



## Caractérisation d'électrons et du boson Z dans ATLAS

Raphaël Lasserri

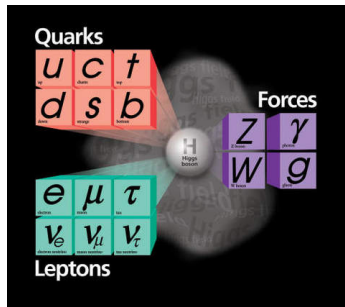
Encadrant : Frédéric Derue (Groupe ATLAS)

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.

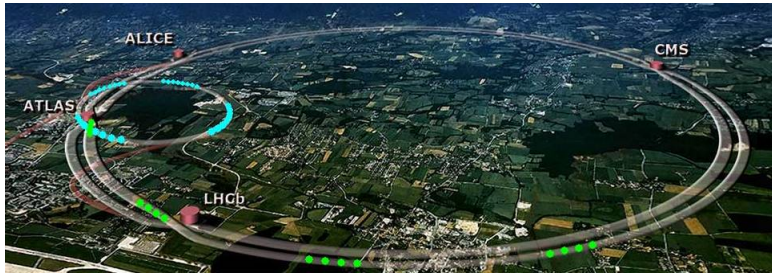
## ● Boson de Higgs :

- explique la masse des particules
- découvert(?) au CERN en 2012

## Grandes Questions :

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

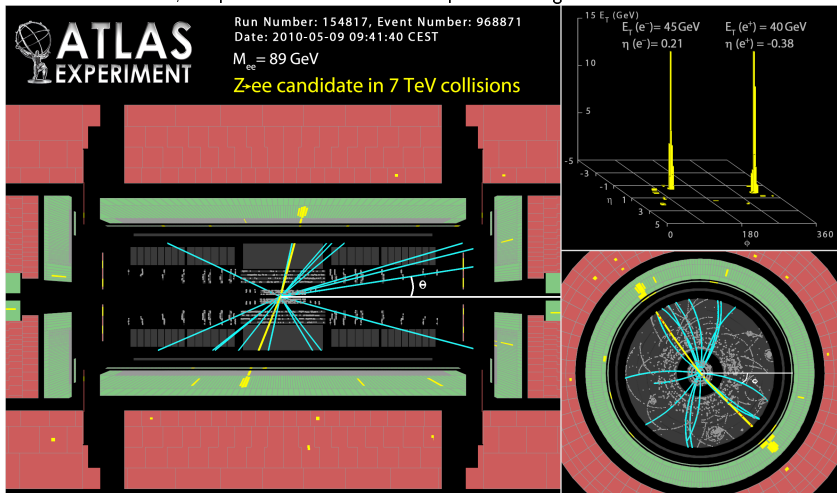
# Le Large Hadron Collider



- 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.

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

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



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

## Objectifs du stage :

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

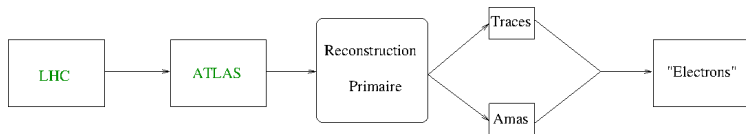
Outils :

- Utilisation d'événements simulés  $Z \rightarrow e^+ e^-$ ,  $t\bar{t} \rightarrow WbW\bar{b}$
- Utilisation de données du LHC en 2012 à 8 TeV.
- 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'au données utilisateurs.

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

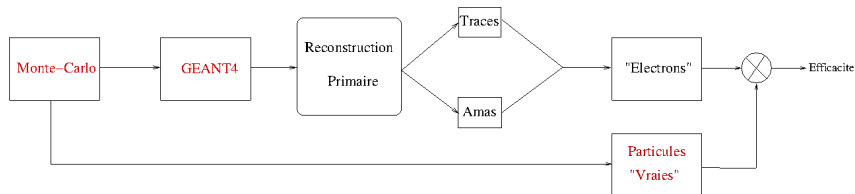


**On appelle objet "electron" l'association d'un amas et de la meilleure trace qu'on peut lui associer (la plus proche).**

L'identification des électrons se fait grâce à l'étude détaillée des traces et des dépôts énergétique 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” :

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

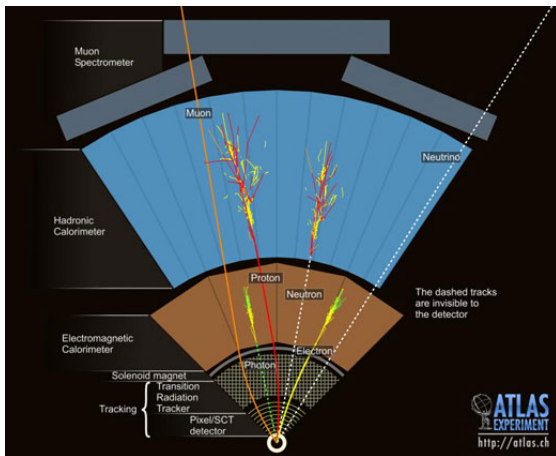
où :

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

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

# Fonctionnement du détecteur

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

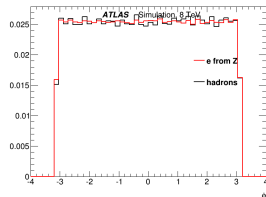
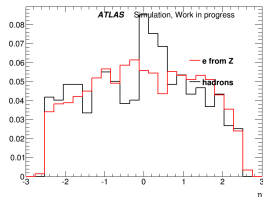
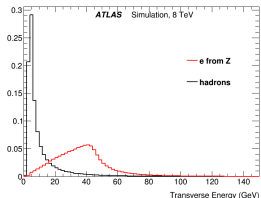


Dans le cadre du stage j'utilise principalement le détecteur interne et le calorimètre électromagnétique



# Variables Cinématiques

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



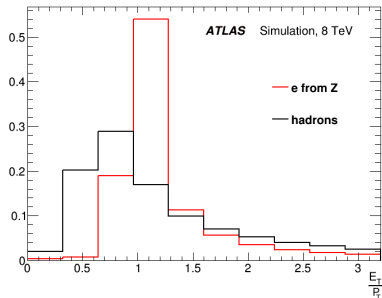
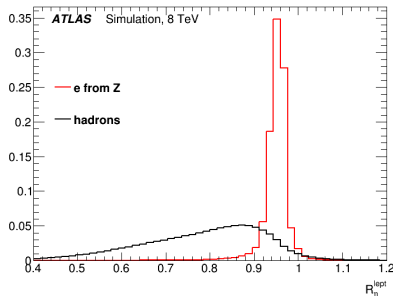
Les électrons issus du Z sont plutôt de haut  $p_T$  ( 40 GeV).

La distribution de  $\Phi$  est uniforme

La distribution de  $\eta$  est conforme à la théorie

# Variables Discriminantes

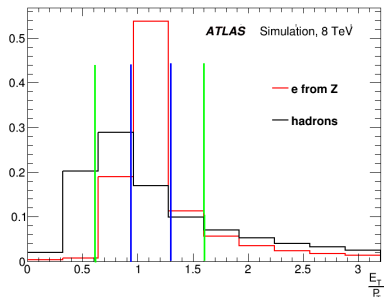
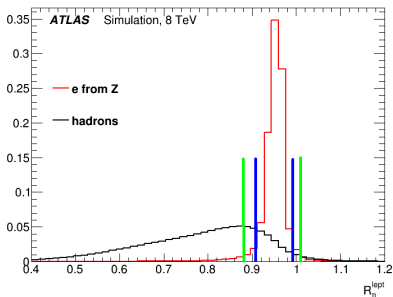
Certaines variables permettent d'établir une séparation claire entre les populations électroniques et hadroniques.



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

# Coupages

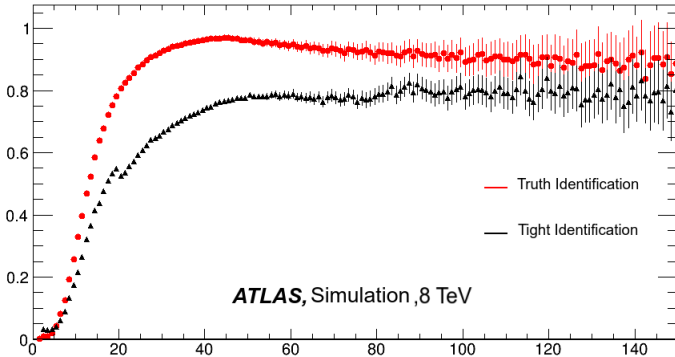
Pour isoler électrons l'une des méthodes les plus utilisées consiste à faire des coupures sur des lots de variables discriminantes.



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

# Efficacité

Il est important d'être à même de caractériser la fiabilité de la reconstruction d'un objet électronique. On définit dans le cadre de la simulation Monte-Carlo une efficacité de reconstruction relative aux distributions réelles des particules.



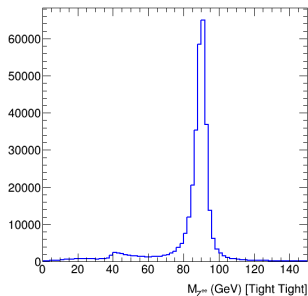
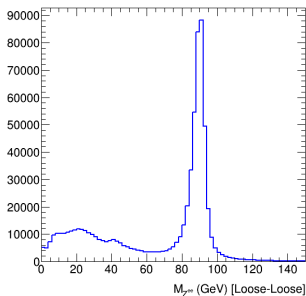
Dans le cas de données réelles on peut également définir des efficacités en coupant sur un seul des deux électrons. (Méthode du Tag and Probe). Puis on peut établir le rapport des distributions de variables cinématiques de l'électron n'ayant subi aucune coupe et des électrons ayant passé le critère

# Reconstruction du boson Z

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

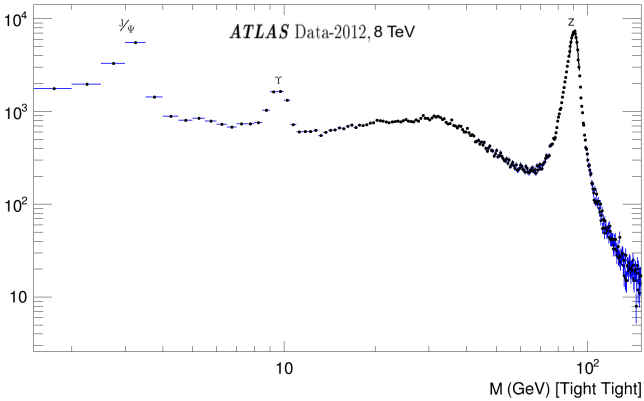
$$m_{invariante} = \sqrt{\frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2}}$$

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



# Masse Invariante-Data

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 Le  $J/\Psi(c\bar{c})$  le  $\Upsilon(b\bar{b})$  et bien sur le boson Z.

## Conclusion

Pendant ces quelques semaines passées au LPNHE j'ai pu me familiariser avec le monde de la physique des particules. J'ai pu constater quelques une des problématiques inhérentes à la reconstruction d'objets au sein des détecteurs présent sur le site du LHC. Après avoir passés les premières semaines de mon stage à établir des critères d'isolation d'électrons en travaillant sur des simulations MonteCarlo. J'ai pu pendant les deux dernières semaines me concentrer sur le traitement de données provenant directement d'ATLAS. Cette première approche à conforté mon choix pour la recherche et mon gout pour la physique des particules.

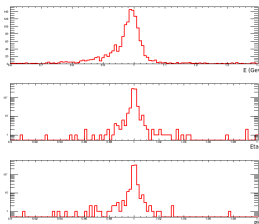
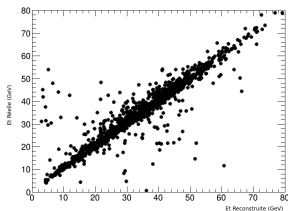
## ANNEXES



# Résolution de la reconstruction

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

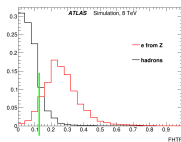
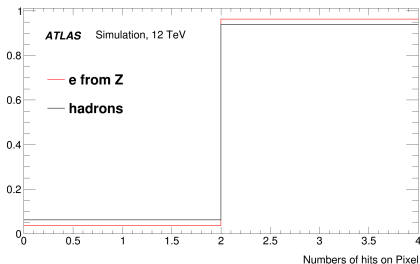
On peut donc tracer l'énergie reconstruite en fonction de l'énergie réelle.



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

# Variable dans le trajectographe

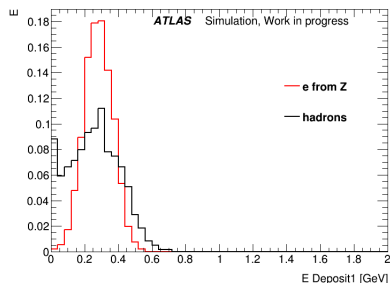
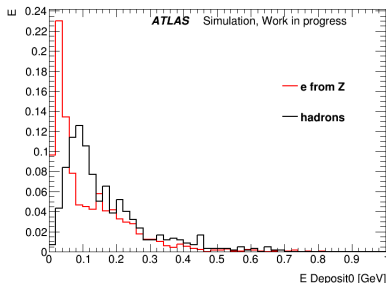
La trace est reconstruite dans 3 sous détecteurs (Pixel,SCT et TRT). Le nombre d'impact dans le détecteur pixel permet de connaître la qualité des traces.



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.

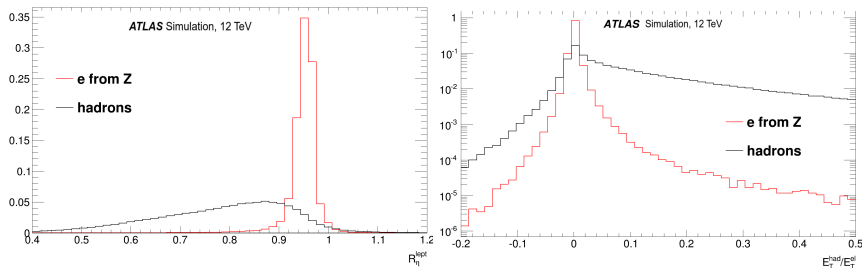


- Les  $e^-$  déposent en moyenne 20 % de leurs énergies dans le présamplifier et 15 % de leur énergie dans le compartiment suivant.
- Les hadrons déposent en moyenne 10 % de leurs énergies dans le présamplifier et 8 % de leur énergie dans le compartiment suivant

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

# Formes des gerbes électromagnétique dans les calorimètre

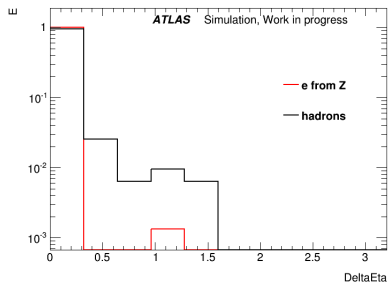
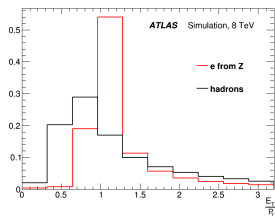
Les  $e^-$  laissent un dépôt fin dans le calorimètre électromagnétique tandis que les dépôts des hadrons sont bien plus large.



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

# Association Clusters-Tracks

Pour évaluer la qualité d'une association Amas-Trace on peut s'intéresser aux variables propres à la reconstruction. D'une part au ratio de l'énergie sur la norme de l'impulsion reconstruite.



Mais également à la qualité de la reconstruction en pseudorapidité.