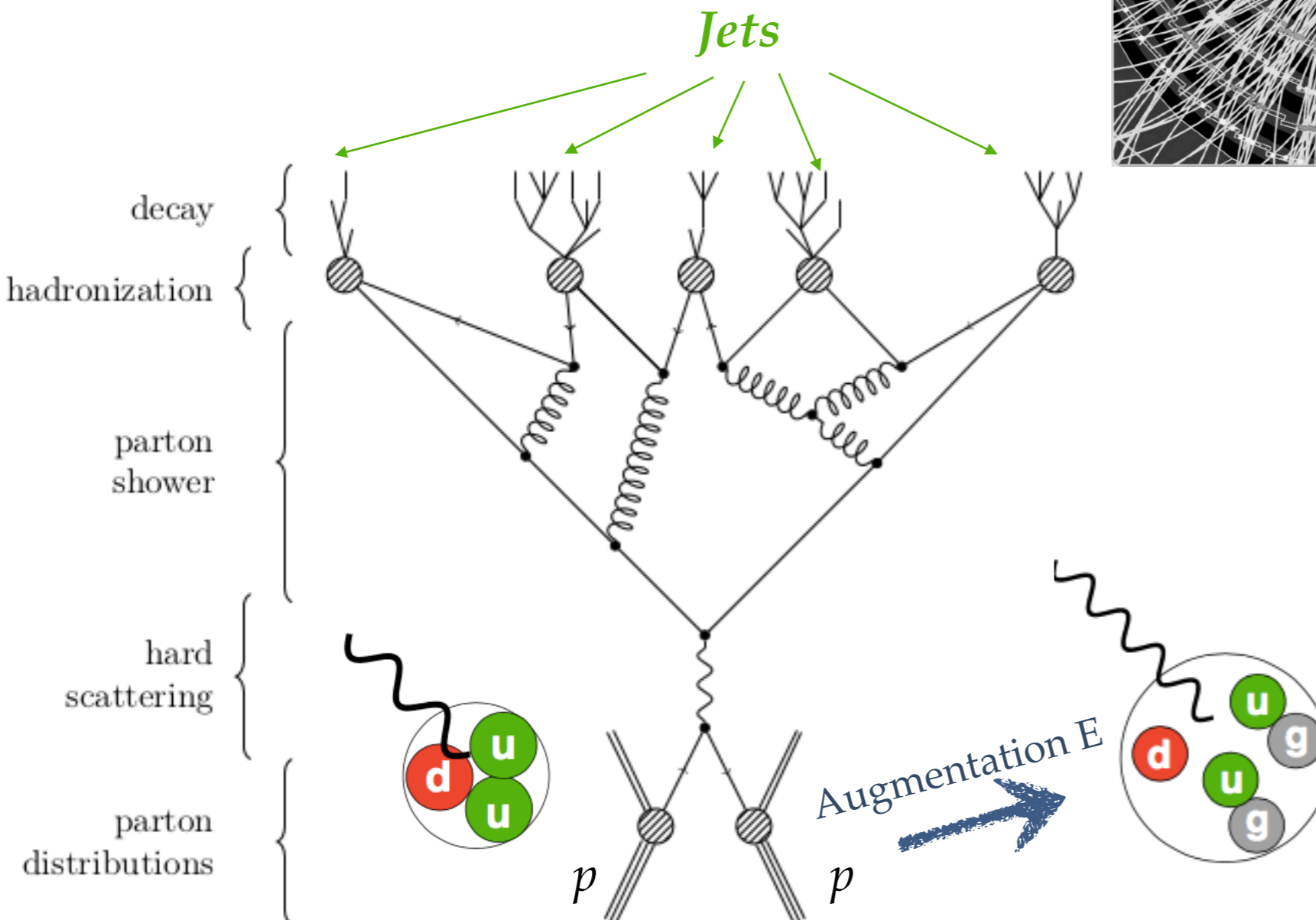
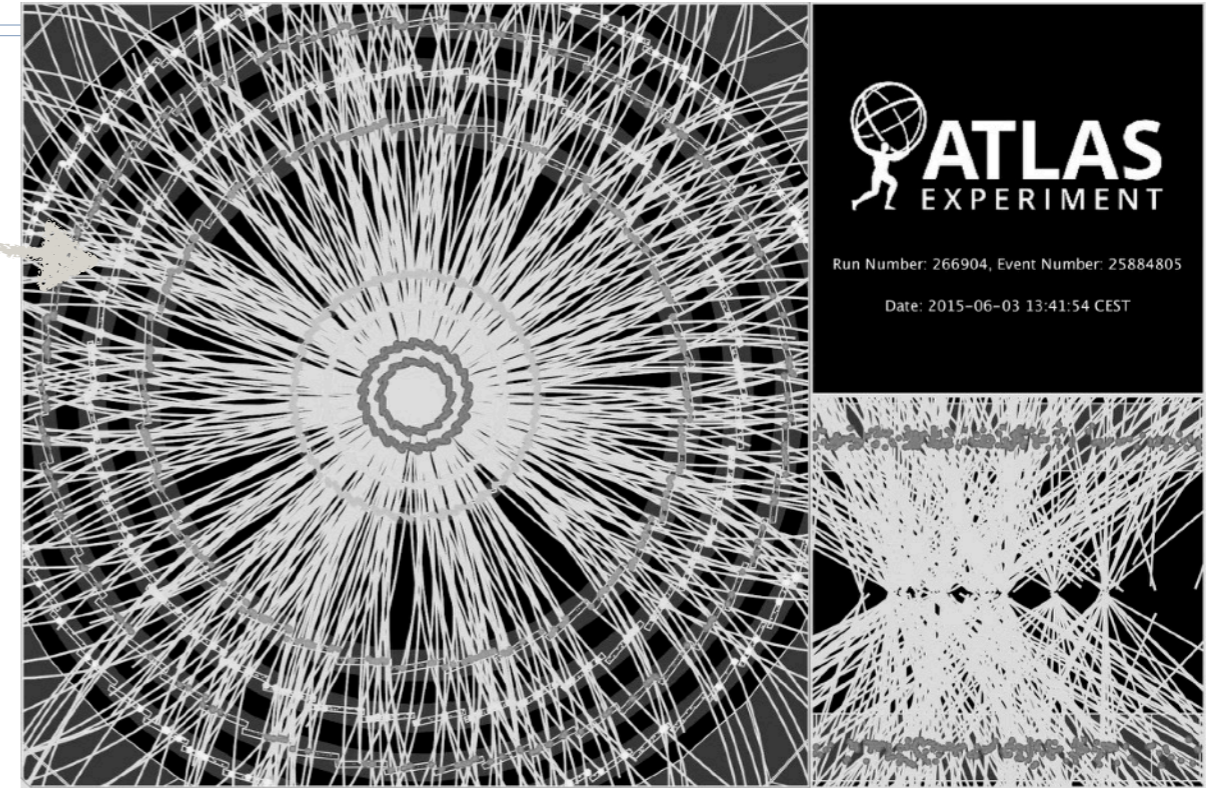
La physique au LHC

- ❖ Collisions p-p au LHC difficiles à étudier
 - ❖ collisions multiples
 - ❖ production gigantesque d'hadrons
 - ❖
 - ❖



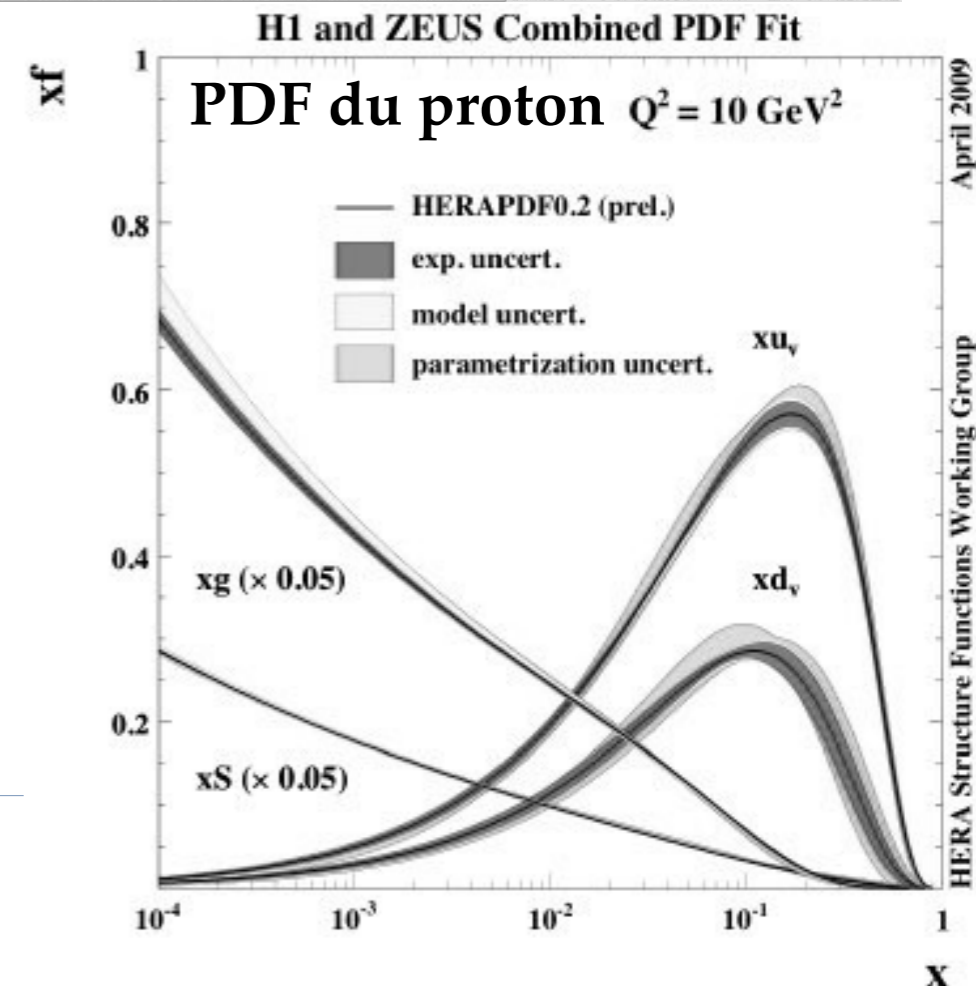
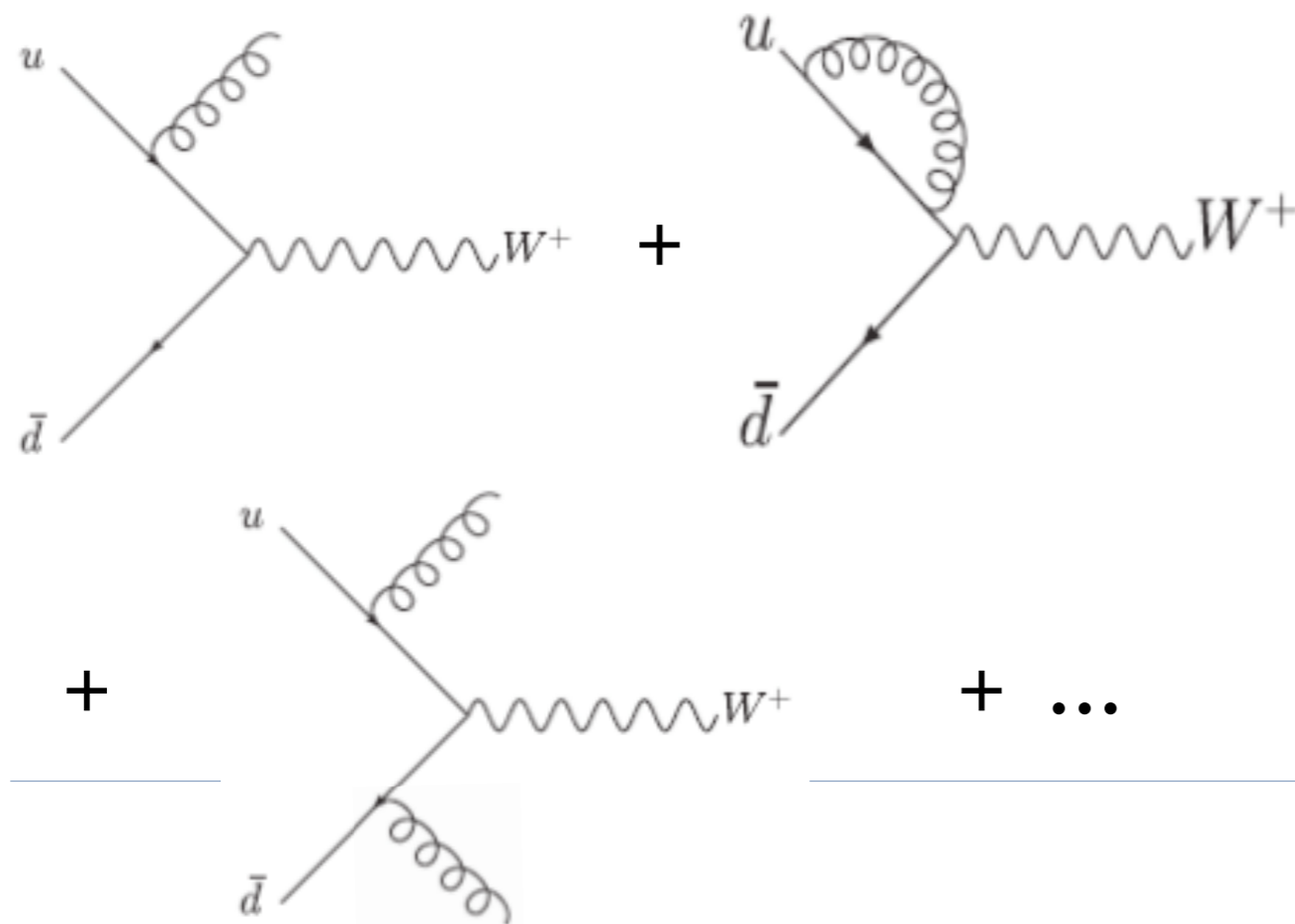
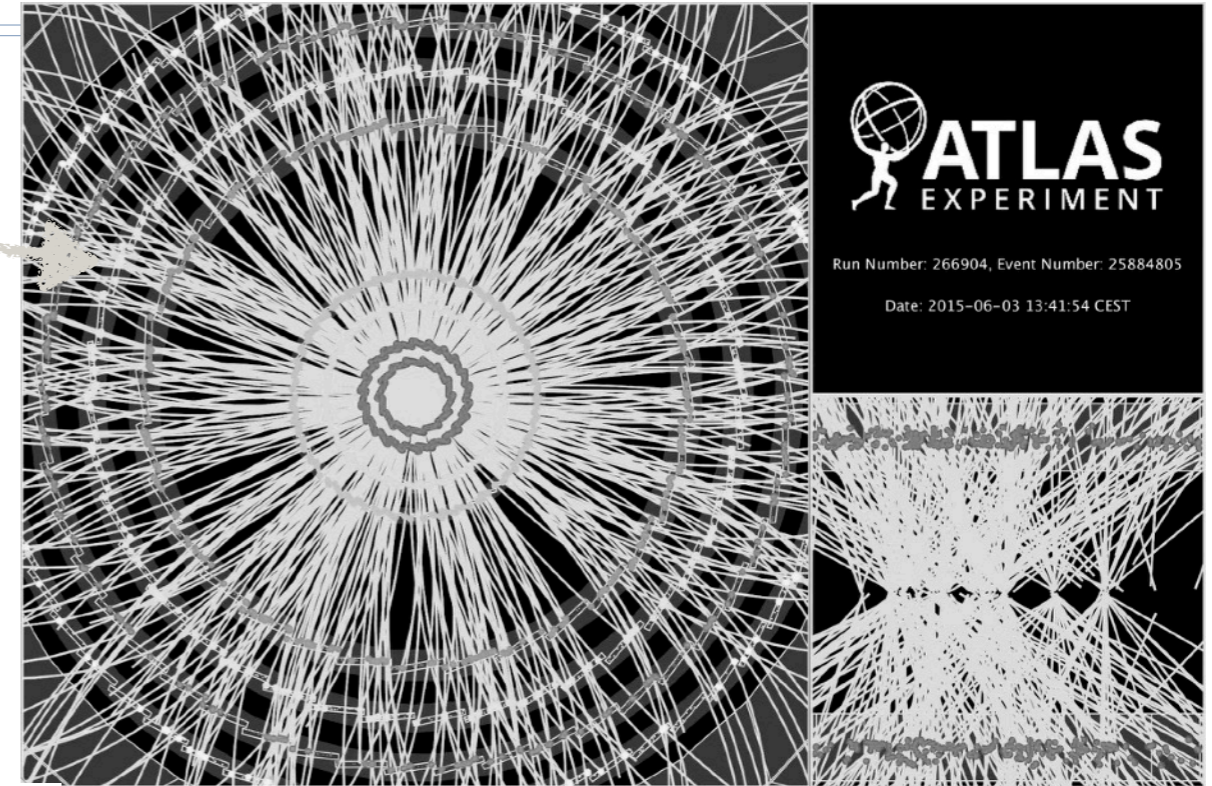
La physique au LHC

- ❖ Collisions p-p au LHC difficiles à étudier
 - ❖ collisions multiples
 - ❖ production gigantesque d'hadrons
 - ❖ état initial inconnu (qq, qg, gg ?), structure proton, calculs p->hadrons délicats



La physique au LHC

- ❖ Collisions p-p au LHC difficiles à étudier
 - ❖ collisions multiples
 - ❖ production gigantesque d'hadrons
 - ❖ état initial inconnu (qq, qg, gg ?), structure proton, calculs p->hadrons délicats
 - ❖ calculs perturbatifs, connus à ordre donné, effets ordre supérieurs (LO, NLO, ...)

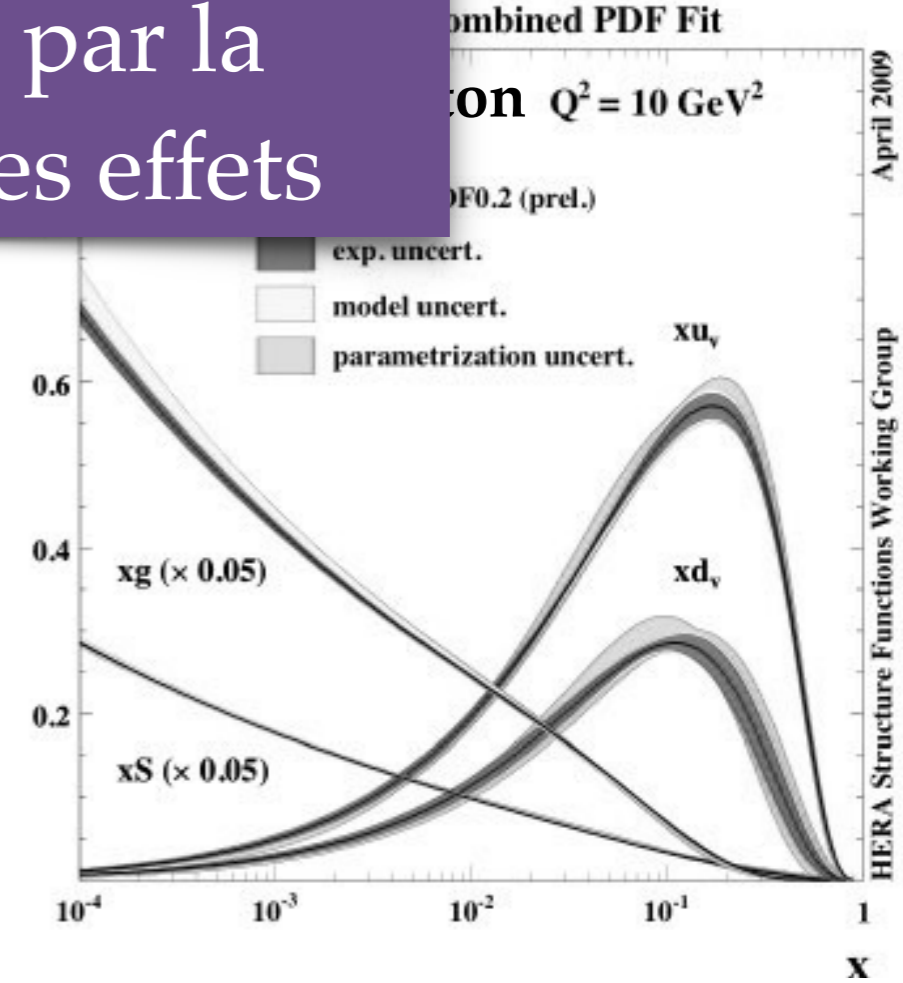
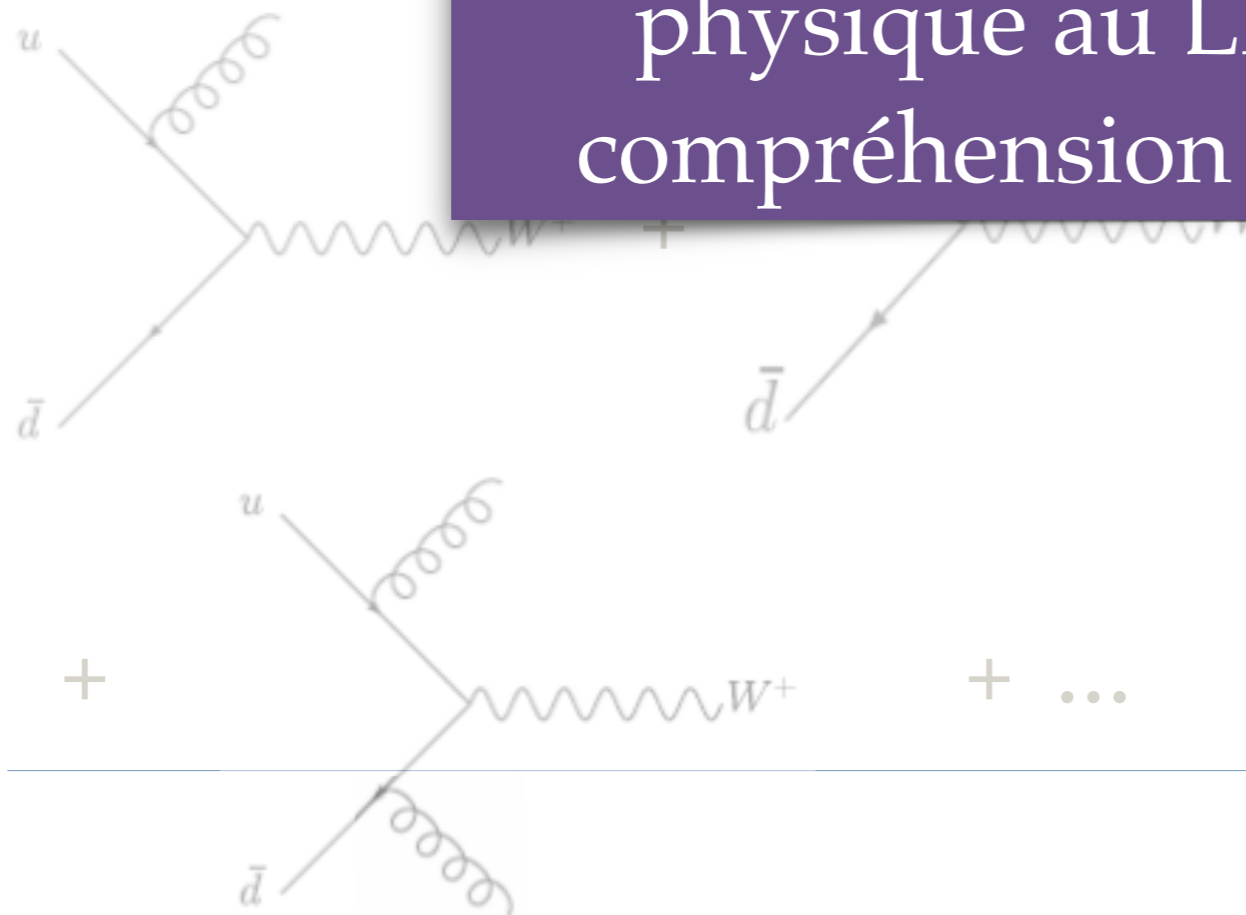


La physique au LHC

- ❖ Collisions p-p au LHC difficiles à étudier
 - ❖ collisions multiples
 - ❖ production gigantesque d'hadrons
 - ❖ état initial inconnu (qq, qg, gg ?), structure proton, calculs théoriques délicats
 - ❖ calculs perturbatifs, connus à ordre donné, effets ordre supérieur (LO, NLO, ...)



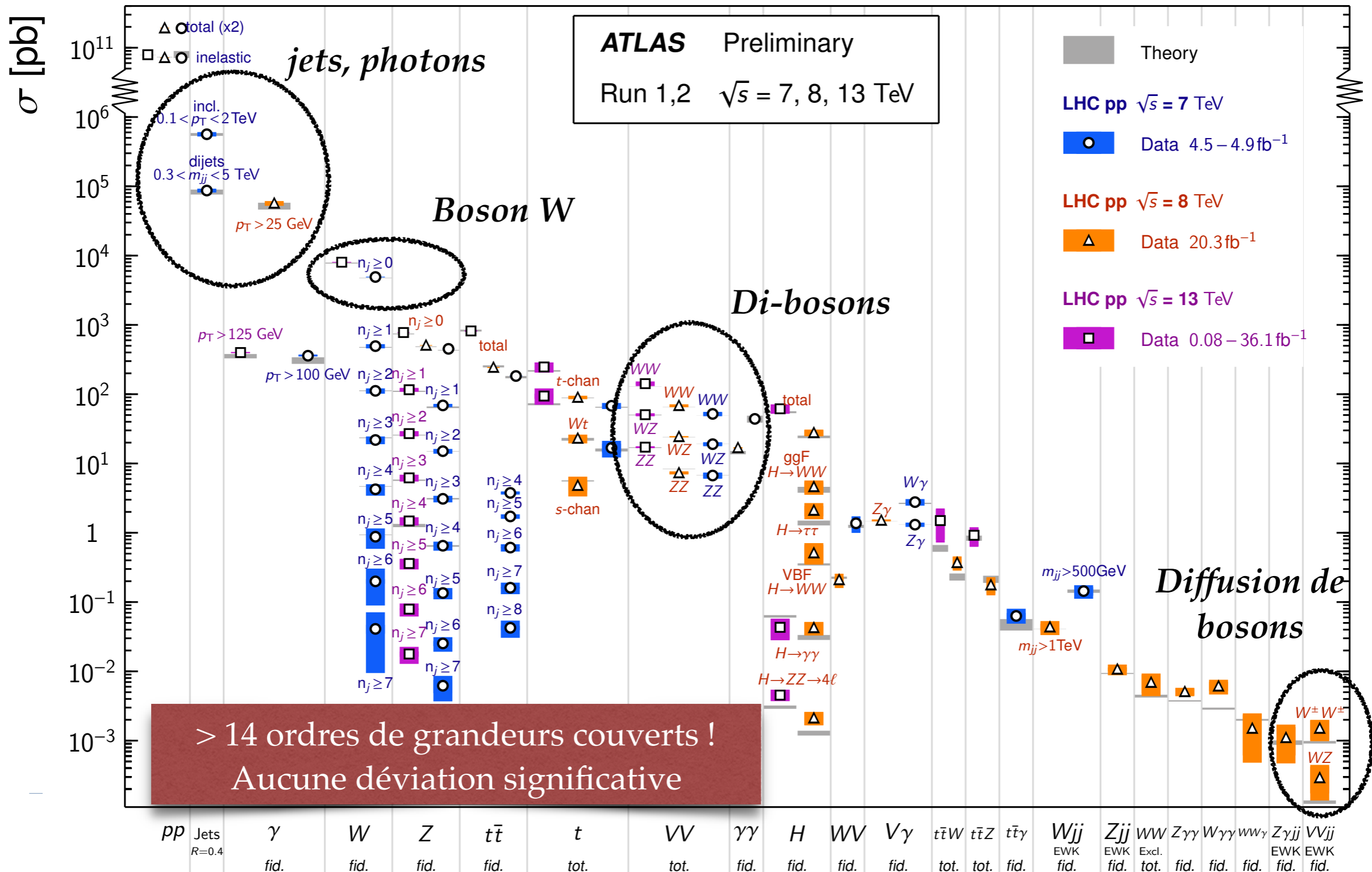
Trouver et interpréter la nouvelle physique au LHC passe par la compréhension de tous ces effets



L'état des lieux du MS avec ATLAS en 2017...⁸

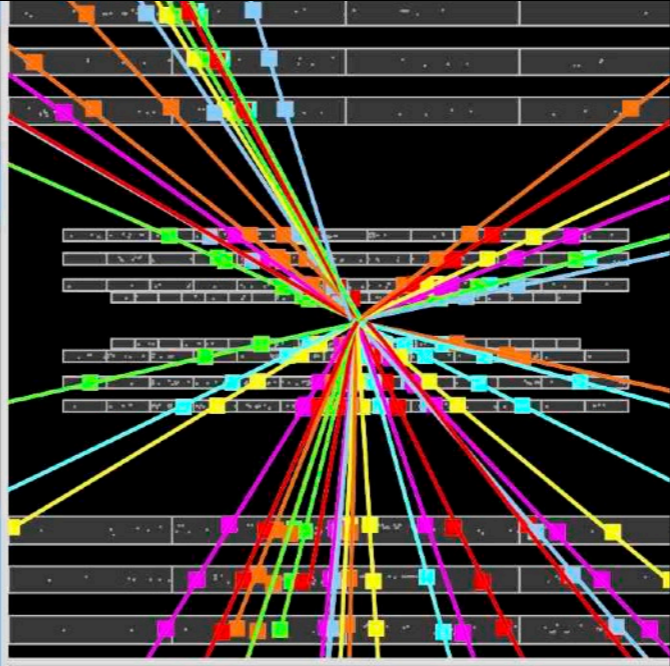
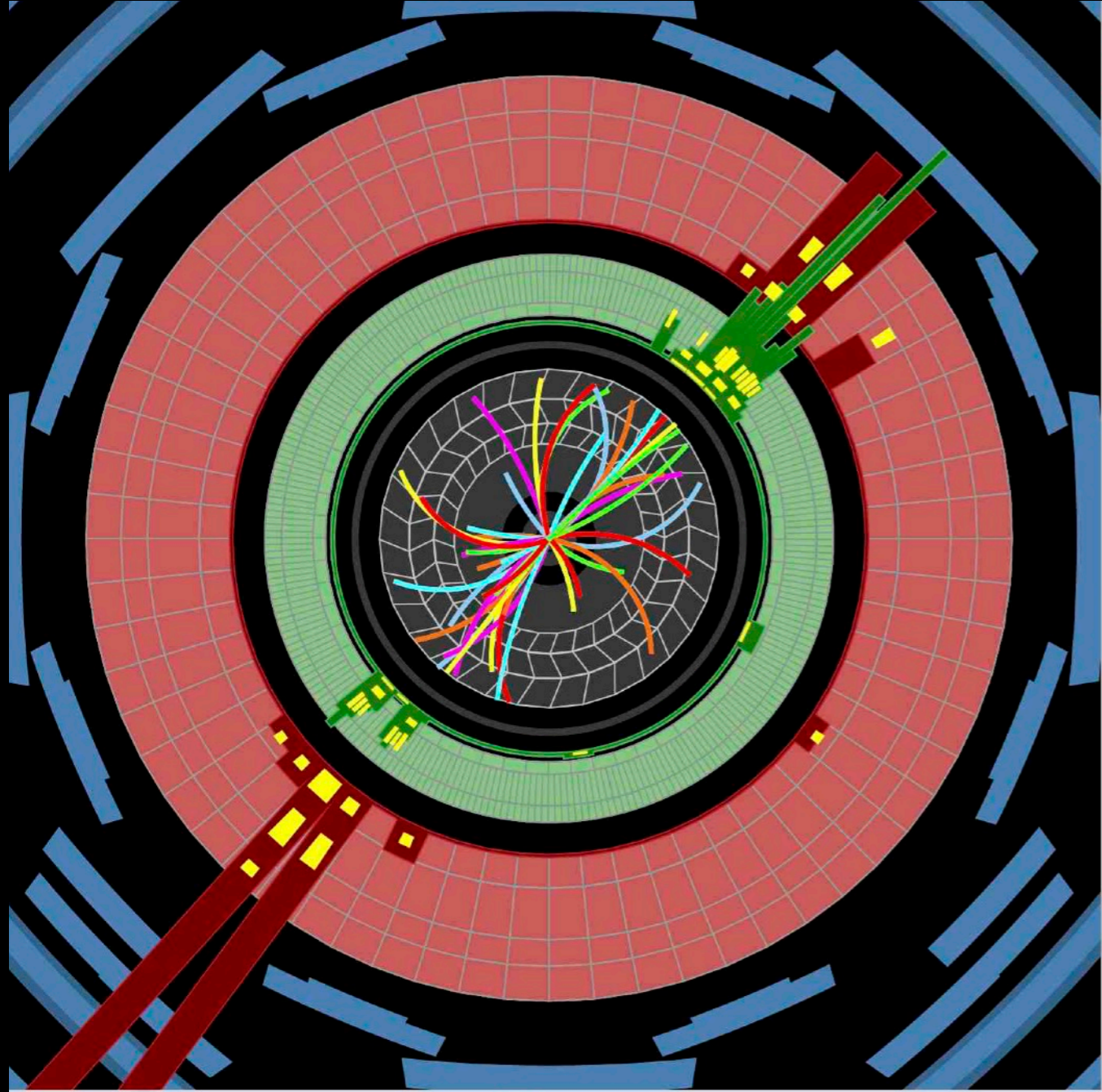
Standard Model Production Cross Section Measurements

Status: May 2017



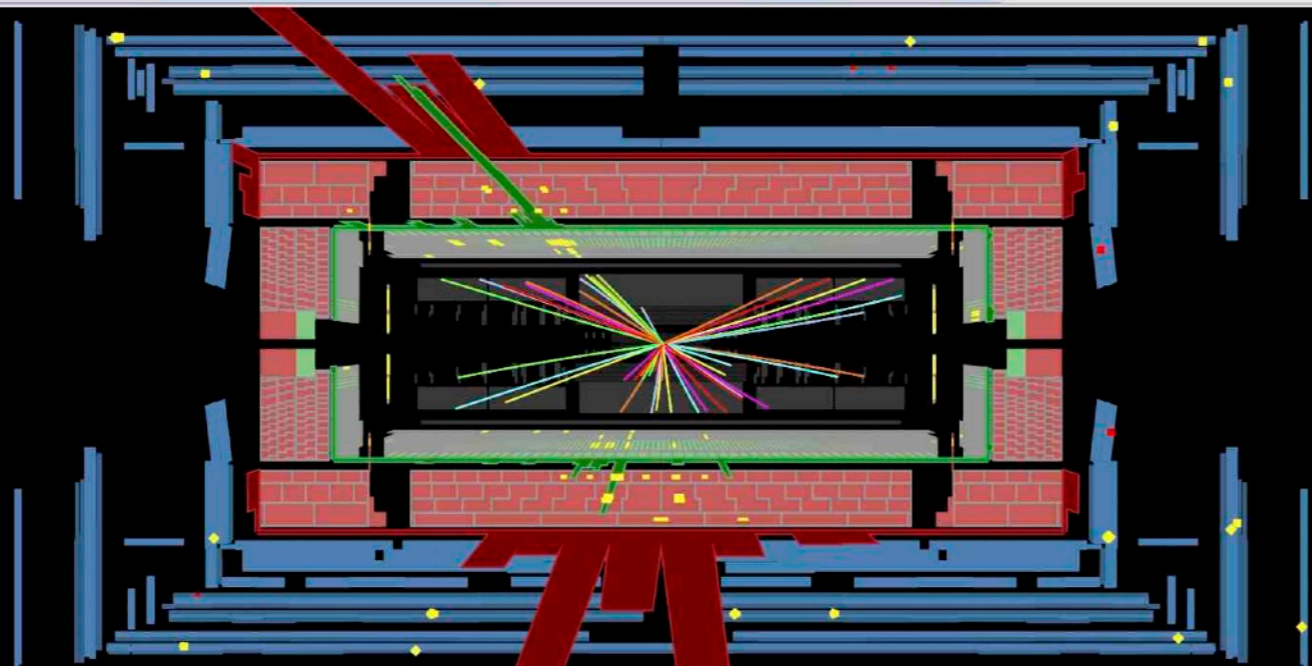
Production de jets dans ATLAS

Objets les plus produits au LHC



Run Number: 265573, Event Number: 4417696

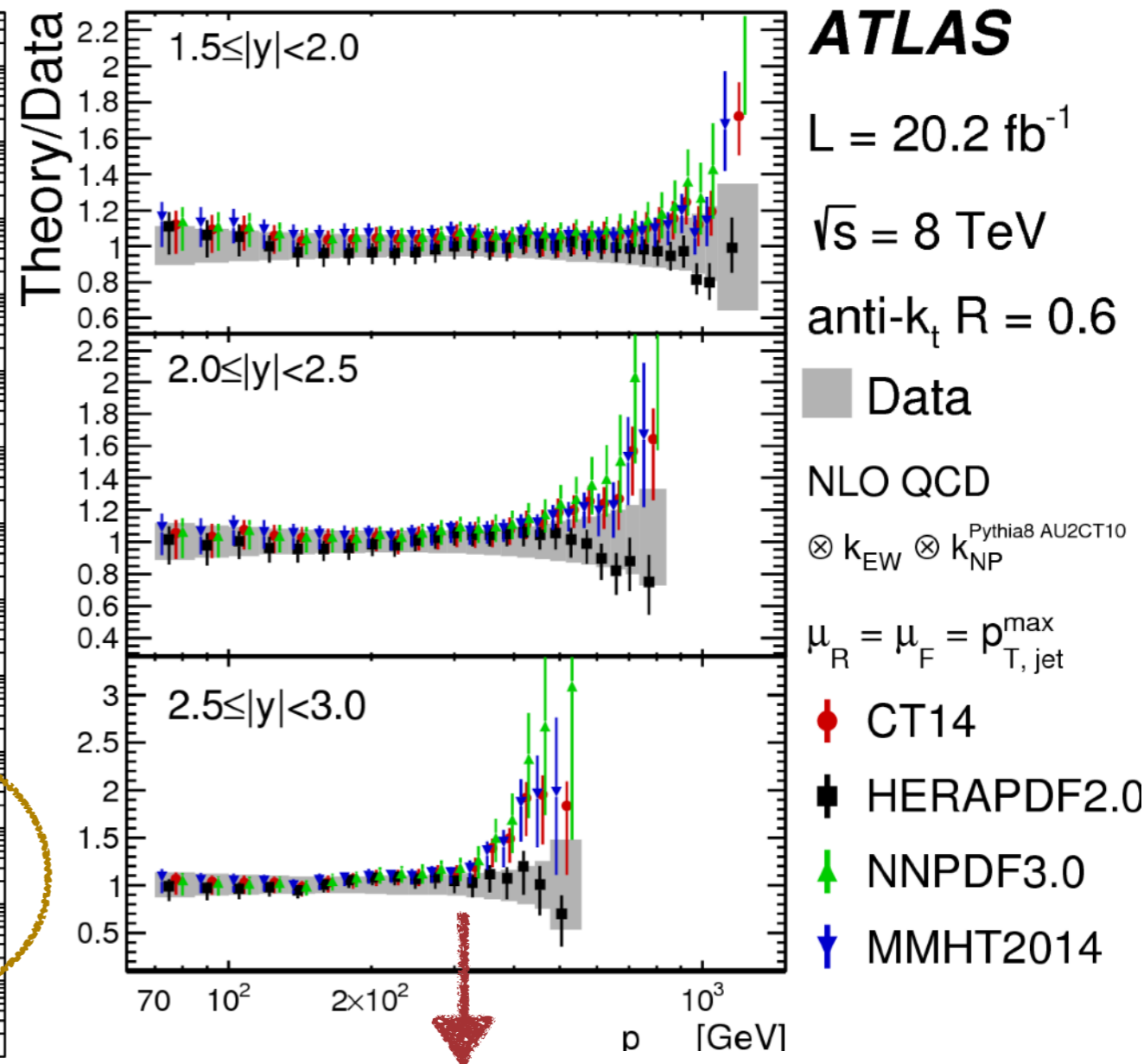
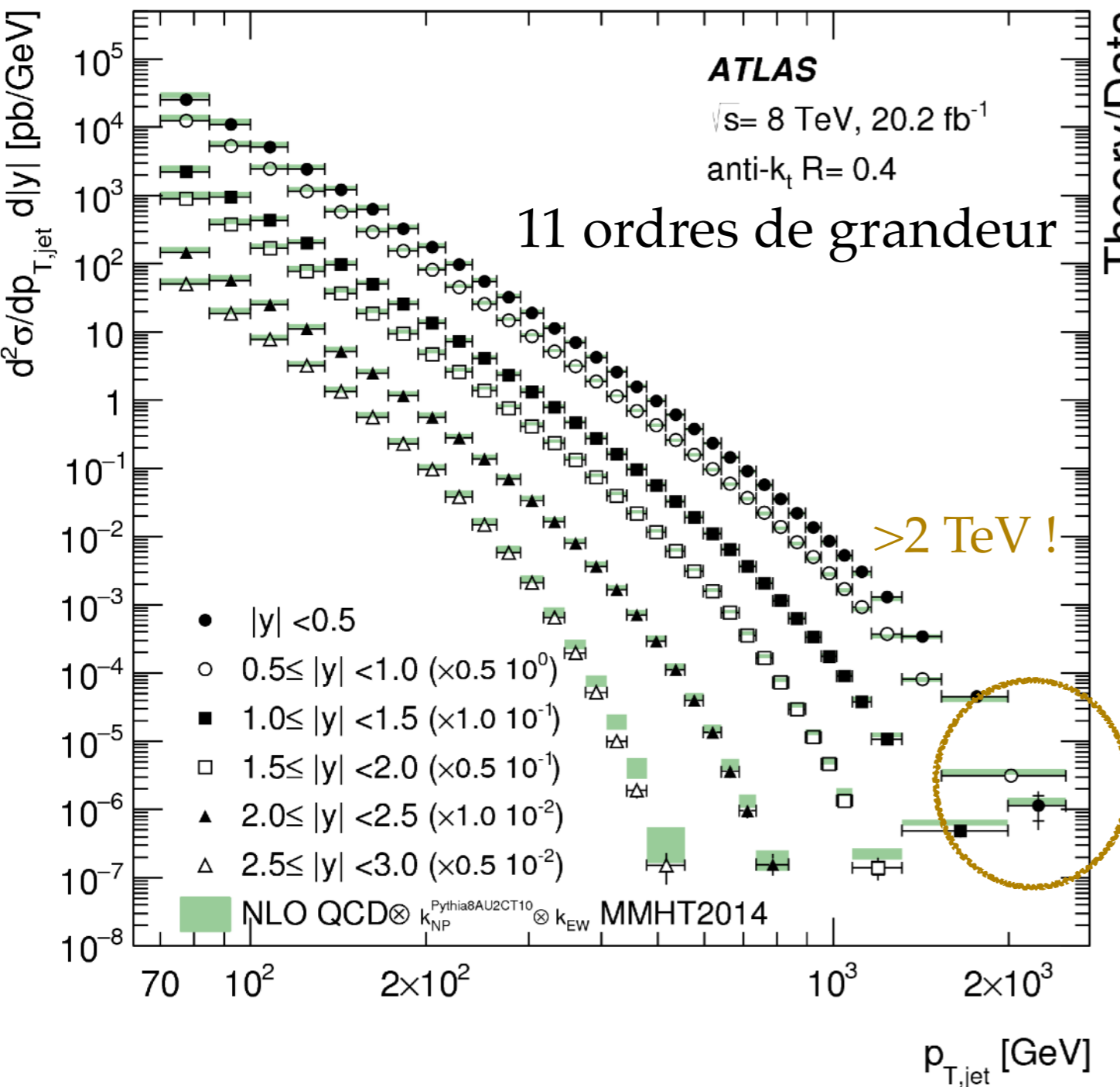
Date: 2015-05-21 11:52:52 CEST



Bruit de fond pour beaucoup d'analyses (ex: résonance 2 jets)

Production de jets

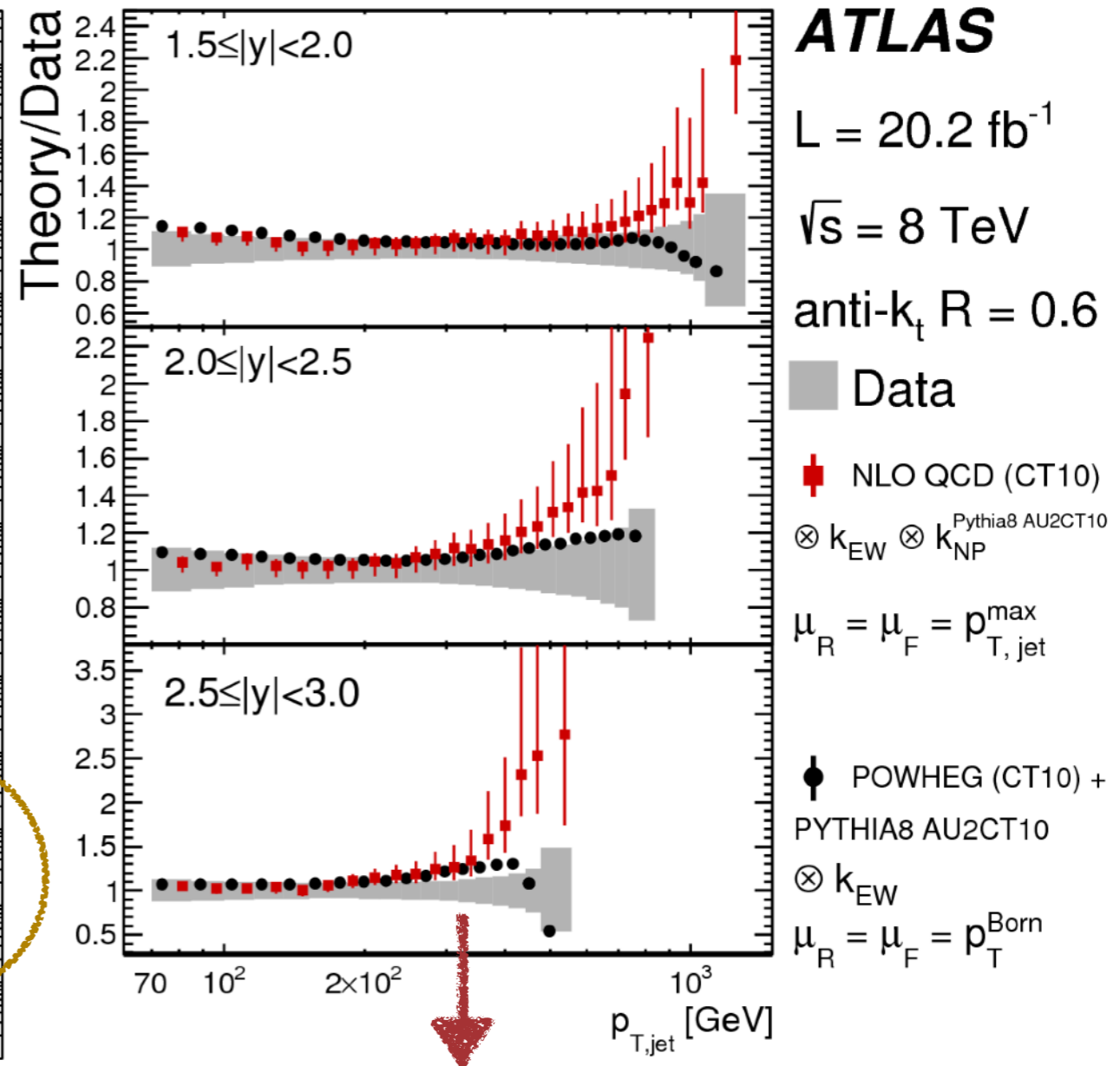
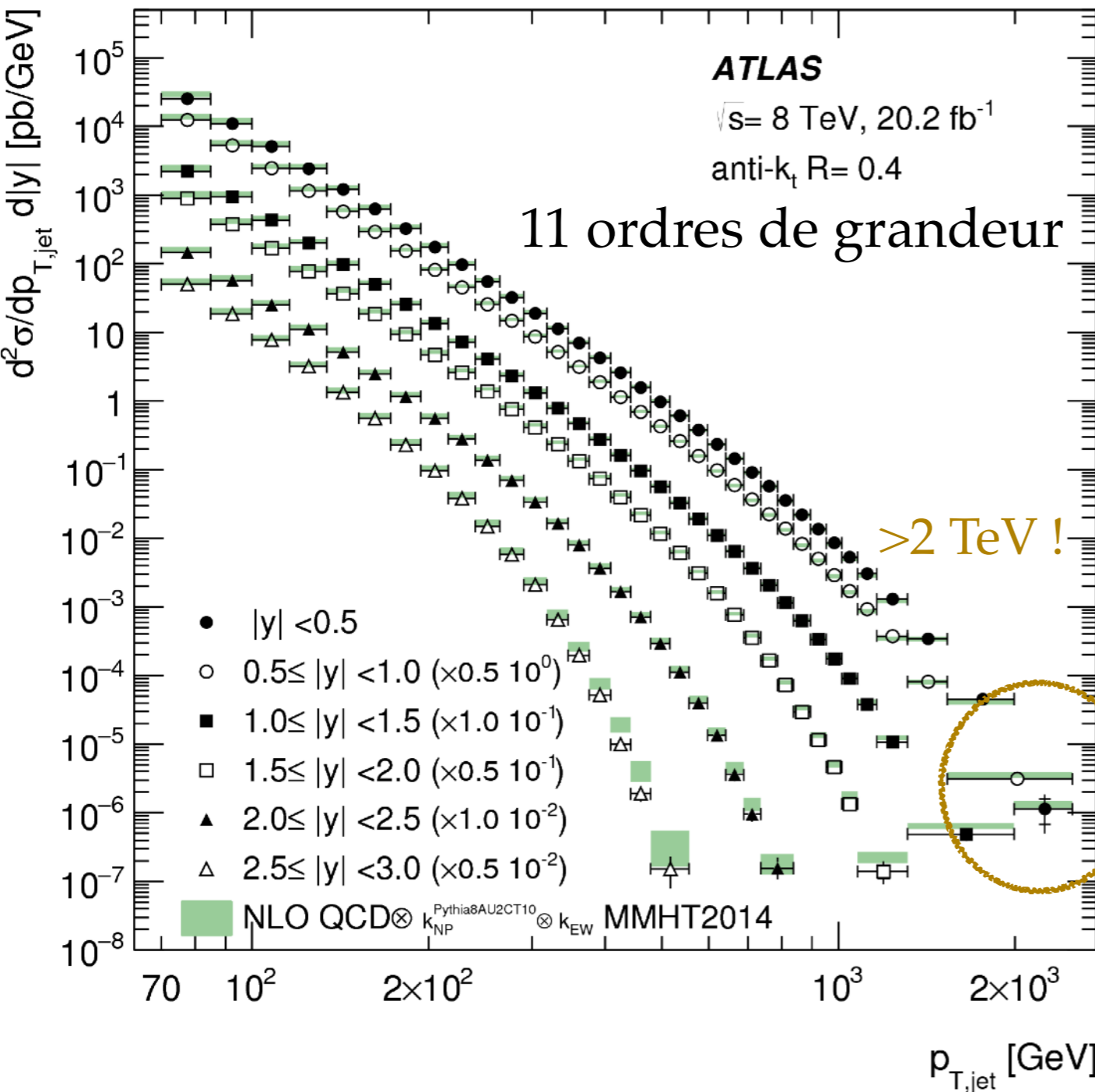
- ❖ Section efficace différentielle de la production d'au moins 1 jet en fonction de l'impulsion transverse et de la position du jet (Y =rapidity)
- ❖ Incertitude expérimentale dominante : étalonnage en énergie des jets



Pouvoir de contrainte sur les pdfs...

Production de jets

- ❖ Section efficace différentielle de la production d'au moins 1 jet en fonction de l'impulsion transverse et de la position du jet (Y =rapidity)
- ❖ Incertitude expérimentale dominante : étalonnage en énergie des jets



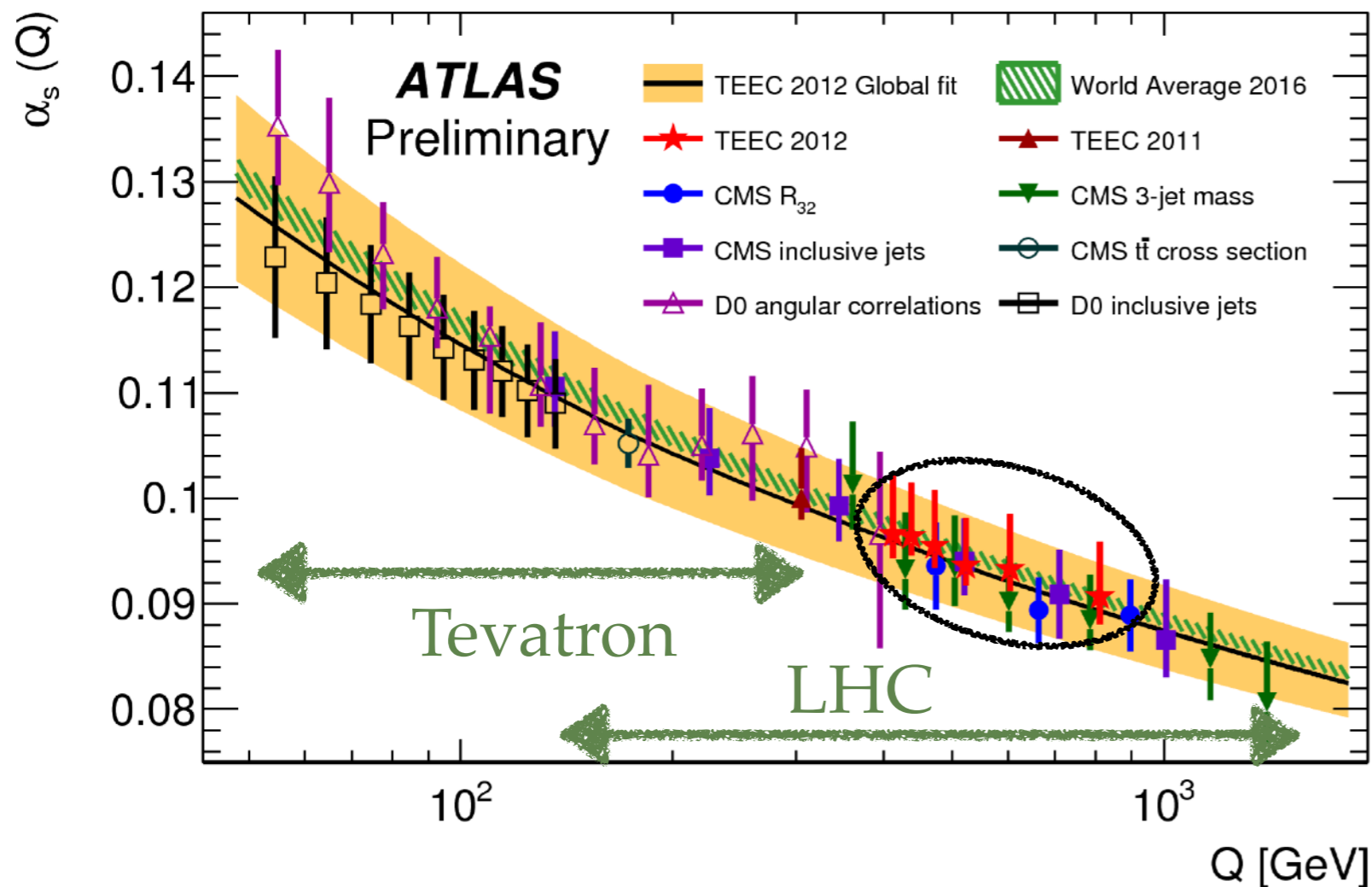
...et sur le modèle $p \rightarrow$ hadrons

Production multiples de jets

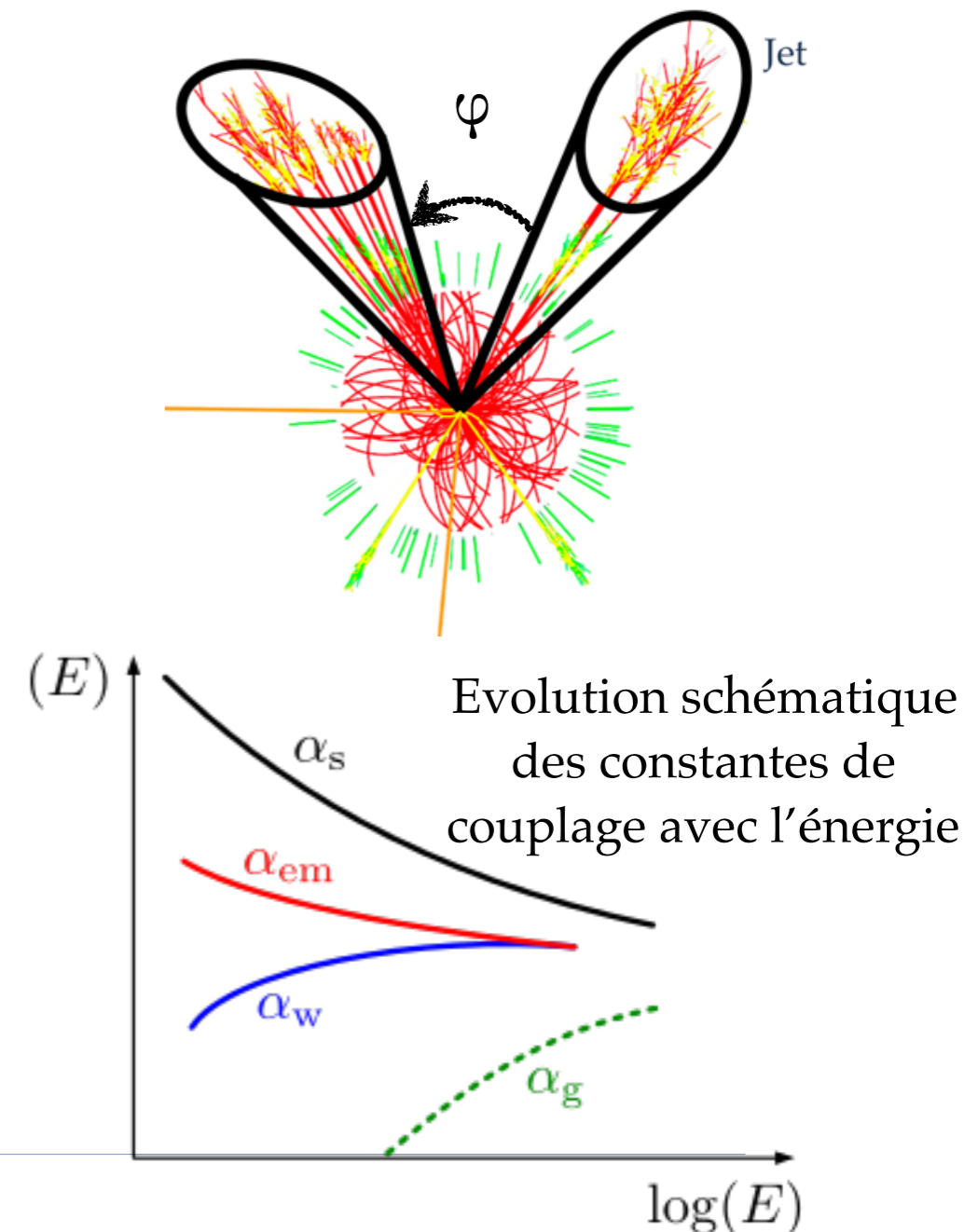
12

En préparation (mai 2017)

- ❖ Différence en azimuth φ deux par deux de jets, pondérée par l'énergie du système
- ❖ Sensible à la constante de couplage forte α_s , peu sensible aux autres erreurs théoriques et expérimentales



Mesure la plus précise de α_s du LHC à ce jour



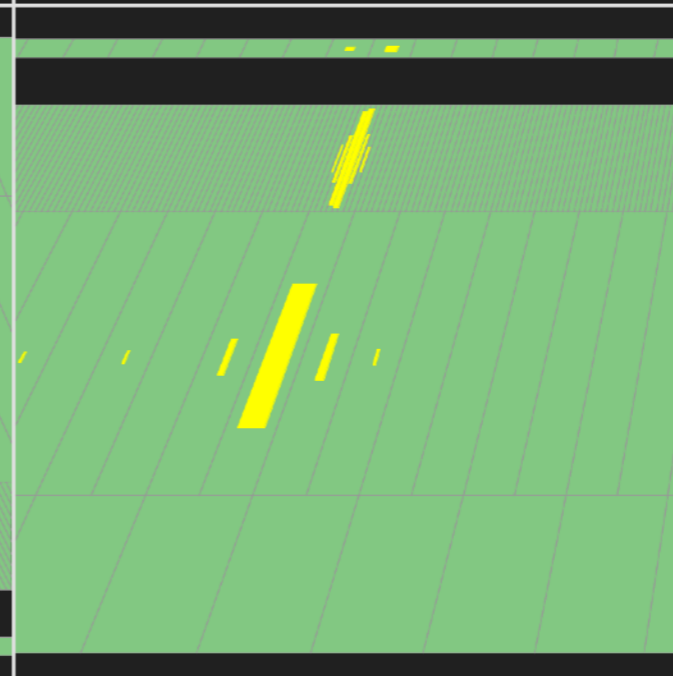
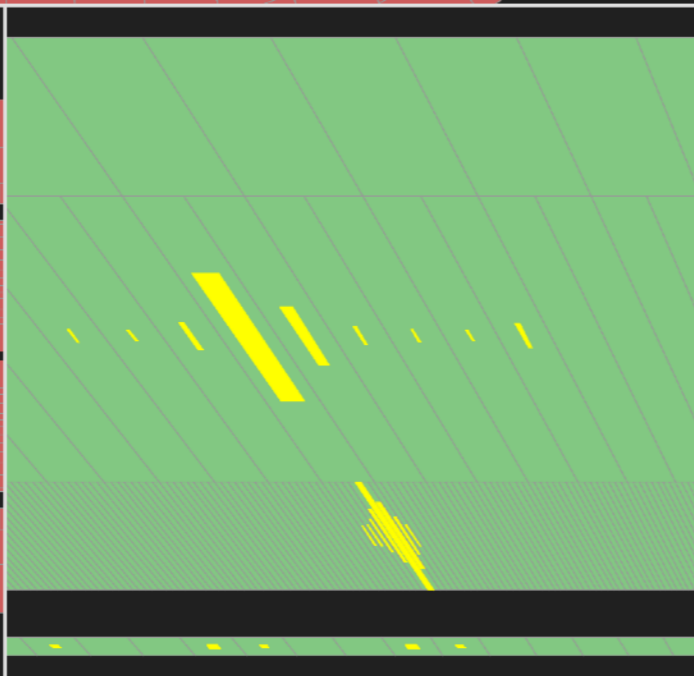
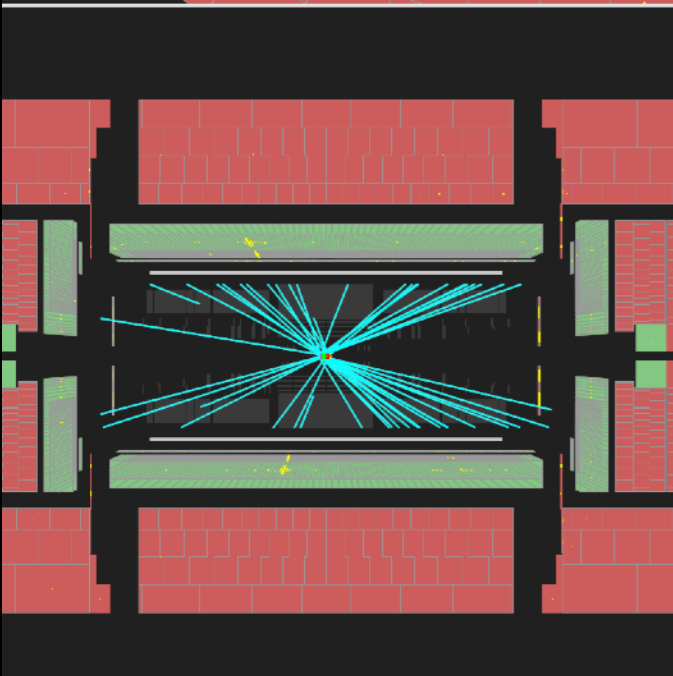
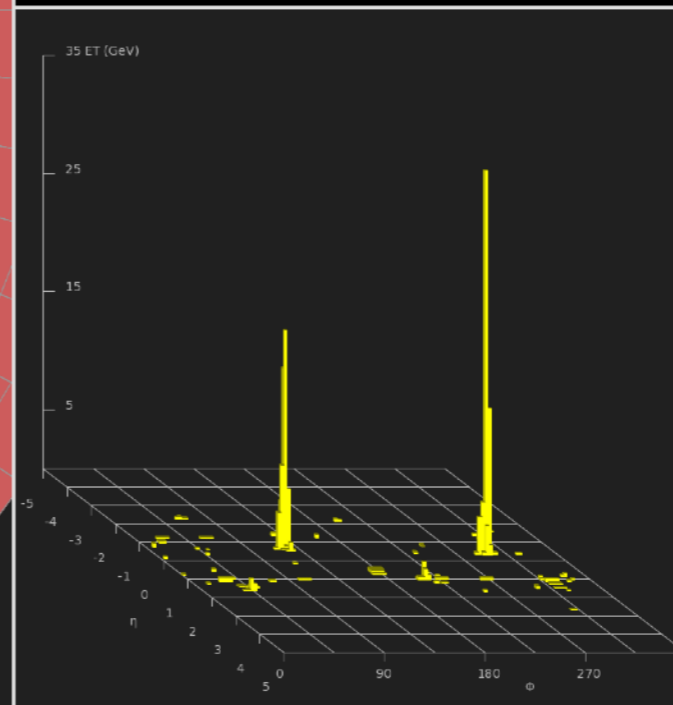
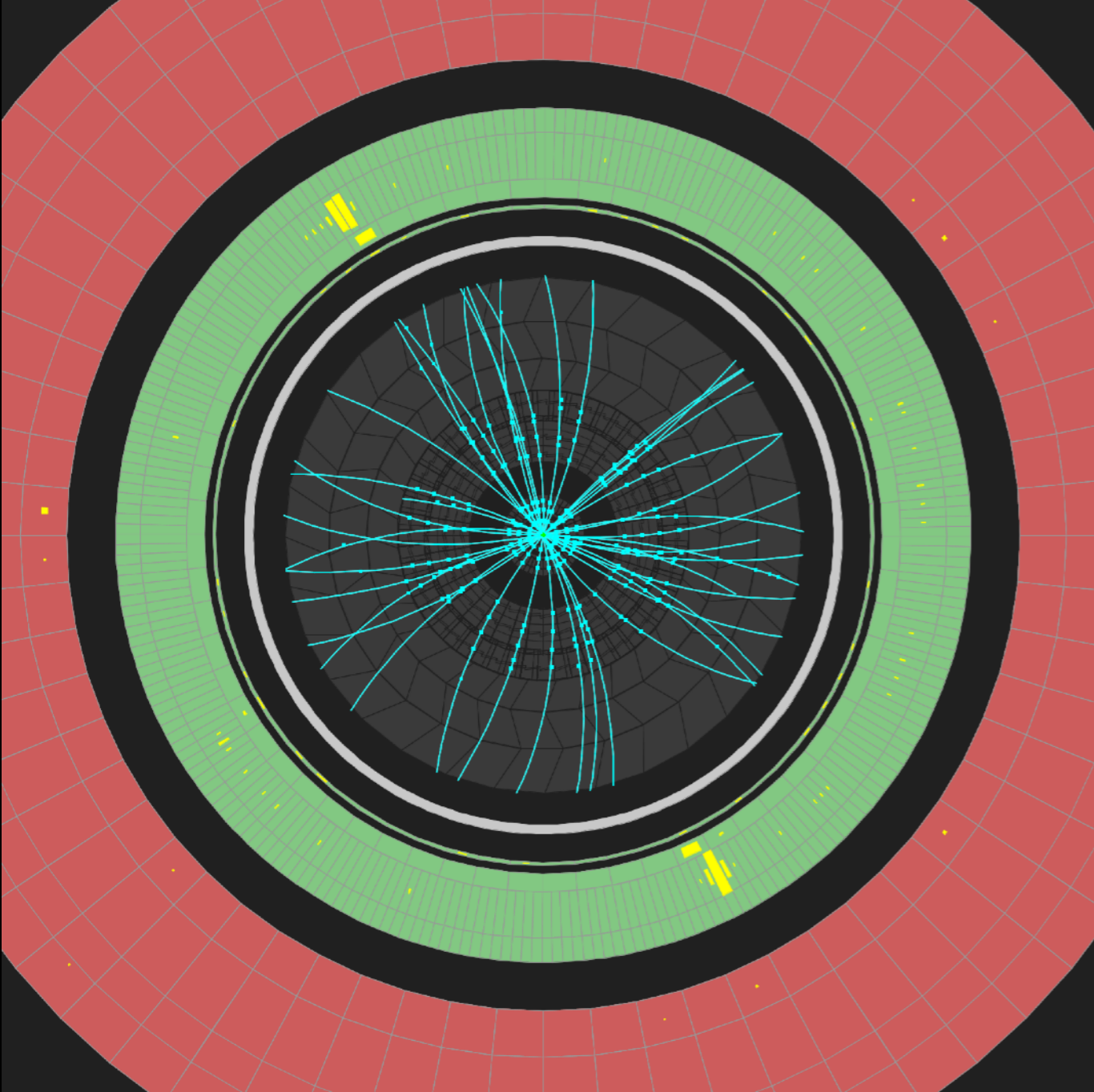


Run Number: 191426, Event Number: 86694501

Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC

13

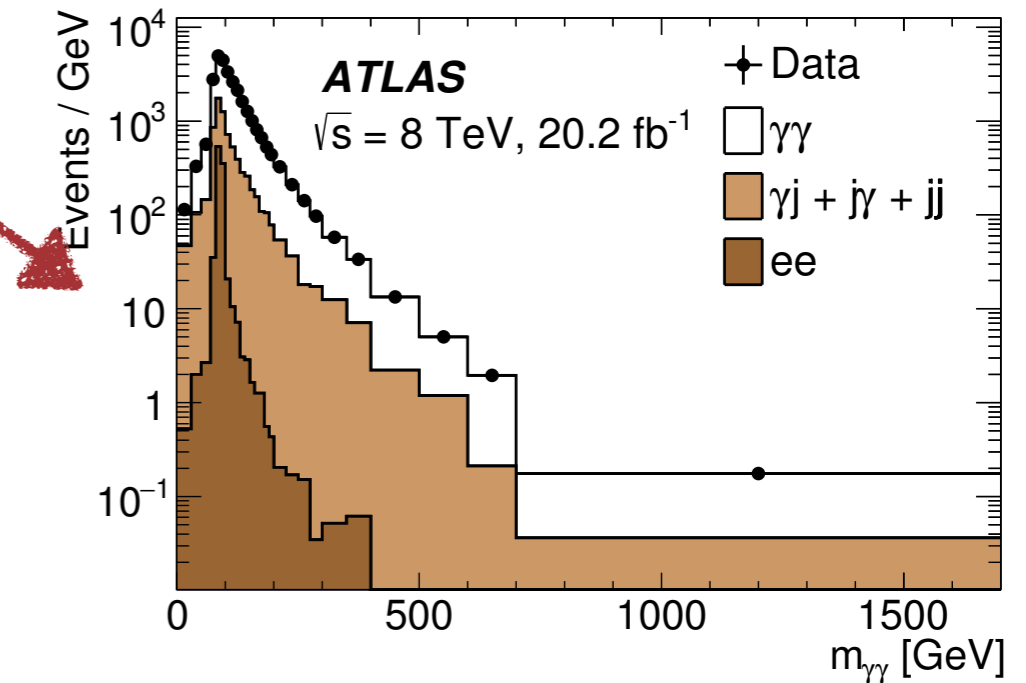
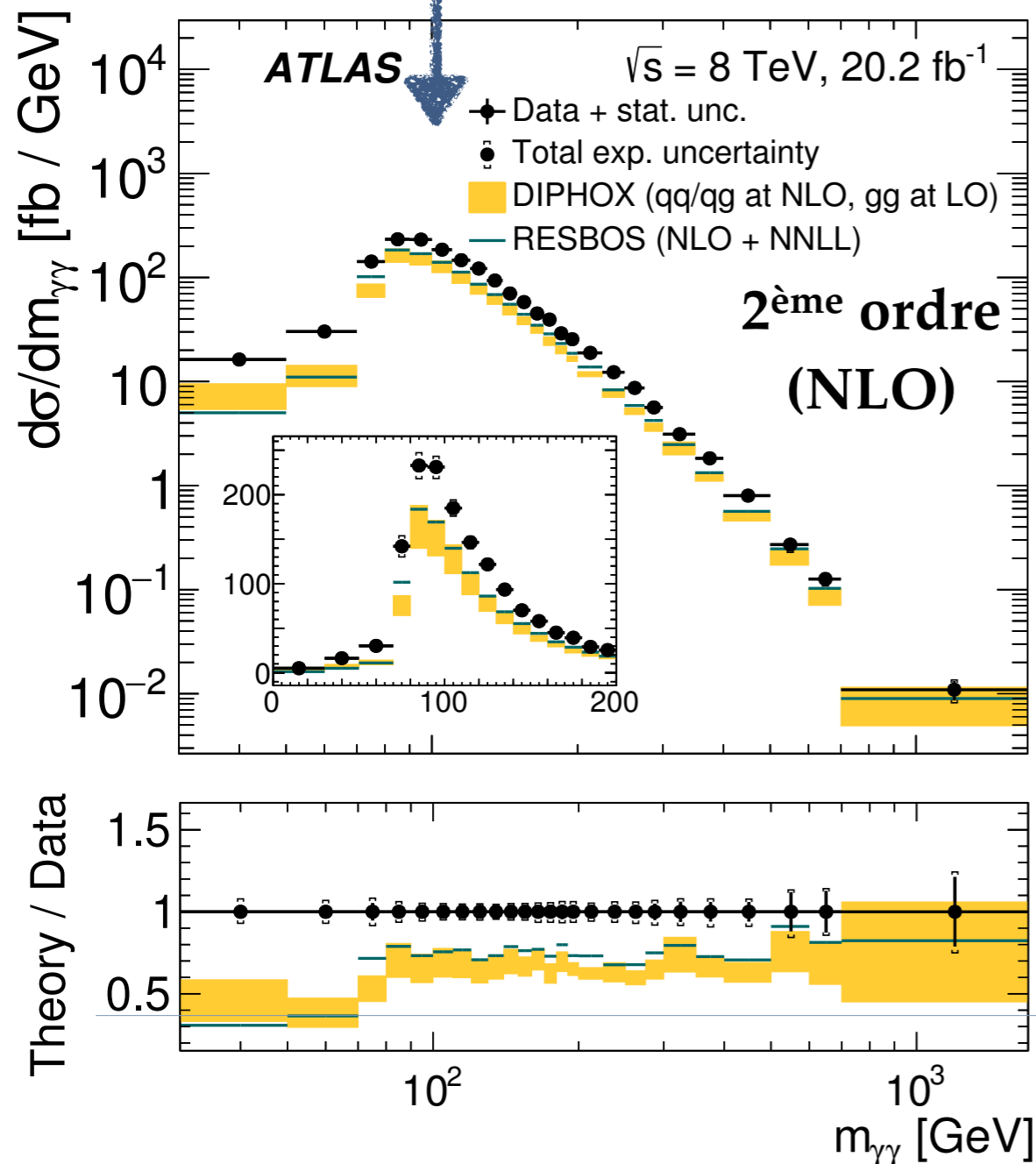
Production de photons dans ATLAS



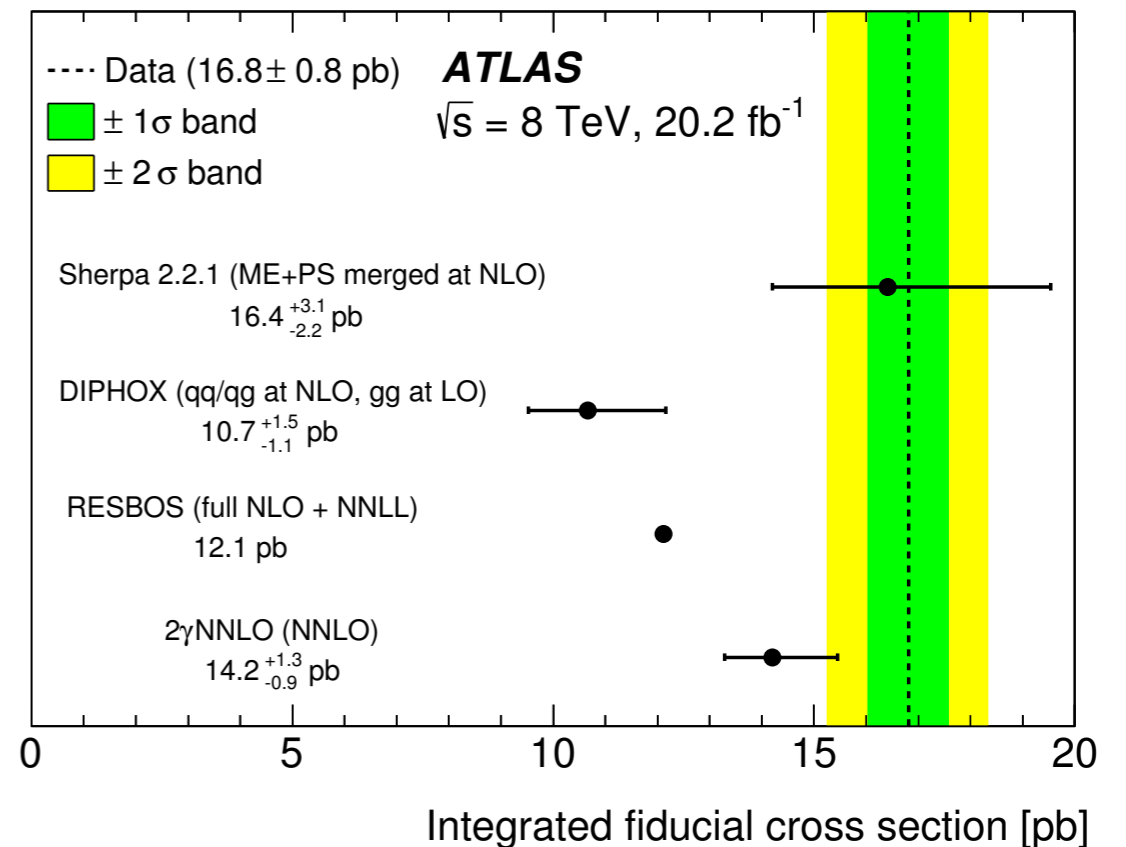
Bruit de fond pour
beaucoup d'analyses
(ex: Higgs- $\rightarrow\gamma\gamma$,
résonance $\gamma\gamma$ à haute
masse)

Production de paires de photons

- ❖ **Bruit de fond** : jets mal identifiés, extraction avec méthode basée sur les données (forme des gerbes des photons et isolation)
- ❖ Section efficace **totale** et **différentielle** en fonction de plusieurs variables dont masse invariante diphoton $m_{\gamma\gamma}$



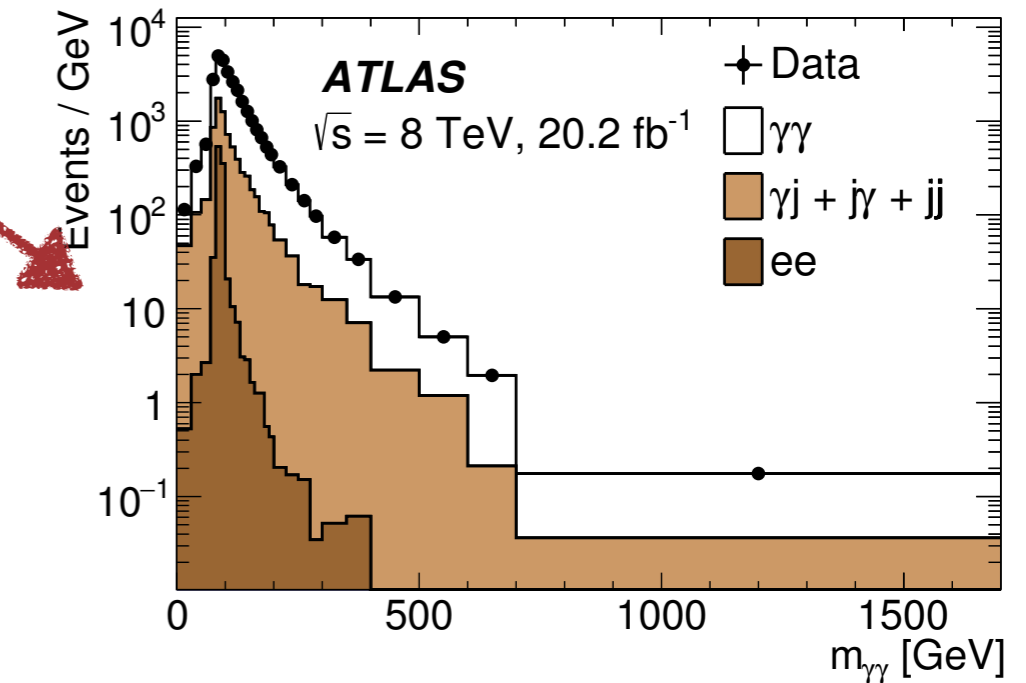
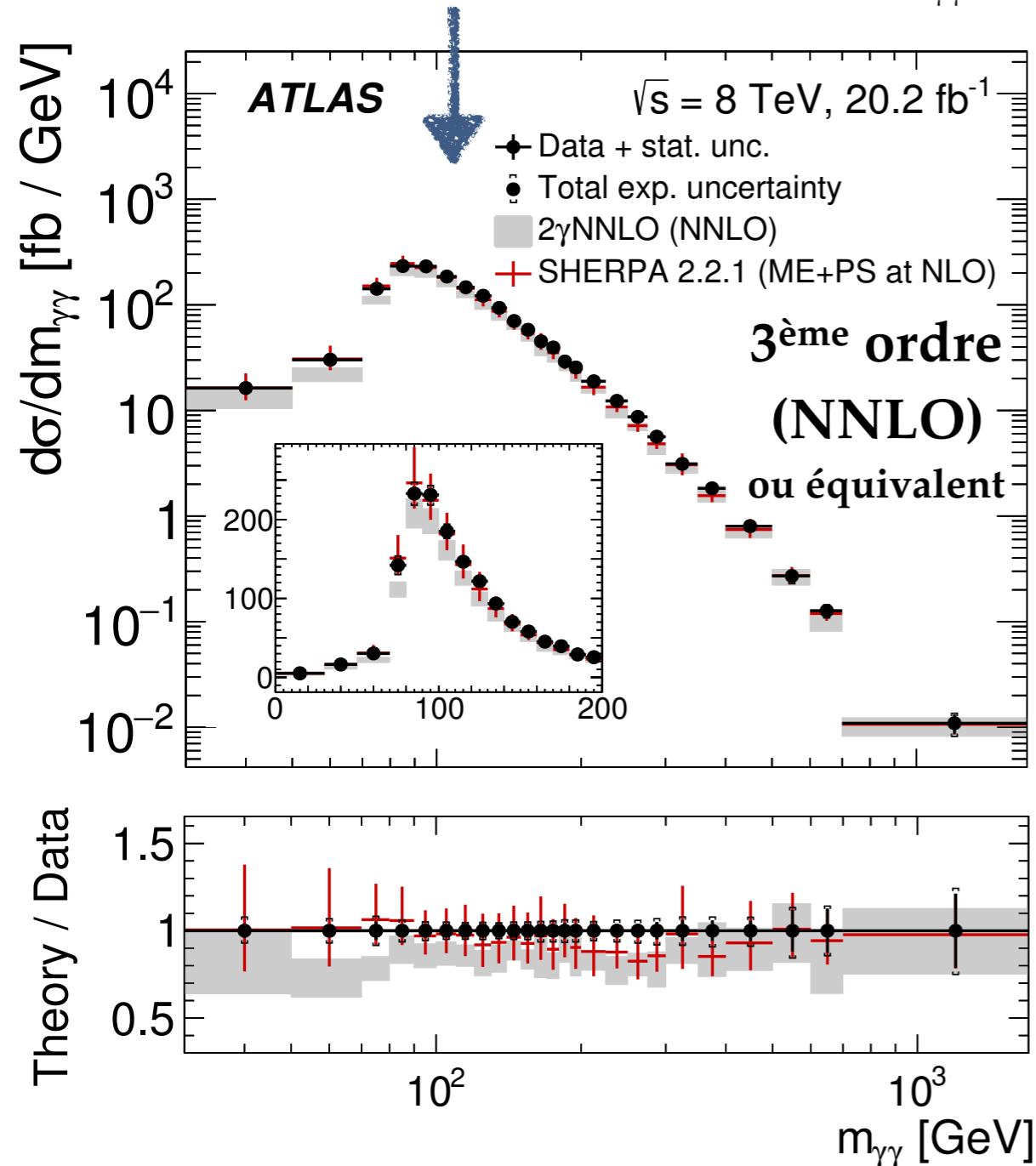
Name and type of computation



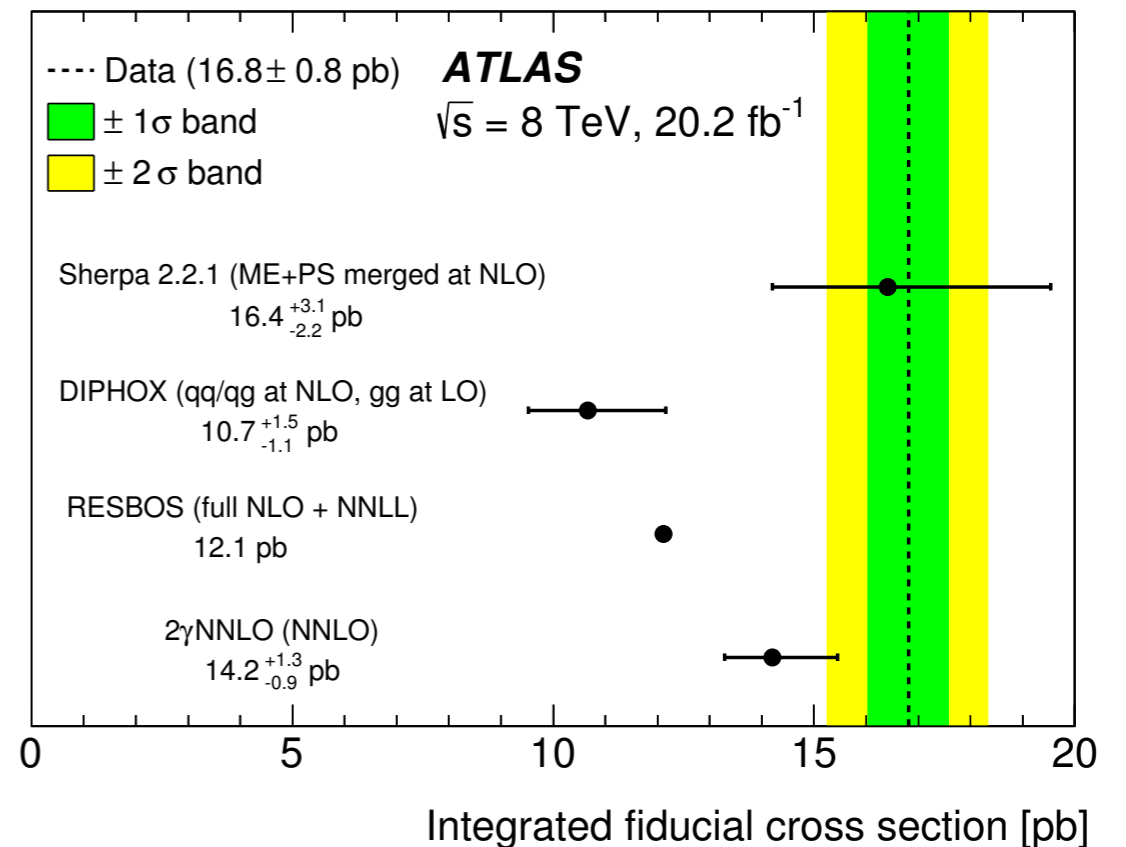
Pouvoir de contrainte sur les générateurs et modèles de p→hadrons

Production de paires de photons

- ❖ **Bruit de fond** : jets mal identifiés, extraction avec méthode basée sur les données (forme des gerbes des photons et isolation)
- ❖ Section efficace **totale** et **différentielle** en fonction de plusieurs variables dont masse invariante diphoton $m_{\gamma\gamma}$



Name and type of computation

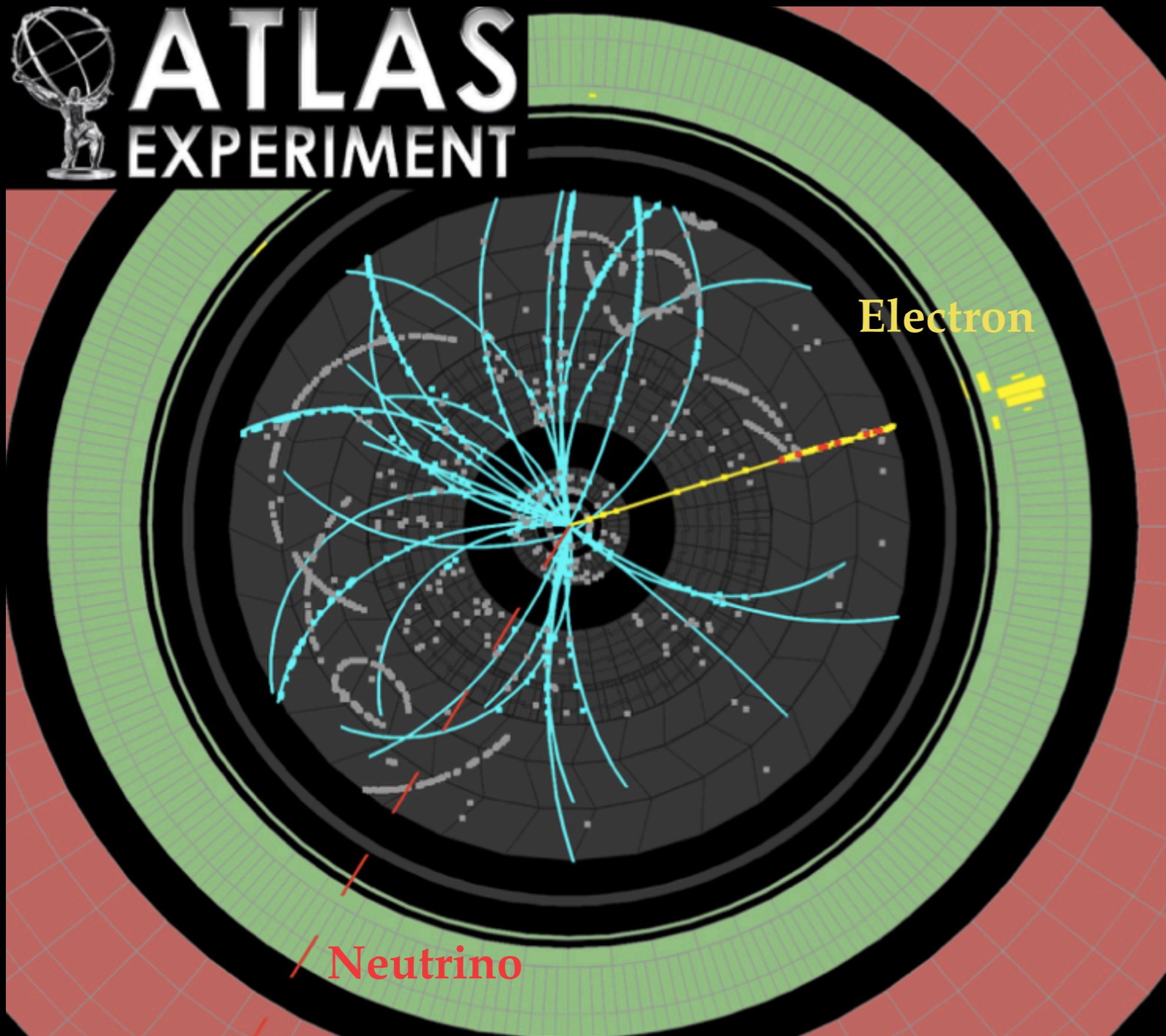


Pouvoir de contrainte sur les générateurs et modèles de p→hadrons

La masse du boson W



ATLAS
EXPERIMENT



**LHC = usine à
Ws !**

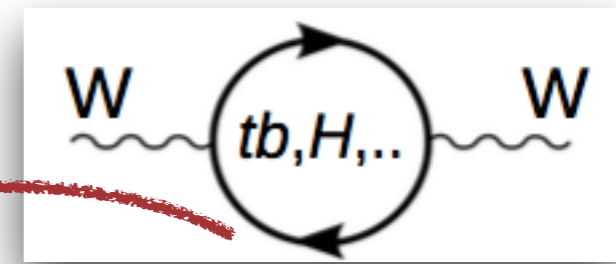
Données 7 TeV
(2011), 4.6 fb^{-1} ,
 $\sim 15 \text{ M de } W_s$

Faible empilement
de collisions

La masse du boson W

- ❖ Parmi paramètres MS, masse du W a plus grand pouvoir de contrainte sur présence de nouvelle physique

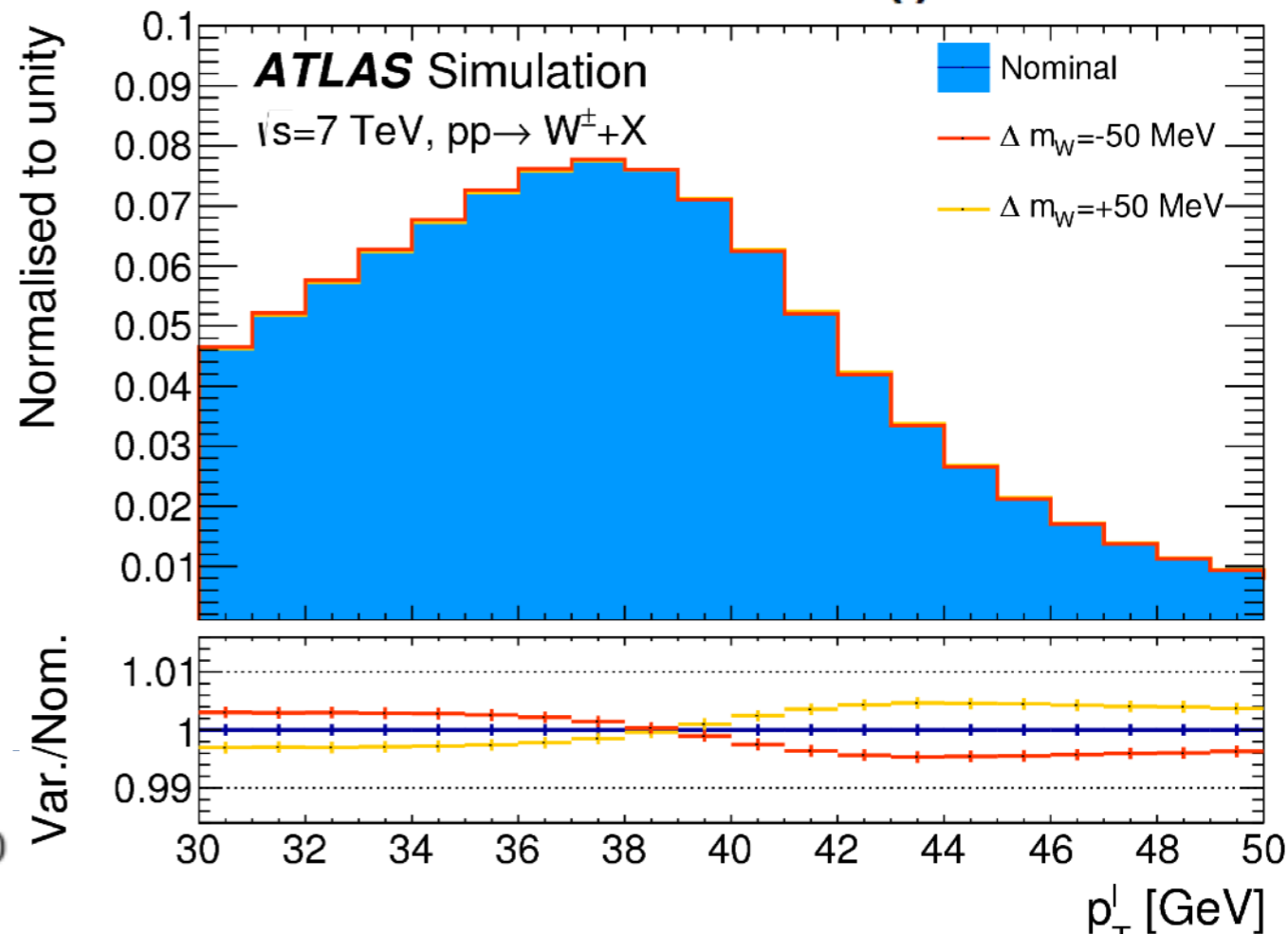
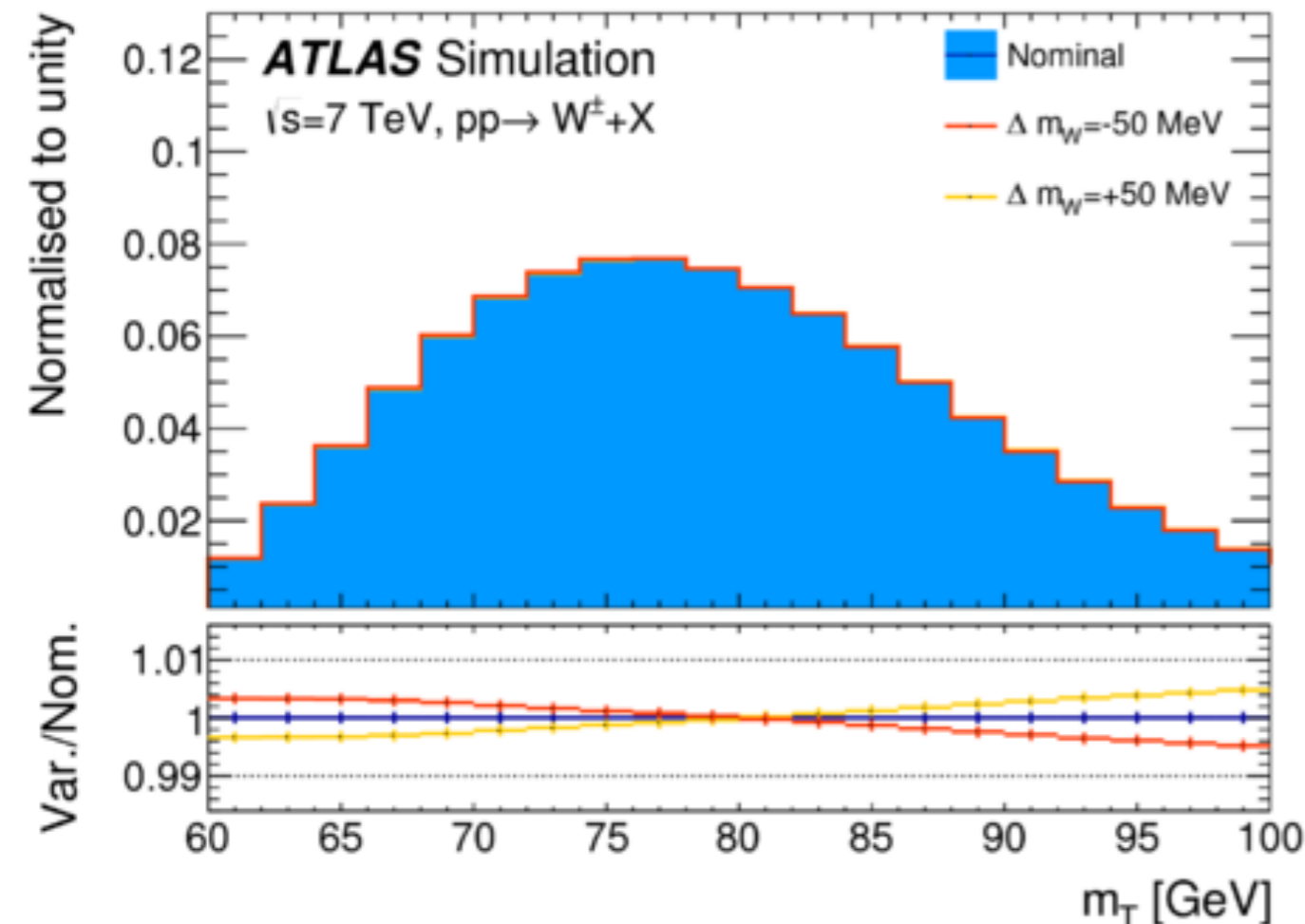
$$m_W^2 \sin^2 \theta_W = \frac{\pi \alpha}{\sqrt{2} G_\mu} \frac{1}{1 - \Delta r}$$



- ❖ Masse obtenue en variant le modèle pour deux variables: masse transverse du W (m_T) et impulsion transverse du lepton (p_T^l) et en ajustant l'accord avec les donnés (test χ^2)

	Measurement	SM Prediction (*)
m_H	125.09 ± 0.24	102.8 ± 26.3
m_{top}	172.84 ± 0.70	176.6 ± 2.5
m_W	80.385 ± 0.015	80.360 ± 0.008

(*) arXiv:1608.01509

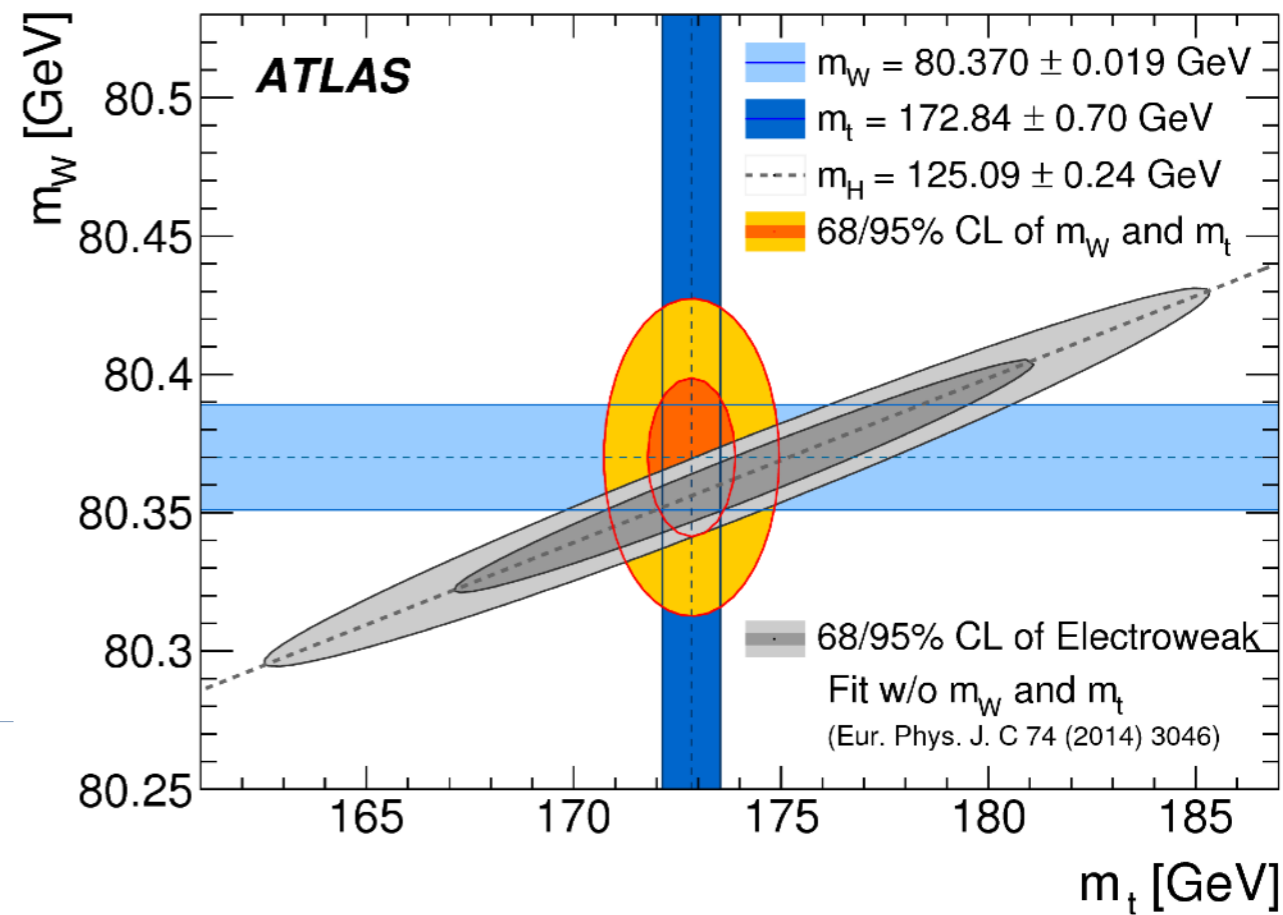
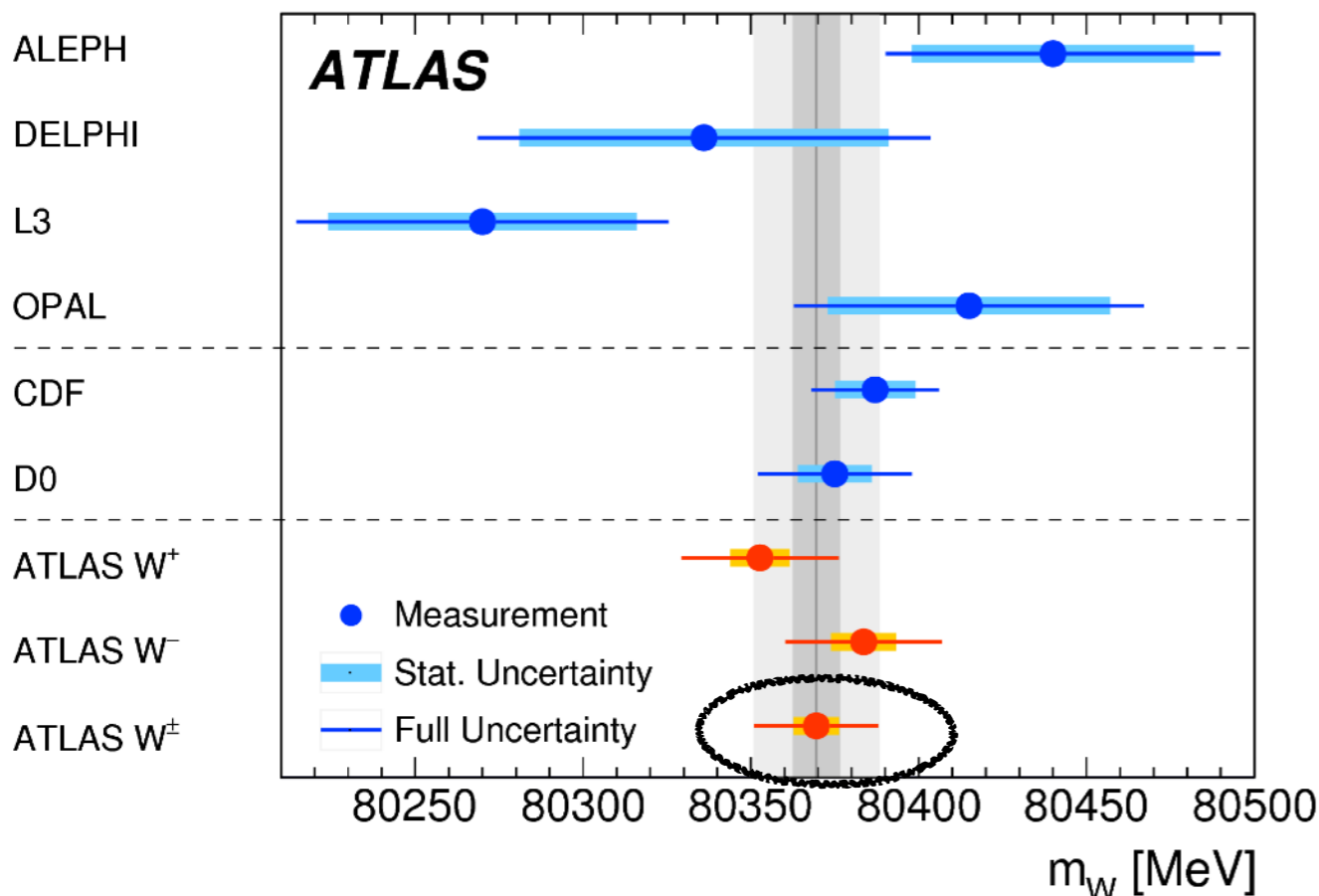


La masse du boson W

- ❖ Incertitudes dominante : **modélisation physique du processus** (PDFs, modèle QCD)
 - ❖ **Statistique** et **expérimentale** déjà sous-dominantes !
- ❖ **Mesure individuelle la plus précise !**
 - ❖ compréhension poussée échelle énergie leptons (Z->ll), maîtrise bruit de fond, vérification avec Z->ll

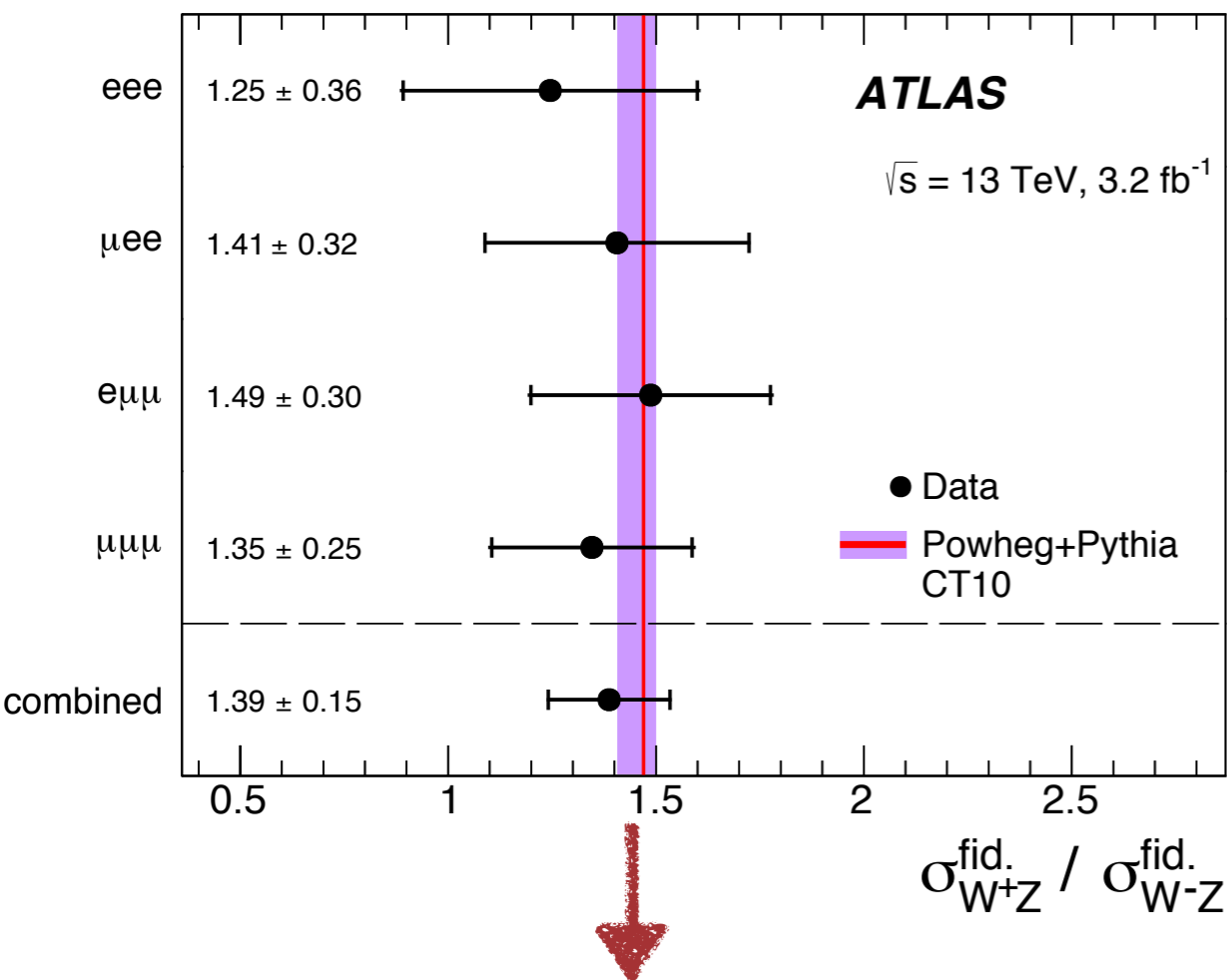
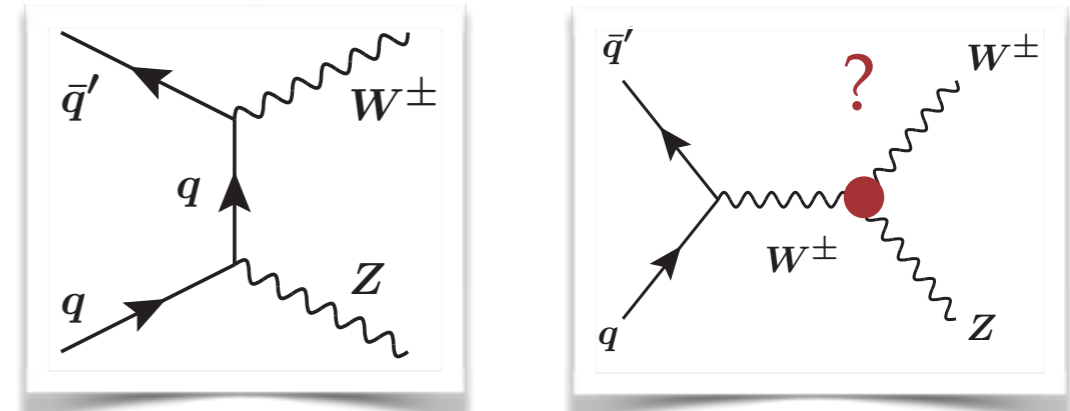
$$\begin{aligned}
 m_W &= 80370 \pm 7 \text{ (stat.)} \pm 11 \text{ (exp. syst.)} \pm 14 \text{ (mod. syst.) MeV} \\
 &= 80370 \pm 19 \text{ MeV,}
 \end{aligned}$$

Parfaite cohérence du MS

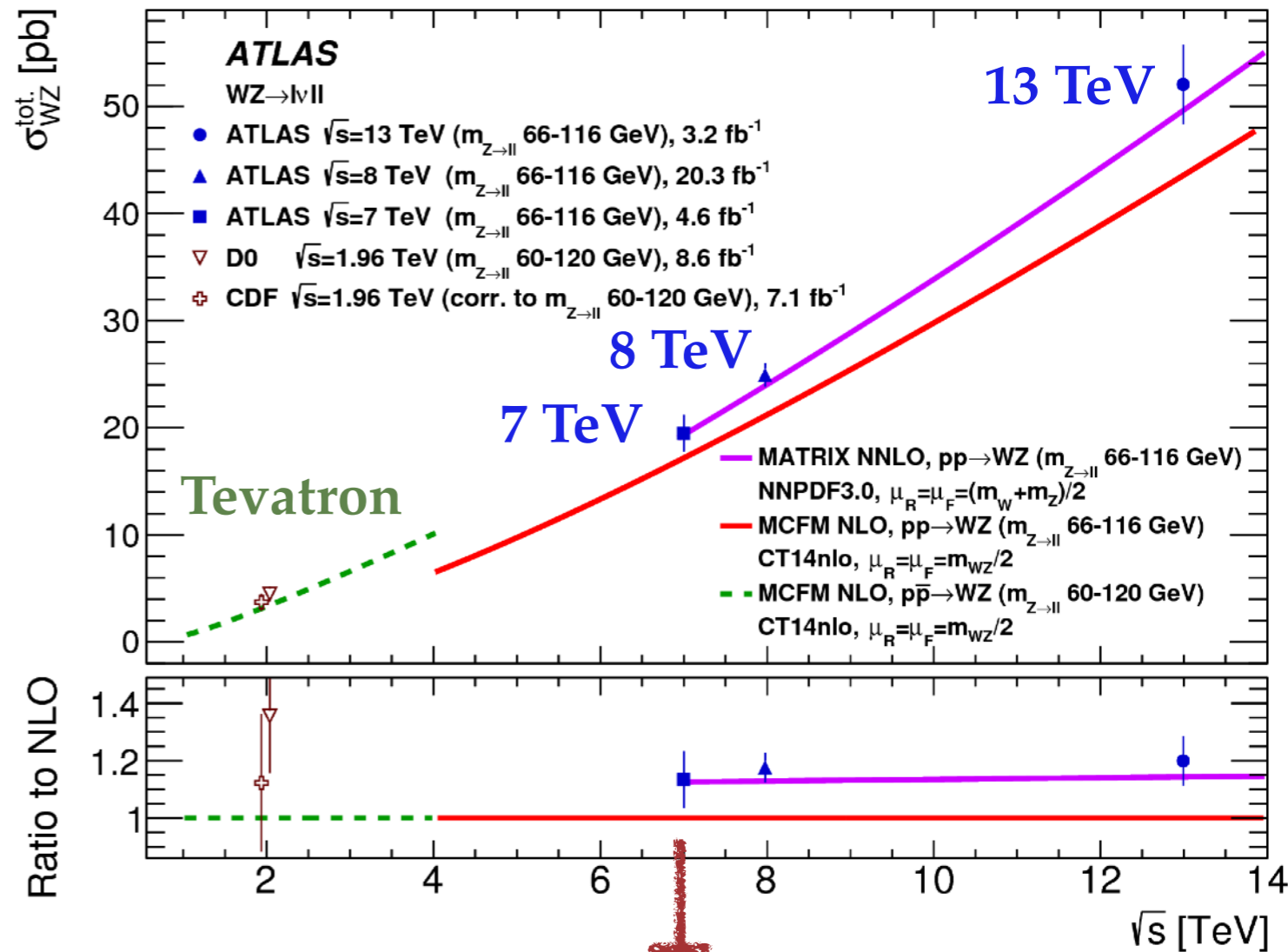


Productions de paires de bosons WZ

- ❖ Processus crucial pour compréhension MS
 - ❖ Test du secteur électro-faible
 - ❖ Couplages triples (**sensible nouvelle physique**)
- ❖ Section efficace totale et différentielle



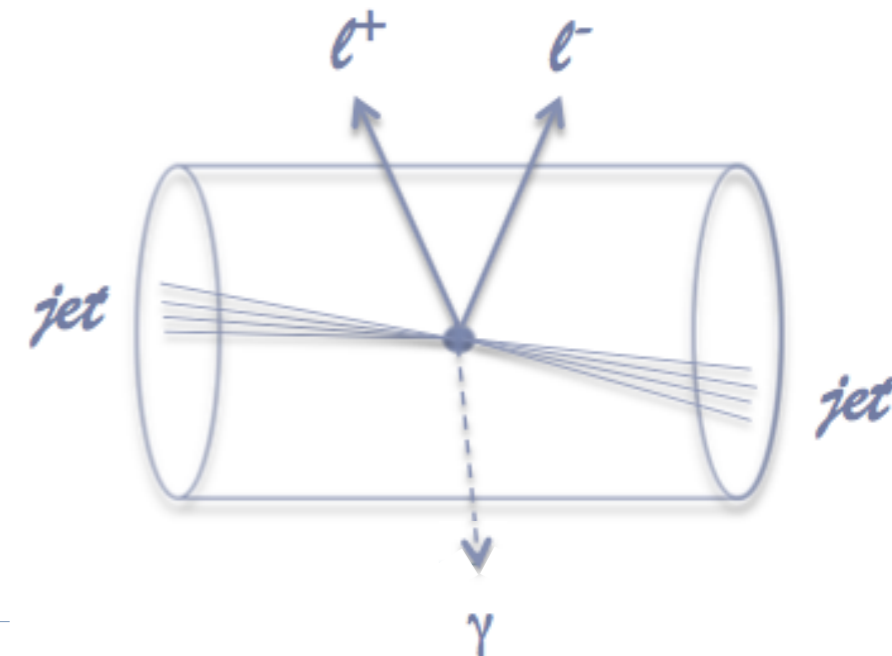
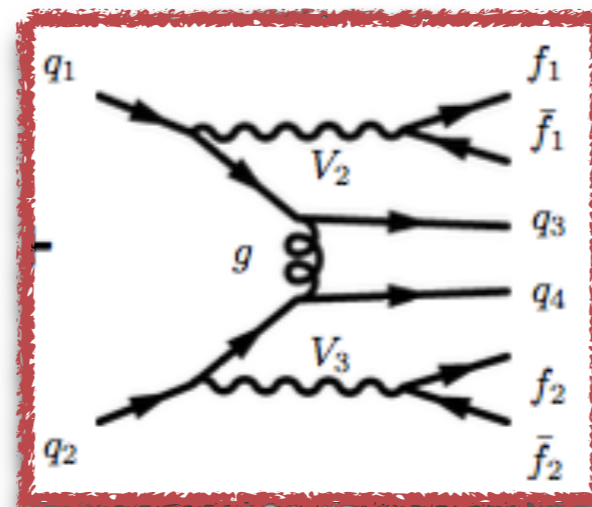
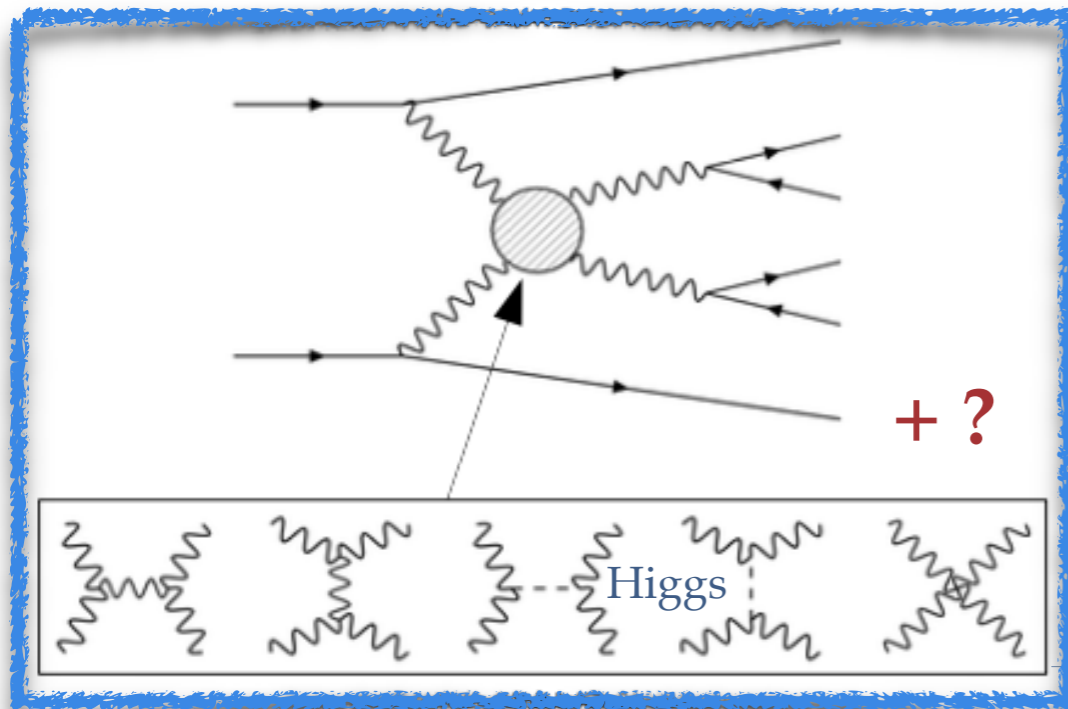
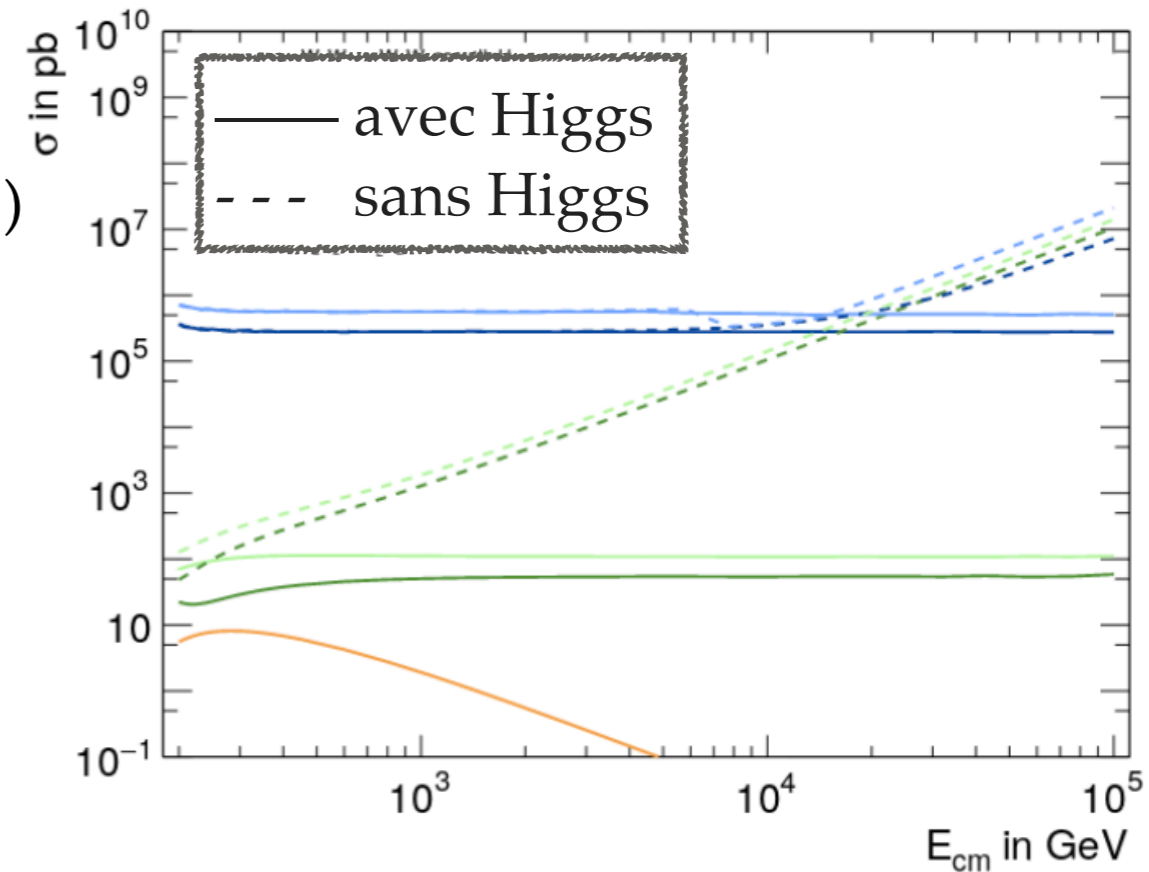
Rapport W+Z/W-Z bien reproduit ($\neq 1$, composition en quarks des protons)



Bien meilleur accord avec prédictions au 3ème ordre (NNLO) et dépendance avec énergie reproduite

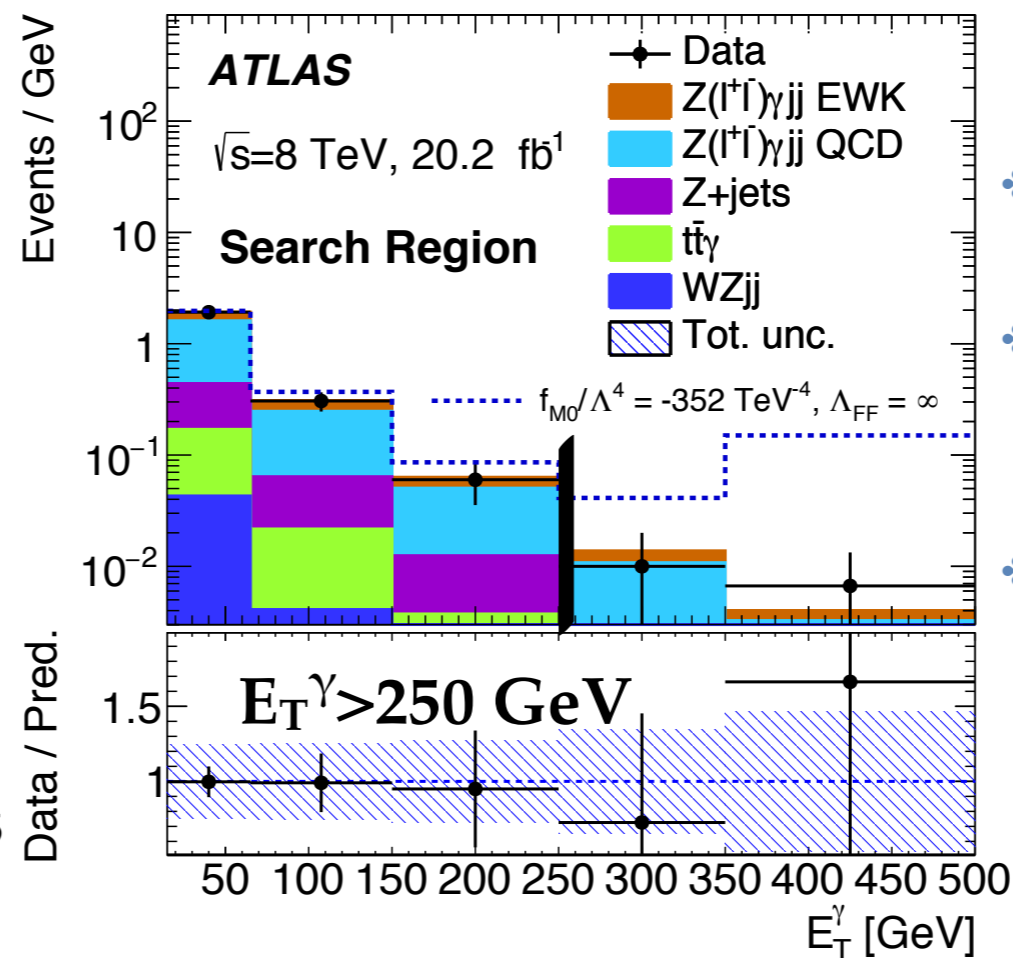
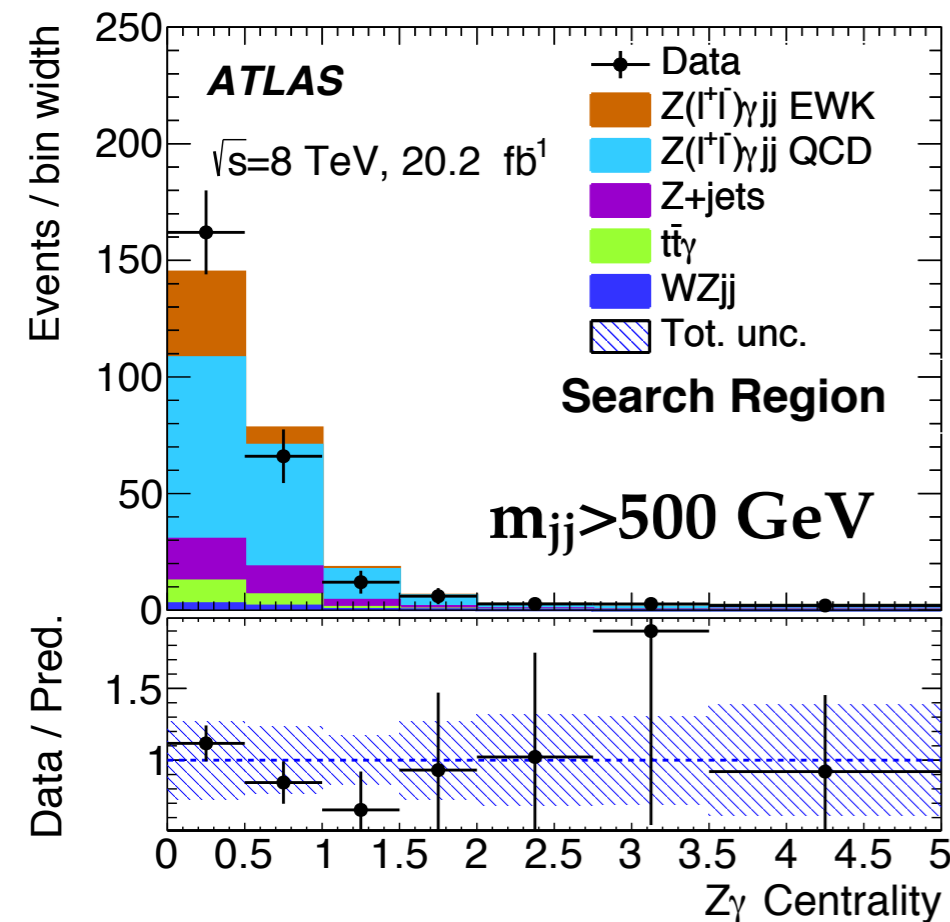
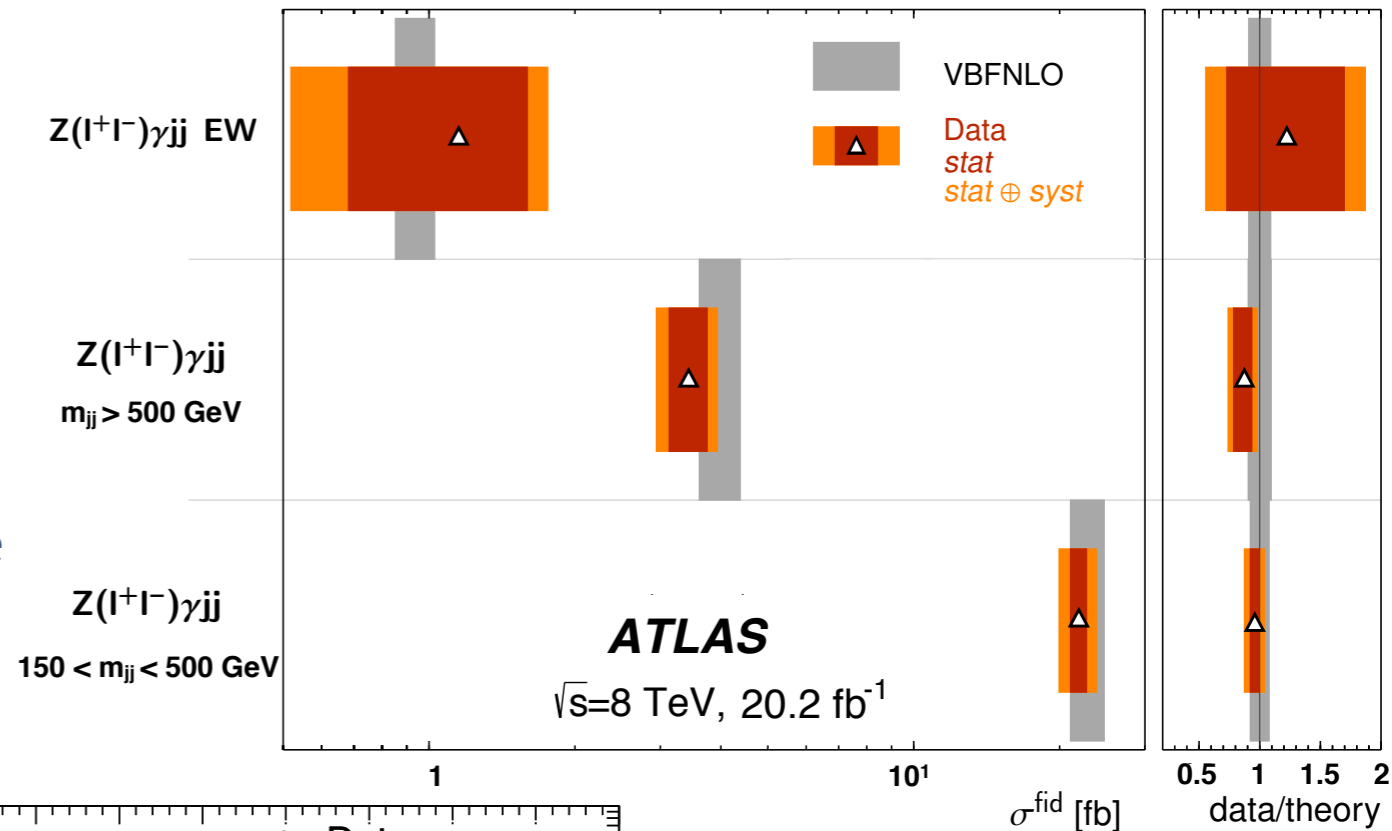
Paire $Z\gamma$ par diffusion de bosons

- ❖ Section efficace unitarisée par Higgs
- ❖ Couplage quadruples (sensible nouvelle physique)
- ❖ Très difficile: processus rare ($\mathcal{O}(\text{fb})$), **bruit de fond irréductible important QCD**
- ❖ Mais cinématique caractéristique
 - ❖ Deux jets très a l'avant avec grande énergie
 - ❖ Pas d'activité hadronique entre les deux



Paire $Z\gamma$ par diffusion de bosons

- ❖ Région haute masse 2-jets (>500 GeV), centralité du système $Z\gamma$ ajustée sur les données
- ❖ Section efficace dans 2 regions et pour le signal et signal+bruit de fond
- ❖ Contrainte sur présence **nouvelle physique (NP)** avec énergie transverse du photon



- ❖ **Bon accord avec prédictions.**
- ❖ **Incertitudes stat. et exp. (étalonnage énergie jets) grandes.**
- ❖ **Limites contraignante sur la nouvelle physique**

- ❖ Processus physiques prédits par MS étudiés sur 14 ordres de grandeurs
- ❖ Pas de déviation significative trouvées
- ❖ Compréhension du modèle de l'interaction forte, de la composition des protons et des calculs perturbatifs **largement améliorés**
- ❖ Contraintes fortes sur la présence de nouvelle physique
- ❖ Seulement un échantillon ici, beaucoup plus fait au LHC
 - ❖ <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/StandardModelPublicResults>

