

Mesure de l'efficacité d'étiquetage des jets issus d'un quark b dans ATLAS avec la méthode Système 8

Nancy Tannoury

Journées Jeunes Chercheurs, 21-27 Novembre 2010, Angers

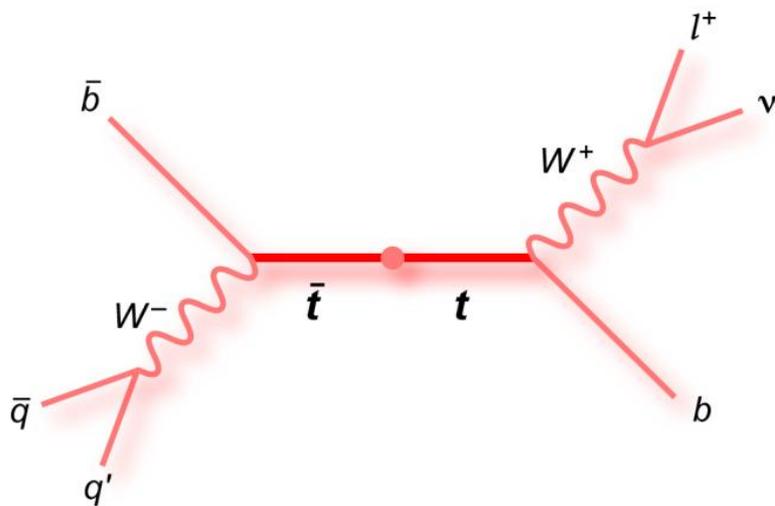


Plan

- ▶ L'étiquetage des jets issus d'un quark b (*b-tagging*)
 - ▶ Introduction
- ▶ Cadre expérimentale :
 - ▶ LHC
 - ▶ ATLAS
 - Le détecteur à Pixel
- ▶ Les algorithmes du b-tagging
- ▶ Mesure de l'efficacité du b-tagging
 - ▶ Système 8 :
 - ▶ Méthode pour mesurer l'efficacité *b-tagging*.
 - La méthode
 - Résultats et perspectives
 - ▶ Jets à plus grandes énergies
 - Le double muon tagger

Introduction

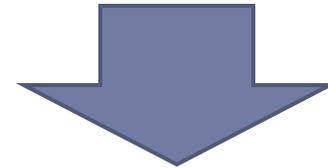
L'identification des jets issus d'un quark b (b -tagging) est cruciale pour différentes études et analyses physiques



$BR(t \rightarrow Wb) \sim 99.99\%$

▶ Etude des propriétés du quark top

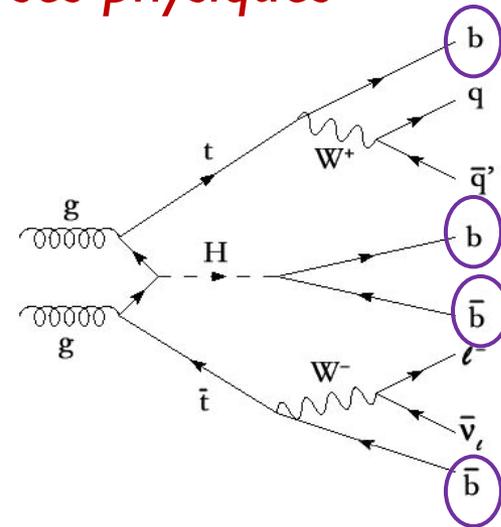
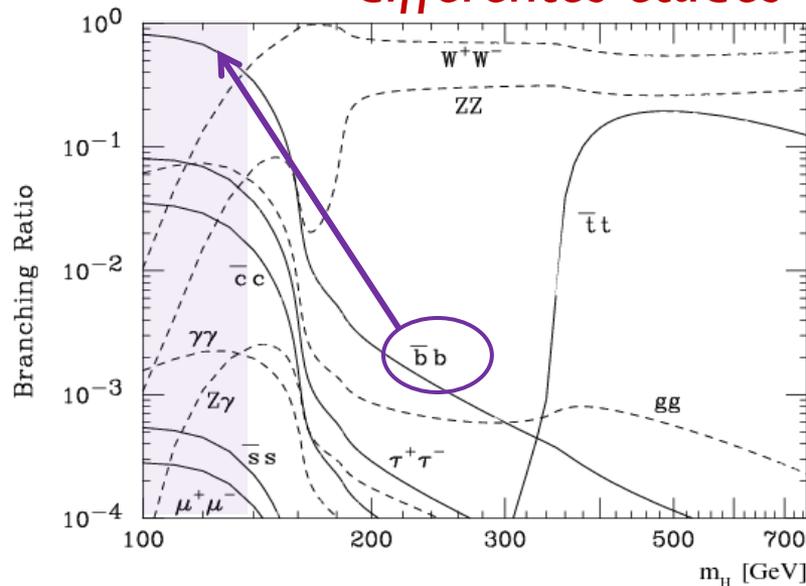
- ▶ la section efficace de production des paires $t\bar{t}$
- ▶ la section efficace du single top
- ▶ la masse du quark top



Le b -tagging est très important pour la sélection d'un lot pur $t\bar{t}$ ainsi que pour la suppression des bruits de fond

Introduction

L'identification des jets issus d'un quark b (b-tagging) est cruciale pour différentes études et analyses physiques

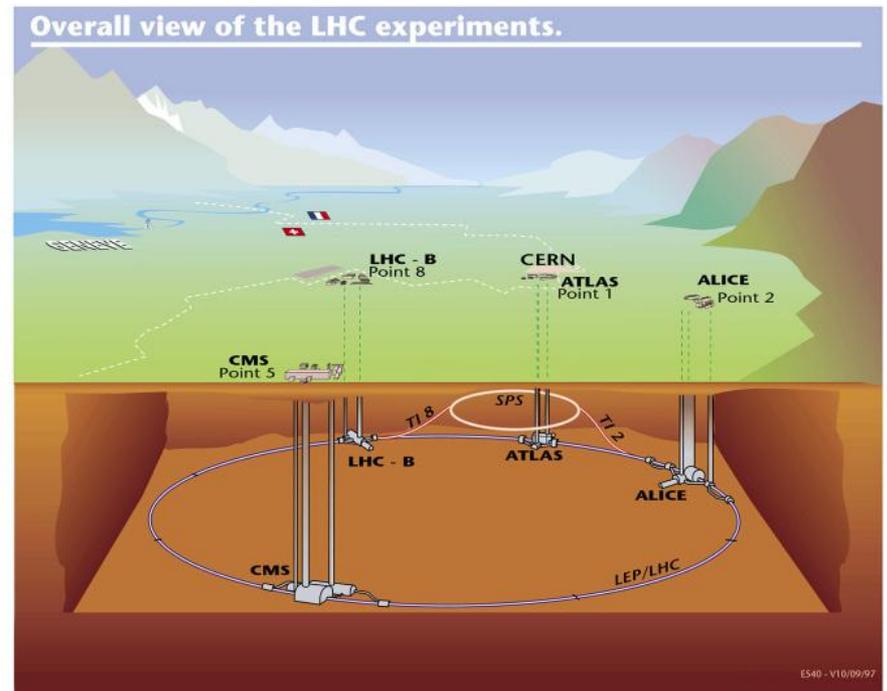


- ▶ La recherche du boson de Higgs à basse masse ($H \rightarrow b\bar{b}$)
- ▶ La mesure de la section efficace de production des paires $b\bar{b}$
- ▶ La recherche de la nouvelle physique:
 - ▶ 4eme génération : $u_4 \rightarrow Wb, d_4 \rightarrow Wt \rightarrow WWb$
 - ▶ SUSY

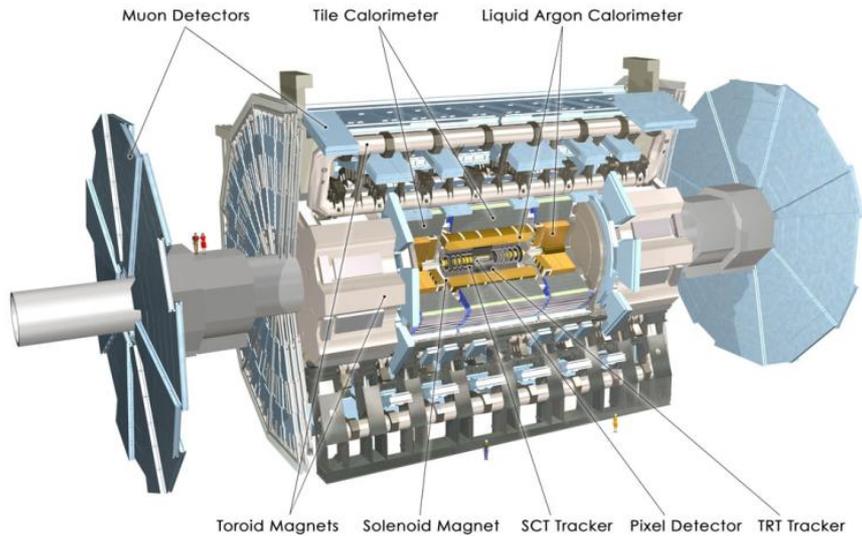
Cadre expérimental

LHC : Large Hadron Collider

- ▶ Collisionneur p-p
 - ▶ ~27km de circonférence
- ▶ Propriétés nominales:
 - ▶ 14 TeV au centre de masse
 - ▶ 40 M collisions/s
 - ▶ luminosité nominale : $10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- ▶ Collisions depuis 2009
 - ▶ 23 Novembre 2009 : 1^{ères} collisions à 900 GeV
 - ▶ 30 Novembre 2009 : collisions à 2.36 TeV
→ record mondial
 - ▶ Depuis le 30 Mars 2010 : collisions à 7 TeV
- ▶ 4 grandes expériences:
 - ▶ LHCb, ALICE, CMS
 - ▶ ATLAS



ATLAS : A Toroidal Lhc Apparatus



- ▶ ATLAS est une expérience généraliste qui a comme buts :
 - ▶ La recherche du boson de Higgs
 - ▶ La recherche des signes d'une nouvelle physique
 - ▶ Mesures de précision du MS de la physique des particules
 - ▶ L'étude des propriétés du quark top

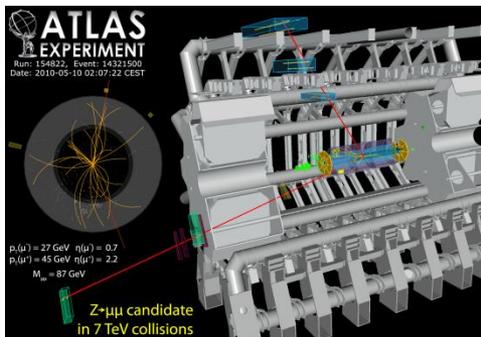
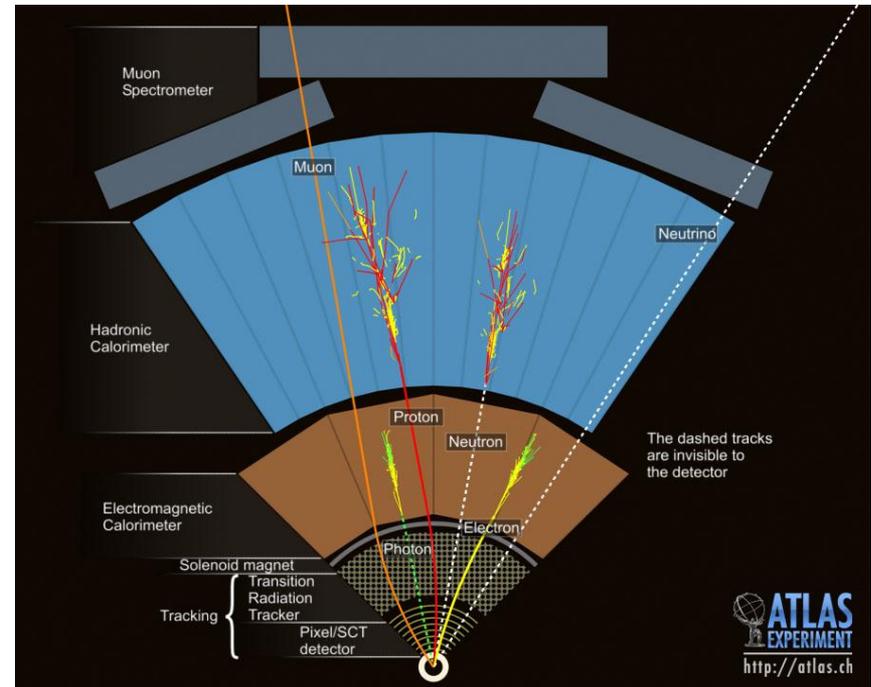
- ▶ ~ 44 m de long
- ▶ ~ 25 m de diamètre
- ▶ ~ 7000 tonnes
- ▶ ~ 3000 Km de câbles
- ▶ Collaboration mondiale
 - ▶ ~ 38 pays
 - ▶ ~ 3000 physiciens
 - ▶ ~ 174 universités et laboratoires



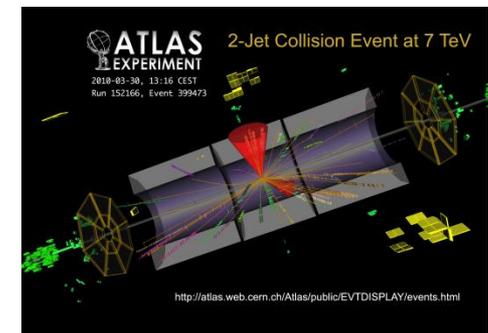
ATLAS : La structure du détecteur

Structure du détecteur ATLAS:

- ▶ Le détecteur interne de trace
 - ▶ Identification et reconstruction des trajectoires des particules chargées.
- ▶ La calorimétrie
 - ▶ Identification et mesure des énergies des particules.
- ▶ Le spectromètre à muon
 - ▶ Identification et mesure des impulsions des muons.

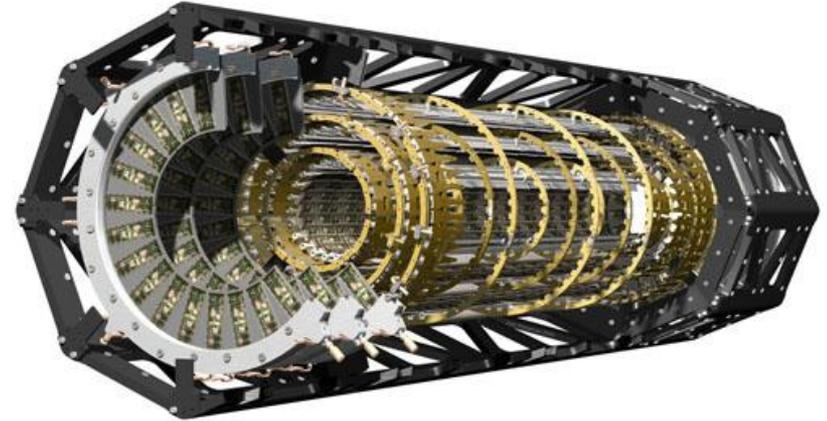


1^{ères} collisions à 7 TeV



Le détecteur à Pixel

- ▶ Le détecteur le plus proche du point d'interaction
- ▶ 80 millions de pixels répartis en 3 couches concentriques
- ▶ Reconstruction des trajectoires des particules ainsi que des vertex → crucial pour le *b-tagging*
- ▶ La performance du *b-tagging* dépend en grande partie de la performance du détecteur pixel

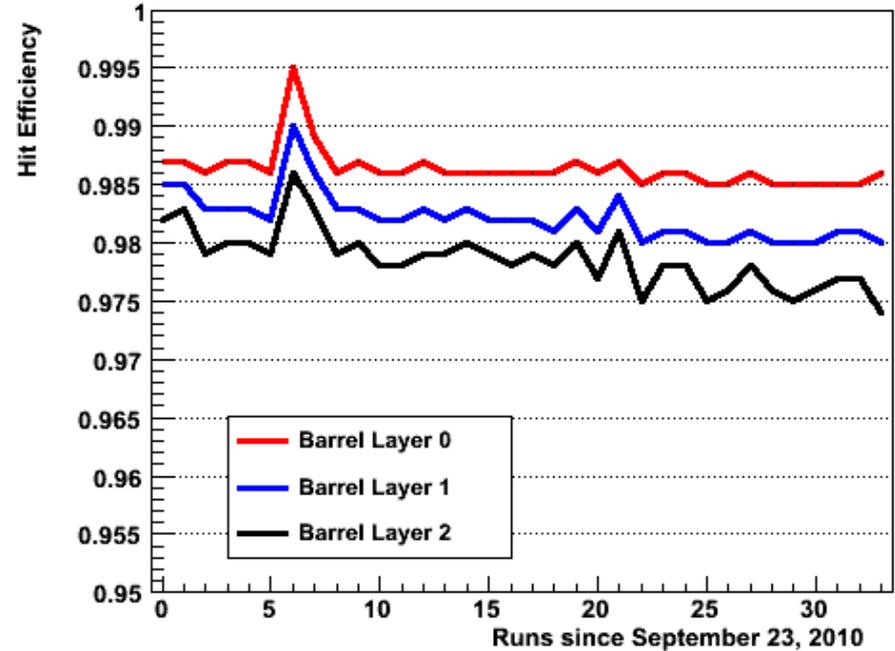
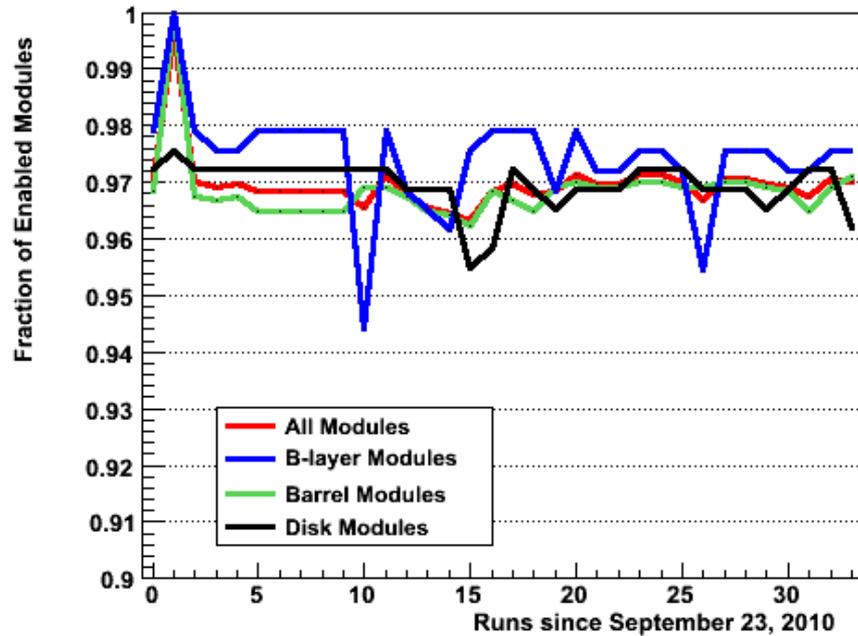


- 1 pixel : $50 \mu\text{m}$ ($R\phi$) x $400 \mu\text{m}$ (z)
- Resolution : $10 \mu\text{m}$ ($R\phi$) x $115 \mu\text{m}$ (z)

Shift Pixels : ~ 30 % de mon temps

- ▶ **Shift online dans la salle de contrôle : surveillance des données et calibration du détecteur**
- ▶ **Shift offline : surveillance de la qualité des données et cartographie des pixels bruyants**

Le détecteur à Pixel : Status



- ▶ # total de modules : 1744
- ▶ # de modules désactivés:
 - ▶ 7 dans B-Layer
 - ▶ 34 dans Layer I-2
 - ▶ 11 dans les disques
 - ▶ 2.9 % des modules

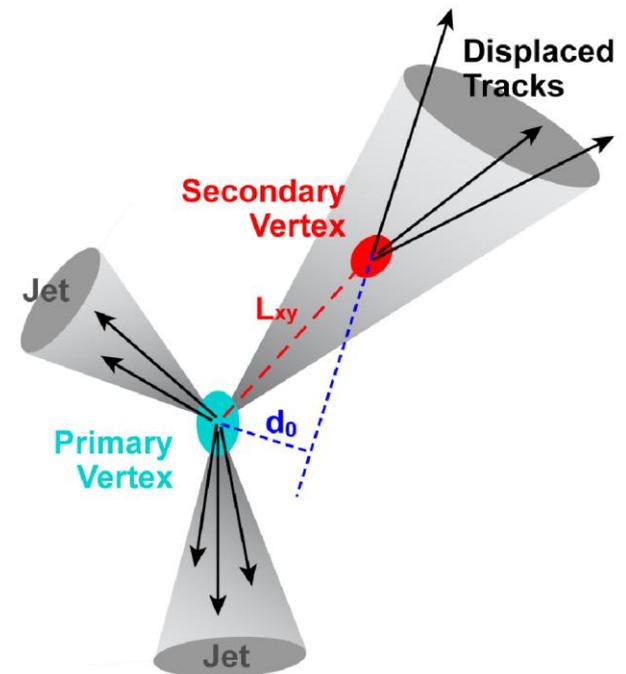
- ▶ Efficacité des hits:
 - ▶ B-Layer : 0.986%
 - ▶ Layer I : 0.980
 - ▶ Layer 2 : 0.974

b-tagging



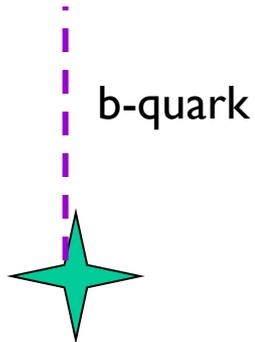
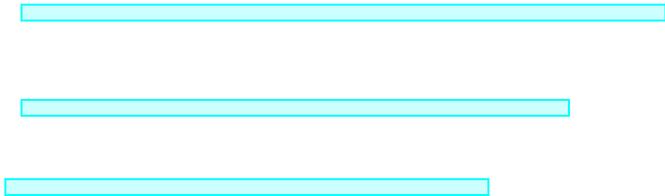
Les algorithmes de b-tagging

- ▶ Les algorithmes d'étiquetage des jets issus de quark b reposent sur (voir talk de N. Bousson) :
 - ▶ La présence d'un vertex secondaire
 - ▶ le hadron B de p_T 50 GeV vole environ 5 mm dans le détecteur avant de se désintégrer
 - ▶ Les propriétés du paramètre d'impact
 - ▶ la distance minimale entre une trace associée au jet et le vertex primaire
 - ▶ **La désintégration semi-leptonique des hadrons B**
 - ▶ **La présence d'un lepton mou dans le jet**

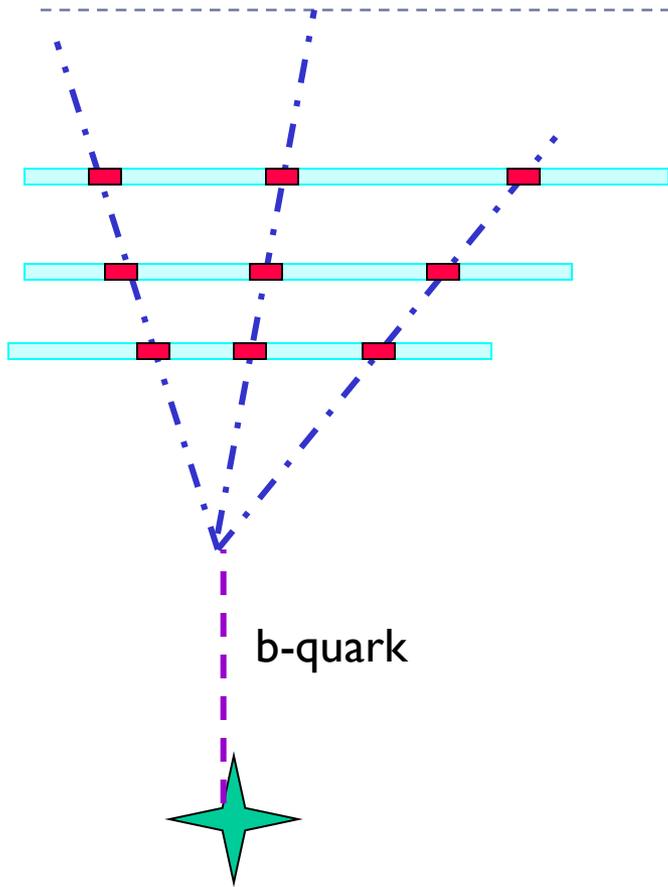


Exemple d'étiquetage d'un jet b

- ▶ ~5 mm après le vertex Primaire, les quarks b se désintègrent en jets de particules plus légères.

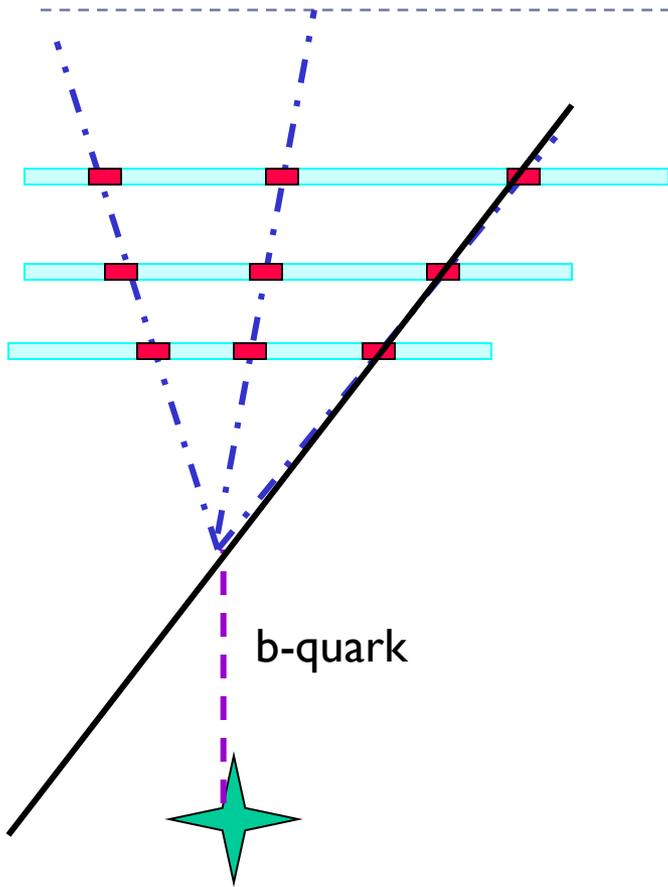


Exemple d'étiquetage d'un jet b



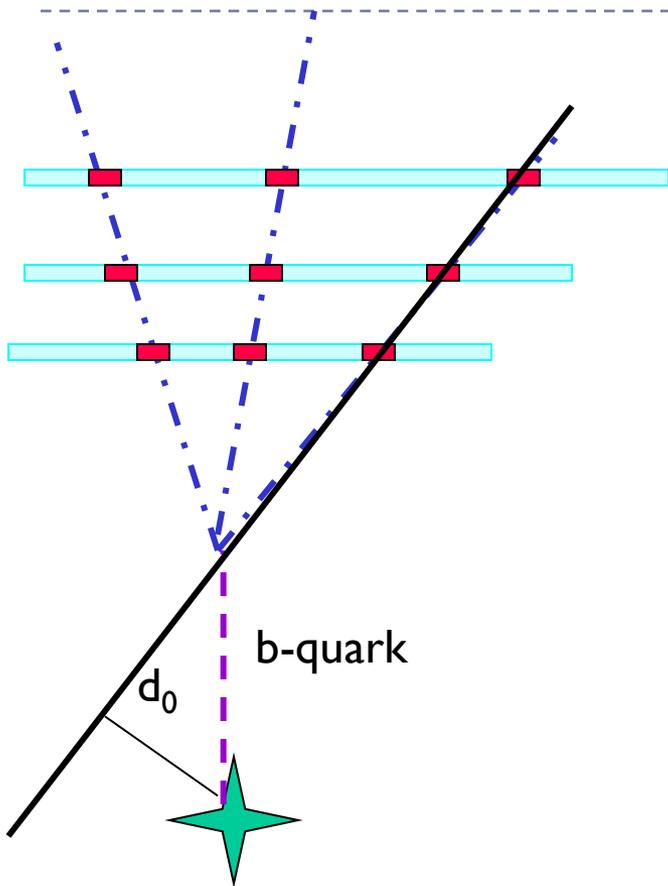
- ▶ ~5 mm après le vertex Primaire, les quarks b se désintègrent en jets de particules plus légères.
- ▶ Les produits chargés de la désintégration du quark b ionisent le détecteur de silicium en laissant des hits.

Exemple d'étiquetage d'un jet b



- ▶ ~5 mm après le vertex Primaire, les quarks b se désintègrent en jets de particules plus légères.
- ▶ Les produits chargés de la désintégration du quark b ionisent le détecteur de silicium en laissant des hits.
- ▶ Les hits sont reliés et forment une trace qui correspond à la trajectoire des particules.

Exemple d'étiquetage d'un jet b



- ▶ ~ 5 mm après le vertex Primaire, les quarks b se désintègrent en jets de particules plus légères.
- ▶ Les produits chargés de la désintégration du quark b ionisent le détecteur de silicium en laissant des hits.
- ▶ Les hits sont reliés et forment une trace qui correspond à la trajectoire des particules.
- ▶ Les mesures très précises fournies par les détecteurs de silicium (Pixel+SCT) indiquent si le paramètre d'impact (d_0) est significatif.
- ▶ Le jet peut être identifié en tant que b -jet s'il contient plusieurs traces ne venant pas du Vertex Primaire mais d'un vertex secondaire déplacé par rapport au $1er$

Mesure de l'efficacité du b-tagging

- ▶ Mesurer l'efficacité du b-tagging dans les données est cruciale pour plusieurs études et analyses physiques

(voir slides 3 et 4)

- ▶ ex: l'analyse tt
$$\sigma(tt) = \frac{N_{evt}}{L \cdot \varepsilon_{sel} \cdot \varepsilon_{trig} \cdot \varepsilon_b \cdot etc.}$$

- ▶ 3 méthodes dans ATLAS

- ▶ en utilisant des événements tt

- ▶ on a besoin de $\sim 200 \text{ pb}^{-1}$

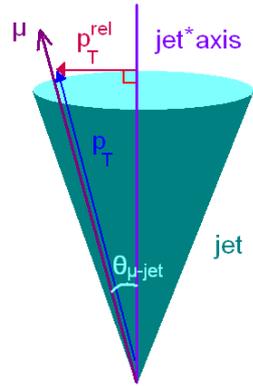
- ▶ en utilisant des jets-muons (possible avec les premières données)

- ▶ basé sur la désintégration semi-leptonique des hadrons B

- ▶ p_T^{rel}

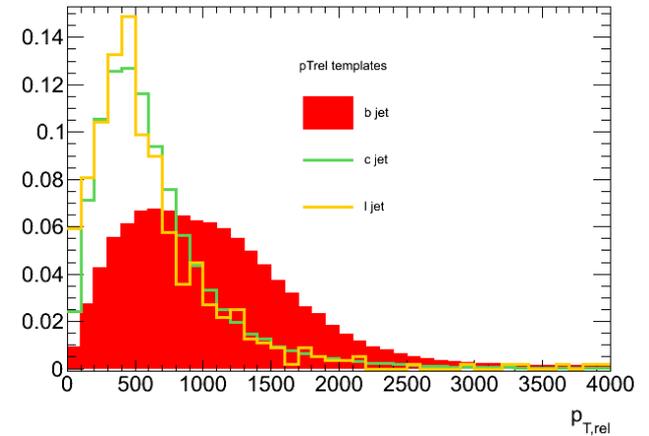
- ▶ **Système 8**

p_T^{rel}



$$p_T^{\text{rel}} = p \times \sin(\theta_{\mu-\{\text{jet}+\mu\}})$$

- ▶ 3 templates:
 - ▶ pour les jets b
 - ▶ pour les jets c
 - ▶ pour les jets légers

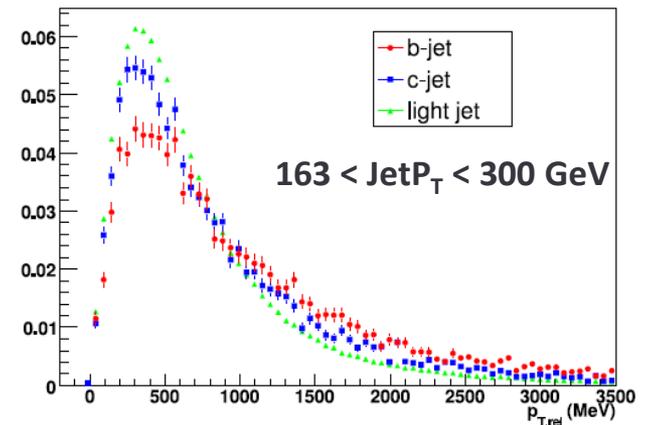


La méthode:

- Extraire la distribution p_T^{rel} des données avant et après le tagging
- Fitter la fraction des jets b avant et après le tagging en utilisant les templates extraits du MC

- Calculer l'efficacité :
$$\epsilon_b^{\text{data},i} = \frac{N_{\mu\text{-jet}}^{\text{tag},i} F_b^{\text{tag},i}}{N_{\mu\text{-jet}}^i F_b^i}$$

Cette méthode est valable pour les jets ayant une impulsion transverse < 85 GeV



Systeme 8 : La methode

Methode pour mesurer l'efficacite de l'etiquetage des jets issus d'un quark b dans les donnees

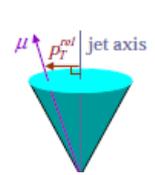
Systeme 8 : 8 equations avec 8 inconnus

2 echantillons de compositions differentes de saveurs lourdes

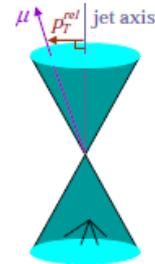
- ▶ *Muon-jets* : jets contenant un muon mou
- ▶ *Di-jets Muon-jets* : jets contenant un muon mou avec un jet oppose etiquete b

2 algorithmes d'etiquetage non-corrèles:

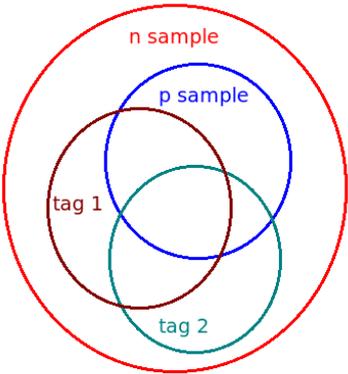
- ▶ LifeTime algorithme : algorithme base sur les proprietes du vertex secondaire et/ou le parametre d'impact des traces associees au jet
- ▶ algorithme base sur la presence d'un lepton : un muon



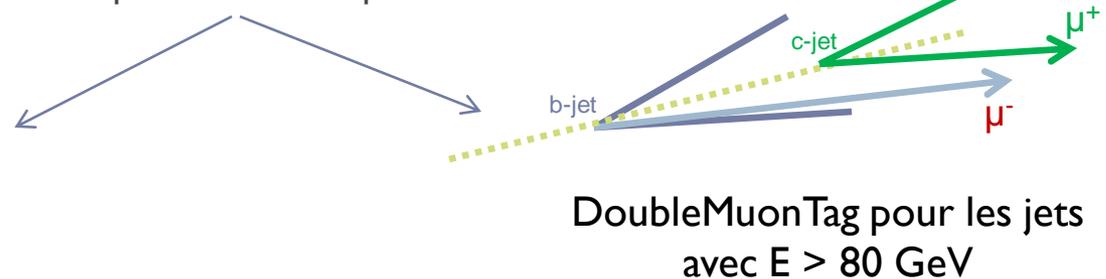
n-sample :
muon-jets



p-sample :
muon-jets
+ btb
b-tagged jet



SoftMuonTag pour les jets avec
 $E < 80$ GeV (likelihood à 1D
qui utilise le p_T^{rel})



DoubleMuonTag pour les jets
avec $E > 80$ GeV

Systeme 8 : Les équations

System 8 : Les équations

des jets dans
chaque échantillon

$$n = n_b + n_{cl}$$

$$p = p_b + p_{cl}$$

des jets étiquetés
avec le LT algorithme

$$n^{LT} = \varepsilon_b^{LT} n_b + \varepsilon_{cl}^{LT} n_{cl}$$

$$p^{LT} = \alpha_6 \varepsilon_b^{LT} p_b + \alpha_4 \varepsilon_{cl}^{LT} p_{cl}$$

des jets étiquetés
avec le SM
algorithme

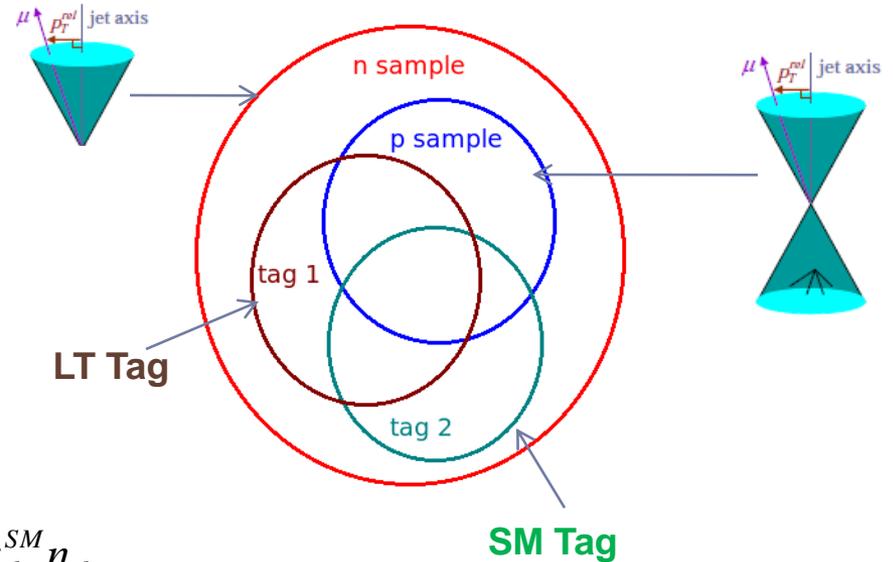
$$n^{SM} = \varepsilon_b^{SM} n_b + \varepsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{SM} = \alpha_5 \varepsilon_b^{SM} p_b + \alpha_3 \varepsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$

des jets étiquetés
avec les 2
algorithme

$$n^{LT,SM} = \alpha_1 \varepsilon_b^{LT} \varepsilon_b^{SM} n_b + \alpha_2 \varepsilon_{cl}^{LT} \varepsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{LT,SM} = \alpha_7 \alpha_5 \alpha_6 \varepsilon_b^{LT} \varepsilon_b^{SM} p_b + \alpha_8 \alpha_3 \alpha_4 \varepsilon_{cl}^{LT} \varepsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$



Systeme 8 : Les équations

System 8 : Les équations

des jets dans
chaque échantillon

$$n = n_b + n_{cl}$$

$$p = p_b + p_{cl}$$

des jets étiquetés
avec le LT algorithme

$$n^{LT} = \epsilon_b^{LT} n_b + \epsilon_{cl}^{LT} n_{cl}$$

$$p^{LT} = \alpha_6 \epsilon_b^{LT} p_b + \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} p_{cl}$$

des jets étiquetés
avec le SM
algorithme

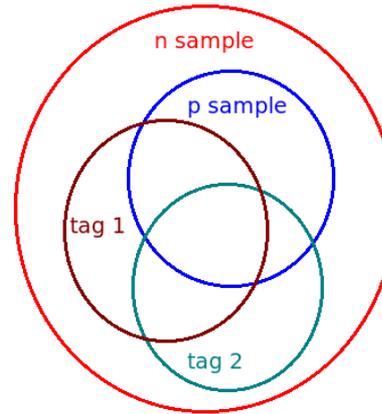
$$n^{SM} = \epsilon_b^{SM} n_b + \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{SM} = \alpha_5 \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_3 \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$

des jets étiquetés
avec les 2
algorithmes

$$n^{LT,SM} = \alpha_1 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} n_b + \alpha_2 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{LT,SM} = \alpha_7 \alpha_5 \alpha_6 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_8 \alpha_3 \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$



2 hypothèses:

1. ϵ_b^{LT} est la même pour les deux échantillons
2. Les deux algorithmes sont totalement non-corrélés



coefficients de
corrélation

Systeme 8 : Les équations

System 8 : Les équations

Estimés du MC

des jets dans
chaque échantillon

$$\begin{cases} n = n_b + n_{cl} \\ p = p_b + p_{cl} \end{cases}$$

des jets étiquetés
avec le LT algorithme

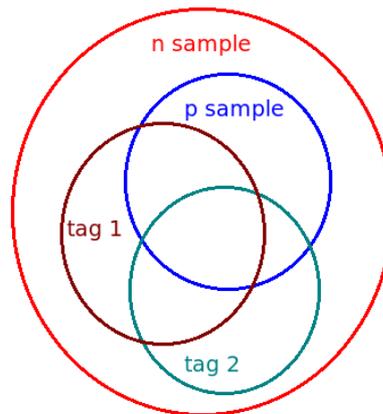
$$\begin{cases} n^{LT} = \epsilon_b^{LT} n_b + \epsilon_{cl}^{LT} n_{cl} \\ p^{LT} = \alpha_6 \epsilon_b^{LT} p_b + \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} p_{cl} \end{cases}$$

des jets étiquetés
avec le SM
algorithme

$$\begin{cases} n^{SM} = \epsilon_b^{SM} n_b + \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl} \\ p^{SM} = \alpha_5 \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_3 \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl} \end{cases}$$

des jets étiquetés
avec les 2
algorithme

$$\begin{cases} n^{LT,SM} = \alpha_1 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} n_b + \alpha_2 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl} \\ p^{LT,SM} = \alpha_7 \alpha_5 \alpha_6 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_8 \alpha_3 \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl} \end{cases}$$



$$\alpha_1 = \epsilon_b^{LT,SM,n} / (\epsilon_b^{LT,n} \epsilon_b^{SM,n})$$

$$\alpha_2 = \epsilon_{cl}^{LT,SM,n} / (\epsilon_{cl}^{LT,n} \epsilon_{cl}^{SM,n})$$

$$\alpha_3 = \epsilon_{cl}^{SM,p} / \epsilon_{cl}^{SM,n}$$

$$\alpha_4 = \epsilon_{cl}^{LT,p} / \epsilon_{cl}^{LT,n}$$

$$\alpha_5 = \epsilon_b^{SM,p} / \epsilon_b^{SM,n}$$

$$\alpha_6 = \epsilon_b^{LT,p} / \epsilon_b^{LT,n}$$

$$\alpha_7 = \epsilon_b^{LT,SM,p} / (\epsilon_b^{LT,p} \epsilon_b^{SM,p})$$

$$\alpha_8 = \epsilon_{cl}^{LT,SM,p} / (\epsilon_{cl}^{LT,p} \epsilon_{cl}^{SM,p})$$

Systeme 8 : Solutions

System 8 : Les equations

des jets dans
chaque echantillon

$$n = n_b + n_{cl}$$

$$p = p_b + p_{cl}$$

des jets etiquetes
avec le LT algorithme

$$n^{LT} = \epsilon_b^{LT} n_b + \epsilon_{cl}^{LT} n_{cl}$$

$$p^{LT} = \alpha_6 \epsilon_b^{LT} p_b + \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} p_{cl}$$

des jets etiquetes
avec le SM
algorithme

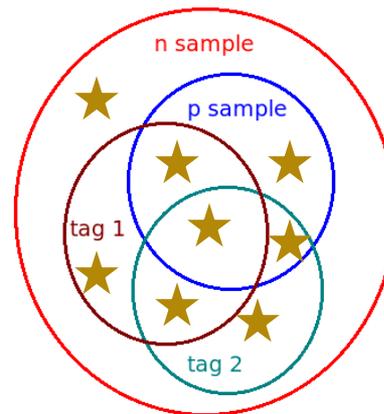
$$n^{SM} = \epsilon_b^{SM} n_b + \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{SM} = \alpha_5 \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_3 \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$

des jets etiquetes
avec les 2
algorithme

$$n^{LT,SM} = \alpha_1 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} n_b + \alpha_2 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{LT,SM} = \alpha_7 \alpha_5 \alpha_6 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_8 \alpha_3 \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$



Estimes du MC

$$\alpha_1 = \epsilon_b^{LT,SM,n} / (\epsilon_b^{LT,n} \epsilon_b^{SM,n})$$

$$\alpha_2 = \epsilon_{cl}^{LT,SM,n} / (\epsilon_{cl}^{LT,n} \epsilon_{cl}^{SM,n})$$

$$\alpha_3 = \epsilon_{cl}^{SM,p} / \epsilon_{cl}^{SM,n}$$

$$\alpha_4 = \epsilon_{cl}^{LT,p} / \epsilon_{cl}^{LT,n}$$

$$\alpha_5 = \epsilon_b^{SM,p} / \epsilon_b^{SM,n}$$

$$\alpha_6 = \epsilon_b^{LT,p} / \epsilon_b^{LT,n}$$

$$\alpha_7 = \epsilon_b^{LT,SM,p} / (\epsilon_b^{LT,p} \epsilon_b^{SM,p})$$

$$\alpha_8 = \epsilon_{cl}^{LT,SM,p} / (\epsilon_{cl}^{LT,p} \epsilon_{cl}^{SM,p})$$

Fixed alpha fit

fit en utilisant une fonction de minimisation χ^2 en utilisant MINUIT

8 observables – 8 parametres = 0 ddl

→ Systeme contraint

Solution
(I)

Systeme 8 : Solutions

System 8 : Les equations

des jets dans
chaque echantillon

$$n = n_b + n_{cl}$$

$$p = p_b + p_{cl}$$

des jets etiquetes
avec le LT algorithme

$$n^{LT} = \epsilon_b^{LT} n_b + \epsilon_{cl}^{LT} n_{cl}$$

$$p^{LT} = \alpha_6 \epsilon_b^{LT} p_b + \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} p_{cl}$$

des jets etiquetes
avec le SM
algorithme

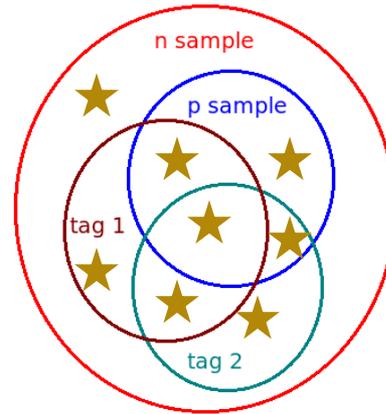
$$n^{SM} = \epsilon_b^{SM} n_b + \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{SM} = \alpha_5 \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_3 \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$

des jets etiquetes
avec les 2
algorithme

$$n^{LT,SM} = \alpha_1 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} n_b + \alpha_2 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} n_{cl}$$

$$p^{LT,SM} = \alpha_7 \alpha_5 \alpha_6 \epsilon_b^{LT} \epsilon_b^{SM} p_b + \alpha_8 \alpha_3 \alpha_4 \epsilon_{cl}^{LT} \epsilon_{cl}^{SM} p_{cl}$$



Estimes du MC

$$\alpha_1 = \epsilon_b^{LT,SM,n} / (\epsilon_b^{LT,n} \epsilon_b^{SM,n})$$

$$\alpha_2 = \epsilon_{cl}^{LT,SM,n} / (\epsilon_{cl}^{LT,n} \epsilon_{cl}^{SM,n})$$

$$\alpha_3 = \epsilon_{cl}^{SM,p} / \epsilon_{cl}^{SM,n}$$

$$\alpha_4 = \epsilon_{cl}^{LT,p} / \epsilon_{cl}^{LT,n}$$

$$\alpha_5 = \epsilon_b^{SM,p} / \epsilon_b^{SM,n}$$

$$\alpha_6 = \epsilon_b^{LT,p} / \epsilon_b^{LT,n}$$

$$\alpha_7 = \epsilon_b^{LT,SM,p} / (\epsilon_b^{LT,p} \epsilon_b^{SM,p})$$

$$\alpha_8 = \epsilon_{cl}^{LT,SM,p} / (\epsilon_{cl}^{LT,p} \epsilon_{cl}^{SM,p})$$

Floating alpha fit

fit en utilisant une fonction de minimisation χ^2 en utilisant MINUIT

Les alphas entrent dans le fit ainsi que leurs erreurs statistiques

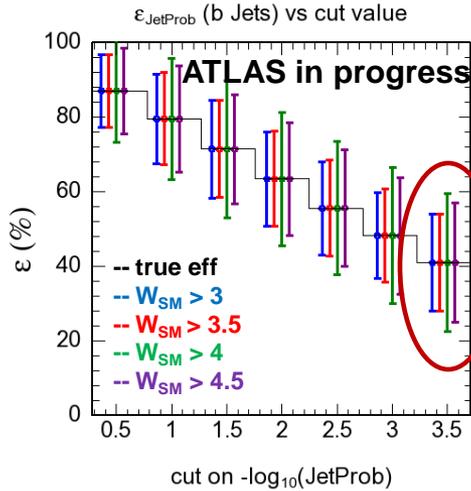
16 observables – 16 parametres = 0 ddl

→ Systeme contraint

Solution
(2)

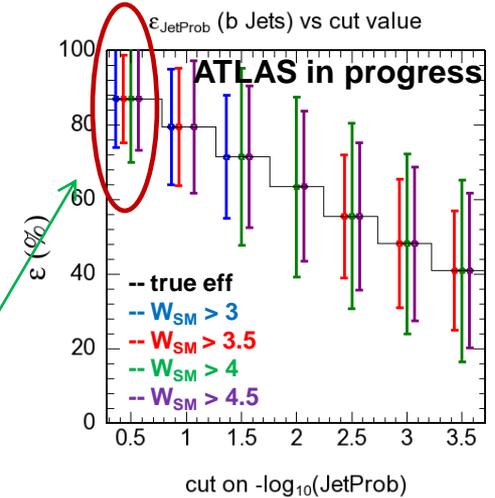
Systeme 8 : Appliqué au MC

Fixed alpha fit

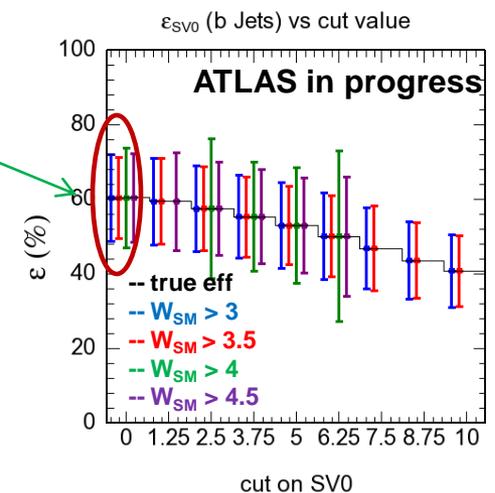
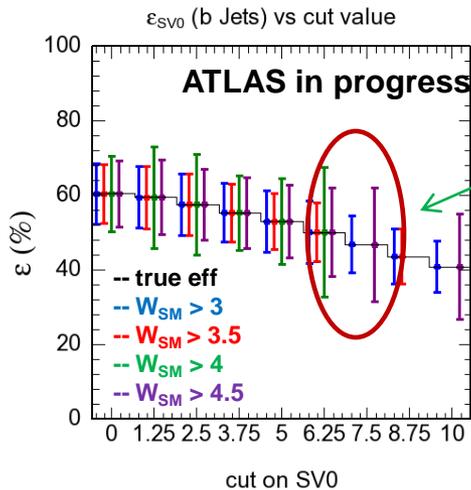


correction parfaite, les alpha's sont mesurés à partir du même échantillon qu'on utilise pour la calibration

Floating alpha fit



Grandes barres d'erreurs à cause du manque de statistique



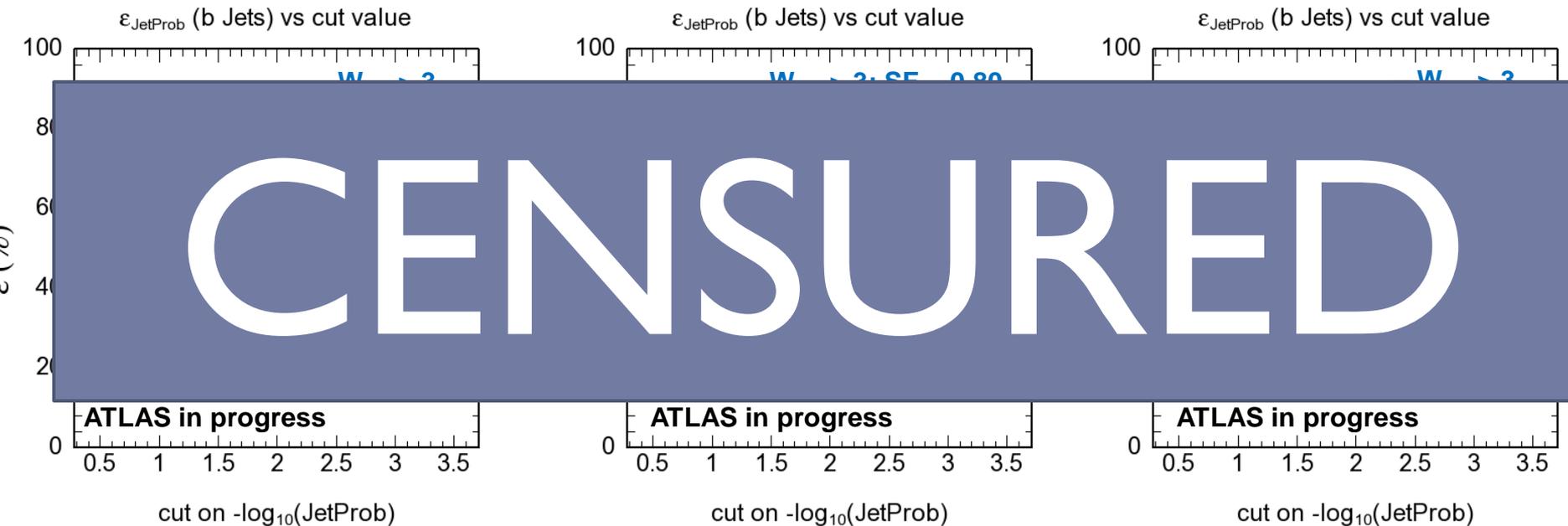
Systeme 8 : Appliqué aux données

~ 3 pb⁻¹ : Résultats sur JetProb

alphas are set
to unit

alphas from
QCD MC
(fixed α fit)

alphas from
QCD MC
(floating α fit)



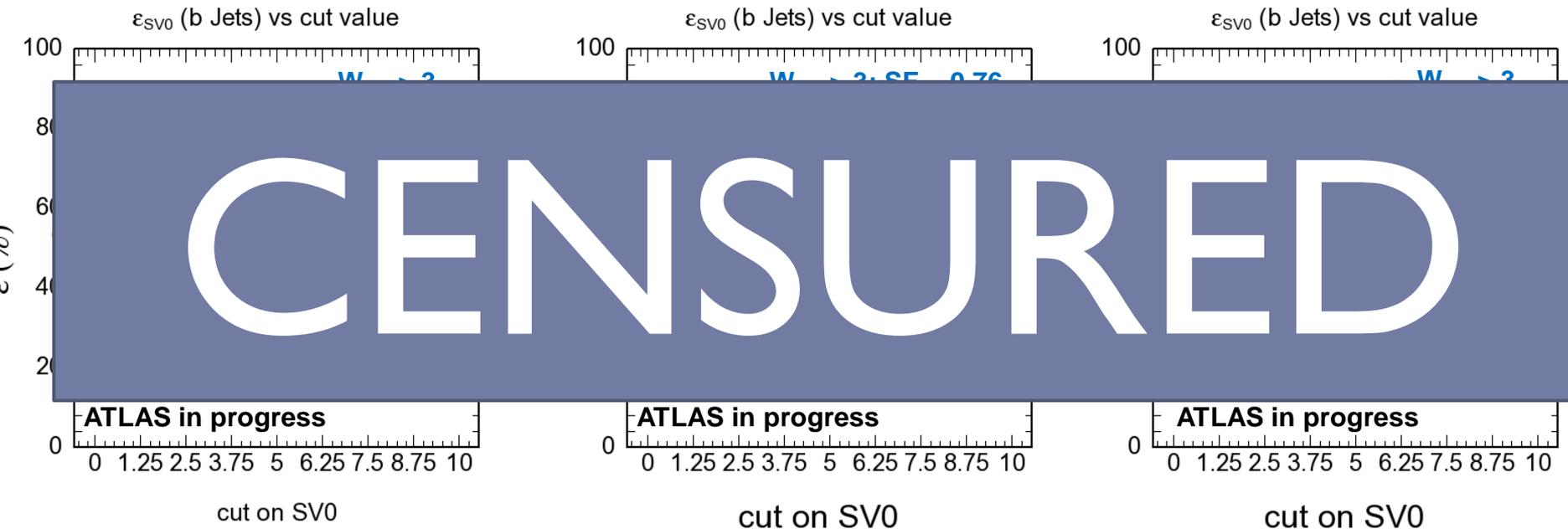
Systeme 8 : Appliqué aux données

~ 3 pb⁻¹ : Résultats sur SV0

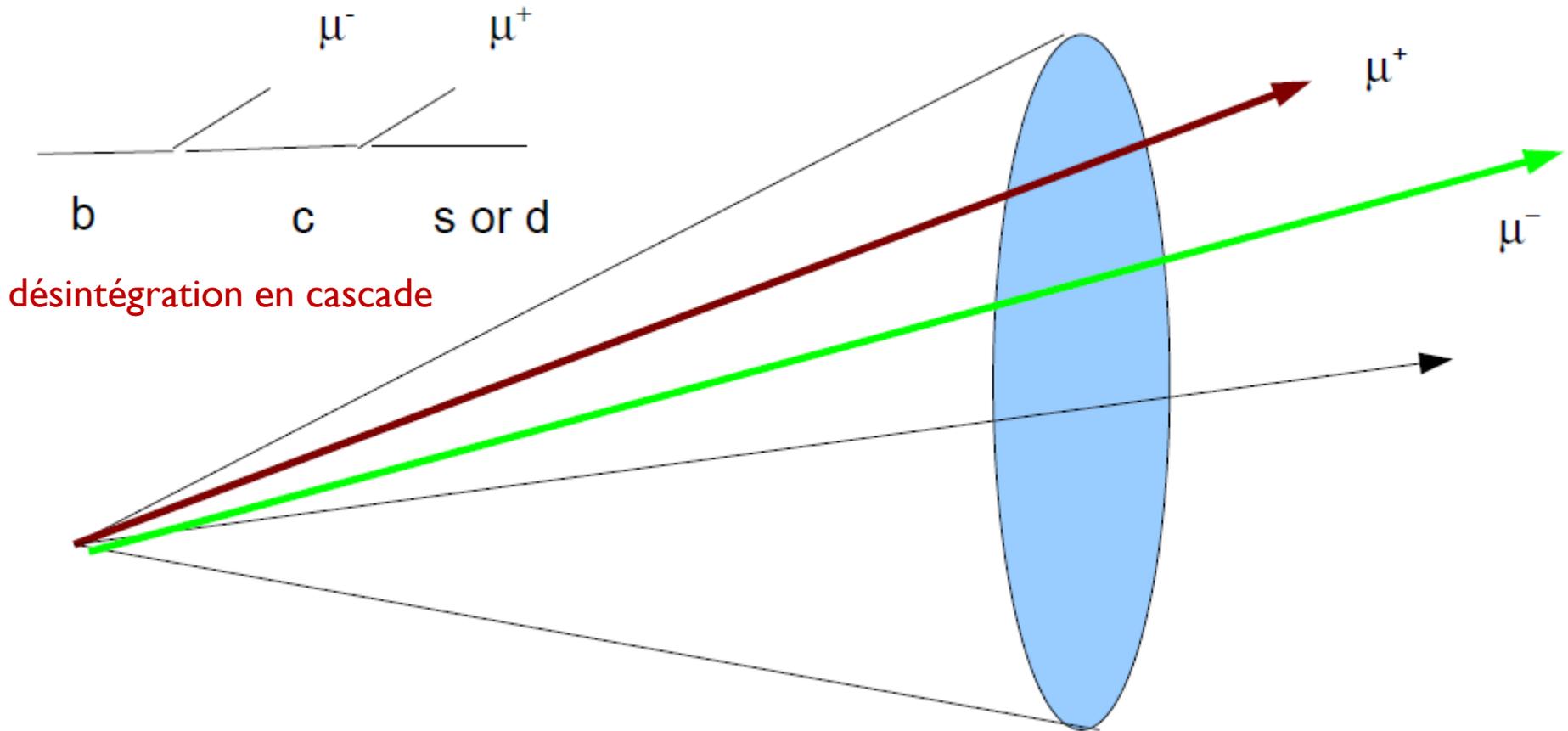
alphas are set
to unit

alphas from
QCD MC
(fixed α fit)

alphas from
QCD MC
(floating α fit)

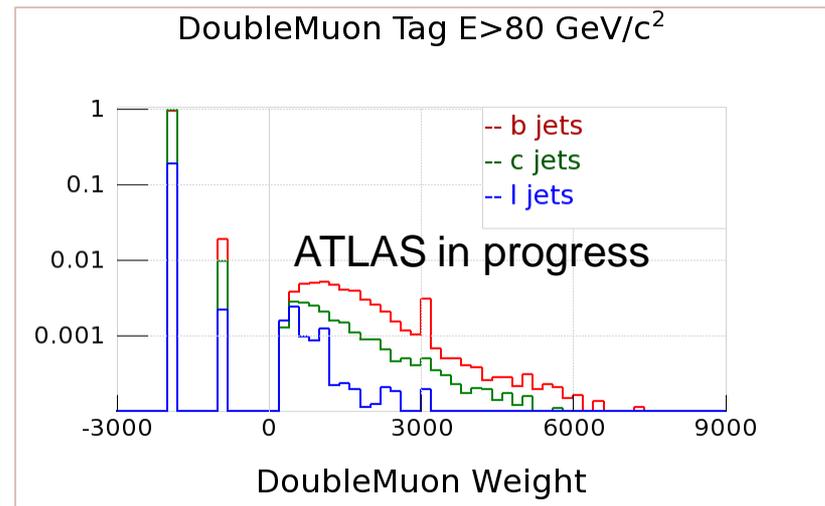
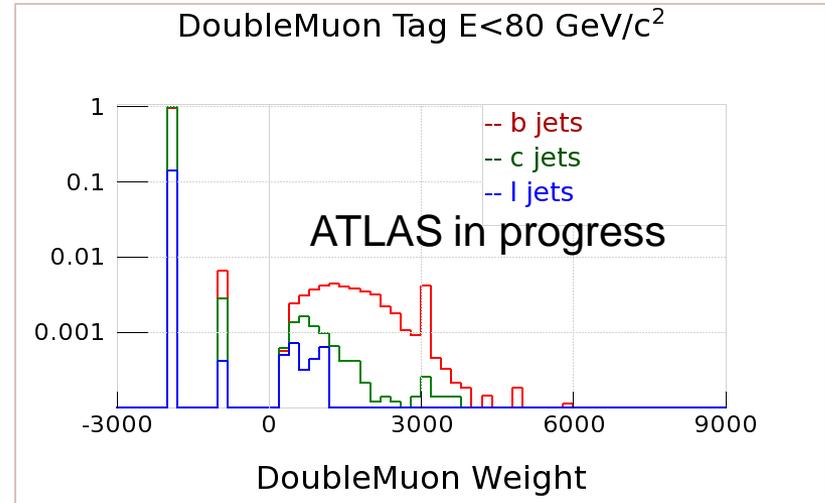


Jets à plus grandes énergies



Calibration avec le Double Muon tagger

- ▶ **Double Muon Tagger**
 - ▶ 2 μ avec charges opposées
 - ▶ Le poids est la masse invariante des 2 μ
 - ▶ utilisé pour la mesure de l'efficacité du b-tagging sur toute la gamme d'énergie des jets
 - ▶ -2 GeV \rightarrow pas de 2 muons dans le jet
 - ▶ -1 GeV \rightarrow 2 μ avec mêmes charges



Résultats avec le Double Muon Tagger

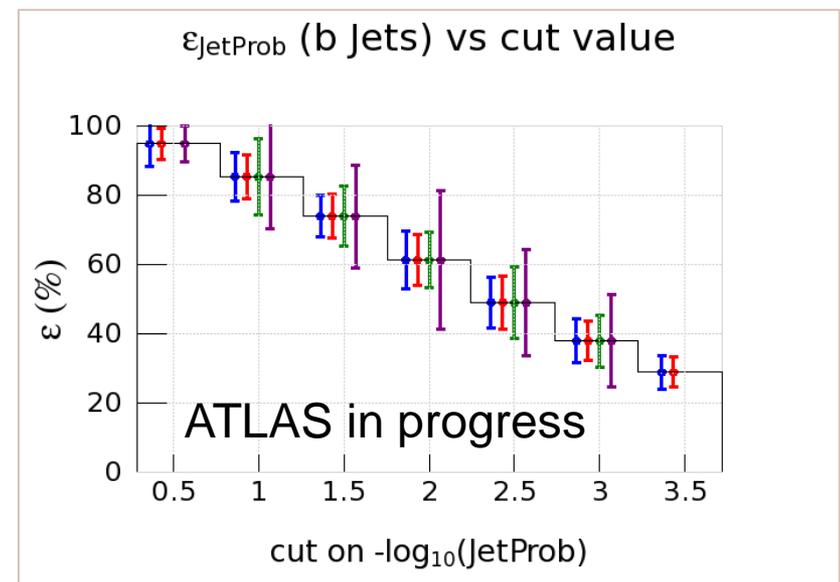
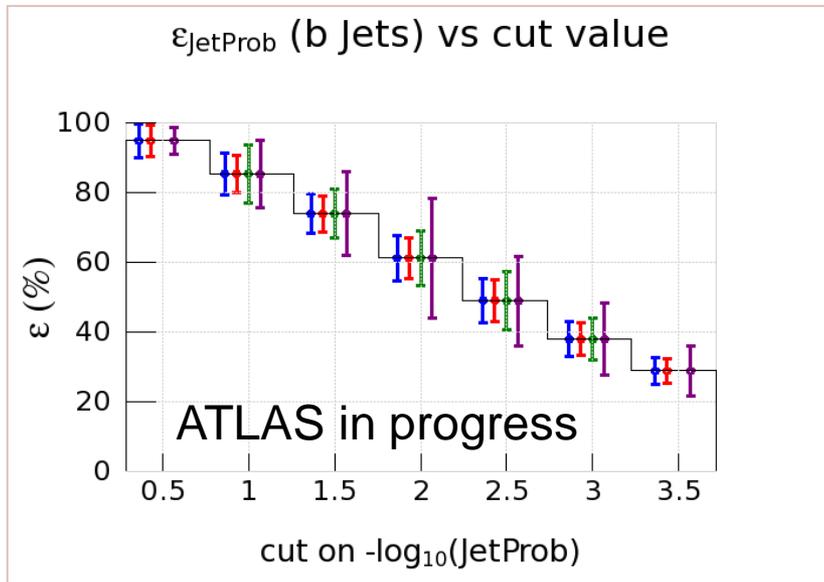
Jets avec $E > 80$ GeV

Résultats seulement sur la simulation : le commissionning du Double Muon Tagger est en cours

Fixed α fit

--- True eff
--- $W_{DM} > 0$
--- $W_{DM} > 0.5$ GeV
--- $W_{DM} > 1$ GeV
--- $W_{DM} > 1.5$ GeV

Floating α fit



Résumé

- ▶ LHC continuera à fonctionner à une énergie de 7 TeV jusqu'à fin 2011. Il sera ensuite arrêté environ 16 mois pour améliorer ses performances pour pouvoir atteindre l'énergie et la luminosité nominales (14 TeV et $10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).
- ▶ La mesure de l'efficacité du b-tagging est très importante pour plusieurs études physiques.
- ▶ Système 8 est une méthode utilisée pour la mesure de l'efficacité du b-tagging
 - ▶ 2 solutions avec MINUIT
 - ▶ Résultats avec le MC et les données
 - ▶ En cours et plans :
 - mesure des alphas à partir des données
 - mesure de l'efficacité des algorithmes plus avancés
 - commissioning du Double Muon Tagger
 - ▶ Mesurer la fraction des jets b avec Système 8
 - ▶ mesurer la section efficace bb

MERCI!