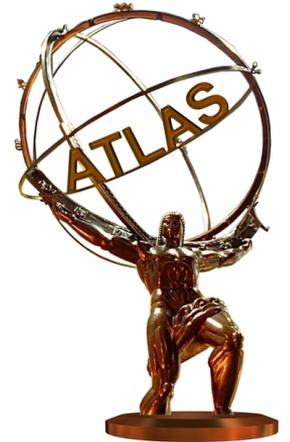


Recherche de nouvelle Physique grâce à l'identification des jets de saveurs b au sein d'ATLAS



Nicolas Bousson
Centre de Physique des Particules de Marseille

Directeur de these: Laurent Vacavant
Co-directeur: Alexandre Rozanov



Plan

L'identification des jets b

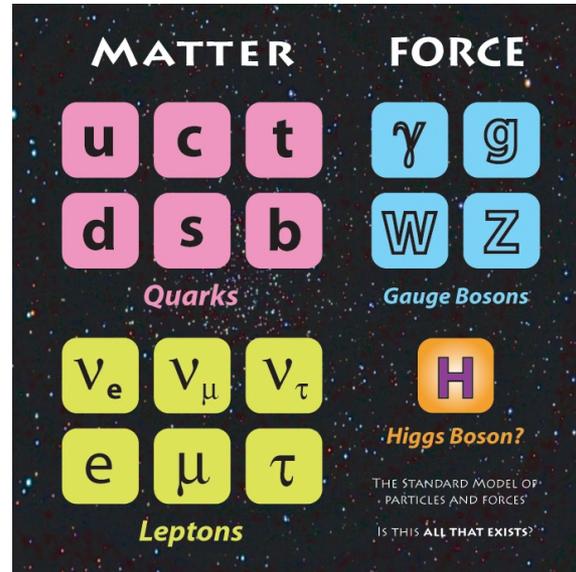
Etiquetage dans les premières données

Les algorithmes les plus évolués

Vers les hautes luminosités du LHC

Introduction

Le 'Modele standard' de la Physique des Particules est une theorie couronnee de succes

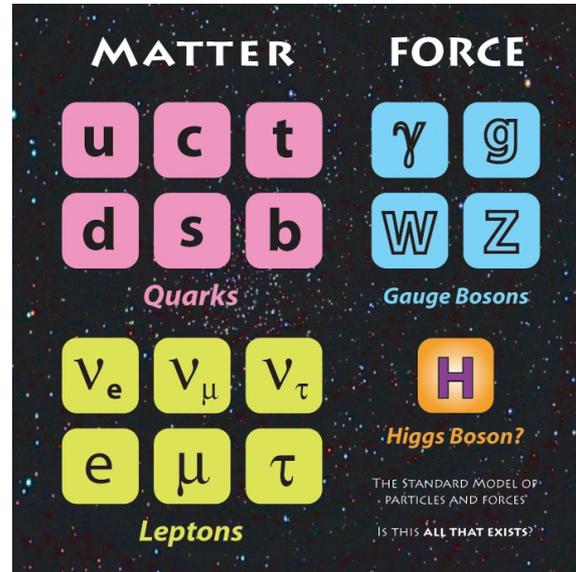


$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

Meme s'il n'est realistement qu'une approximation a basse energie d'une theorie plus 'globale'

Introduction

Le 'Modele standard' de la Physique des Particules est une theorie couronnee de succes



Mais comment expliquer:

Le probleme de hierarchie des masses

L'incompatibilite de la mecanique quantique avec la RG

Les observations cosmologiques

Etc etc ?

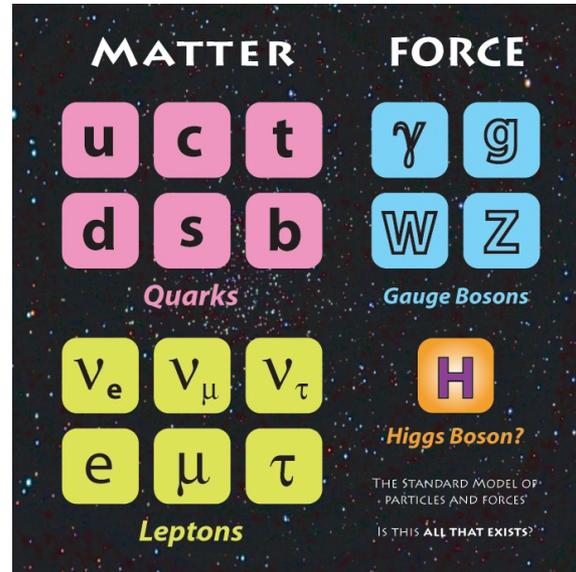
Introduction

Le 'Modele standard' de la Physique des Particules est une theorie couronnee de succes

Particules - cordes ?

Quantification de l'espace ?

Technicolor ?



Symetrie entre bosons et fermions (SUSY) ?

4^{eme} generation ?

Extra-dimensions ?

→ Theories predisant l'existence de nombreuses particules a des energies encore non-atteintes !

Comment les detecter ?

Introduction

Le 'Large Hadron Collider'

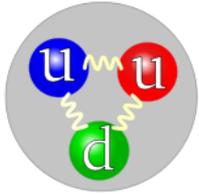
Le plus grand accélérateur de
particules jamais construit

Collisions proton-proton à une
énergie de 7 TeV

(14 TeV nominale)

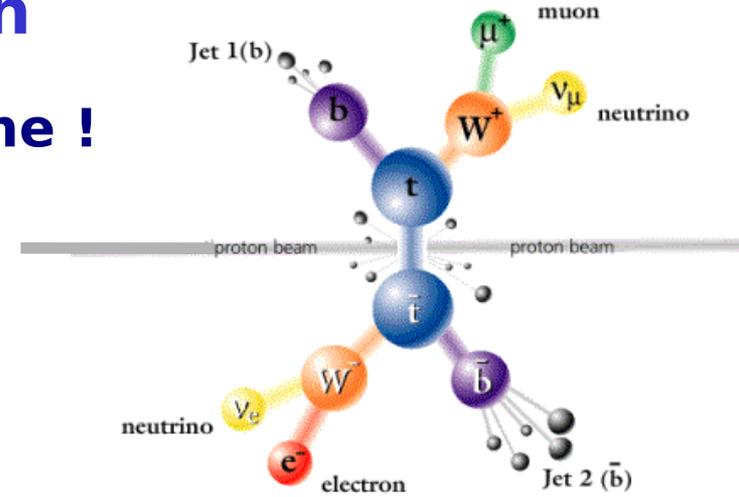
Tevatron ~ 1.96 TeV

Un croisement de faisceaux toutes
les 25 ns

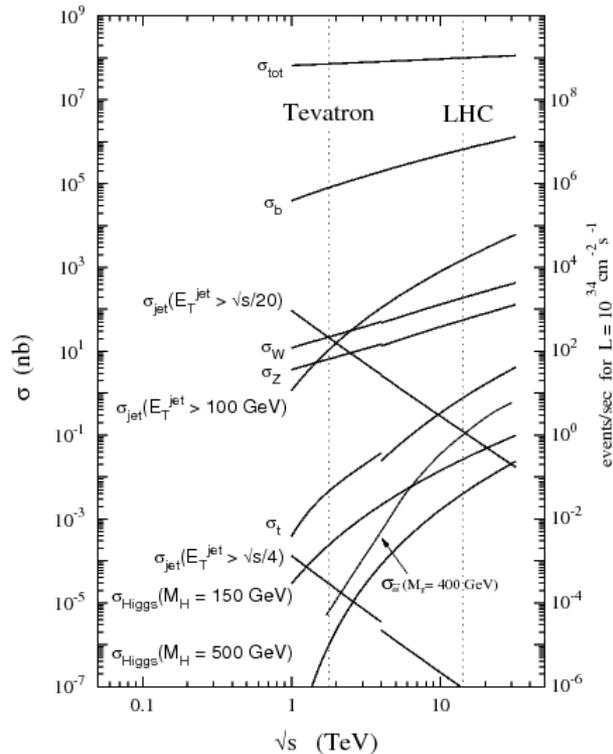


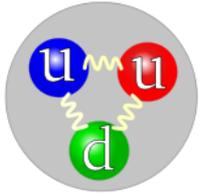
Introduction

Phénoménologie très riche !



proton - (anti)proton cross sections

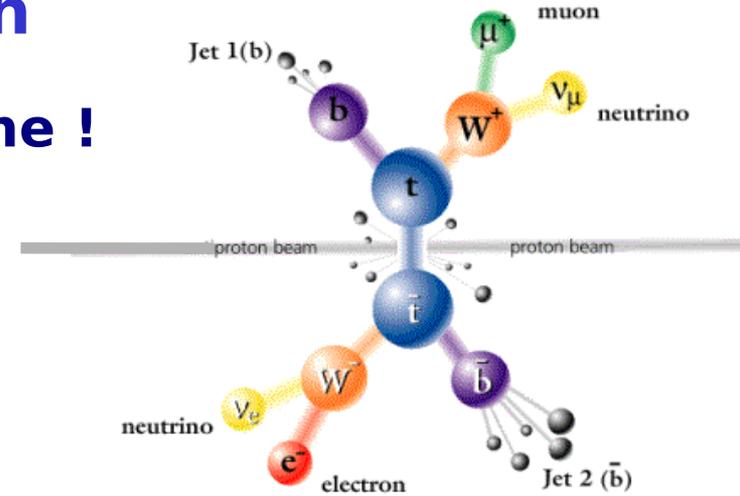




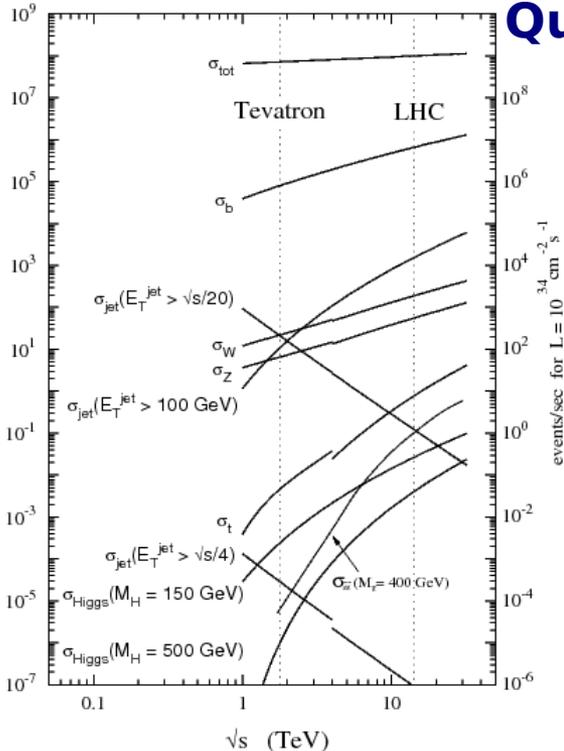
Introduction

Phénoménologie très riche !

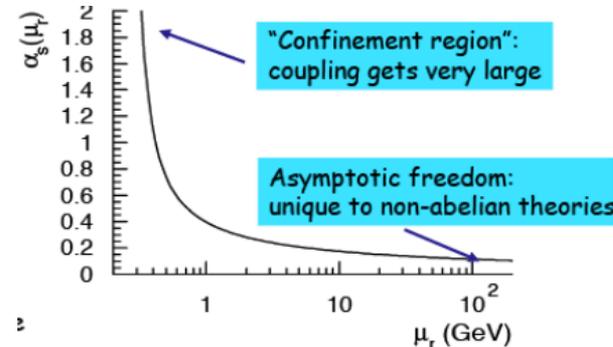
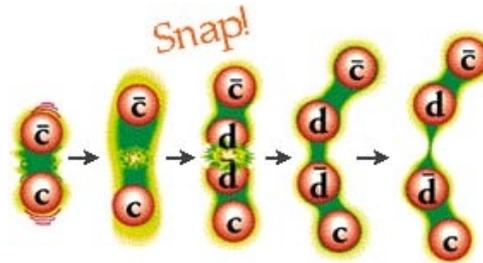
Mais fortement 'polluée' par certains processus d'interaction *forte* (QCD) entre les constituants des protons (quarks et gluons)



proton - (anti)proton cross sections



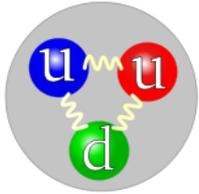
Quand 2 objets *couleurs* s'éloignent l'un de l'autre, l'intensité de l'interaction augmente !



Un quark créé lors d'une collision va :

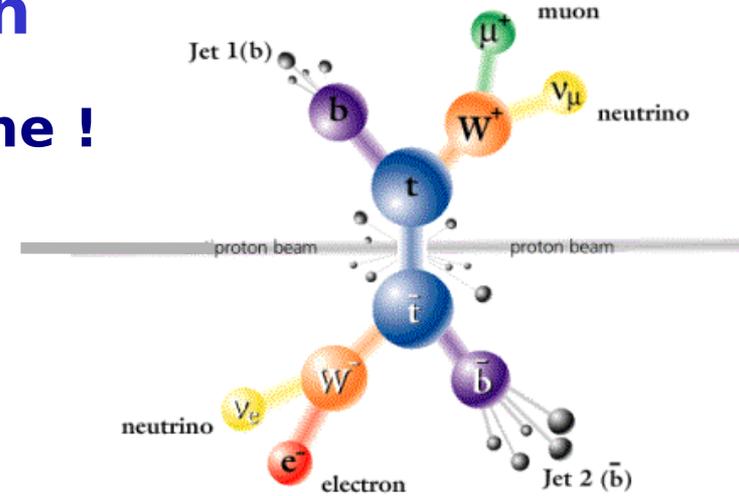
- *fragmenter* en créant des paires q/q
- *S'hadroniser* (les quarks résultant se combinent en hadrons)

Introduction

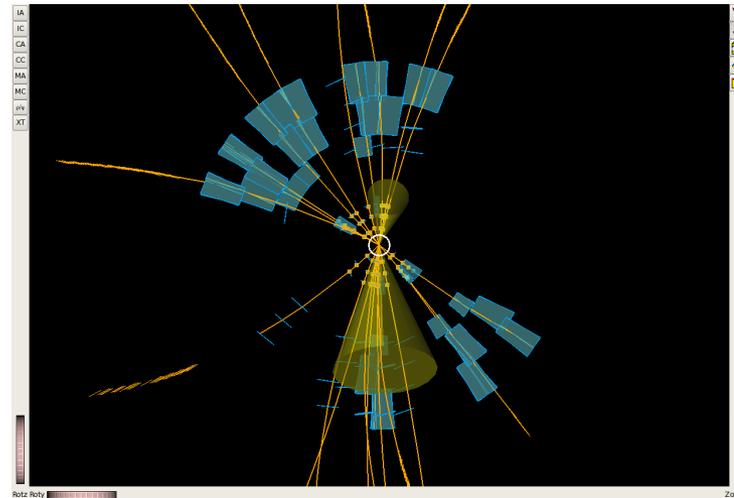


Phénoménologie très riche !

Mais fortement 'polluée' par certains processus d'interaction *forte* (QCD) entre les constituants des protons (quarks et gluons)

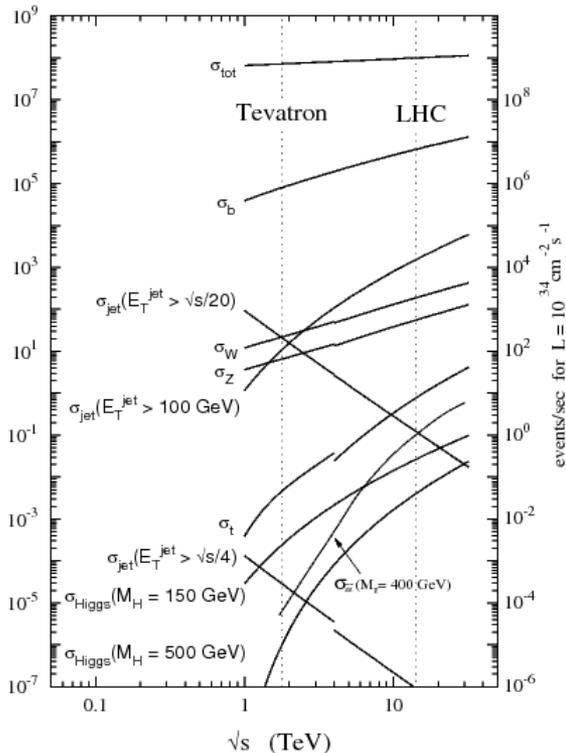


Expérimentalement:



l'hadronisation de ces quarks crée des 'jets' de particules très localisées

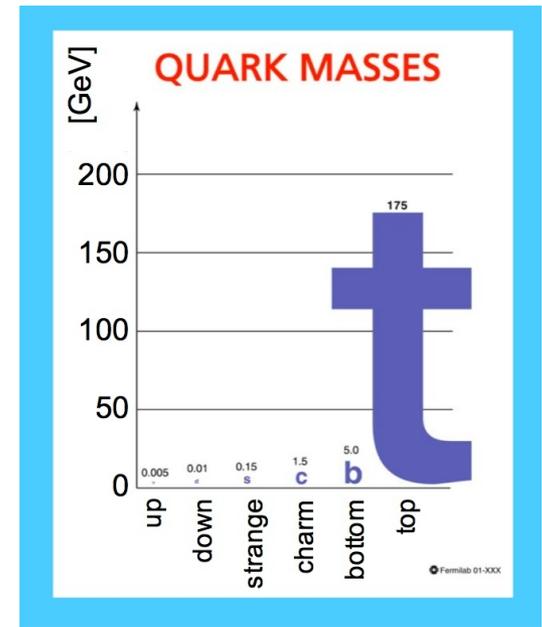
proton - (anti)proton cross sections



Introduction

Pourquoi chercher a identifier les *jets* issus originellement d'un quark b ?

**→ car beaucoup d'hypothetiques particules tres massives peuvent se desintegrer en quark b ou t
(B.R. $t \rightarrow Wb \sim 100\%$)**



Identifier *le mieux possible* les jets b permettra donc:

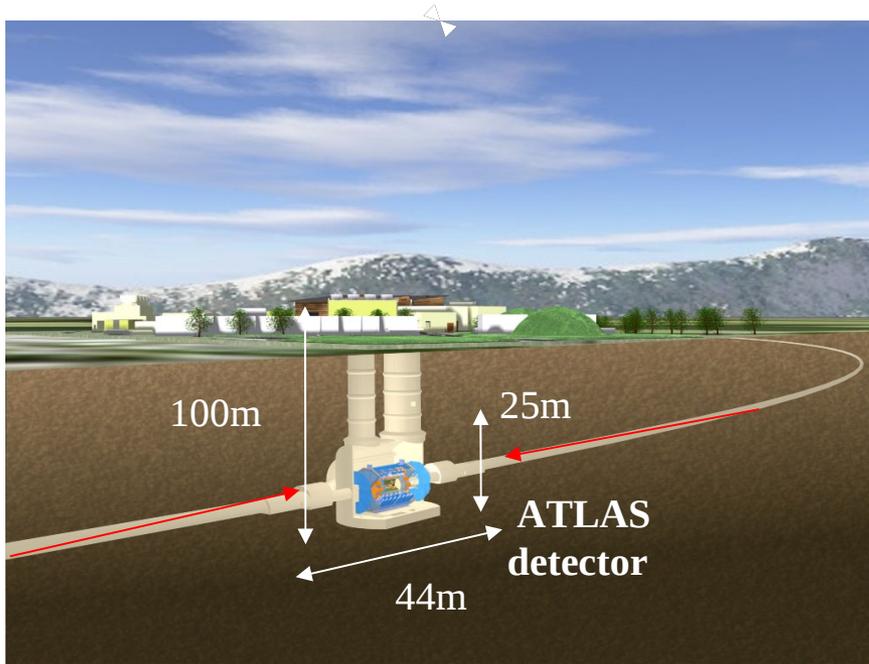
- D'ameliorer les analyses de Physique (top, $\sigma(bb)$, boson de Higgs, SUSY, 4^{eme} generation...)
ex: Avec identification d'un jet b, ~5 fois moins de bruit de fond pour re-decouvrir le quark top**
- De faire des decouvertes majeures plus rapidement !**

Comment identifier les jets b ?

Le plus simplement, dans les 1^{ere} donnees du LHC



Le detecteur ATLAS

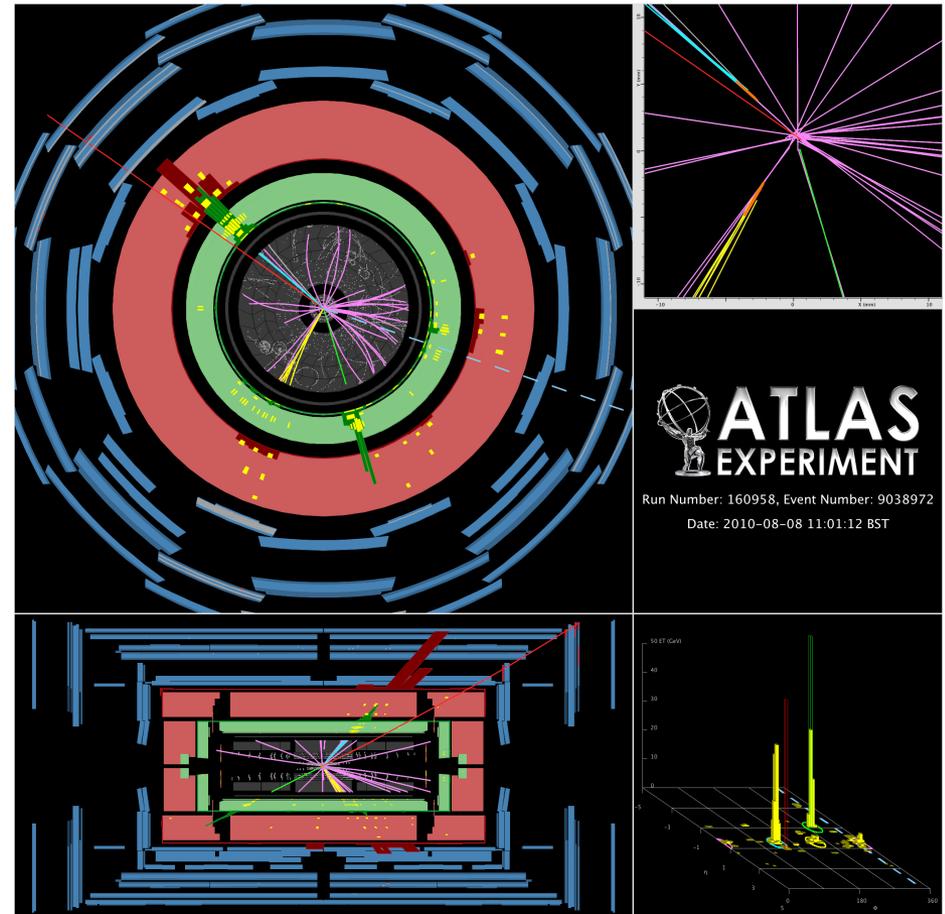


Le plus grand detecteur au monde enregistrant les collisions du LHC

Il permet de reconstruire les traces des particules produites

De reconstituer l'energie des objets physiques

De reconnaître specifiquement les muons/electrons/photons...



Le detecteur a 'pixels' d'ATLAS

Situe au plus pres des collisions

80 millions de pixels

Detecte le passage des
particules chargees

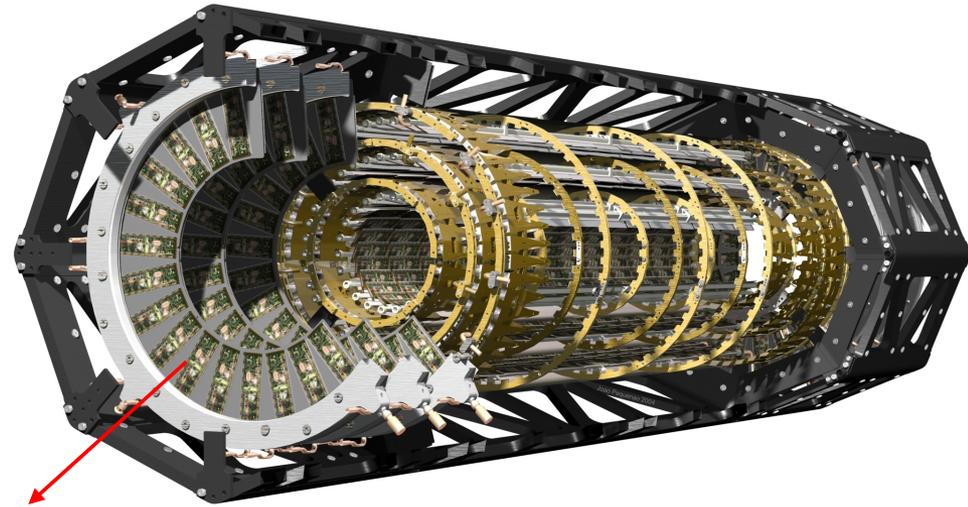
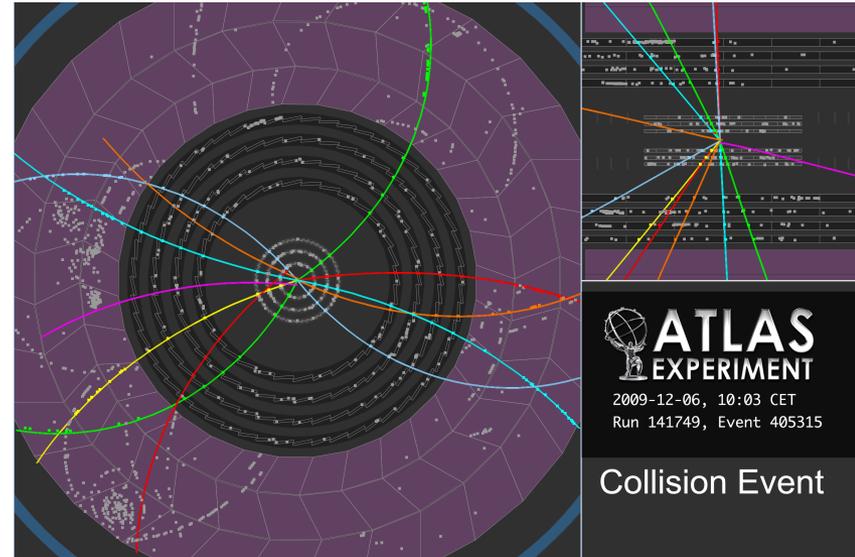
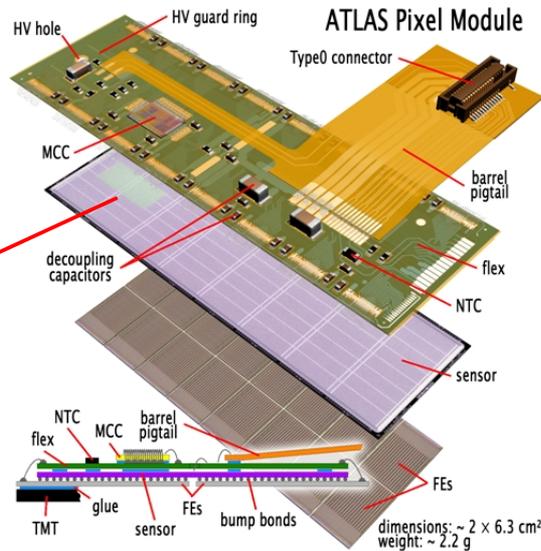
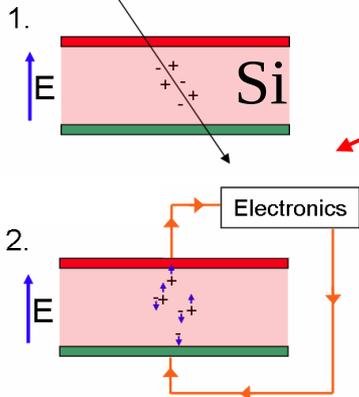


Schéma d'un des 1744 modules:

46080 pixels / module



<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

ATLAS
EXPERIMENT

2009-12-06, 10:03 CET
Run 141749, Event 405315

Collision Event

Taille d'un pixel: $\sim 50\mu\text{m} \times 400\mu\text{m} \times 270\mu\text{m}$

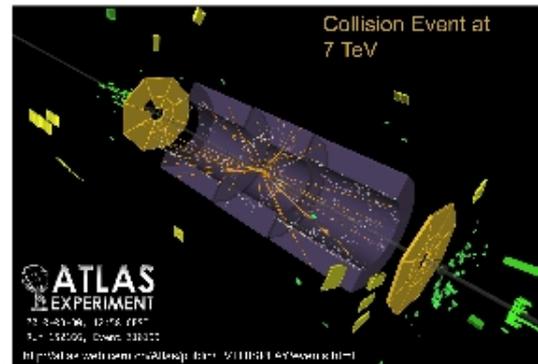
→ Permet la reconstruction precise
des traces et vertex

'Shifts' pixels

~20% de mon temps

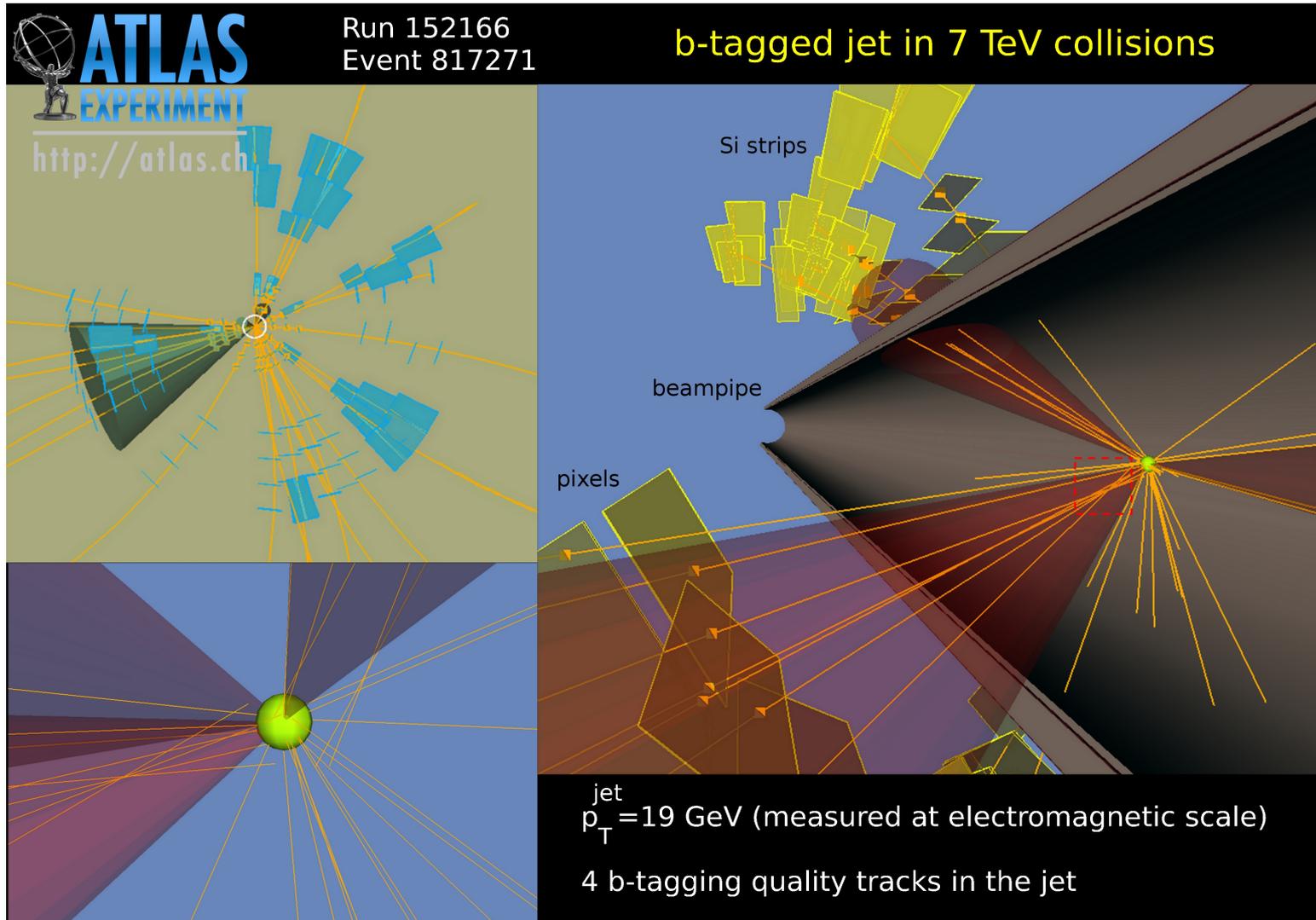
29 novembre 2009 : 1ere collisions a 900GeV

30 mars 2010 : 1ere collisions a 7TeV



Durant collisions: surveillance pendant 8h
Sans faisceaux: **calibrations du detecteur** (configuration des modules / communication avec les modules / identification des pixels « bruyants »)

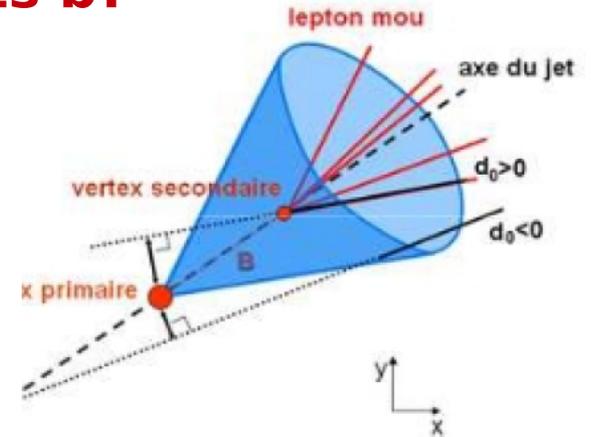
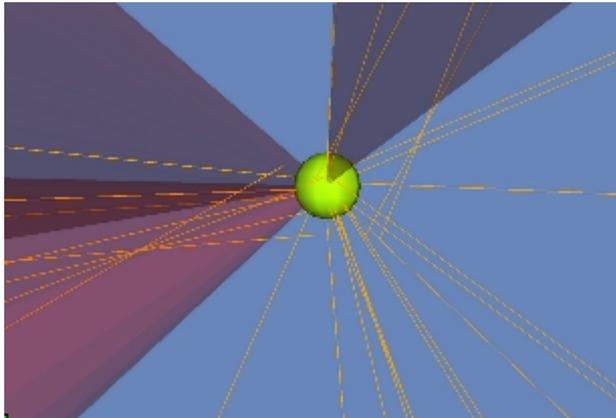
Pourquoi le detecteur a pixels est crucial pour l'identification des jets b?



Pourquoi le detecteur a pixels est crucial pour l'identification des jets b?

Car un hadron B conserve $\sim 70\%$ de l'impulsion du quark b initial (5GeV):

- les traces issus de sa desintegration ont une *forte* impulsion transverse
- il 'vole' dans le detecteur du fait de sa *longue* duree de vie
- il se desintegre $\sim 20\%$ du temps en lepton



Distance PV-SV $\sim 5\text{mm}$
pour un jet de $p_T = 50\text{GeV}$

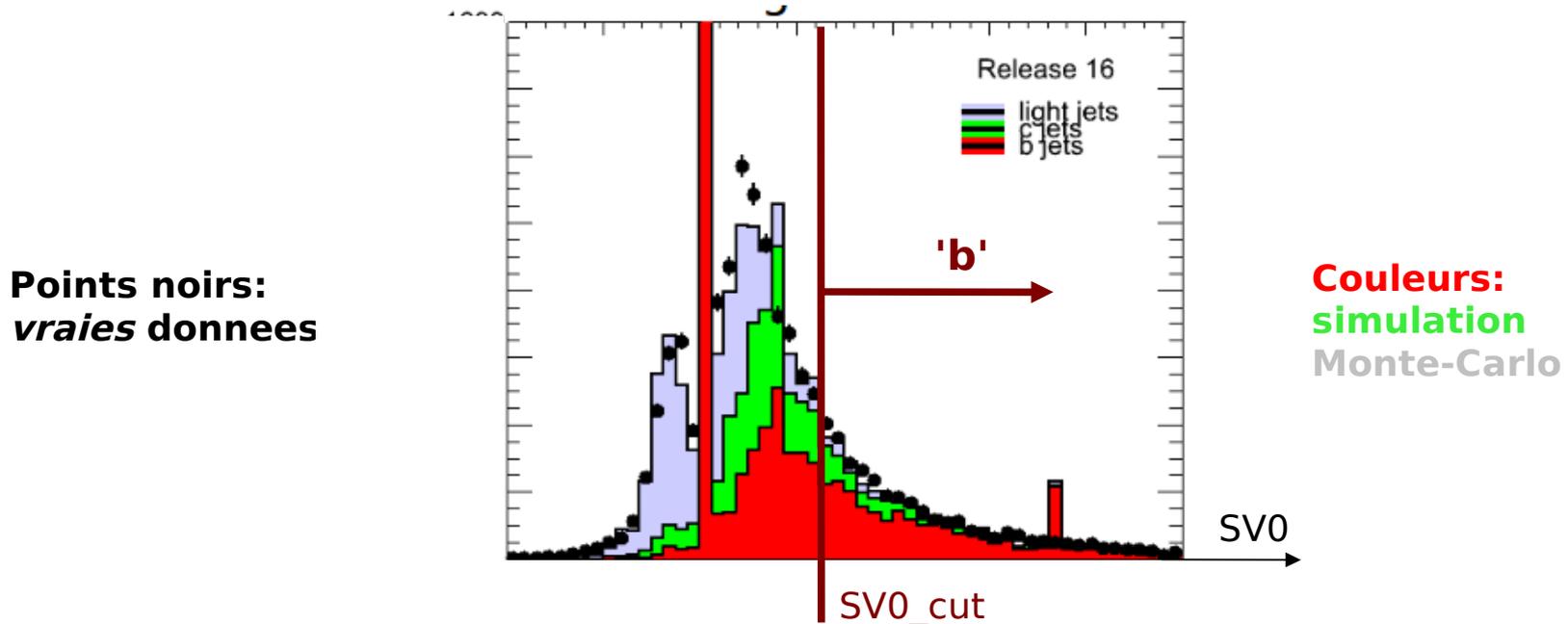
La resolution des pixels ($\sim 15\mu\text{m}$) permet:

- La detection d'un vertex secondaire (SV) eventuel
- Une mesure precise du parametre d'impact (d_0) des traces

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

Ex1: Regarder la distance entre le PV et le SV
divisee par l'erreur de mesure (SV0):



Si on decide d'etiqueter un jet comme b si son $SV0 > SV0_cut$:

→ on se trompe un certain nombre de fois

→ mais on a raison tres souvent !

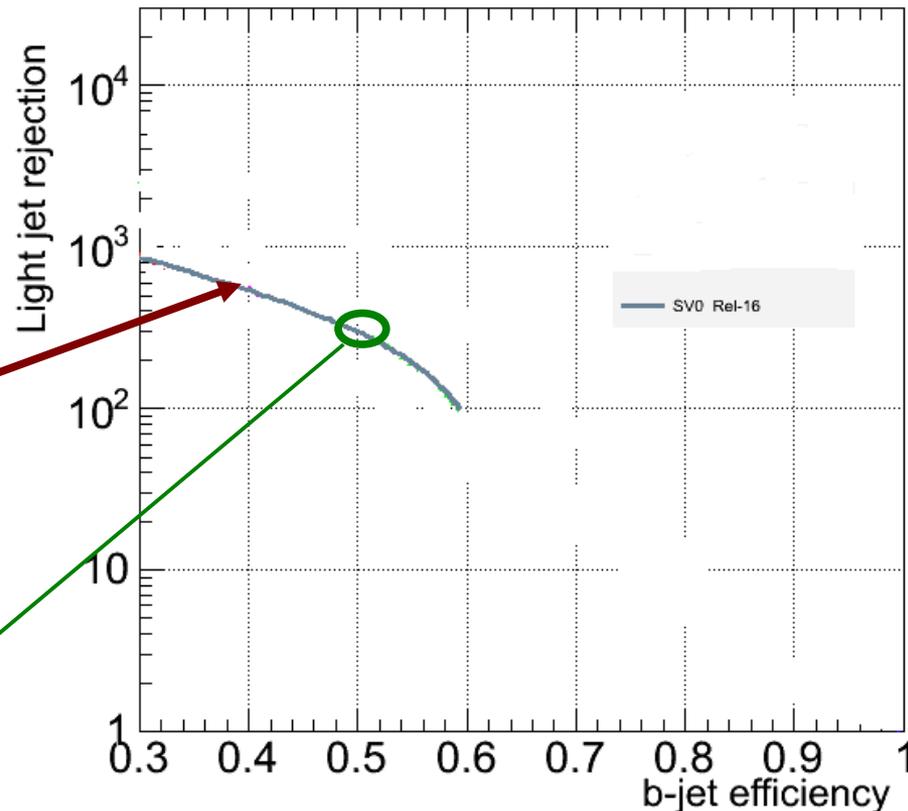
Probleme statistique

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Inverse de la fraction des jets identifies incorrectement

On se deplace sur cette courbe en faisant varier la valeur de SV0_cut

50% des jets b identifies correctement ; 1 jet mal identifie sur 300 !

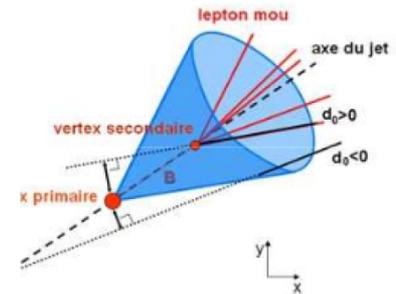
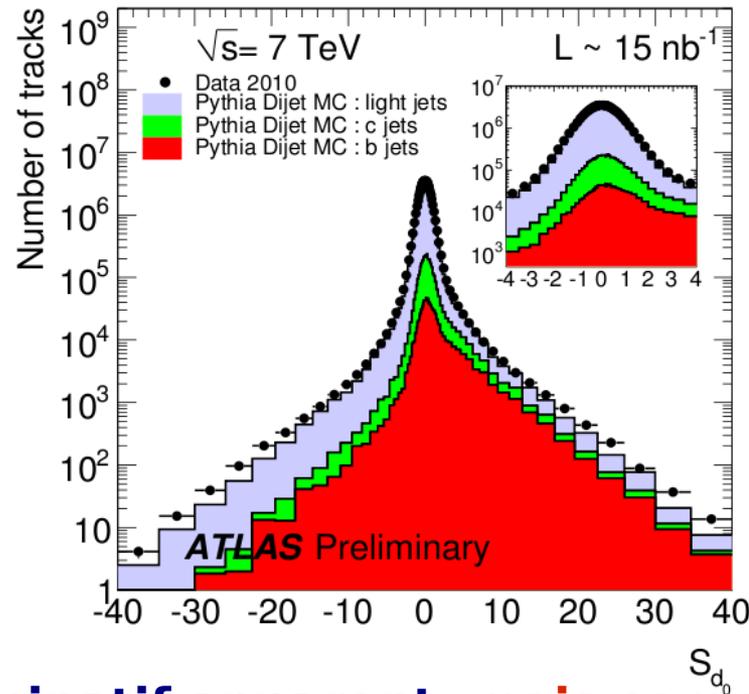


Fraction des jets b identifies correctement

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

Ex2: Utiliser le parametre d'impact signé des traces associees au jet (et diviser par l'erreur de mesure):

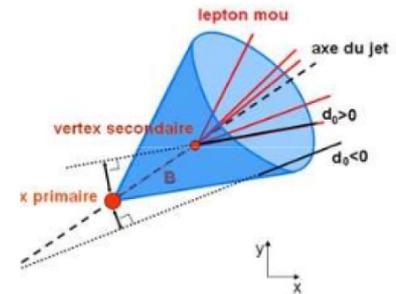
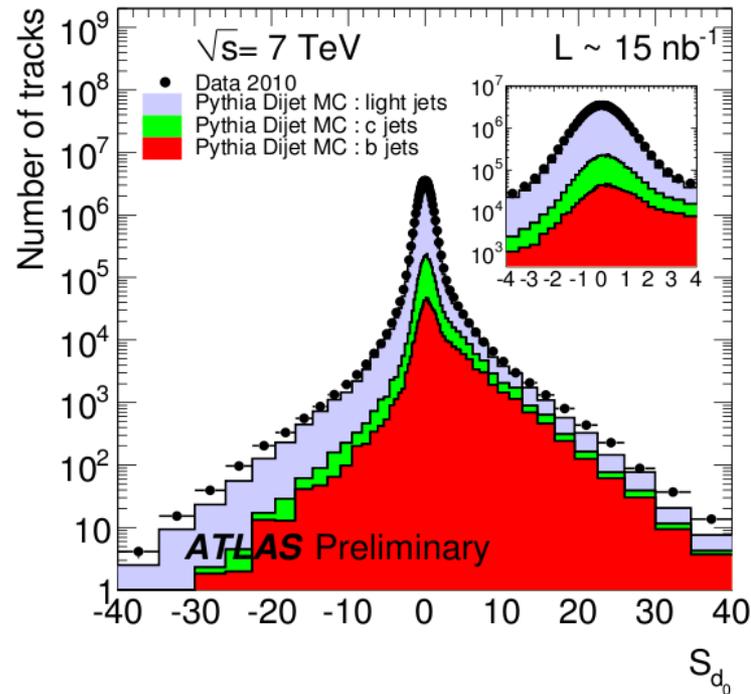


Pouvoir discriminatif apparent, mais comment construire un poids pour le jet sans se servir du MC ?

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

Ex2: Utiliser le parametre d'impact signe des traces associees au jet (et diviser par l'erreur de mesure):



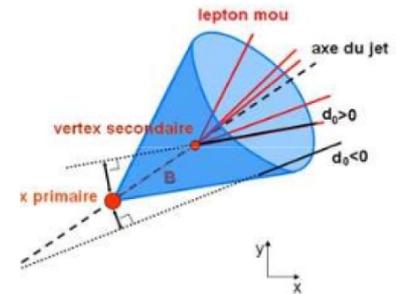
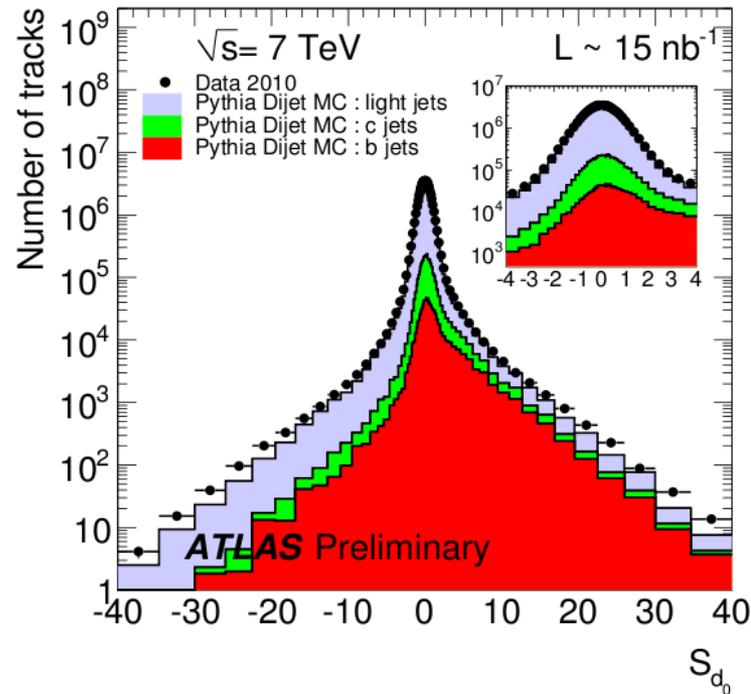
Idee d'ALEPH: tester la compatibilite des traces avec l'hypothese qu'elles proviennent du vertex primaire

A PRIORI vrai pour les jets legers

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

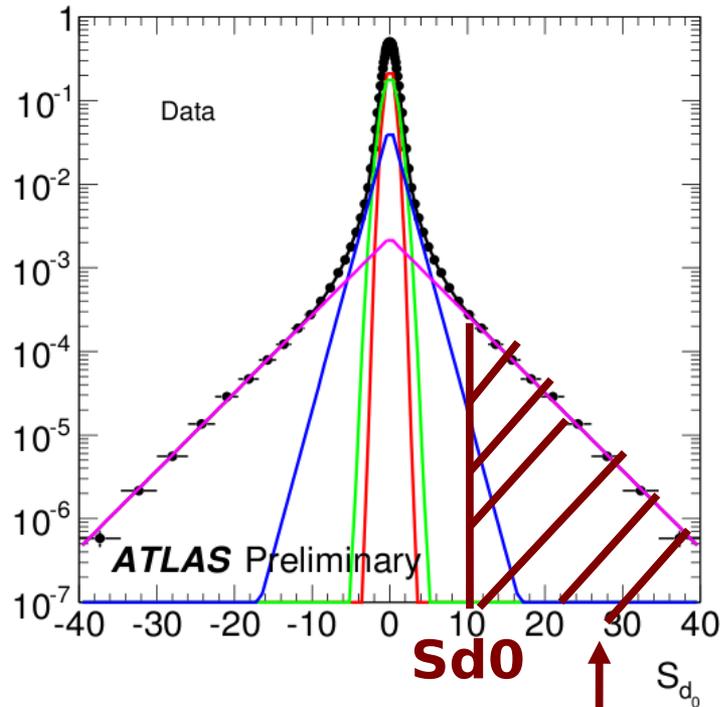
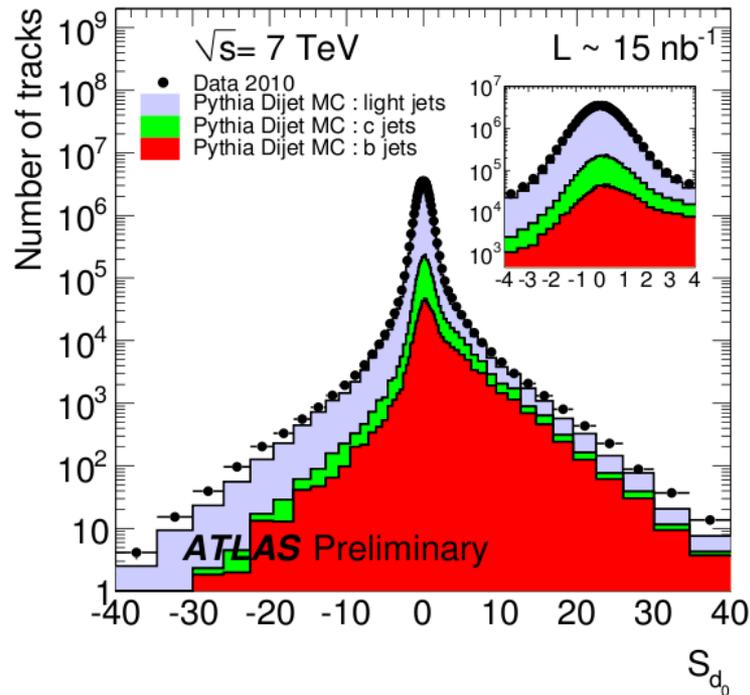
Ex2: Utiliser le parametre d'impact signe des traces associees au jet (et diviser par l'erreur de mesure):



→ **En pratique: Construire une 'fonction de resolution' a partir de la partie negative de la distribution des donnees**

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

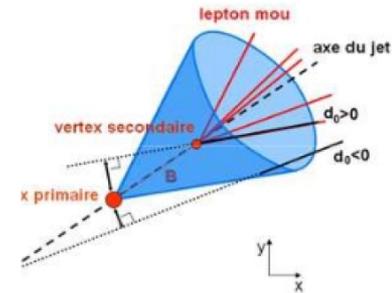
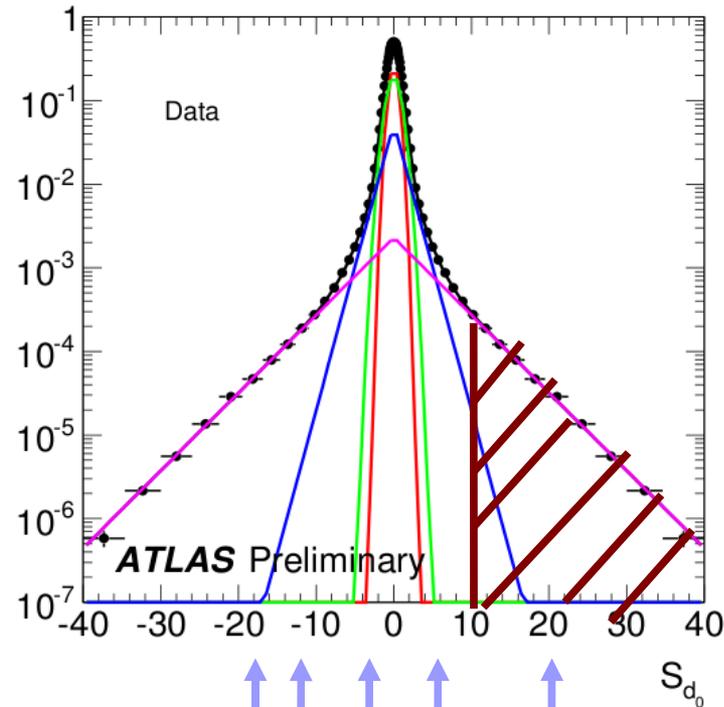
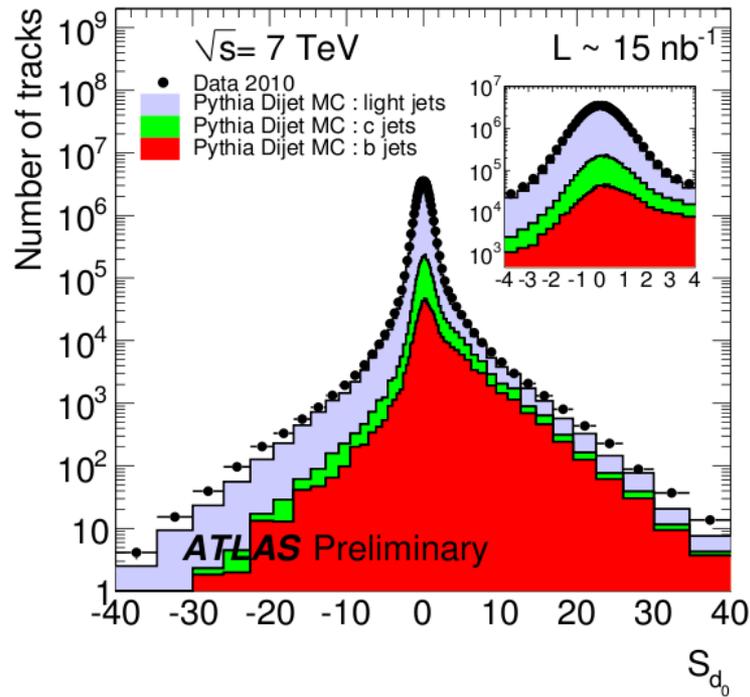
Comment construire une methode d'etiquetage simple?



Puis pour chaque trace, calculer cette integrale (Ptrack) a partir de son S_{d_0}

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

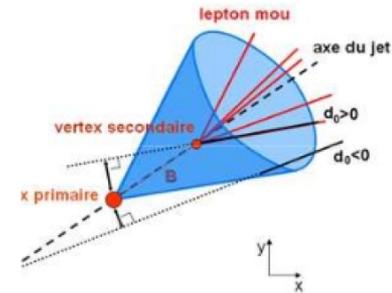
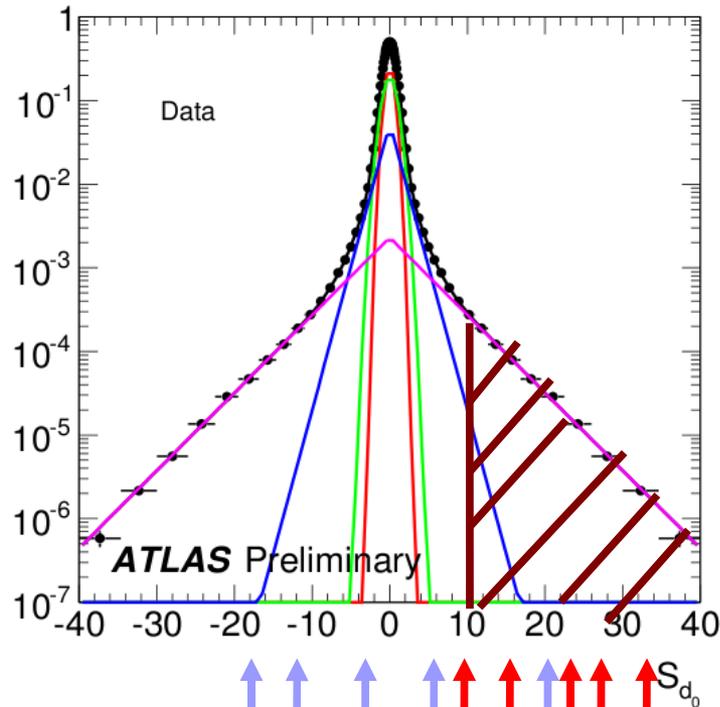
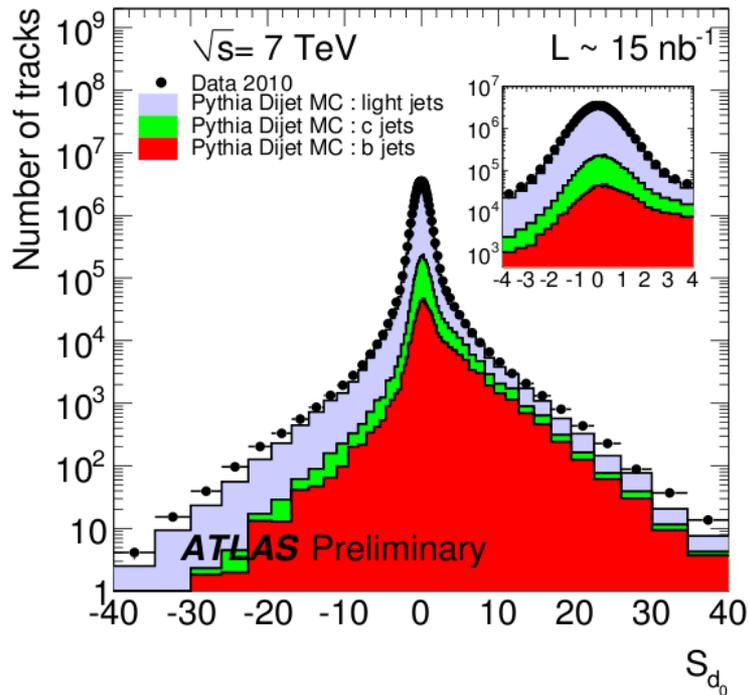


Intuitivement:

→ la distribution de Ptrack sera plutot symetrique p/r a 0.5 pour les jets legers

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?



Intuitivement:

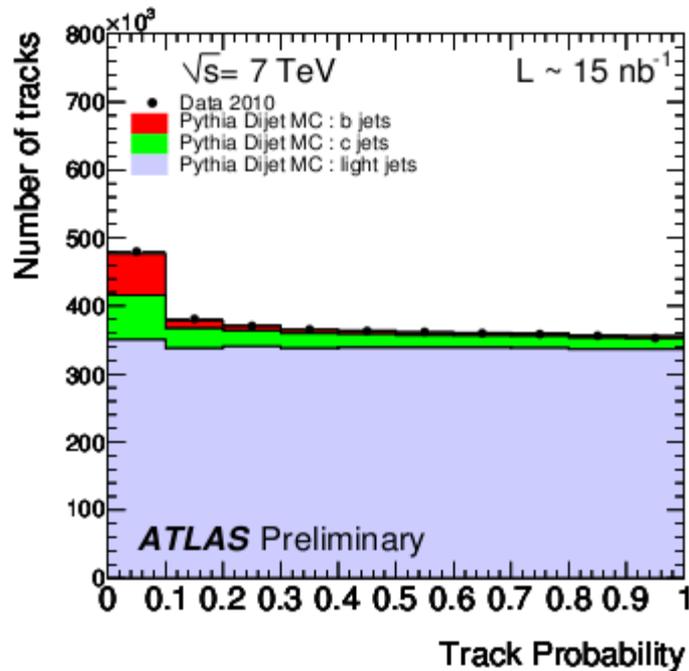
→ la distribution de P_{track} sera plutot symetrique p/r a 0.5 pour les jets legers

→ mais piquee vers 0 pour les traces des jets b

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

Track probability



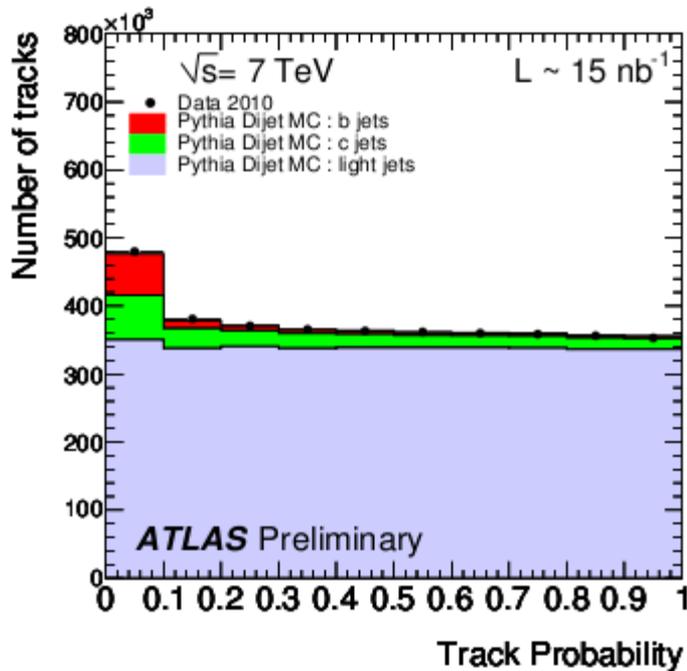
$$\mathcal{P}_0 = \prod_{i=1}^N \mathcal{P}_{\text{trk}i}$$

N = # de traces ds le jet

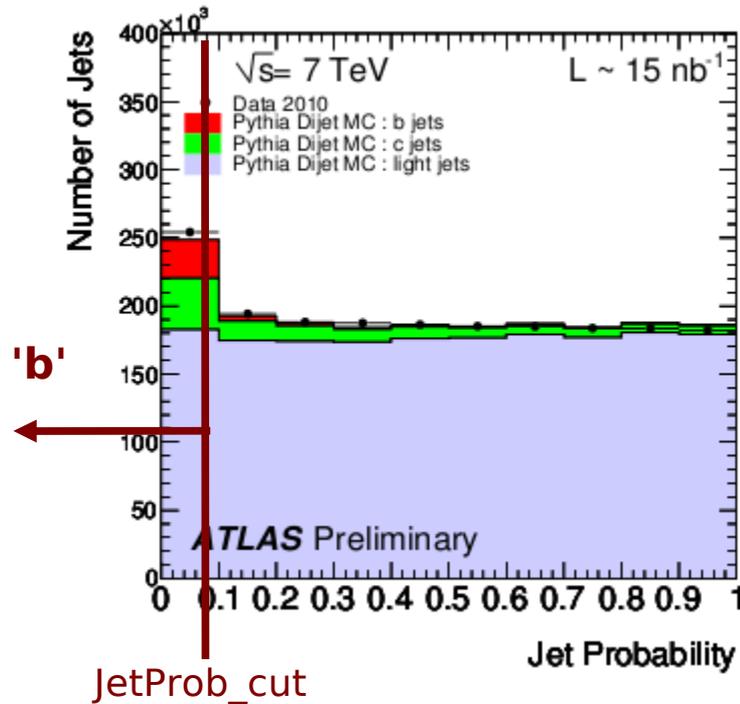
Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

Comment construire une methode d'etiquetage simple?

Track probability



Jet probability



$$\mathcal{P}_0 = \prod_{i=1}^N \mathcal{P}_{\text{trki}}$$

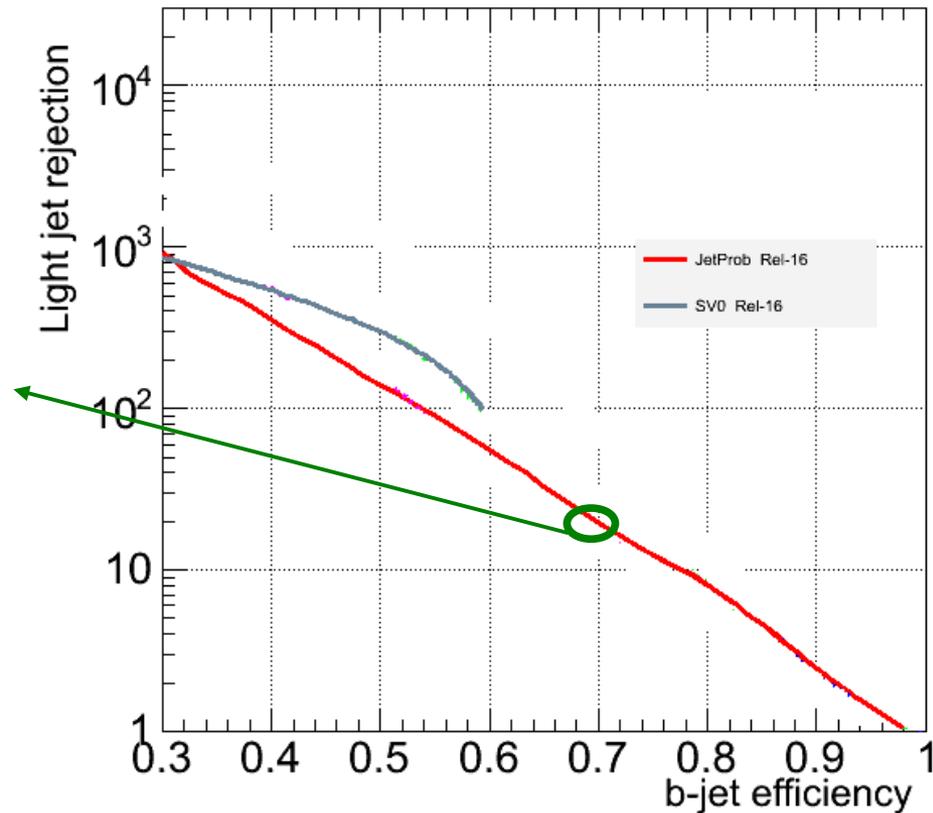
$$\mathcal{P}_{\text{jet}} = \mathcal{P}_0 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{(-\ln \mathcal{P}_0)^k}{k!}$$

Jet etiquete comme b si son $\mathcal{P}_{\text{jet}} < \text{JetProb_cut}$

Etiquetage dans les 1^{eres} donnees

**JetProb permet
d'atteindre des plus
hautes efficacites**

**70% des jets b identifiés
correctement ; 1 jet mal
identifié sur 20**



Les algorithmes les plus évolués



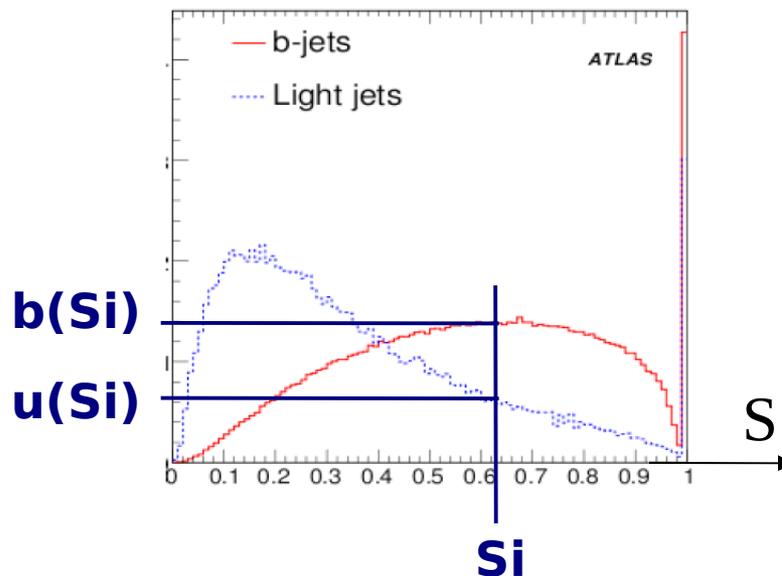
Les algorithmes les plus evolues

Comment *bien mieux* identifier les jets b ?

→ En utilisant la simulation Monte-Carlo !

D'un point de vue statistique, on peut montrer que le classificateur le plus puissant est le ratio:

$\frac{b(S_i)}{u(S_i)}$ $b(u)$ etant la p.d.f. de la variable S dans l'hypothese que le jet provient d'un jet b (leger)



Les algorithmes les plus evolues

Comment *bien mieux* identifier les jets b ?

→ En utilisant la simulation Monte-Carlo !

D'un point de vue statistique, on peut montrer que le classificateur le plus puissant est le ratio:

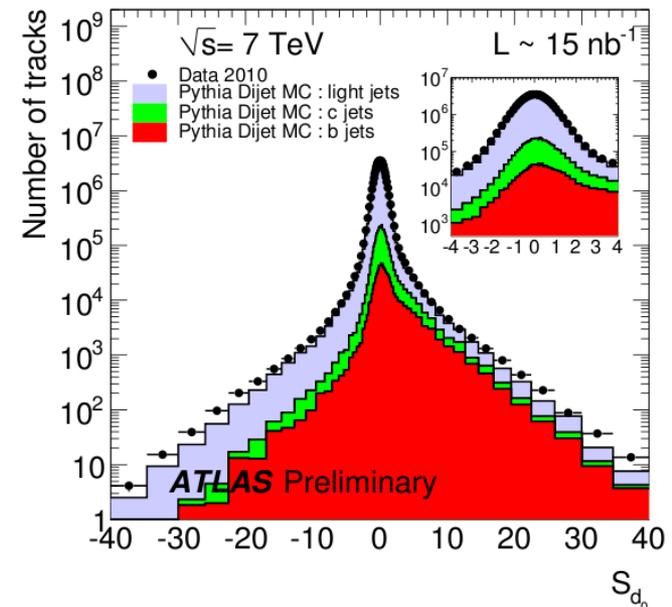
$$\frac{b(S_i)}{u(S_i)}$$

$b(u)$ etant la p.d.f. de la variable S dans l'hypothese que le jet provient d'un jet b (leger)

Exemple avec la distribution S_{d0} :

$$W_{Jet} = \sum_{i=1}^{N_T} \ln W_i = \sum_{i=1}^{N_T} \ln \frac{b(S_i)}{u(S_i)}$$

N_T = # de traces dans le jet



Les algorithmes les plus evolues

Comment *bien mieux* identifier les jets b ?

→ En utilisant la simulation Monte-Carlo !

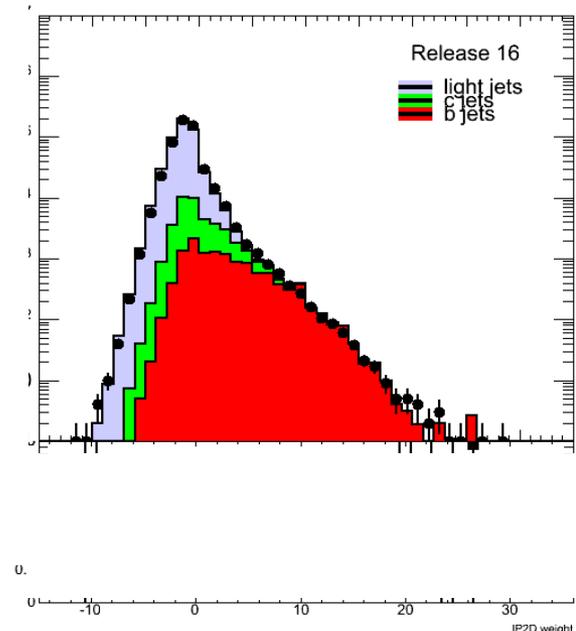
D'un point de vue statistique, on peut montrer que le classificateur le plus puissant est le ratio:

$\frac{b(S_i)}{u(S_i)}$ $b(u)$ etant la p.d.f. de la variable S dans l'hypothese que le jet provient d'un jet b (leger)

Exemple avec la distribution Sd0:

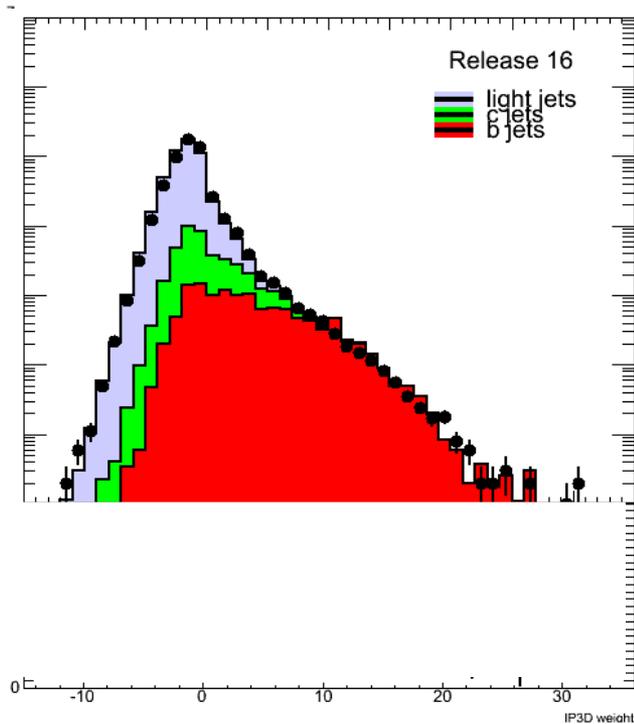
$$W_{Jet} = \sum_{i=1}^{N_T} \ln W_i = \sum_{i=1}^{N_T} \ln \frac{b(S_i)}{u(S_i)}$$

Distribution des 'poids' des jets pour ce tagger (IP2D) :

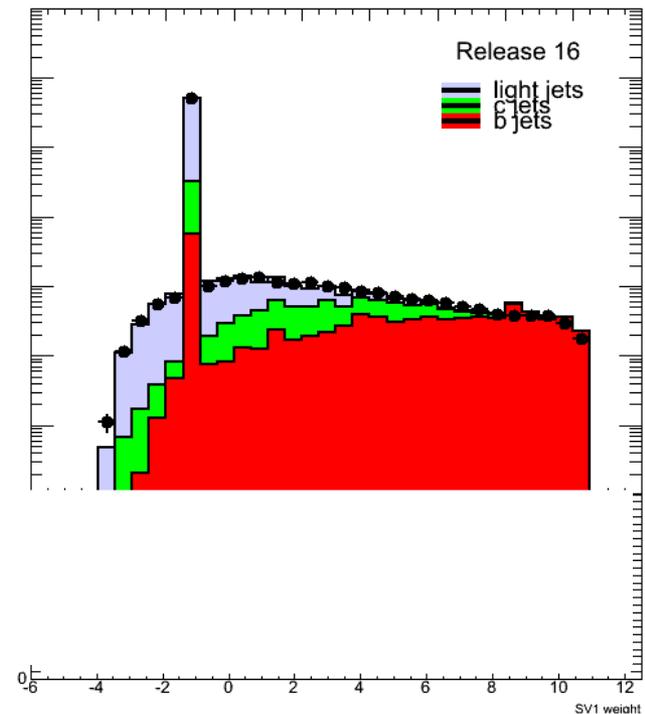


Les algorithmes les plus evolues

On peut faire de meme avec la
significance 3D du parametre
d'impact des traces (IP3D)

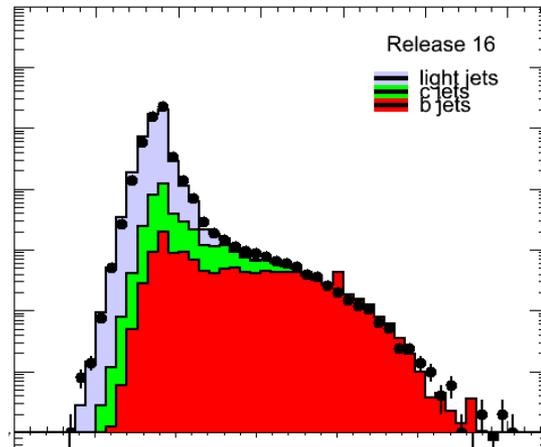


Ou encore a partir des
proprietes du vertex
secondaire (SV1)



Les algorithmes les plus evolues

On peut aussi additionner les poids de ces differents taggers pour obtenir un tagger plus performant (Ex: IP3D+SV1)

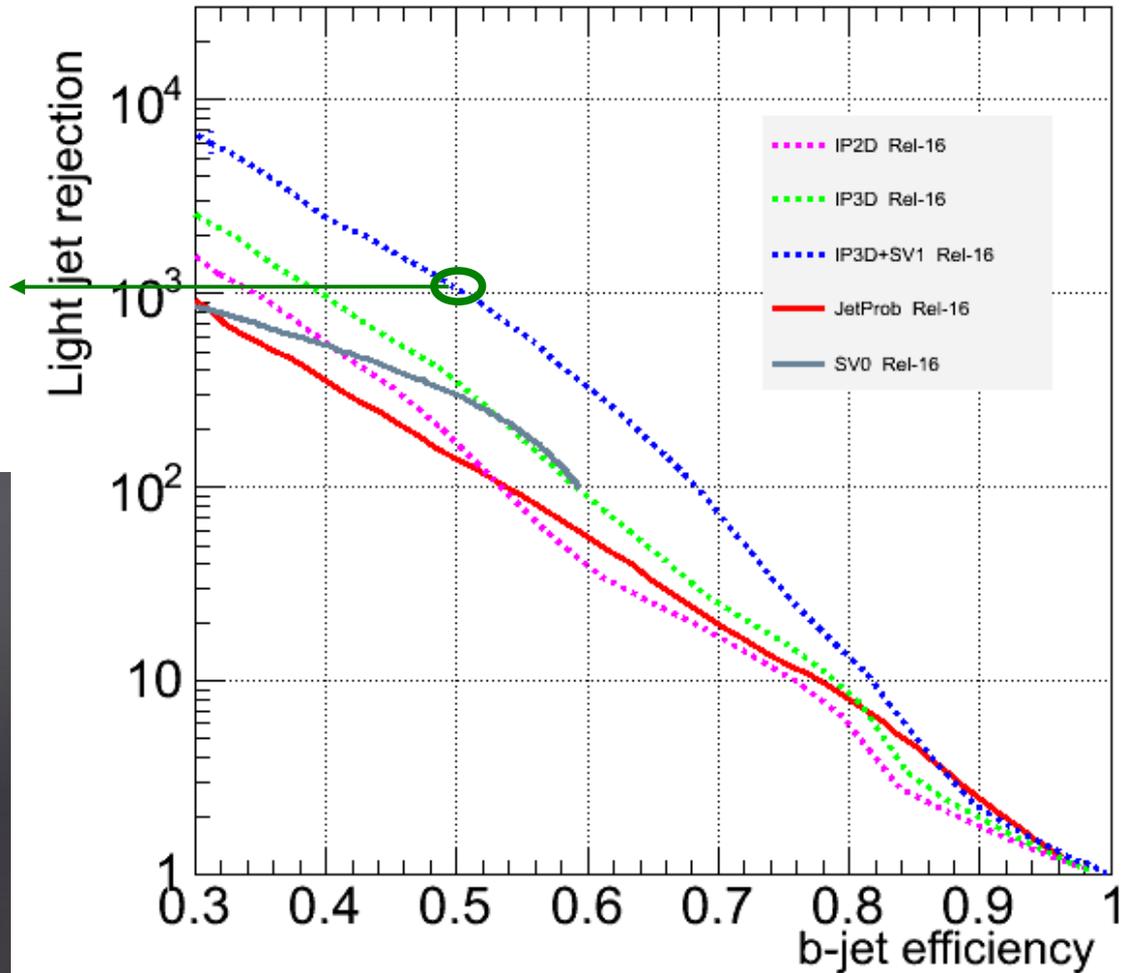


Non-optimal si les variables d'entree sont correlees entre elles:

→ **Motivation pour developper des methodes d'analyse 'multivariee' plus puissante (Arbres de decision, reseaux neuronaux...)**

Les algorithmes les plus evolues

**50% des jets b identifiés
correctement ; 1 jet mal
identifié sur 1000 !**



Contributions personnelles

**Etudes preliminaires sur la reconstruction des traces
utilisees pour le b-tagging**

**Participation a la mise en oeuvre de JetProb, et des
taggers les plus evolues**

**Production des histogrammes de 'reference' -
Interfacage avec la base de donnees ATLAS**

'Shifts' pixels online

Conference Notes: Tracking studies for b-tagging with 900 GeV collision data - Bousson, N et al - ATL-COM-PHYS-2010-087

First look at the JetProb b-tagging algorithm in 900 GeV collision data - Lapoire, C et al - ATL-COM-PHYS-2010-086

Tracking studies for b-tagging with 7 TeV collision data with the ATLAS detector - Bousson, N et al - ATL-COM-PHYS-2010-273



Vers les hautes luminosités du LHC

Le LHC fonctionne merveilleusement bien!

D'immenses progres realises pour augmenter la luminosite (~taux d'interaction des paquets de protons)

Pic de luminosite instantanee record:

$$**L \sim 2.1 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}**$$

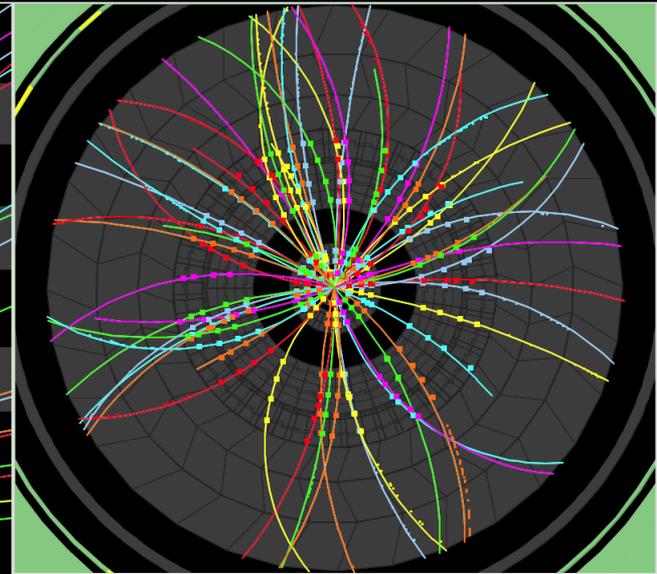
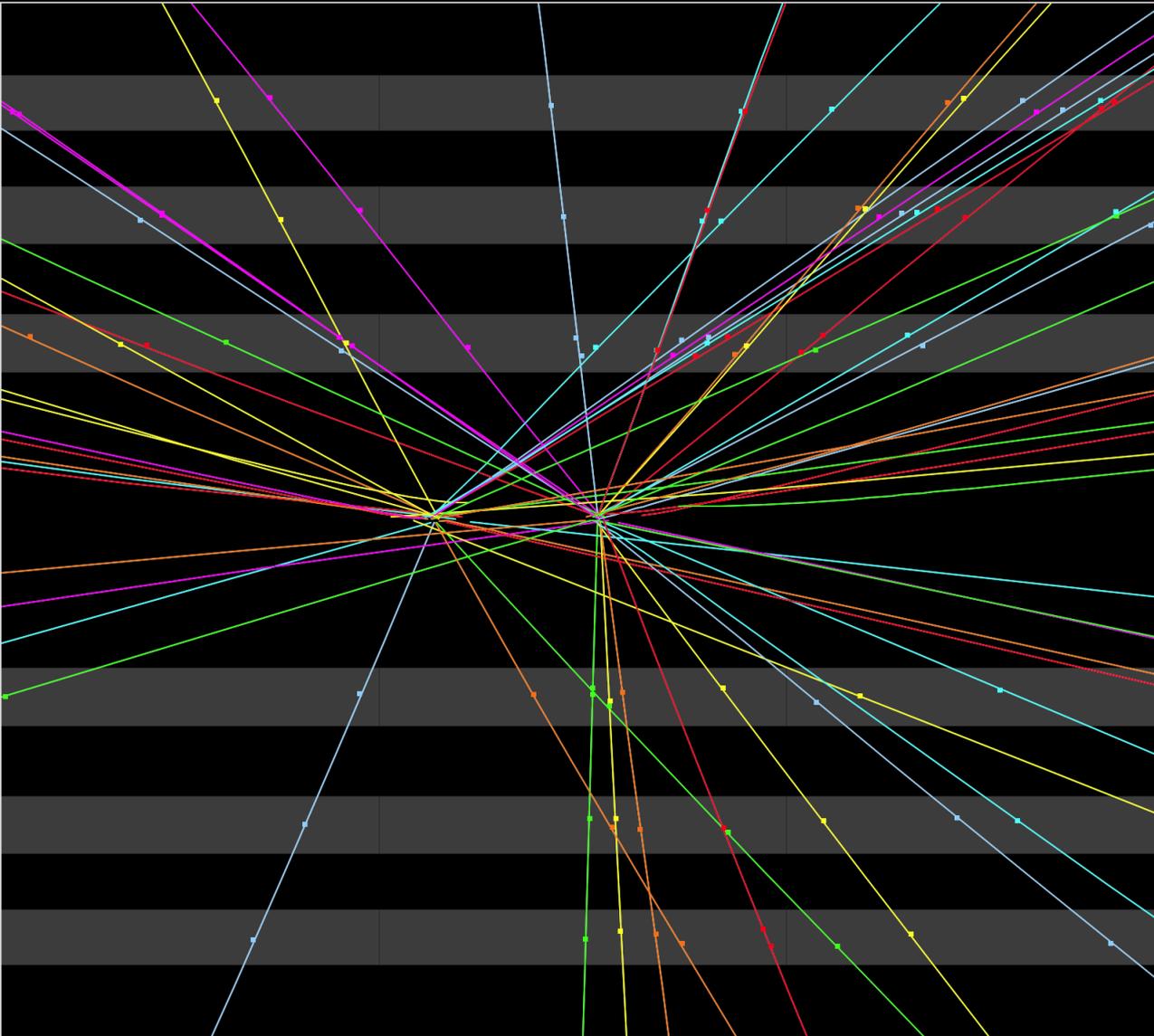
Deja 45pb⁻¹ de luminosite integree !

Quelques fb⁻¹ fin 2011 !



MAIS...

Collision Event at 7 TeV with 2 Pile Up Vertices

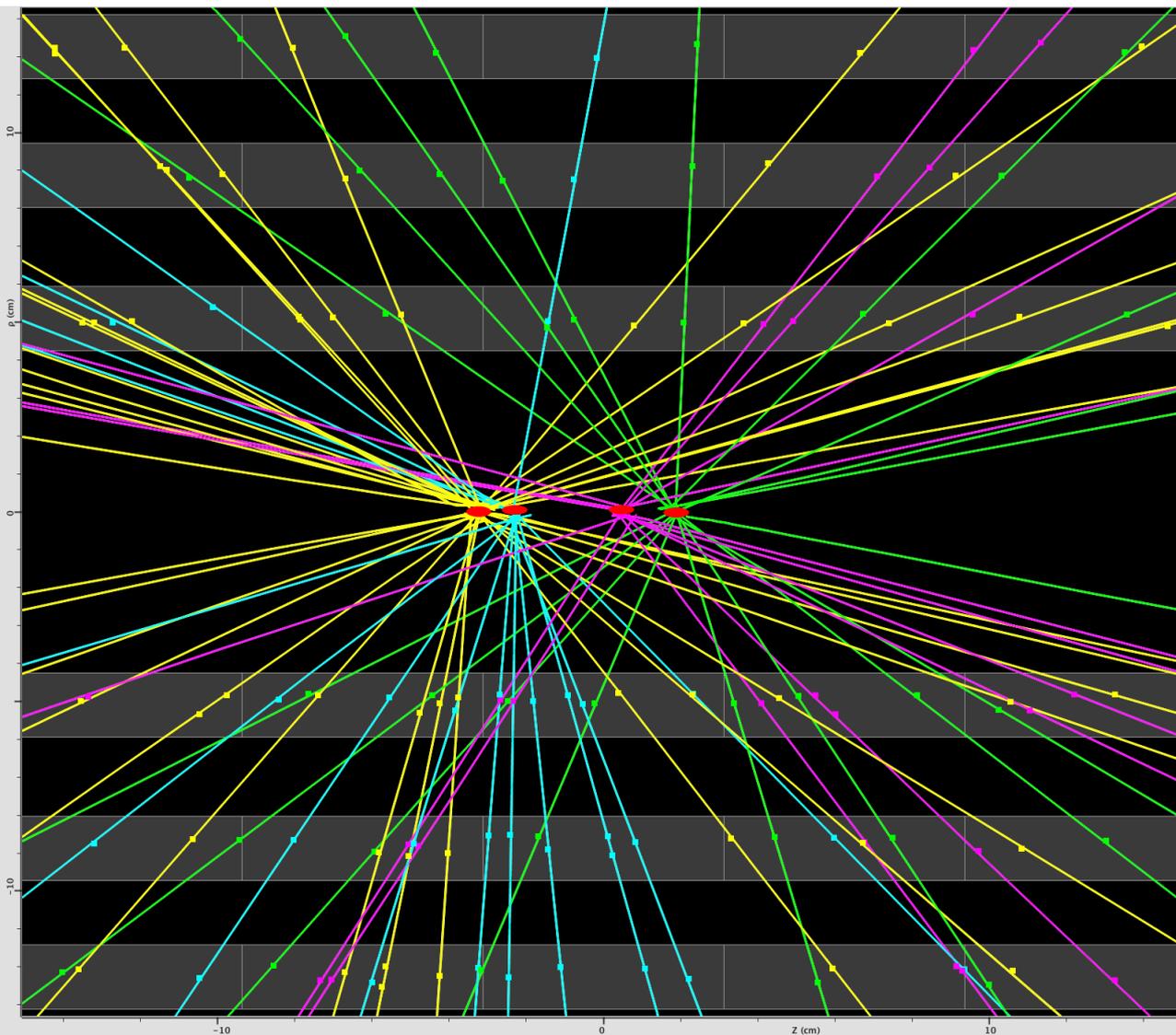


ATLAS
EXPERIMENT

Run Number: 152166, Event Number: 467774

Date: 2010-03-30 13:31:46 CEST

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

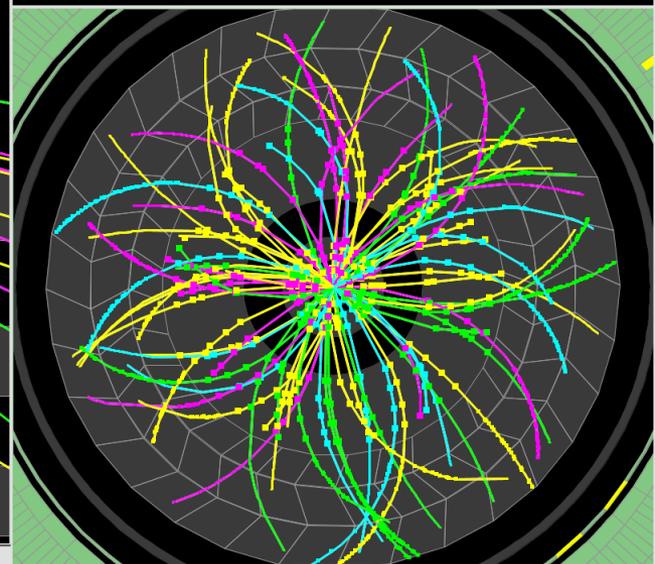


ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 153565, Event Number: 4487360

Date: 2010-04-24 04:18:53 CEST

**Event with 4 Pileup Vertices
in 7 TeV Collisions**



Anakin Skywalker is shown in profile on the left, holding a glowing red lightsaber. In the background, the helmet of Darth Vader is visible. The entire scene is set against a dark red, atmospheric background.

**Et avec 50 interactions
d'empilement ?!!**

STAR WARS

EPISODE III

RISE OF THE EMPIRE

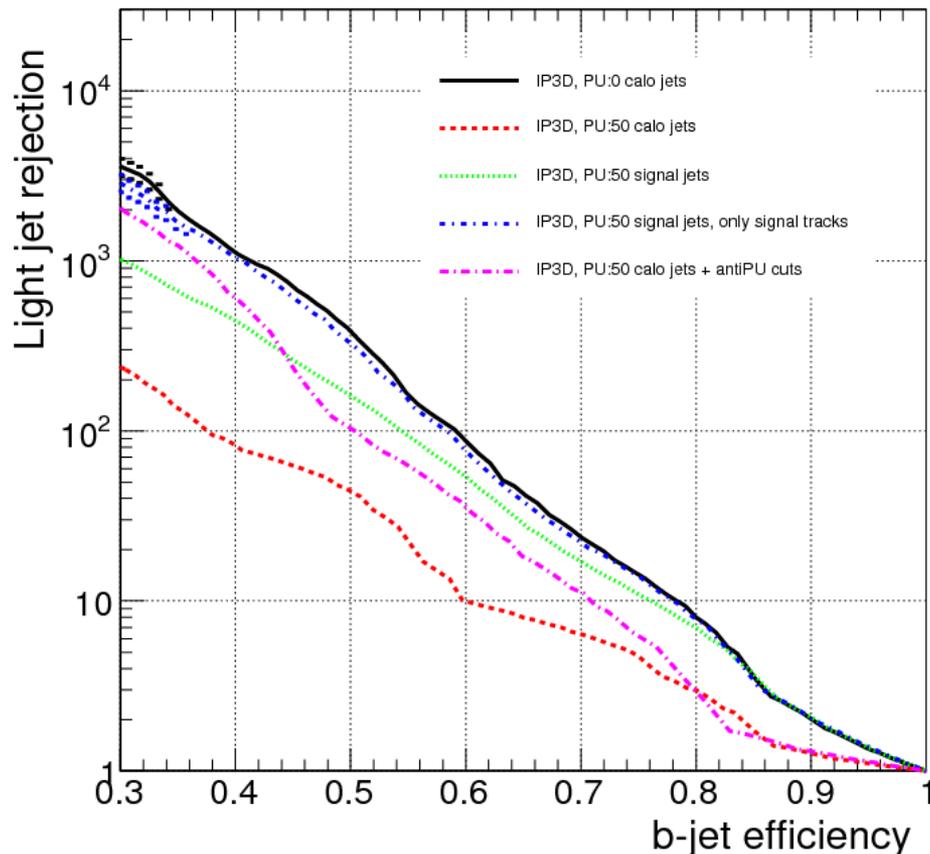


STAR WARS

JEDI vs SITH

Vers les hautes luminosités du LHC

Les performances d'identification des jets b souffrent énormément (si l'on ne fait rien) !



Principales causes:

**Se tromper de
vertex primaire!**

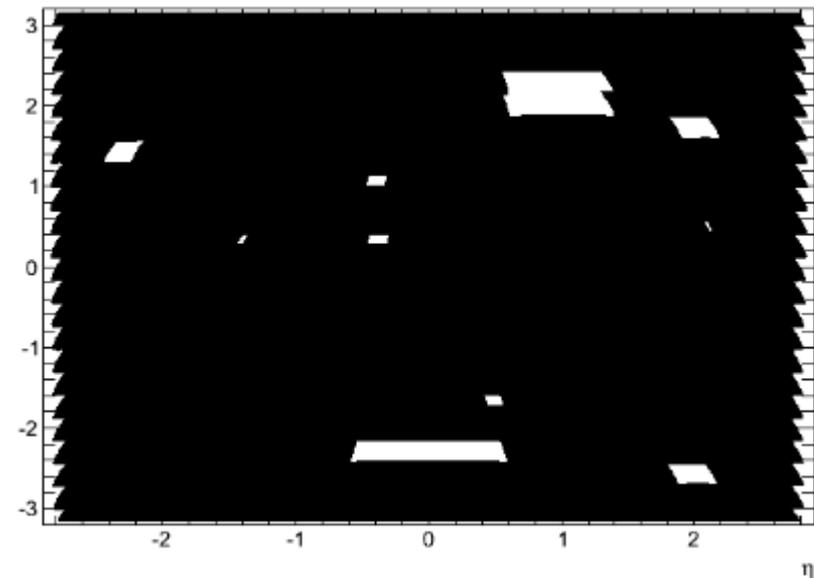
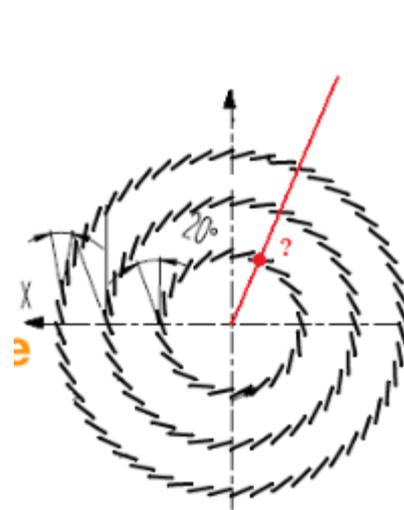
**'Extra' jets
provenant d'une
autre collision**

'Extra-traces'

Vers les hautes luminosités du LHC

Autre problematique:

Le niveau de radiation a haute luminosite va progressivement endommager le detecteur a pixels (effet signifiant dès qq 100aines d' fb^{-1})



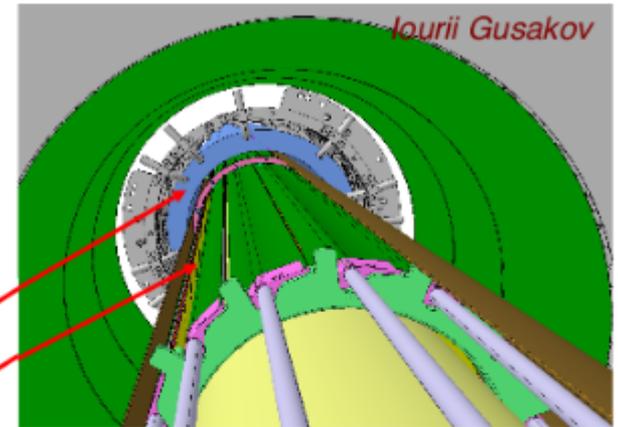
→ Effet direct sur les performances d'identification des jets b !

Vers les hautes luminosités du LHC

Il est prévu d'insérer une couche supplémentaire de détection (~2014)

Motivations:

Inefficacités de détection dues aux radiations

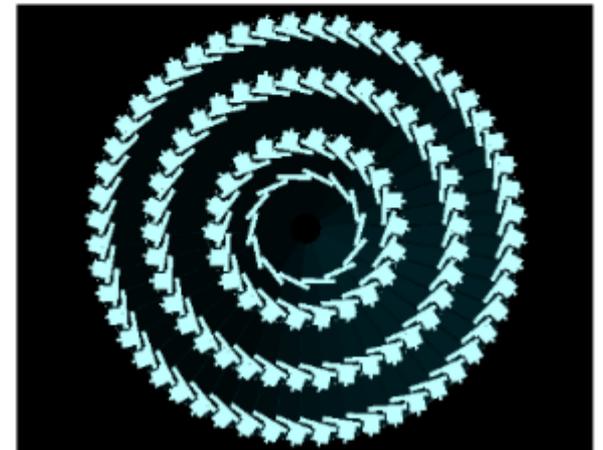


Existing B-layer

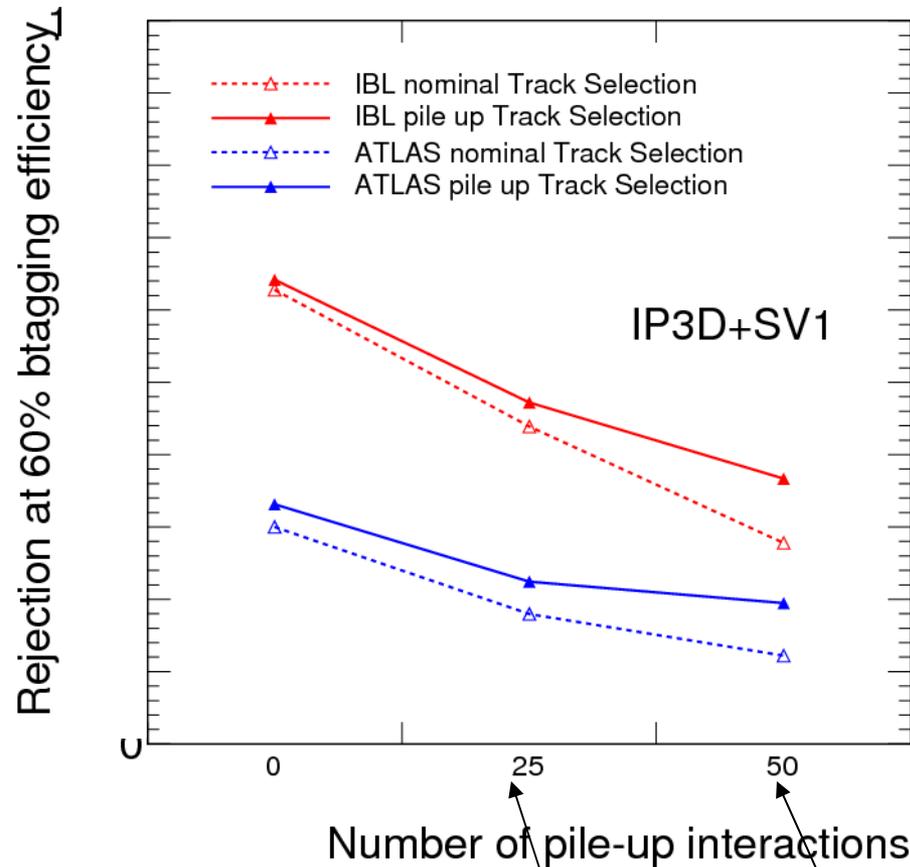
IBL (Staves)

Assurance en cas de gros dégât sur l'actuelle b-layer

Il n'est pas possible de remplacer la b-layer pendant un arrêt long du LHC (~8mois)



Vers les hautes luminosités du LHC



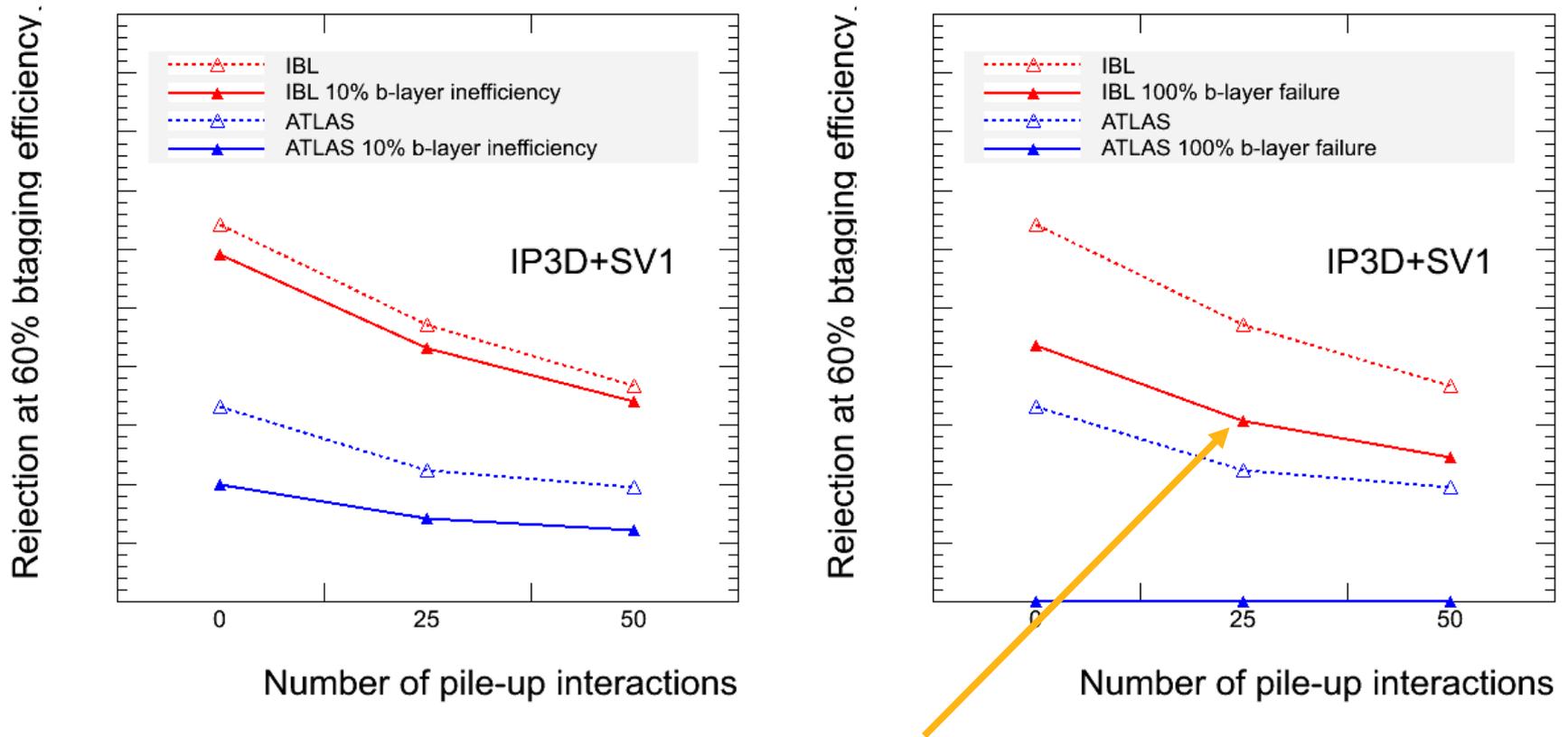
**Plot in ATLAS IBL
Technical Design Report**

$10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Vers les hautes luminosités du LHC

Simulation des performances avec des dégradations du détecteur a pixels

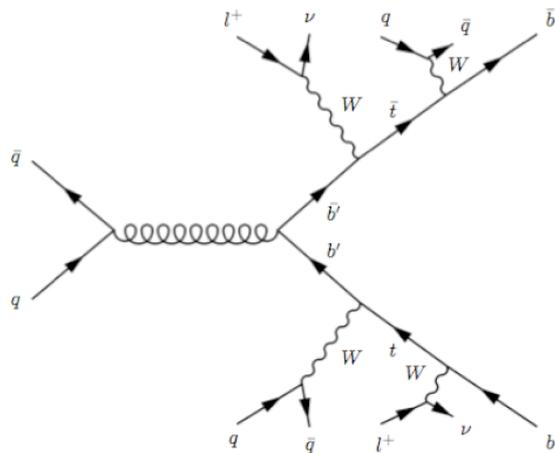


ATLAS avec IBL sans b-layer meilleur que ATLAS actuel !

Conclusion et perspectives

Les algorithmes simples d'identification des jets b fonctionnent déjà très bien, et la mise en oeuvre des taggers plus évolués est en cours

Mon analyse physique portera sur la recherche d'une 4^{ème} génération de quarks



L'optimisation de l'identification des jets b de grande impulsion transverse sera cruciale

Merci pour votre attention !

Questions ?

