

MESURE DE LA MASSE DU QUARK TOP AVEC LE DÉTECTEUR ATLAS AU LHC

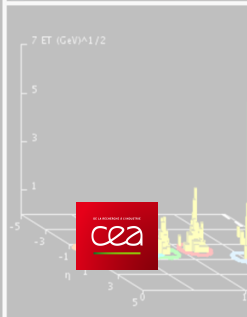
Fabrice Balli – Service de Physique des Particules
Directeur de thèse: Bruno Mansoulié
Encadrant de thèse: Jérôme Schwindling
Merci au groupe top de Saclay dans ATLAS

2013/07/03



Run Number: 158975, Event Number: 21437359

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



Sommaire

- 1 Le LHC et ATLAS
- 2 La mesure de la masse du quark top
 - Intérêts de la mesure
 - Production et détection d'événements $t\bar{t}$
 - Mesure de la masse dans le canal ℓ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D
- 3 Résumé et plans futurs

L'accélérateur de particules

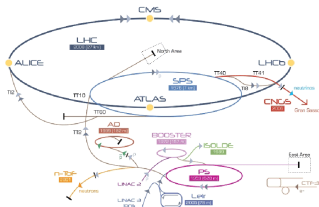
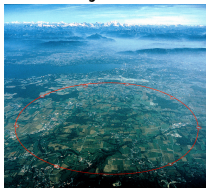


Schéma d'injection du LHC



Vue aérienne du LHC

Le LHC (collisionneur proton-proton) :

- 27 km de circonférence
- 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 collisions : 50ns
- 4 points de collision avec leurs détecteurs associés : LHCb, ALICE, CMS et ATLAS.

Le détecteur ATLAS : A Toroidal LHC ApparatuS

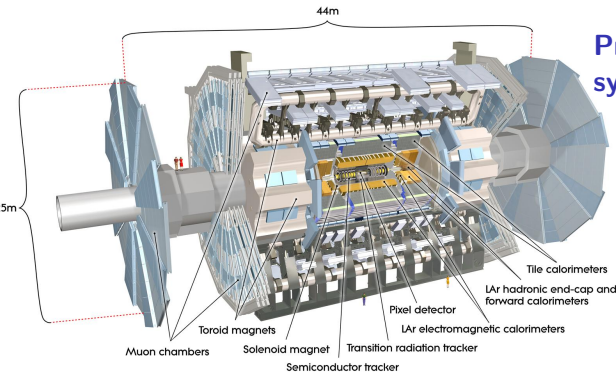


Schéma du détecteur

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

Principaux sous-systèmes :

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

En quelques chiffres

La collaboration internationale

- Plus de **3000** scientifiques provenant de **167** universités et laboratoires
- **37** pays participants
- **7** laboratoires Français

La prise de données

- Luminosité intégrée ($\mathcal{L} = N^{evts}/\sigma_{pp}$) enregistrée:
 - ▶ **$\sim 5 \text{ fb}^{-1}$** (2011)
 - ▶ **$\sim 23 \text{ fb}^{-1}$** (2012)
- **Plusieurs Po de données par an** \Rightarrow Répartition sur une grille informatique d'envergure mondiale

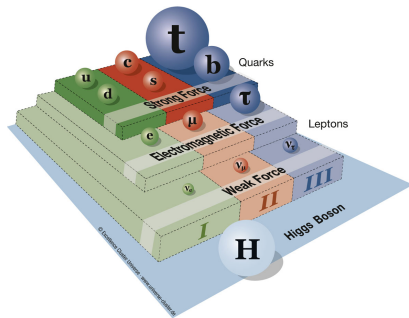
1 Le LHC et ATLAS

2 La mesure de la masse du quark top

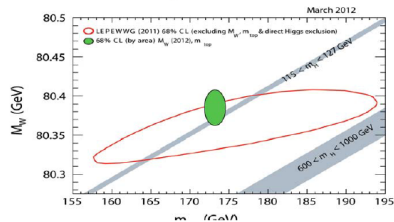
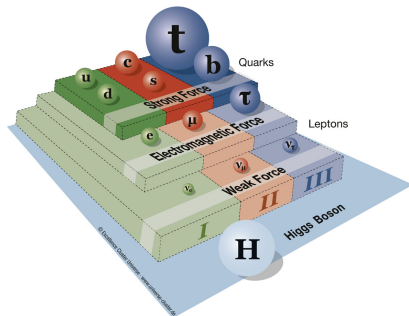
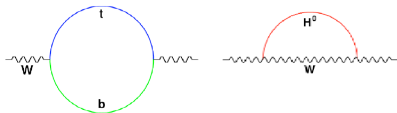
- Intérêts de la mesure
- Production et détection d'événements $t\bar{t}$
- Mesure de la masse dans le canal ℓ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

3 Résumé et plans futurs

- Après le 4 Juillet 2012, le top est toujours la **particule élémentaire connue la plus lourde**.

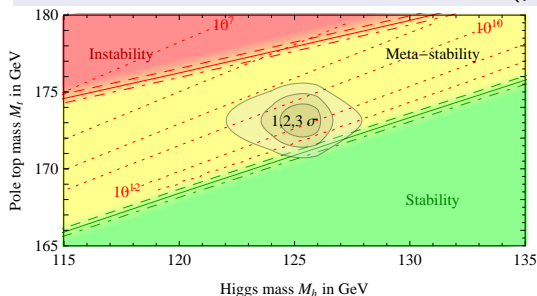


- Après le 4 Juillet 2012, le top est toujours la **particule élémentaire connue la plus lourde**.
- Dans le Modèle Standard, il existe une relation entre la masse du quark top, la masse du boson W et **la masse du boson de Higgs** → Permet de vérifier la **compatibilité du MS avec les observations** en utilisant la masse du nouveau boson



Intérêts

- Paramètre fondamental de la Physique au-dela du MS
- De nombreuses particules inobservées se coupleraient au top
- Études détaillées → possibilités de découvertes
- 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

- Mesure actuellement la plus précise (combinaison Tevatron) :
 $m_{\text{top}} = 173.2 \pm 0.6 \pm 0.8 \text{ GeV}/c^2$

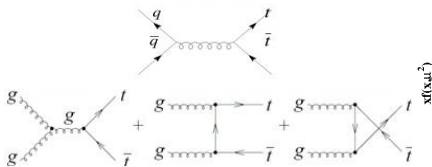
1 Le LHC et ATLAS

2 La mesure de la masse du quark top

- Intérêts de la mesure
- Production et détection d'événements $t\bar{t}$
- Mesure de la masse dans le canal ℓ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

3 Résumé et plans futurs

Production d'événements $t\bar{t}$



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

Au seuil de production :

$$(2m_{top})^2 = x_a \times x_b \times s$$

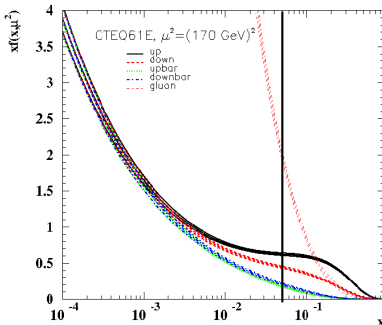
$$\text{À } \sqrt{s} = 14 \text{ TeV,}$$

$$x_{\text{seuil de production}} = 0.025$$

section efficace (7 TeV, NNLO):

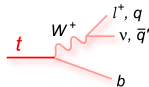
$$\sigma(t\bar{t}) = 167^{+17}_{-18} \text{ pb}$$

En 2011, $N_{\text{events}} \approx 835k$

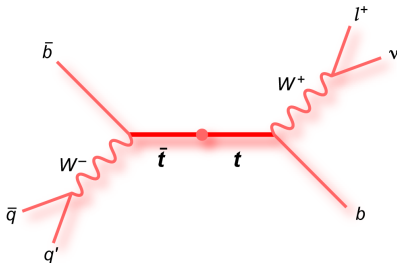


PDFs pour processus dur avec transfert d'impulsion $\mu^2 = 170^2 \text{ GeV}^2$ Vs fraction d'impulsion portée par le parton (x).

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

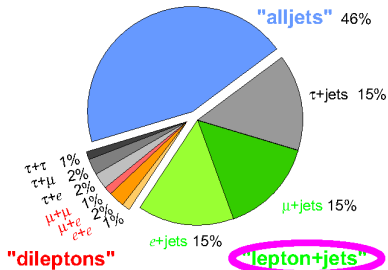


Modes de désintégration du quark top
(99.9% des cas)



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

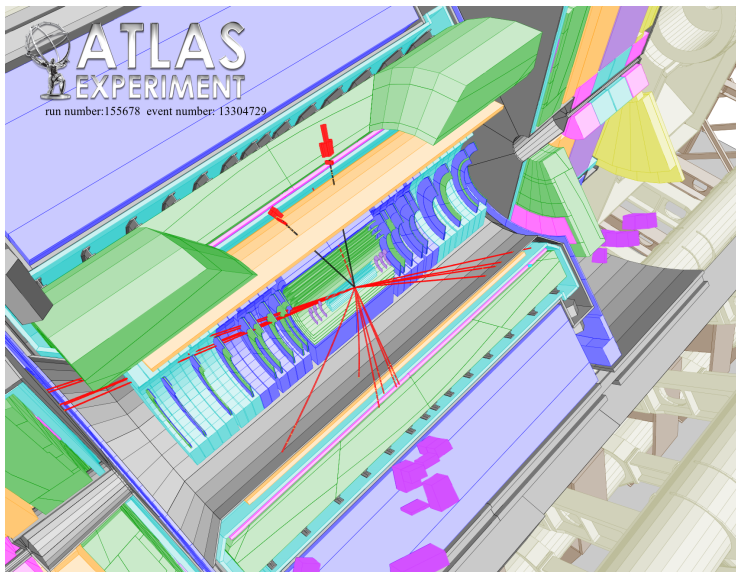
Top Pair Branching Fractions



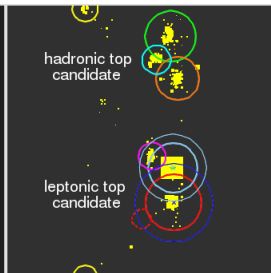
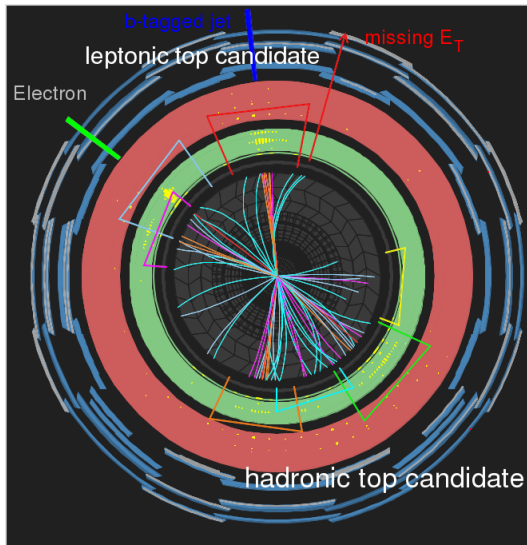
Rapports de branchement des
désintégrations de paires $t\bar{t}$

Sélection d'événements
semi-leptoniques

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



candidat $t\bar{t}$, canal ℓ +jets

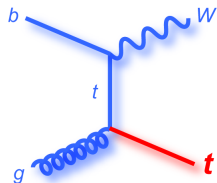
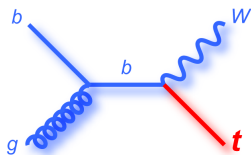


ATLAS EXPERIMENT

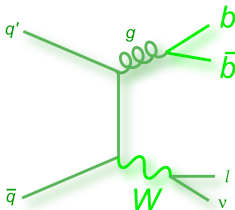
Run Number: 166658, Event Number: 34539931

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

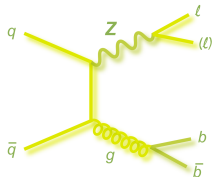
Bruits de fond



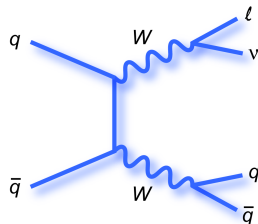
bruit de fond top
célibataire



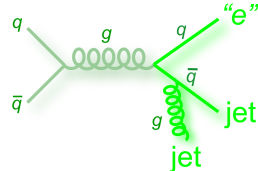
bruit de fond W + jets



bruit de fond Z + jets



bruit de fond diboson



bruit de fond QCD multi-
jets

La sélection

■ 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)

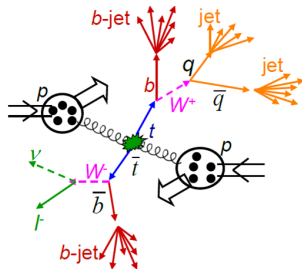
■ Sélection des jets

- ▶ ≥ 4 bons jets avec au moins 1 jet étiqueté b et 2 jets non étiquetés b, avec $|\eta| < 2.5$, $p_T > 25$ GeV

■ Autres coupures :

- ▶ Au moins 1 vertex primaire avec 5 traces
- ▶ coupures sur E_T^{miss} et $M_T^{\text{lepton,neutrino}}$

■ Reconstruction de l'événement à l'aide d'un maximum de vraisemblance cinématique (choisit la combinaison hadronique qui convient le mieux à l'hypothèse de désintégration)



1 Le LHC et ATLAS

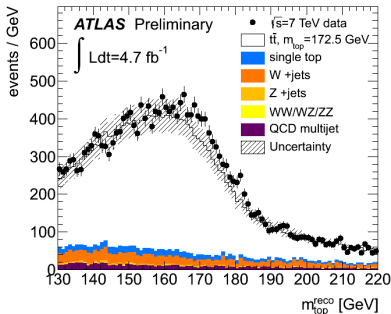
2 La mesure de la masse du quark top

- Intérêts de la mesure
- Production et détection d'événements $t\bar{t}$
- Mesure de la masse dans le canal ℓ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

3 Résumé et plans futurs

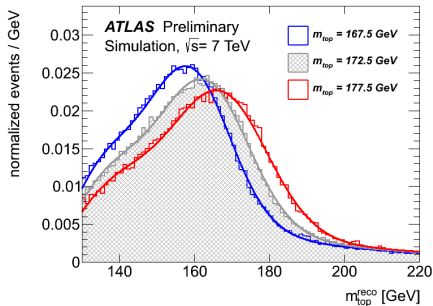
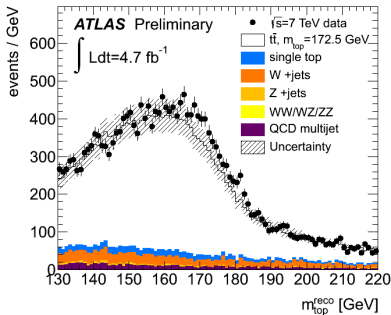
Principe de la méthode

- 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).

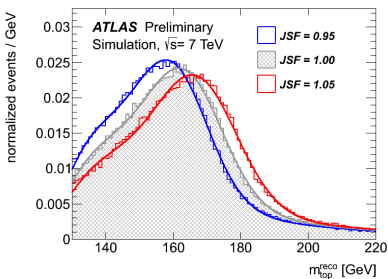


Principe de la méthode

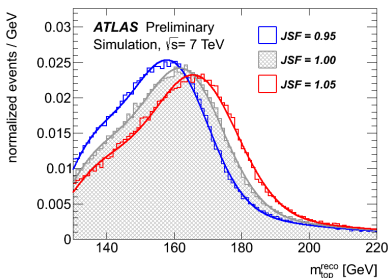
- Utilise la **distribution de masse reconstruite** $m_{\text{top}}^{\text{reco}}$ pour mesurer la masse du quark top (sélection des trois jets du côté hadronique).
- Construction de *templates* de cette observable à différentes masses de top en entrée.
- Comparaison entre données et simulation.



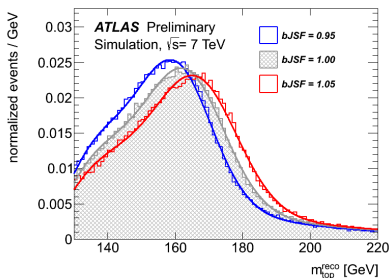
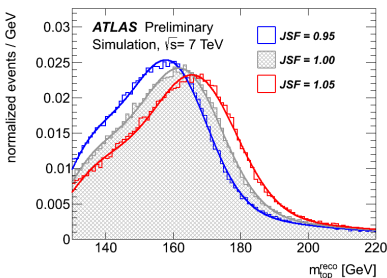
- Observable très sensible à l'échelle d'énergie des jets (JES)
⇒ Potentielle incertitude systématique importante



- 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 % (travail avec groupe de performance Jet/ETMiss)



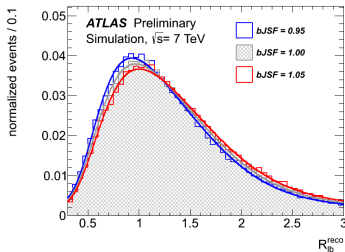
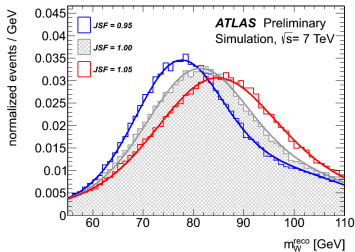
- Observable **très sensible à l'échelle d'énergie des jets (JES)**
⇒ Potentielle **incertitude systématique importante**
- Échelle d'énergie des jets actuellement connue à une précision de l'ordre du % (travail avec groupe de performance Jet/ETMiss)
- 2^{nde} plus importante incertitude potentielle: 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^{reco} et de l'observable $R_{\text{lb}}^{\text{reco}}$ de chaque événement.
- $R_{\text{lb}}^{\text{reco}}$ sensible aux changements de l'échelle d'énergie relative des jets de b (bJSF):

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

$$\blacktriangleright R_{\text{lb}}^{\text{reco}} = \frac{p_T^{\text{btag}}}{(p_T^{\text{W}_{\text{jet1}}} + p_T^{\text{W}_{\text{jet2}}})/2} \quad (1\text{b-tagged jet events})$$



Analyse 3D

- Ajustements de templates réalisés à 5 points de masse \times 5 JSFⁱⁿ \times 5 bJSFⁱⁿ
- PDFs construites à partir des prédictions (signal et bruits de fond)

Vraisemblance finale:

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

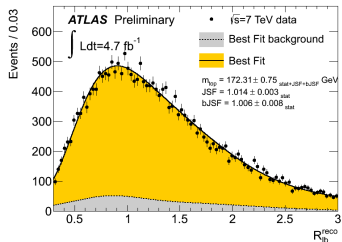
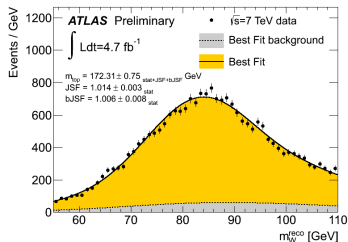
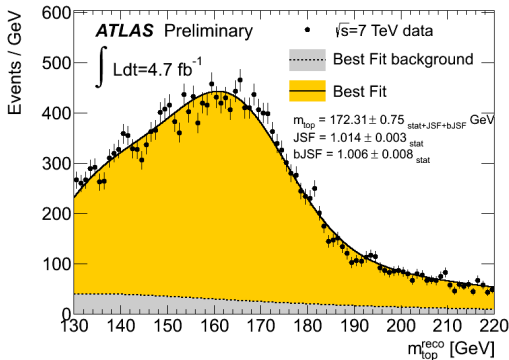
- Méthode validée avec des pseudo-expériences dans la simulation
- Extraction de m_{top} : maximisation de la vraisemblance événement-par-événement dans les données (*unbinned likelihood fit*)

Résultats de l'ajustement tridimensionnel

$$m_{\text{top}} = 172.31 \pm 0.75 \text{ (stat + JSF + bJSF)} \pm 1.35 \text{ (syst)} \text{ GeV},$$

$$JSF = 1.014 \pm 0.003 \text{ (stat)} \pm 0.021 \text{ (syst)},$$

$$bJSF = 1.006 \pm 0.008 \text{ (stat)} \pm 0.020 \text{ (syst)}.$$



Incertitudes

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

| | 2d-analysis | | 3d-analysis | | |
|---|------------------------|-------|------------------------|-------|-------|
| | m_{top} [GeV] | JSF | m_{top} [GeV] | JSF | bJSF |
| Measured value | 172.80 | 1.014 | 172.31 | 1.014 | 1.006 |
| Data statistics | 0.23 | 0.003 | 0.23 | 0.003 | 0.008 |
| Jet energy scale factor (stat. comp.) | 0.27 | n/a | 0.27 | n/a | n/a |
| bJet energy scale factor (stat. comp.) | n/a | n/a | 0.67 | n/a | n/a |
| Method calibration | 0.13 | 0.002 | 0.13 | 0.002 | 0.003 |
| Signal MC generator | 0.36 | 0.005 | 0.19 | 0.005 | 0.002 |
| Hadronisation | 1.30 | 0.008 | 0.27 | 0.008 | 0.013 |
| Underlying event | 0.02 | 0.001 | 0.12 | 0.001 | 0.002 |
| Colour reconnection | 0.03 | 0.001 | 0.32 | 0.001 | 0.004 |
| ISR and FSR (signal only) | 0.96 | 0.017 | 0.45 | 0.017 | 0.006 |
| Proton PDF | 0.09 | 0.000 | 0.17 | 0.000 | 0.001 |
| single top normalisation | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.000 |
| W +jets background | 0.02 | 0.000 | 0.03 | 0.000 | 0.000 |
| QCD multijet background | 0.04 | 0.000 | 0.10 | 0.000 | 0.001 |
| Jet energy scale | 0.60 | 0.005 | 0.79 | 0.004 | 0.007 |
| b -jet energy scale | 0.92 | 0.000 | 0.08 | 0.000 | 0.002 |
| Jet energy resolution | 0.22 | 0.006 | 0.22 | 0.006 | 0.000 |
| Jet reconstruction efficiency | 0.03 | 0.000 | 0.05 | 0.000 | 0.000 |
| b -tagging efficiency and mistag rate | 0.17 | 0.001 | 0.81 | 0.001 | 0.011 |
| Lepton energy scale | 0.03 | 0.000 | 0.04 | 0.000 | 0.000 |
| Missing transverse momentum | 0.01 | 0.000 | 0.03 | 0.000 | 0.000 |
| Pile-up | 0.03 | 0.000 | 0.03 | 0.000 | 0.001 |
| Total systematic uncertainty | 2.02 | 0.021 | 1.35 | 0.021 | 0.020 |
| Total uncertainty | 2.05 | 0.021 | 1.55 | 0.021 | 0.022 |

■ 2→3D: Large amélioration:

- ▶ Hadronisation
- ▶ ISR/FSR
- ▶ incertitude sur la bJES

■ Augmentation de l'incertitude sur le b -tagging

■ Incertitude systématique totale chute de 2 à 1.35 GeV

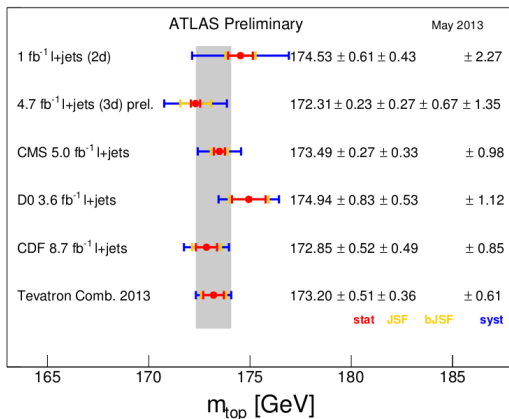
1 Le LHC et ATLAS

2 La mesure de la masse du quark top

- Intérêts de la mesure
- Production et détection d'événements $t\bar{t}$
- Mesure de la masse dans le canal ℓ +jets à l'aide de la méthode des templates 3D

3 Résumé et plans futurs

- Nouvelle mesure la plus précise d'ATLAS (présentée à LHCP2013)
ATLAS-CONF-2013-046
- Première mesure de m_{top} utilisant un ajustement 3D qui contraint la bJSF
- Incertitude dominée par les systématiques



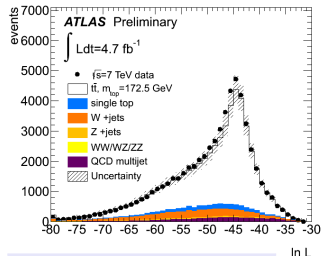
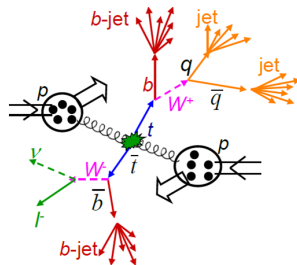
- Finalisation du papier en cours
- Améliorations en cours:
 - ▶ Utiliser des calibrations de b -tagging moins dépendantes en p_T .
 - ▶ Utiliser la statistique de 2012 (bins en p_T pour la JES)
- Étude de l'ajustement électrofaible, stabilité du vide (impact sur la Physique)
- Travail en parallèle: performance des jets à très haute luminosité (HL-LHC, upgrade) → Lié à la Physique du top

Merci à l'audience et aux organisateurs

BACKUP

Event reconstruction

- ℓ +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 efficiency



ATLAS-CONF-2013-046

Kinematic likelihood fit

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

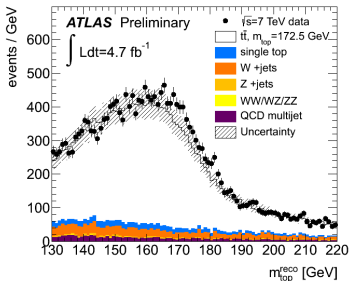
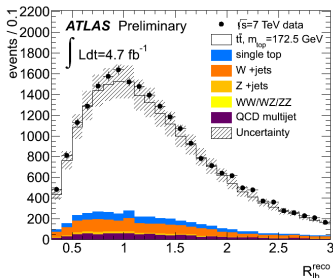
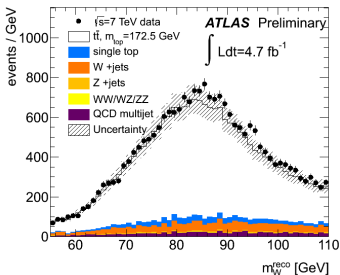
Top mass: MC samples and systematic uncertainties

- 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_{top} after varying parameter by 1σ

Top mass: JES uncertainty (3d-analysis)

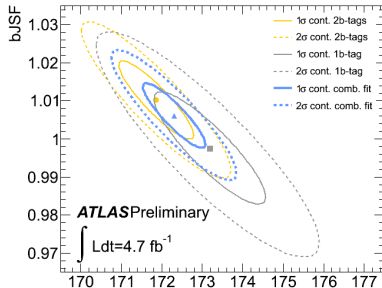
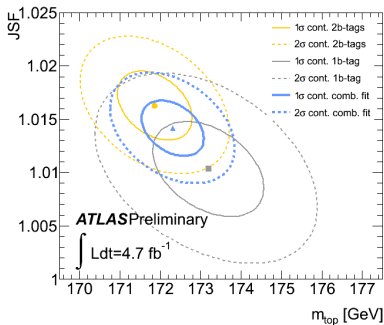
| Component | Uncertainty [GeV] |
|--|----------------------|
| Statistical | 0.22 |
| Statistical NP1 | 0.13 |
| Statistical NP2 | 0.06 |
| Statistical NP3 | 0.12 |
| Eta intercalibration (statistical) | 0.12 |
| Modelling | 0.35 |
| Modelling NP1 | 0.28 |
| Modelling NP2 | 0.07 |
| Modelling NP3 | 0.03 |
| Modelling NP4 | 0.06 |
| Eta intercalibration (modelling) | 0.19 |
| Detector | 0.23 |
| Detector NP1 | 0.22 |
| Detector NP2 | 0.08 |
| Mixed | 0.11 |
| Mixed NP1 | 0.09 |
| Mixed NP2 | 0.07 |
| Single particle high p_T | 0.08 |
| Relative non-closure MC | 0.08 |
| Pile-up offset | 0.49 |
| Pile-up offset (NPV term) | 0.08 |
| Pile-up offset (μ term) | 0.48 |
| Close-by jets | 0.08 |
| Flavour | 0.36 |
| Flavour composition | 0.29 |
| Flavour response | 0.21 |
| bJES uncertainty | 0.08 |
| Total (without bJES uncertainty) | 0.79 |

- 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

≥ 1 b -tagged (combined samples)
 Only the **shapes** are relevant – The shifts are what we measure



1- σ and 2- σ 2D contour plots

