



Mise en œuvre du calorimètre électromagnétique et recherche de nouvelle physique dans les canaux électrons avec l'expérience ATLAS auprès du LHC

Marine Kuna

Directeur de thèse : Fabrice Hubaut

Journées Jeunes Chercheurs 2008

Le LHC

Objectifs de physique du LHC :

- Higgs
- Nouvelle Physique

→ Premiers faisceaux en septembre 2008

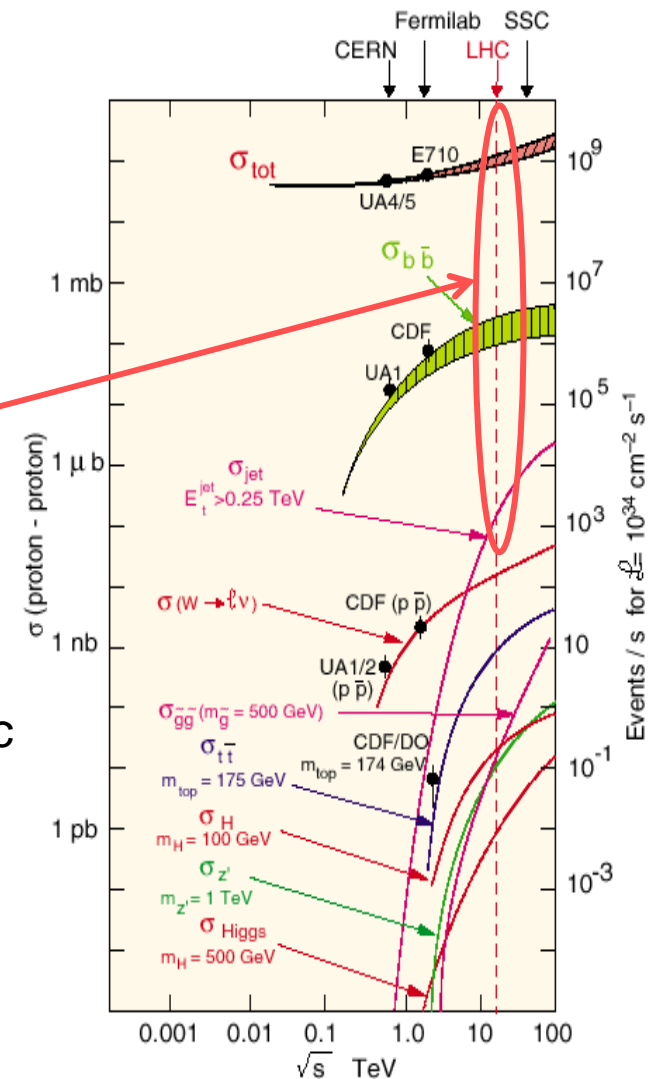
→ Redémarrage en 2009 à 10 TeV, qqs 100 pb⁻¹ ?

Importance de bruit de fond QCD

- Déclenchement sur les leptons
- Rôle majeur des électrons (signature simple)

→ Maîtriser le calorimètre em : mise en œuvre avec des muons cosmiques et les 1^{ers} faisceaux LHC 1

→ Reconstruction de l'énergie : nécessité de déterminer la matière en amont du calorimètre 2



Le détecteur ATLAS

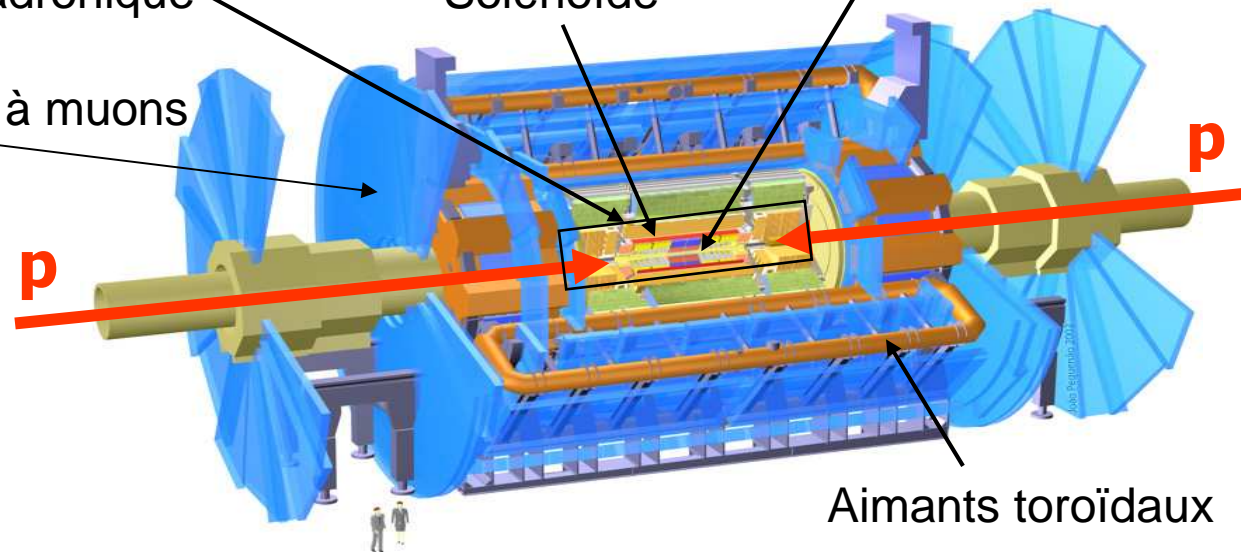
□ Classique dans sa structure :

Calorimètres électromagnétique
& hadronique

Spectromètre à muons

Solénoïde

Trajectographe interne
(Silicium + Trajectographe à
Rayonnement de Transition)



□ Inédit par sa taille :

- L ~ 44 m, \varnothing ~ 22 m
- 7000 tonnes

Système de déclenchement

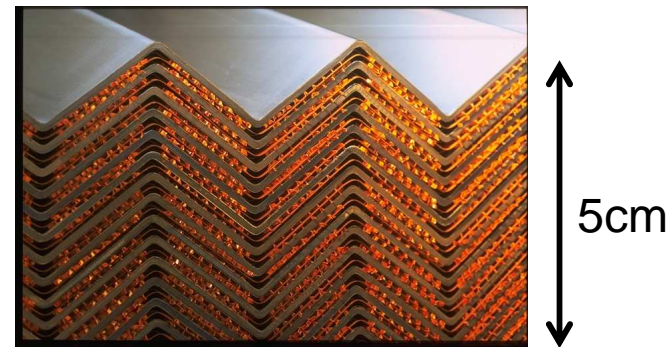
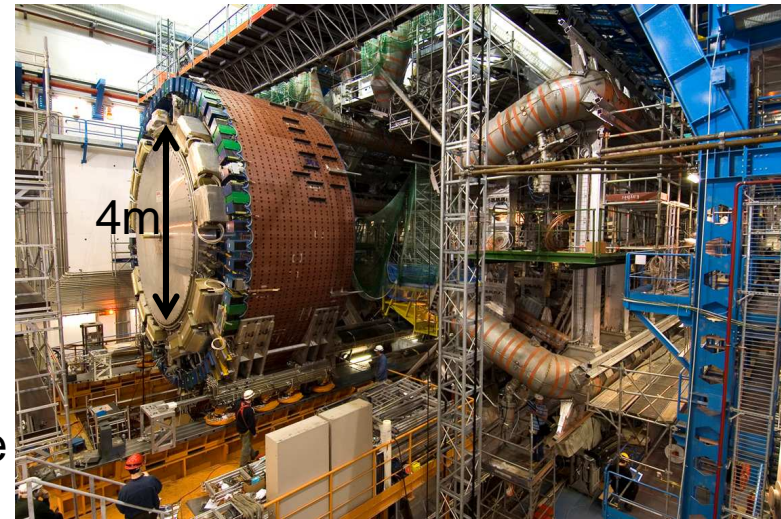
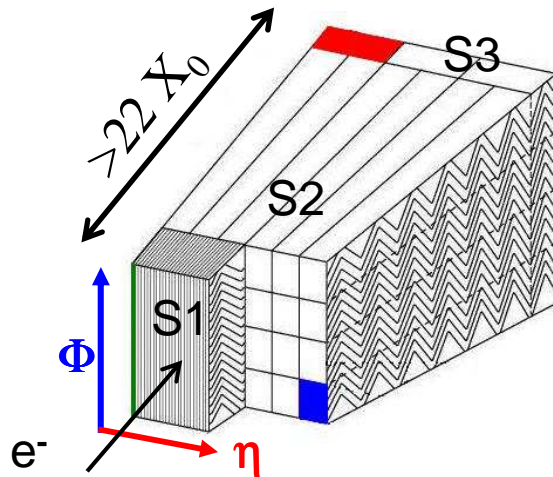
3 niveaux \rightarrow rejet en ligne $\sim 10^7$

1 GHz \rightarrow 75 kHz \rightarrow 2 kHz \rightarrow 200 Hz

Calorimètre électromagnétique

- ❑ Echantillonnage plomb-argon liquide (90K)
- ❑ Géométrie en accordéon → herméticité azimuthale parfaite
- ❑ Couverture angulaire : $|\eta| < 3.2$
- ❑ Epaisseur suffisante pour arrêter des électrons et photons jusqu'à $\sim 1\text{TeV}$
- ❑ Haute granularité transverse et longitudinale

→ 175 000 canaux



Mise en œuvre du calorimètre

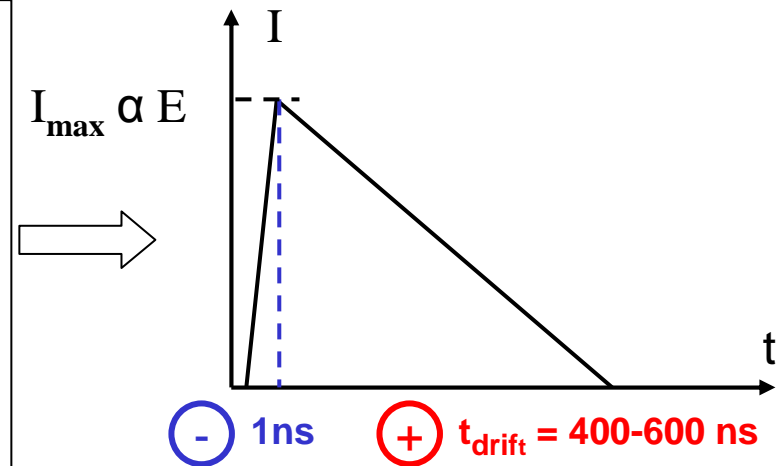
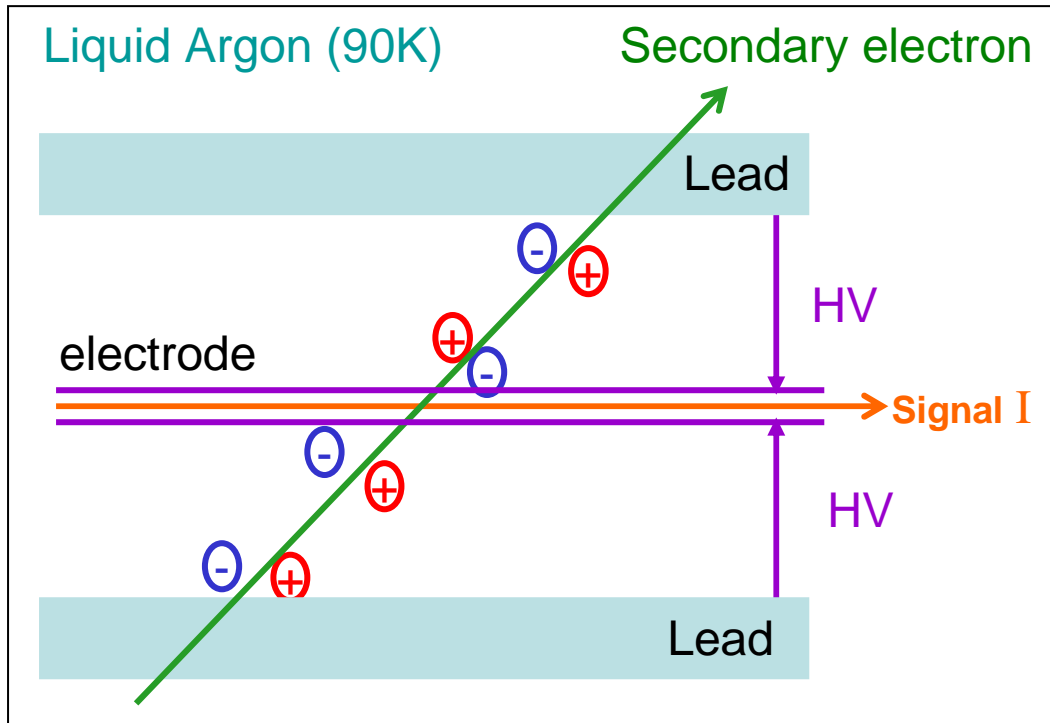
- ❑ Le calorimètre EM est maintenant installé dans la caverne d'ATLAS et opérationnel

- ❑ Il a été continuellement soumis à l'épreuve des tests :
 - Tests faisceaux : 1999-2004
 - La mise en œuvre in situ a lieu depuis 2006

- ❑ Mon travail : vérification de la chaîne complète de reconstruction de l'énergie (plus particulièrement les formes des signaux de physique délivrés par chaque cellule)
 - Avec les données du rayonnement cosmiques
 - Avec les données des premiers faisceaux du LHC.

Reconstruction de l'énergie

- ❑ Les électrons et photons secondaires ionisent les atomes d'argon
- ❑ La haute tension fait dériver les électrons vers l'électrode et les ions vers le plomb
- ❑ Le mouvement des particules chargées génère un courant collecté par l'électrode par effet capacitif.

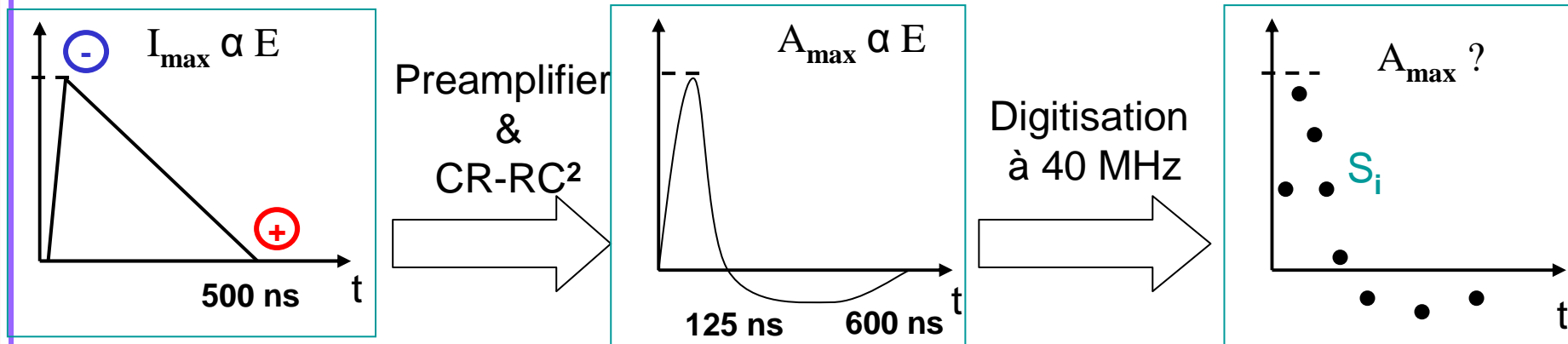
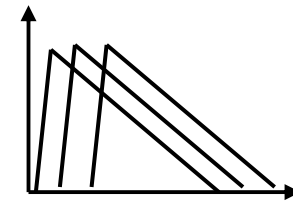


Aire du triangle $\propto Q$
(possible in D0 run1 but impossible at the LHC frequency)

Reconstruction de l'énergie

❑ Taux de croisement : D0 run I ~ 3.5 μ s, D0 run II ~ 396 ns, LHC ~ 25 ns

❑ $t_{\text{drift}} \sim 500$ ns \rightarrow changer le signal de forme pour éviter l'empilement



❑ Du signal original, on ne garde que 5 points (échantillons) autour du pic

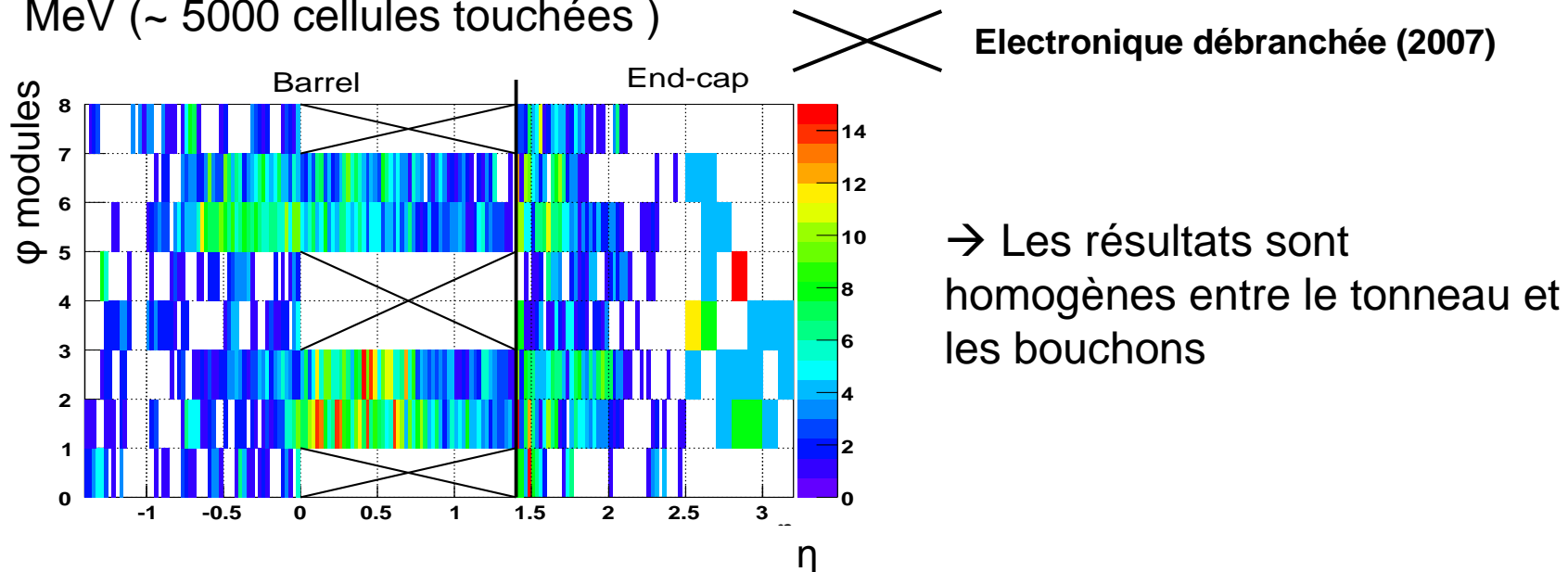
❑ L'amplitude maximale se déduit des points grâce à la méthode de filtrage optimal.

$$A_{\text{max}} = \sum_{i=1}^5 a_i (S_i - \text{Pedestal}) \quad A_{\text{max}} \Delta T = \sum_{i=1}^5 b_i (S_i - \text{Pedestal})$$

\rightarrow Si les formes de physique prédites sont fausses, l'énergie reconstruite est fausse !

Données cosmiques (2007)

- Analyse des photons de bremsstrahlung de haute énergie issus des muons cosmiques.
- Carte du nombre de cellules touchées par des γ ayant laissé plus de 500 MeV (~ 5000 cellules touchées)



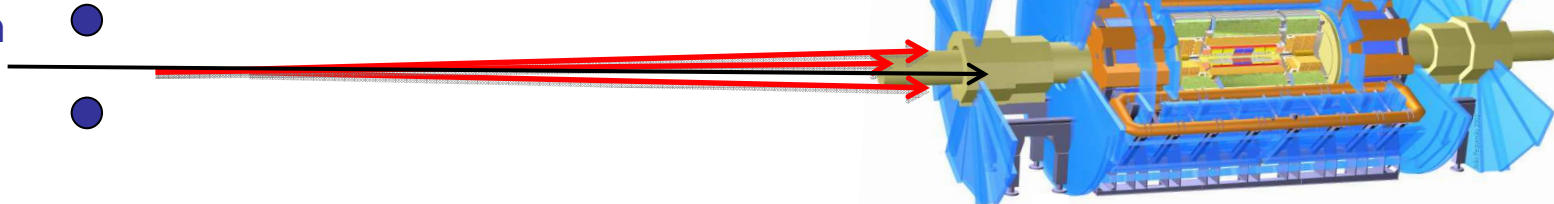
- Il s'agit de la première étude de données in situ sur l'ensemble du calorimètre électromagnétique.

→ Ce travail a donné suite à une note publique (*ATL-LARG-PUB-2008-001*)

Données faisceau (Sept 2008)

- Halo : interaction du faisceau avec le vide imparfait du tube à vide
 - Déclenchement sur ~4000 événements
 - Collimateur ouvert

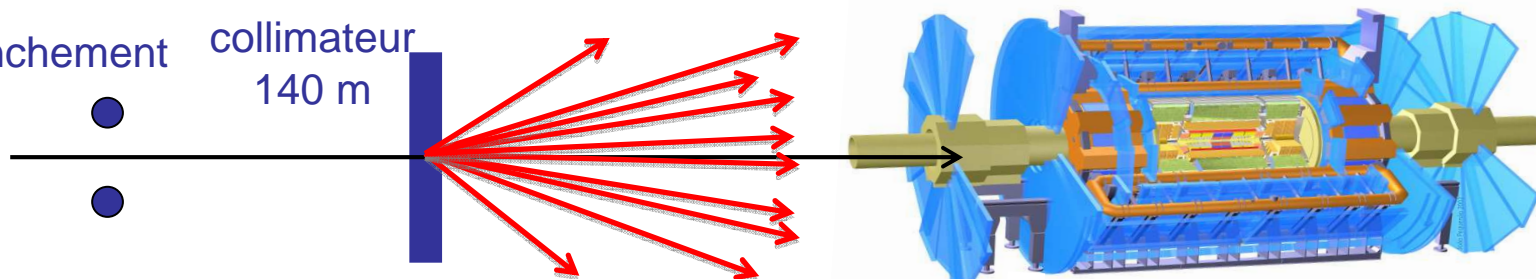
Déclenchement
175 m



- Evénements « splash » : interaction du faisceau avec le collimateur
 - Déclenchement sur ~100 événements
 - Collimateur fermé : beaucoup d'activité dans le détecteur

Déclenchement
175 m

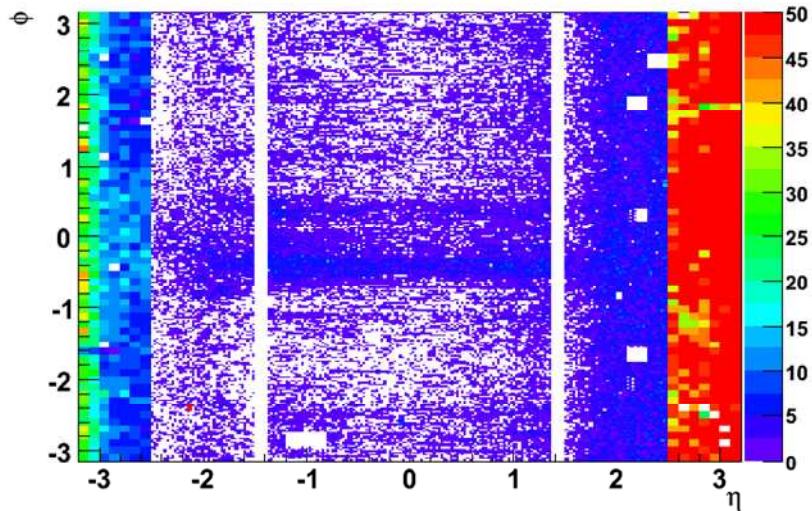
collimateur
140 m



Données faisceau (Sept 2008)

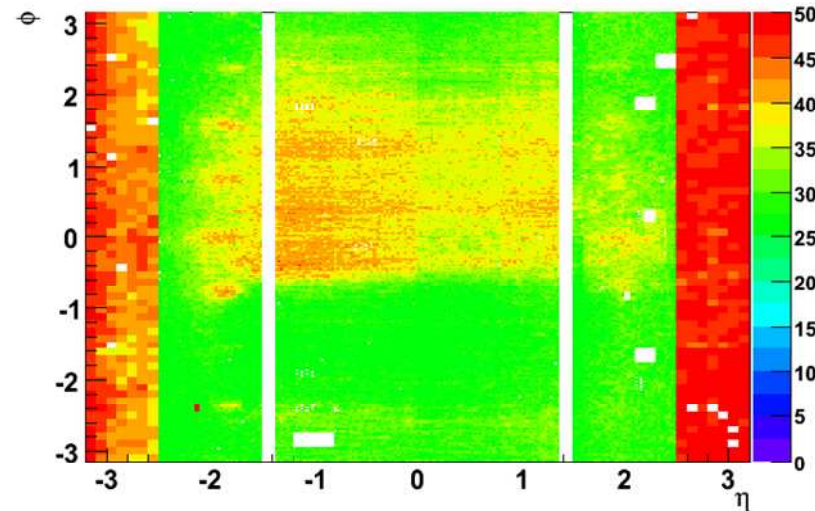
- Cartes d'occupation du calorimètre (S2) :
 - Cellules avec signal $> 5\sigma$

■ Halo



→ Côté A illuminé : attendu

■ Splash



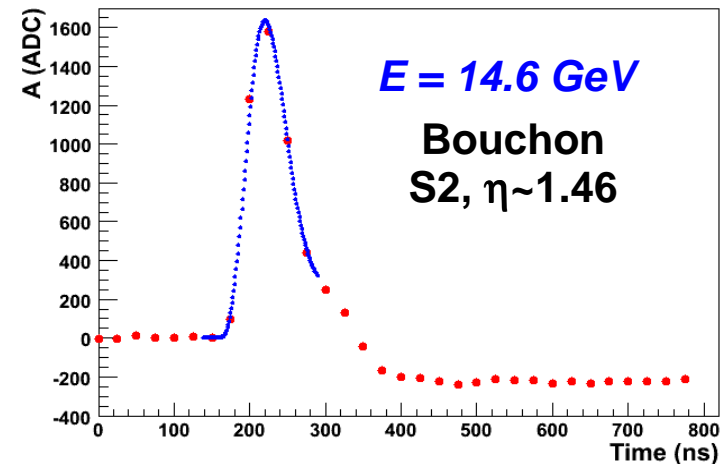
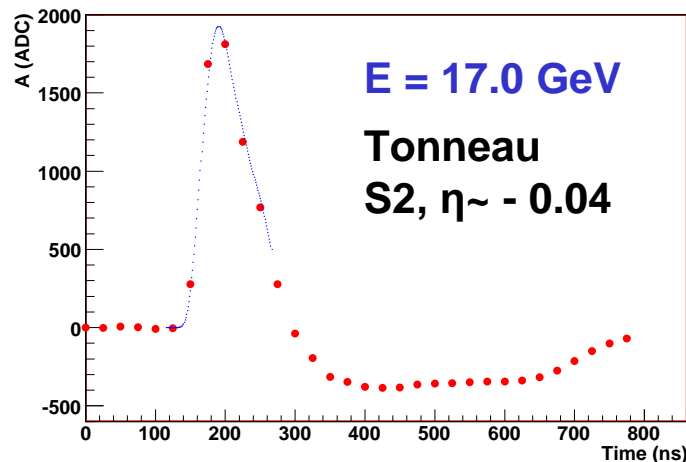
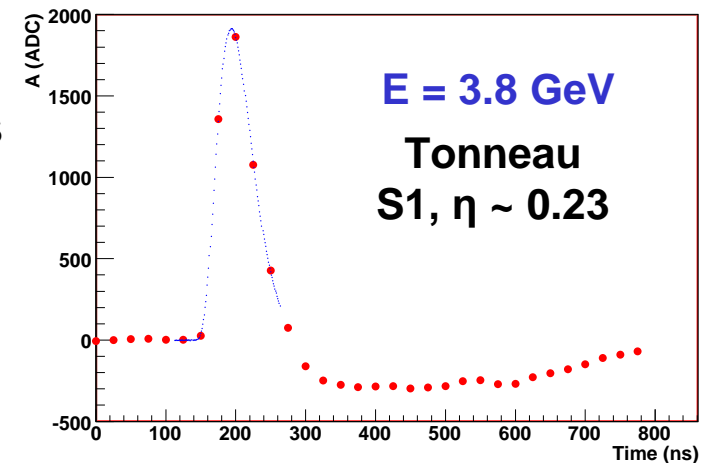
→ Toutes les cellules sont touchées !

Données et prédiction

● Données
●●● Prédiction

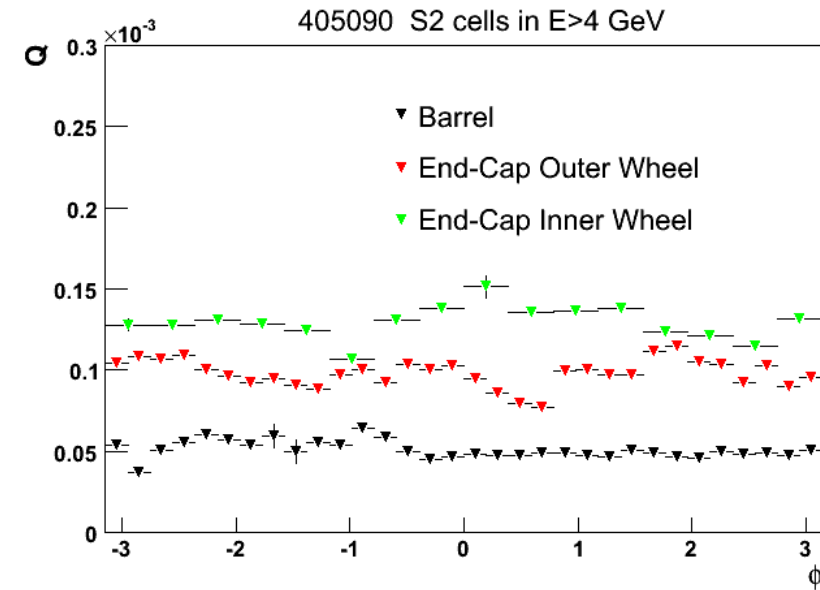
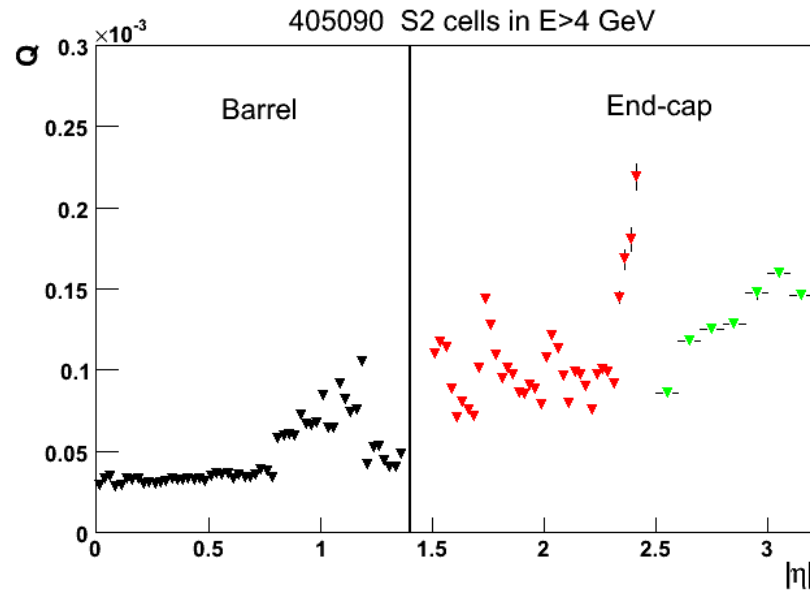
→ Superposition des données avec les formes de physique prédites (formes typiques avec dépôts d'énergie de l'ordre du GeV)

→ Très bon accord qualitatif sur les 5 échantillons dans toutes les couches du détecteur, dans le tonneau et les bouchons



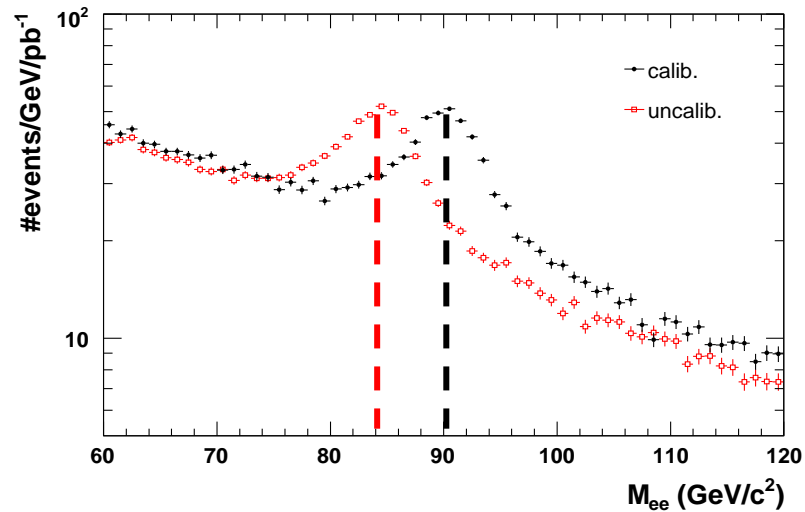
→ Etude quantitative sur l'ensemble du calorimètre EM

Données faisceau : résultats



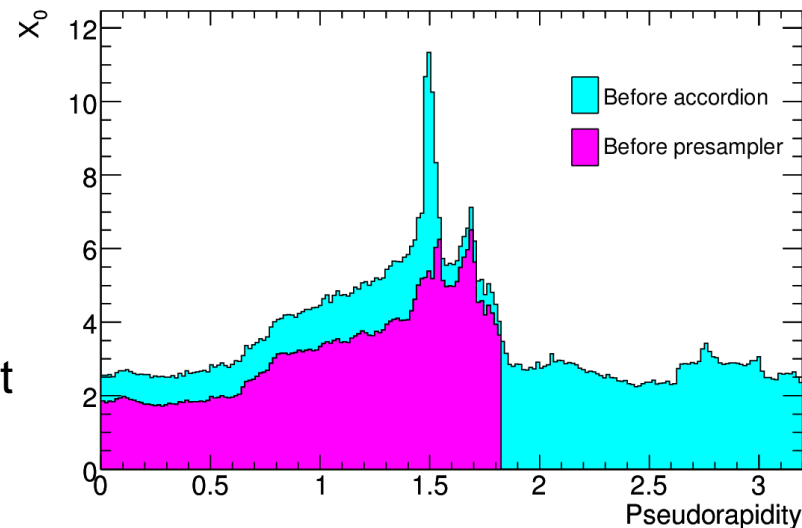
- L'étude sur les données à un faisceau a permis d'étudier les cellules de manière systématique
- Les résultats sont très encourageants pour l'arrivée des données du LHC.

Matière en amont du calorimètre (1)



□ Une méconnaissance de la matière peut faire varier l'échelle d'énergie de 5% (ex : Z à 85 GeV au lieu de 91 GeV !)

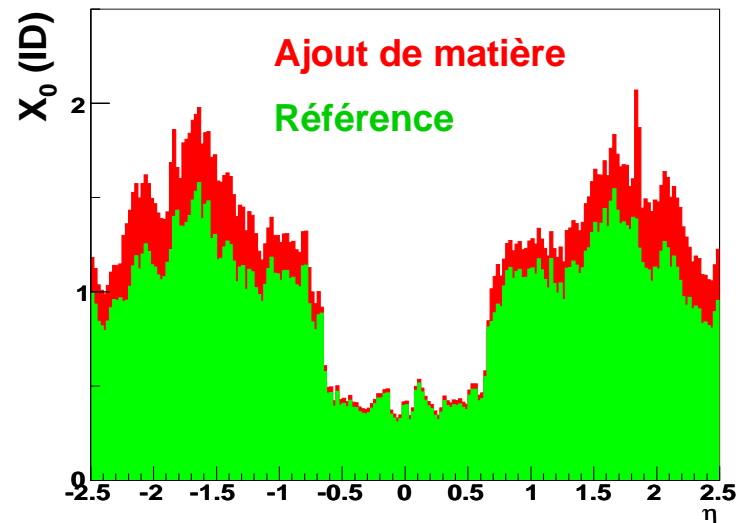
- On estime déjà à plus de $3X_0$ la matière devant le calorimètre !
- Si les parties actives de détecteur sont pesées précisément, ce n'est pas le cas des services



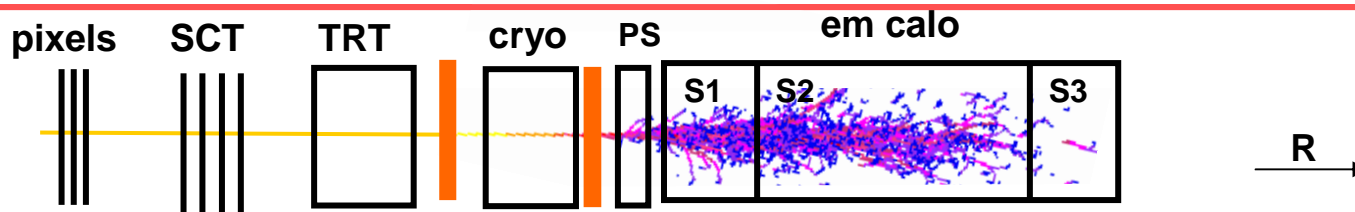
→ La mesure de la matière avec les données sera un enjeu de taille pour ATLAS

Matière en amont du calorimètre (2)

- ❑ Les électrons laissent une signature caractéristique dans le détecteur interne et dans le calorimètre
→ Déterminer la quantité et la position de la matière
- ❑ Les désintégrations de W et de Z sont les sources les plus propres d'électrons isolés de haut p_T
→ Simulation Monte-Carlo de 2.5 millions événements $W \rightarrow e\nu$ ($\sim 250 \text{ pb}^{-1}$)
- ❑ La matière de référence correspond à une estimation actuelle de la matière
- ❑ Des ajouts de matière de l'ordre de grandeur de notre incertitude
- ❑ Référence et ajouts de matière simulés sur des quadrants indépendants en ϕ



Matière en amont du calorimètre (3)



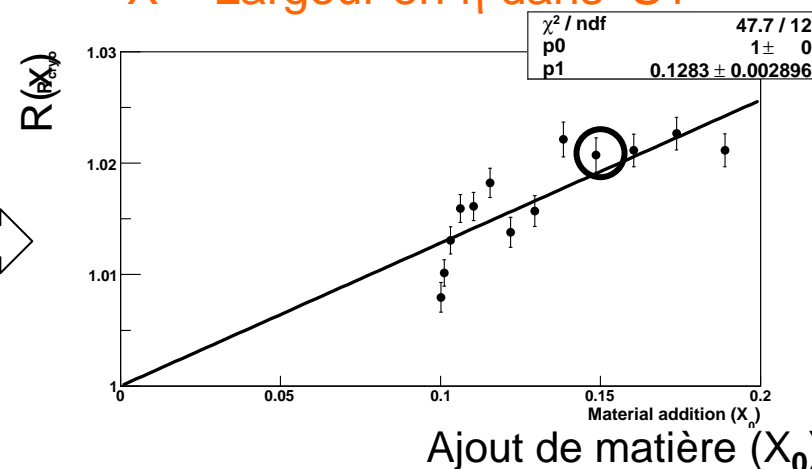
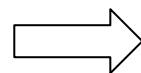
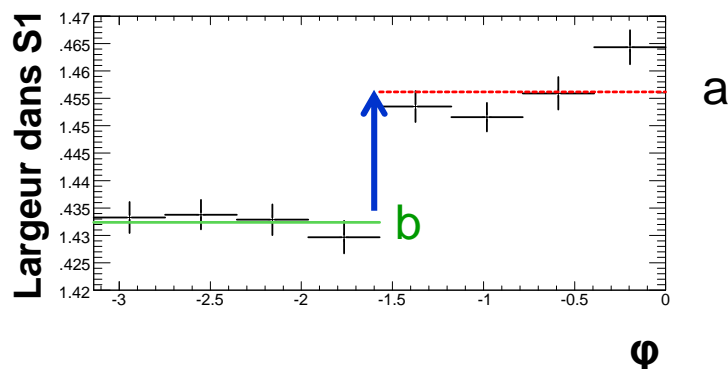
□ $15\%X_0$ ($-1.0 < \eta < -0.9$)

— Référence
— Ajout de matière

$$R = a/b = 1.02 \pm 0.004$$

$$R(x) = \frac{\langle x(\phi - \text{quadrant avec ajout matière}) \rangle}{\langle x(\phi - \text{quadrant de référence}) \rangle}$$

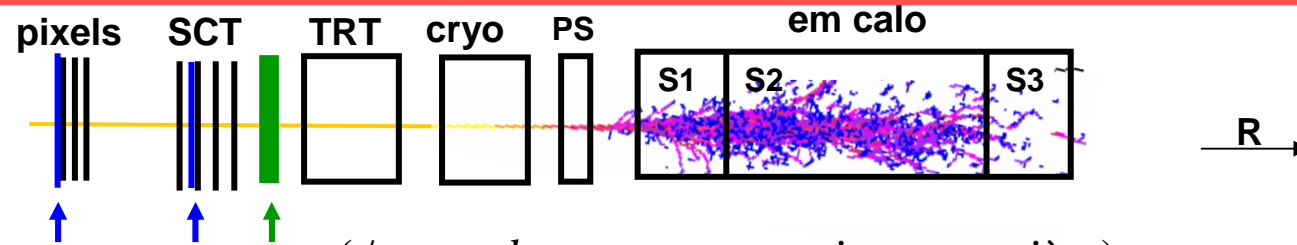
X = Largeur en η dans S1



→ Relation linéaire entre l'ajout de matière et l'estimateur

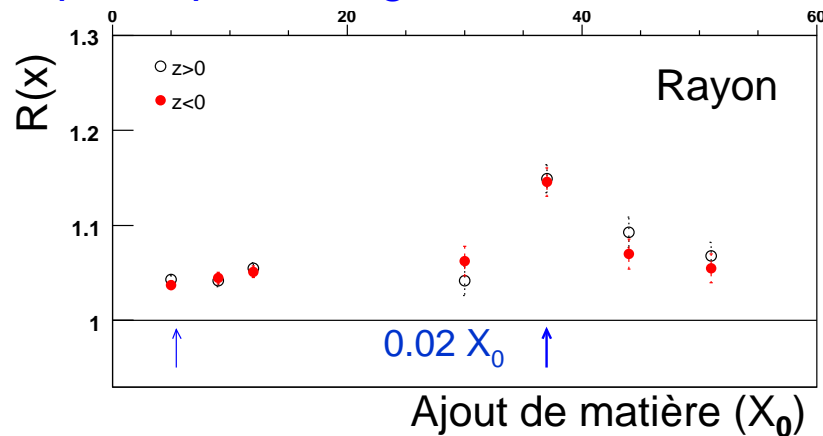
→ On peut quantifier l'excès de matière en observant la forme de la gerbe

Matière en amont du calorimètre (4)

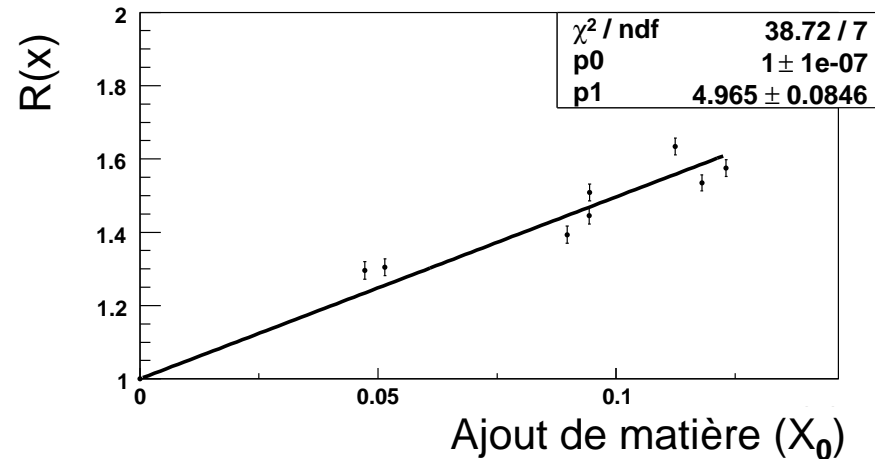


$$R(x) = \frac{\langle x(\phi - \text{quadrant avec ajout matière}) \rangle}{\langle x(\phi - \text{quadrant de référence}) \rangle}$$

X = Pourcentage de traces avec un point qui sort significativement du fit



X = Pourcentage de traces sans hits TRT



→ On peut localiser les excès de matière du détecteur interne

Matière : conclusions

- ❑ La cartographie de la matière sera un exercice difficile
- ❑ L'utilisation des électrons isolés de grand p_T profite de la complémentarité entre :
 - La précision des mesures de la forme des gerbes grâce à la fine granularité du calo EM
 - Le très bon potentiel du trajectographe : silicium précis + TRT
- ❑ Cette étude montre que quelques millions d'électrons suffisent pour détecter des excès de matière de qq% %, les quantifier et les localiser, de la couche du b jusqu'à l'entrée du calorimètre.
- ❑ Cette méthode novatrice pourra être combinée avec d'autres (flux d'énergie des événements de biais minimum, conversions γ)

→ Ce travail a donné suite à une note ATL-PHYS-INT-2008-026

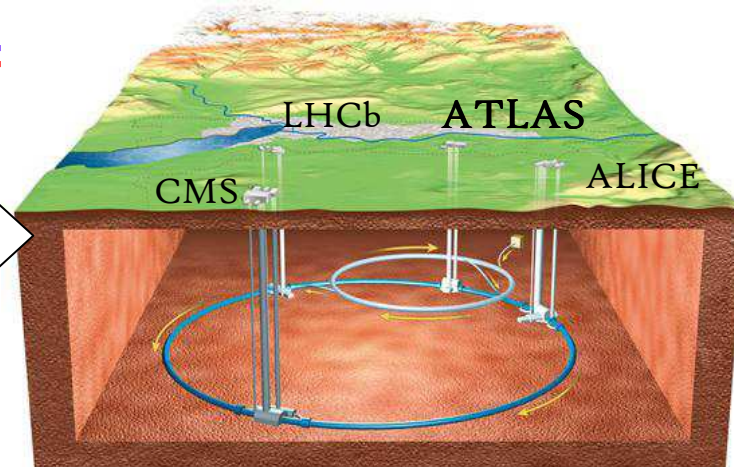
Conclusions et perspectives

- Le calorimètre électromagnétique est performant, mais comporte des contraintes «inédites» :
 - Grande granularité → travail de mise en œuvre délicat et minutieux
 - Matière en amont du calo importante → connaissance au % nécessaire
 - 2 notes ATLAS (1 analyse de données & 1 travail sur simulation)
 - Analyses à reproduire avec les données du LHC

- Les électrons sont une sonde privilégiée pour la recherche de nouvelle physique au LHC
 - 1^{er} signal de physique avec des données : pic du Z
 - J'ai déjà mesuré la section efficace du Z sur des pseudo-données
 - Les outils sont en place pour les premières collisions
 - Recherche de bosons de jauge lourds Z' , W'
 - La préparation de ces analyses est l'objectif des prochains mois

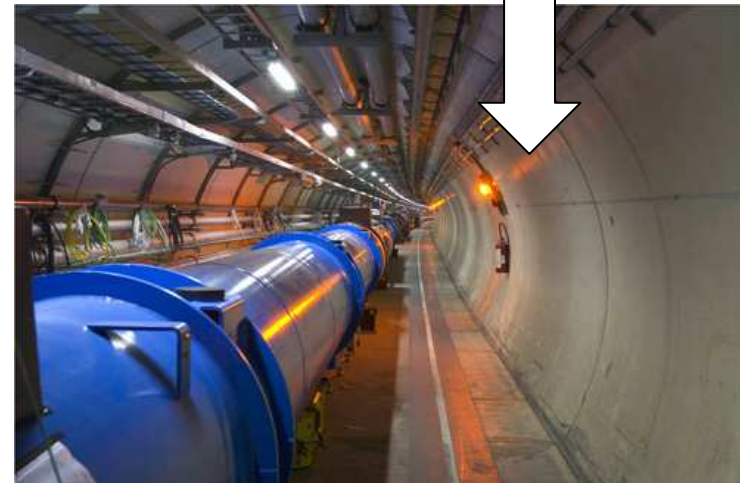
Spares

Le LHC

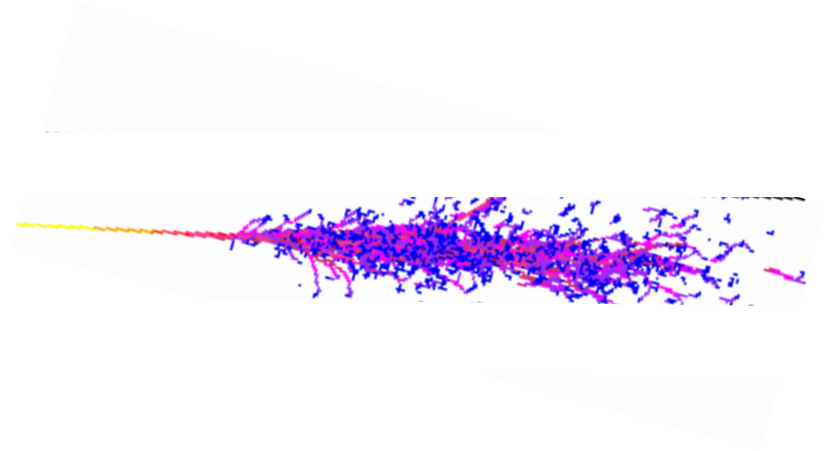
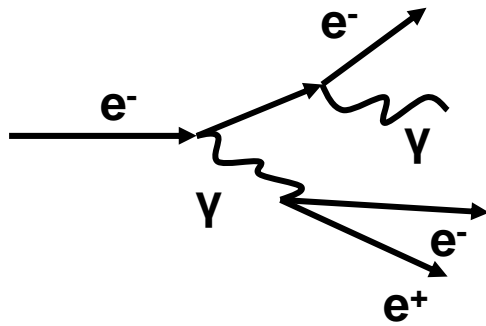


Large Hadron Collider

- ❑ Site du CERN, frontière franco-suisse
- ❑ Collisionneur circulaire proton-proton
- ❑ 27 km de circonférence
- ❑ 14 TeV d'énergie dans le centre de masse
- ❑ 40 millions de collisions par seconde
- ❑ Premières collisions cet été
- ❑ 4 expériences dont ATLAS

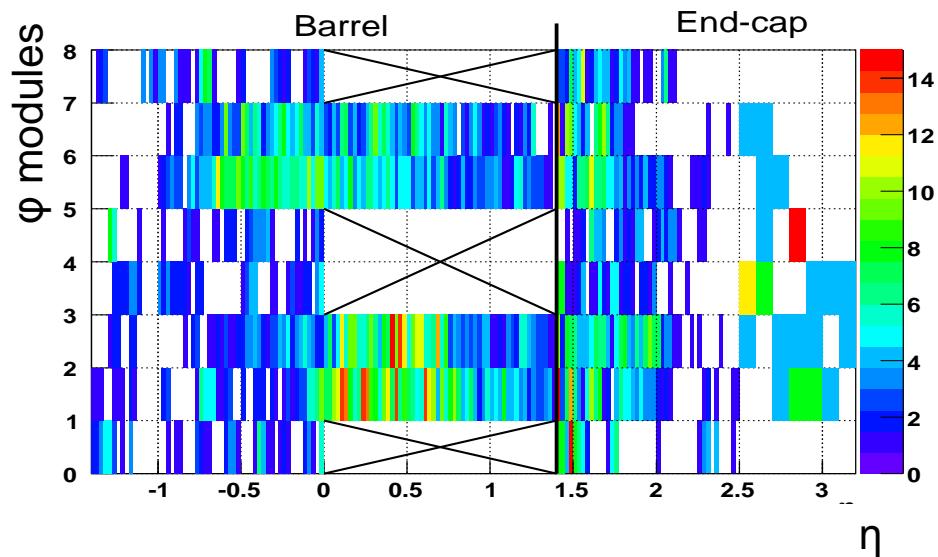
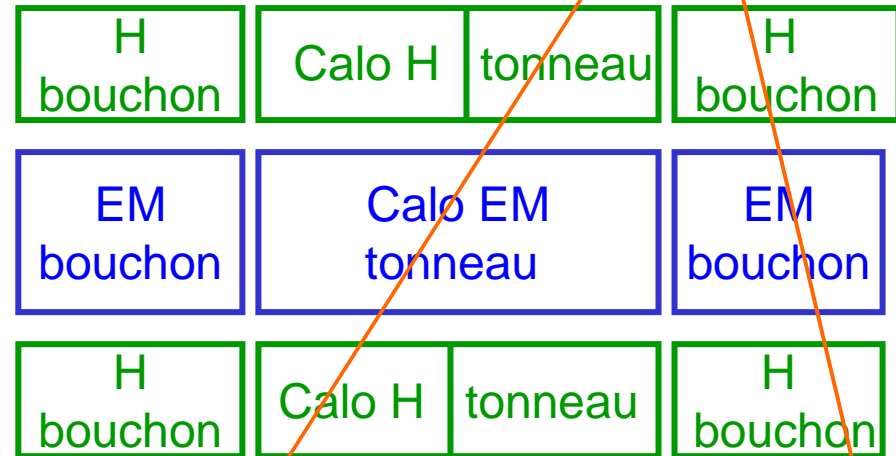


Gerbes EM



Données cosmiques

- ☐ Analyse des photons de bremsstrahlung de haute énergie issus des muons cosmiques.
- ☐ Déclenchement avec le calorimètre hadronique : 2007, niveau 1 non disponible à l'époque



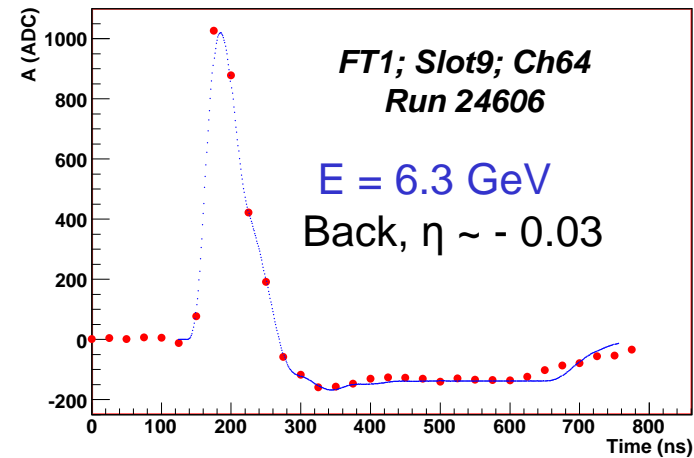
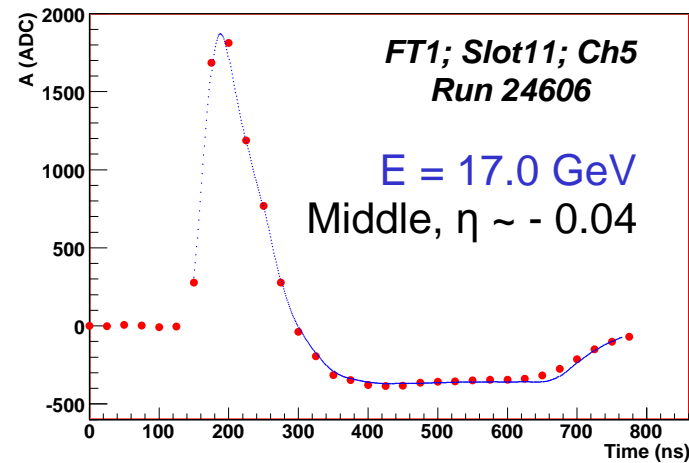
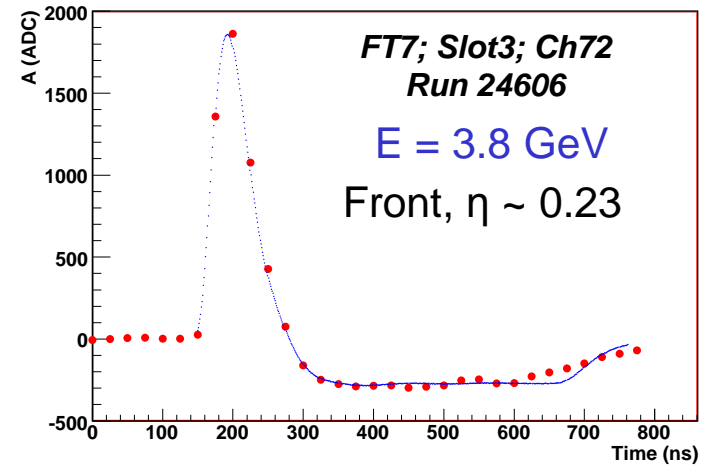
- ☐ Carte du nombre de cellules touchées par des γ ayant laissé plus de 500 MeV (~ 5000 cellules touchées, réparties sur l'ensemble de la couverture angulaire du calo)

 **Electronique débranchée (2007)**

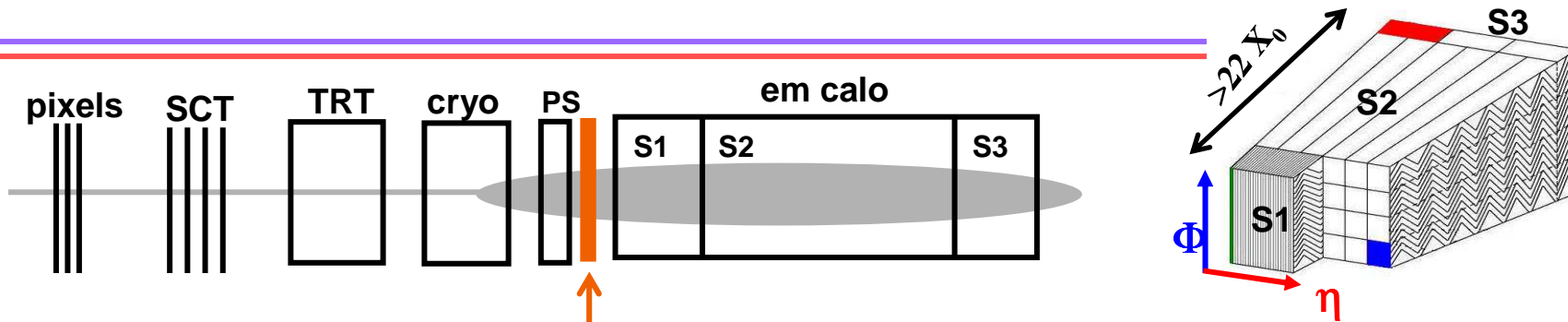
Données et prédiction

- Données
- Prédiction

→ Très bon accord qualitatif sur les 25 samples dans le pic et dans la queue pour toutes les couches du tonneau



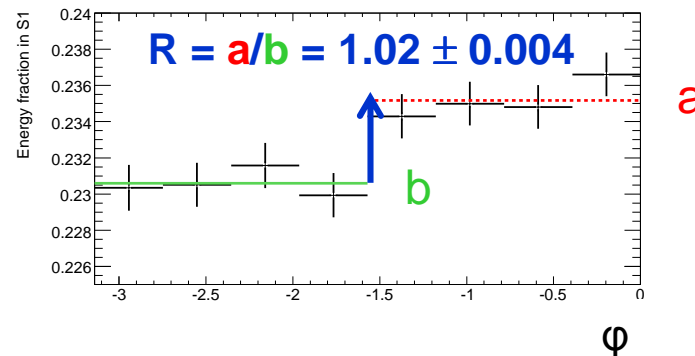
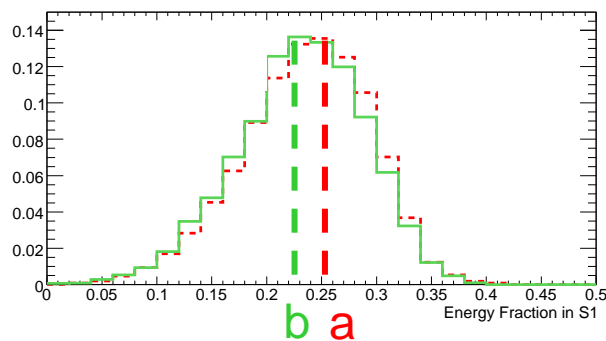
Matière en amont du calorimètre



□ L'ajout de matière entre PS et S1 fait **débuter la gerbe plus tôt**, donc la gerbe laisse plus d'énergie dans S1 → Fraction d'énergie dans S1

Rq : C'est la grande granularité du calo d'ATLAS qui a permis cette étude

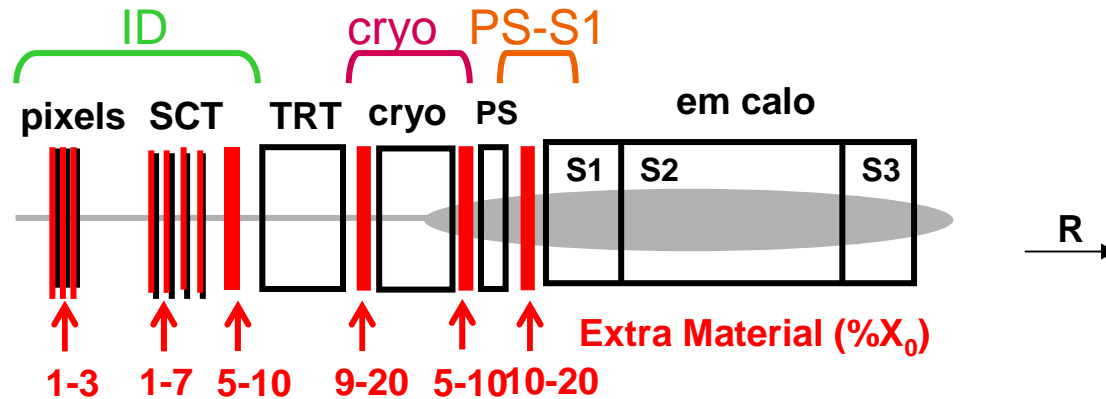
□ Exemple : ajout de $7\%X_0$ sur la region $-1.0 < \eta < -0.9$ — Reference
— Extra-Material



→ La fraction d'énergie dans S1 est sensible à la matière entre PS et S1

Material addition

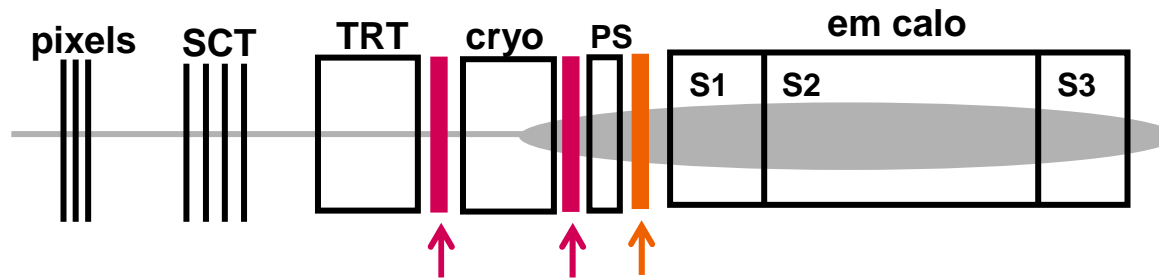
- ❑ Distorted and misaligned geometry (CSC-01-02-00)
- ❑ The reference geometry is « up to date » material estimation in ATLAS
- ❑ Realistic material additions at different positions in independant ϕ quadrants



- Determination of the most suitable variables (x) to detect material addition :
- between the presampler (PS) and the EM calo first sampling (S1)
 - around the cryostat
 - in the inner detector (silicon, TRT)

$$R_{material} = \frac{\langle x(\phi - quadrant \text{ with extra-material}) \rangle}{\langle x(\phi - reference) \rangle}$$

Matière juste devant le calorimètre



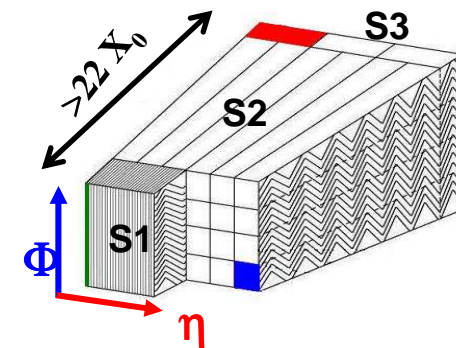
□ Extra-material between PS and S1 :

the shower starts earlier when there is more material upstream

- The shower leaves more energy in the first sampling :
→ energy fraction in S1
- The shower is broader at calorimeter entrance :
→ η width with in S1

□ Extra-material in the cryostat :

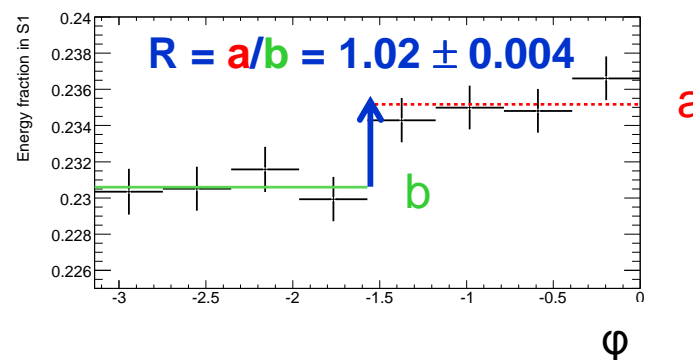
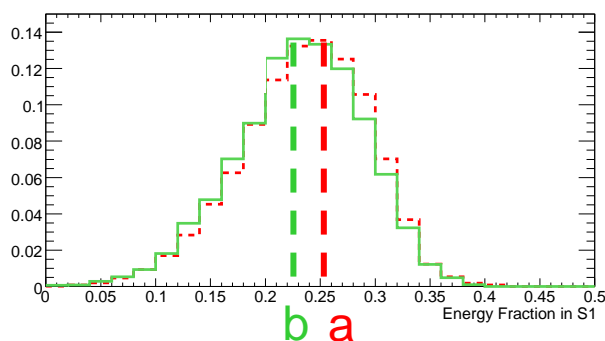
All previous + the presampler becomes sensitive
→ energy fraction in the presampler



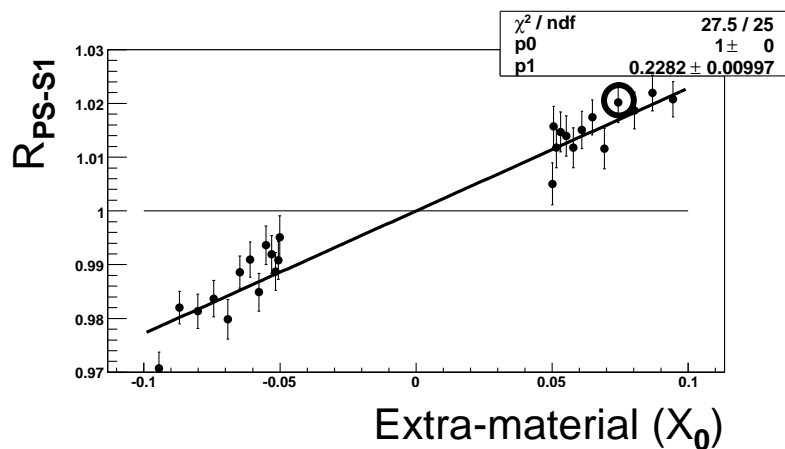
Matière entre PS et S1

Example for the material between PS-S1 seen by the energy fraction in S1 :

- Illustration for $0.07X_0$ material addition in region $-1.0 < \eta < -0.9$



- Generalisation to every η : $0.05 \cosh(\eta) X_0$ extra material



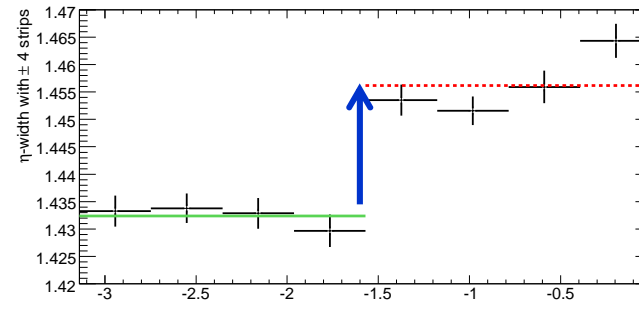
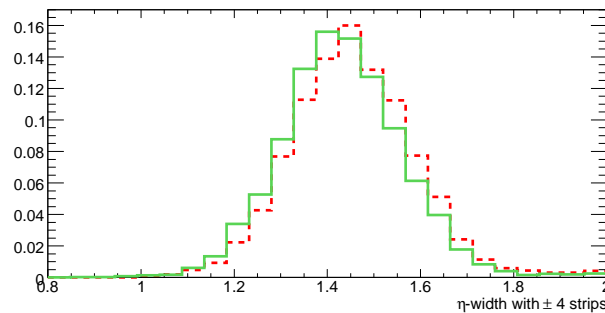
— Reference
— Extra-Material

→ Linear relation between absolute material addition between PS-S1 and energy fraction in S1

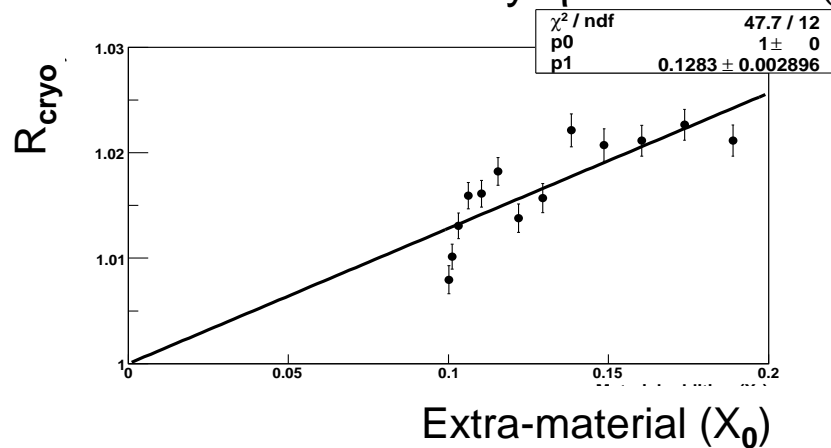
Matière du cryostat

Example for the material in the cryostat seen by the η width in S1

- Illustration for $0.15X_0$ material addition in region $-1.0 < \eta < -0.9$



- Generalisation to every η : $0.10 \cosh(\eta) X_0$ extra material φ



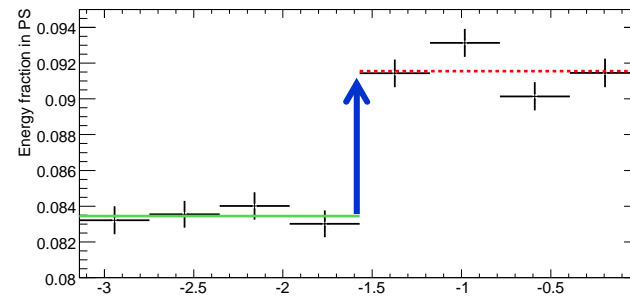
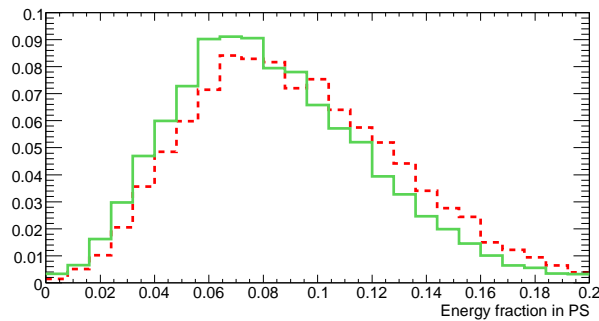
— Reference
 - - - Extra-Material

→ Linear relation between absolute material addition in the cryostat and η width in S1

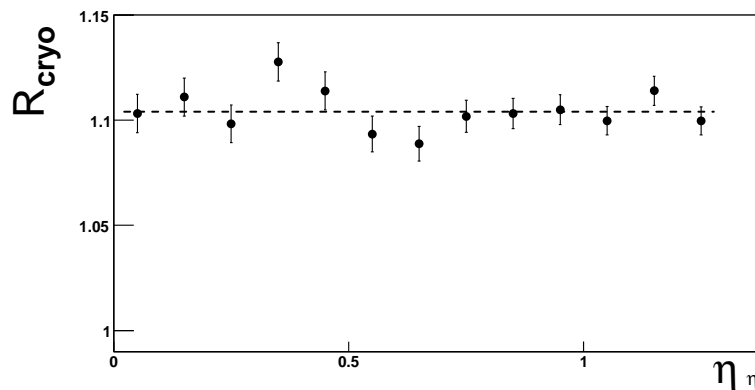
Matière du cryostat

Example for the material in the cryostat seen by the energy fraction in PS

- Illustration for $0.15X_0$ material addition in region $-1.0 < \eta < -0.9$



- Generalisation to every η : $0.10 \text{ ch}(\eta) X_0$ extra material

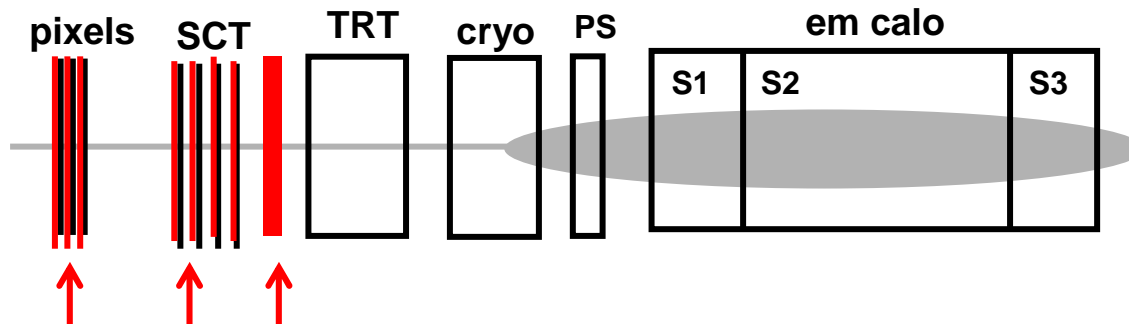


— Reference
— Extra-Material

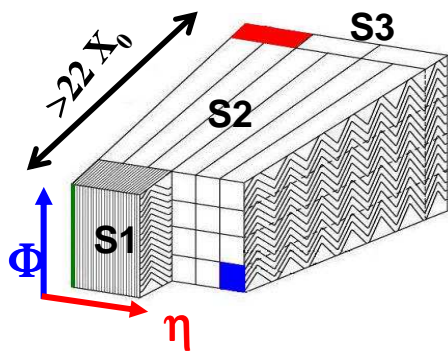
→ The energy fraction in the presampler is sensitive to the radial amount of material

Matière du détecteur interne

- Detection thanks to shower shapes and track match :



Electrons are deviated by the magnetic field and emit γ -bremstrahlungs



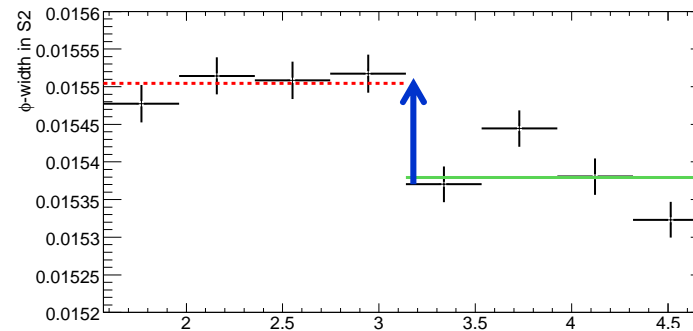
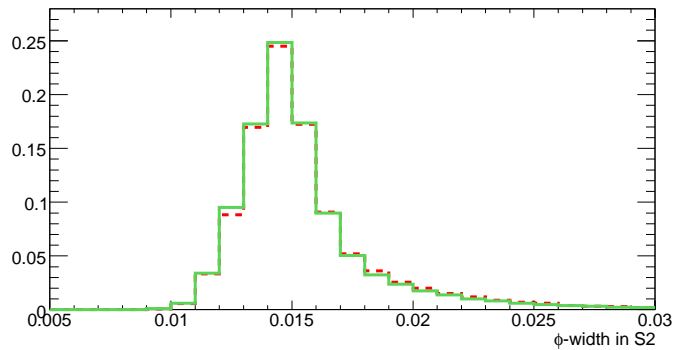
- the showers get broader in ϕ in the calorimeter (assuming e^- and γ are reconstructed in the same cluster)
 → S2 ϕ width (4x more granular in ϕ than S1)
- the impulsions reconstructed in the ID is less than the energy reconstructed in the calo :
 → E/p

Matière du détecteur interne

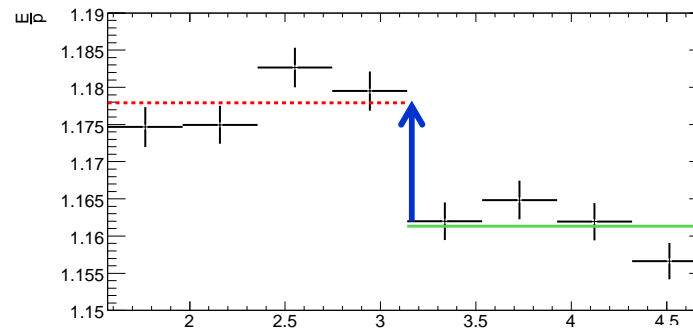
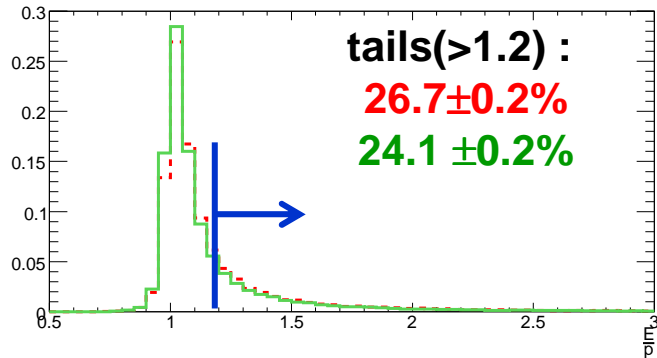
Illustration for $0.03X_0$ silicon material addition in region $-0.6 < \eta < 0$

- ϕ width in S2 : effect in ϕ because of magnetic field

— Reference
— Extra-Material

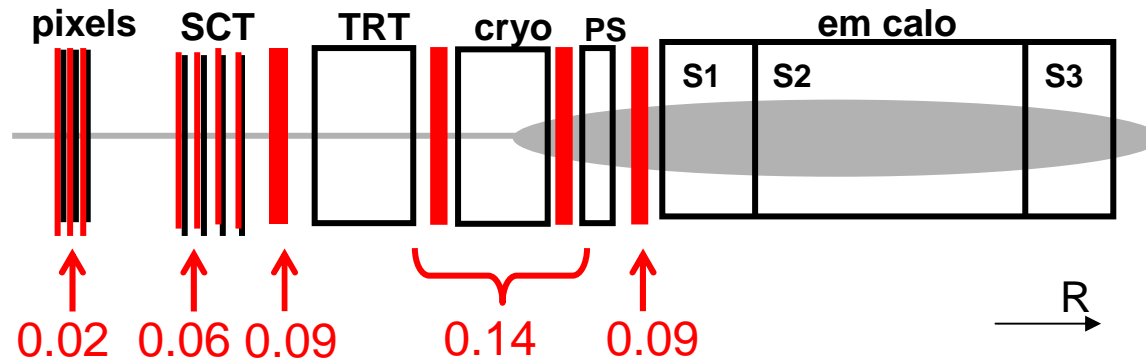


- E/p : shift towards higher values + tails increased



Détermination de la matière

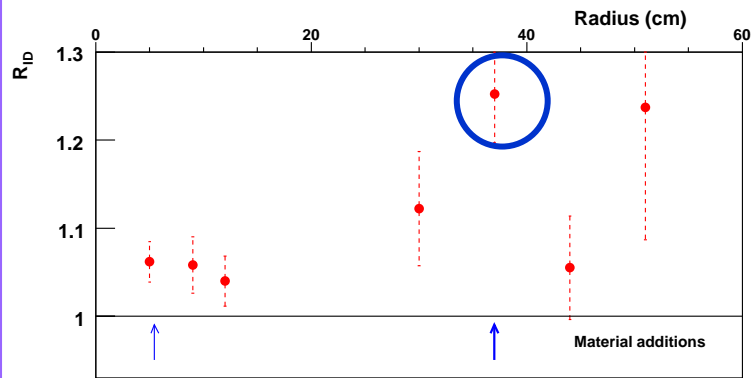
- We have quantified the separate effects of each kind of material (PS-S1...)
- In real life, they will all contribute
- We take the representative region $-1.3 < \eta < -1.2$ where the simulation has added material at all possible places :



- The goal is to disentangle the contributions of the different material
 - Use complementarity between electron shower shape measurements and track characteristics
 - Search extra-material from small to large radius

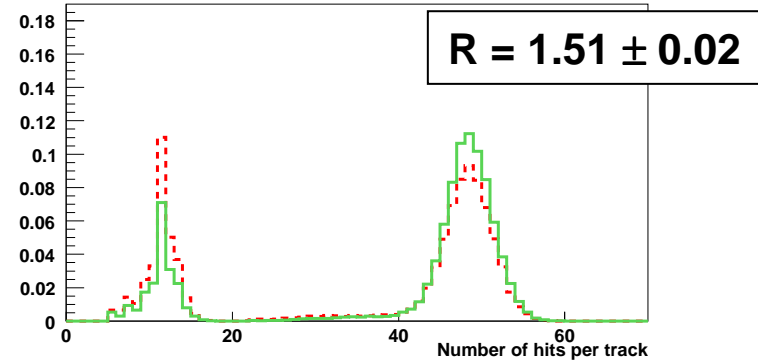
Détermination de la matière

Silicon : significant outliers



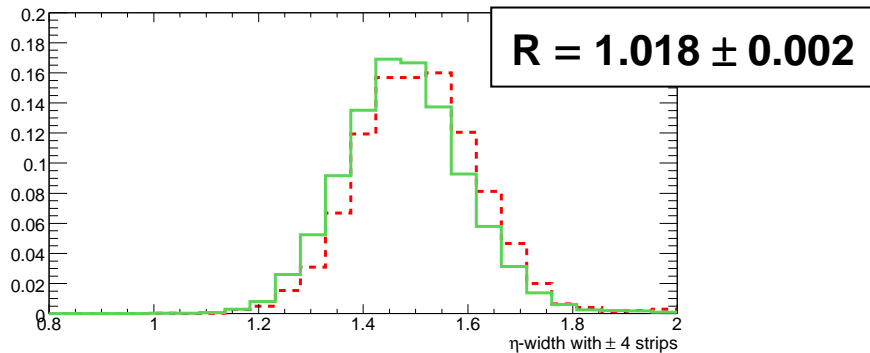
→ Bump in 2nd SCT layer

Percentage of tracks without TRT hits



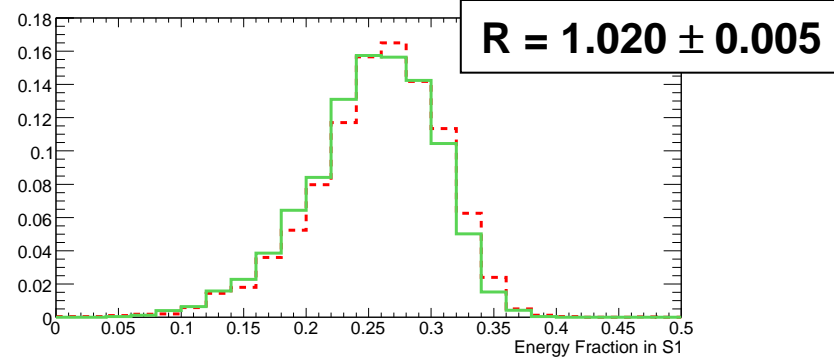
→ Presence of material **SCT-TRT**

η width with in S1



→ Presence of material in the **cryostat**

energy fraction in S1

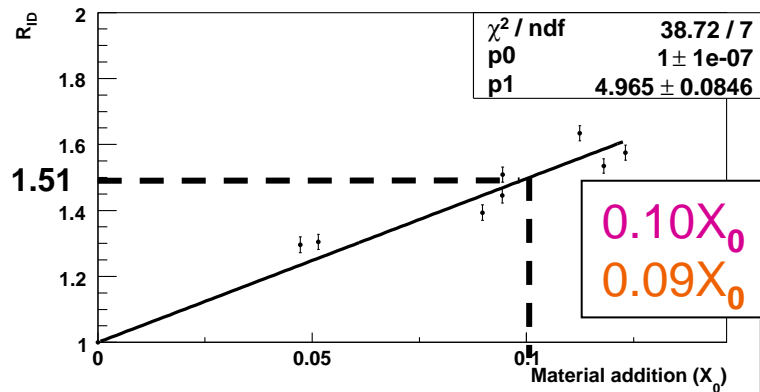


→ Presence of material **PS-S1**

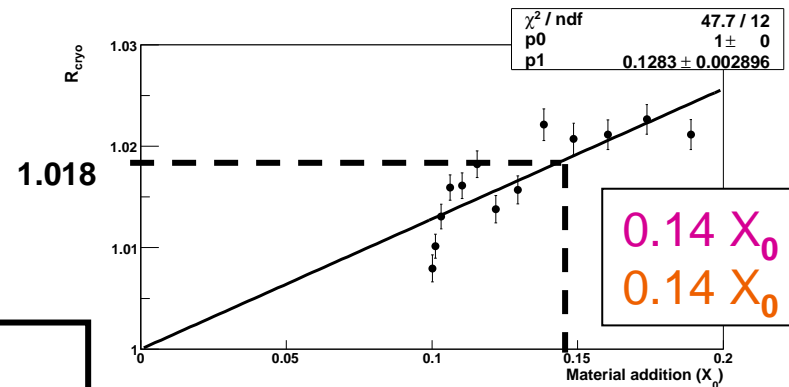
— Reference
- - Extra-Material

Détermination de la matière

TRT : fraction of tracks without TRT hits

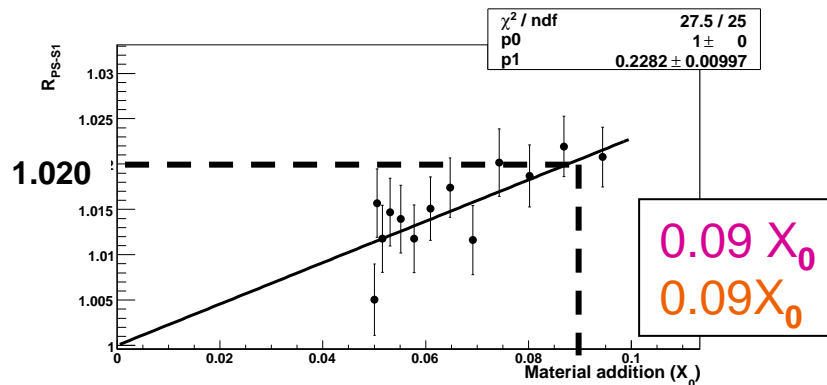


Cryostat : η width with in S1



— Truth
— Measured

PS-S1 : energy fraction in S1



→ We found a **good estimation** of material and its position
 → This **strategy** has been **tested successfully** on other η regions