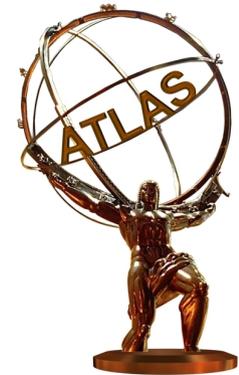


Recherche de nouvelle physique avec ATLAS au LHC grâce à l'identification des jets de saveur b

Nicolas Bousson



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

Overview

Introduction

Le détecteur a pixels d'ATLAS

L'étiquetage des jets b

Définition du probleme

Mise en oeuvre

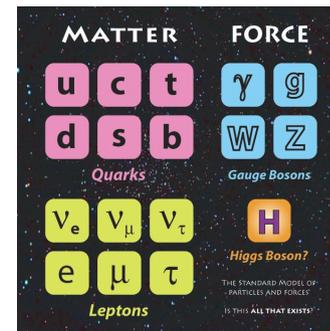
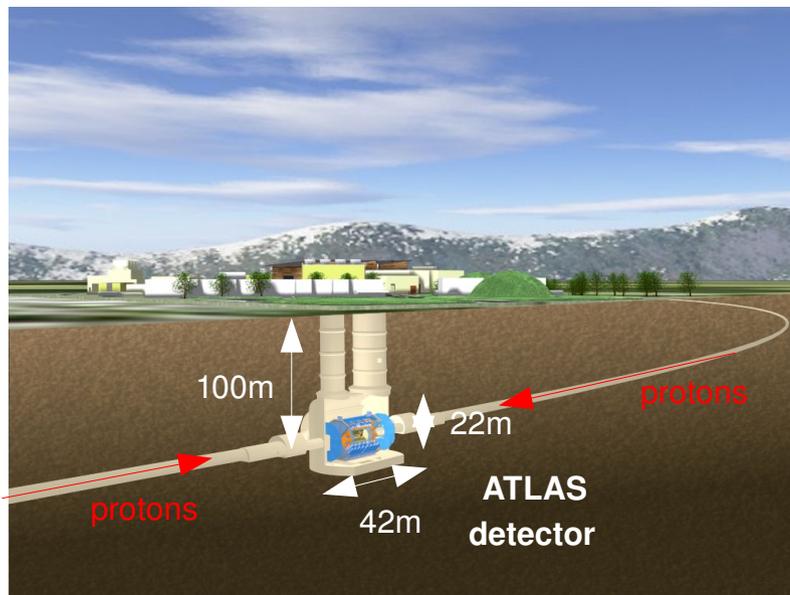
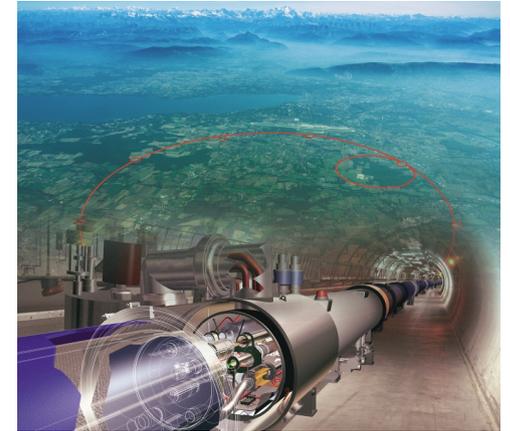
Upgrade du détecteur a pixels

Conclusion et perspectives

Le détecteur ATLAS au LHC

Le **Large Hadron Collider** (LHC), installé au CERN à Genève, accélère des protons et les collisionne depuis le 30 mars 2010 à l'énergie record de 7TeV.

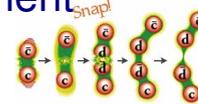
- **ATLAS est un détecteur généraliste** de 7000 tonnes, le plus grand jamais construit. Ses principaux buts sont:
- mesure de précision du Modèle Standard
 - **découvrir le boson de Higgs** et de nouveaux modèles de physique (*supersymétrie*)...



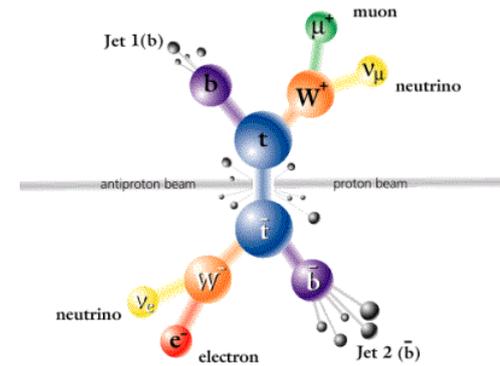
→ Le détecteur interne d'ATLAS, en particulier le **détecteur a pixels**, jouera un rôle crucial pour la reconstruction des traces, des vertex, et l'identification de certains objets physique tels que les *jets*.

L'identification des jets de saveur b

De nombreuses particules produites au LHC suffisamment énergétiques peuvent se désintégrer en **quark b**

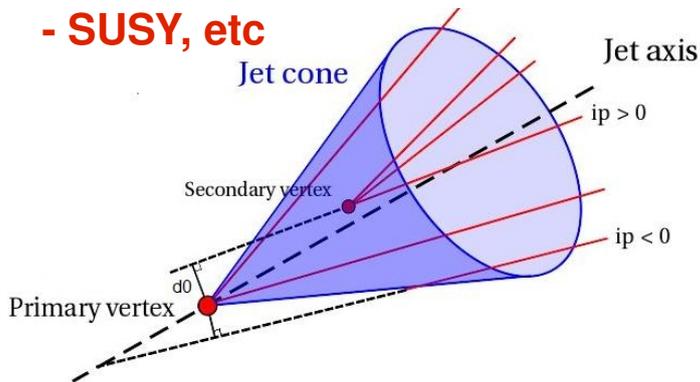
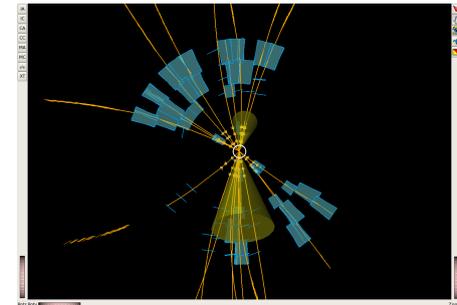


Comme un quark ne peut exister seul, il crée dans le détecteur un signal très clair: une « gerbe » de hadrons (ou « jet » de particules).



Il sera crucial pour de nombreuses analyses dans ATLAS d'identifier convenablement les jets provenant d'un quark b:

- $\sigma(t\bar{t})$: S/B réduit depuis la baisse en énergie (14TeV--> 7TeV)
- Higgs boson: $H \rightarrow b\bar{b}$ dominant à faible masse
- $\sigma(b\bar{b})$
- SUSY, etc



Les algorithmes d'étiquetage des jets b tirent partie:

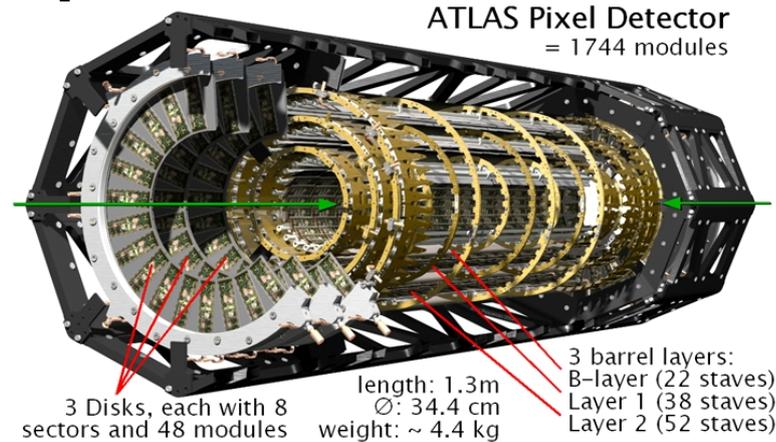
- du relatif *long temps de "vol"* (~1.5ps) des hadrons issus d'un quark b dans le détecteur
→ détection d'un **vertex secondaire** à qq mm du vertex primaire de la collision proton-proton
- du *grand paramètre d'impact* (d0) des traces dans le jet
- de la présence d'un **lepton** de faible impulsion

→ Ceci nécessite une grande qualité de reconstruction des traces et des vertex

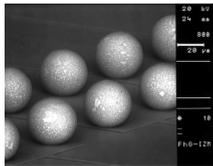
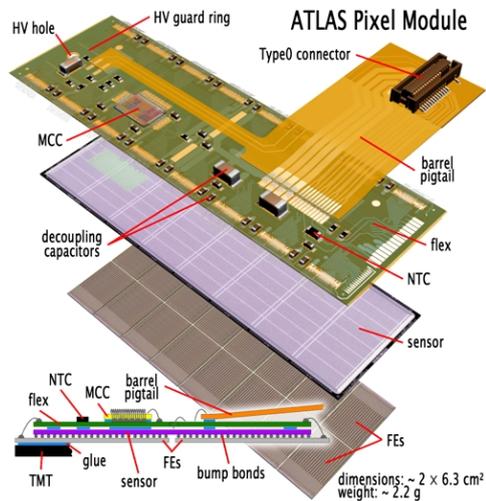
Le détecteur à pixels d'ATLAS

Situé au plus près du point de collision, il est composé de 80 millions de "pixels" répartis en 3 couches concentriques.

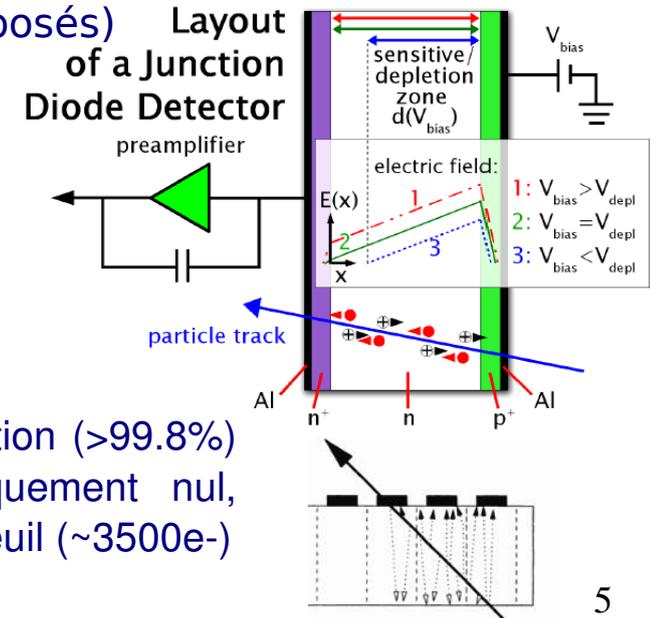
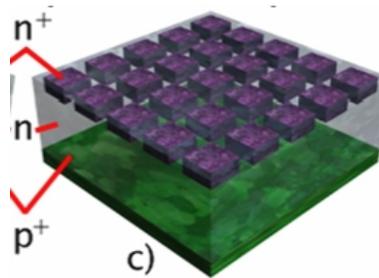
(pixels de taille $50(r\phi) \times 400(z) \mu\text{m}^2$)



Vue éclatée d'un des 1744 modules:



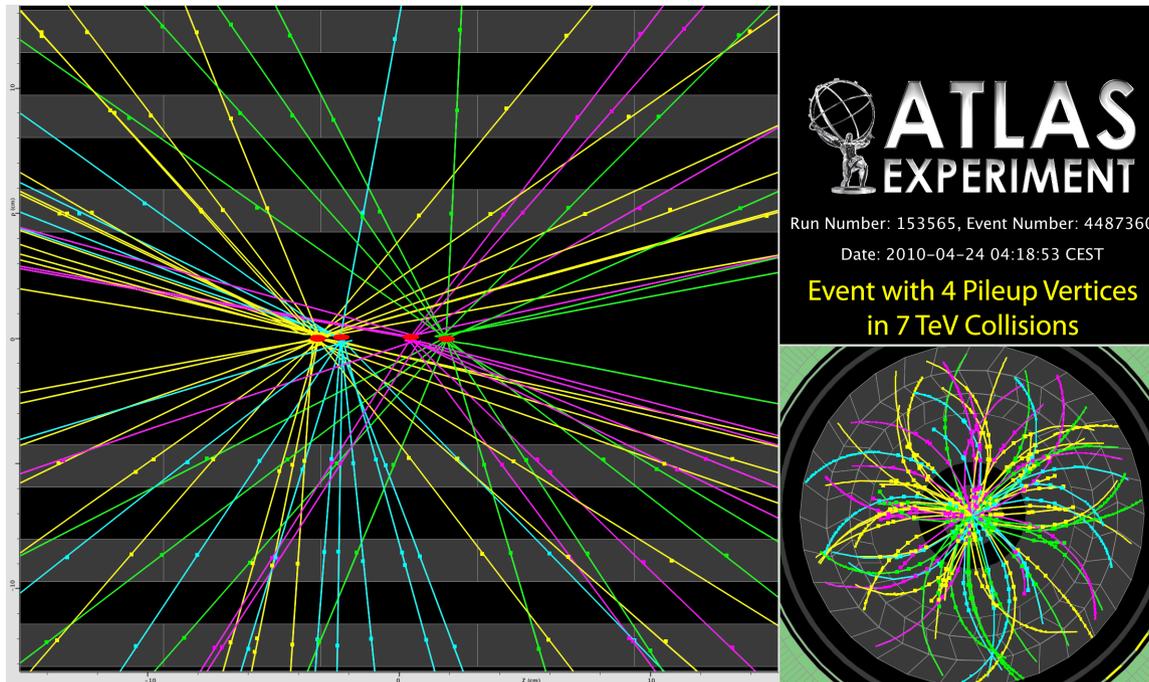
Chaque pixel détecte le passage d'une particule chargée en collectant les **paires électrons/trous** créées dans une couche de **silicium déplété** (perte moyenne d'énergie 97.5 keV dans 250µm d'épaisseur ↔ 19400e⁻ déposés)



Performances: Haute efficacité de détection (>99.8%) associée à un niveau de bruit pratiquement nul, obtenues par un système de détection à seuil ($\sim 3500e^-$)

Le détecteur à pixels d'ATLAS

Les premiers mois d'operation avec des collisions montrent deja une excellente performance du detecteur a pixels

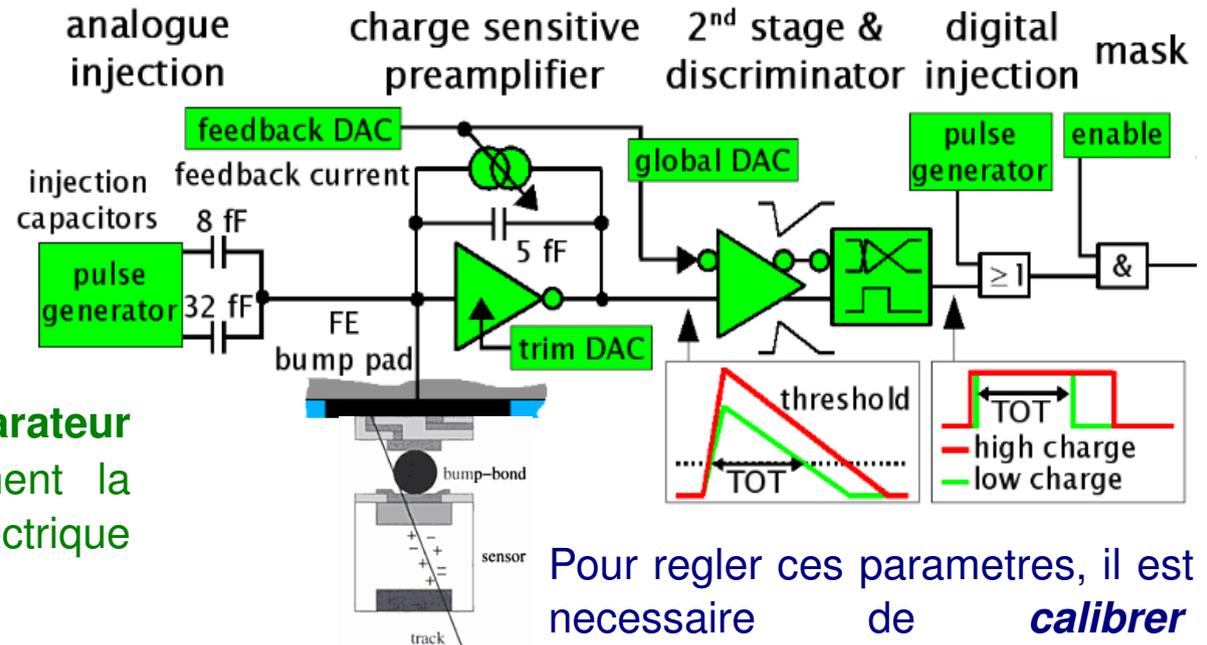


La resolution spatiale des pixels de $10\mu\text{m}$ (avec partage de charge) en $r\phi$ et de $115\mu\text{m}$ en z , associé au très faible niveau de bruit, permet de reconstruire les **trajectoires des particules chargées, et les vertex de l'événement** avec une grande précision
→ **élément clés pour l'identification des jets b.**

Calibration du détecteur à pixels

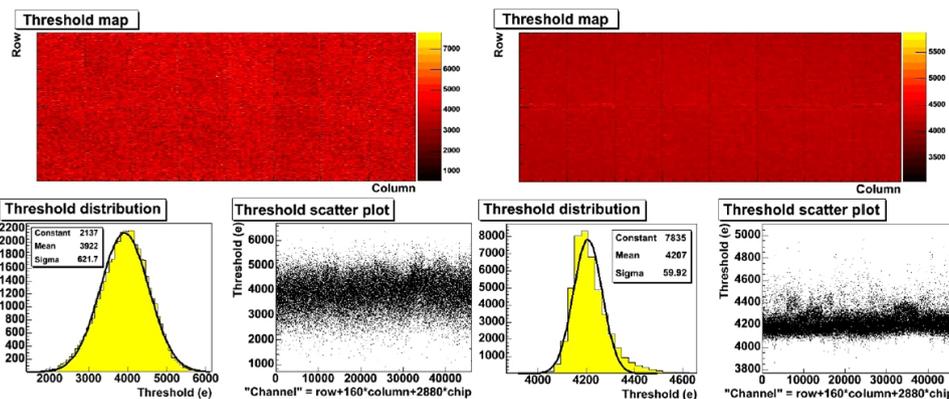
La chaîne d'acquisition d'un signal (pixel hit) nécessite de régler pour chaque pixel / module / carte optique les paramètres de fonctionnement des divers composants électroniques.

E.g. La valeur de seuil du comparateur d'un pixel, influencant directement la valeur du ToT (tps du signal électrique « au-dessus » de ce seuil)



Pour régler ces paramètres, il est nécessaire de **calibrer** régulièrement chaque pixel / module / carte optique.

E.g. En injectant directement une quantité de charge donnée à l'entrée du préamplificateur (ce qui simule un signal *étalon*)



E.g.: Valeurs du seuil AVANT (gauche) et APRES (droite) calibration.

Shifts pixel

~25% de mon temps

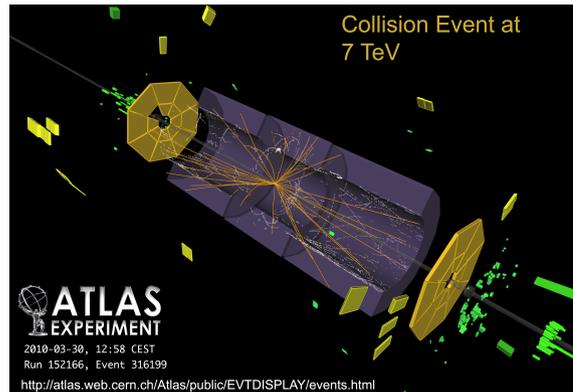
23 novembre 2009 : 1ere collisions a 900GeV



30 mars 2010 : 1ere collisions a 7TeV



30 novembre 2009 : record mondial a 2.36TeV



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

Etiquetage des jets de saveur b

Identifier les jets b est un probleme statistique simple a formuler:

Definir une méthode de classification fonction des variables du détecteur (ex: une fonction T a valeurs dans R) minimisant:

- **P(étiqueter le jet comme non-b | nature réelle du jet est b)**
- **P(étiqueter le jet comme b | nature réelle du jet n'est pas b)**

(Il est equivalent de parler d'efficacite/rejection)

Les principaux algorithmes d'ATLAS utilisent:

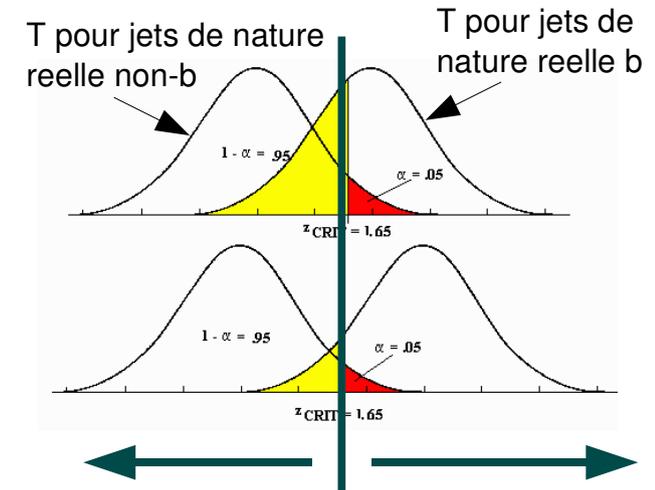
- le parametre d'impact des traces dans le jet (IPXD)
- les caracteristiques d'un vertex secondaire dans le jet (SVX)
- les caracteristiques d'un lepton associé au jet (SoftMu, SoftEl)

Ces algorithmes sont bases sur le formalisme du « likelihood ratio »:

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

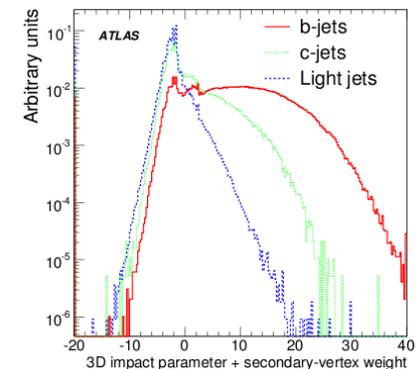
Il est possible d'additionner les poids de ces différents algorithmes pour former un classificateur plus puissant. Ce n'est cependant pas la méthode la plus puissante si les variables d'entrées sont corrélées entre elles:

→ **Motivation pour développer des méthodes d'analyse multivariée plus puissantes (Arbres de décisions, réseaux de neurones...)**



Si $T(\text{jet}) < \text{Cut}$: jet etiquete comme non-b

Si $T(\text{jet}) > \text{Cut}$: jet etiquete comme b



→ **Distributions dérivées de simulations MC (histogrammes de références)**

Mise en oeuvre du b-tagging

La première étape pour la validation des algorithmes d'étiquetage des jets b mis au point par MC est l'étude des variables qu'ils utilisent.

- Etude des propriétés des traces:

- General track selection (b-tagging quality criteria):

- $p_T > 1\text{GeV}$
- $|d_0| < 1\text{mm}$
- $|z_0 \sin\theta| < 1.5\text{mm}$
- Nb of pixel hits ≥ 2
- Nb of Si hits ≥ 7
- Nb of hits in layer0 ≥ 1

- Data sample: $\sim 0.4\text{nb}^{-1}$ of 2010 collision data at $\sqrt{s}=7\text{TeV}$

Triggering based on Beam Pick-up probes and MinBias Trigger Scintillators

8.7M events selected

- MC sample: 20M of Non-diffractive MinBias events at $\sqrt{s}=7\text{TeV}$

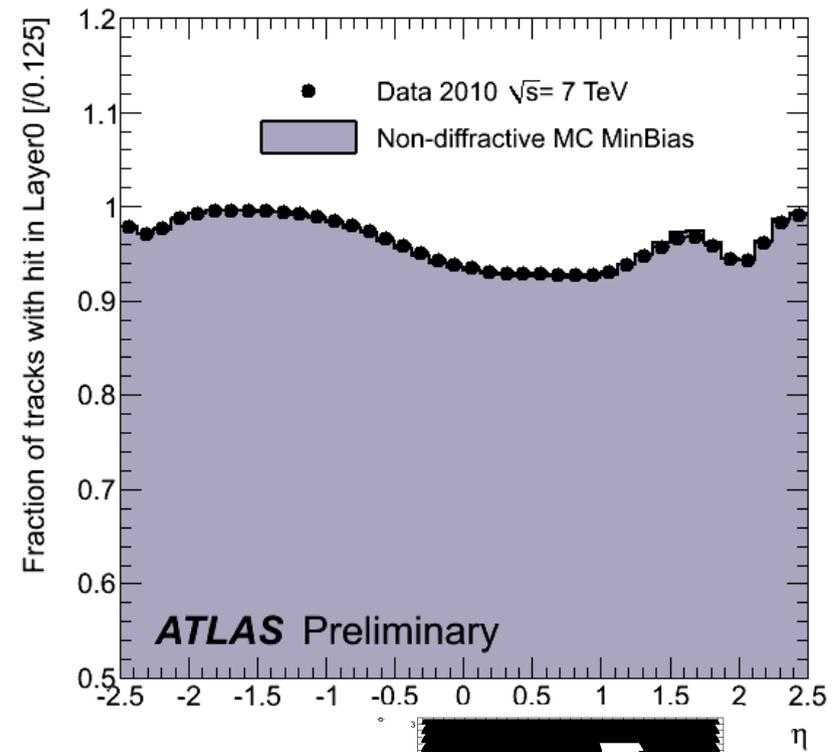
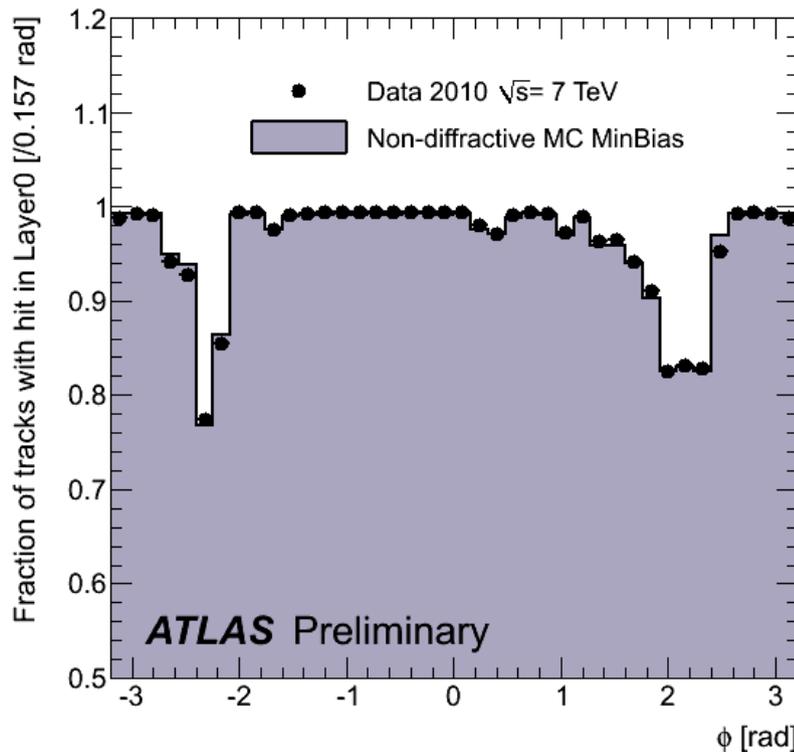
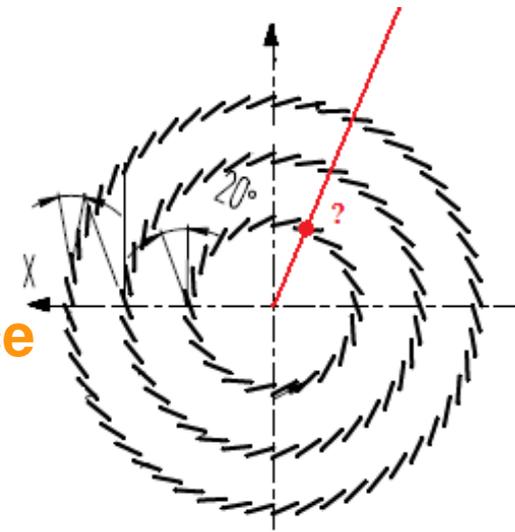
- Simulated geometry corresponds to a perfect alignment

Track properties

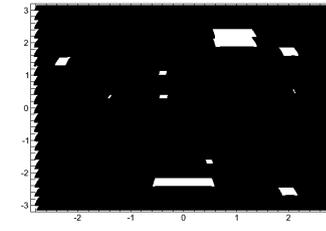
- Innermost layer is crucial for b-tagging performance

→ Looking at the fraction of tracks with a hit in Layer0

For all b-tagging quality tracks:



→ directly related to the map of dead modules

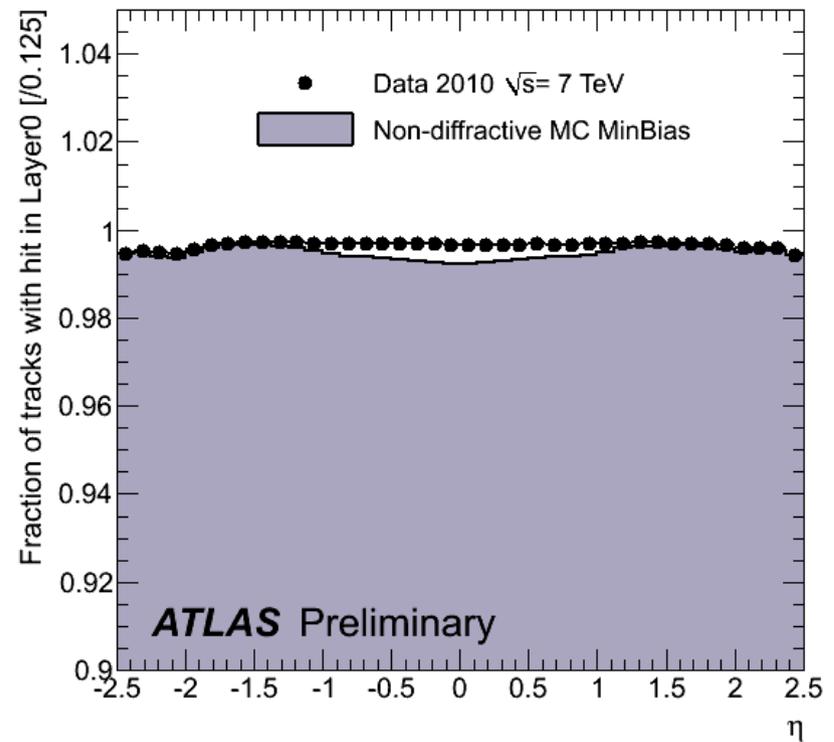
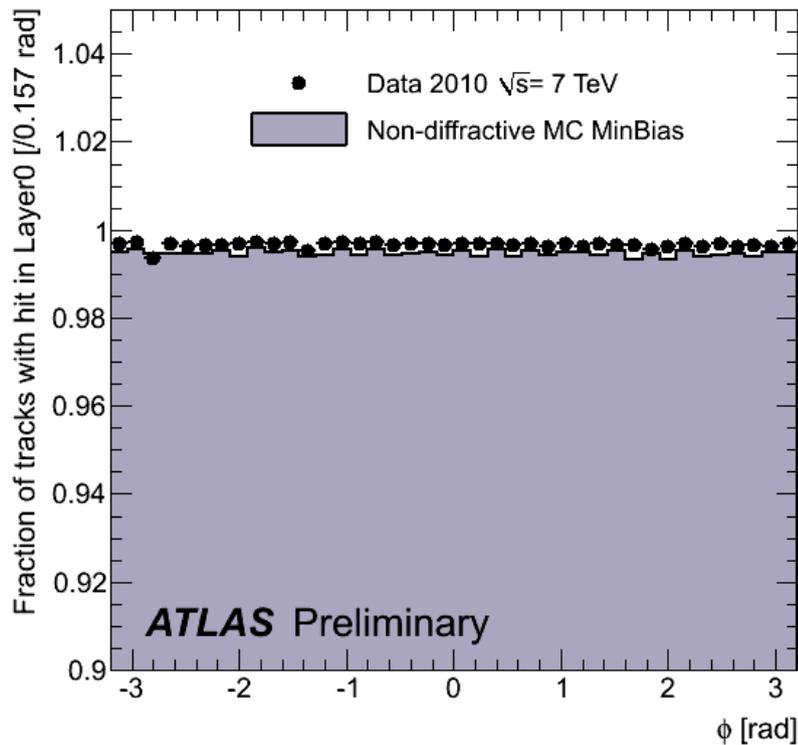
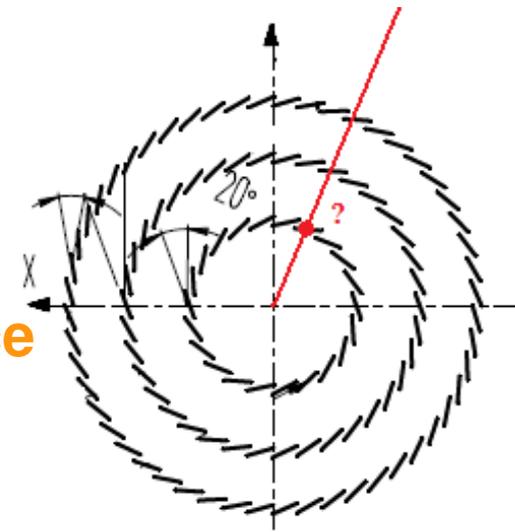


Track properties

- Innermost layer is crucial for b-tagging performance

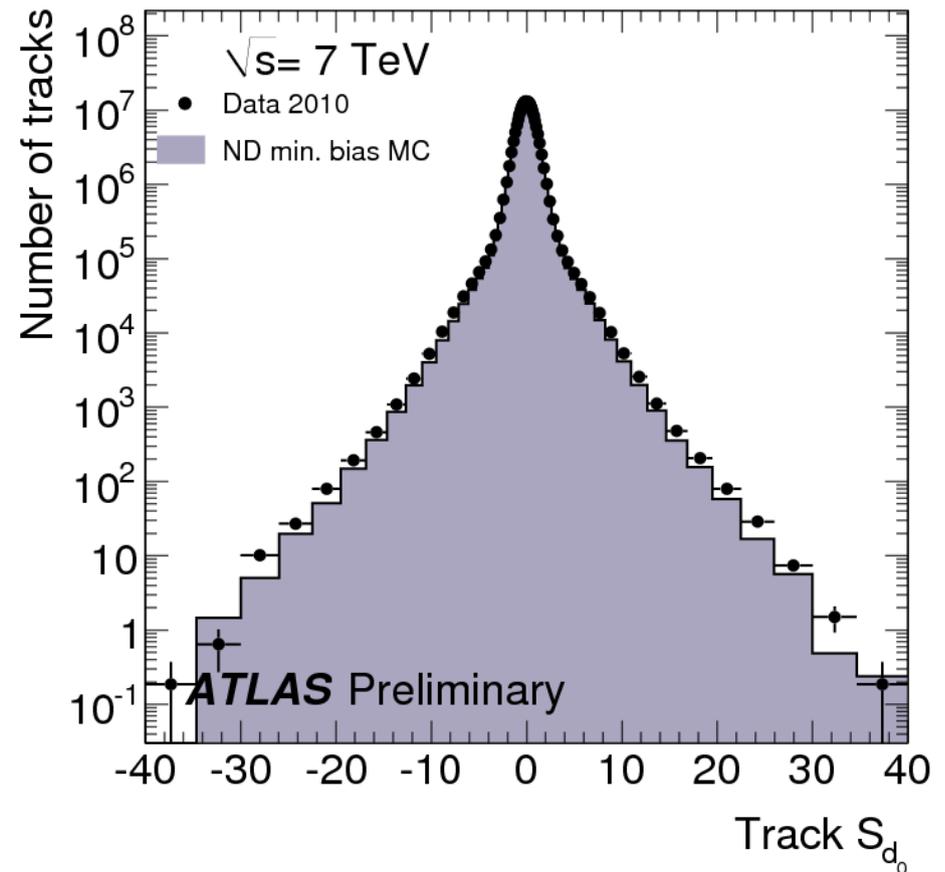
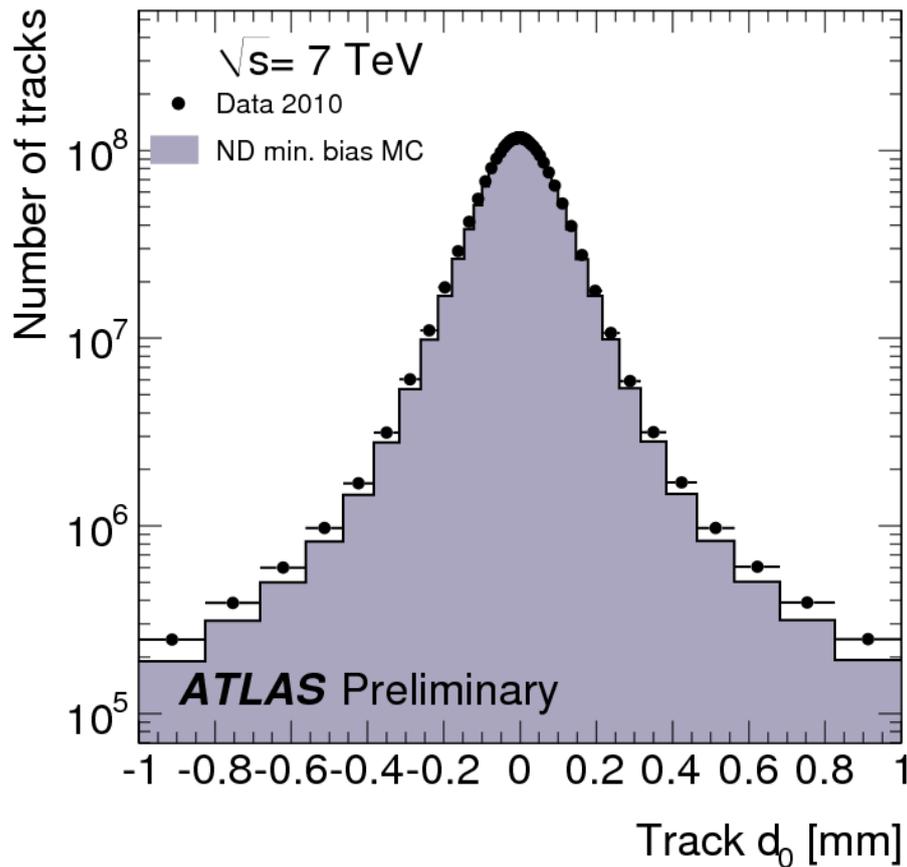
→ Looking at the fraction of tracks with a hit in Layer0

For b-tagging quality tracks crossing active silicon:



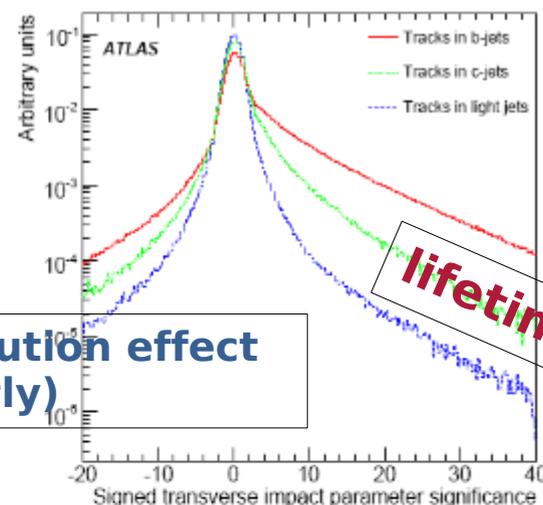
Track properties

- Transverse impact parameter d_0 (unbiased and w.r.t to PV) of b-tagging quality tracks, and its significance d_0/σ_{d_0}

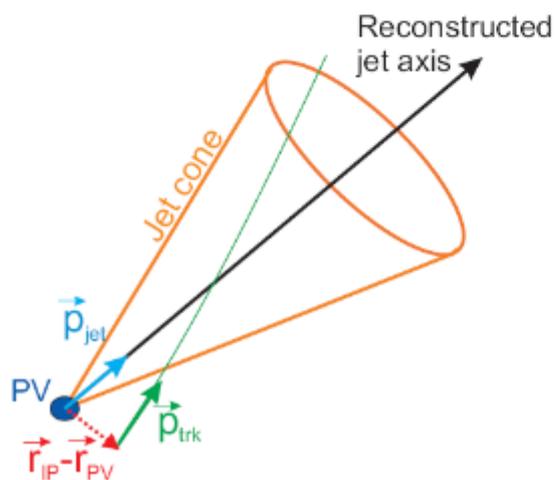


Tracks in jets

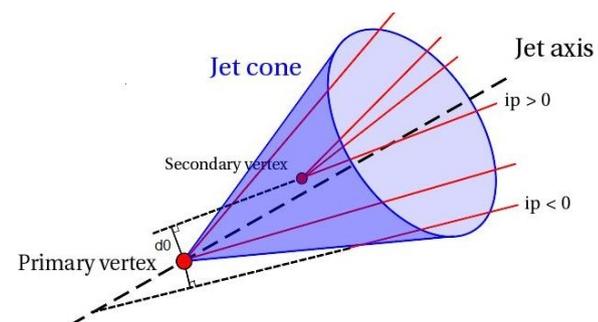
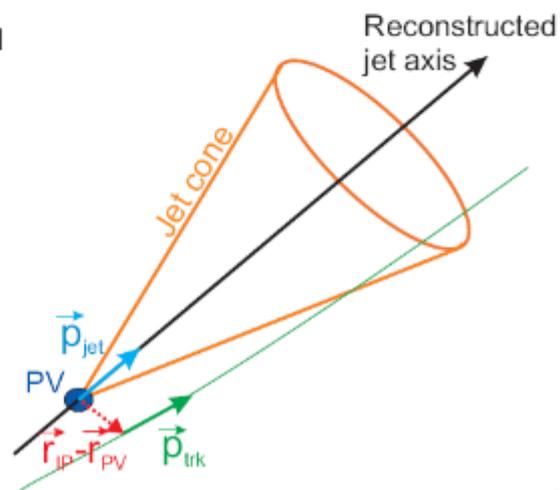
- To sign the IP of tracks allows to further discriminate their origin



$d_0 > 0$

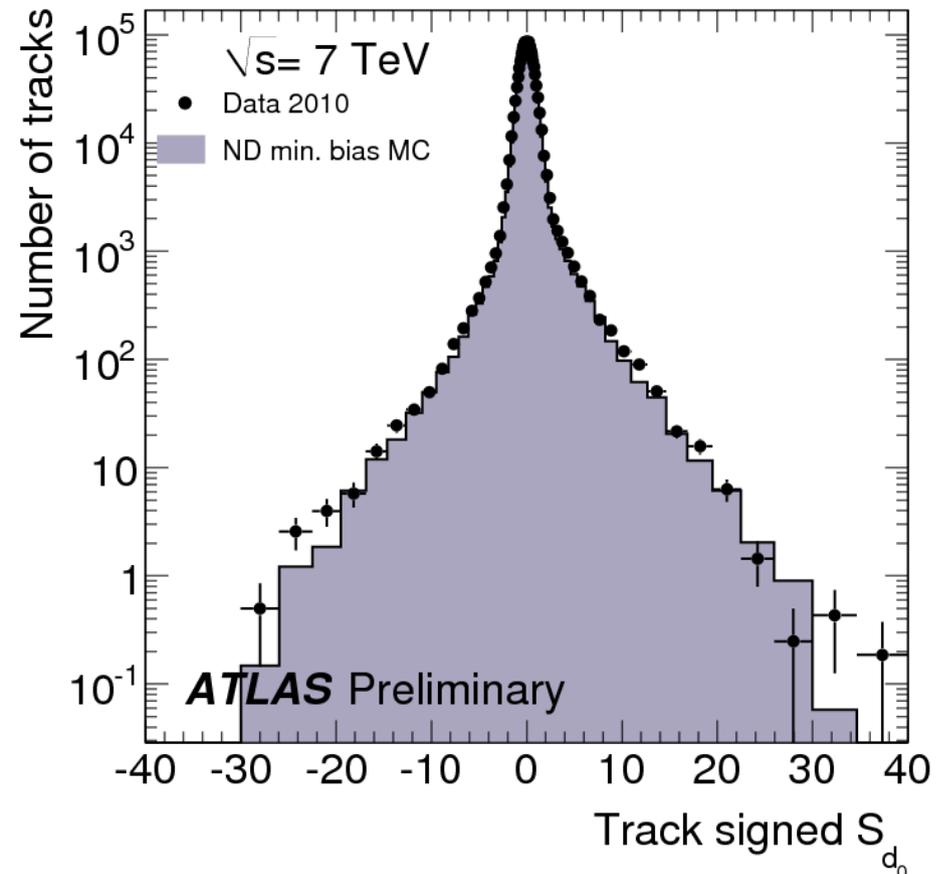
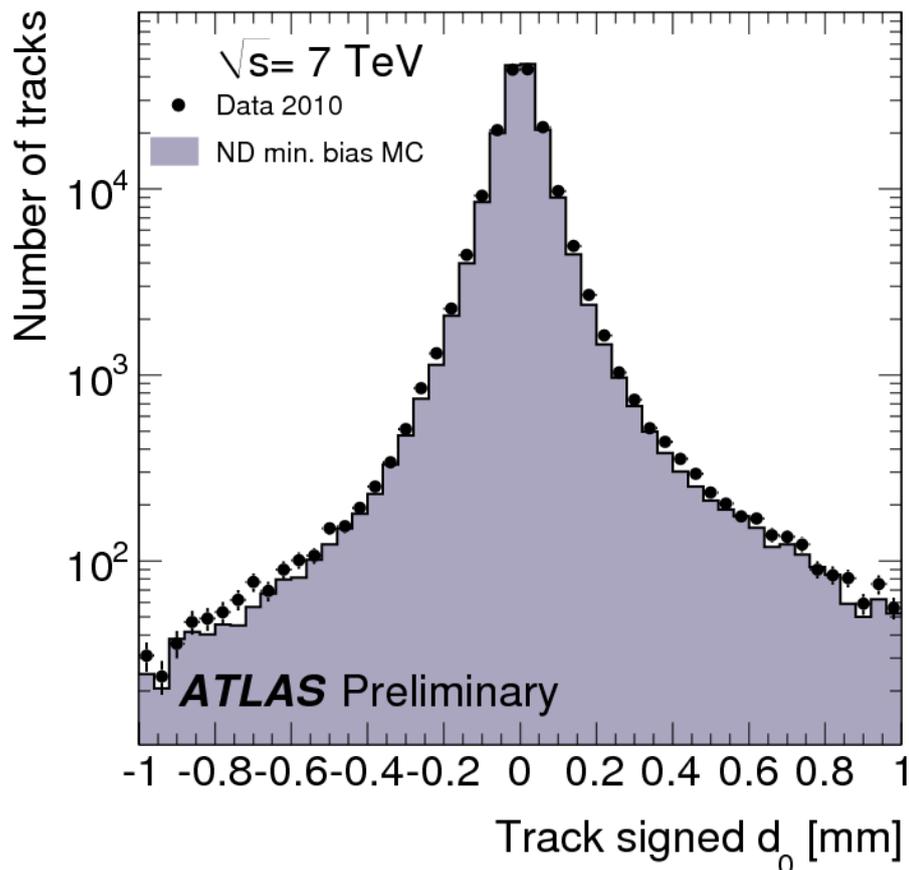


$d_0 < 0$



Tracks in jets

- Transverse impact parameter *signed w.r.t. the jet axis* of b-tagging quality tracks in jets, and its significance:

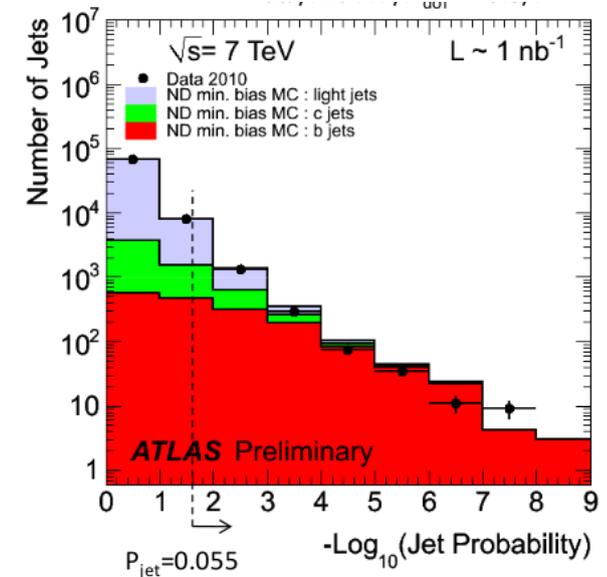
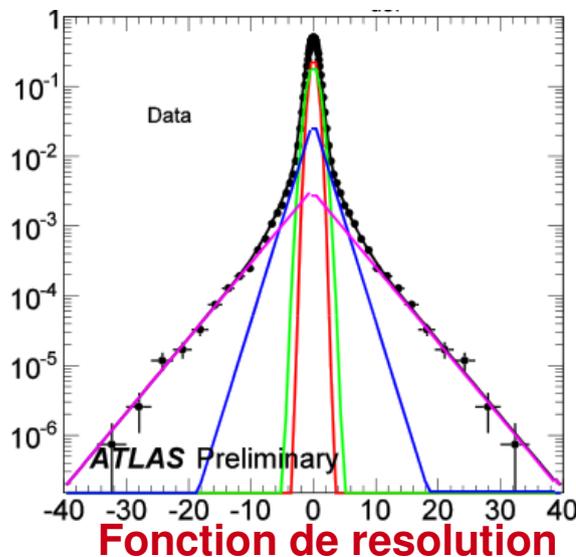
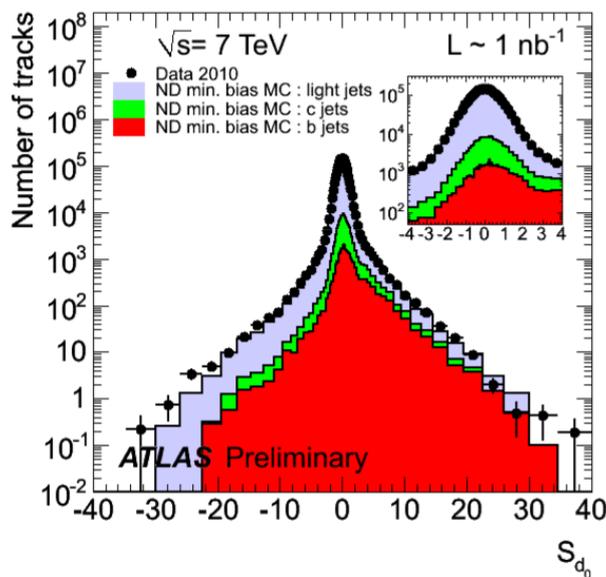


→ Asymmetry shows life-time contributions

Un algorithme pour les premières données

- « JetProb »: Algorithme simple basé sur les données (i.e. ne nécessitant aucun histogramme de référence provenant de simulation MC)

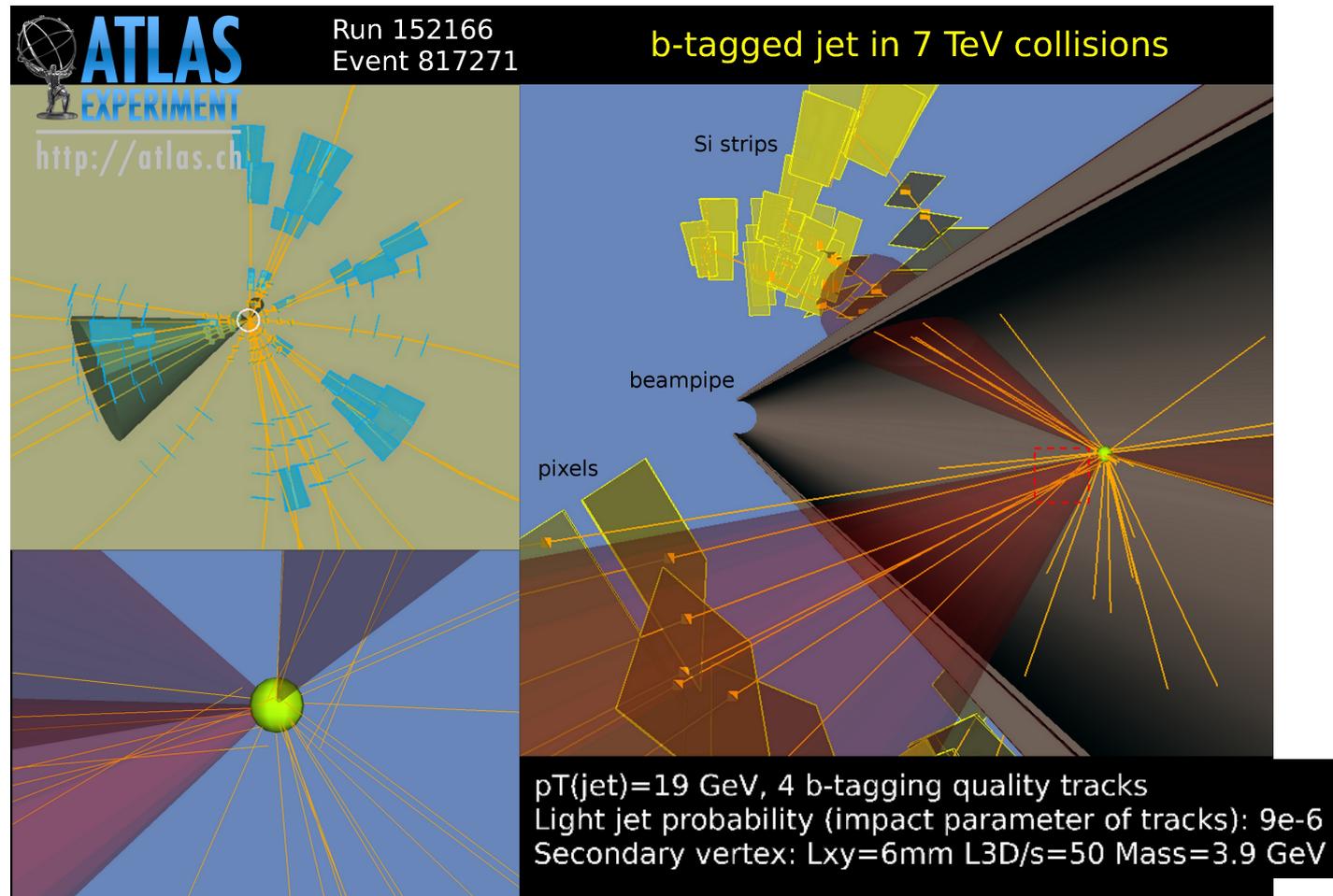
→ Mesure la compatibilité d'une trace avec l'hypothèse qu'elle provient du vertex primaire
 → Retourne pour chaque jet sa probabilité d'être un jet léger



Distributions des poids JetProb

La probabilité est calculée en comparant la signification de chaque traces ayant un $d_0 > 0$ à une fonction de resolution extraite de la partie négative de cette distribution

Event display d'un candidat jet b



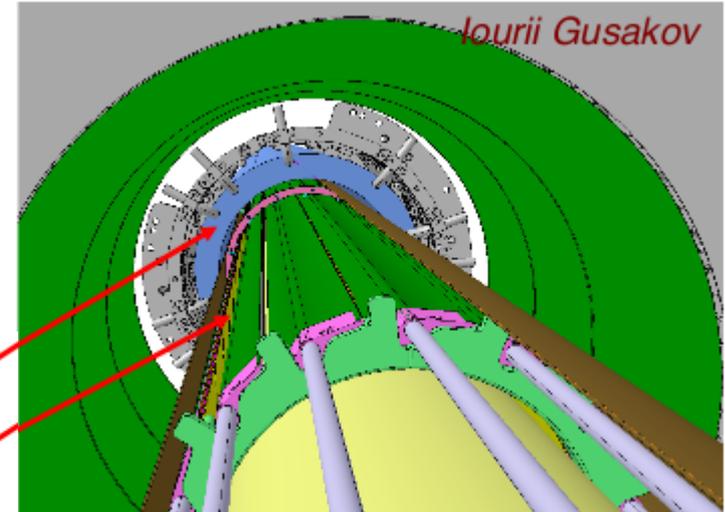
Upgrade du detecteur a pixels

- **Insertable B-Layer (IBL)**

Les radiations entraineront irremediablement la dégradation progressive de l'ensemble du détecteur à pixel (surtout la b-layer)

Existing B-layer

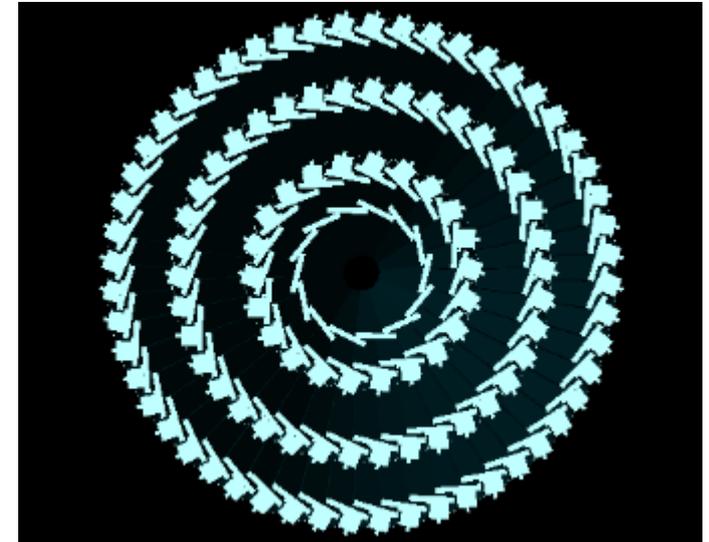
IBL (Staves)



→ Il est prévu d'insérer une couche supplémentaire de détecteur à un rayon de 3,5cm pour compenser la baisse des performances de tracking.

Cette couche supplémentaire de détecteur sera conçue principalement en fonction du gain en performances de b-tagging (Laurent responsable de cet aspect au sein de la Task Force IBL)

→ **Etudes nécessaires dans différentes configurations (IBL, nb de modules morts...) pour déterminer delais, design etc (CPPM déjà fortement impliqué).**

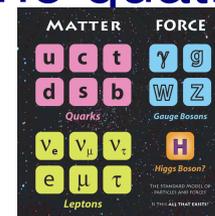


Conclusion

- Durant cette première année:
 - Participation à l'opération du détecteur à pixels
 - Production des histogrammes de références des algorithmes d'étiquetage des jets b
 - Etudes de tracking pour b-tagging avec les premières données
 - Occasions de prendre en main les nombreux outils software d'ATLAS
 - Acquisition de connaissances dans divers domaines
- (Enorme merci à Laurent, Sasha, Cecile, Georges, ... pour leur précieuse aide!)

Perspectives

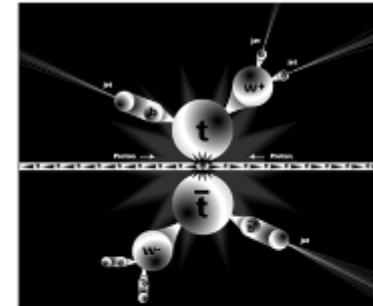
- Travail à venir:
 - Reprendre le travail de Cécile pour la mise en oeuvre de JetProb
 - Mettre en oeuvre les algorithmes plus évolués
 - Participer à l'étude sur les performances avec IBL
 - Travail sur les pixels (modules morts, opération du sonar destiné à mesurer les fuites de liquide de refroidissement)
 - Application du b-tagging pour la redécouverte du quark top.
 - Recherche (ou exclusion) de l'existence d'une quatrième génération de quarks.



Merci pour votre attention

Bonus slides

Motivations



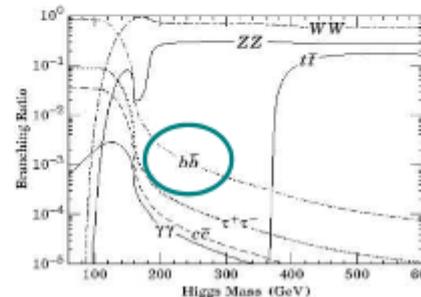
- **tt** measurements in first data :
 - **b-tagging** even more important @7TeV
 - With beams energy decreasing (14TeV → 10TeV → 7TeV)
 - **S/B in $\sigma(tt)$ suffered a lot : 10TeV → 7TeV :**
 - $\sigma(tt)$ reduced by 2.5
 - $\sigma(W+jets)$ (main background) by only ~1.6
 - Effect of 1 b-tag jet requirement :

20pb ⁻¹ @7TeV	No b-tag	1 b-tag : JP60
ttbar	51	~35
W+jets	28	<1
S/B	1.3	2.9

evb jib	200pb ⁻¹ @10TeV	20pb ⁻¹ @7TeV
ttbar	1286	51
W+jets	448	28
Single top	81	4
Other bkgd	67	7
S/B	2.1	1.3
S/√(S+B)	30	5.4

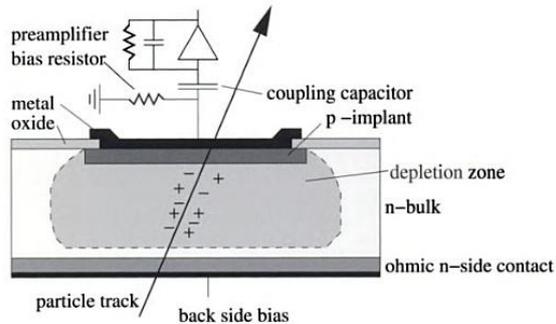
#events passing selection
(no b-tagging cut)

- **b-tagging** also needed e.g. :
 - $\sigma(bb)$
 - **New physics**
 - **Higgs** (H → bb dominating at low mass)
 - etc.



2

Pixels « bruyants »

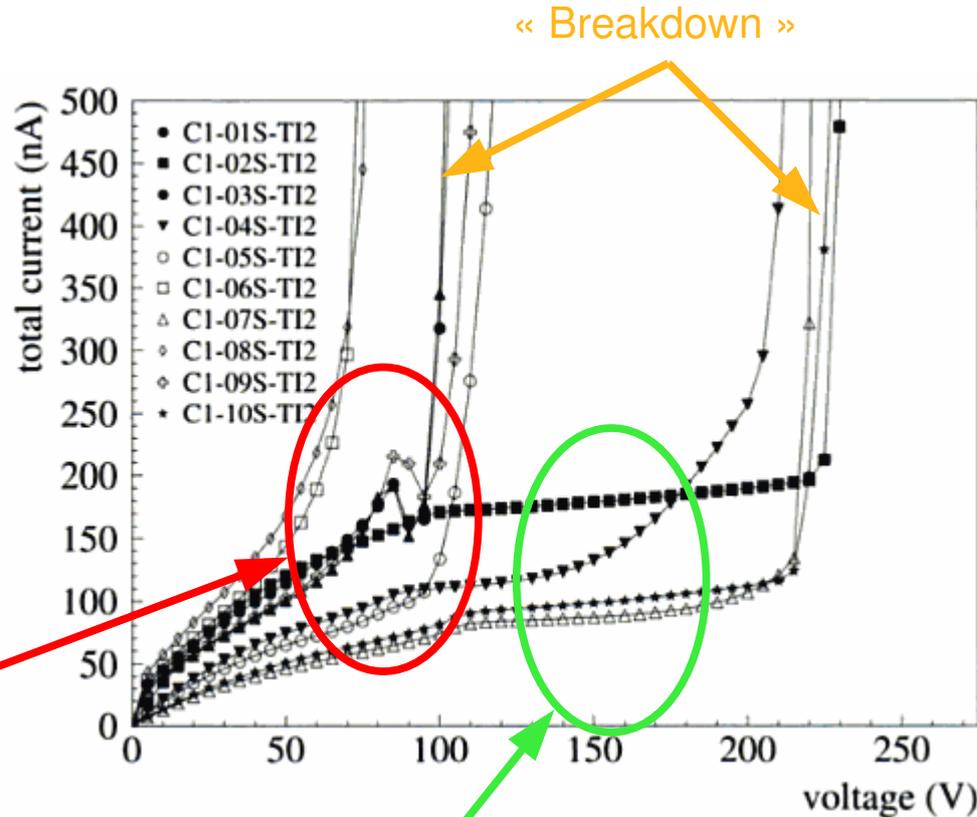


Pixels bruyants:

La tension de « breakdown » est inférieure à la tension de depletion

→ Des déviations de la courbe I-V par rapport à la courbe « normale » peuvent être dues à toutes sortes de problèmes durant le processus de fabrication (impuretés, etc)

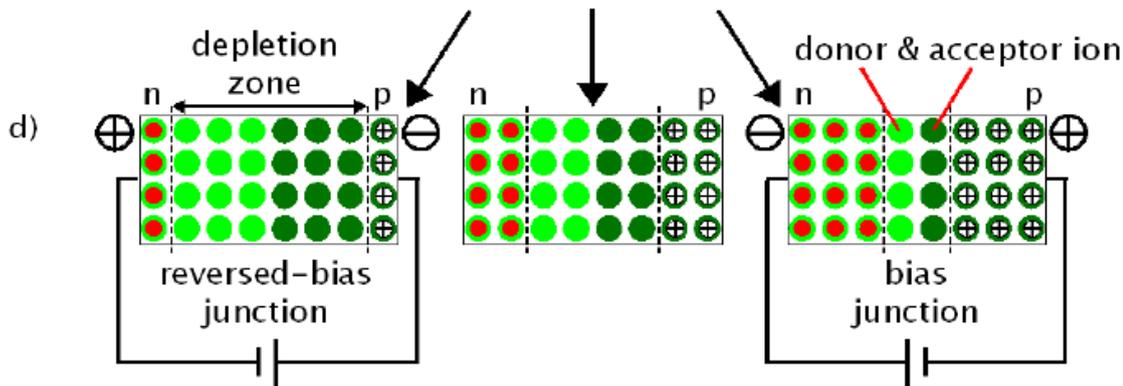
→ Les radiations contribueront à aggraver ce type de problème.



Pixels OK:

Point de fonctionnement sur le « plateau »

Depletion of silicon

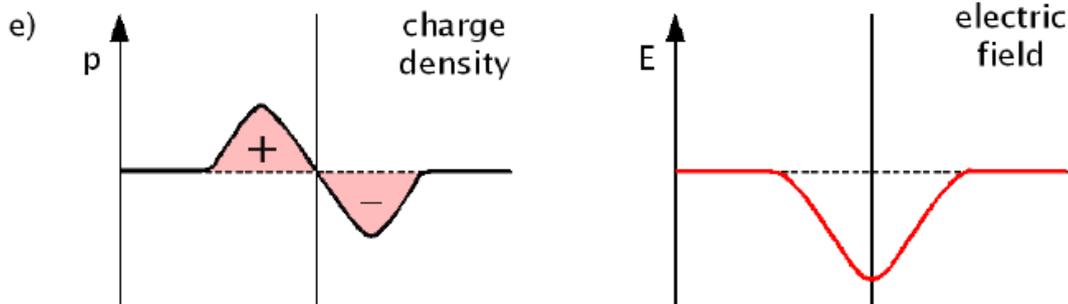


$$V_{depl} = \frac{d^2 e}{2\epsilon} \frac{N_A N_D}{(N_A + N_D)}$$

$$E(x) = - \left[\frac{V + V_{depl}}{d} - \frac{2xV_{depl}}{d^2} \right]$$

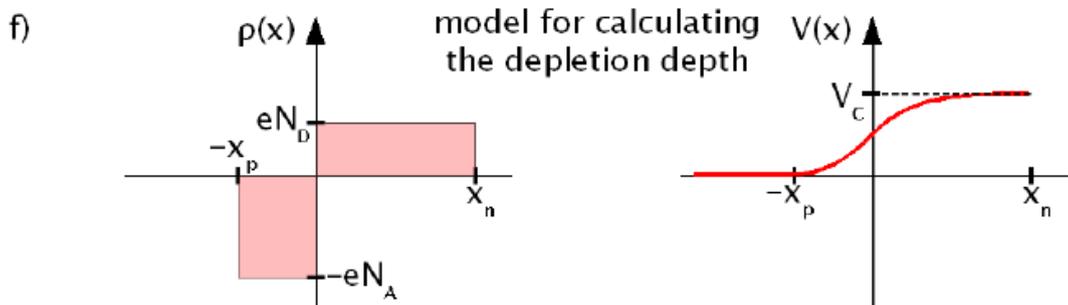
d : thickness of detector (n layer)

x : depth in detector



$$x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon(V_C + V_{bias})}{eN_D \left(1 + \frac{N_D}{N_A}\right)}}$$

$$x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon(V_C + V_{bias})}{eN_A \left(1 + \frac{N_A}{N_D}\right)}}$$



ϵ : dielectric const.

e : e^- charge

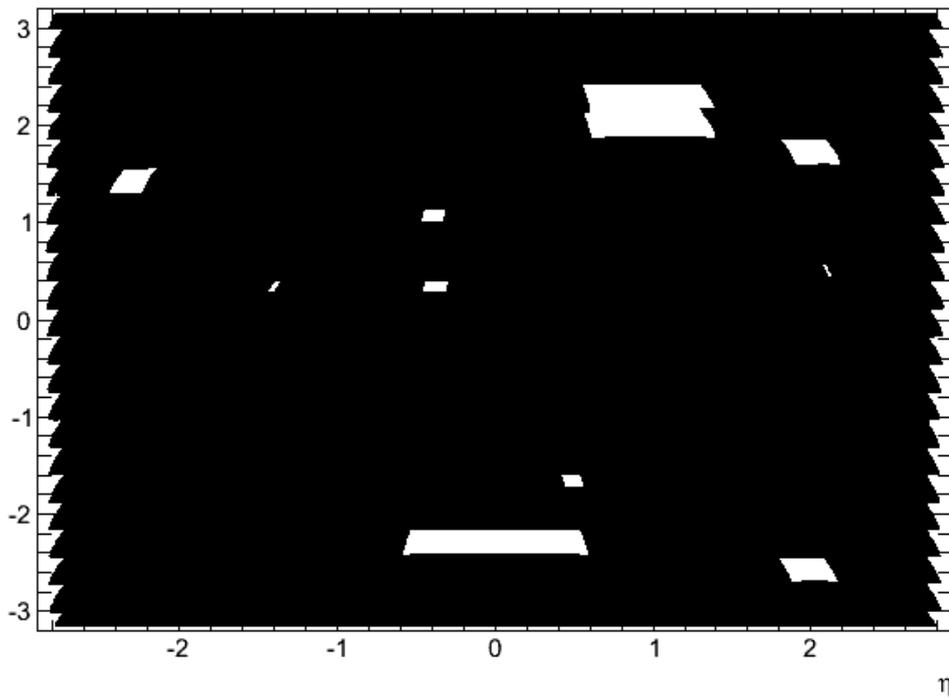
N_D : donor-

N_A : acceptor-

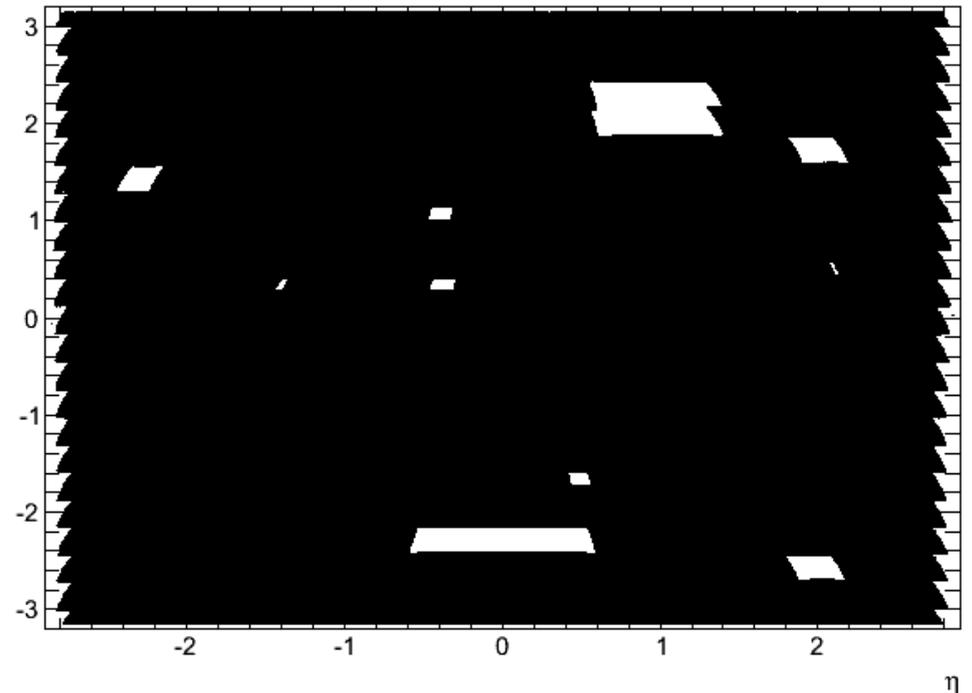
concentration

Maps of dead silicon

- Maps obtained by looping over all clusters:
→ For Layer0:



data



MC

References for tracking and JetProb studies with first data

- 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