



Calorimétrie à argon liquide et recherche de nouvelle physique via l'étude de paires de quark top boostés dans l'expérience ATLAS au LHC

Soutenance de Thèse



Clément Camincher

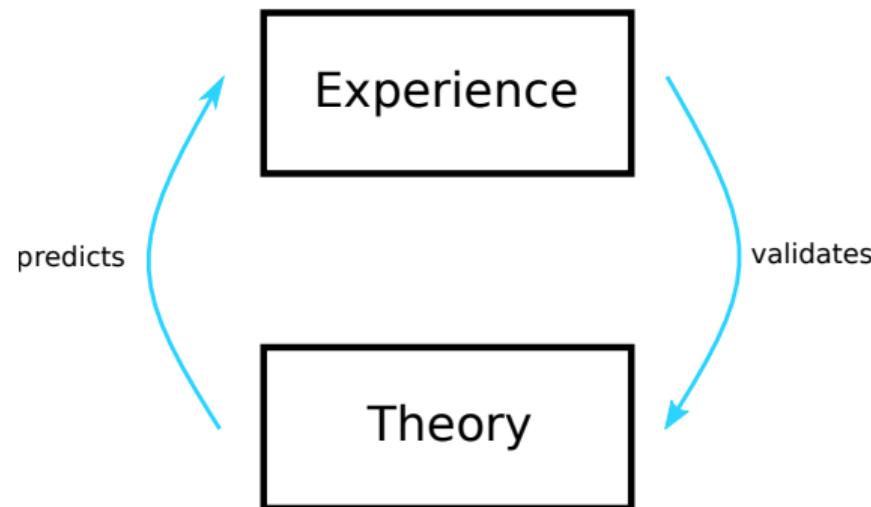
S. Crépé, P.A. Delsart, B. Trocmé

06/10/2017

1. Rechercher de la nouvelle physique avec l'expérience ATLAS au LHC
2. Les bouffées de bruit cohérent dans les calorimètres à argon liquide
3. Recherche de résonance $t\bar{t}$
4. La méthode *electron-in-jet removal* pour les quark top boostés
5. Calcul des corrections d'identification pour les électrons en milieu fortement hadroniques
6. Perspectives/Conclusion

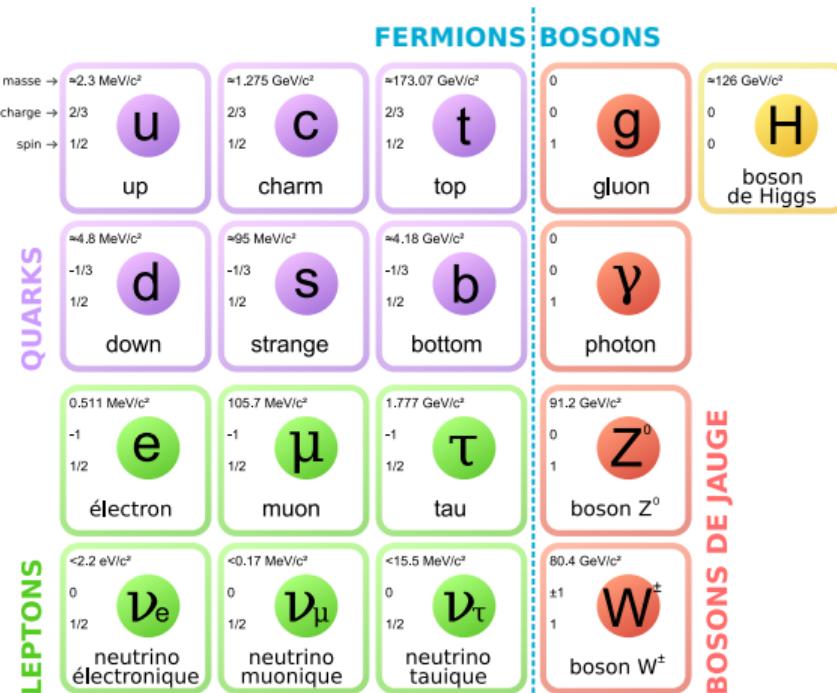
La physique expérimentale

- ▶ Tester une théorie par l'expérience
- ▶ Utiliser la théorie pour mieux comprendre le phénomène sous-jacent
- ▶ Prédire de futures observation grâce à la théorie



La physique des particules

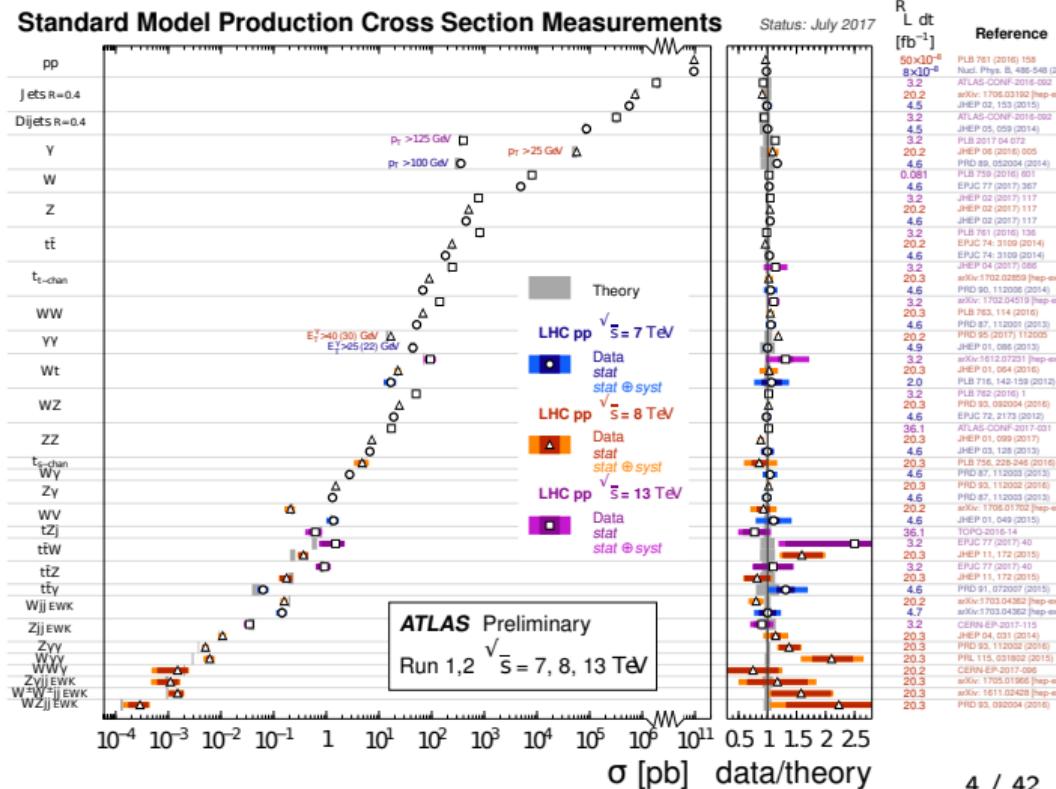
- ▶ Les particules à haute énergie sont décrites par le Modèle Standard
- ▶ Décrit toutes les particules ainsi que l'interaction électromagnétique, forte et faible



La Modèle Standard

Le Modèle Standard est une réussite:

- ▶ Toutes les particules prédictes ont été découvertes
 - ▶ L'accord prédition/mesures s'étend sur plus de 20 ordres de grandeurs en section efficace



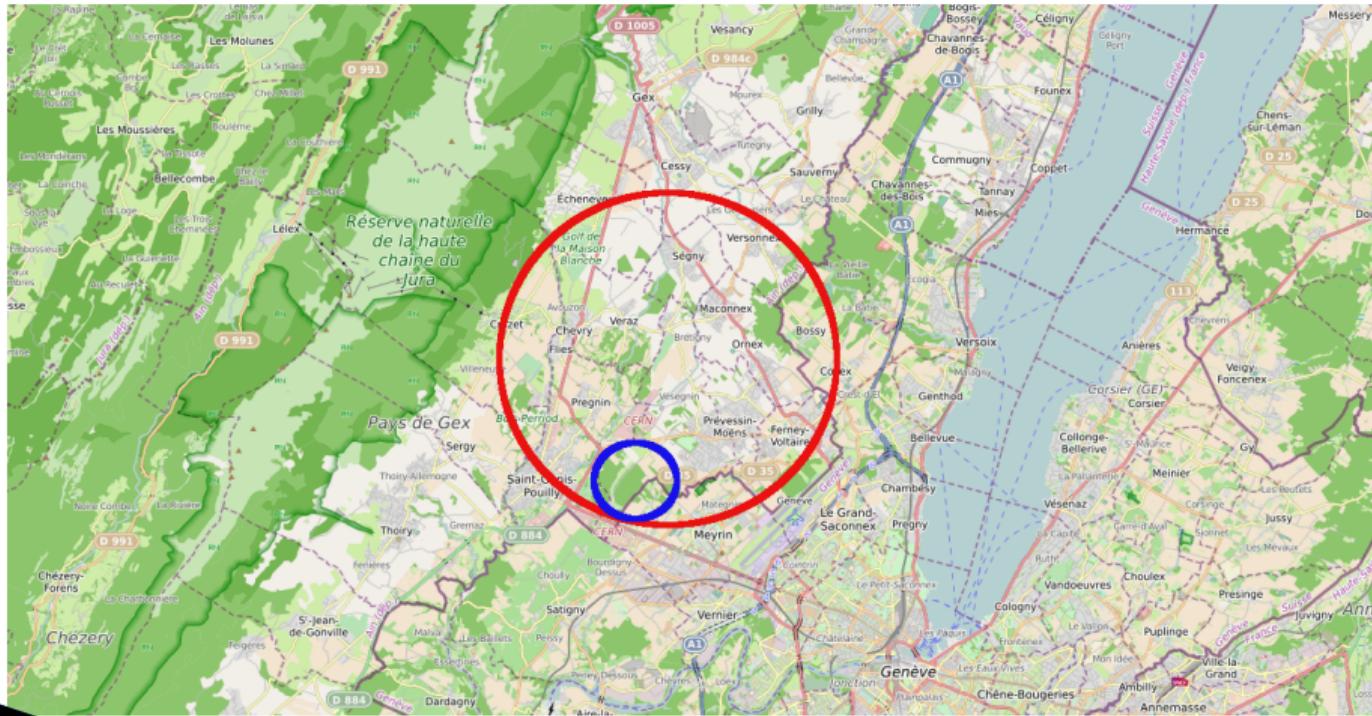
MAIS Des problèmes restent encore à résoudre

- ▶ Rotation des galaxies
- ▶ Problèmes sur la masse du Higgs
- ▶ Anomalies mesurées (secteur de saveurs)

Les physiciens pensent que le modèle standard est incomplet et que de nouvelles particules et interactions devraient exister

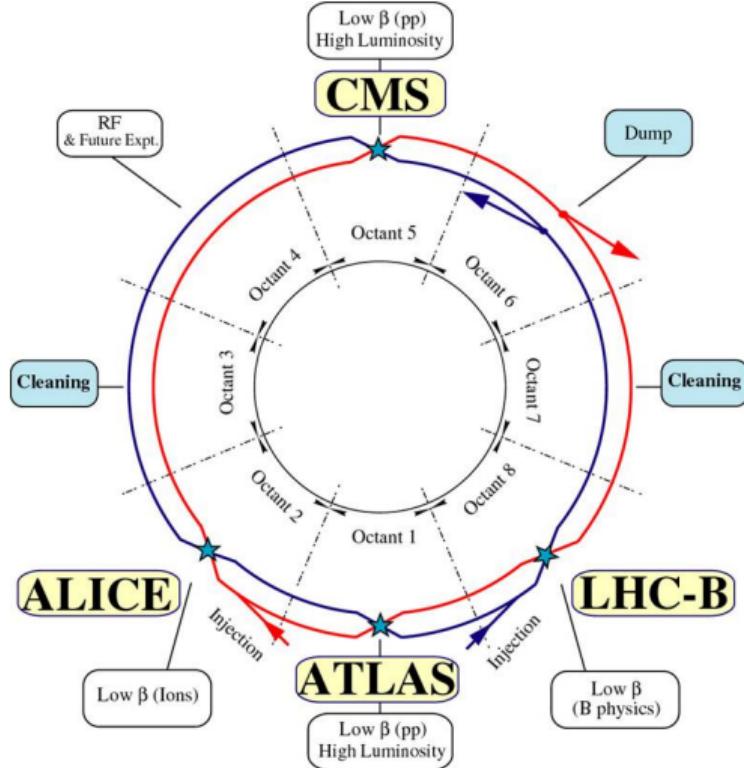
Le LHC

- ▶ Pour tester le modèle standard le LHC a été construit
- ▶ 27 km de circonférence (1.1^{-4} s lumière)



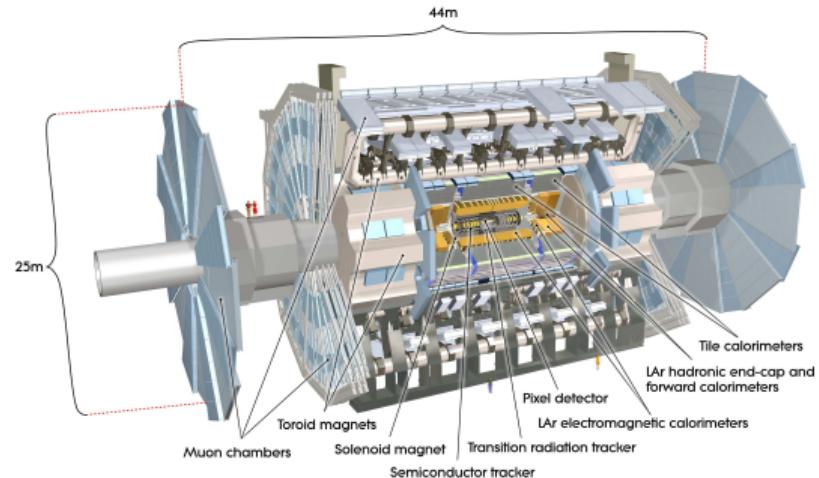
Le LHC

- ▶ Accélère deux faisceaux de protons jusqu'à 6.5 TeV
- ▶ Les fait entrer en collision en 4 points toute les 25ns
- ▶ Sur chaque point, un grand détecteur analyse les collisions



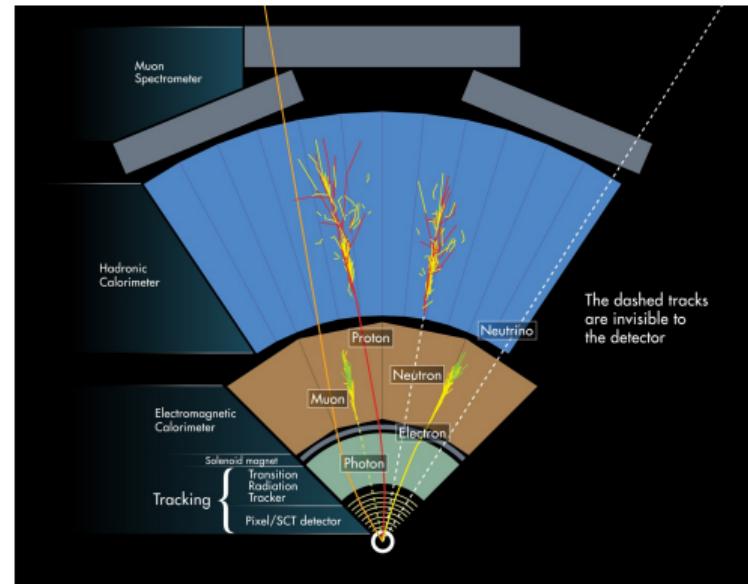
Le détecteur ATLAS

- ▶ C'est un détecteur multiphysique
- ▶ En particulier dédié à l'étude du Modèle Standard à haute énergie



Fonctionnement général d'ATLAS

- ▶ Un trajectographe reconstruit les traces des particules chargées
- ▶ Un calorimètre électromagnétiques mesure les dépots d'énergie des électron et photons
- ▶ Un calorimètre hadronique contribue à mesurer les dépots d'énergie des hadrons
- ▶ Un spectromètre à muons mesure la trace des muons



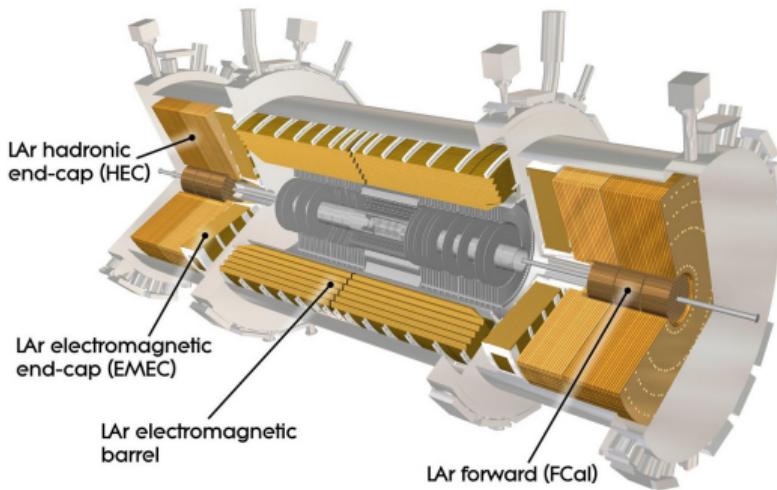
Les particules sont reconstruites à partir de combinaison de ces informations

- ▶ le neutrino n'est pas détecté, on le mesure grâce à un bilan d'énergie non nul.

1. Rechercher de la nouvelle physique avec l'expérience ATLAS au LHC
2. **Les bouffées de bruit cohérent dans les calorimètres à argon liquide**
3. Recherche de résonance $t\bar{t}$
4. La méthode *electron-in-jet removal* pour les quark top boostés
5. Calcul des corrections d'identification pour les électrons en milieu fortement hadroniques
6. Perspectives/Conclusion

Les calorimètres à argon liquide

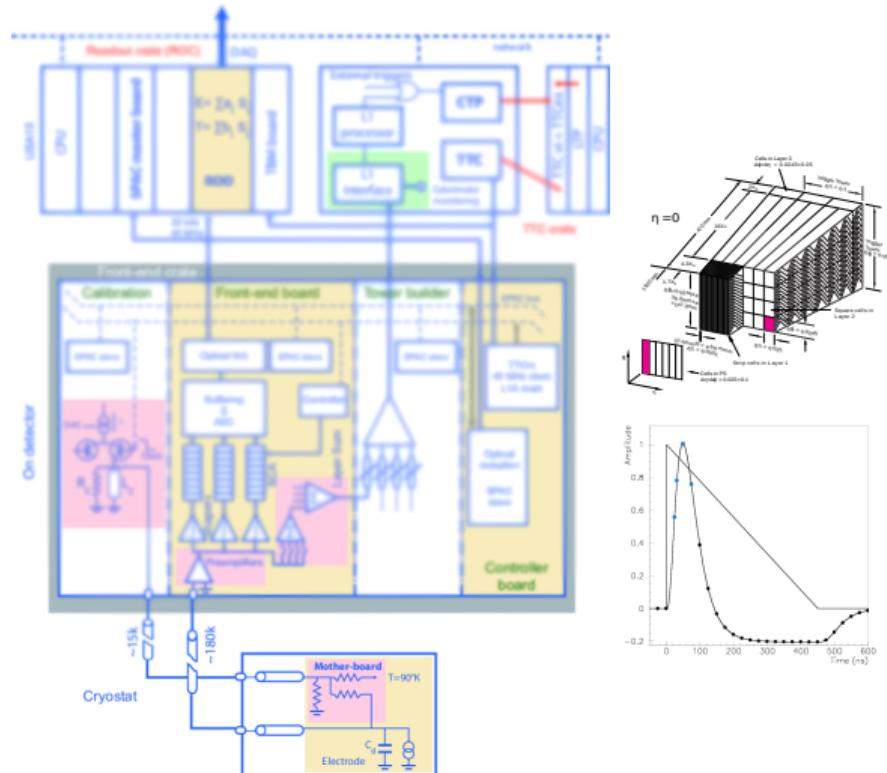
- ▶ Constitué de quatre grandes parties :
 - ▶ Le tonneau électromagnétique
 - ▶ Les bouchon électromagnétiques
 - ▶ Les bouchons hadroniques
 - ▶ Les calorimères de l'avant
- ▶ Technologie similaire (avec argon comme milieu actif)
- ▶ Même structure de lecture



Lecture des calorimètres LAr

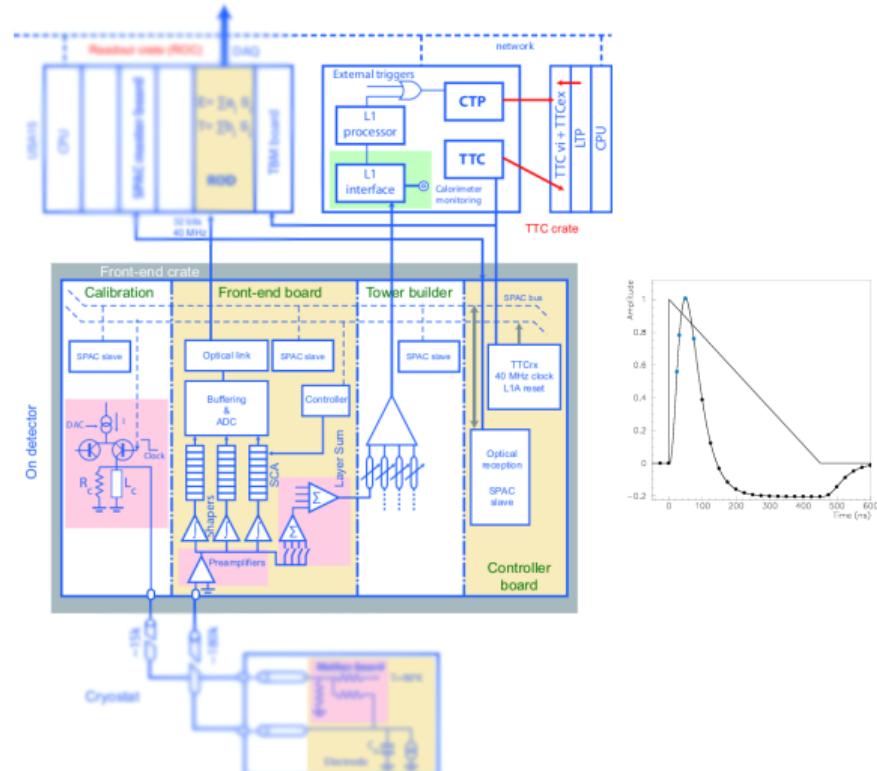
Signal

- ▶ Espace découpé en cellules
- ▶ Signal mesuré indépendamment dans chaque cellule
- ▶ Le signal brut à une forme triangulaire



Front End Board (FEB)

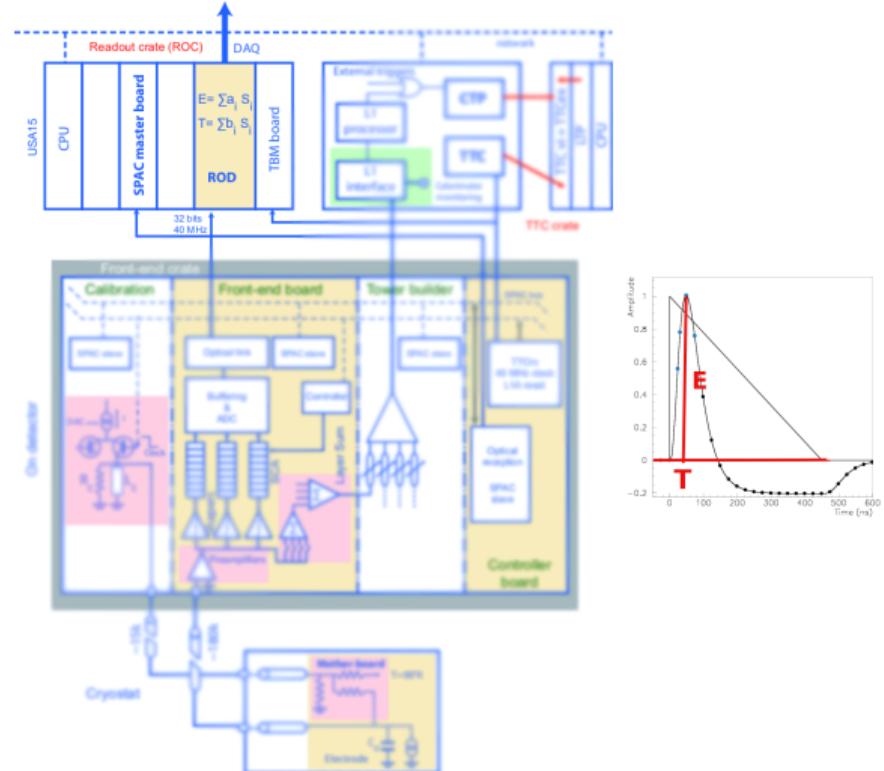
- ▶ Extrait le signal pour le trigger + Somme analogique
- ▶ Mise en forme bipolaire
- ▶ Buffer en attente de la décision du trigger
- ▶ Si accepté → Numérise 4 échantillons de signal
- ▶ Chaque FEB traite 128 cellules



Lecture des calorimètres LAr

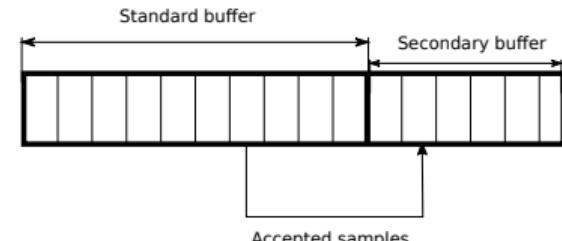
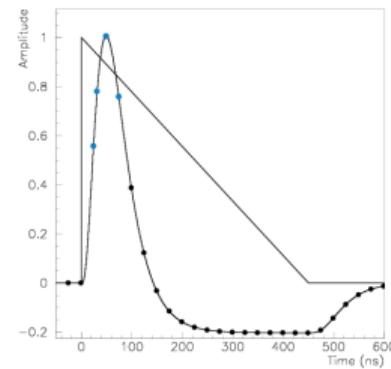
Système déporté

- ▶ Calcul l'énergie et la position temporelle
- ▶ Calcul le Q-facteur :
 - ▶ Quantifie la qualité du signal (χ^2 simplifié)
 - ▶ Plus Q est grand moins l'adéquation est bonne

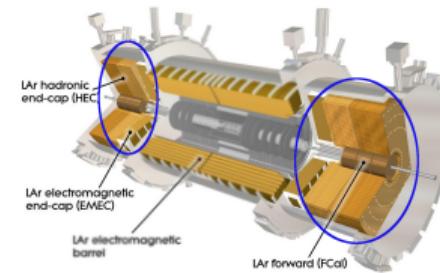
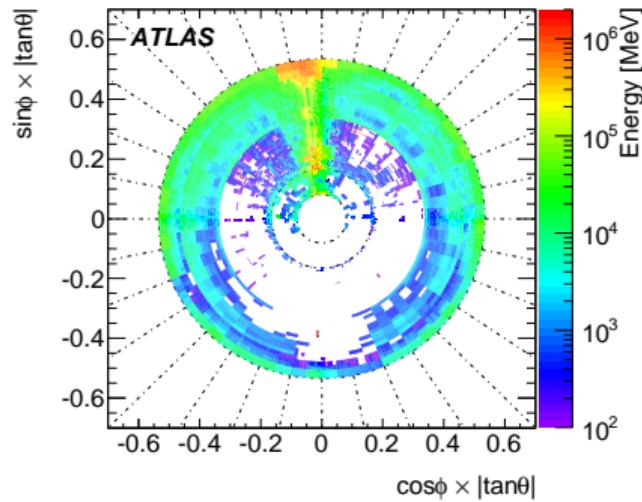


Lecture des calorimètres LAr

- ▶ 4 échantillons utilisés pour reconstruire énergie
 - ▶ Un échantillon ne peut pas être ré-utilisé
 - ⇒ Temps mort Simple
-
- ▶ Une fois accepté les quatre échantillons sont envoyé vers un second buffer
 - ▶ Le temps de numériser les 4 échantillons
 - ▶ Ce buffer peut être plein
 - ⇒ Temps mort complexe



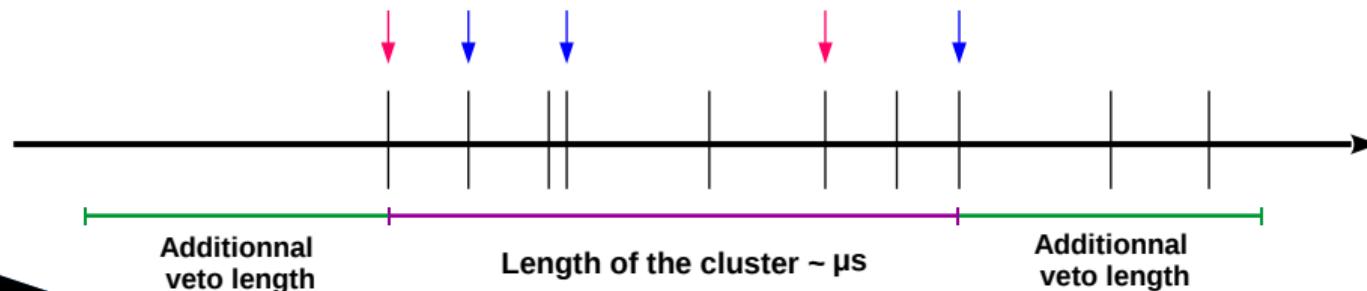
Les bouffées de bruit



- ▶ Dans le bouchon, on observe du bruit cohérent:
- ▶ Aucun dépôt d'énergie attendu
- ▶ Mesure de d'important dépôts d'énergie
- ▶ Sur des périodes de temps $\approx \mu\text{s}$
- ▶ Ce sont des **bouffées de bruit cohérent**

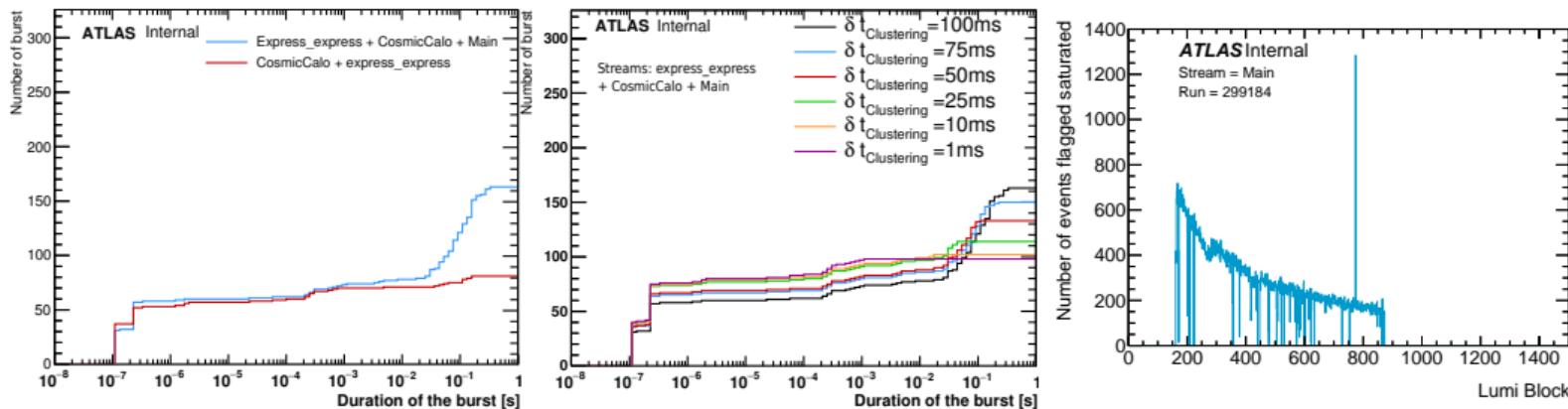
Traitement des bouffées

- ▶ Ces bouffées polluent les données
- ⇒ Besoin d'identifier les événements contaminés pour ne pas impacter les analyses
- ▶ Bruit : Q-facteur >4000
- ▶ On définit deux marqueurs :
 - ▶ **Standard** au moins 5 FEB avec plus de 30 cellules ou $Q>4000$
 - ▶ **Saturé** au moins 20 cellules avec $Q=Q_{\max}$ (saturé)
- ▶ Les événements marqués sont agrégés temporellement (tps carac. $\delta t_{\text{Clustering}} = \mathcal{O}(\mu\text{s})$)
- ▶ Un agrégat avec : ≥ 2 événements marqués dont ≥ 1 **standard** considéré signature d'une bouffée
- ▶ Une période additionnel rajouté avant et après l'agrégat pour contenir l'ensemble du phénomène
- ▶ L'ensemble = Période de véto



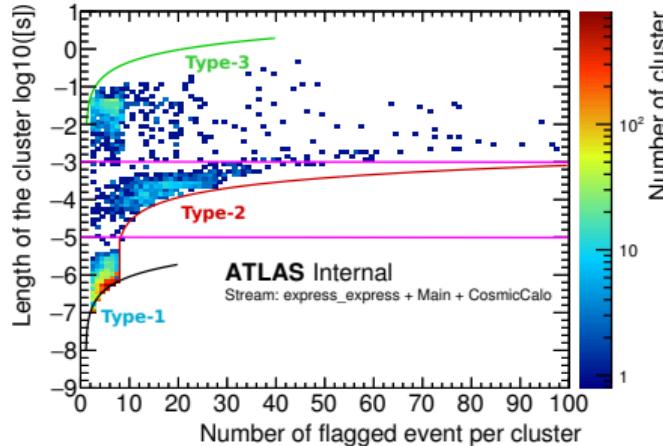
Nouveautés au Run-2

- ▶ Au Run-1 un lot des données réduit étaient analysées (Cosmic_Calo+express)
- ▶ Au Run-2 définition des marqueurs et des périodes de véto au niveau du trigger
- ⇒ Tous les événements sont analysés
- ▶ MAIS cela a induit une augmentation significative de la durée des périodes de véto



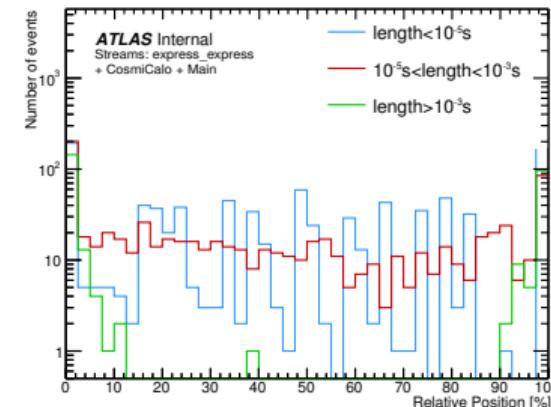
- ▶ Réduit l'effet en diminuant $\delta t_{\text{Clustering}}$
- ▶ Dans le flux *Main* un fond de marqueurs saturés définis avec une fréquence 3-10 Hz

Étude approfondie sur la durée des bouffées



- ▶ Distribution proportionnelle des marqueurs dans une bouffée (0=premier marqueur ;100= dernier marqueur)
- ▶ Type-1 structure en pics \Rightarrow toujours la même distance
- ▶ Type-3 les marqueurs regroupés au début ou à la fin \Rightarrow on un un type 1 + un marqueur éloigné
- ▶ Type-2 Moins bien compris (probablement un mélange de Type-1 et une bouffée survivant au temps mort complexe)

- ▶ Bouffées Type-1 \Rightarrow maximum événements autorisés par les temps morts simple et complexe
- ▶ Pas plus de marqueurs pour bouffées de Type-3



Gain de l'analyse sur les prises de données

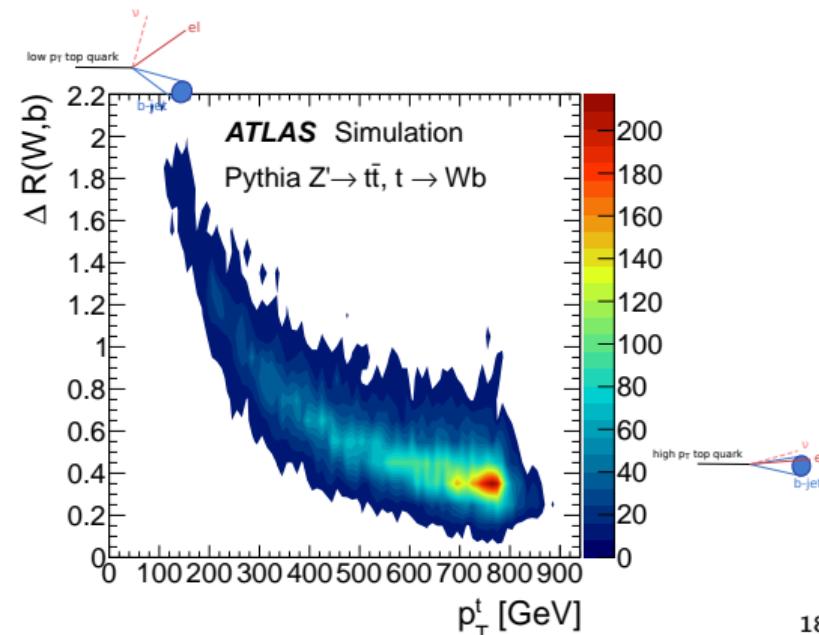
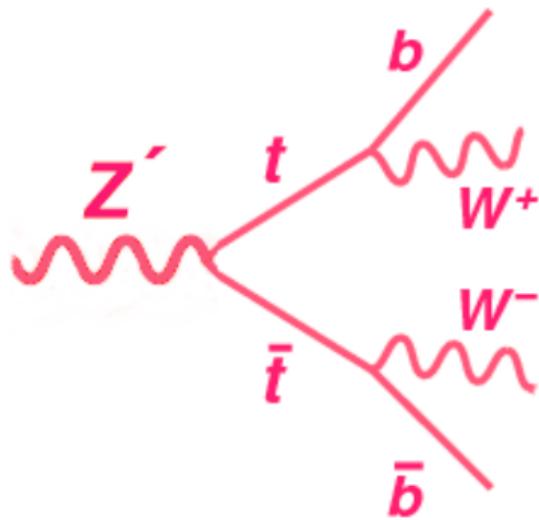
- ▶ Cette étude se place dans le cadre de l'évaluation de la qualité des données
- ▶ Crucial car de nombreuses analyse sont limités par la quantité de données
- ▶ Cette étude a permis de mieux comprendre le phénomène des bouffées de bruit cohérent
- ▶ Il en découle une optimisation de la procédure de véto
- ▶ Permettant de réduire la quantité de données perdue en particulier en 2016 et 2017

	2015	2015 (reproc.)	2016	2016 (reproc.)	2017 (until 18/07)
ϵ_{veto}	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.03%
ϵ_{defect}	0.02%	0.01%	0.22%	0.08%	<0.01%

1. Rechercher de la nouvelle physique avec l'expérience ATLAS au LHC
2. Les bouffées de bruit cohérent dans les calorimètres à argon liquide
3. **Recherche de résonance $t\bar{t}$**
4. La méthode *electron-in-jet removal* pour les quark top boostés
5. Calcul des corrections d'identification pour les électrons en milieu fortement hadroniques
6. Perspectives/Conclusion

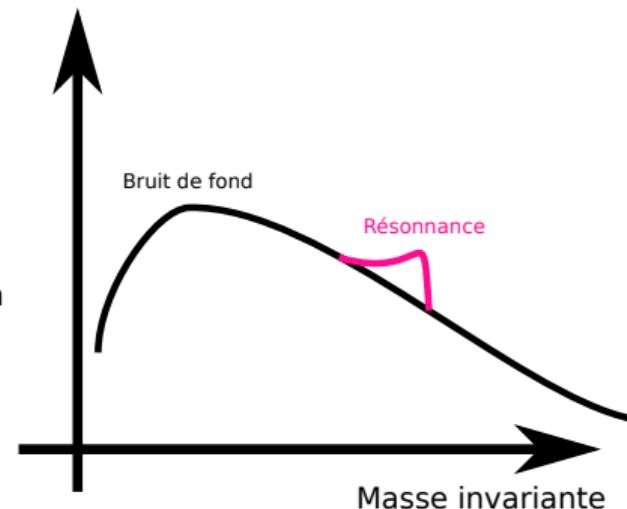
Ce que l'on cherche exactement

- ▶ On cherche un nouvelle particule (un Z' ici) qui se désintre en paire $t\bar{t}$
- ▶ Chaque quark top se désintègre en boson W et un quark b
- ▶ La masse du Z pouvant être importante
- ▶ Les quark top sont boostés \Rightarrow collimation des produits de désintégration



Comment chercher des résonnances $t\bar{t}$

- ▶ Définir une région d'intérêt (coupures)
- ▶ Simulation événements attendus
- ▶ Reconstruction de la masse invariante des deux quarks tops
- ▶ Recherche de déviation entre les données et la simulation
- ▶ Compare aux événements mesurés
- ▶ Analyse statistique pour quantifier la présence ou non d'une déviation



Object definition

Leptons

Electron : LHTight, $p_T > 30$

Muons : Medium, $p_T > 25$ GeV

Isolation (traces uniquement) : 99% efficacité

EV. Sel : Exactement 1 lepton

Jets Anti-Kt ($R=0.4$) $E_T > 25$ GeV

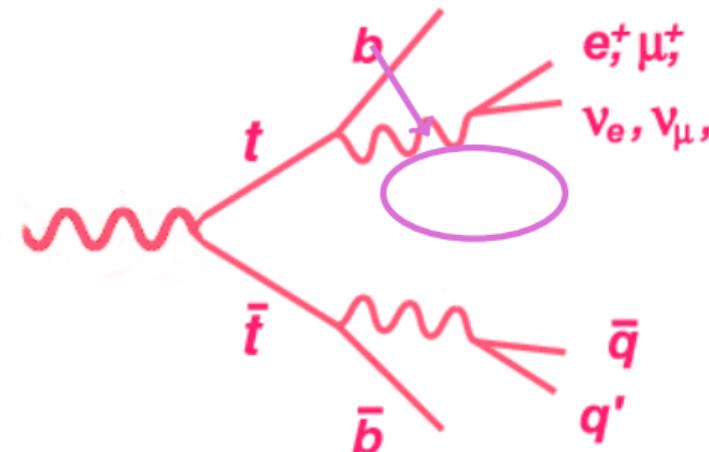
EV. Sel : 1 jet dans $\Delta R < 1.5$ autour du lepton

Gros Jets Anti-Kt ($R=1.0$) $E_T > 200$ GeV

EV. Sel : 1 gros jets étiqueté comme venant d'un quark top

MET

EV. Sel : >20 GeV



Object definition

Leptons

Electron : LHTight, $p_T > 30$

Muons : Medium, $p_T > 25$ GeV

Isolation (traces uniquement) : 99% efficacité

EV. Sel : Exactement 1 lepton

Jets Anti-Kt ($R=0.4$) $E_T > 25$ GeV

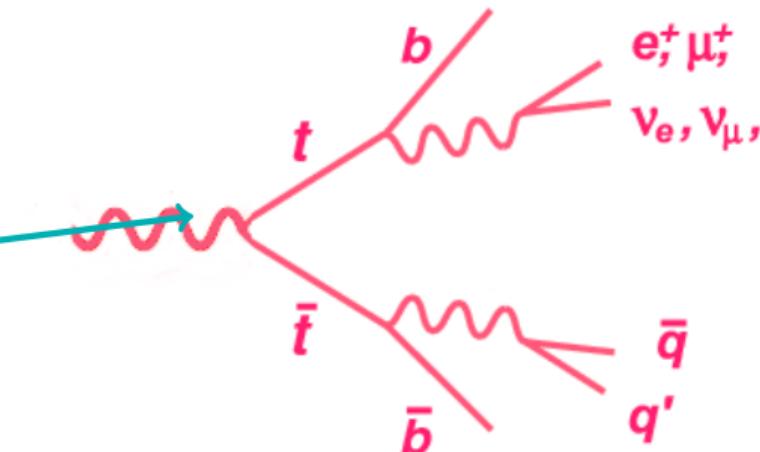
EV. Sel : 1 jet dans $\Delta R < 1.5$ autour du lepton

Gros Jets Anti-Kt ($R=1.0$) $E_T > 200$ GeV

EV. Sel : 1 gros jets étiqueté comme venant d'un quark top

MET

EV. Sel : >20 GeV



Object definition

Leptons

Electron : LHTight, $p_T > 30$

Muons : Medium, $p_T > 25$ GeV

Isolation (traces uniquement) : 99% efficacité

EV. Sel : Exactement 1 lepton

Jets Anti-Kt ($R=0.4$) $E_T > 25$ GeV

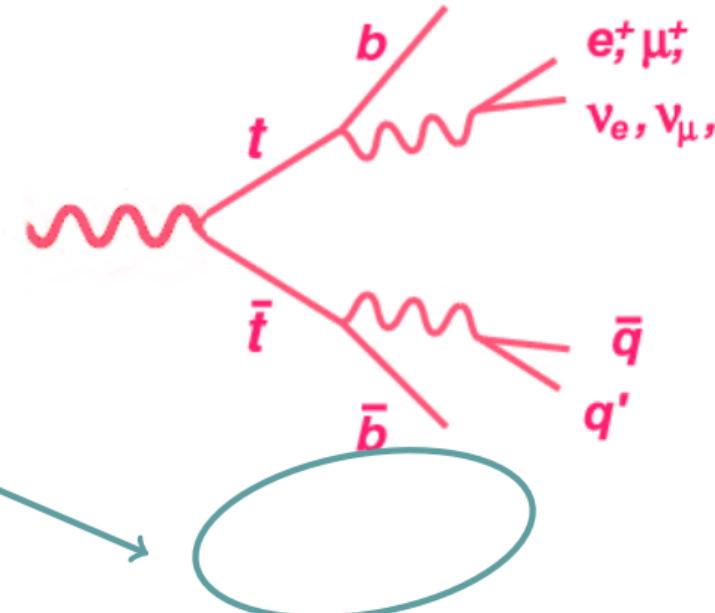
EV. Sel : 1 jet dans $\Delta R < 1.5$ autour du lepton

Gros Jets Anti-Kt ($R=1.0$) $E_T > 200$ GeV

EV. Sel : 1 gros jets étiqueté comme venant d'un quark top

MET

EV. Sel : >20 GeV



Object definition

Leptons

Electron : LHTight, $p_T > 30$

Muons : Medium, $p_T > 25$ GeV

Isolation (traces uniquement) : 99% efficacité

EV. Sel : Exactement 1 lepton

Jets Anti-Kt ($R=0.4$) $E_T > 25$ GeV

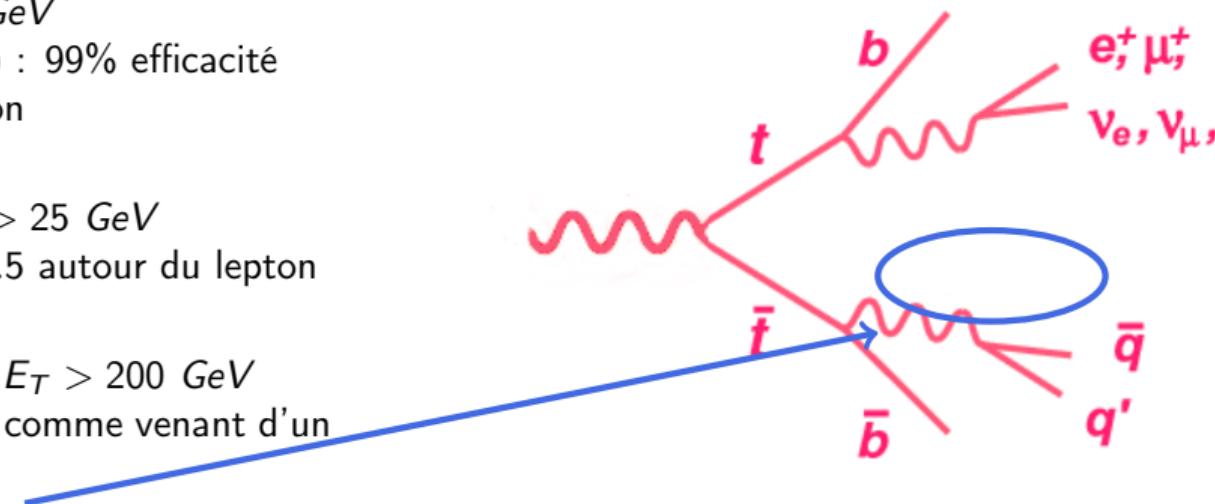
EV. Sel : 1 jet dans $\Delta R < 1.5$ autour du lepton

Gros Jets Anti-Kt ($R=1.0$) $E_T > 200$ GeV

EV. Sel : 1 gros jets étiqueté comme venant d'un quark top

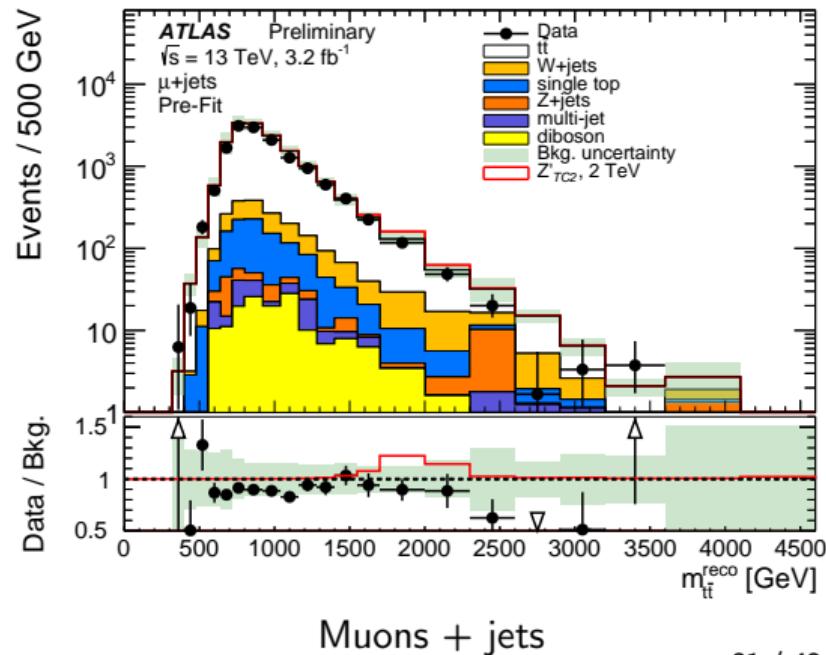
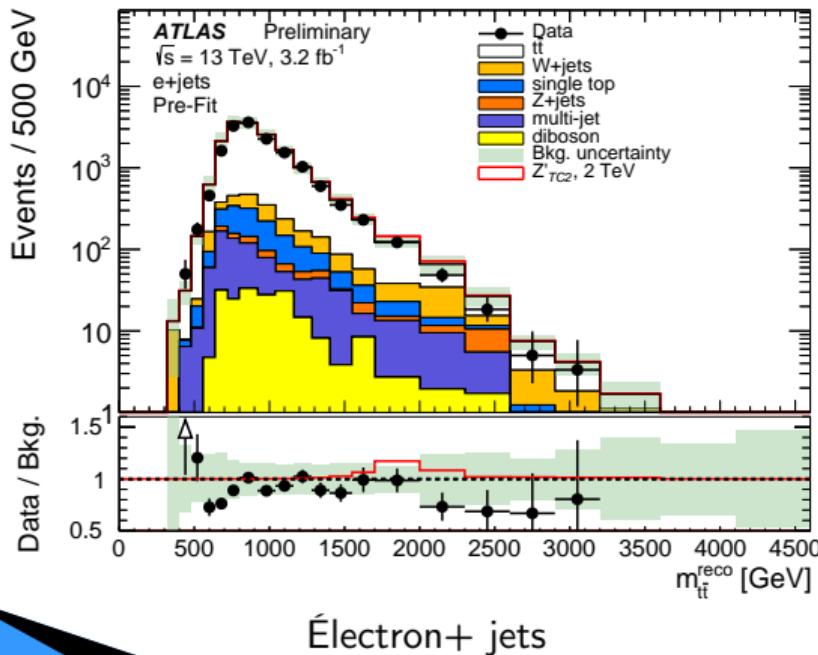
MET

EV. Sel : >20 GeV



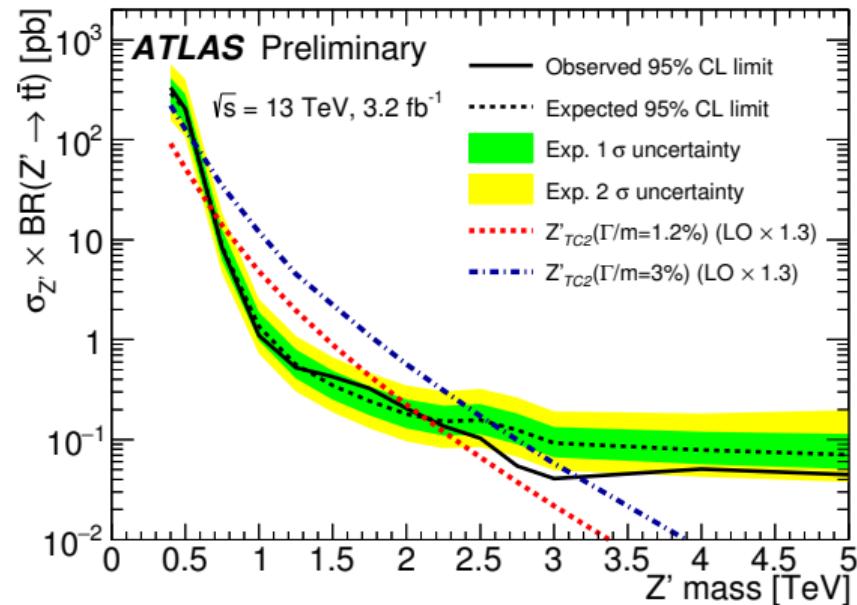
Résultats

- ▶ Distribution en masse invariante $t\bar{t}$ → fortement dominé par la contribution $t\bar{t}$ du Modèle Standard
- ▶ Un signal à 2 TeV (simulé) est aussi représenté, mais aucune déviation des données



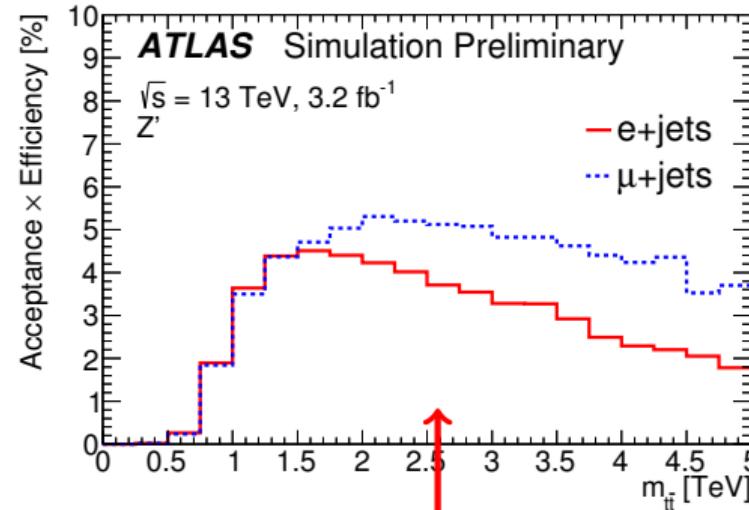
- ▶ Limites sur un signal Z' :
 - ⇒ section efficace maximal du signal pour qu'on ne l'ai pas vue
- ▶ Production exclue pour un signal Z' compris entre 700 GeV et 2 TeV
- ▶ Pas de sensibilité à basse masse car sélection boostée uniquement

Analyse résolu non publié et non étudié dans le cadre de cette thèse



Comment améliorer cette analyse

- ▶ Peu d'efficacités de sélection des électrons à haute masse
- ▶ Quel spécificités sur les électrons?



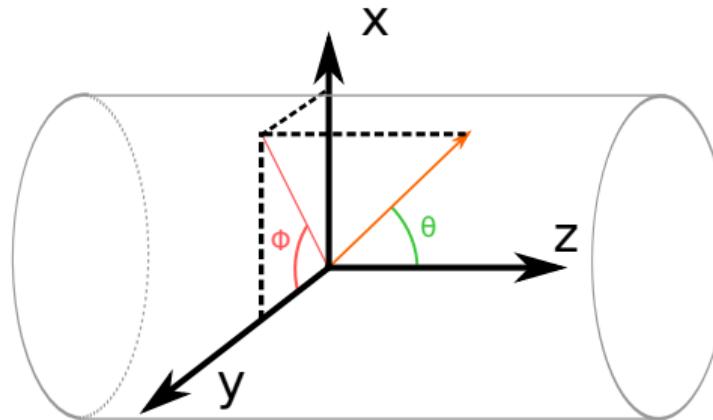
Pourquoi les électrons ont-ils une efficacité si basse à haute masse ?

1. Rechercher de la nouvelle physique avec l'expérience ATLAS au LHC
2. Les bouffées de bruit cohérent dans les calorimètres à argon liquide
3. Recherche de résonance $t\bar{t}$
4. **La méthode *electron-in-jet removal* pour les quark top boostés**
5. Calcul des corrections d'identification pour les électrons en milieu fortement hadroniques
6. Perspectives/Conclusion

Distances et positions dans ATLAS

Entrée : Dépôts d'énergie dans le calorimètre électromagnétique + traces

- ▶ Système d'axe directe
- ▶ La position d'émission d'une particule est caractérisée par (ϕ, η)



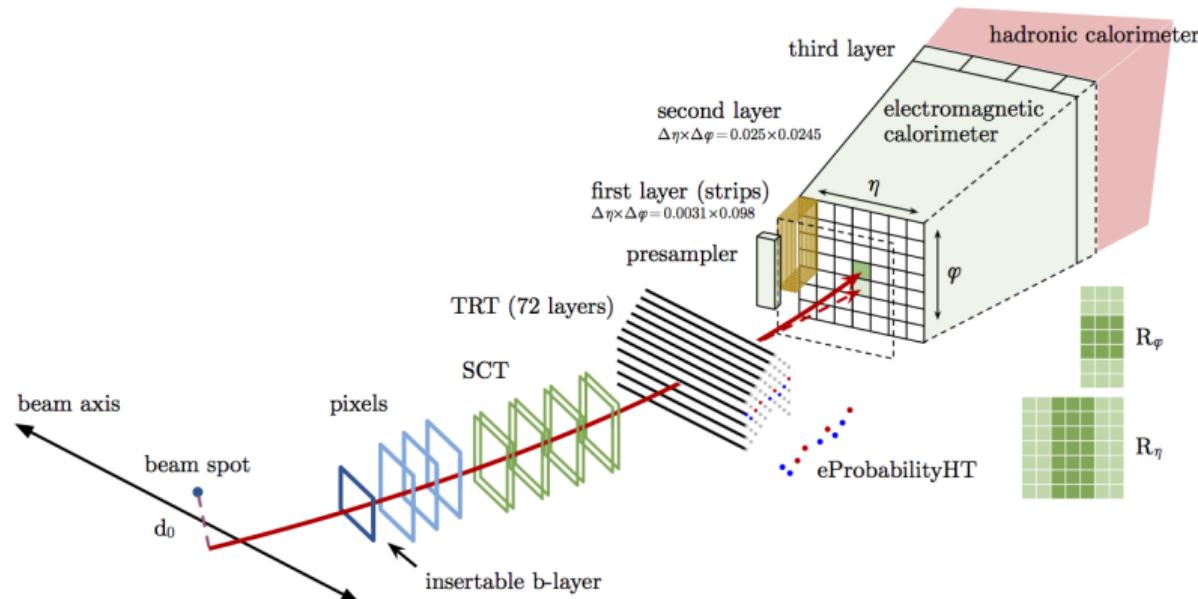
La métrique est donc

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}.$$

Reconstruction des électrons

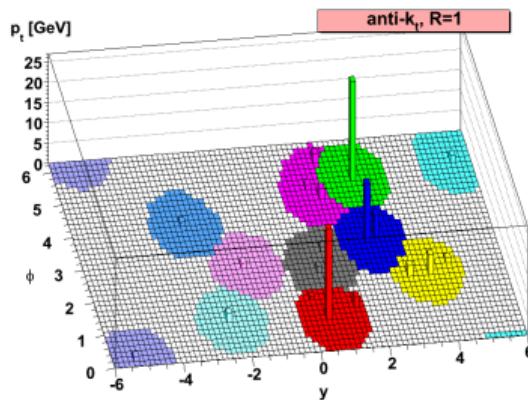
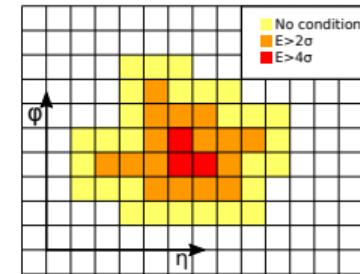
Entrée : Dépôts d'énergie dans le calorimètre électromagnétique + traces

- ▶ Algorithme de fenêtre glissante trouve les maxima en énergie
- ▶ Une trace est associé



Reconstruction des jets

- ▶ Dépôts d'énergie dans les calorimètre électromagnétique et hadronique
- ▶ Amas topologiques (topological clusters) créés en agrégeant ces dépôts d'énergie



- ▶ L'algorithme de jet antikt assemble ces clusters pour former un jet
- ▶ Les jets sont circulaires de rayon
 - ▶ $R=0.4$ pour les jets standard
 - ▶ $R=1$ pour les gros jets
- ▶ Deux jets ne se superposent jamais

Définition de l'*overlap removal*

Les dépôts d'énergie des électrons sont reconstruits par les deux algorithmes indépendamment

1. clusters électromagnétique
2. Topological clusters

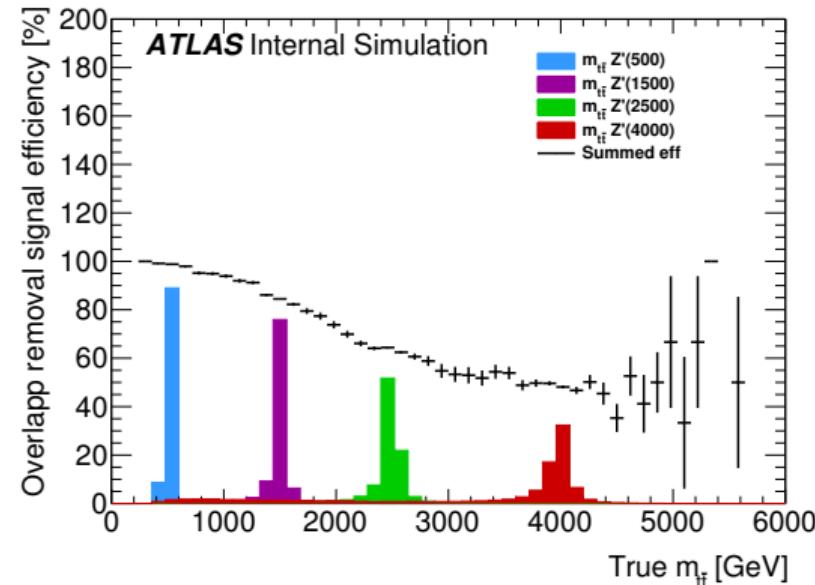
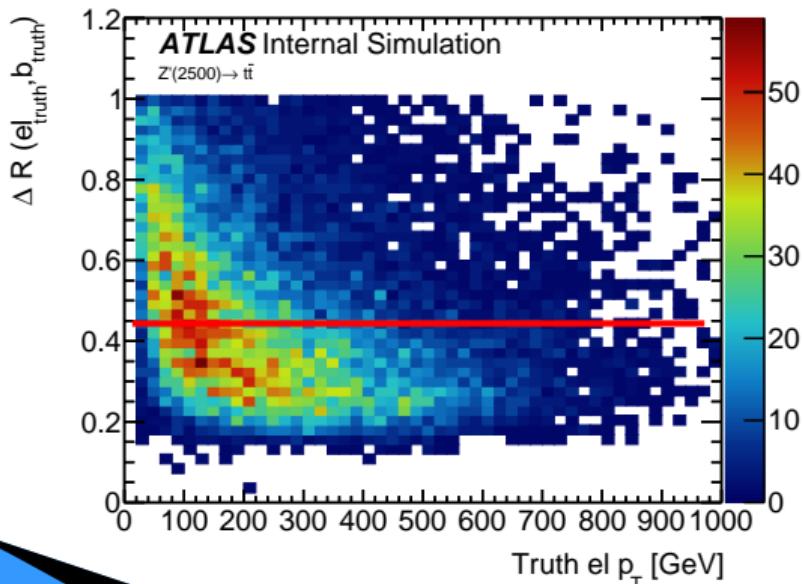
⇒ **Un électron sera toujours reconstruit comme un jet**

- ▶ Pour éviter cette ambiguïté d'identification, on utilise une procédure d'*overlap-removal* (OR)
- ▶ Celle utilisée entre les électrons et les jets de manière standard dans ATLAS est :
 1. Si $\Delta R(\text{electron}; \text{jet}) < 0.2 \rightarrow$ le jet est supprimé
On considère que le jet vient du dépôt d'énergie de l'électron
 2. Si $\Delta R(\text{electron}; \text{jet}) < 0.4 \rightarrow$ l'électron est supprimé
On considère que l'électron vient de l'hadronisation d'un jet ou d'un jet lourd

Impact de l'overlap removal sur les quarks top boostés

Pour les quarks top boosté, on peut se retrouver dans le cas où l'électron du W se retrouve à une distance du jet b inférieure à $\Delta R = 0.4$

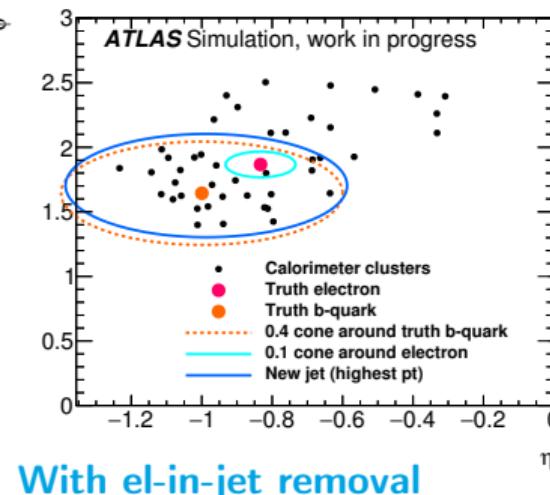
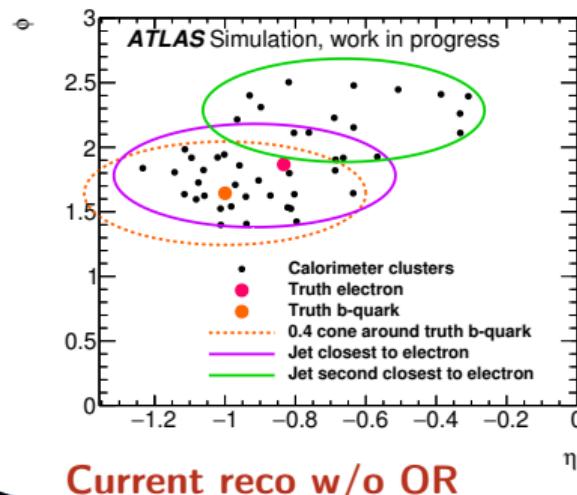
- ▶ La procédure d'overlap removal réduit fortement l'efficacité de la sélection sur le signal
- ▶ Plus la masse du signal est grande, pire est l'effet



La méthode electron-in-jet-removal (ER)

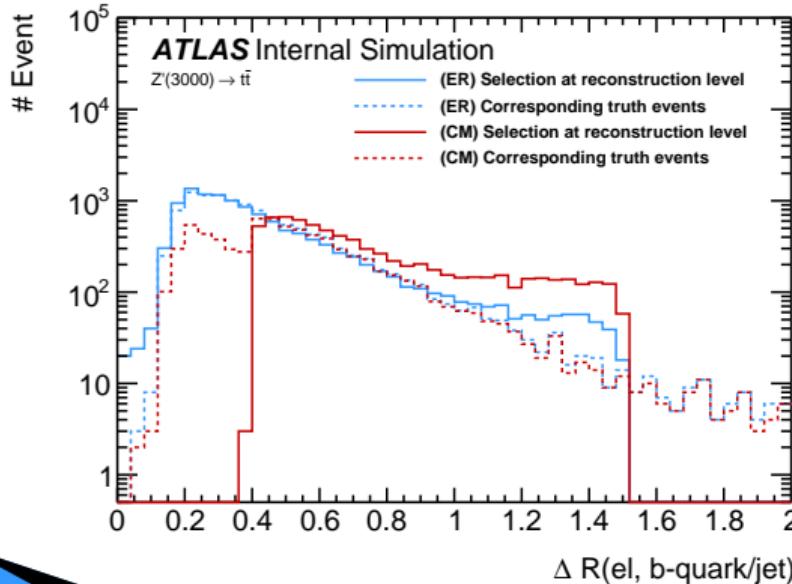
L'idée de base est d'enlever la contribution des électrons dans les topoclusters avant de reconstruire les jets

1. Les électrons sont sélectionnés, coupures en: $pt, \text{quality}, \eta$
2. Les topoclusters à une distance $\Delta R < 0.1$ d'un électron sont considérés
3. Ils sont supprimés si leur fraction d'énergie électromagnétique $EM_{\text{frac}} > 80\%$
4. L'algorithme de jet est appliqué sur les topoclusters qui restent



Reconstruction de la distance $\Delta R(el; b - quark)$

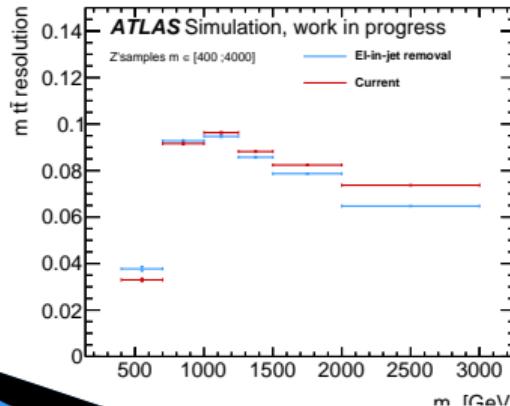
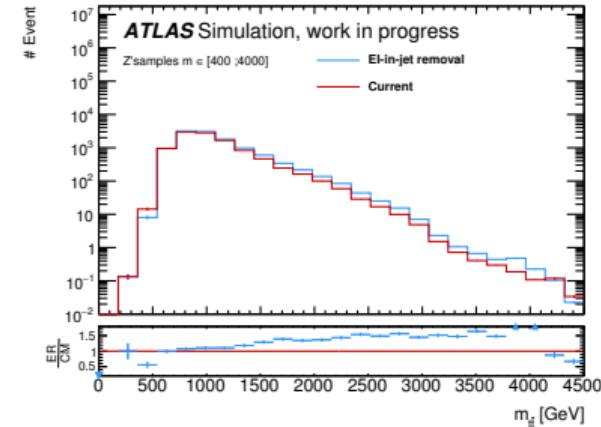
- ▶ ΔR reconstruit pour les événements sélectionnés par l'analyse
 - ▶ ΔR reconstruit (ligne pleine)
 - ▶ ΔR au niveau partonique (ligne pointillée)



- ▶ ER reconstruit bien des événements où $\Delta R(electron; jet) < 0.4$
- ▶ La distribution reconstruite est proche de la distribution au niveau partonique
- ▶ On remarque qu'avec la méthode courante (CM) des événements où ΔR au niveau partonique < 0.4 sont reconstruits avec $\Delta R > 0.4$
- ▶ La bosse à $\Delta R \approx 1.4$ car on préfère sélectionner une radiation du top que le jet de b si celui-ci est trop mou
- ⇒ Quel référence choisir ?

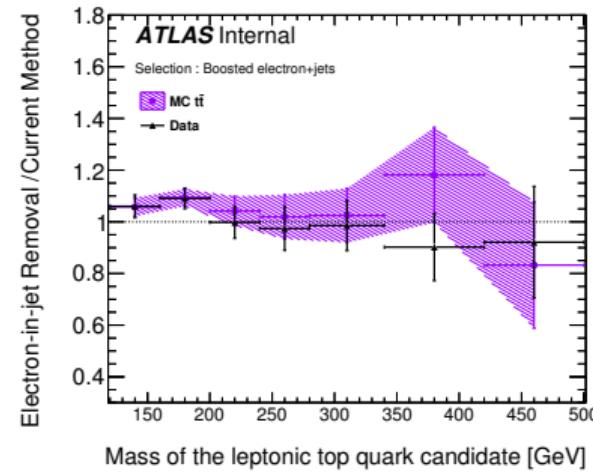
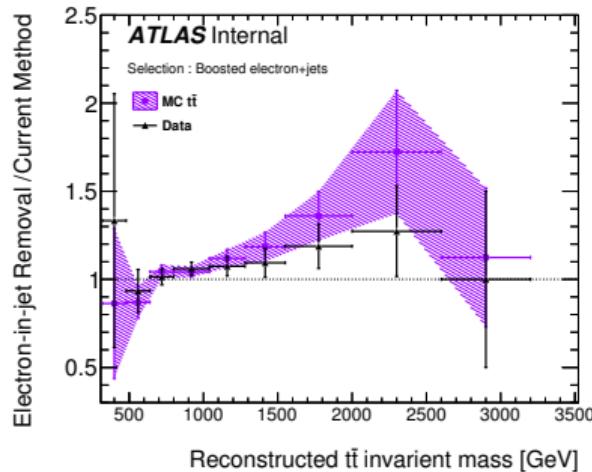
Reconstruction des paires $t\bar{t}$

- ▶ Comme attendu le gain principal est à haute masse invariante
- ▶ A 4 TeV le gain est d'environ 50%



- ▶ La méthode ER permet de reconstruire les événements $t\bar{t}$ avec un meilleur résolution
- Mais tous ceci est estimé à partir de simulation uniquement.**
- Qu'en est -il des données ?**

Gain d'événements



- ▶ La méthode *electron-in-jet removal* permet de gagner en particulier à haute masse
- ▶ Les quarks top leptoniques reconstruits en plus ont principalement une masse à 175 GeV
- ▶ Les événements gagné sont donc bien reconstruits

Pour inclure la méthode dans l'analyse $t\bar{t}$

- ▶ Estimation de tous les bruits de fond avec la méthode ER
- ▶ Impact sur l'étiquetage des jet de b.
- ▶ Calcul complet des *Scale factors*

Amélioration possibles

- ▶ Optimiser l'algorithme d'association jet-electron (des outils existent déjà)
- ▶ Utilisation de électrons reconstruits avec des clusters
- ▶ Optimisation dans les PFlow jets

Utilisation dans d'autres analyses

- ▶ Dès qu'il faut reconstruire un quark top boosté
- ▶ Avec HL-LHC : haut pile-up \Rightarrow beaucoup de jets

1. Rechercher de la nouvelle physique avec l'expérience ATLAS au LHC
2. Les bouffées de bruit cohérent dans les calorimètres à argon liquide
3. Recherche de résonance $t\bar{t}$
4. La méthode *electron-in-jet removal* pour les quark top boostés
5. **Calcul des corrections d'identification pour les électrons en milieu fortement hadroniques**
6. Perspectives/Conclusion

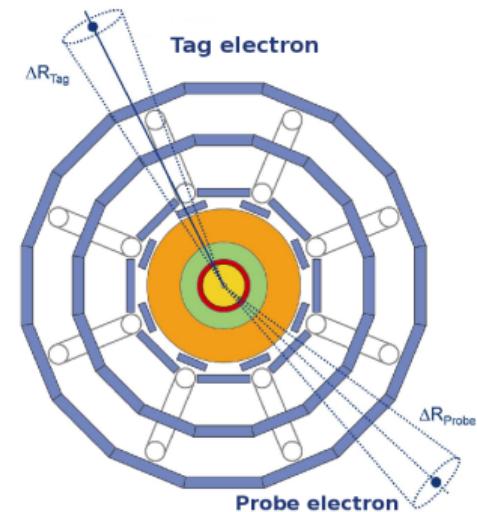
Si la méthode *electron-in-jet removal* est si performante pourquoi ne pas l'avoir utilisé dans l'analyse ?

- ▶ Des électrons avant suppression par l'*overlap removal* sont maintenant accessibles
- ▶ Modélisation imparfaite des électrons \Rightarrow besoin de corrections
- ▶ Les corrections (*Scale factors*) n'ont jamais été calculées pour $\Delta R(\text{el;jet}) < 0.4$

La méthode Tag & Probe

- ▶ La méthode utilisé couramment pour mesurer les *Scale factors* d'identification des électrons
- ▶ On compare les efficacités d'identification dans les données et dans la simulation
- ▶ Au niveau de la masse du Z, grande pureté en événements $Z \rightarrow e^+ e^-$
- ▶ C'est en plus une topologie bien connue
- ▶ **Tag** : On demande un électron avec des critères très strictes
Pour chaque Tag on a deux sélection qui dependent du probe
- ▶ **Probe (container)** : On demande un autre électron sans autre critère
- ▶ **Probe (tight)** : On demande un autre électron avec un critère d'identification dont on veut mesurer l'efficacité
- ▶ Le rapport d'événements $N_{tight}/N_{container}$ donne l'efficacité

$$SF = \frac{Eff_{Data}}{Eff_{MC}}$$

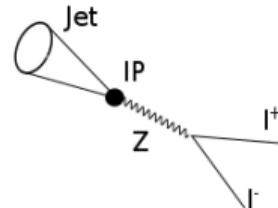
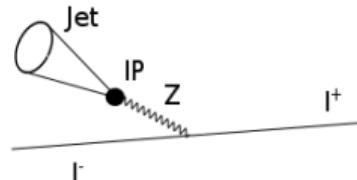


Deux méthodes pour la mesure des corrections

On cherche des topologies où un électron et un jet sont proches (autre que $t\bar{t} l+jets$)

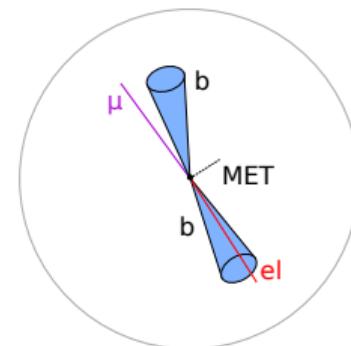
$$Z \rightarrow e^+ e^-$$

- Grande section efficace beaucoup de statistique
- Un régime cinématique des jets différent que dans le top
- Similaire à la méthode T&P standard



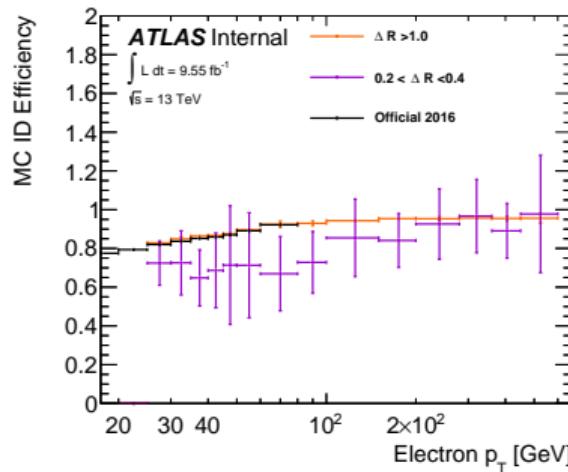
$$t\bar{t} \rightarrow eb + \mu b \text{ (TopTag & Probe)}$$

- Moins de statistique
- La cinématique des jets la même que pour les événements $t\bar{t} l+jets$
- Grande contamination par les événements $t\bar{t} \rightarrow l+jets$

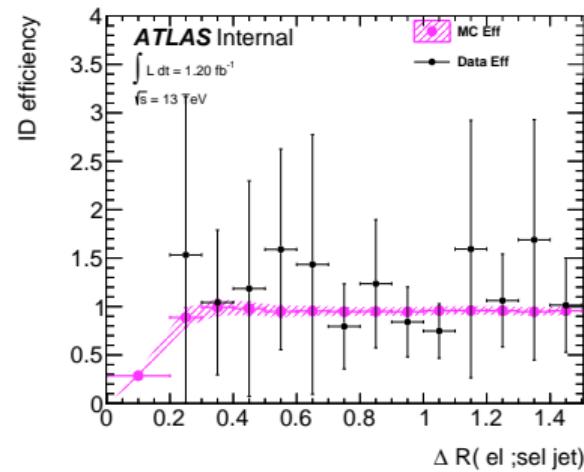


Résultats

$Z \rightarrow e^+ e^-$



$t\bar{t} \rightarrow eb + \mu b$



- ▶ L'efficacité est réduite lorsque $\Delta R < 0.4$
- ▶ Dans les deux cas on est limité par la statistique

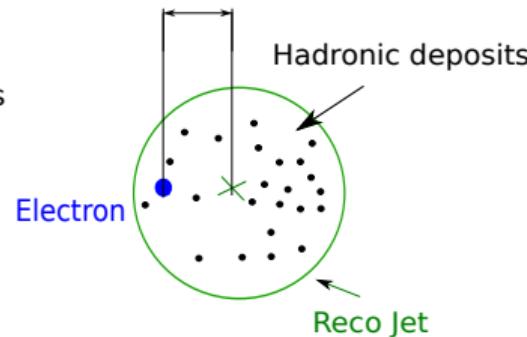
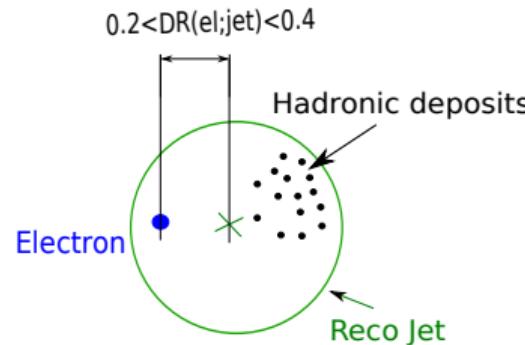
Problème fondamental

On veut mesurer le SF d'un électron dans un jet Mais comment caractériser la proximité d'un jet

On peut utiliser différents bin en ΔR (coupures).

- ▶ Si $\Delta R > 0.4$ peu d'impact du jet
- ▶ Si $\Delta R < 0.4$ le jet est contaminé par l'électron \rightarrow position et impulsion sont biaisées
- ▶ Pourquoi ne pas appliquer la méthode ER ?
 - ▶ 1er pt de la méthode : Sélectionne les électron \rightarrow avec notamment une coupure en identification
 - ▶ La reconstruction du jet et donc ΔR dépend de la qualité de l'électron \rightarrow biais dans la sélection

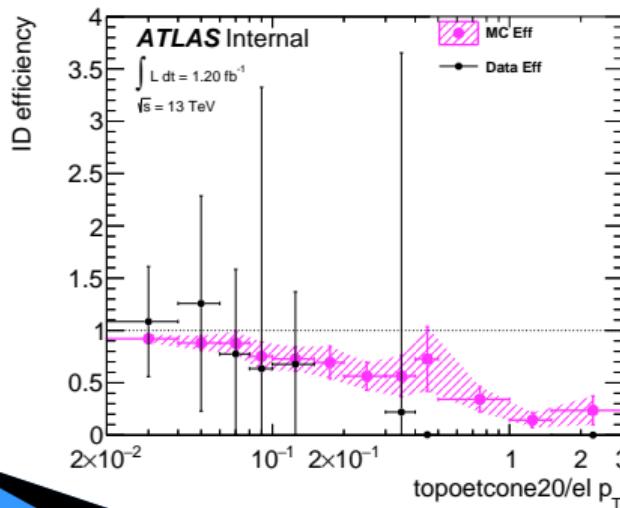
$$0.2 < DR(\text{el};\text{jet}) < 0.4$$



Problème fondamental

- ▶ Variables d'isolation : optimisation nécessaire de la taille du cone
- ▶ $f_{close-by}$ a l'avantage de prendre en compte la distance et l'impulsion des clusters proches

$$f_{closeby} = \sum_{cl \in R} \frac{\overrightarrow{p_T^{cl,i}} \cdot \overrightarrow{p_T^{el}}}{\|\overrightarrow{p_T^{el}}\|^2}, \quad (1)$$



Statistique

- ▶ Les études sont limité par la statistique (besoin de générer plus d'échantillons avec $\Delta R(\text{el};\text{jet}) < 0.4$)
- ▶ Utilisation de toute la statistique des données

De nouvelles variables

- ▶ Il y a une dépendance de l'identification avec l'énergie ambiante
- ▶ Besoin de paramétriser l'ID en fonction d'une variable qui quantifie "l'hadronicité"

De nouveaux points d'identification

- ▶ Les points d'ID utilisés actuellement sont optimisés pour les cas avec $\Delta R > 0.4$
- ▶ Besoin de nouvelles définitions prenant en compte la modification des variables en présence de jets

1. Rechercher de la nouvelle physique avec l'expérience ATLAS au LHC
2. Les bouffées de bruit cohérent dans les calorimètres à argon liquide
3. Recherche de résonance $t\bar{t}$
4. La méthode *electron-in-jet removal* pour les quark top boostés
5. Calcul des corrections d'identification pour les électrons en milieu fortement hadroniques
6. **Perspectives/Conclusion**

Conclusion

Durant cette th'ese j'ai donc contribué à :

Calorimétrie

- ▶ Amélioration de la compréhension des bouffées de bruit cohérent
- ▶ Optimisation de la méthode de traitement

Reconstruction des quark top

- ▶ Développement d'une nouvelle méthode pour reconstruire les quark top boostés
- ▶ Mesures des performances
- ▶ Test sur l'analyse $t\bar{t}$

Mesure des *Scale factors*

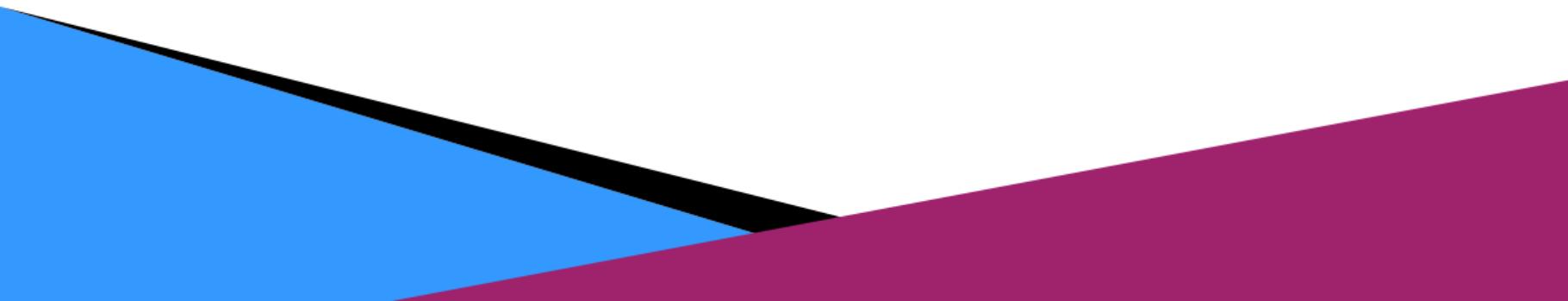
- ▶ Développement de deux types de mesures
- ▶ Identification de difficultés fondamentales
- ▶ Proposition et test de solutions alternatives

Et beaucoup plus...

MERCI
DES QUESTIONS ?



BACKUP



Sommaire backup

Jet resolution

Jet scale

Jet cinématique

Electron perfs

ttbar perfs

test ttbar systs

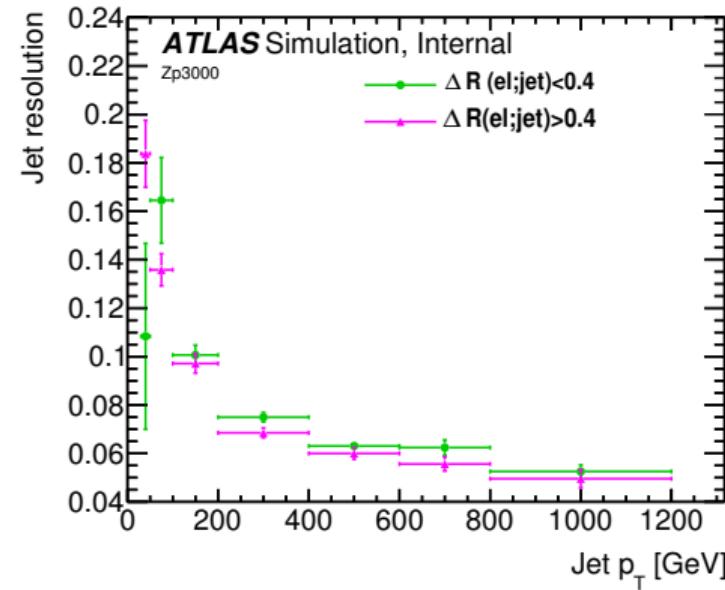
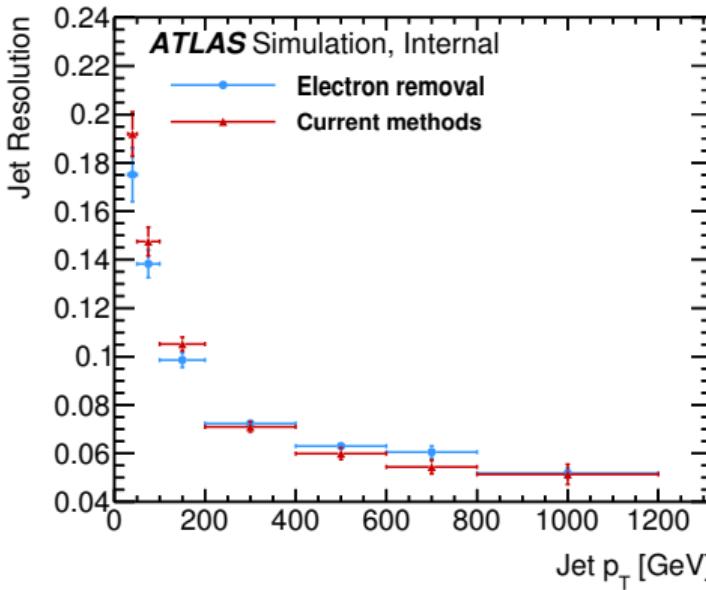
details about SF

Jet resolution

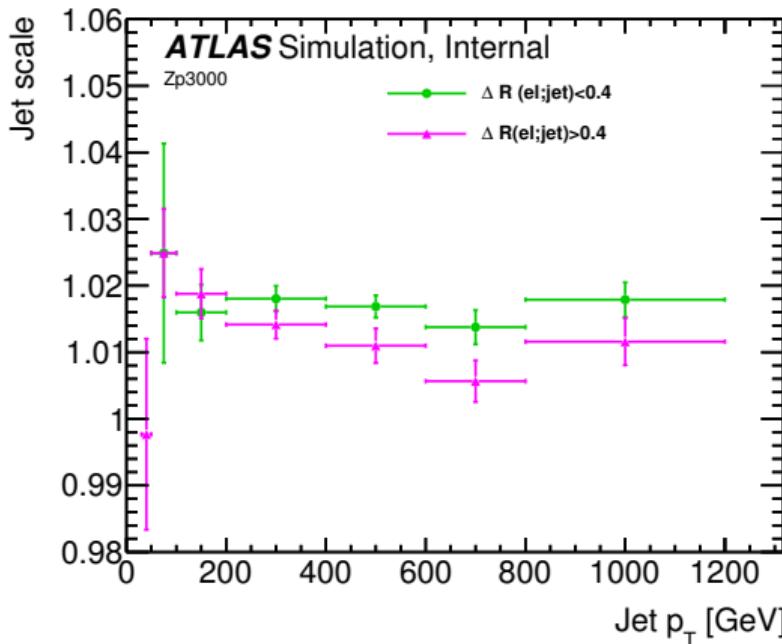
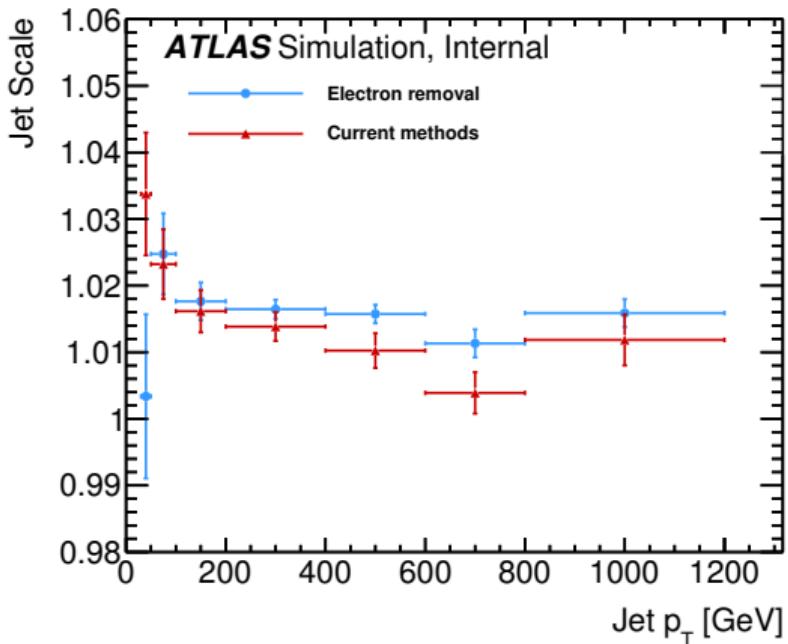
Check jet reco in $\Delta R < 0.4$ region

Using the **TJ2** selection: TJ ΔR -matched to reco jet

- ▶ Fit gaussian core of jet-response ; std-deviation = resolution
- ▶ Compare **CM** vs **ER** only for $\Delta R(\text{el}; b) > 0.4$
- ▶ Compare **ER** for **above** and **below** 0.4



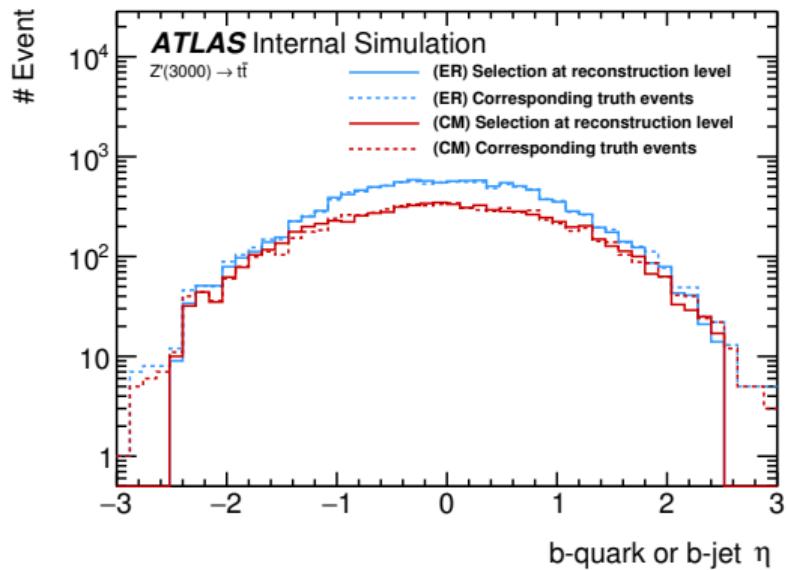
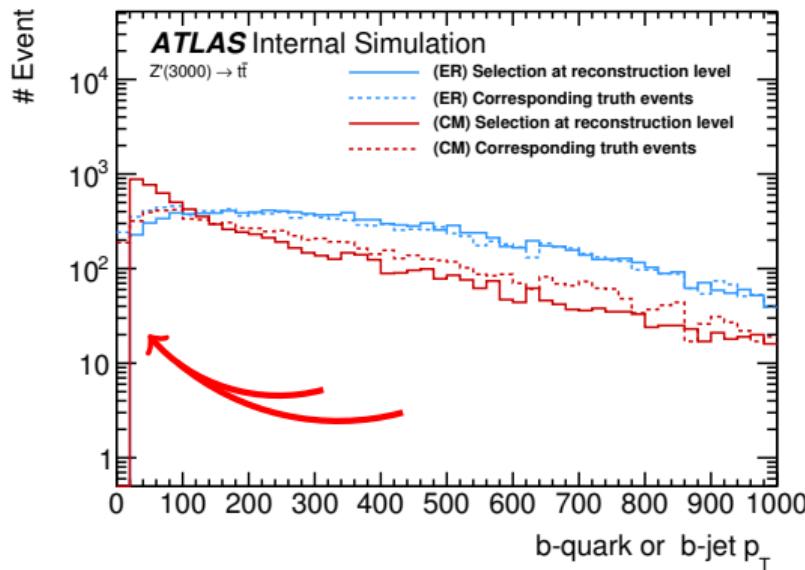
Jet Scale



- ▶ Similar scales in both cases.
- ▶ The differences in low p_T regime probably due to low statistic in those regions
↳ uncertainties on the fit are displayed

Jet p_T and η distribution

- ▶ After applying both selections
- ▶ Looking at the corresponding truth jets for both selection

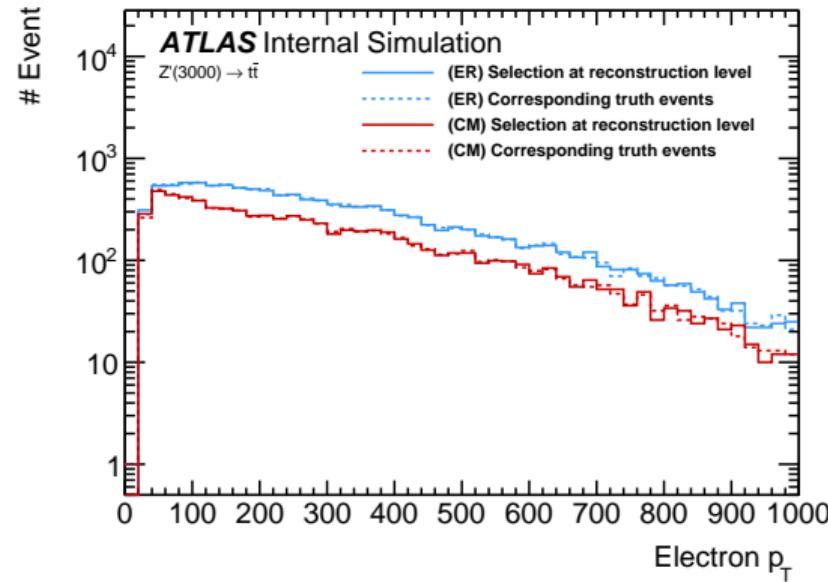


- ▶ CM is less efficient to select high p_T jets
- Moreover some hard jets are reconstructed with lower p_T

Electron performances

Electron p_T distribution

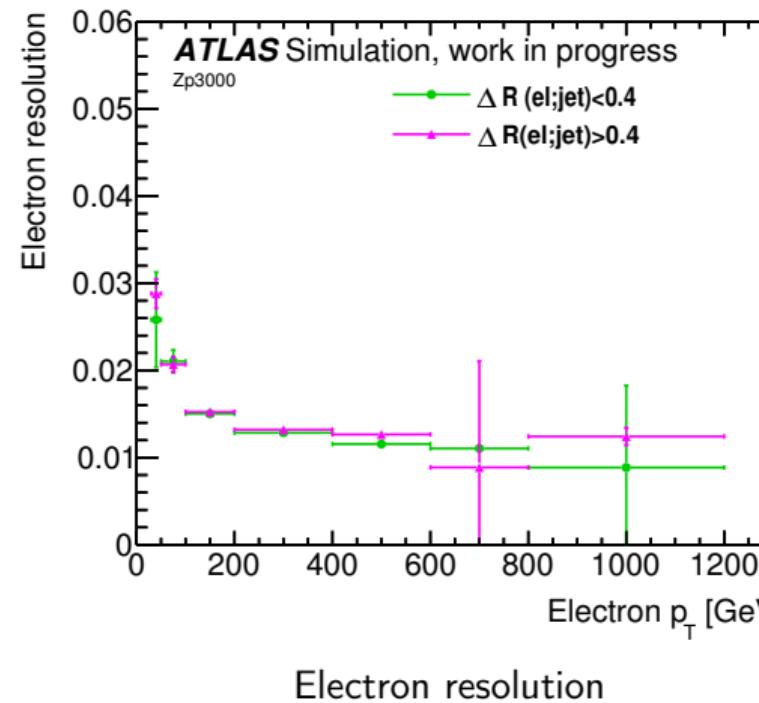
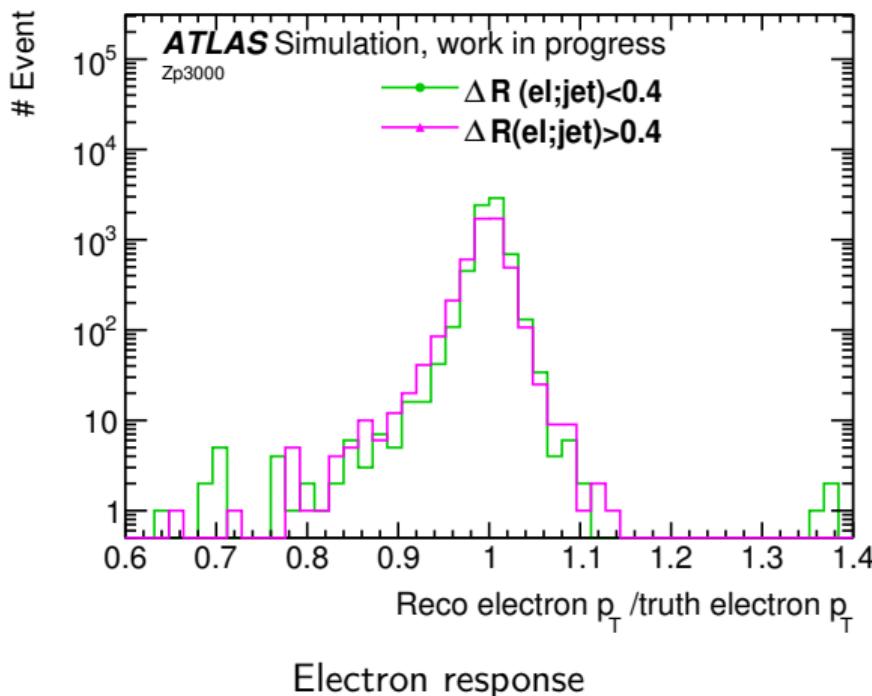
- ▶ "LHTight" electrons are used



- ▶ ER is more efficient to select high p_T electrons.
- ▶ In both cases, the electrons are well reconstructed

Electron resolution with ER

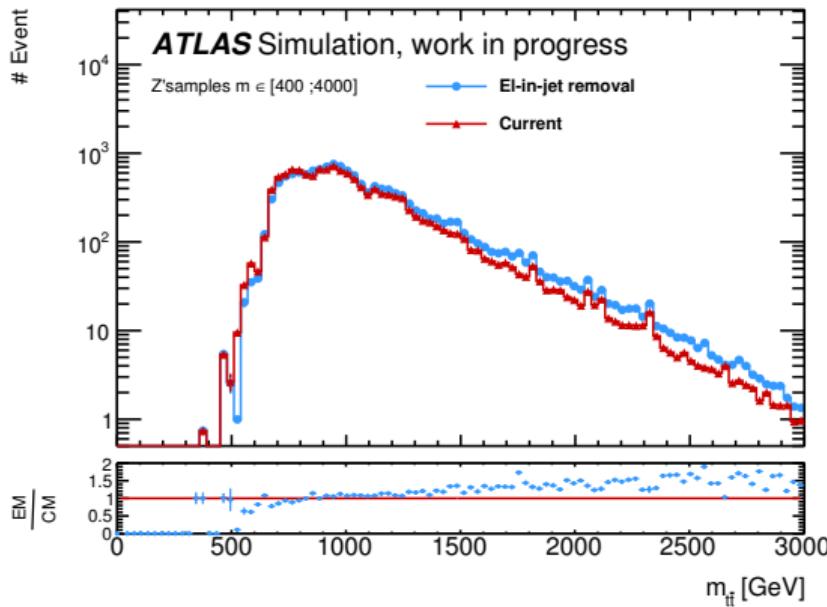
- ▶ Fit gaussian electron-response: resolution=std-deviation
- ▶ Then compare ER for $\Delta R(\text{el}; b) > 0.4$ and $\Delta R(\text{el}; b) < 0.4$



- ▶ The electrons are well reconstructed

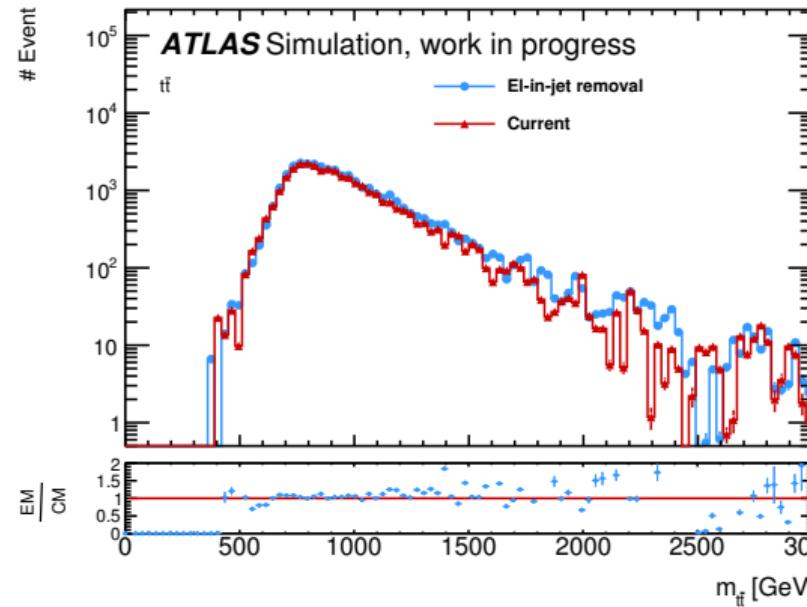
Invariant mass reconstruction

Invariant mass reconstruction comparison



Signal samples

- ▶ The efficiency is much higher at high mass
- ▶ Note: low $t\bar{t}$ MC stat at high mass



$t\bar{t}$

Full analysis comparison

Run Monte-Carlo $t\bar{t} \rightarrow l + jets$ res. analysis

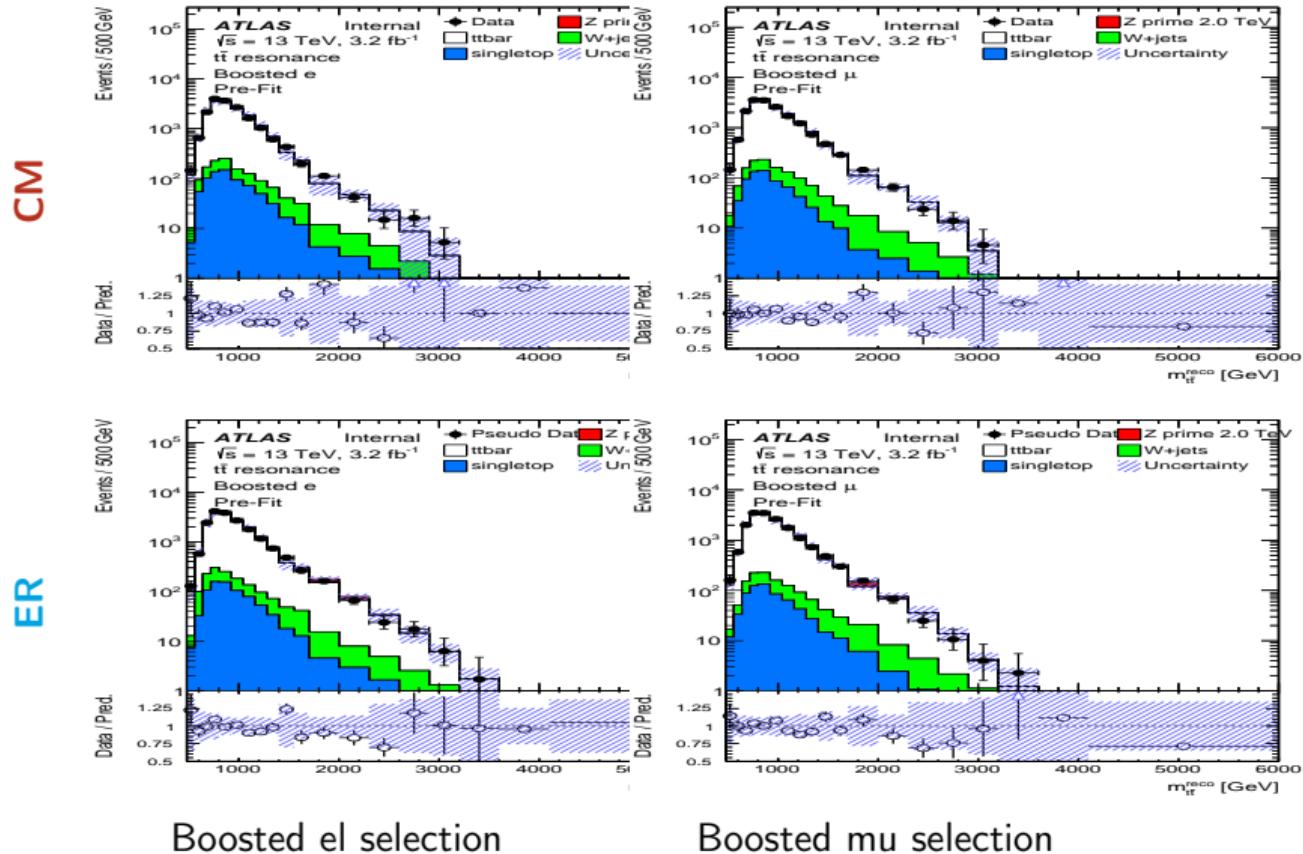
Baseline = analysis presented in Moriond 2016

- ▶ Lumi=3.2 fb-1
- ▶ Main BKG (MC Only): $t\bar{t}$, Single Top , W+jets
- ▶ Test performed with Pseudo-Data
- ▶ Main systematics (details in backup)
- ▶ Only boosted electron and muon selection used

Main aspects of the selection: (details in [ATLAS-CONF-2016-014](#))

- ▶ 1 large R jets (top-tagged)
- ▶ Exactly 1 lepton (muon or electron)
- ▶ 1 small selected jet
- ▶ 1 b-tagged track-jet

Invariant mass distributions

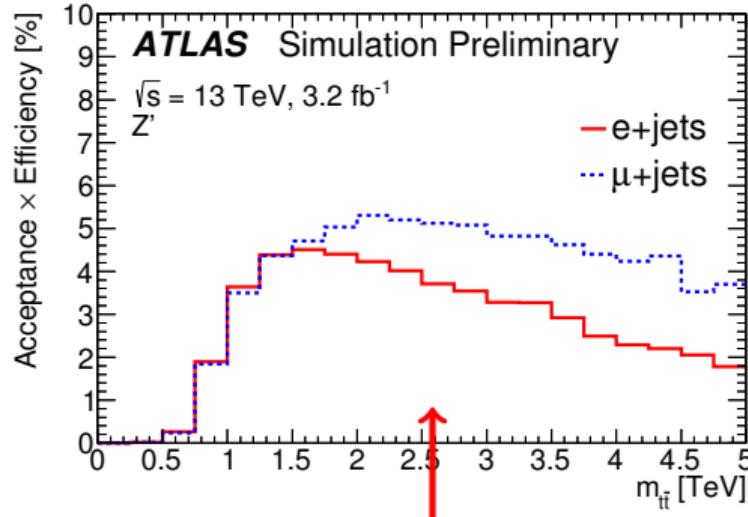


Yields for 3.2 fb^{-1}

Yields	Electron-in-jet removal ER		Current CM	
Selections	be	bmu	be	bmu
$t\bar{t}$	$3699.9 (+7.60\%) \pm 665.0$	$3437.7 (-0.95\%) \pm 607.1$	3438.5 ± 619.0	3470.7 ± 597.3
single top	$166.9 (+6.04\%) \pm 33.0$	$140.1 (-1.96\%) \pm 28.7$	157.4 ± 31.2	142.9 ± 28.5
W+jet	$161.4 (+28.40\%) \pm 41.2$	$137.2 (-2.35\%) \pm 21.3$	125.7 ± 22.9	140.5 ± 22.6
$Z'(500)$	$57.1 (+15.35\%) \pm 10.1$	$43.5 (-1.81\%) \pm 11.9$	49.5 ± 9.6	44.3 ± 12.6
$Z'(750)$	$249.8 (+4.21\%) \pm 74.5$	$240.6 (-1.07\%) \pm 72.3$	239.7 ± 72.4	243.2 ± 72.8
$Z'(1000)$	$385.8 (+8.10\%) \pm 33.0$	$338.6 (-0.12\%) \pm 25.9$	356.9 ± 31.3	339.0 ± 26.1
$Z'(1250)$	$226.0 (+12.83\%) \pm 15.2$	$197.2 (-0.70\%) \pm 7.5$	200.3 ± 14.0	198.6 ± 7.8
$Z'(1500)$	$119.6 (+19.48\%) \pm 7.6$	$102.1 (-0.78\%) \pm 3.0$	100.1 ± 6.4	102.9 ± 3.1
$Z'(1750)$	$62.3 (+26.37\%) \pm 4.0$	$54.1 (-0.73\%) \pm 1.6$	49.3 ± 3.2	54.5 ± 1.6
$Z'(2000)$	$32.7 (+32.39\%) \pm 2.0$	$28.9 (-1.03\%) \pm 0.7$	24.7 ± 1.6	29.2 ± 0.7
$Z'(2250)$	$17.5 (+36.72\%) \pm 1.1$	$16.3 (-1.21\%) \pm 0.3$	12.8 ± 0.8	16.5 ± 0.3
$Z'(2500)$	$9.5 (+39.71\%) \pm 0.6$	$8.9 (-1.11\%) \pm 0.2$	6.8 ± 0.4	9.0 ± 0.2
$Z'(2750)$	$5.2 (+44.44\%) \pm 0.3$	$4.9 (-2.00\%) \pm 0.1$	3.6 ± 0.3	5.0 ± 0.1
$Z'(3000)$	$2.8 (+47.37\%) \pm 0.2$	$2.8 (0.00\%) \pm 0.1$	1.9 ± 0.1	2.8 ± 0.1
$Z'(4000)$	$0.3 (+50.00\%) \pm 0.0$	$0.3 (0.00\%) \pm 0.0$	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0
Total	$5196.8 (+9.01\%) \pm 845.8$	$4753.1 (-0.96\%) \pm 767.0$	4767.4 ± 789.1	4799.3 ± 760.1

- ▶ Signal acceptance improved from 30% at 2 TeV to 50% at 4 TeV
- ▶ Proportions are given by $\frac{N_{ER} - N_{CM}}{N_{CM}}$
- ▶ Little yield reduction in muon channel due to better electron selection

Impact of OR on selection efficiency

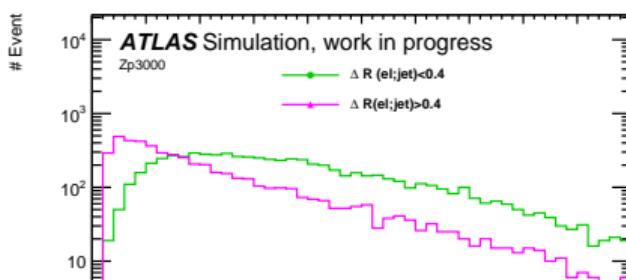
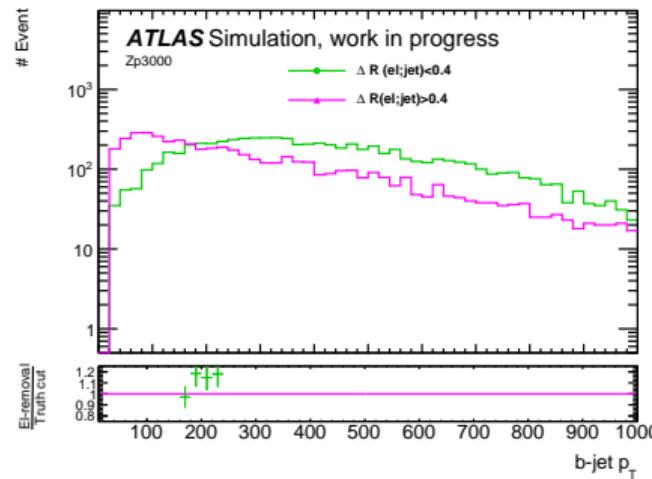
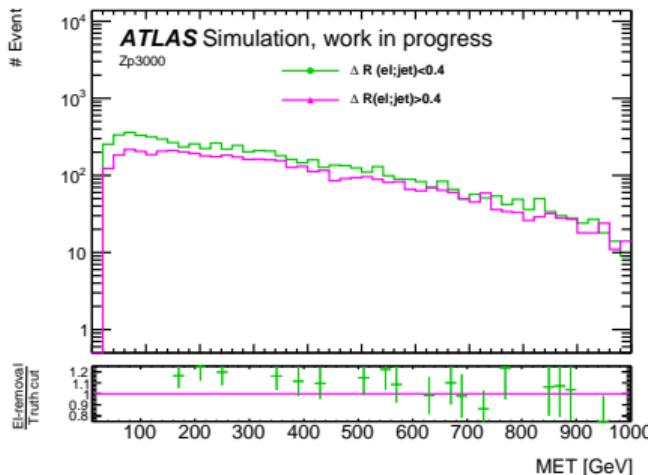


Why electron have so low efficiency at high mass ?

- ▶ It is mainly due to overlap removal (OR) !
- ▶ OR is used to solve ambiguity due to:
 - ▶ electron reconstructed as jets
 - ▶ B-jet decay that produce an electron

Comparison DR>0.4 & DR<0.4

In Z'3000 Sample



Systematics used 1

Yields	Electron-in-jet removal (ER)		Current (CM)	
Selections	be	bmuer	be	bmu
anti- k_t R=1.0 r_{trk} baseline dw	8.2	7.9	8.1	7.4
anti- k_t R=1.0 r_{trk} baseline up	7.9	8.5	8.2	8.9
anti- k_t R=1.0 r_{trk} modelling dw	3.8	4.1	4.2	3.5
anti- k_t R=1.0 r_{trk} modelling up	3.7	3.7	3.7	3.9
anti- k_t R=1.0 r_{trk} total stat.dw	2.4	2.5	2.6	2.2
anti- k_t R=1.0 r_{trk} total stat.up	2.1	2.2	2.0	2.2
anti- k_t R=1.0 r_{trk} tracking dw	5.9	6.2	6.1	5.6
anti- k_t R=1.0 r_{trk} tracking up	5.6	6.2	5.5	6.3
anti- k_t R=0.4 JES GNP 1 dw	0.7	0.6	0.9	0.4
anti- k_t R=0.4 JES GNP 1 up	0.7	0.4	0.6	0.6
anti- k_t R=0.4 JES GNP 2 dw	0.1	0.3	0.3	0.3
anti- k_t R=0.4 JES GNP 2 up	0.4	0.2	0.1	0.2
anti- k_t R=0.4 JES GNP 3 dw	0.1	0.3	0.3	0.0
anti- k_t R=0.4 JES GNP 3 up	0.1	0.2	0.1	0.1
anti- k_t R=0.4 JER up	0.1	0.4	0.3	0.1
electron ID dw	3.5	0.0	3.5	0.0
electron ID up	3.5	0.0	3.5	0.0
electron isolation dw	0.4	0.0	0.5	0.0
electron isolation up	0.4	0.0	0.5	0.0
electron reconstruction dw	0.4	0.0	0.4	0.0
electron reconstruction up	0.4	0.0	0.4	0.0
electron res. dw	0.1	0.0	0.1	0.0
electron res. up	0.1	0.0	0.1	0.0
electron scale dw	0.0	0.0	0.1	0.0
electron scale up	0.0	0.0	0.1	0.0
electron trigger dw	0.4	0.0	0.4	0.0
electron trigger up	0.4	0.0	0.4	0.0
lumidw	1.6	1.6	1.6	1.6
lumiup	1.6	1.6	1.6	1.6

Systematics used 1

Yields	Electron-in-jet removal (ER)		Current (CM)	
Selections	be	bmuer	be	bmu
MET res. para. up	0.0	0.1	0.1	0.0
MET res. perp. up	0.2	0.1	0.2	0.0
MET scale dw	0.1	0.1	0.0	0.0
MET scale up	0.1	0.1	0.1	0.0
muon res. (ID) dw	0.0	0.0	0.0	0.0
muon res. (ID) up	0.0	0.0	0.0	0.0
muon res. (MS) dw	0.0	0.0	0.0	0.1
muon res. (MS) up	0.0	0.0	0.0	0.0
muon scale dw	0.0	0.0	0.0	0.0
muon scale up	0.0	0.0	0.0	0.0
singletopdw	0.2	0.2	0.2	0.2
singletopup	0.2	0.2	0.2	0.2
Total	16.2	16.1	16.5	15.8

More on scale factors

test

