



Production de photons directs (γ inclusif, γ +jet, $\gamma\gamma$) au LHC

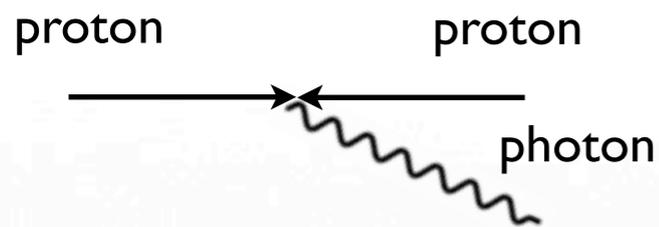
Sandrine LAPLACE
pour le groupe ATLAS

Biennale du LPNHE, 19-22 septembre 2011

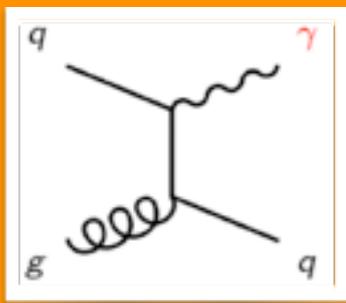


La production de photons au LHC

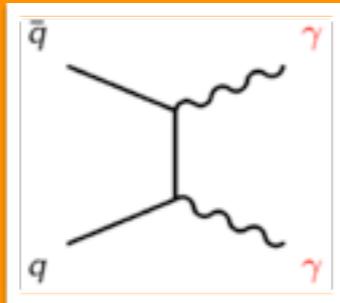
Production **directe**



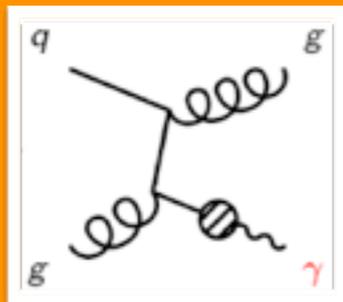
par exemple:



1 photon



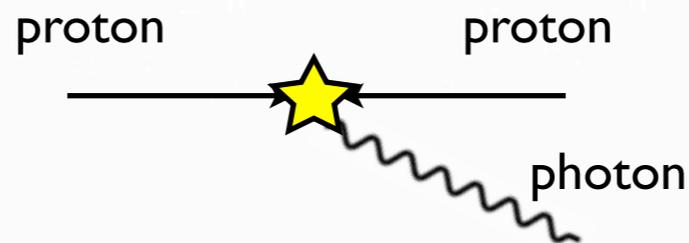
2 photons



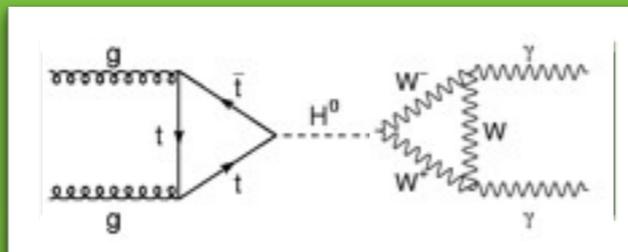
fragmentation d'un quark en photon

Production **indirecte**

Processus «dur»



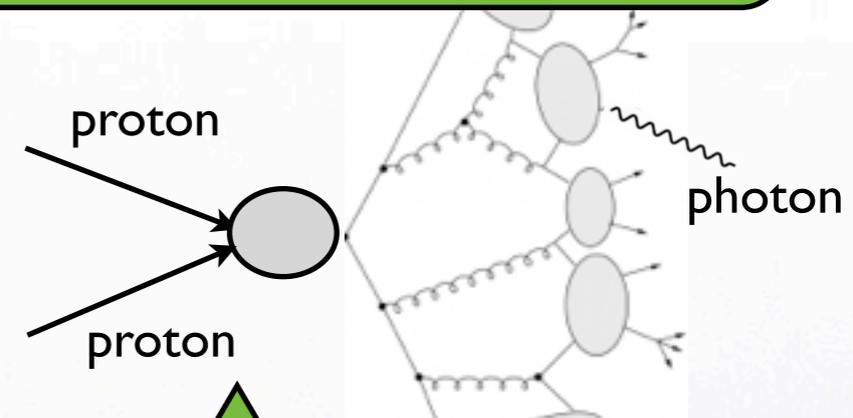
par exemple:



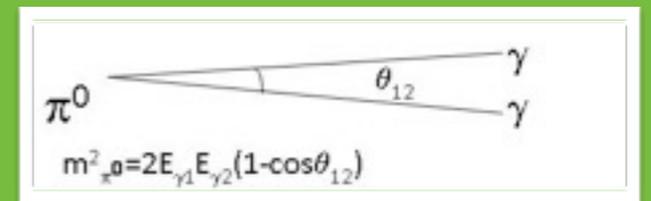
boson de Higgs

mais aussi: SUSY, dimensions supplémentaires, etc...

«Tout le reste»



par exemple:

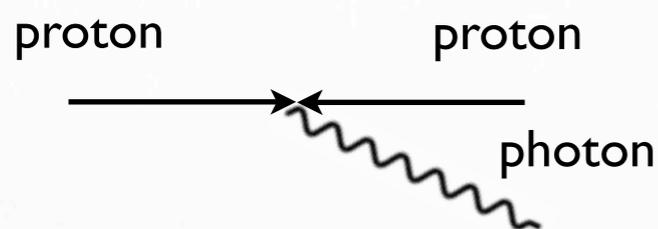


$\pi^0, \eta \rightarrow \gamma \gamma$ produits lors de l'hadronisation des quarks et gluons



La production de photons au LHC

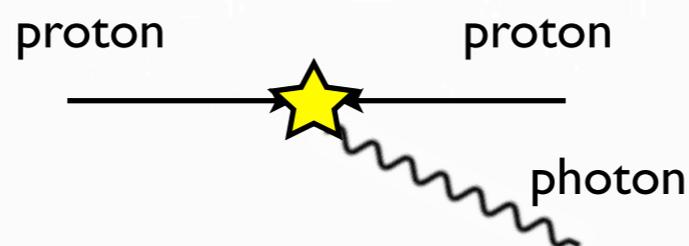
Production **directe**



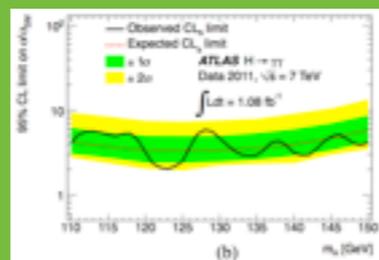
- Bruit de fond irréductible pour les processus «durs» intéressants comme la production du boson de Higgs
- C'est le «signal» considéré ici...

Production **indirecte**

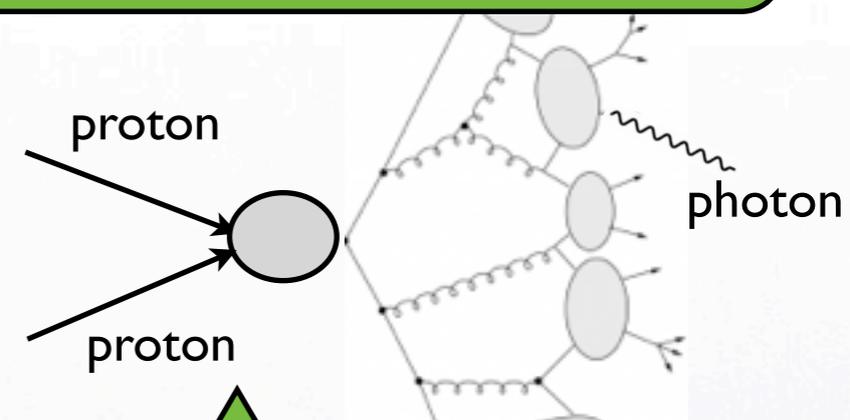
Processus «dur»



- Boson de Higgs: sujet de la présentation de Marine



«Tout le reste»

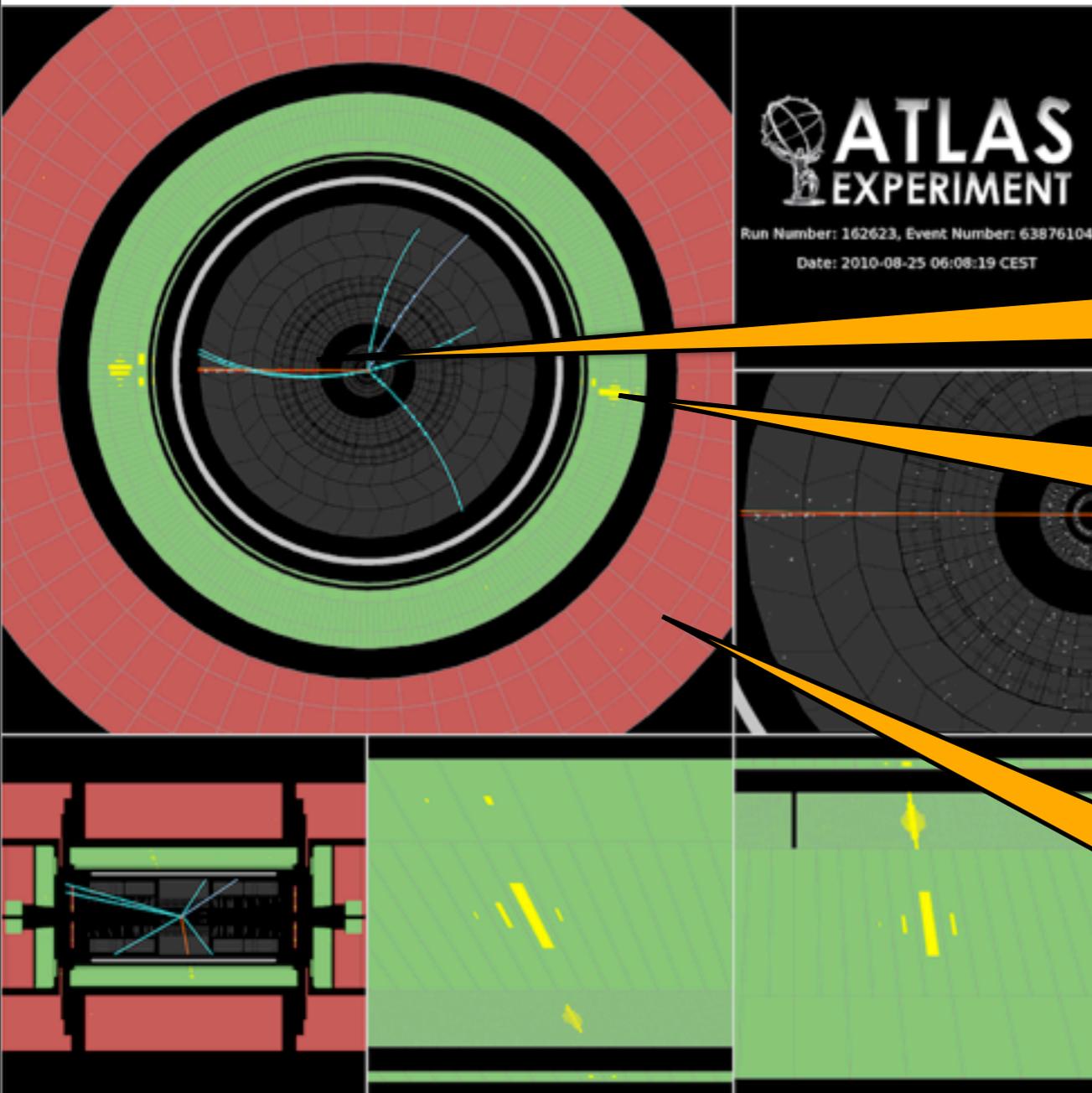


- Bruit de fond copieux (réductible) pour les deux types de processus précédents

Sujet de cette présentation: section efficace de production de γ inclusif, γ +jet, $\gamma\gamma$



La détection des photons dans ATLAS



Trajectographe:

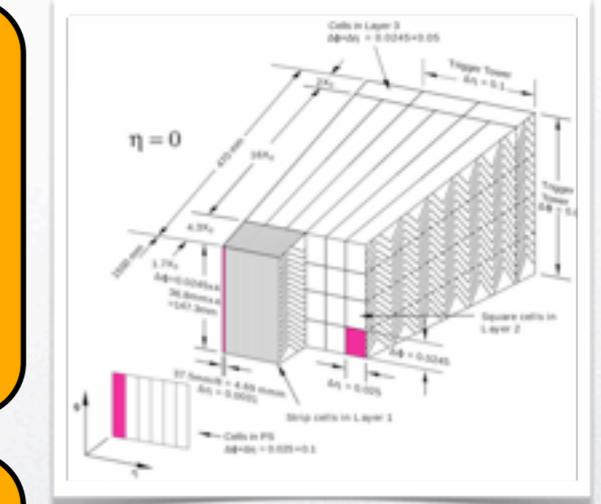
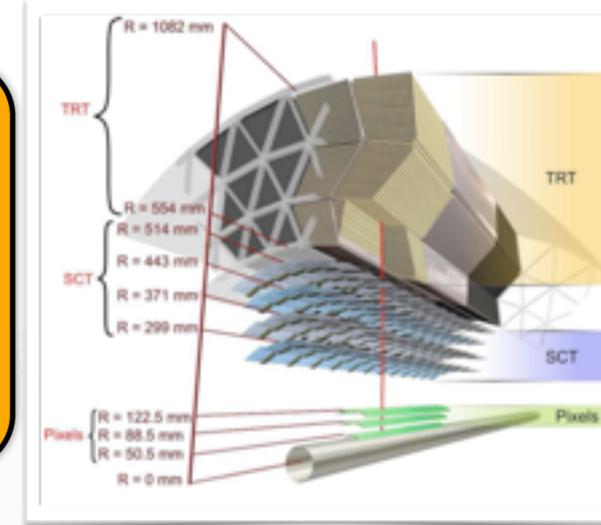
- Pas de trace pour photon non converti
- 1 ou 2 traces pour photon converti

Calorimètre électromagnétique:

- Dépôt d'énergie dont la forme est compatible avec celle d'un photon

Calorimètre hadronique:

- Pas de dépôt d'énergie dans la direction du photon



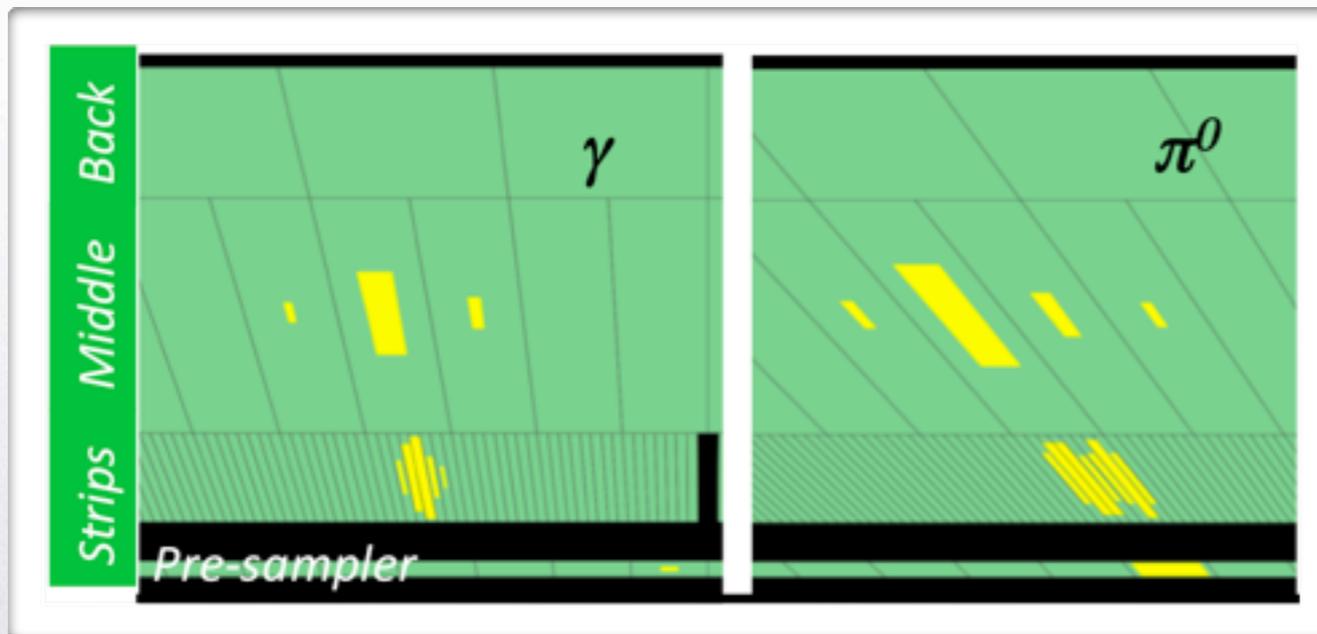


L'identification des photons dans ATLAS

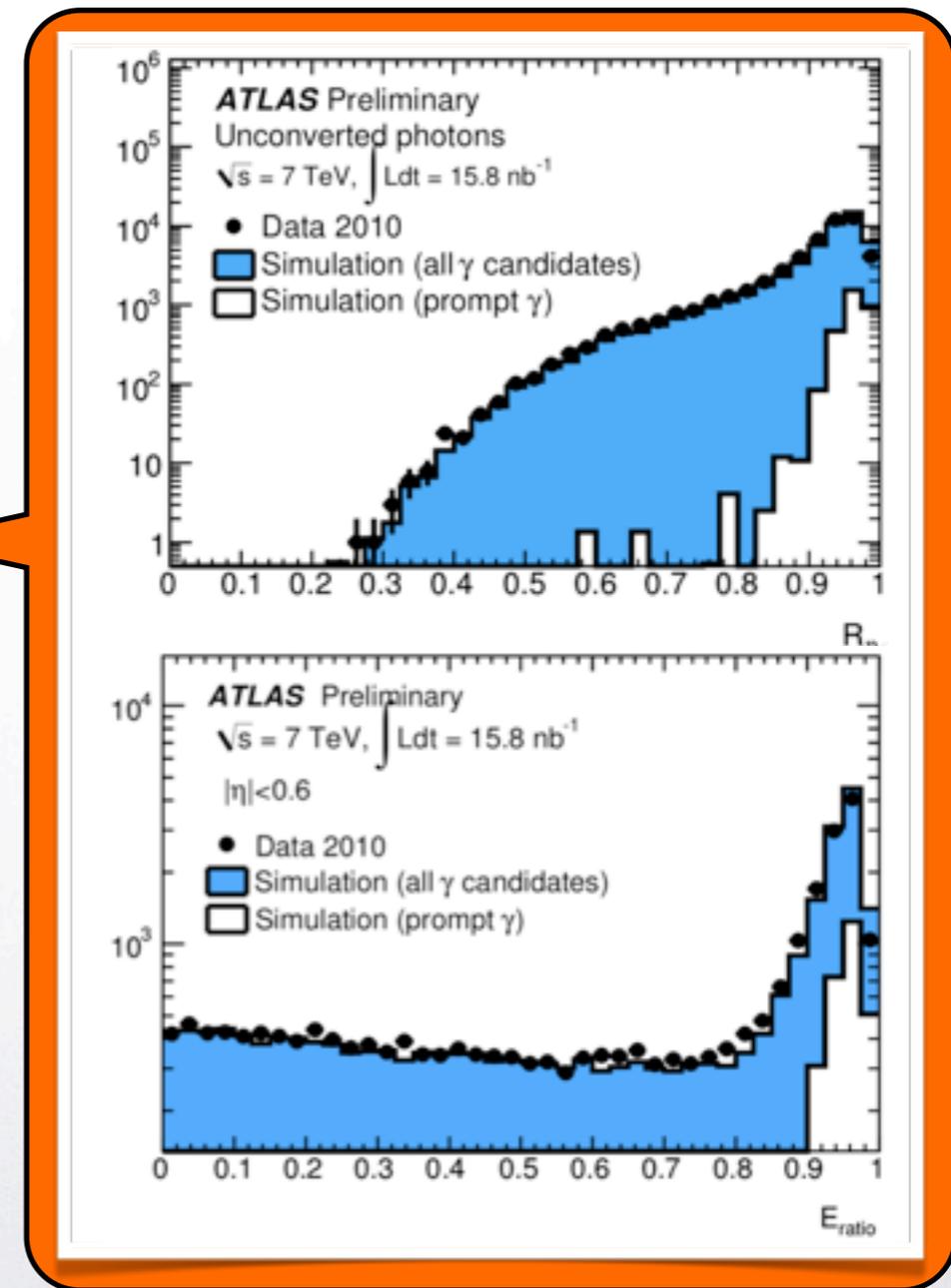
But de l'identification: distinguer les vrais photons des «faux» photons (jets) et des photons issus de π^0, η (Note: les photons convertis sont aussi pollués par les électrons)

	vrai photon	faux photon (jet)	$\pi^0, \eta \rightarrow \gamma\gamma$
calo EM	dépôt étroit	dépôt large	deux photons dans un même amas
calo HAD	pas de dépôt	dépôt	pas de dépôt

Utilise la segmentation latérale et longitudinale du calo EM pour les distinguer:



→ Critères de sélection «Loose» (lâche) et «Tight» (dur)



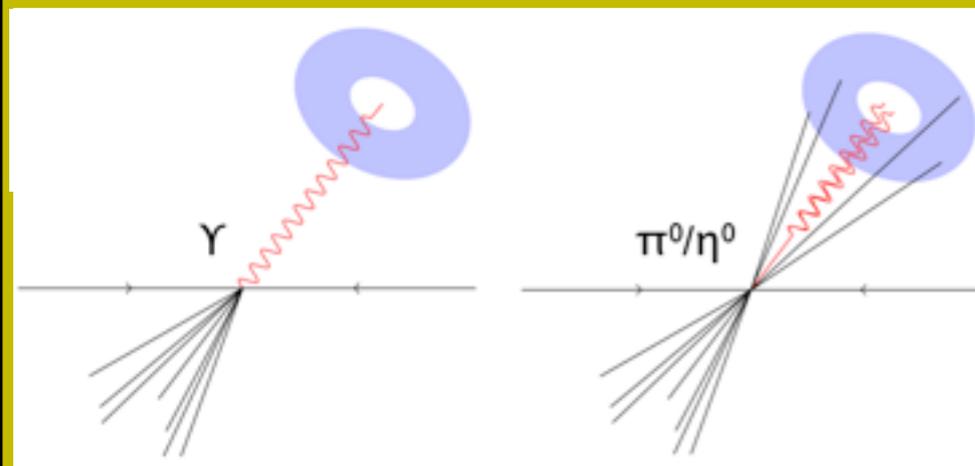
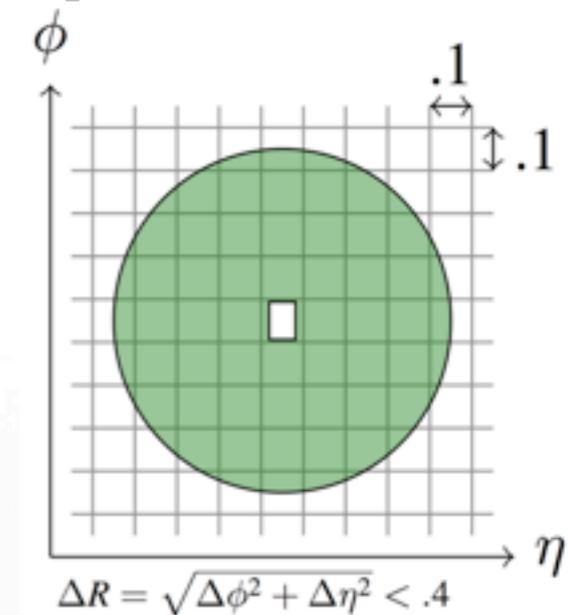


L'isolation calorimétrique

Variable supplémentaire pour rejeter le bruit de fond:
isolation calorimétrique définie comme l'énergie contenue dans un cône autour de l'amas du photon

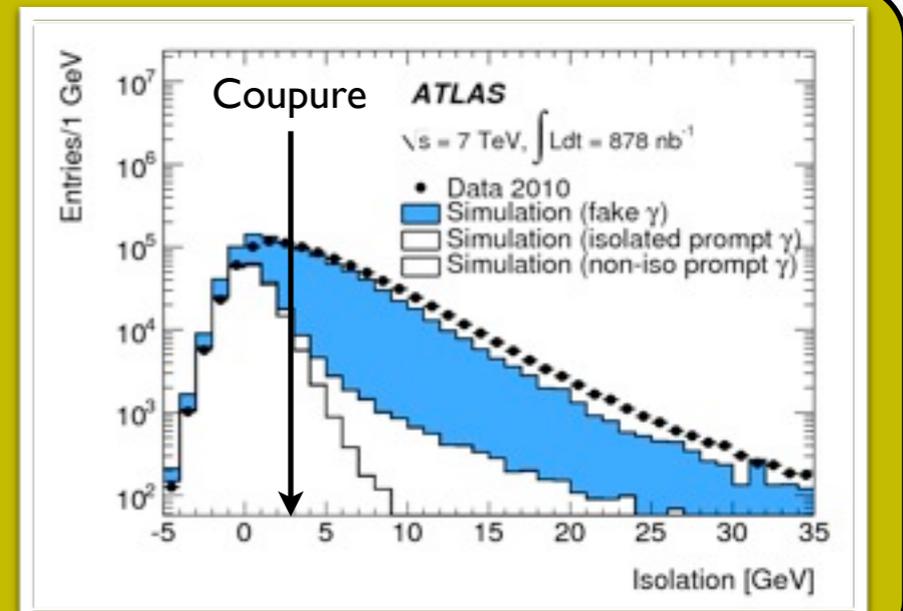
→ on mesure la section efficace de production de photons directs ISOLÉS

(note: réduit aussi la composante de fragmentation du signal...)



En fait, plus compliqué que ce simple schéma:

- Effets expérimentaux à corriger événement par événement:
 - photon direct dépose aussi de l'énergie dans le cône d'isolation
 - effets d'empilement et de l'événement sous-jacent
- Difficulté supplémentaire pour les prédictions théoriques





Mesure de la section efficace différentielle de production d'1 ou 2 photons

Traduction:

- Section efficace (σ): probabilité de produire 1 ou 2 photons directs dans une collision pp au LHC
- Différentielle: en fonction de certaines variables X (par exemple, l'énergie du photon)

Étapes (simplifiées): pour chaque bin de la variable X ,

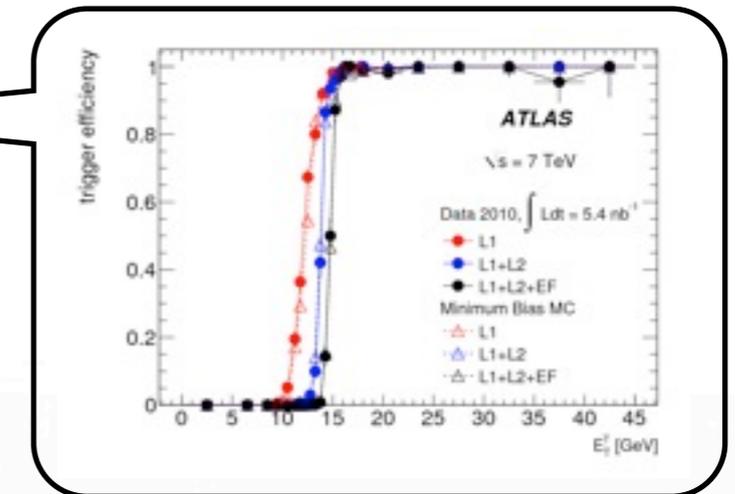
- Sélectionne un lot de candidats de photons identifiés «tight» et isolés (N_{tot})
- Soustrait le bruit de fond («faux photons», N_{bkg}) de ce lot: reste un lot de candidats photons «pur»
- Renormalise ce lot de photons par l'efficacité (ϵ) des coupures de sélection et la luminosité (L)

$$\frac{d\sigma}{dX_{true}} = \frac{N_{tot} - N_{bkg}}{\epsilon L (\Delta X_{true})}$$

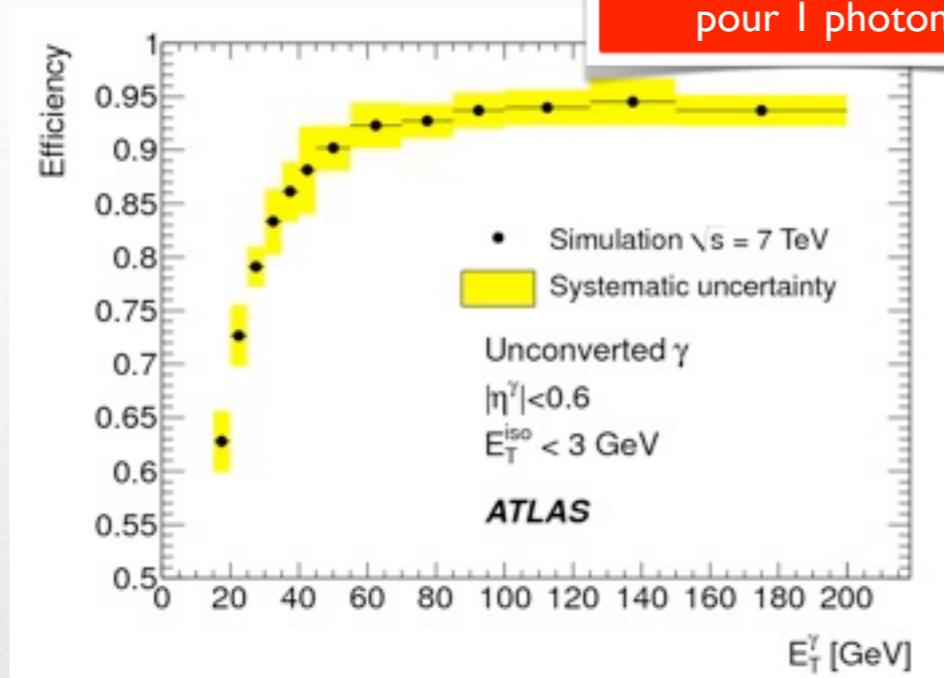


Efficacités de sélection

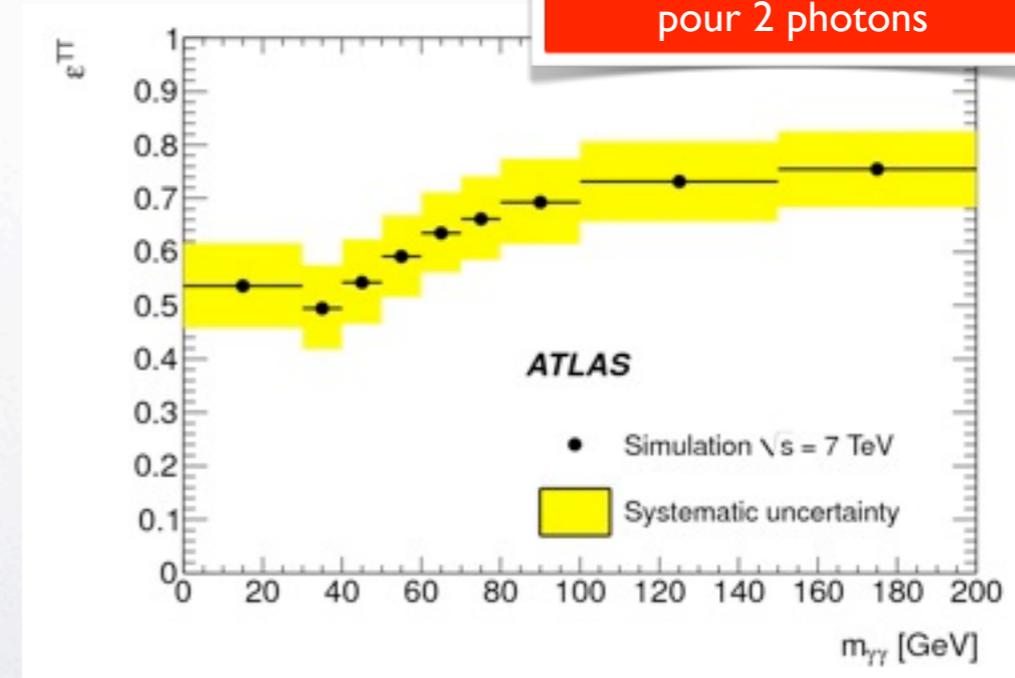
- **Déclenchement** $\approx 100\%$ pour photons tight
- **Reconstruction** $\approx 85/70\%$ dans tonneau/bouchon du calorimètre
dû à des problèmes de lecture résolus pendant l'hiver 2010/2011
- **Identification**: obtenue à partir de la simulation corrigée des différences observées entre MC/données



Efficacité d'identification pour 1 photon



Efficacité d'identification pour 2 photons



- **Migration**: effets de résolution \rightarrow photon produit dans bin « X_{true} » reconstruit dans bin « X_{reco} »

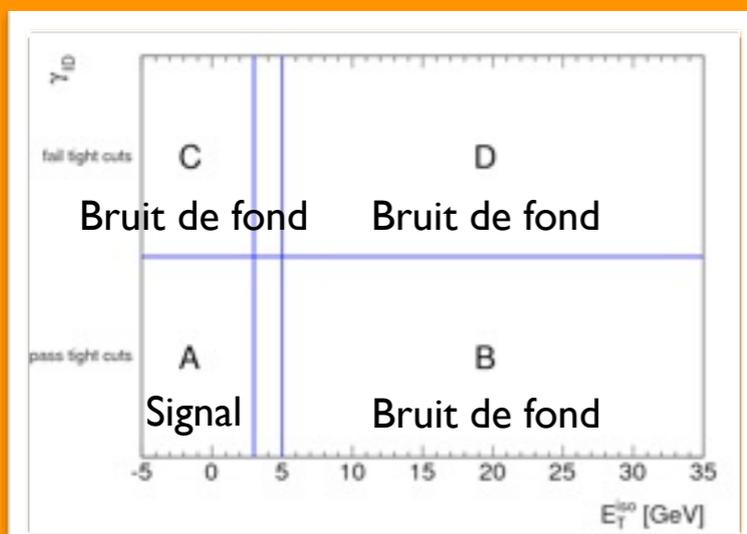


Soustraction des bruit de fond (1/2)

- Utilise la variable d'isolation calorimétrique (ETisol)
- Sépare les composantes de signal ($\gamma\gamma$) et de bdf (γj et jj) par 3 techniques différentes:

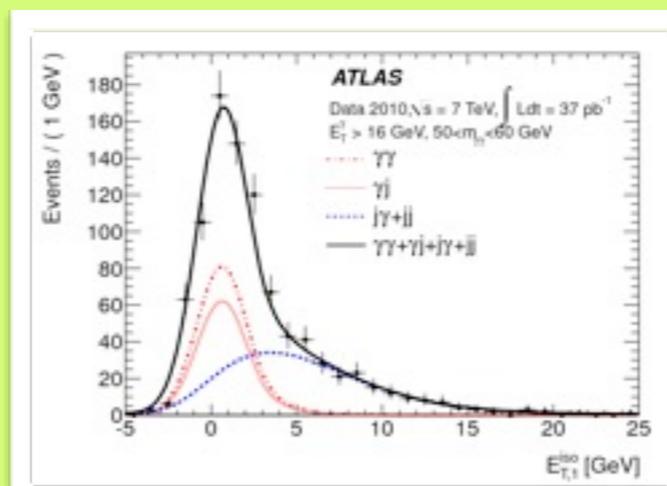
Bandes latérales 2D: ($\gamma\gamma, \gamma j$)

Extrapolé le bdf à partir d'un lot de données sans signal



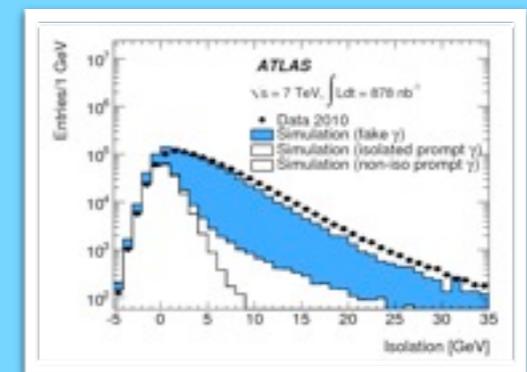
Ajustement: ($\gamma\gamma, \gamma j$)

Ajuste les composantes de signal et bdf (PDFs obtenues indépendamment sur les données)



Matrice: ($\gamma\gamma$)

Exploite les différences d'efficacité d'une coupure sur ETisol entre signal et bdf



$$\begin{pmatrix} \epsilon_1 \epsilon_2 & \epsilon_1 f_2 & f_1 \epsilon_2 & f_1 f_2 \\ \epsilon_1 (1 - \epsilon_2) & \epsilon_1 (1 - f_2) & f_1 (1 - \epsilon_2) & f_1 (1 - f_2) \\ (1 - \epsilon_1) \epsilon_2 & (1 - \epsilon_1) f_2 & (1 - f_1) \epsilon_2 & (1 - f_1) f_2 \\ (1 - \epsilon_1) (1 - \epsilon_2) & (1 - \epsilon_1) (1 - f_2) & (1 - f_1) (1 - \epsilon_2) & (1 - f_1) (1 - f_2) \end{pmatrix}$$

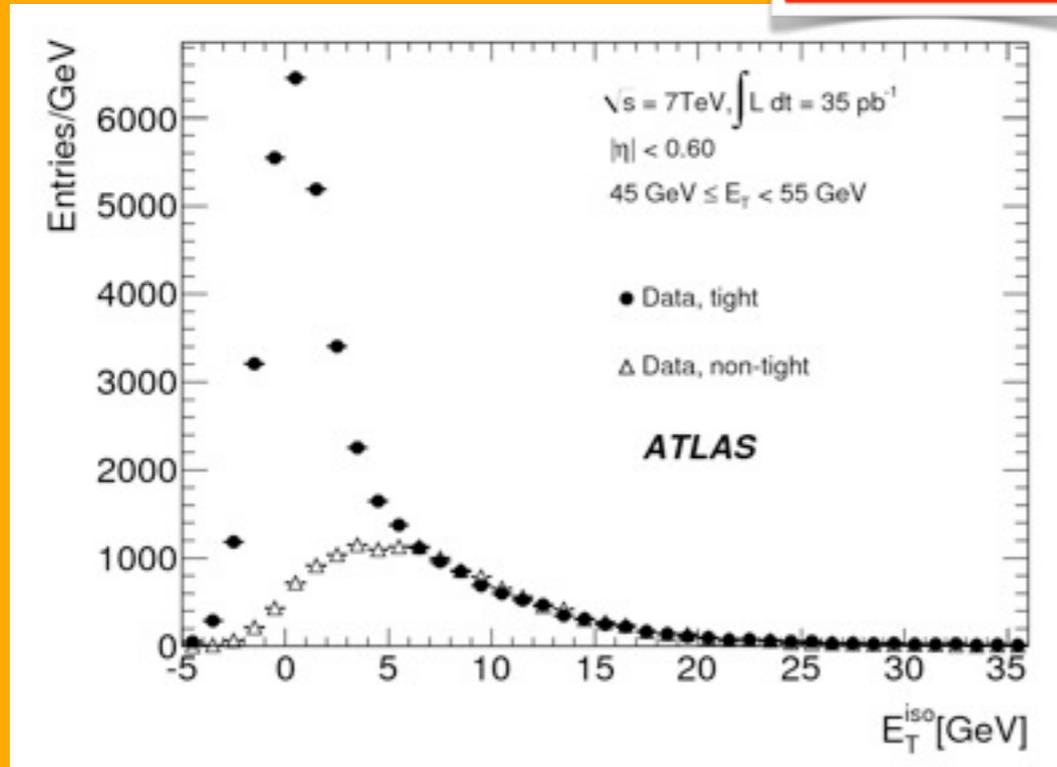
- Mesure la contamination des électrons identifiés à tort comme des photons avec une technique de matrice



Soustraction des bruit de fond (2/2)

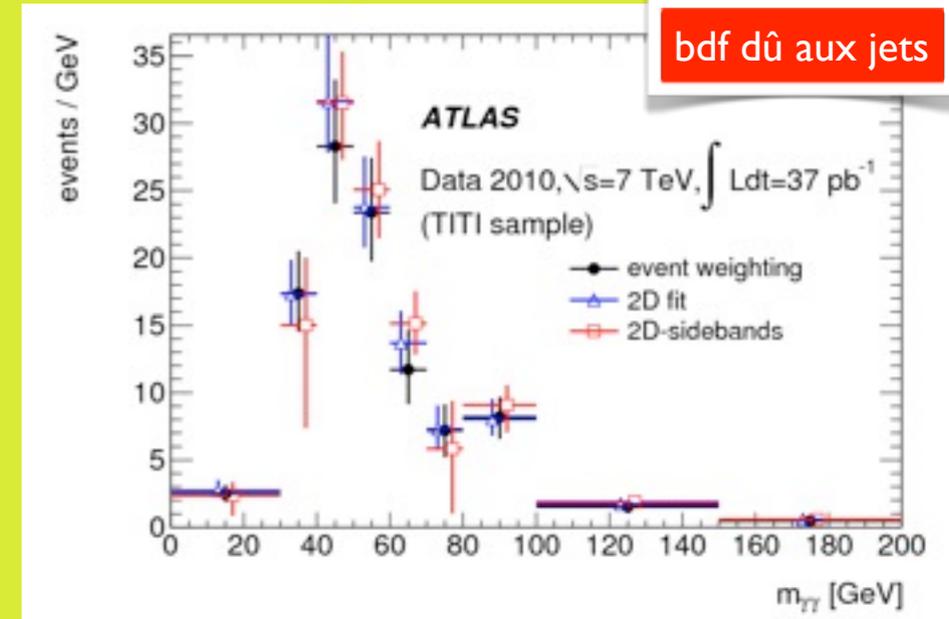
1 photon

bdf dû aux jets

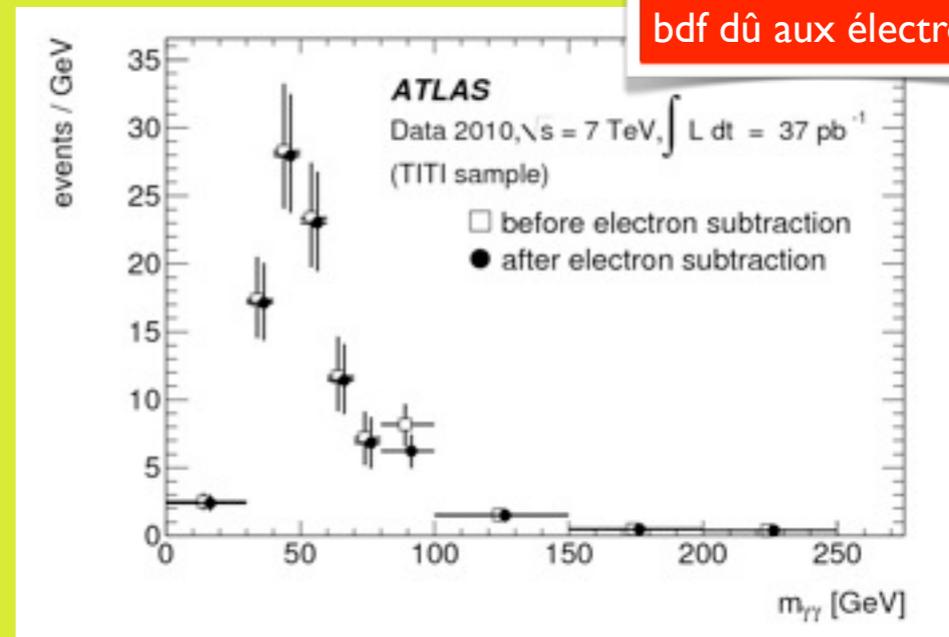


2 photons

bdf dû aux jets



bdf dû aux électrons

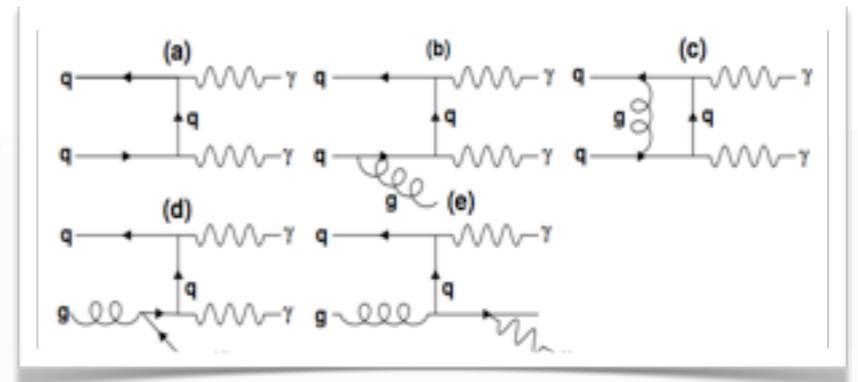




Théorie

- Comparaison avec les calculs théoriques les plus précis existant:

- «Next to Leading Order» (NLO): calcul au 2ème ordre ($O(\alpha_s)$), i.e. tient compte de l'émission réelle ou virtuelle d'un gluon/quark supplémentaire:

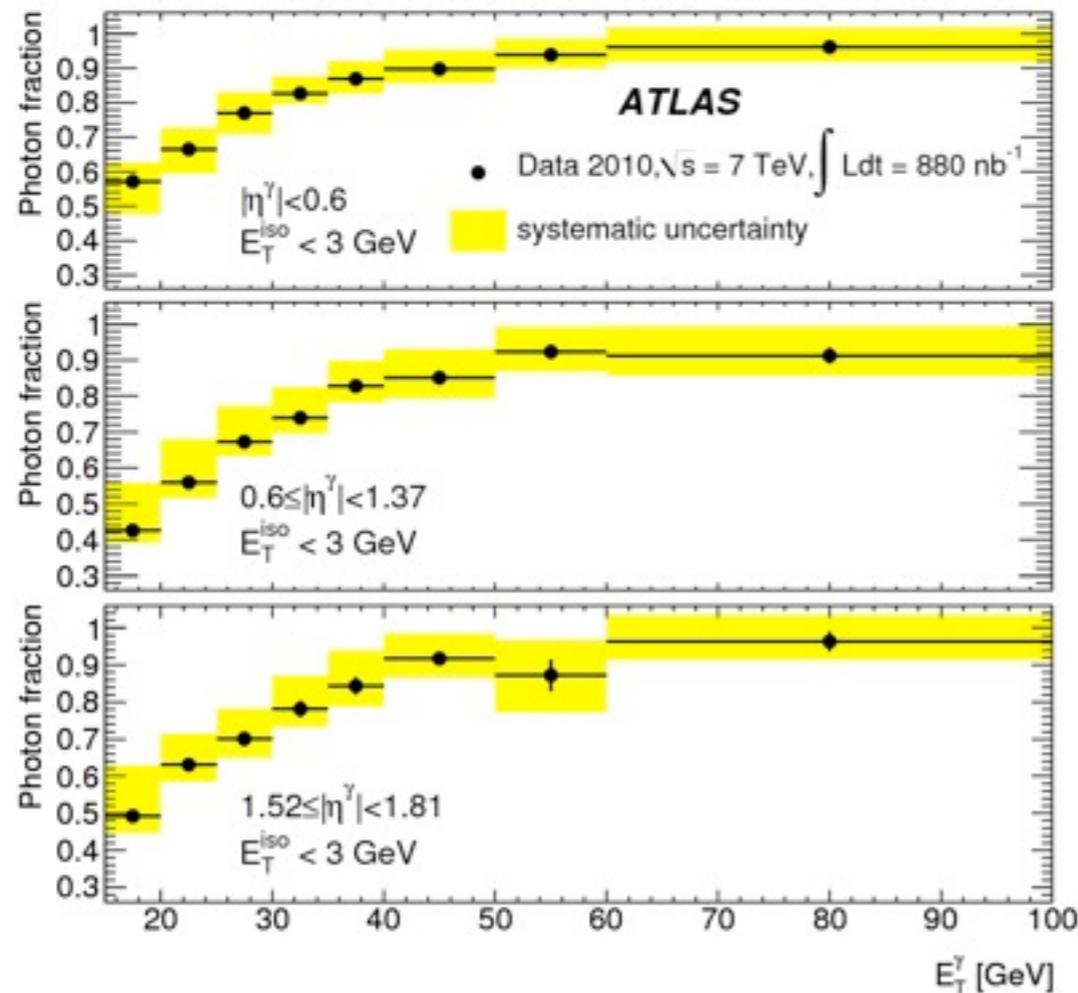


- Deux programmes principaux: **RESBOS** ($\gamma\gamma$) et PHOX-family (**JETPHOX** pour γ +jet, **DIPHOX** pour $\gamma\gamma$)
 - Note: ne sont pas de vrais générateurs MC (i.e. non interfacés avec la gerbe partonique) mais des calculateurs de section efficace
 - Quelques différences entre les deux programmes (RESBOS: resommation NLL, DIPHOX: fragmentation à NLO, ...)
- [pas encore utilisés au LHC] vrais générateurs MC avec émission réelle de jet(s) supplémentaire(s) («partie réelle» du NLO) tels que SHERPA, HERWIG++/POWHEG: pour les prochaines publications...

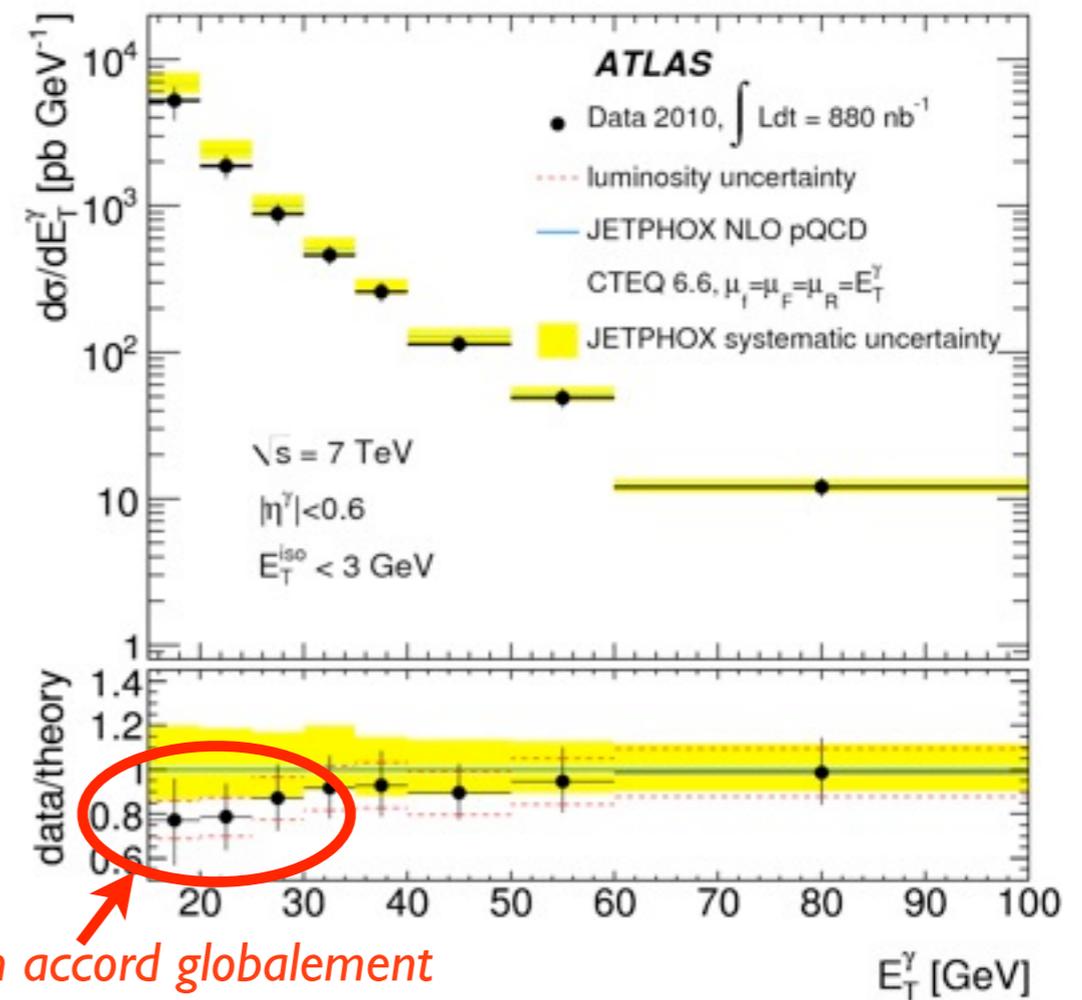


Production de 1 photon

Pureté en fonction de l'énergie du photon



Section efficace en fonction de l'énergie du photon



Assez bon accord globalement
 moins bon à basse énergie

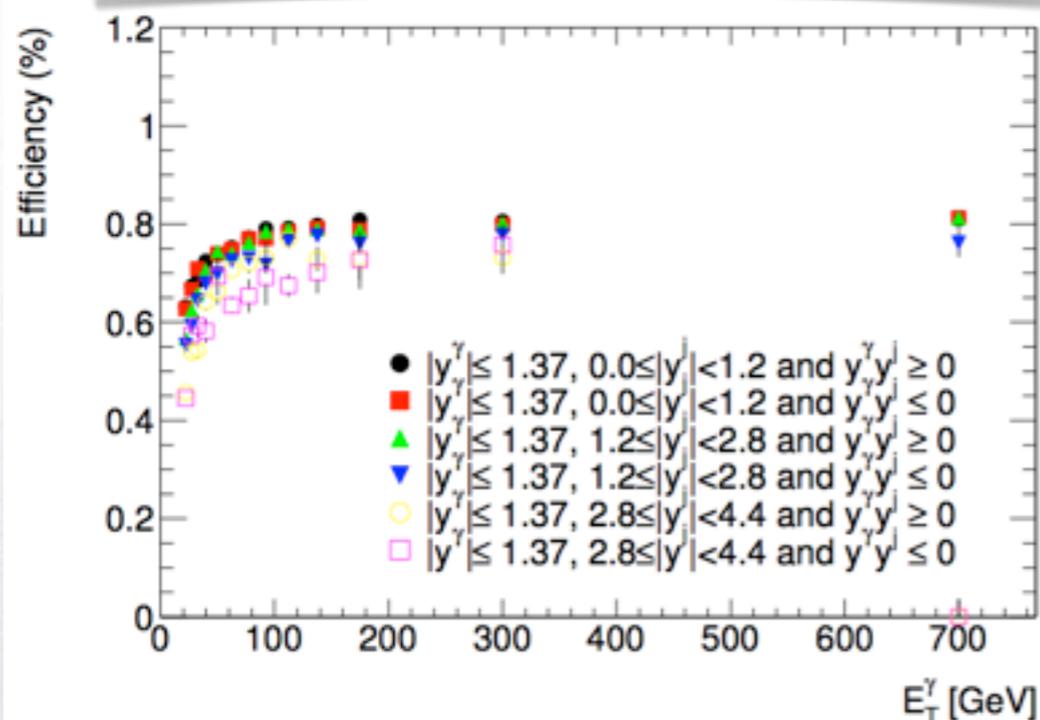


Production de 1 photon + 1 jet

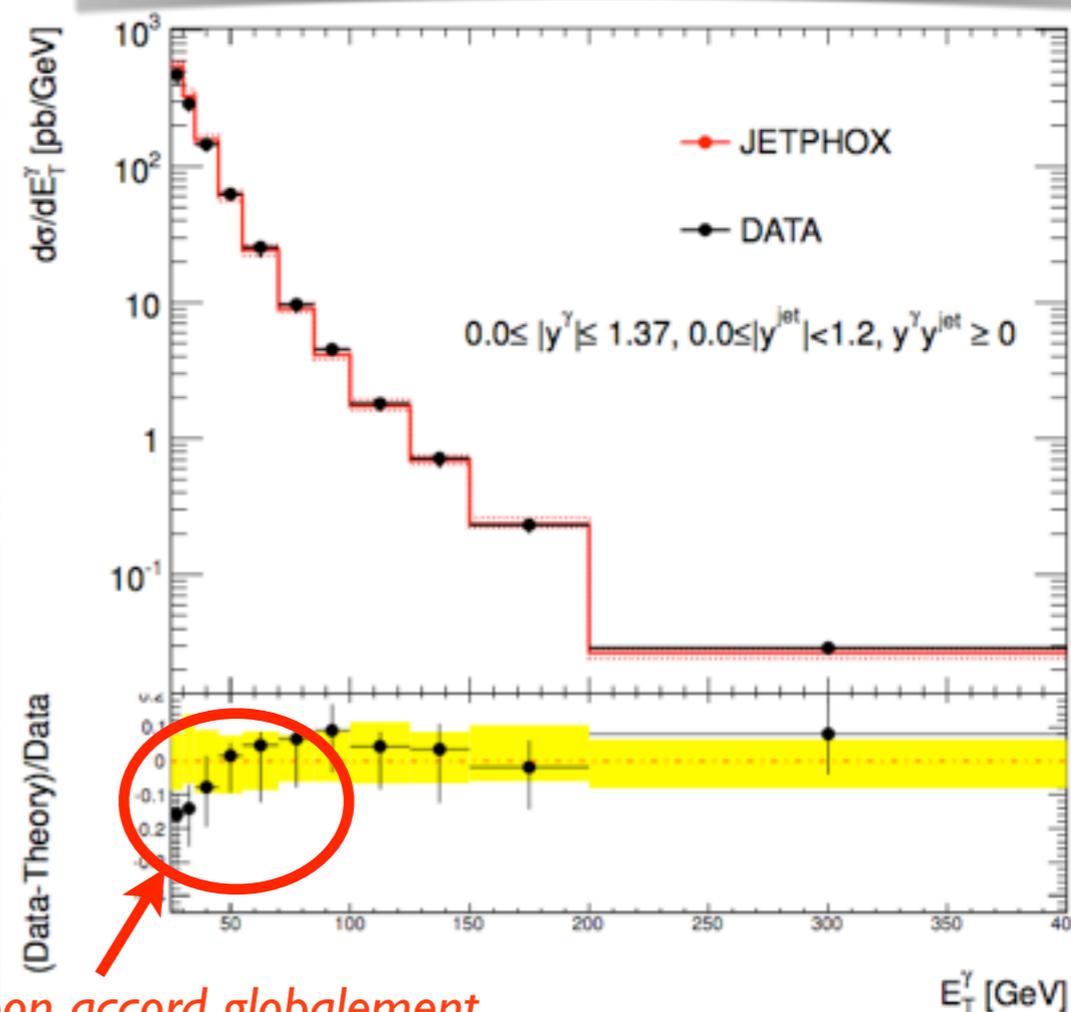
Mode exclusif intéressant pour:

- calibrer l'énergie des jets (qui doit contrebalancer celle du photon qui est bien reconstruite)
- contraindre la fonction de densité du gluon dans le proton

Efficacite de sélection en fonction de l'énergie du photon



Section efficace en fonction de l'énergie du photon



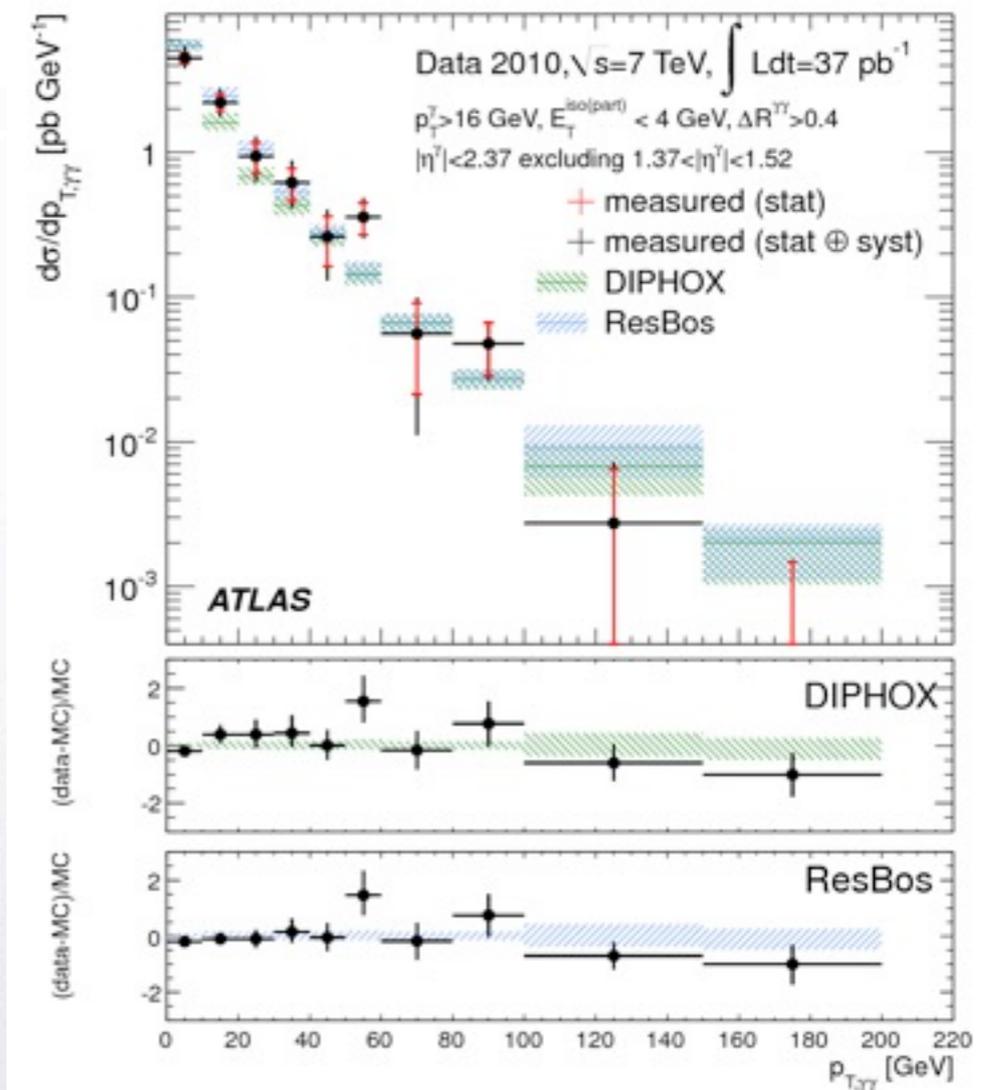
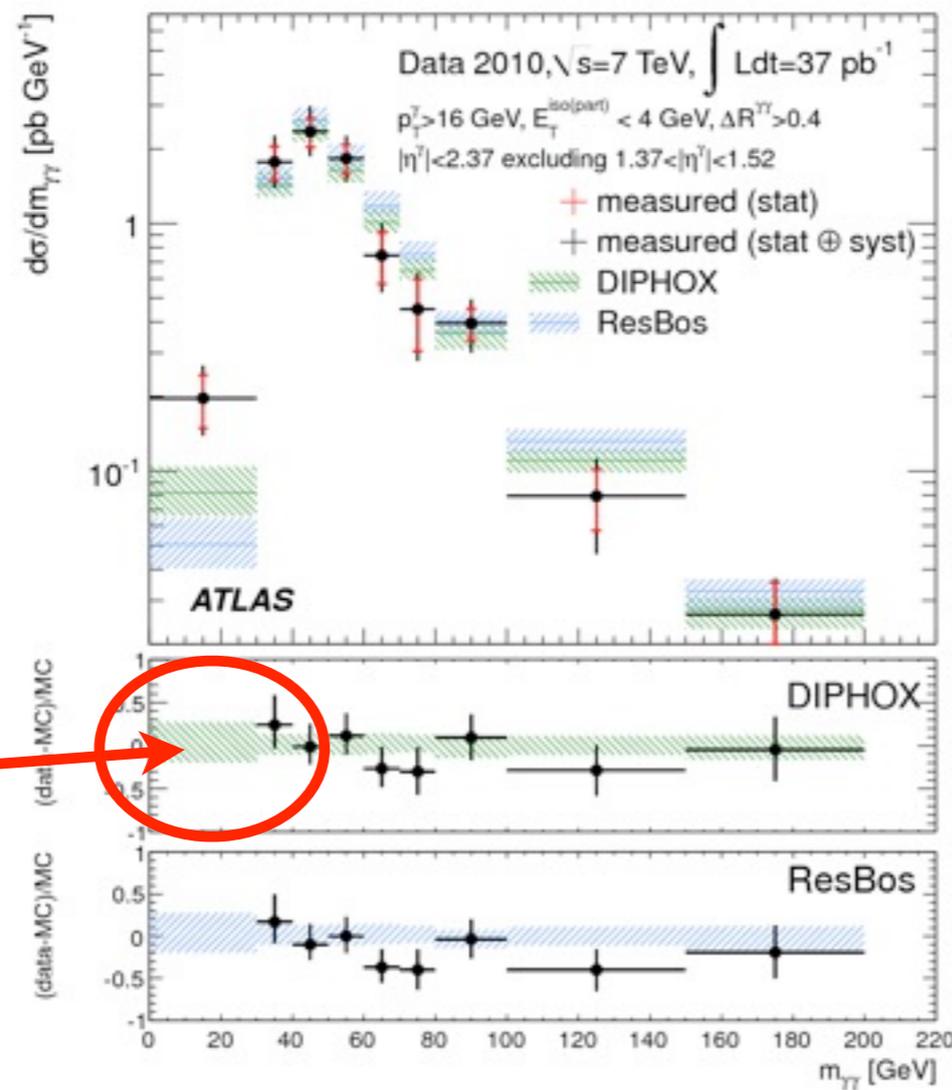
Assez bon accord globalement
moins bon à basse énergie



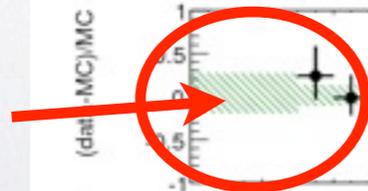
Production de 2 photons

Section efficace
en fonction de $m(\gamma\gamma)$

Section efficace
en fonction de $p_T(\gamma\gamma)$



Mauvais accord
à basse masse





Qui et quoi ?

- **Qui ?** Marine Kuna, Bertrand Laforge, Sandrine Laplace, Giovanni Marchiori, Irena Nikolic, José Ocariz, Lydia Roos, Heberth Torres, Li Yuan, ...

- **Quoi ? 5 publications**

- Inclusive photon
 - 880 nb⁻¹: Phys. Rev. D 83, 052005 (2011) - **Editeur: Giovanni M.**
 - Données de 2010 (35 pb⁻¹): soumis à Physics Letter B
- Diphotons:
 - 35 pb⁻¹: soumis a Phys. Rev. D - **Editeur: Sandrine L.**
 - Données de 2011: groupe du LPNHE est leader
- Photon + jet:
 - 35 pb⁻¹: en cours - **Editeur: Giovanni M.**



Conclusion

- Le groupe du LPNHE est très impliqué dans la mesure des sections efficaces de production de photons directs (éditeurs de la majorité des publications sur le sujet !)
- Ces mesures sont importantes:
 - pour améliorer la compréhension de la théorie QCD dans son régime perturbatif: les mesures montrent des désaccords avec les prédictions dans certaines régions (photon de basse énergie, faible masse invariante $\gamma\gamma$)
 - permettent de bien comprendre les performances du détecteur (identification/isolation des photons, et pour γ -jet: énergie des jets, ...)
 - permettent de bien comprendre les bruits de fond pour la recherche du boson de Higgs ou de signaux de nouvelle physique



Un regard critique sur la recherche du Higgs

Deux séminaires par Witek Krasny ce vendredi 23 septembre:

1. LPNHE (matin - réunion du vendredi)

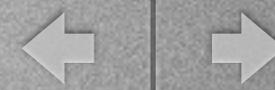
The "never-ending"? story of the SM Higgs particle.

(«L'histoire sans fin du Higgs»)

2. LPTHE (après-midi)

**"Precision Measurements" programme for the LHC - Are we willing/
ready to overhaul the present LHC research paradigms and methods?**

(«Mesures de précision» au LHC: la communauté est elle prête à améliorer les méthodes et paradigmes actuels du programme de recherche au LHC ?)



BACKUP



Comparaison avec les résultats du Tevatron et CMS

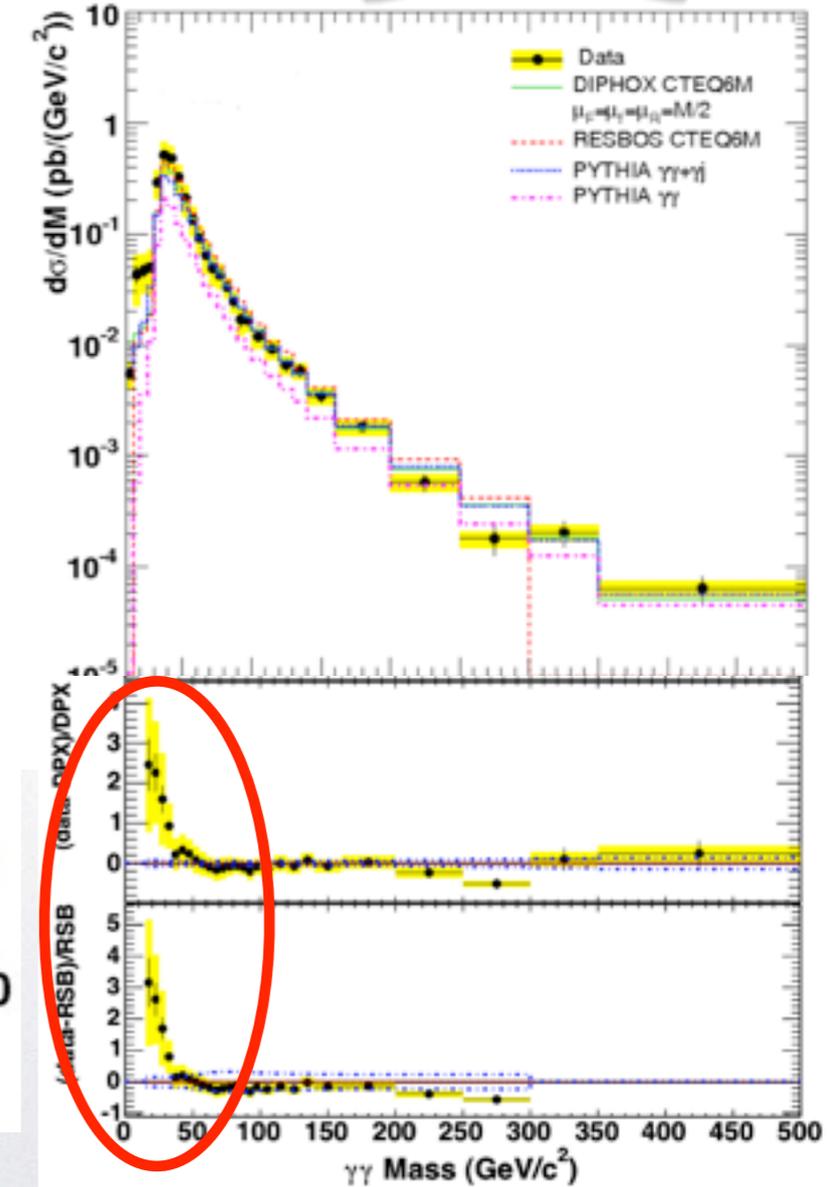
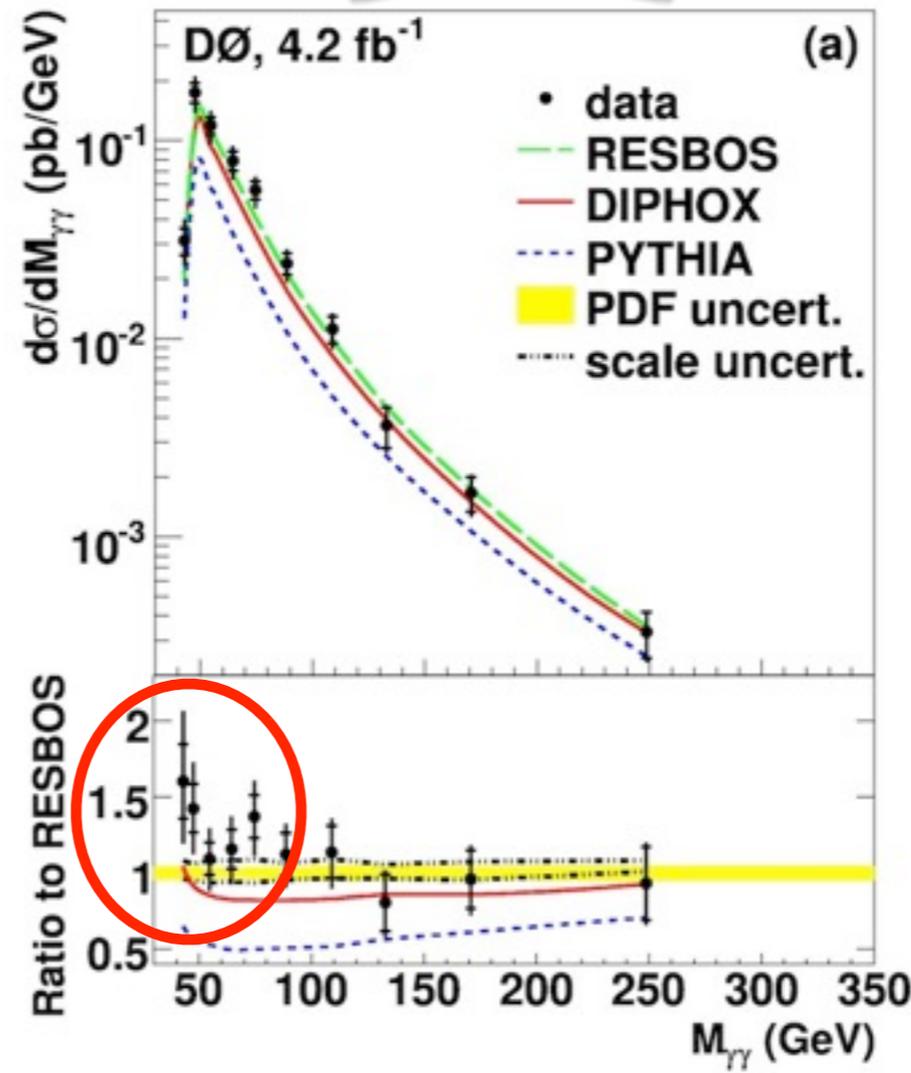
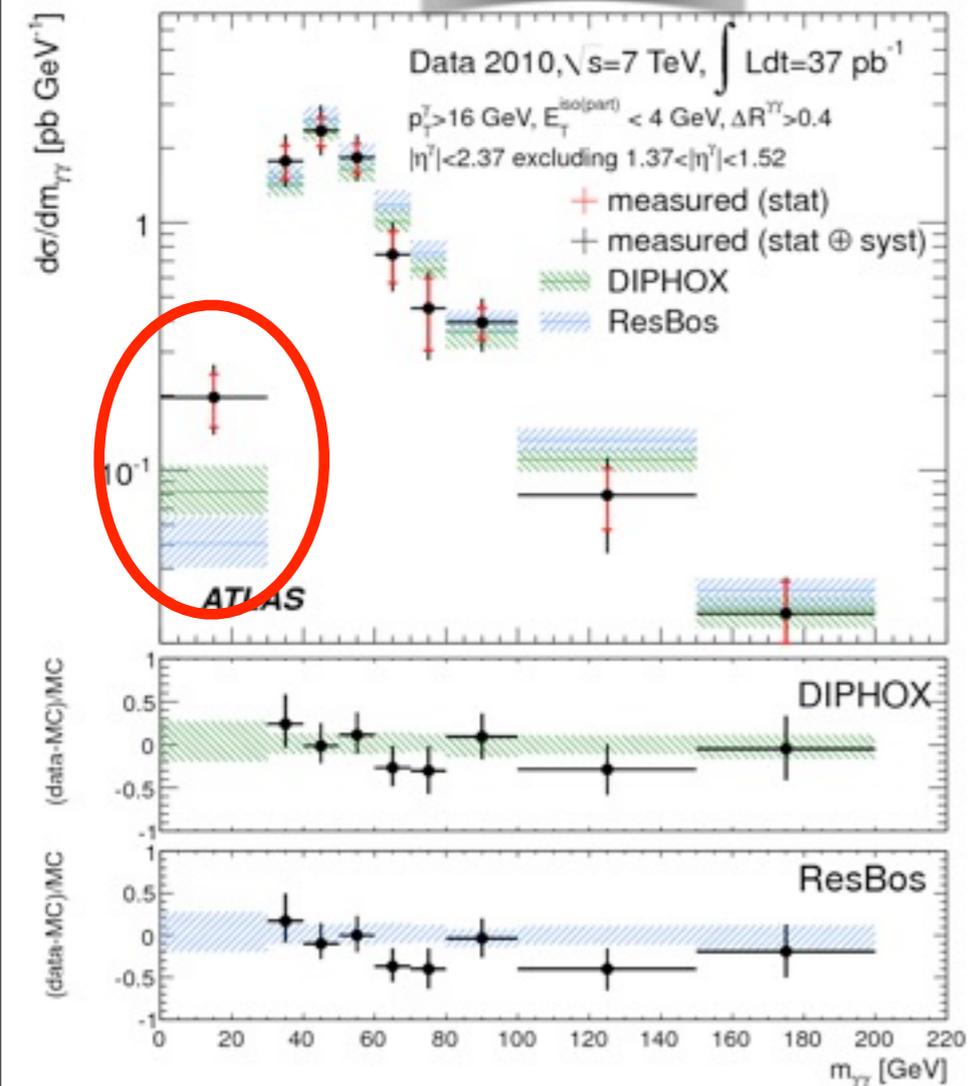


2 photons - $m(\gamma\gamma)$ - Tevatron

ATLAS

D0

CDF



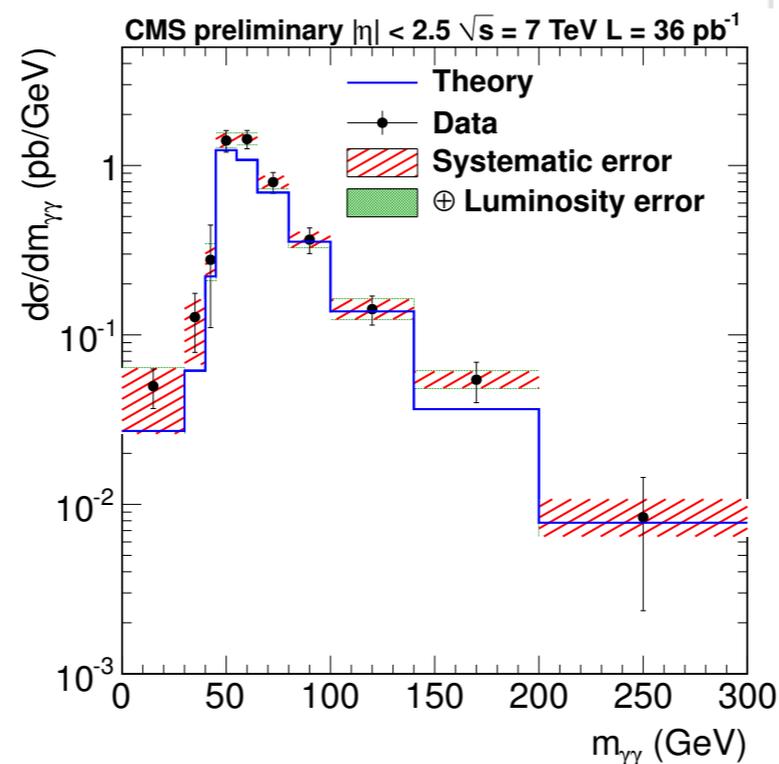
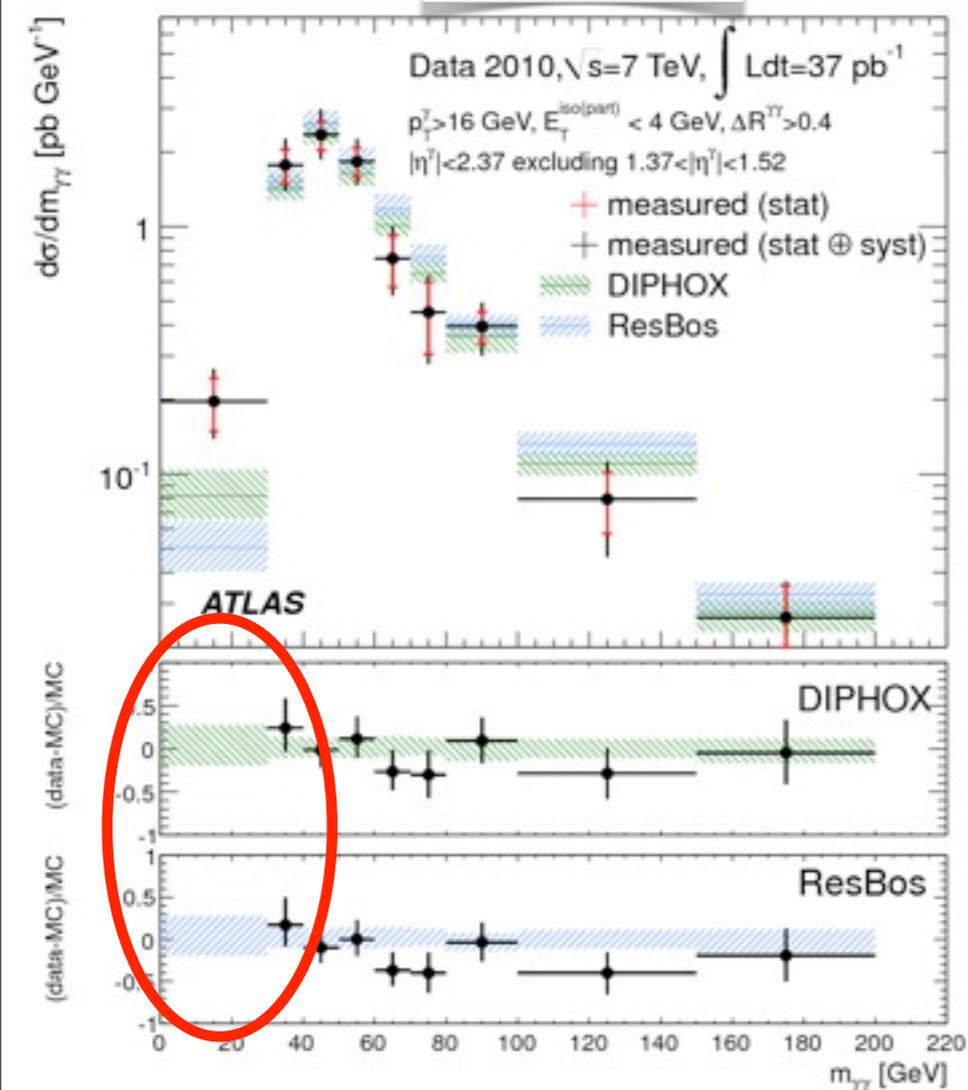
Même désaccord à basse masse



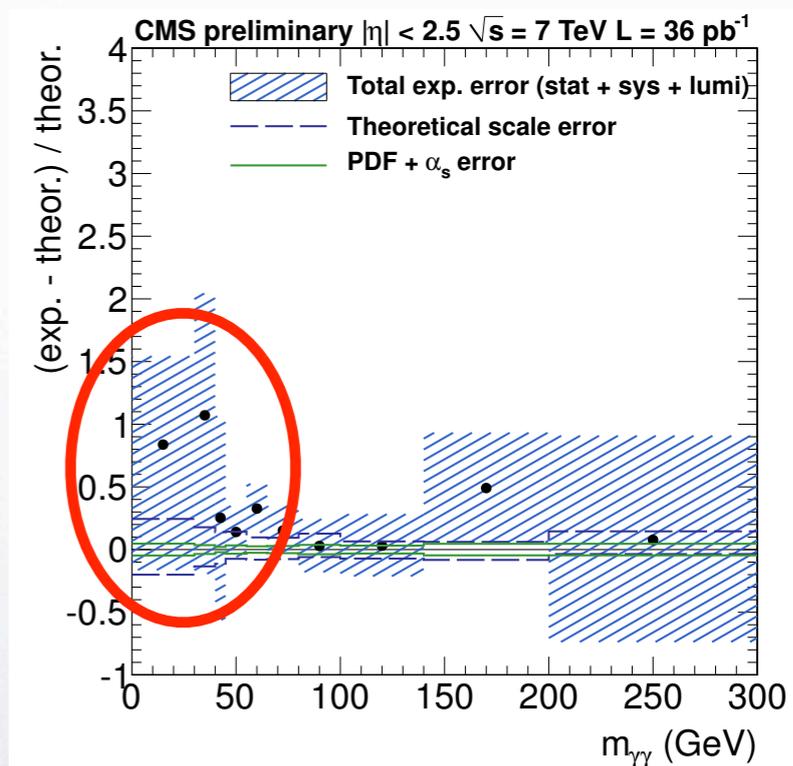
2 photons - $m(\gamma\gamma)$ - CMS

ATLAS

CMS



Theory: DIPHOX + GAMMA2MC (gg box à NLO)

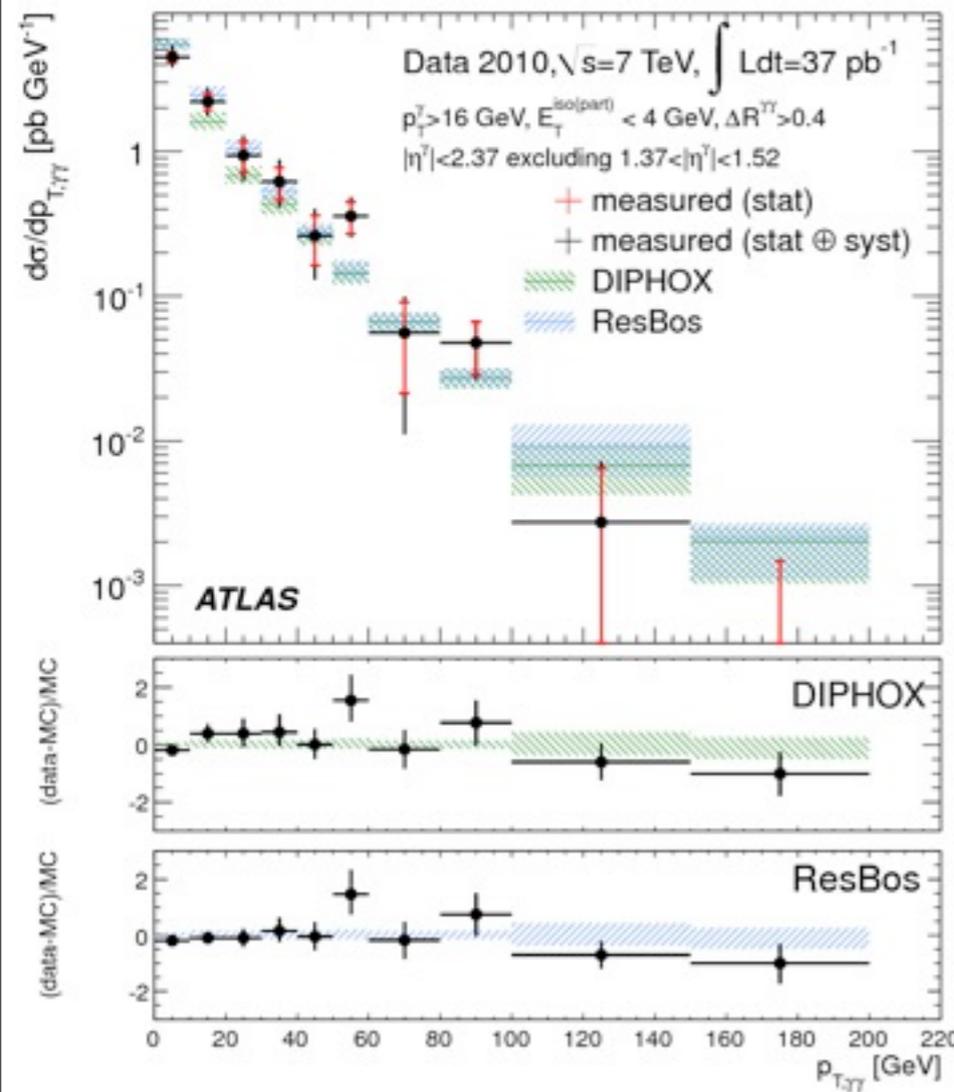


Inclure le calcul du diagramme de fusion de gluons (box) à NLO améliore l'accord avec la mesure

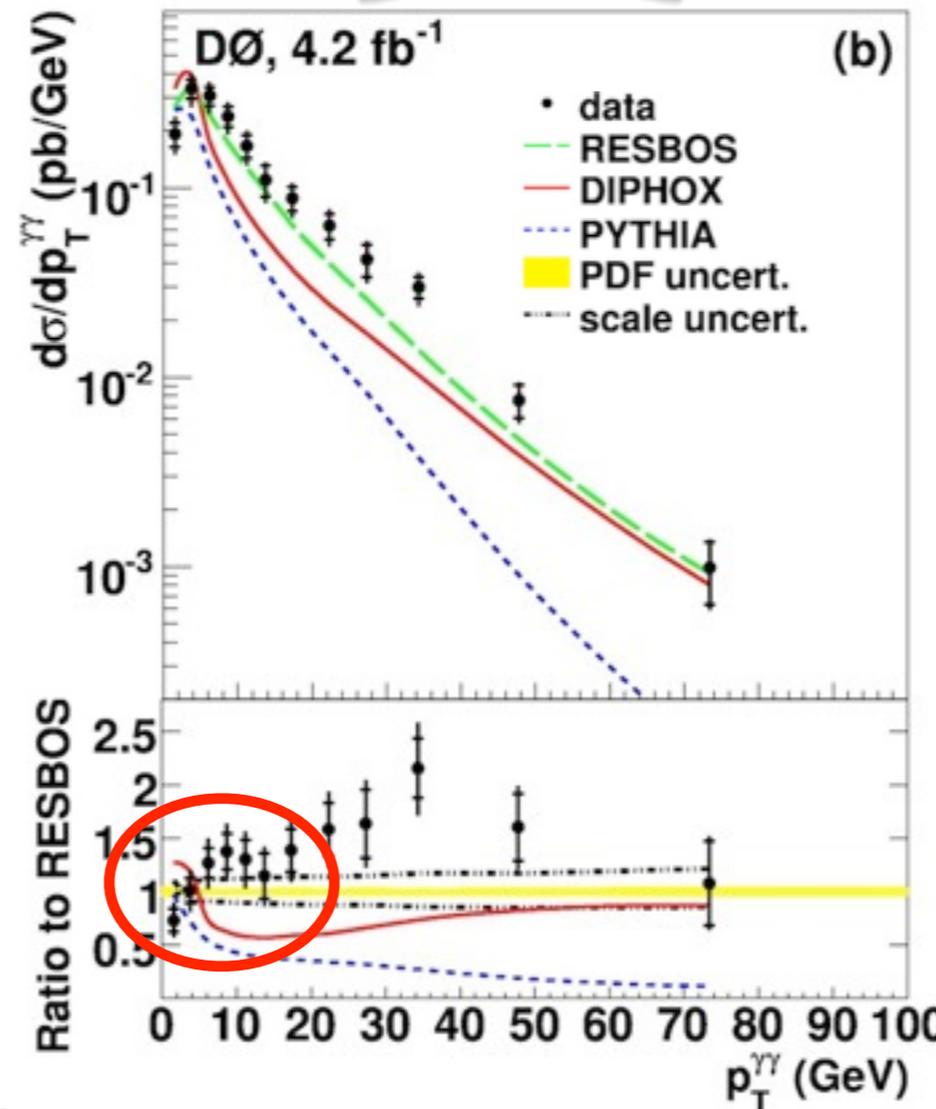


2 photons - $p_T(\gamma\gamma)$ - Tevatron

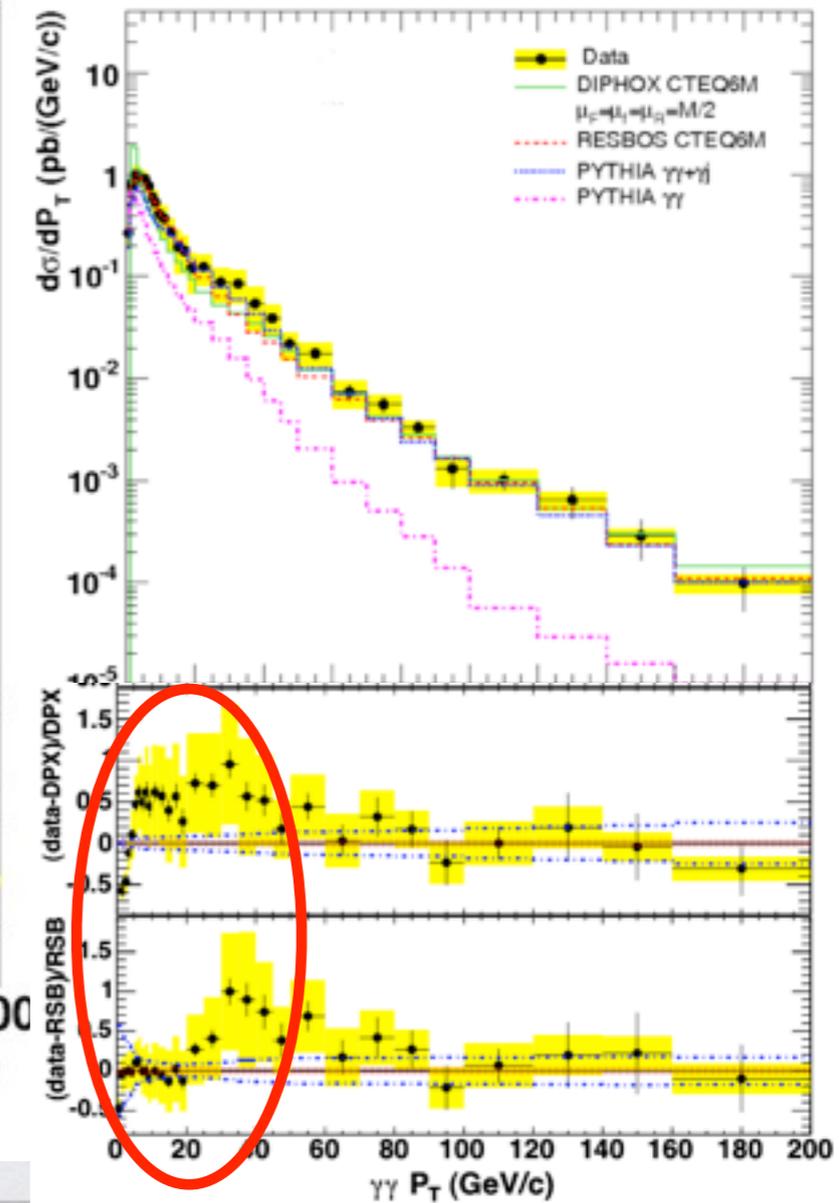
ATLAS



D0



CDF



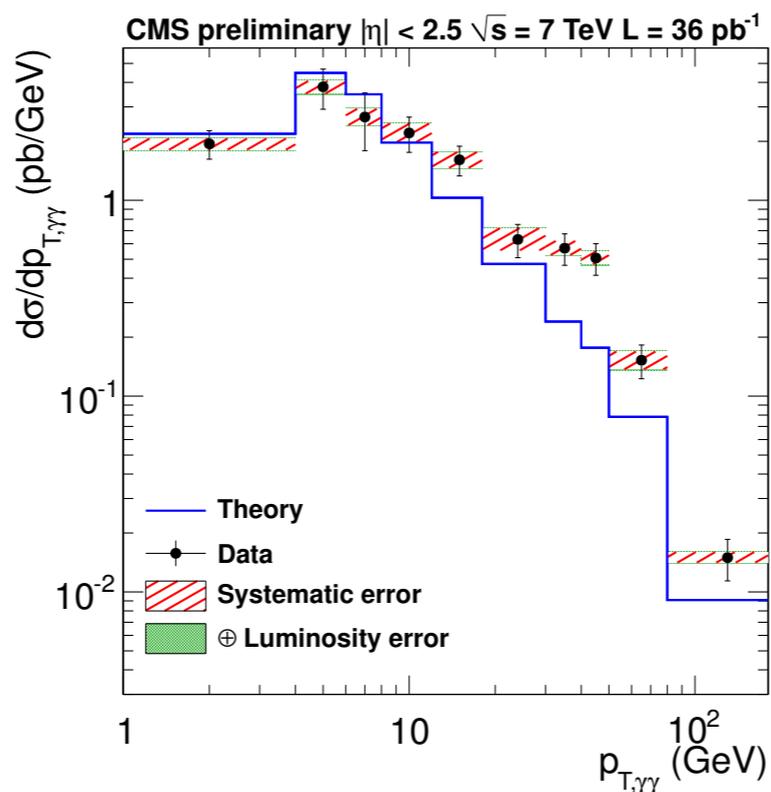
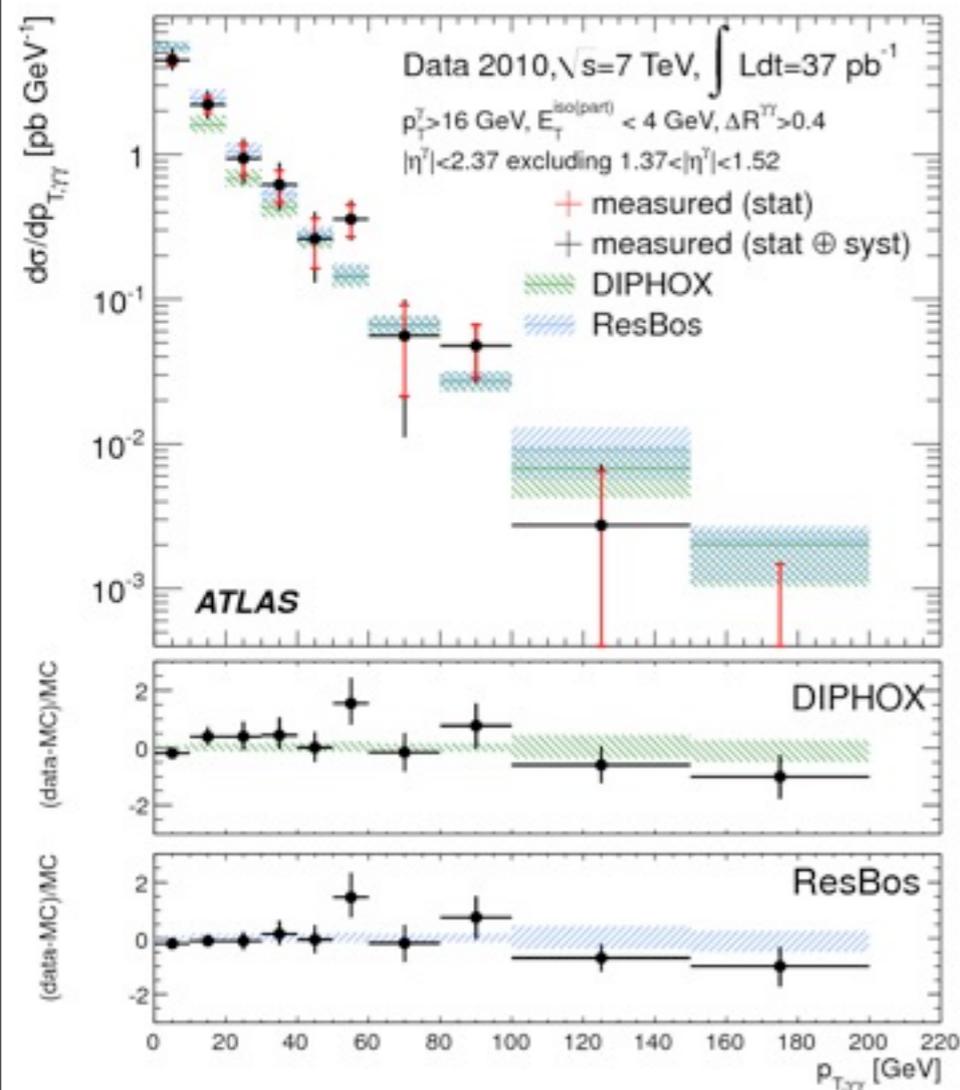
Tevatron: binning fin permet de voir un désaccord non visible par ATLAS encore



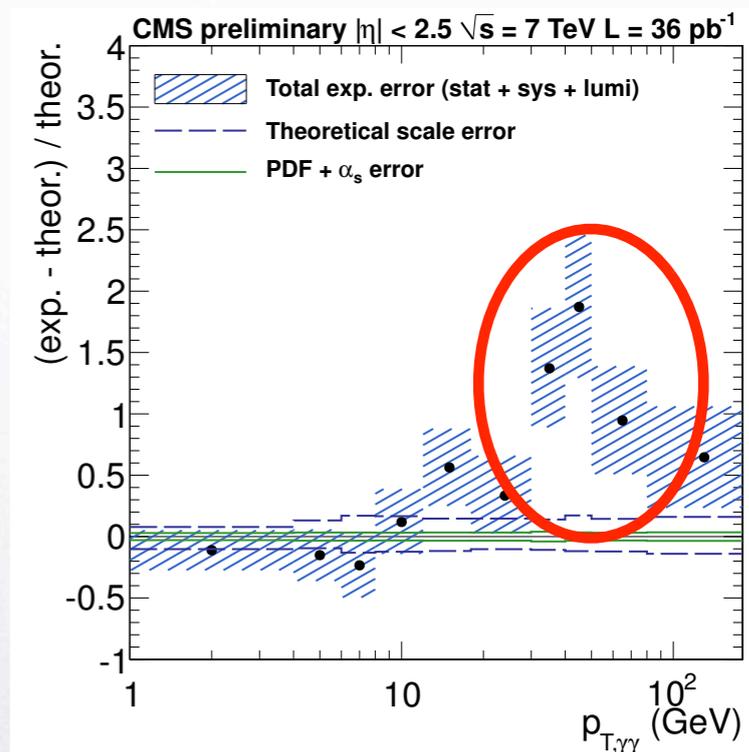
2 photons - $p_T(\gamma\gamma)$ - CMS

ATLAS

CMS



Theory: DIPHOX + GAMMA2MC
(gg box à NLO)

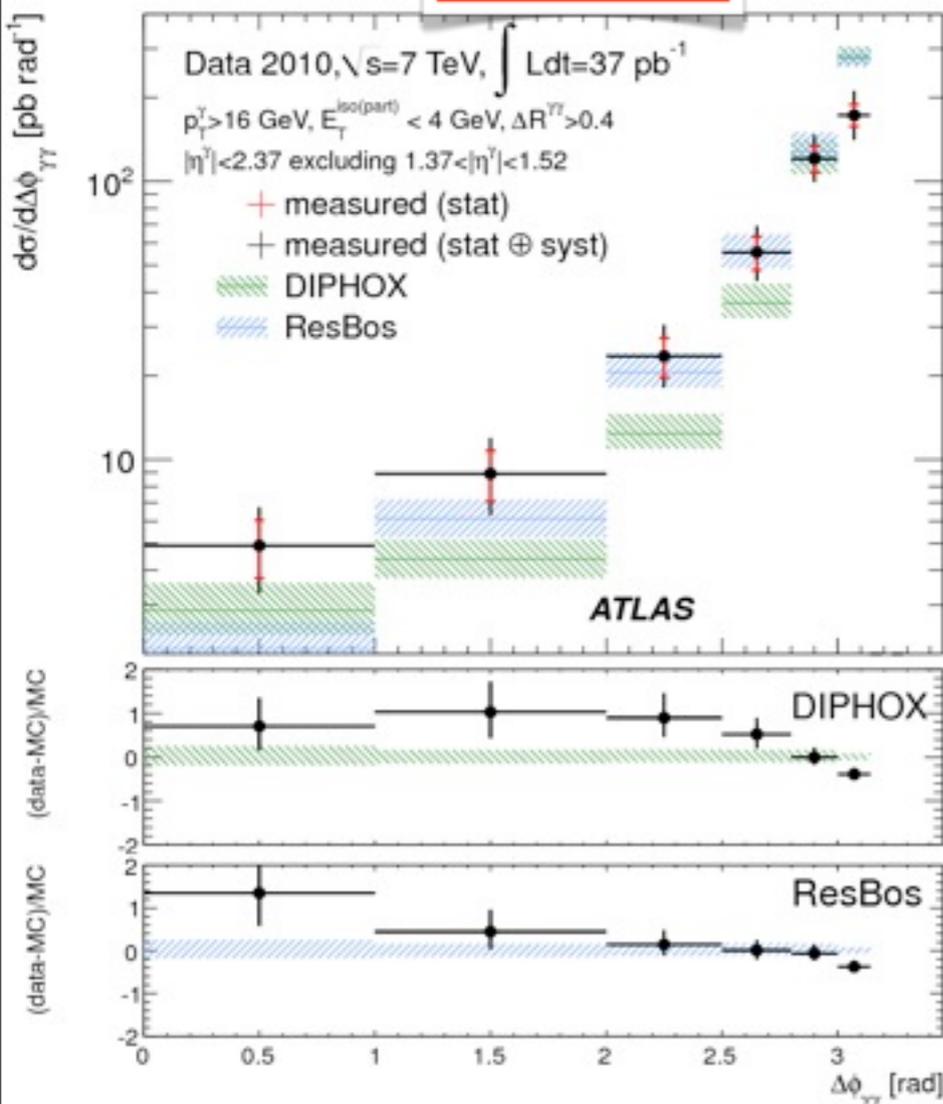


Bon accord globalement

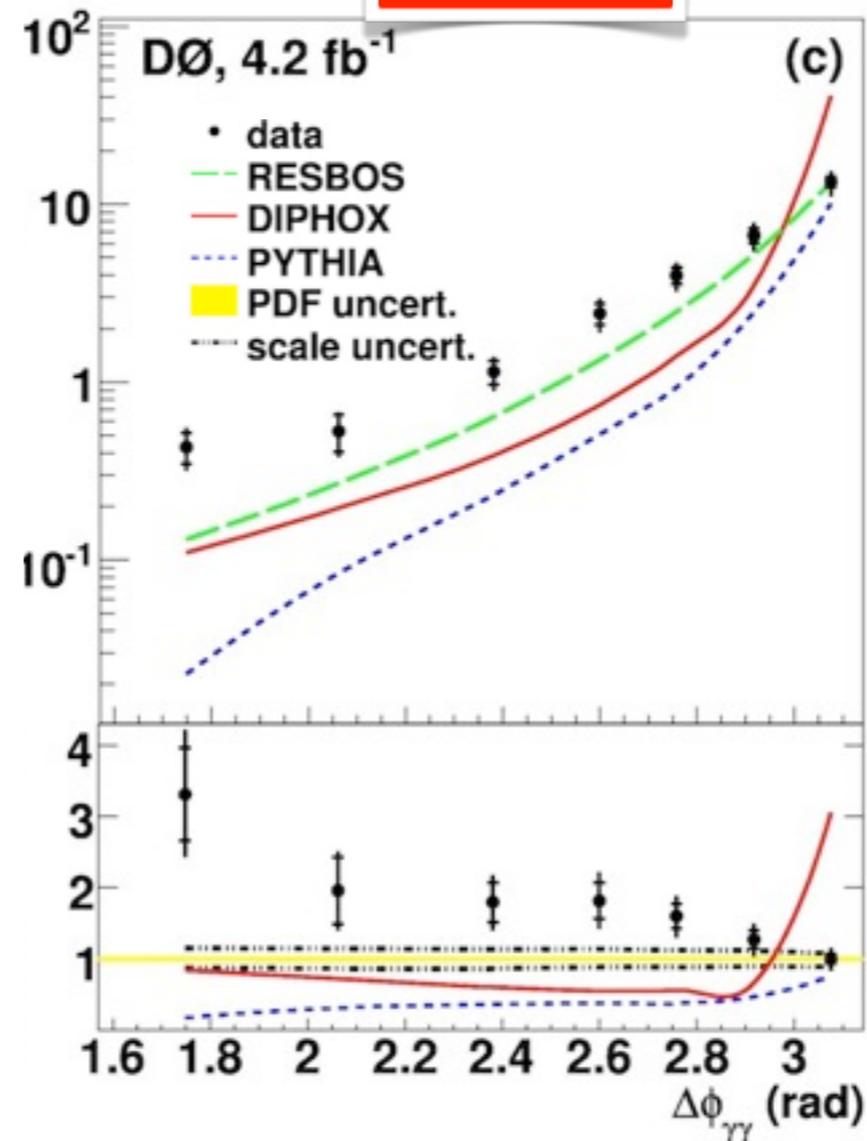


2 photons - $\Delta\Phi(\gamma\gamma)$ - Tevatron

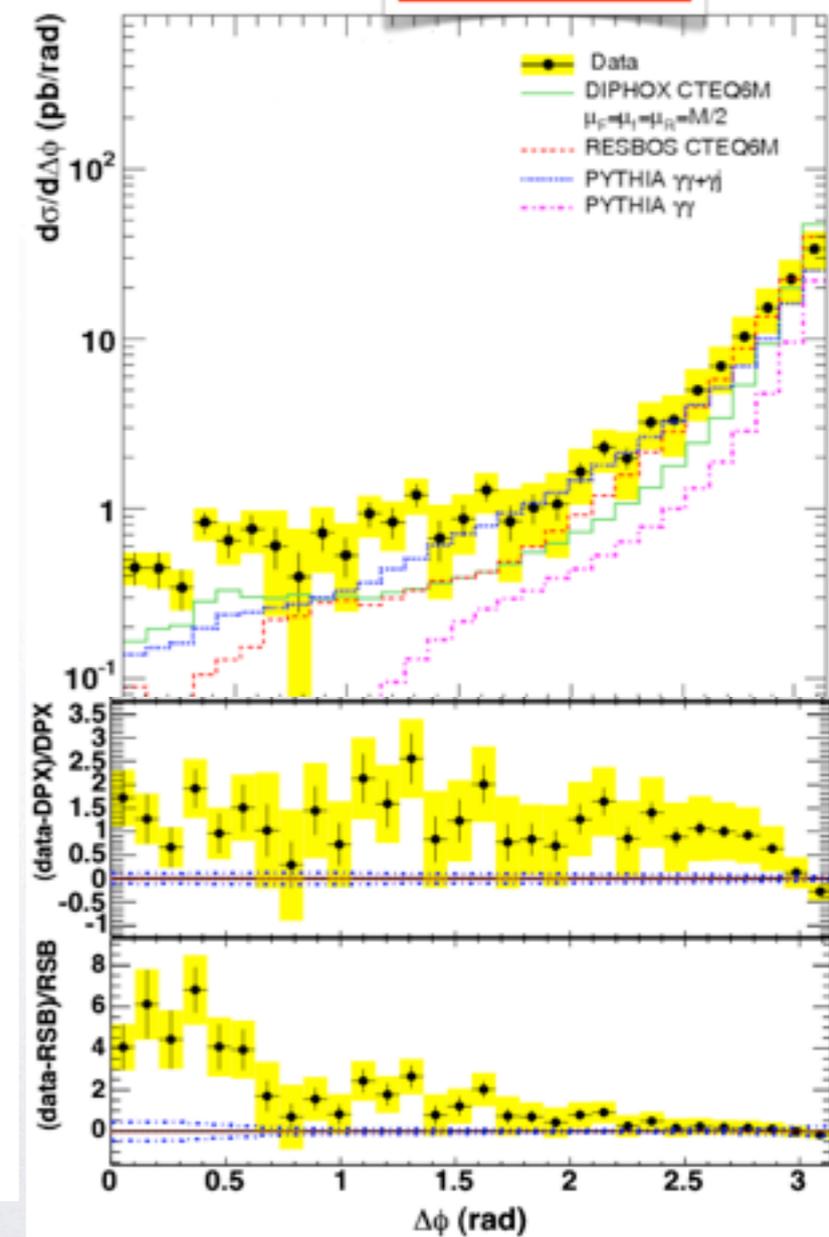
ATLAS



D0



CDF

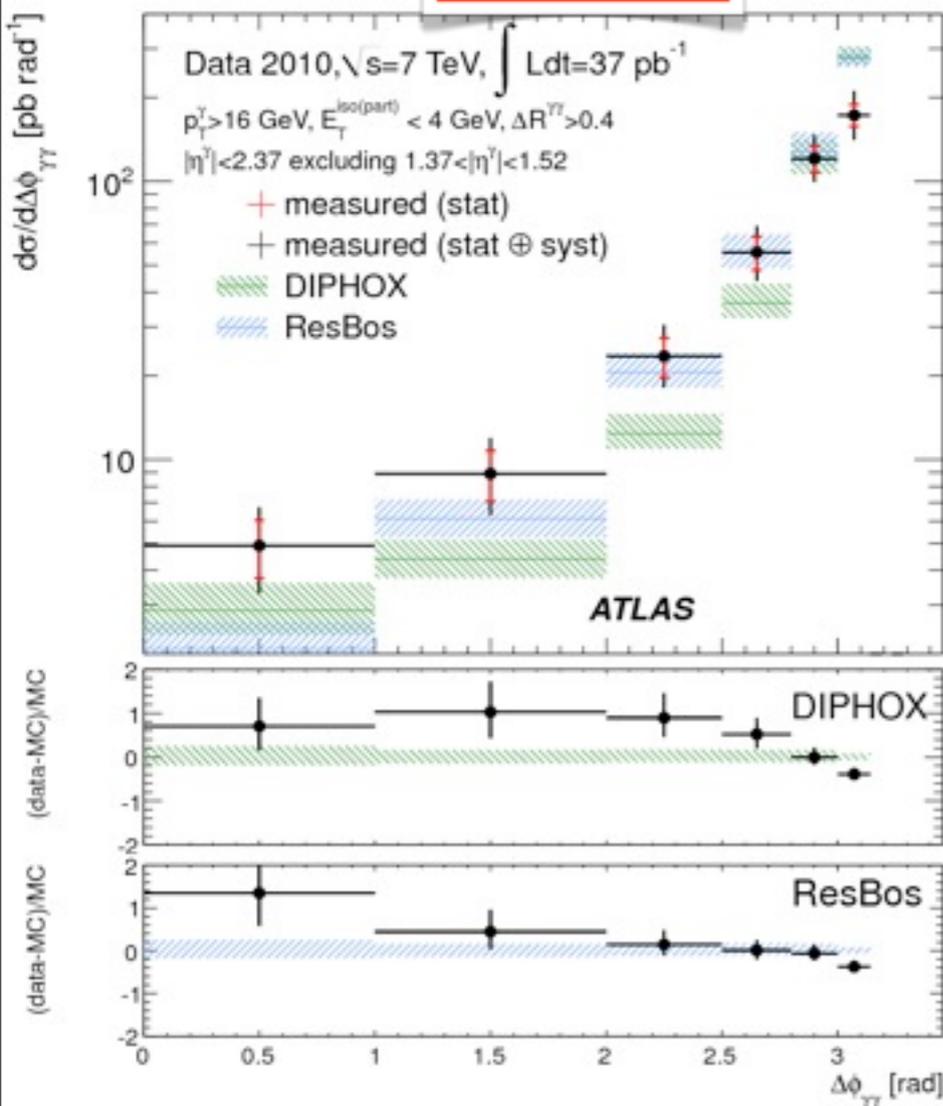


Même désaccord visible dans les 3 expériences

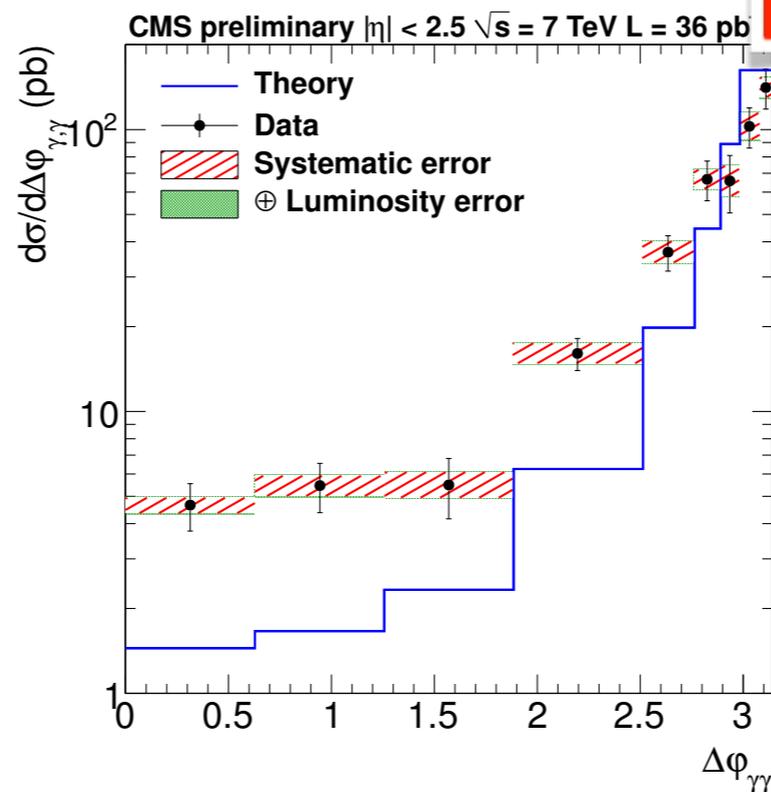


2 photons - $p_T(\gamma\gamma)$ - CMS

ATLAS



CMS



Theory: DIPHOX + GAMMA2MC
(gg box à NLO)

Désaccord plus grand à petit angle dans CMS que dans ATLAS ?

