

# CALIBRATION DE L'ÉCHELLE D'ÉNERGIE DES JETS ET MESURE DE LA MASSE DU QUARK TOP DANS LE CANAL SEMI-LEPTONIQUE AVEC LE DÉTECTEUR ATLAS AU LHC

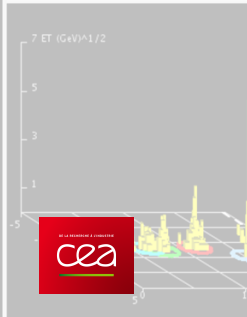
Fabrice Balli – Service de Physique des Particules  
Directeur de thèse: Bruno Mansoulié  
Encadrant de thèse: Jérôme Schwindling

2013/07/03



158975, Event Number: 21437359

Date: 2010-07-12 07:04:37 CEST



## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

# L'accélérateur de particules

## Le LHC (collisionneur proton-proton) :

- 27 km de circonférence
- 9593 aimants supraconducteurs
- Premières collisions en Décembre 2009
- Le plus énergétique en fonctionnement : 7(8) TeV dans le centre de masse en 2011(2012) (14 TeV à énergie nominale)
- Collisions de 1380x1380 paquets de protons x protons, temps entre 2 croisements : 50ns
- 4 points de collision avec leurs détecteurs associés : LHCb, ALICE, CMS et ATLAS.

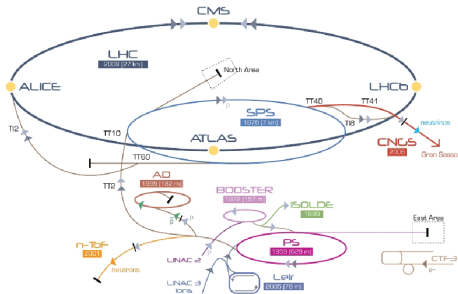


Schéma d'injection du LHC

# Le détecteur ATLAS : A Toroidal LHC ApparatuS

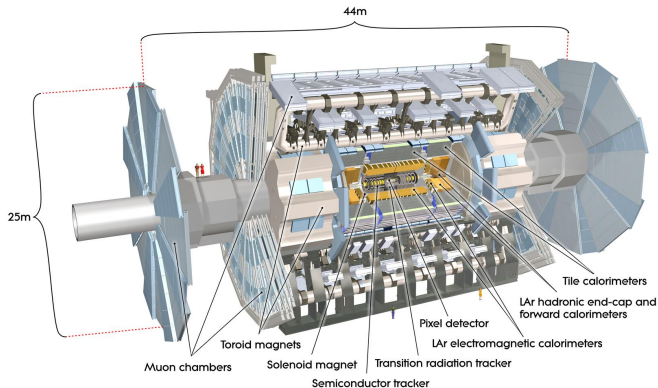


Schéma du détecteur

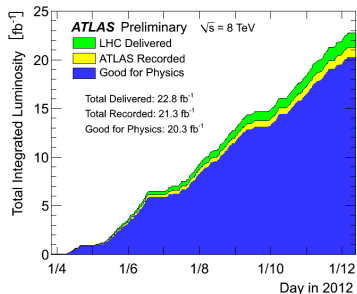
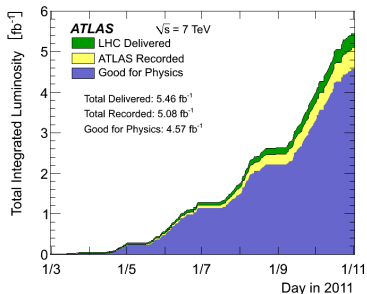
But : **identification des particules, mesure de leur énergie, de leur direction** ( $\phi, \eta = -\ln(\tan \frac{\theta}{2})$ ), **de leur impulsion** ( $p_T$ ) **dans le plan transverse**

## Principaux sous-systèmes :

- Le détecteur de traces interne
- Le calorimètre électromagnétique
- Le calorimètre hadronique
- Le spectromètre à muons
  - ▶ L'aimant toroïdal

# La prise de données

- Luminosité intégrée ( $\mathcal{L} = N^{evts}/\sigma_{pp}$ ) enregistrée:
  - ▶  $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$  (2011)
  - ▶  $\sim 20 \text{ fb}^{-1}$  (2012)



- Plusieurs Po de données par an  $\Rightarrow$  Répartition sur une grille informatique d'envergure mondiale

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

### ■ Introduction

■ La masse du quark top

■ Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

■ Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$

■ Principe de la méthode

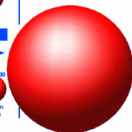
■ Résultat obtenu dans les données à 7 TeV

■ Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

- Partenaire  $SU(2)_L$  du quark  $b$ :  
 $Q = +\frac{2}{3}e$ ,  $T_3 = 1/2$
- Après le 4 Juillet 2012, le top est toujours la **particule élémentaire connue la plus lourde** ( $\approx 173 \text{ GeV}$ ).
  - ▶ Mystère inexpliqué du Modèle Standard
  - ▶ Intérêts à la mesure précise de la masse détaillés dans la suite

LEPTONS		
Electron Neutrino Mass $\approx 0$	Muon Neutrino Mass $\approx 0$	Tau Neutrino Mass $\approx 0$
Electron Mass 0.511	Muon Mass 105.7	Tau Mass 1.777
QUARKS		
Up Mass 5	Charm Mass 1.500	Top Mass $\approx 173.200$
Down Mass 5	Strange Mass 160	Bottom Mass 4.200



- **couplage de Yukawa**  $\approx 1$

- ▶ Rôle particulier dans la brisure de symétrie électrofaible?

- Largeur au NLO:

$$\Gamma_{top} = \frac{G_\mu m_{top}^3}{8\pi\sqrt{2}} |V_{tb}|^2 \left(1 - \frac{m_W^2}{m_{top}^2}\right)^2 \left(1 + 2\frac{m_W^2}{m_{top}^2}\right) \left[1 - \frac{2\alpha_s}{3\pi} \left(\frac{2\pi^2}{3} - 5/2\right)\right] \approx 1.5 \text{ GeV}$$

- ▶  $\Rightarrow$  temps de vie  $\approx 5 \cdot 10^{-25} \text{ s} \ll$  temps d'hadronisation

- Physique au-delà du Modèle Standard: de nombreuses nouvelles particules se coupleraient au top

- ▶  $\Rightarrow$  Études des propriétés peuvent mener à des découvertes de nouvelle physique!



## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction

- **La masse du quark top**

- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$

- Principe de la méthode

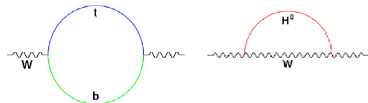
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV

- Perspectives à 8 TeV

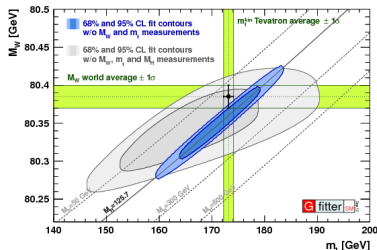
## 5 Résumé et plans futurs

# L'ajustement électrofaible

- Dans le Modèle Standard, il existe une relation entre la masse du quark top, la masse du boson W et **la masse du boson de Higgs**  
→ Permet de vérifier la **compatibilité du MS avec les observations** en utilisant la masse du nouveau boson (ajustement électrofaible)
- **Intérêt à mesurer avec une précision inférieure au %**
- Il existe aussi des ajustements pour la physique au-delà du modèle standard (e.g sensibilité des paramètres S,T,U)

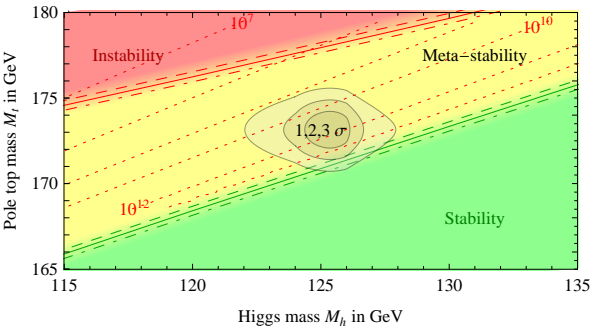


Corrections à une boucle au propagateur du boson W



Ajustement électrofaible

## ■ Information sur la stabilité du vide (plan $m_{\text{top}}-m_h$ )



- $\lambda(\mu) > 0$ : vide électrofaible est un minimum global
- $\lambda(\mu) < 0$ : vide électrofaible est métastable

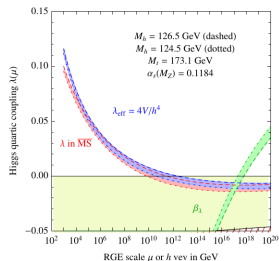
## ■ Potentiel de Higgs de la forme:

$$V = -m^2|\Phi|^2 + \lambda(\mu)|\Phi|^4$$

## ■ Stabilité dépend du signe de $\lambda(\mu)$

## ■ Si MS est toujours valide à l'échelle de Planck, quel est le signe de $\lambda(\mu)$ à cette échelle ?

- NB: Potentiel éventuellement non borné mais il faut: temps de transit  $\ll$  âge de l'Univers (métastable)



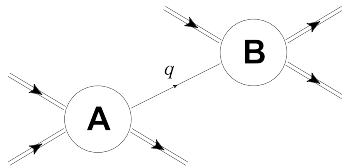
# Quelle masse mesure-t-on?

- Il y a **plusieurs définitions de la masse du quark top**
  - ▶ dépend du schéma de renormalisation dans lequel on se place!

- Usuellement : **masse au pôle**  $m_{top}^{pole}$ 
  - ▶ Partie réelle du pôle du propagateur du quark top (schéma OS)

$$S_{ij}(p) = \frac{i\delta_{ij}}{\not{p} - m_0 - \Sigma(p) - i\epsilon}$$

- ▶ Problème intrinsèque à la QCD: pas de quark libre  
 ⇒ **ambiguïté intrinsèque**  $\mathcal{O}(\Lambda_{QCD})$



- Autres schémas plus appropriés pour  $m_{top}$  (e.g.  $\overline{MS}$ ,  $PS$ )
  - ▶ **Particulièrement avantageux pour les futurs collisionneurs (ILC...)**
- Motivations théoriques utilisent principalement  $m_{top}^{pole}$ .
- Ici: mesure de la masse injectée dans la simulation MC, i.e: les produits de désintégration ont une cinématique au NLO+LL en QCD
  - ▶  $m_{top}^{MC} \neq m_{top}^{pole}$ , mais proche

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction

- La masse du quark top

- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$

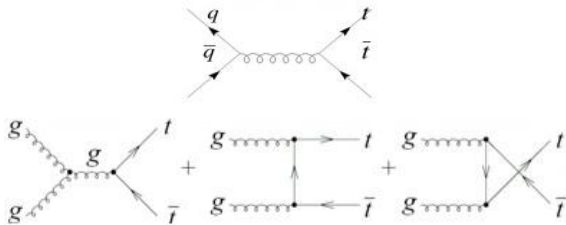
- Principe de la méthode

- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV

- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

# Production d'événements $t\bar{t}$



Modes de production de paires  $t\bar{t}$

■ Au seuil de production :  $(2m_{top})^2 = x_a \times x_b \times s$

■  $\Rightarrow$  dominé par la fusion de gluons

■ section efficace (7 TeV, NNLO+NNLL):

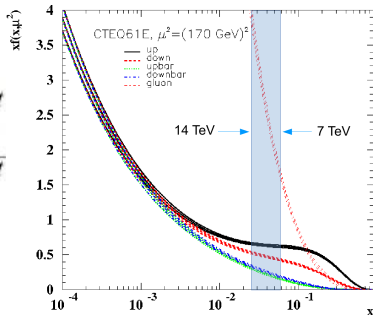
$$\sigma(t\bar{t}) = 177.3_{-10.8}^{+10.1} \text{ pb}$$

En 2011,  $N_{events} \approx 885k$

■ section efficace (8 TeV, NNLO+NNLL):

$$\sigma(t\bar{t}) = 252.9_{-14.5}^{+13.3} \text{ pb}$$

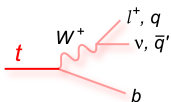
En 2012,  $N_{events} \approx 5.1M$



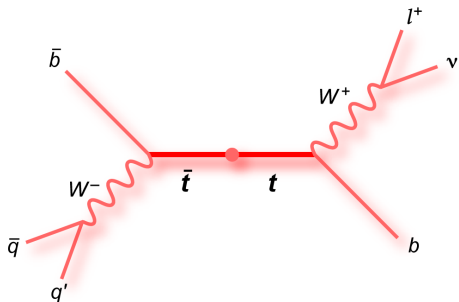
PDFs pour processus dur avec  
transfert d'impulsion

$\mu^2 = 170^2 \text{ GeV}^2$  Vs fraction  
d'impulsion portée par le parton ( $x$ ).

# Modes de désintégration des paires $t\bar{t}$

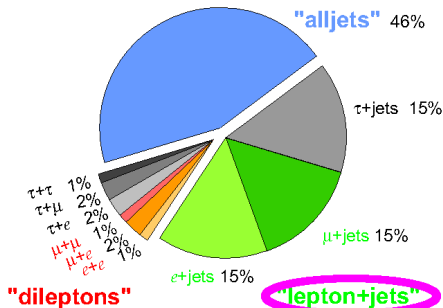


Modes de désintégration du quark top  
(99.9% des cas)



Modes de désintégration de paires  $t\bar{t}$  dans le canal lepton + jets

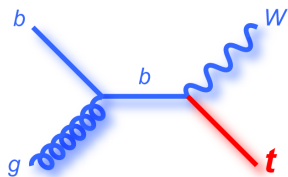
## Top Pair Branching Fractions



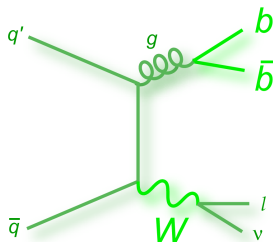
Rapports de branchement des désintégrations de paires  $t\bar{t}$

Sélection d'événements semi-leptoniques

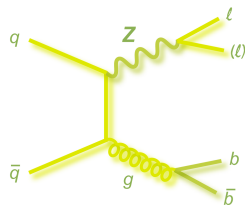
# Bruits de fond



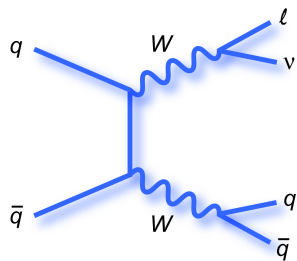
bruit de fond top célibataire



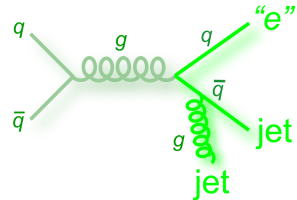
bruit de fond  $W$  + jets



bruit de fond  $Z$  + jets



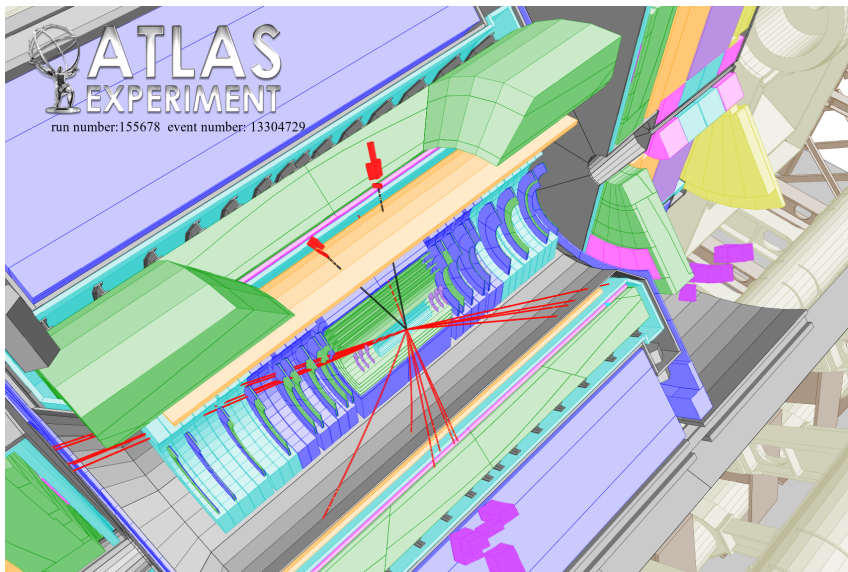
bruit de fond diboson



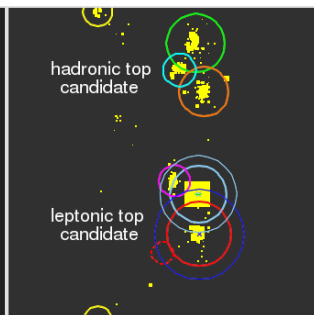
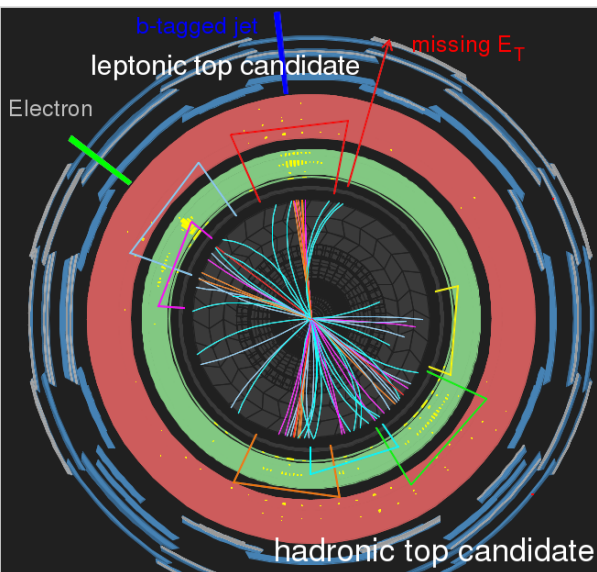
bruit de fond QCD multijets



# candidat $t\bar{t}$ , canal dilepton



# candidat $t\bar{t}$ , canal $\ell+jets$



# ATLAS EXPERIMENT

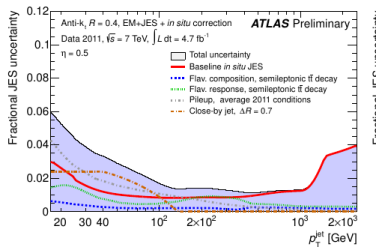
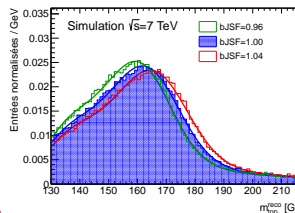
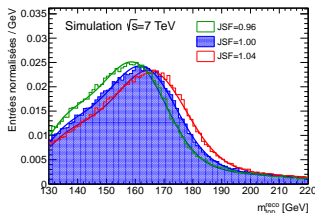
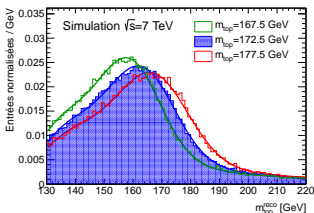
Run Number: 166658, Event Number: 34533931

Date: 2010-10-11 23:57:42 CEST

$l$ +jets channel:  $t\bar{t} \rightarrow bWbW \rightarrow bq\bar{q}bl\nu$

- Utilisation de l'observable  $m_{\text{top}}^{\text{reco}}$  hadronique pour mesurer la masse  $m_{\text{top}}$
- Observable très sensible à l'échelle d'énergie des jets (JES)
  - $\Rightarrow$  incertitude systématique potentiellement élevée

- 2<sup>ème</sup> incertitude la plus grande (potentiellement): incertitude d'échelle d'énergie des jets de quark  $b$  relativement à celle des jets légers (bJES)

(a)  $\eta = 0.5$ 

■  $\Rightarrow$  Tâche de qualification dans le groupe Jet/ $E_T^{\text{miss}}$

■  $\Rightarrow$  Amélioration de la technique d'analyse (3d-analysis)

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

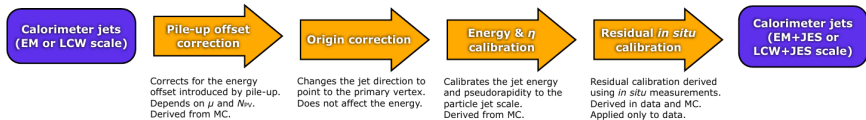
- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

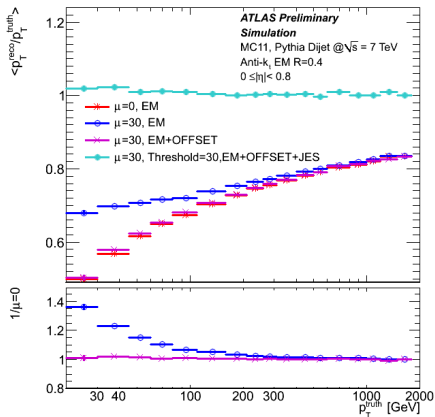
- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs



## Ingrédients principaux:

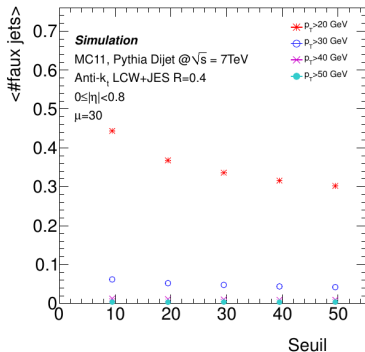
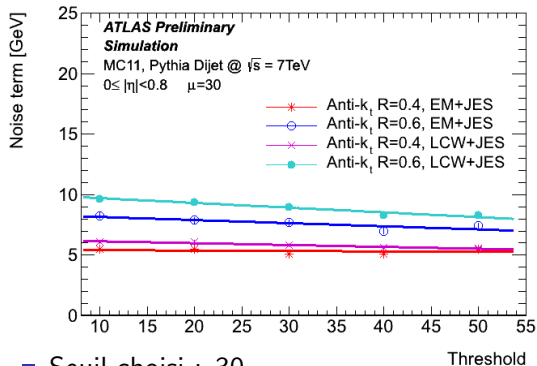
- Correction en empilement (“offset” ou “jet area”) (dérivée dans la simulation)
- Calibration JES (dérivée dans la simulation): réponse à 1 (dérivée dans la simulation)
- Calibration résiduelle *in-situ* appliquée aux données seulement (dérivée dans les données)



$$\text{Réponse} = \langle p_T^{reco} / p_T^{vrai} \rangle$$

## Résolution fractionnelle:

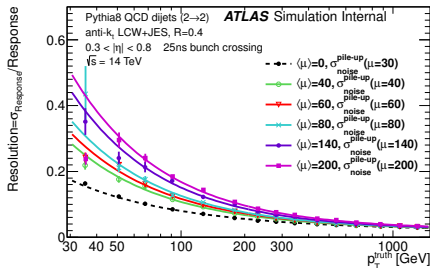
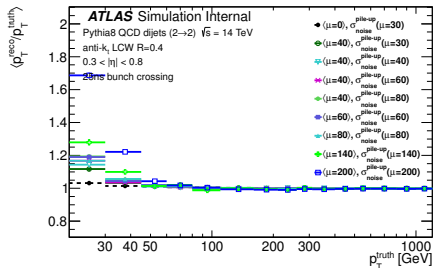
$$\frac{\sigma(p_T)}{p_T} = \sqrt{\frac{N^2}{p_T^{\text{truth}2} + \frac{S^2}{\sqrt{p_T^{\text{truth}2}} + C^2}} \quad N \text{ dominant } (S \sim 0.7\sqrt{\text{GeV}}, C \sim 0.05)$$



## ■ Seuil choisi : 30

- ▶ réduction du nombre moyen de faux jets par événement
- ▶ meilleure performance  $E_T^{\text{miss}}$
- ▶ pas d'impact sur la résolution

# Études à haute luminosité à 14 TeV – “muscan III”



- Défi en termes de calibration de JES à très haut  $\langle \mu \rangle$  et bas  $p_T$  de jet
- Importante dégradation de la résolution avec  $\langle \mu \rangle (\geq 50\%$  pour un jet de  $p_T = 50$  GeV de  $\langle \mu \rangle = 40$  à  $\langle \mu \rangle = 200$ )
- Doit être aussi bas que possible pour les analyses de physique

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

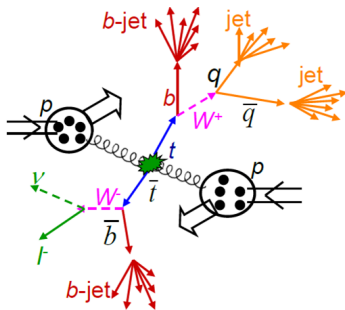
## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs



- 1 vertex primaire (d'interaction) avec au moins 5 traces
- Sélection du lepton (ayant déclenché le système de détection)
  - ▶ Exactement 1 lepton avec  $p_t > 20(25)$  GeV dans le canal muon (électron),  $|\eta|$  dans l'acceptance du détecteur
  - ▶ Plusieurs coupures de qualité
  - ▶ Isolé (pas de jet près du lepton)
  - ▶ Coupure sur le paramètre d'impact longitudinal ( $z_0 < 2$  mm)
- Sélection des jets
  - ▶  $\geq 4$  bons jets avec au moins 1 jet étiqueté b et 2 jets non étiquetés b, avec  $|\eta| < 2.5$ ,  $p_T > 25$  GeV
- Coupures sur  $E_T^{\text{miss}}$  et  $M_T^{\text{lepton, neutrino}}$  ( $m_W^T$ ):
  - ▶ e+jets:  $E_T^{\text{miss}} > 30$  GeV,  $m_W^T > 30$  GeV
  - ▶  $\mu$ +jets:  $E_T^{\text{miss}} > 30$  GeV,  $m_W^T + E_T^{\text{miss}} > 60$  GeV
- Reconstruction de l'événement à l'aide d'un maximum de vraisemblance cinématique (KLFFitter): assignement des jets reconstruits aux partons  $b, \bar{b}, q, \bar{q}$



## Coupsures additionnelles:

- exactement 2 jets de  $b$
- $55 \text{ GeV} < m_W^{\text{reco}} < 110 \text{ GeV}$
- $130 \text{ GeV} < m_{\text{top}}^{\text{reco}} < 220 \text{ GeV}$
- $0.3 < R_{\text{lb}}^{\text{reco}} < 3$

$$R_{\text{lb}}^{\text{reco}} = \frac{p_T^{\text{blep}} + p_T^{\text{bhad}}}{W_{\text{jet1}} + p_T}$$

Canal	e+jets	$\mu$ +jets
Processus	Sélection finale	
Signal $t\bar{t}$	$2540.2 \pm 242.5$	$4356.7 \pm 416.1$
Signal top célibataire	$97.9 \pm 6.9$	$161.2 \pm 11.0$
$W$ +jets	$27.2 \pm 8.9$	$63.1 \pm 20.2$
$Z$ +jets	$8.0 \pm 1.1$	$6.7 \pm 1.0$
Multijets	$33.8 \pm 43.9$	$37.0 \pm 32.8$
Dibosons	$0.9 \pm 0.2$	$1.8 \pm 0.3$
Total bruits de fond	$69.8 \pm 44.8$	$108.7 \pm 38.6$
Signal / Bruit	37.8	41.6
Total attendu	$2708 \pm 247$	$4627 \pm 418$
Total observé ( $4.7 \text{ fb}^{-1}$ )	$2952 \pm 54$	$5185 \pm 72$

7 TeV

Canal	e+jets	$\mu$ +jets
Processus	Sélection finale	
Signal $t\bar{t}$	$16252.0 \pm 1046.0$	$25197.1 \pm 1617.4$
Signal top célibataire	$576.3 \pm 43.9$	$913.8 \pm 65.7$
$W$ +jets	$132.5 \pm 11.5$	$333.6 \pm 18.3$
$Z$ +jets	$37.3 \pm 6.6$	$55.2 \pm 8.2$
Multijets	-	-
Dibosons	$2.5 \pm 1.6$	$16.5 \pm 4.2$
Total bruits de fond	$172.2 \pm 13.3$	$405.3 \pm 20.5$
Signal / Bruit	97.7	64.4
Total attendu	$17000.5 \pm 1047.0$	$26516.2 \pm 1618.9$
Total observé ( $20.34 \text{ fb}^{-1}$ )	$17535 \pm 132$	$26684 \pm 163$

8 TeV

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

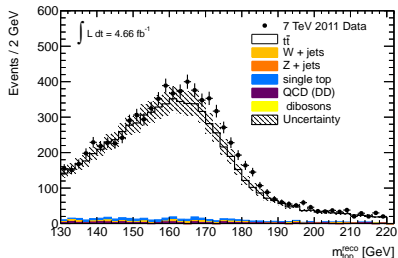
## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

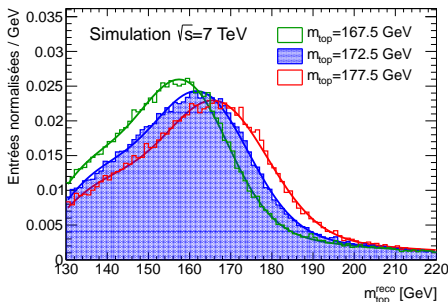
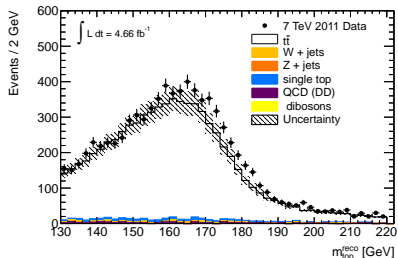
# Principe de la méthode

- Utilise la distribution de masse reconstruite  $m_{\text{top}}^{\text{reco}}$  pour mesurer la masse du quark top (sélection des trois jets du côté hadronique).

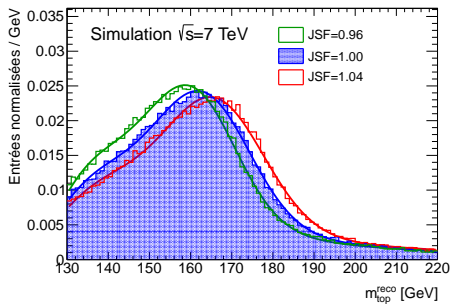


# Principe de la méthode

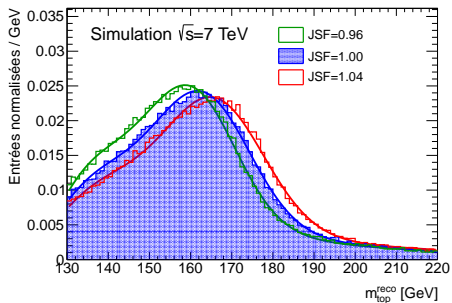
- Utilise la **distribution de masse reconstruite**  $m_{\text{top}}^{\text{reco}}$  pour mesurer la masse du quark top (sélection des trois jets du côté hadronique).
- Construction de *templates* de cette observable à différentes masses de top en entrée.
- Comparaison entre données et simulation.



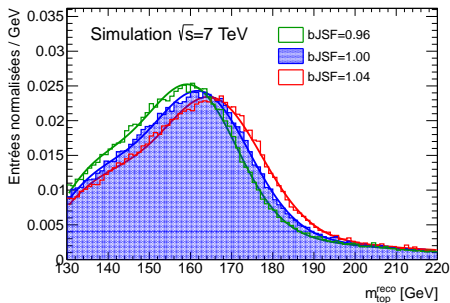
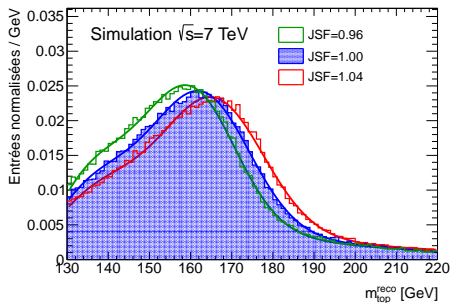
- Observable très sensible à l'échelle d'énergie des jets (JES)  
⇒ Potentielle incertitude systématique importante



- Observable **très sensible à l'échelle d'énergie des jets (JES)**  
⇒ Potentielle **incertitude systématique importante**
- Échelle d'énergie des jets actuellement connue à une précision de l'ordre du %



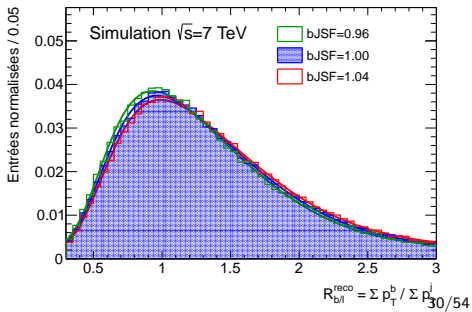
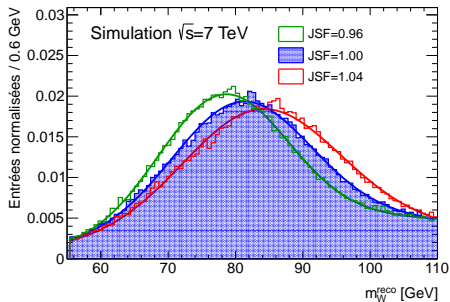
- Observable **très sensible à l'échelle d'énergie des jets (JES)**  
 ⇒ Potentielle **incertitude systématique importante**
- Échelle d'énergie des jets actuellement connue à une précision de l'ordre du %
- 2<sup>nde</sup> plus importante incertitude potentielle: échelle d'énergie relative des jets de quarks b (bJES)



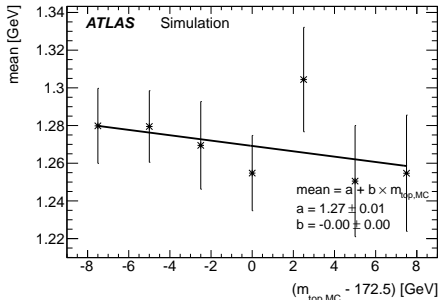
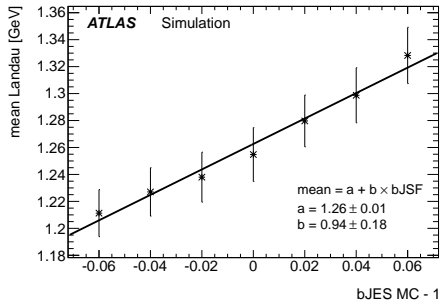
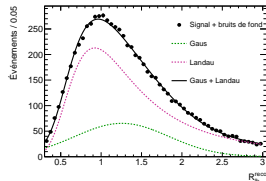


- L'analyse 3D réduit drastiquement les incertitudes dues à la JES et à la bJES, utilisant des contraintes in-situ de l'échelle d'énergie des jets (JSF) de l'échelle d'énergie relative des jets de b (bJSF) à partir de la masse du W hadronique reconstruit  $m_W^{\text{reco}}$  et de l'observable  $R_{lb}^{\text{reco}}$  de chaque événement.
- $R_{lb}^{\text{reco}}$  sensible aux changements de l'échelle d'énergie relative des jets de b (bJSF):

$$\blacktriangleright R_{lb}^{\text{reco}} = \frac{p_T^{\text{blep}} + p_T^{\text{bhad}}}{p_T^{\text{W}_{jet1}} + p_T^{\text{W}_{jet2}}} \quad (\text{2b-tagged jet events}) \quad \text{ATLAS-CONF-2013-046}$$



- Ajustement de  $R_{lb}^{\text{reco}}$  par Landaus+Gaus
- m.p.v de la distribution de Landau vs bJSF et  $m_{\text{top}}$  (plages de variations équivalentes pour  $m_{\text{top}}^{\text{reco}}$ )



- Contraintes sur bJES
- dépendance en  $m_{\text{top}}$  résiduelle prise en compte dans la PDF

- Ajustements de templates réalisés à 5 points de masse  $\times$  5 JSF<sup>in</sup>  $\times$  5 bJSF<sup>in</sup>
- PDFs construites à partir des prédictions (signal et bruits de fond)

Vraisemblance finale:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\text{shape}}(m_{\text{top}}^{\text{reco}}, m_{\text{W}}^{\text{reco}}, R_{\text{lb}}^{\text{reco}} | m_{\text{top}}, \text{JSF}, \text{bJSF}) = \\ \prod_{i=1}^N P_{\text{top}}(m_{\text{top}}^{\text{reco}} | m_{\text{top}}, \text{JSF}, \text{bJSF})_i \times \\ P_{\text{W}}(m_{\text{W}}^{\text{reco}} | \text{JSF})_i \times \\ P_{\text{R}_{\text{lb}}}(R_{\text{lb}}^{\text{reco}} | m_{\text{top}}, \text{bJSF})_i \end{aligned}$$

- Méthode validée avec des pseudo-expériences dans la simulation
- Extraction de  $m_{\text{top}}$ : maximisation de la vraisemblance dans les données (*unbinned likelihood fit*)
  - ▶ Ajustement simultané des 3 observables, contrainte in-situ du JSF et du bJSF

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

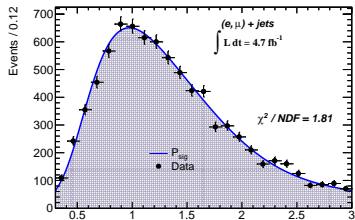
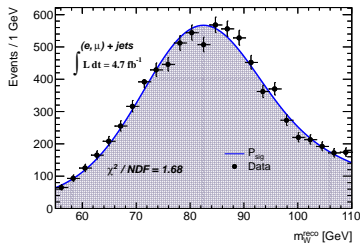
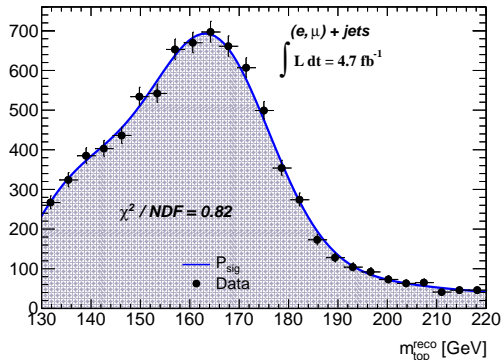
## 5 Résumé et plans futurs

# Résultats de l'ajustement tridimensionnel

$$m_{\text{top}} = 172.01 \pm 0.92 \text{ (stat + JSF + bJSF)} \pm 1.17 \text{ (syst)} \text{ GeV,}$$

$$JSF = 1.0158 \pm 0.0032,$$

$$bJSF = 1.0115 \pm 0.0102.$$



# Incertitudes

L'analyse 2D réfère à une analyse avec une contrainte sur la JSF mais sans contrainte sur la bJSF (mesure précédente d'ATLAS)

	analyse 2D	analyse 3D
Valeur mesurée	172.88	172.01
Incertitude statistique	0.28	0.28
JSF (statistique)	0.30	0.29
bJSF (statistique)	0.00	0.82
Calibration de la méthode	$0.16 \pm 0.04$	$0.09 \pm 0.10$
Générateur Monte-Carlo du signal	$0.25 \pm 0.11$	$0.05 \pm 0.29$
Modèle d'hadronisation	$1.24 \pm 0.12$	$0.27 \pm 0.22$
Événement sous-jacent	$0.12 \pm 0.15$	$0.09 \pm 0.22$
Reconnection de couleur	$0.03 \pm 0.12$	$0.16 \pm 0.23$
ISR/FSR	$0.94 \pm 0.06$	$0.49 \pm 0.11$
PDF du proton	$0.05 \pm 0.01$	$0.16 \pm 0.02$
Bruit de fond $W$ +jets	0.01	0.07
Bruit de fond multijets	0.03	0.11
JES	$0.38 \pm 0.08$	$0.56 \pm 0.19$
bJES	$0.81 \pm 0.01$	$0.04 \pm 0.03$
Résolution en énergie des jets	$0.28 \pm 0.08$	$0.27 \pm 0.11$
Efficacité de reconstruction des jets	$0.00 \pm 0.01$	$0.01 \pm 0.01$
Étiquetage des jets de $b$	$0.13 \pm 0.01$	$0.75 \pm 0.02$
$E_T^{\text{miss}}$	$0.05 \pm 0.01$	$0.09 \pm 0.03$
Empilement	$0.01 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.00$
Incertitude systématique totale	$1.85 \pm 0.08$	$1.17 \pm 0.31$
Incertitude totale	$1.90 \pm 0.08$	$1.48 \pm 0.31$

- 2→3D: Large amélioration:
  - ▶ Hadronisation
  - ▶ ISR/FSR
  - ▶ incertitude sur la bJES
- Augmentation de l'incertitude sur le  $b$ -tagging
- Incertitude systématique totale chute de 1.85 à 1.17 GeV
- Incertitude totale chute de 1.90 à 1.48 GeV
- Incertitude dominante : JES (dépendance de l'incertitude dans l'espace des phases)

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

- Utilisation de la même méthode que pour l'analyse des données à 7 TeV
- Étiquetage des jets de  $b$  avec deux étalonnages différents
  - ▶ Étalonnage standard (groupe Top ATLAS): basé sur des événements dijet (noir)
  - ▶ Étalonnage préliminaire, basé sur une combinaison  $t\bar{t}$ +dijet (red)

<b>Systematics</b>	<b>7 TeV (CONF Note)</b>	<b>8 TeV</b>	
Method Calibration	0.13	0.16	
Signal MC generator	$0.19 \pm 0.29$	0.27	
Herwig/Pythia	$0.27 \pm 0.22$	0.22	
ISR/FSR	$0.45 \pm 0.11$	0.42	
Jet energy scale	0.79	0.48	
B-Jet energy scale	$0.08 \pm 0.03$	0.14	
B-tagging efficiency	0.81	1.82	0.49
Jet energy resolution	$0.22 \pm 0.11$	0.61	
Jet efficiency	$0.05 \pm 0.01$	0.05	
Met resolution	0.03	0.02	
Total Syst.	1.29	2.06	1.09
Data statistics	0.76	0.39	
Total	1.50	2.10	1.16

Incertitude sur la masse du quark top (in GeV)

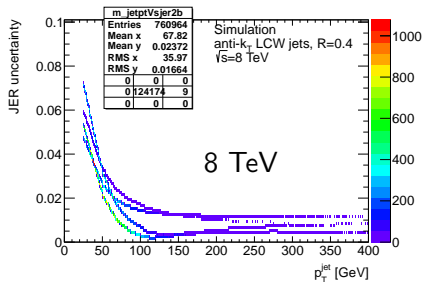
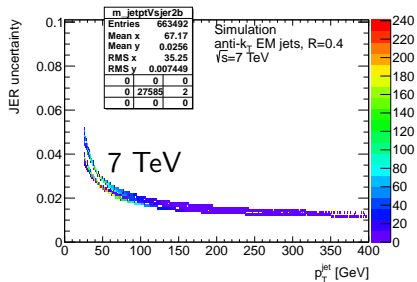
- Réduction possible de l'incertitude sur la JES (nouvel étalonnage)

- Importante amélioration prévue avec la nouvelle calibration d'étiquetage des  $b$

- Augmentation d'un facteur 2–3 de l'incertitude sur la résolution (7  $\rightarrow$  8 TeV).



- Incertitude sur la JER Vs  $p_T$  pour chaque jet utilisé dans les observables (après sélection finale) dans le MC  $t\bar{t}$
- Bins en  $|\eta|$ :  $0 < 0.8 < 1.2 < 2.1 < 2.8$



- ⇒ Plus grande dépendance en  $p_T$  et  $\eta$  de l'incertitude sur la JER @8 TeV
- Impact non négligeable sur la forme de  $R_{\text{lb}}^{\text{reco}}$  (4  $p_T$  de jets dans sa définition) → problème spécifique à l'analyse 3D
- Pas de changement notable avec des coupures en  $p_T$  sur les jets
- Amélioration possible grâce à une nouvelle incertitude sur la JER

# Incertitude prévisionnelle à $\sqrt{s} = 8$ TeV

dim	$m_{\text{top}}$ uncertainty in GeV	
	3D	
Problem. Syst.	Current eval.	Poss. improvement
B-tagging	1.82	0.49
JES	0.48	0.29
bJES	0.14	-
Hadronisation	0.22	-
JER	0.61	0.3 ??? new JER
ISR/FSR	0.42	Room for improvement
Total above	1.98	0.81
Estimated total	2.1	0.96

- Espoir d'améliorations grâce aux prochaines contributions du groupe de performance Jet/ $E_T^{\text{miss}}$
- La contrainte sur ISR/FSR n'est pas optimale
  - ▶  $\Rightarrow$  Amélioration possible mais aucune étude prévue

## 1 Le LHC et ATLAS

## 2 Le quark top

- Introduction
- La masse du quark top
- Production et détection d'événements  $t\bar{t}$  dans ATLAS

## 3 Calibration de l'échelle d'énergie des jets dans l'expérience ATLAS

## 4 Mesure de la masse dans le canal $\ell$ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

- Sélection et reconstruction des événements  $t\bar{t}$
- Principe de la méthode
- Résultat obtenu dans les données à 7 TeV
- Perspectives à 8 TeV

## 5 Résumé et plans futurs

- $m_{\text{top}}$  mesurées dans cette thèse:

- ▶ 7 TeV:  $m_{\text{top}} = 172.01 \pm 1.48$  (0.92 (*stat*) 1.17 (*syst*)) GeV
- ▶ 8 TeV:  $m_{\text{top}} = ??? \pm 1.19$  (0.39 (*stat*) 1.12 (*syst*)) GeV
- ▶ Combinaison:  $m_{\text{top}} = ??? \pm 1.16$  (0.37 (*stat*) 1.10 (*syst*)) GeV

- Autres mesures individuelles les plus précises:

- ▶ CMS à  $\sqrt{s} = 7$  TeV, canal  $\ell$ +jets:  $m_{\text{top}} = 173.49 \pm 1.06$  GeV.
- ▶ CMS à  $\sqrt{s} = 8$  TeV, canal  $\ell$ +jets:  $m_{\text{top}} = 172.04 \pm 0.75$  GeV (résultat préliminaire)
- ▶ DØ, canal  $\ell$ +jets:  $m_{\text{top}} = 174.98 \pm 0.76$  GeV
- ▶ CDF, canal  $\ell$ +jets:  $m_{\text{top}} = 172.85 \pm 1.12$  GeV.

- Combinaison mondiale:  $m_{\text{top}} = 173.34 \pm 0.76$  GeV (11 mesures)

- NB1: CMS n'évalue pas l'hadronisation (Herwig/Pythia) sur les événements  $t\bar{t}$  (+0.58(0.33) GeV incertitude systématique dans le résultat de 2011(2012))

- NB2: CMS n'évalue pas l'incertitude sur la bJES de la même façon que les autres expériences.

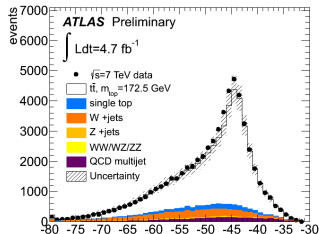
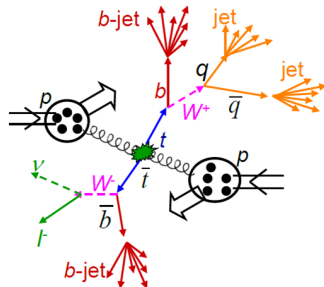
- NB3: Résultats les plus précis (CMS-DØ) à  $2.75\sigma$  l'un de l'autre (proba < 1%)

- Travail dans le groupe Jet/ $E_T^{\text{miss}}$ 
  - ▶ optimisation des seuils de bruit de fond
  - ▶ Validations de calibrations
  - ▶ Performance à très haute luminosité
- Première (et seule) mesure de  $m_{\text{top}}$  (à  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ) avec une méthode 3D qui contraint le bJSF
  - ▶ Incertitudes réduites dans un papier en finalisation (+ combinaison avec canal dilepton)
- Efforts sur la mesure à 8 TeV en cours (incertitude totale prévisionnelle 0.9-1.2 GeV)
- Extrapolations à très haute luminosité intégrée CMS-PAS-FTR-13-017
  - ▶ Précision atteignable: 0.44 GeV à  $300 \text{ fb}^{-1}$
  - ▶ Un des point-clefs: méthode 3D de cette thèse
- Soutenance de thèse le 19 Juin à 14h, Amphi Bloch (Ipht)

# BACKUP

# Event reconstruction

- $\ell$ +jets cut-based selection
- Kinematic likelihood fit
  - ▶ Choose the event topology that best fits the decay hypothesis
  - ▶ handles non-Gaussian behaviour
- Product of:
  - ▶ Breit-Wigner constraints
  - ▶ Transfer functions
    - Based on reconstructed objects matched to their parton level quarks and leptons
  - ▶  $b$ -tagging weight ( $b$ -tagging information reduces combinatoric background)
- 70% reconstruction purity
- 58% reconstruction efficiency



## Kinematic likelihood fit

$$\begin{aligned}
L = & \mathcal{T} \left( E_{\text{jet}_1} | \hat{E}_{b_{\text{had}}} \right) \cdot \mathcal{T} \left( E_{\text{jet}_2} | \hat{E}_{b_\ell} \right) \cdot \mathcal{T} \left( E_{\text{jet}_3} | \hat{E}_{q_1} \right) \cdot \\
& \mathcal{T} \left( E_{\text{jet}_4} | \hat{E}_{q_2} \right) \cdot \mathcal{T} \left( E_x^{\text{miss}} | \hat{p}_{x,\nu} \right) \cdot \mathcal{T} \left( E_y^{\text{miss}} | \hat{p}_{y,\nu} \right) \cdot \\
& \left\{ \begin{array}{ll} \mathcal{T} \left( E_e | \hat{E}_e \right) & \text{e+jets} \\ \mathcal{T} \left( p_{T,\mu} | \hat{p}_{T,\mu} \right) & \mu\text{+jets} \end{array} \right\} \cdot \\
& \mathcal{B} \left[ m(q_1 q_2) | m_W, \Gamma_W \right] \cdot \mathcal{B} \left[ m(\ell \nu) | m_W, \Gamma_W \right] \cdot \\
& \mathcal{B} \left[ m(q_1 q_2 b_{\text{had}}) | m_{\text{top}}^{\text{reco}}, \Gamma_{\text{top}} \right] \cdot \\
& \mathcal{B} \left[ m(\ell \nu b_\ell) | m_{\text{top}}^{\text{reco}}, \Gamma_{\text{top}} \right] \cdot W_{\text{btag}} \cdot
\end{aligned}$$



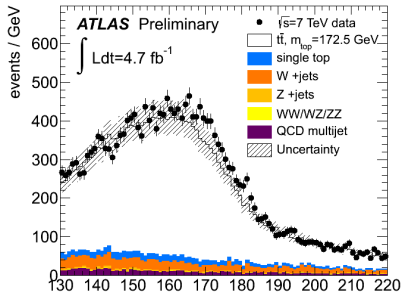
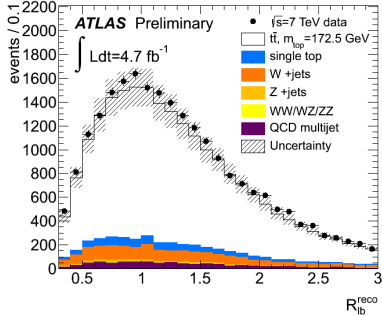
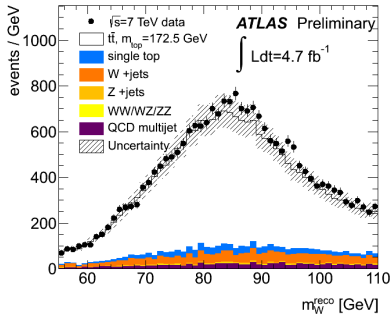
# Top mass: MC samples and systematic uncertainties

- Some systematics are evaluated with the difference between the fitted masses in two samples:
  - ▶ default MC sample: Powheg+Pythia Perugia2011C
  - ▶ Hadronisation: Powheg+Pythia P2011C Vs Powheg+Herwig
  - ▶ Generator: Powheg+Herwig Vs MCAtnLO+Herwig
  - ▶ ISR/FSR: AcerMC+Pythia P2011C Less Vs More Parton Shower
    - Constraint on gap fraction from data
  - ▶ Underlying Event: Powheg+Pythia P2011 Vs Powheg+Pythia P2011 with different multiple parton interactions (MPI) tune
  - ▶ Color Reconnection: Powheg+Pythia P2011 Vs Powheg+Pythia P2011 with different color reconnection tune (NOCR tune)
- PDF systematic uncertainty using PDF4LHC recommendations
- Other systematics: fitting  $m_{\text{top}}$  after varying parameter by  $1\sigma$

# Top mass: JES uncertainty (3d-analysis)

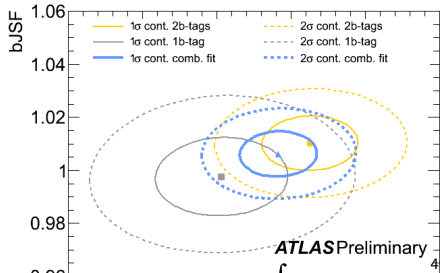
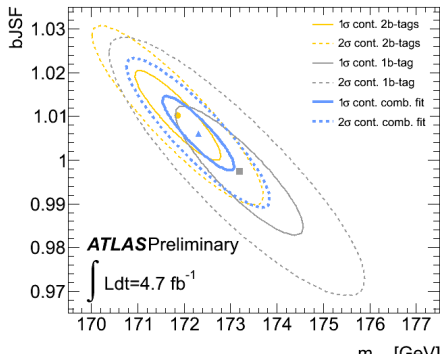
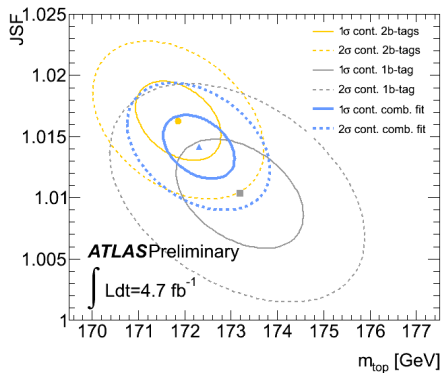
Dimension	2D	3D
Composante	Incertitude [GeV]	
<b>Statistique</b>	<b>0.10 ± 0.02</b>	<b>0.18 ± 0.04</b>
PN Effectif Statistique1	0.10 ± 0.01	0.16 ± 0.02
PN Effectif Statistique2	0.00 ± 0.01	0.02 ± 0.01
PN Effectif Statistique3	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.02
EtaIntercalibration TotalStat	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.02
<b>Modélisation</b>	<b>0.20 ± 0.04</b>	<b>0.38 ± 0.10</b>
PN Effectif Modélisation1	0.16 ± 0.01	0.30 ± 0.03
PN Effectif Modélisation2	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.02
PN Effectif Modélisation3	0.09 ± 0.03	0.14 ± 0.09
PN Effectif Modélisation4	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.01
EtaIntercalibration Modélisation	0.07 ± 0.01	0.18 ± 0.03
<b>Détecteur</b>	<b>0.01 ± 0.02</b>	<b>0.06 ± 0.04</b>
PN Effectif Détecteur1	0.01 ± 0.02	0.06 ± 0.04
PN Effectif Détecteur2	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.02
<b>Mixe</b>	<b>0.03 ± 0.01</b>	<b>0.04 ± 0.02</b>
PN Effectif Mixe1	0.02 ± 0.01	0.00 ± 0.01
PN Effectif Mixe2	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.02
<b>Simple Particule Haut p<sub>T</sub></b>	<b>0.00 ± 0.00</b>	<b>0.00 ± 0.00</b>
<b>Non-fermeture relative MC11b</b>	<b>0.07 ± 0.03</b>	<b>0.20 ± 0.07</b>
<b>Correction d'empilement</b>	<b>0.01 ± 0.02</b>	<b>0.06 ± 0.05</b>
Correction d'empilement ( $\langle\mu\rangle$ )	0.00 ± 0.02	0.05 ± 0.04
Correction d'empilement ( $N_{PV}$ )	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.03
<b>Jets environnants</b>	<b>0.09 ± 0.01</b>	<b>0.15 ± 0.03</b>
<b>Saveur</b>	<b>0.28 ± 0.05</b>	<b>0.26 ± 0.11</b>
Composition de saveur	0.13 ± 0.04	0.02 ± 0.11
Réponse de saveur	0.25 ± 0.01	0.26 ± 0.02
<b>bJES</b>	<b>0.81 ± 0.01</b>	<b>0.04 ± 0.03</b>
Total (sans inc. la bJES)	0.38 ± 0.08	0.56 ± 0.19

- Splitting the uncertainty into various nuisance parameters
  - ▶ In view of combinations
  - ▶ Better treatment of correlations
- bJES uncertainty is lowered to < 100 MeV (was 1.5 GeV in latest ATLAS measurement)

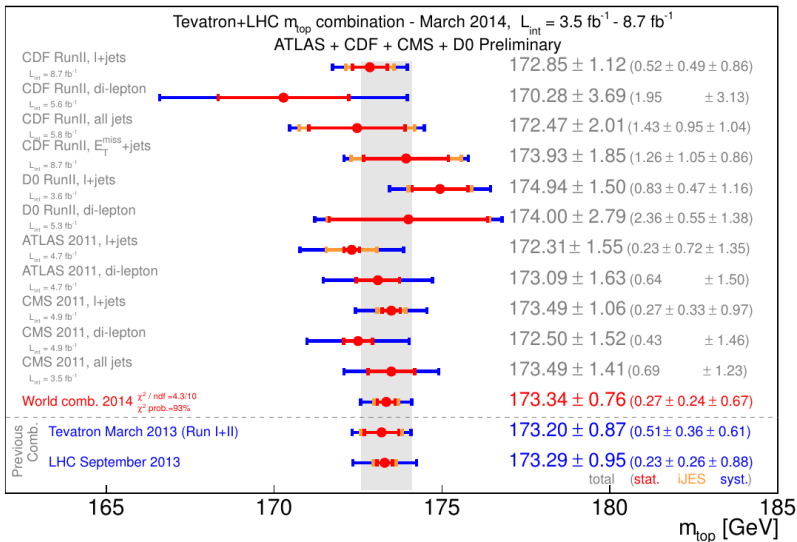


## Top mass – observables

$\geq 1$   $b$ -tagged (combined samples)  
 Only the shapes are relevant – The shifts  
 are what we measure



1- $\sigma$  and 2- $\sigma$  2D contour plots



Converged after many many discussions on the evaluation of systematic uncertainties...

# ATLAS vs CMS uncertainties

Uncertainty	ATLAS		CMS			World Combination
	$l+jets$	$di-l$	$l+jets$	$di-l$	all jets	
$m_{top}$	172.31	173.09	173.49	172.50	173.49	173.34
Stat	0.23	0.64	0.27	0.43	0.69	0.27
iJES	0.72	n.a.	0.33	n.a.	n.a.	0.24
stdJES	0.70	0.89	0.24	0.78	0.78	0.20
flavourJES	0.36	0.02	0.11	0.58	0.58	0.12
bJES	0.08	0.71	0.61	0.76	0.49	0.25
MC	0.35	0.64	0.15	0.06	0.28	0.38
Rad	0.45	0.37	0.30	0.58	0.33	0.21
CR	0.32	0.29	0.54	0.13	0.15	0.31
PDF	0.17	0.12	0.07	0.09	0.06	0.09
DetMod	0.23	0.22	0.24	0.18	0.28	0.10
$b$ -tag	0.81	0.46	0.12	0.09	0.06	0.11
LepPt	0.04	0.12	0.02	0.14	n.a.	0.02
BGMC	n.a.	0.14	0.13	0.05	n.a.	0.10
BGData	0.10	n.a.	n.a.	n.a.	0.13	0.07
Meth	0.13	0.07	0.06	0.40	0.13	0.05
MHI	0.03	0.01	0.07	0.11	0.06	0.04
Total Syst	1.53	1.50	1.03	1.46	1.23	0.71
Total	1.55	1.63	1.06	1.52	1.41	0.76

- iJES: statistical uncertainty due to in-situ JSF/bJSF determination ( $l+jets$ : 3D ATLAS vs 2D CMS)
- std JES  $l+jets$ : using (now) old uncertainty, improved for paper
- bJES: in-situ constrained in ATLAS  $l+jets$  analysis
- MC ATLAS including hadronisation variation Herwig/Pythia (not CMS) (evaluated at 0.76 GeV dilepton)
- $b$ -tagging ATLAS: high impact on analysis (will be developed in the following)
- All-hadronic channel treated in more detail in the following

# CMS latest result – $\ell$ +jets 8 TeV CMS PAS TOP-14-001

- Preliminary result presented in Moriond
- New CMS combination: 0.73 GeV uncertainty = 0.42% precision
- No direct evaluation of hadronisation uncertainty in  $t\bar{t}$  selection (evaluated at 0.33 GeV)
- Color reconnection down by a factor 8

	$\delta_{m_t}^{\ell}$ (GeV)	$\delta_{\text{JES}}^{\ell}$		$\delta m_t^{2D}$ (GeV)	$\delta \text{JSF}$
			Experimental uncertainties		
			Fit calibration	0.10	0.001
			$p_T$ - and $\eta$ -dependent JES	0.18	0.007
			Lepton energy scale	0.03	<0.001
			MET	0.09	0.001
			Jet energy resolution	0.26	0.004
			b tagging	0.02	<0.001
			Pileup	0.27	0.005
			Non- $t\bar{t}$ background	0.11	0.001
			Modeling of hadronization		
			Flavor-dependent JSF	0.41	0.004
			b fragmentation	0.06	0.001
			Semi-leptonic B hadron decays	0.16	<0.001
			Modeling of the hard scattering process		
			PDF	0.09	0.001
			Renormalization and factorization scales	0.12±0.13	0.004±0.001
			ME-PS matching threshold	0.15±0.13	0.003±0.001
			ME generator	0.23±0.14	0.003±0.001
			Modeling of non-perturbative QCD		
			Underlying event	0.14±0.17	0.002±0.002
			Color reconnection modeling	0.08±0.15	0.002±0.001
			Total	0.75	0.012
Fit calibration	0.06	0.001			
b-JES	0.61	0.000			
$p_T$ - and $\eta$ -dependent JES	0.28	0.001			
Lepton energy scale	0.02	0.000			
Missing transverse momentum	0.06	0.000			
Jet energy resolution	0.23	0.004			
b tagging	0.12	0.001			
Pileup <span style="color: green;">7 TeV</span>	0.07	0.001			
Non- $t\bar{t}$ background	0.13	0.001			
Parton distribution functions	0.07	0.001			
Renormalization and factorization scales	0.24	0.004			
ME-PS matching threshold	0.18	0.001			
Underlying event	0.15	0.002			
Color reconnection effects	0.54	0.004			
Total	0.98	0.008			

# D0 latest result – $\ell$ +jets FERMILAB-PUB-14-123-E

- Updating from  $3.6 \text{ fb}^{-1}$  to  $9.7 \text{ fb}^{-1}$  amount of data
- Matrix element method with in-situ JES calibration using  $m_W^{\text{reco}}$
- Total uncertainty:  $0.76 \text{ GeV} = 0.43\%$  precision
- Increase of MC stat, Refine treatment of signal modelling unc., Use of new JES calibrations

Source	Uncertainty (GeV)	Source of uncertainty	Effect on $m_t$ (GeV)
<i>Modeling of production:</i>		<i>Signal and background modeling:</i>	
<i>Modeling of signal:</i>		Higher order corrections	+0.15
Higher-order effects	$\pm 0.25$	Initial/final state radiation	$\pm 0.09$
ISR/FSR	$\pm 0.26$	Hadronization and UE	+0.26
Hadronization and UE	$\pm 0.58$	Color reconnection	+0.10
Color reconnection	$\pm 0.28$	Multiple $p\bar{p}$ interactions	-0.06
Multiple $p\bar{p}$ interactions	$\pm 0.07$	Heavy flavor scale factor	$\pm 0.06$
Modeling of background	$\pm 0.16$	$b$ -jet modeling	+0.09
$W$ + jets heavy-flavor scale factor	$\pm 0.07$	PDF uncertainty	$\pm 0.11$
Modeling of $b$ jets	$\pm 0.09$	<i>Detector modeling:</i>	
Choice of PDF	$\pm 0.24$	Residual jet energy scale	$\pm 0.21$
<i>Modeling of detector:</i>		Flavor-dependent response to jets	$\pm 0.16$
Residual jet energy scale	$\pm 0.21$	$b$ tagging	$\pm 0.10$
Data-MC jet-response difference	$\pm 0.28$	Trigger	+0.01
$b$ -tagging efficiency	$\pm 0.08$	Lepton momentum scale	$\pm 0.01$
Trigger efficiency	+0.01	Jet energy resolution	$\pm 0.07$
Lepton momentum scale	$\pm 0.17$	Jet ID efficiency	-0.01
Jet energy resolution	$\pm 0.32$	<i>Method:</i>	
Jet identification efficiency	$\pm 0.26$	Modeling of multijet events	+0.04
<i>Method:</i>		Signal fraction	
Multijet contamination	$\pm 0.14$	MC calibration	$\pm 0.07$
Signal fraction	$\pm 0.10$	Updated result	
MC calibration	$\pm 0.20$	<i>Total systematic uncertainty</i>	
Total	$\pm 1.02$	<i>Total statistical uncertainty</i>	
		<i>Total uncertainty</i>	



# $b$ -tagging syst uncertainty

