

## Soutenance de stage



## Reconstruction d'électrons provenant du boson $Z^0$ dans l'expérience ATLAS auprès du LHC

Raphaël Lasserri

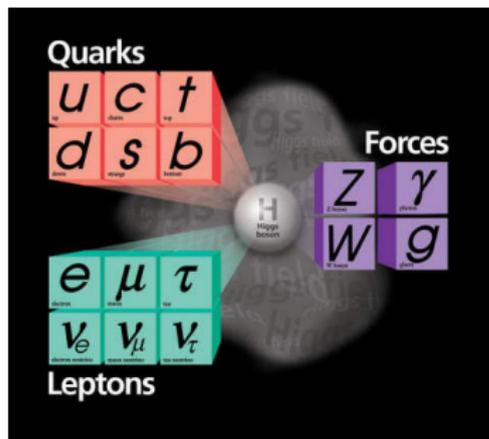
Encadrant : Frédéric Derue (Groupe ATLAS)

Mai-Juin 2013

Le **L**aboratoire de **P**hysique **N**ucléaire et des **H**autes **E**nergies :  
Sur la campus **UPMC**-Jussieu à Paris.

- Physique des particules sur accélérateurs.
- Cosmologie et astroparticules.

# Le modèle standard de la physique des particules



- Particules
  - ▶ Fermions, spin demi-entier : 3 familles de quarks et de leptons
  - ▶ Bosons, de spin entier : vecteurs des 3 interactions.
- Interactions :
  - ▶ faible, forte et électromagnétique.
- Boson de Higgs :
  - ▶ explique la masse des particules
  - ▶ découvert (?) au CERN en 2012

Grandes Questions :

- Validité du modèle pour de plus hautes énergies
- Nouvelle physique

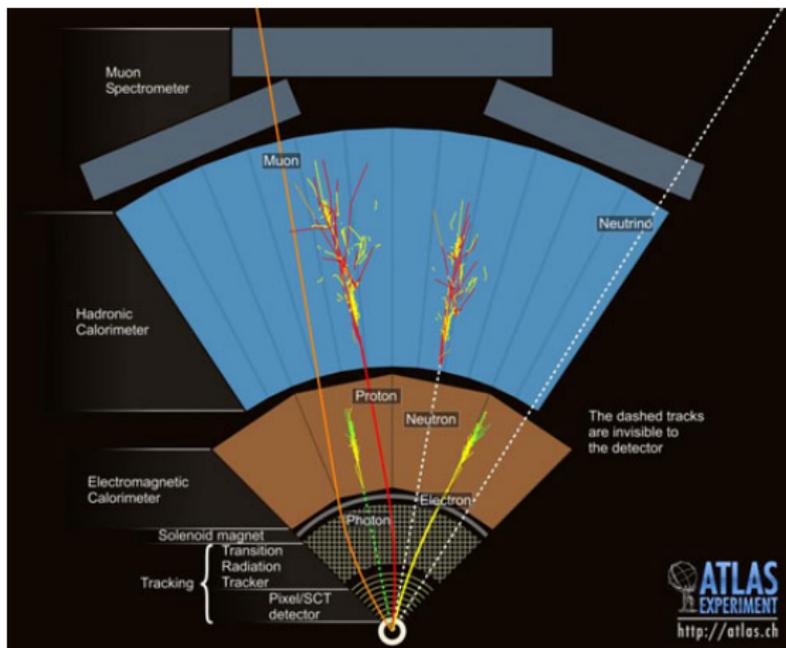
# Le Large Hadron Collider



- Projet mené à Genève par le CERN
- Collisionneur protons-protons (et PbPb).
- Quatre points d'interaction pour quatre expériences (ALICE, LHCb, ATLAS et CMS)
- Un anneau de 27 km à 100 m de profondeur
- Démarrage le 23/11/2009 à une énergie de 900 GeV, en 2012, 8 TeV
- Arrêté depuis Mars 2013. Prochaines collisions en 2015 à une énergie de 14 TeV.

## Fonctionnement du détecteur

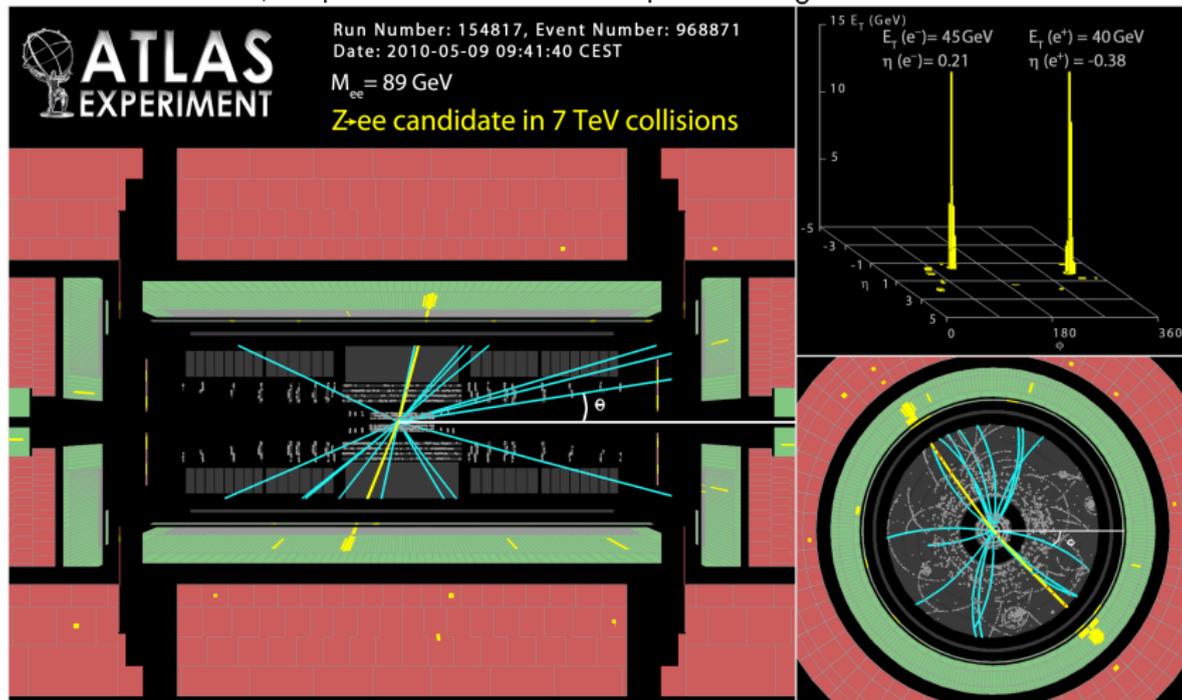
En fonction de leur nature les particules générées lors des collisions interagissent différemment avec la matière composant le détecteur



Dans le cadre du stage j'utilise principalement le détecteur interne et le calorimètre électromagnétique

# Désintégration $Z^0 \rightarrow e^+ e^-$ dans ATLAS

Vue de face, de profil du détecteur et dépôts d'énergie dans le calorimètre



$\eta = -\ln\left[\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$  ou  $\theta$  est l'angle polaire,  $\Phi$  est l'angle azimuthal et  $E_T = \frac{E}{\cosh \eta}$ .

## Objectifs du stage :

Caractériser des électrons et des hadrons dans ATLAS  
Etablir des efficacités d'identification d'électrons du  $Z^0$   
Reconstruction du boson  $Z^0$ .

Données :

- Utilisation de données du LHC en 2012 à 8 TeV.
- Utilisation d'événements simulés  $Z^0 \rightarrow e^+e^-$

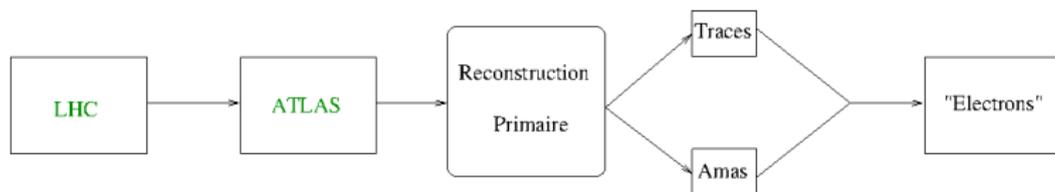
Outils :

- Utilisation du logiciel ROOT et développement d'un code C++ pour traiter ces données.

# Reconstruction et identification des objets

Longue chaîne d'acquisition et de reconstruction du détecteur jusqu'aux données utilisateurs.

- Traces issues du détecteur interne (Le trajectographe).
- Amas provenant des cellules des calorimètres.

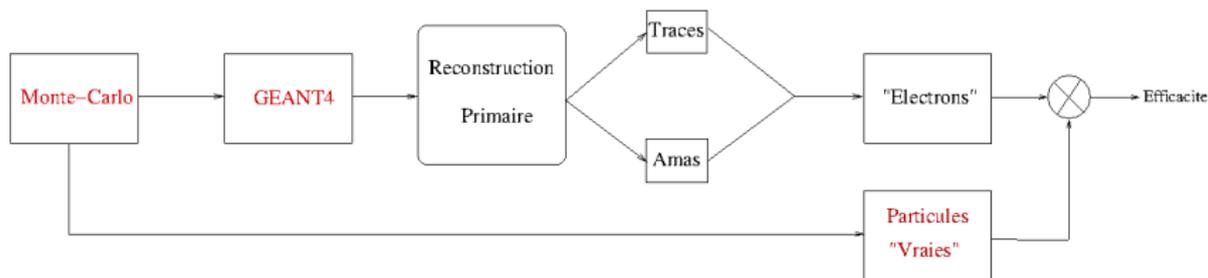


**On appelle objet "electron" l'association d'un amas et de la meilleure trace qu'on peut lui associer (la plus proche).**

L'identification des électrons se fait grâce à l'étude détaillée des traces et des dépôts énergétiques dans le calorimètre électromagnétique.

## Identification dans le cas d'une simulation

On connaît la liste exacte des particules générées.



On définit une “distance à la vérité” :

$$d = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\Phi^2}$$

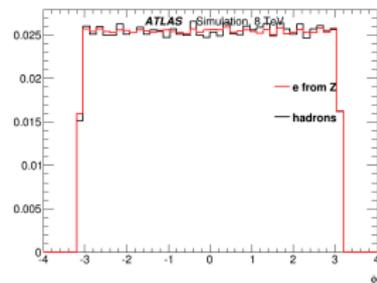
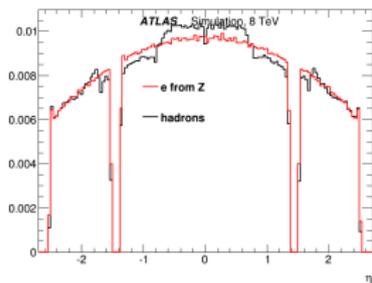
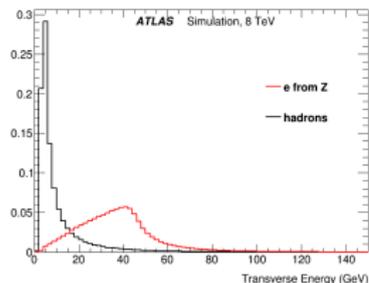
où :

- $\Delta\eta = \eta_{reco} - \eta_{simulation}$
- $\Delta\Phi = \Phi_{reco} - \Phi_{simulation}$

On prendra  $d \leq 0.2$  comme critère d'association.

# Variables Cinématiques

On obtient les distributions en  $E_T$ ,  $\eta$  et  $\Phi$  pour les deux populations



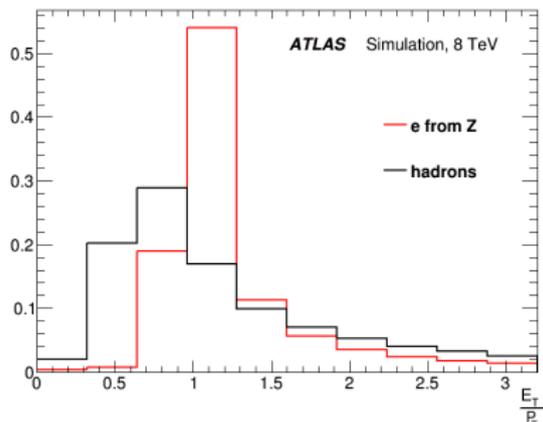
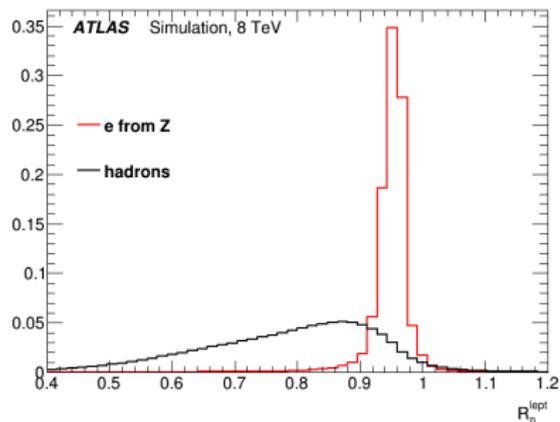
Les électrons issus du  $Z^0$  sont plutôt de haute  $E_T$  (40 GeV).

La distribution de  $\Phi$  est uniforme

La distribution de  $\eta$  est conforme à la théorie et aux limitations géométriques du détecteur

## Variables Discriminantes

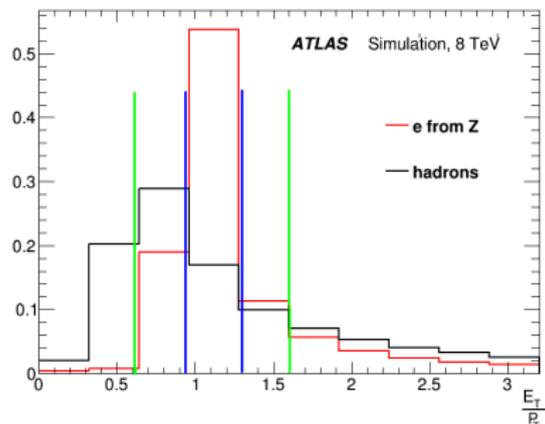
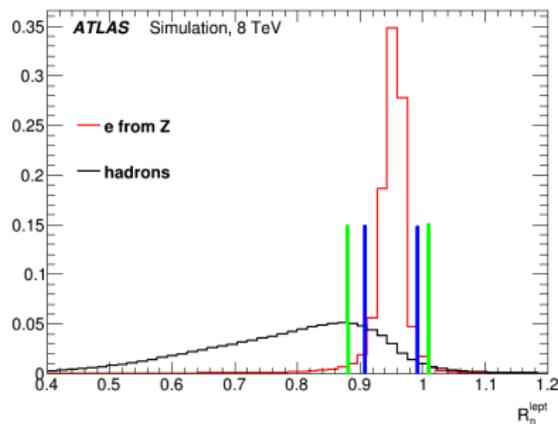
Certaines variables permettent d'établir une séparation claire entre les populations électroniques et hadroniques.



- $R_{\eta}$  décrit le développement des gerbes électromagnétiques
- $\frac{E_T}{P_T}$  ratio de l'énergie reconstruite dans le calorimètre électromagnétique par l'impulsion mesurée dans le trajectographe.

# Coupages

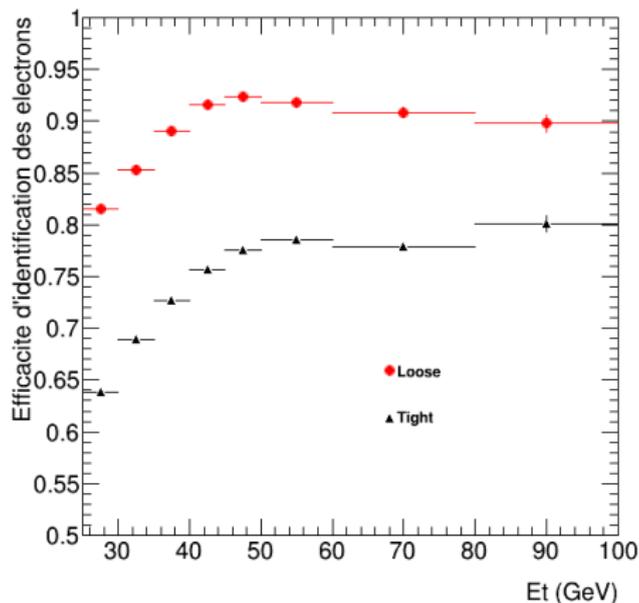
Pour isoler les électrons l'une des méthodes les plus utilisées consiste à faire des coupures sur des lots de variables discriminantes.



On définit 2 jeux de coupures correspondant à deux niveaux distincts d'exigence :  
Loose et Tight

## Efficacité

Il est important d'être à même de caractériser la fiabilité de l'identification d'un objet électron. On définit dans le cadre de la simulation Monte-Carlo une efficacité d'identification.



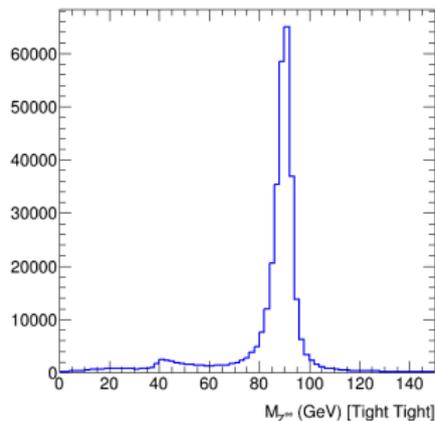
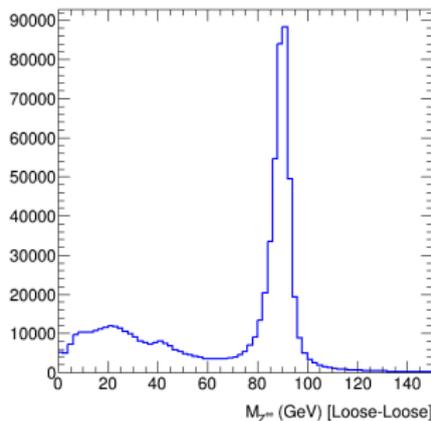
On peut la représenter ici pour deux séries de coupures, en fonction de  $E_T$ .

# Reconstruction du boson $Z^0$

La relativité restreinte stipule que la pseudo-norme de la quadri-impulsion est un invariant relativiste reliant l'énergie du corps et sa quantité de mouvement et une quantité que l'on nommera la masse invariante

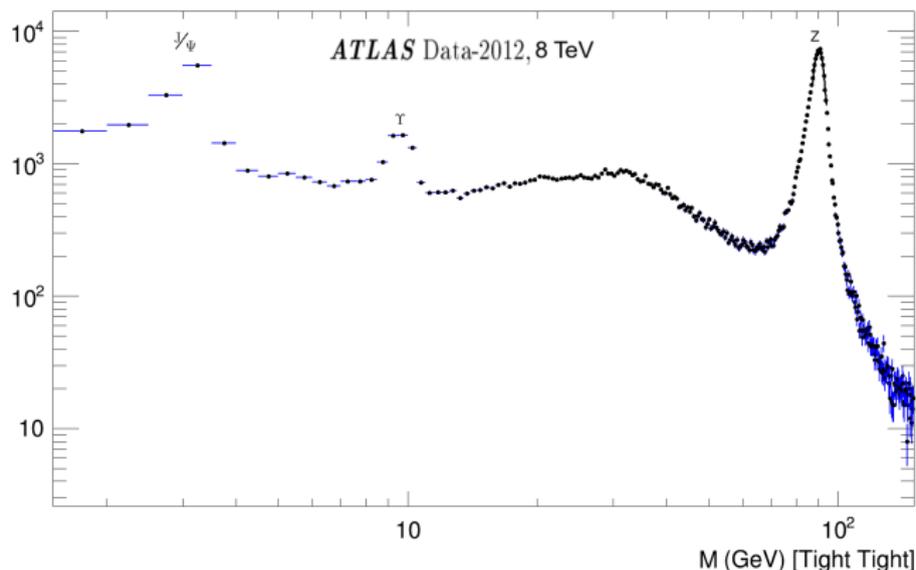
$$m_{invariante} = \sqrt{\frac{E_i^2}{c^4} - \frac{\vec{p}_i^2}{c^2}}$$

En utilisant les variables cinématiques avec différents niveaux d'exigence sur la qualité des électrons reconstruits on peut obtenir la masse invariante d'un objet se désintégrant, ici un boson  $Z^0$ .



# Reconstruction de particules réelles

Le même travail sur les données LHC permet d'obtenir une véritable spectroscopie des particules se désintégrant en deux électrons au sein d'ATLAS.



On voit ainsi apparaître  $J/\psi(c\bar{c})$ ,  $\Upsilon(b\bar{b})$  et bien sûr le boson  $Z^0$ .

# Bilan

## Bénéfices

- Comprendre le fonctionnement du détecteur ATLAS
- Approfondir les notions acquises pendant le cours de relativité
- Apprendre des méthodes d'analyses de données
- Découverte de l'environnement ROOT
- Approfondissement de mes connaissances en C++

## Découverte du monde de la recherche

- Travail de groupe
- Réunions de travail hebdomadaires
- Séminaires

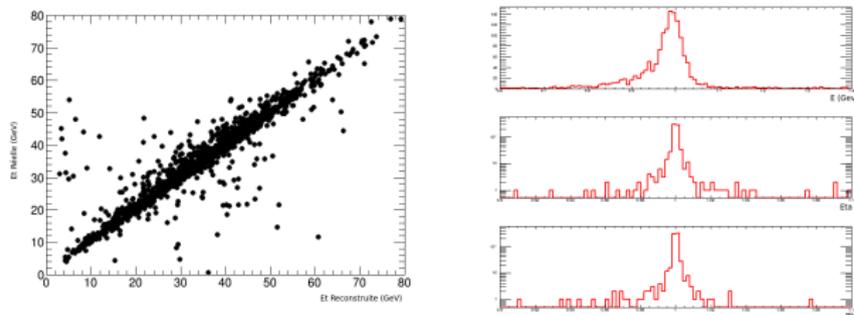
# ANNEXES

## ANNEXES

## Résolution de la reconstruction

Ayant accès à la vérité il est intéressant de quantifier la qualité de reconstruction des variables cinématiques.

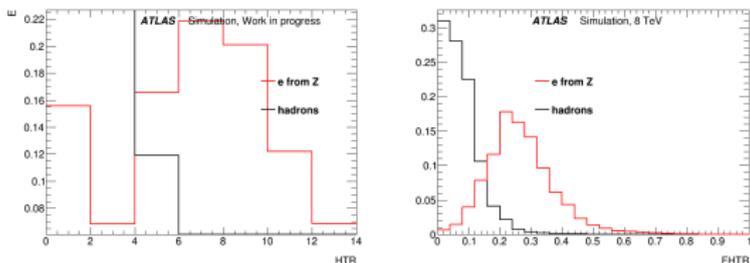
On peut donc tracer l'énergie reconstruite en fonction de l'énergie réelle.



On peut également tracer la résolution de reconstruction de chacune des variables cinématiques.

## Variable dans le trajectographe

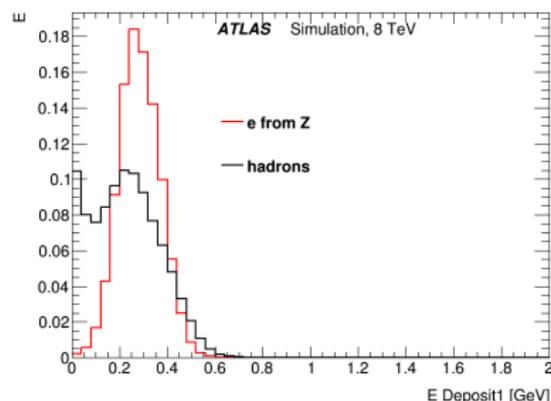
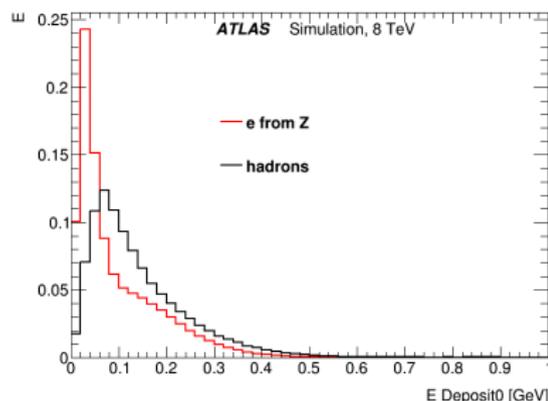
La trace est reconstruite dans 3 sous détecteurs (Pixel,SCT et TRT). Le nombre d'impacts dans le détecteur pixel permet de connaître la qualité des traces.



Le TRT a la particularité d'avoir un gain plus élevé pour les électrons que pour les autres particules. En regardant la fraction de signaux de haut seuil dans le TRT on peut distinguer les électrons des hadrons.

## Amas dans le calorimètre électromagnétique

Le calorimètre est constitué de différents compartiments dans lesquels on reconstruit les énergies déposées lors du développement des gerbes électromagnétiques.

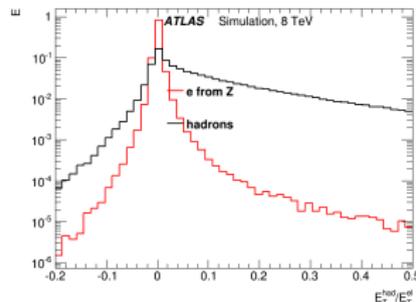
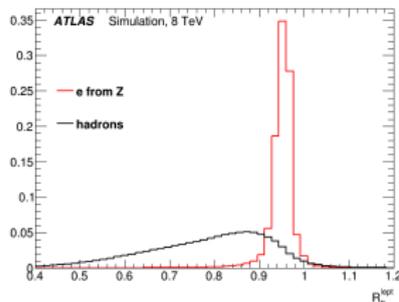


- Les  $e^-$  déposent en moyenne 20 % de leurs énergies dans le présamplifier et 15 % de leur énergie dans le compartiment suivant.
- Les hadrons déposent en moyenne 10 % de leurs énergies dans le présamplifier et 8 % de leur énergie dans le compartiment suivant.

On remarque également que les gerbes des  $e^-$  se développent plus vite et sont différentes de celles engendrées par les hadrons.

# Formes des gerbes électromagnétiques dans les calorimètres

Les  $e^-$  laissent un dépôt fin dans le calorimètre électromagnétique tandis que les dépôts des hadrons sont bien plus larges.



- $R_\eta$  Représente l'étalement transverse des dépôts dans le calorimètre.
- $\frac{E_T^{Had}}{E_T^{el}}$  Représente la fraction relative d'énergie déposée dans le calorimètre Hadronique.