

DOUGLASS Xavier
STAGE DE MASTER 1ère ANNEE - Mai/Juin/Juillet 2006
UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE - PARIS VI

UTILISATION DES MUONS COSMIQUES POUR LA CARACTERISATION DU CALORIMETRE ELECTROMAGNETIQUE DE L'EXPERIENCE ATLAS AU CERN





Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies
Responsable : Philippe Schwemling

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I/ L'EXPERIENCE ATLAS ET LA COLLABORATION

- I.1. ATLAS AU CERN
- I.2. ATLAS AU LPNHE PARIS

II/ PARAMETRISATION DE LA REPOSE DES MUONS DANS LE CALORIMETRE ELECTROMAGNETIQUE

- II.1. DISTRIBUTION DE LANDAU ET MUONS COSMIQUES
- II.2. HISTOGRAMME ET PARAMETRES OBTENUS POUR L'EM CALORIMETRE

III/ TRAVAUX ET RESULTATS OBTENUS AU COURANT DU STAGE

- III.1. BUT DU STAGE
- III.2. STRATEGIE DE RECHERCHE
 - III.2.a. LA PHYSIQUE : DESCRIPTION DU CALORIMETRE EM
 - III.2.b. L'INFORMATIQUE
- III.3. LES RESULTATS OBTENUS

CONCLUSION

INTRODUCTION

Dans cette étude, on cherche dans un premier temps à paramétriser la réponse des muons dans le calorimètre électromagnétique d'Atlas (lors des tests en faisceau d'électrons effectués en juillet 2000 avant son introduction dans la caverne du LHC), à déterminer l'énergie déposée cellule par cellule par chaque muon contenu dans le faisceau pour, enfin, sélectionner les muons ayant subi une forte perte d'énergie (quelques dizaines de GeV) et détecter les éventuels défauts du calorimètre et, en particulier, les cellules mortes.

Un avantage certain par rapport aux tests d'électrons : les muons cosmiques sont les seules particules disponibles au début.

I/ L'EXPERIENCE ATLAS ET LA COLLABORATION

I.1. ATLAS AU CERN

Implanté sur le collisionneur proton-proton Large Hadron Collider du CERN, le détecteur Atlas (A Toroidal Lhc Apparatus System) entrera en fonctionnement en 2007.

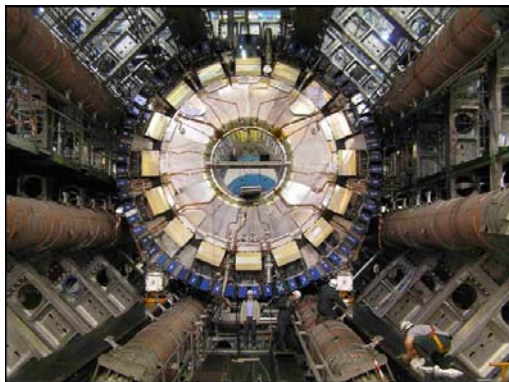


Image 1 : Le détecteur Atlas au CERN

Ce sigle ne désigne pas qu'un détecteur. Il désigne aussi une expérience de physique menée par une collaboration mondiale de scientifiques : 1800 physiciens et ingénieurs issus de 150 laboratoires de 34 pays différents sont engagés dans cette aventure, ainsi que de nombreux techniciens et administratifs. Tant par le nombre de voies d'électronique (des centaines de millions) et les contraintes liées aux radiations que par le volume des données à traiter, sa réalisation a impliqué de développer de la haute technologie dans les domaines les plus variés : mécanique, électronique, informatique mais aussi cryogénie, techniques du vide, du génie civil, de la géodésie ... Atlas est composé de plusieurs sous-détecteurs : les détecteurs centraux, conçus pour identifier les traces très près du point d'interaction des protons et baignant dans un champ magnétique de 2 Teslas produit par un solénoïde, le calorimètre électromagnétique permettant d'identifier et de mesurer l'énergie des photons et des électrons, et le calorimètre hadronique pour la mesure de l'énergie des hadrons. Le tout est entouré par des détecteurs à muons. Un aimant torique supraconducteur génère le champ magnétique pour le système de détection des muons. Les paquets de protons vont se croiser aux points d'interaction 40 millions de fois par

2007.

ATLAS Calorimetry (Geant)

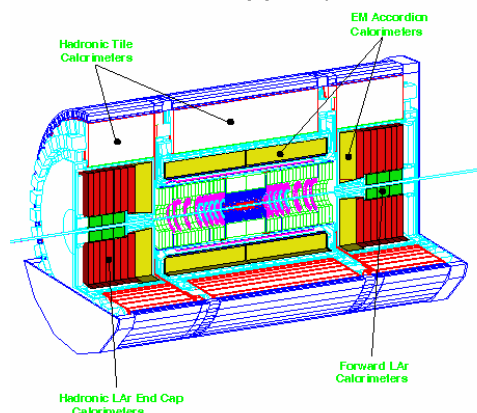


Figure 1 : Les calorimètres dans Atlas

seconde alors que le taux de production d'un boson de Higgs d'une masse de 115 GeV se désintégrant en deux photons devrait être de l'ordre de 1 événement par heure. De nombreux sujets de physique pourront être abordés grâce à ce nouvel outil, le plus éminent - mais pas le seul - étant l'étude de la brisure de symétrie de l'interaction électrofaible par le mécanisme de Higgs.

I.2. ATLAS AU LPNHE PARIS

Le groupe Atlas du LPNHE est constitué de 9 chercheurs, dont 8 permanents et 1 thésard, et d'une équipe de 17 techniciens et ingénieurs en informatique, mécanique et électronique. Le groupe est impliqué dans la réalisation du calorimètre électromagnétique du détecteur ATLAS, dans les analyses de données prises lors des tests en faisceaux, dans la mise au point du logiciel de reconstruction et d'analyse, ainsi que dans la préparation des analyses de physique.

II/ PARAMETRISATION DE LA REPOSE DES MUONS DANS LE CALORIMETRE ELECTROMAGNETIQUE

II.1. DISTRIBUTION DE LANDAU ET MUONS COSMIQUES

La perte d'énergie d'une « minimum ionizing particle » (comme, par exemple, le muon) passant à travers une fine couche de matière obéit à la loi de densité de probabilité de Landau suivante :

$$L(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \exp(s \ln s + xs) ds$$

Cette intégrale est indépendante de c ($c > 0$) et décrit la distribution spéciale de Landau avec un maximum pour $x_0 = -0,22278$.

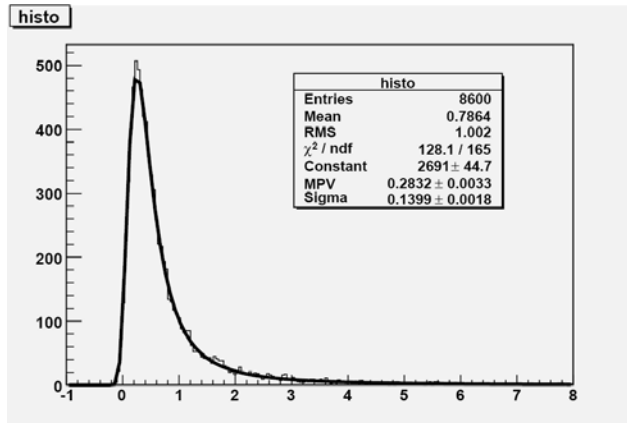
Elle est caractérisée par deux paramètres : la valeur la plus probable (MOP ou Most Probable Value) et la largeur de la courbe à mi-hauteur (FWHM ou Full Width at Half Maximum) différent selon le calorimètre envisagé.

L'intérêt d'utiliser des muons lors des tests en faisceaux est qu'ils déposent leur énergie dans le calorimètre et, grâce à leur propriété de « minimum ionizing particles », nous permettent d'avoir accès à des informations très précises sur les corrections qui seront à apporter dès le début des prises de données, prévues en 2007 et sur les éventuelles cellules mortes du calorimètre électromagnétique.

A partir des données recueillies lors des tests du calorimètre électromagnétique avec les muons cosmiques, on peut alors reconstituer l'allure de la courbe de leurs pertes d'énergie.

II.2. HISTOGRAMME ET PARAMETRES OBTENUS POUR L'EM CALORIMETRE

Voici l'histogramme de la perte d'énergie des muons obtenu pour l'EM et l'ajustement effectué (en anglais, le *fit*) qui correspond bien à une fonction de Landau.



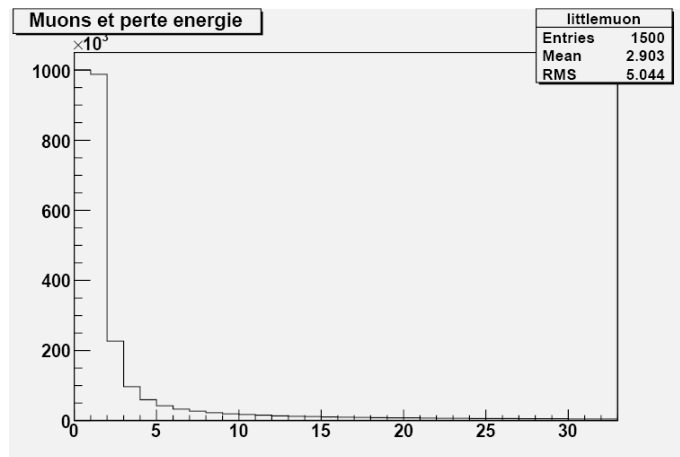
On obtient bien ce qu'on attendait, une distribution de Landau.

Pour le EM calorimètre, on obtient avec le fit :

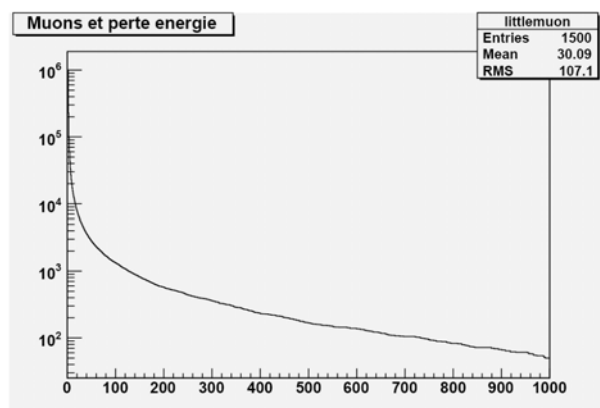
- MOP = 0,283 GeV
- FWHM = 0,140 GeV.

Histogramme 1 : Distribution de Landau et son fit pour le calorimètre électromagnétique

La distribution de la perte d'énergie des muons dans le calorimètre nous donne l'histogramme ci-contre : ainsi, le pourcentage de muons ayant perdu lors de leur passage dans les cellules du calorimètre électromagnétique une énergie supérieure à 10 GeV est de 1,7 % (voir tableau ci-dessous).



Histogramme 2 : Distribution de la perte d'énergie des muons dans l'EM calorimètre pour 1500 événements



Histogramme 3 : Distribution de la perte d'énergie des muons en échelle logarithmique

En échelle logarithmique en ordonnée, on voit, qu'à partir de 200 GeV, la courbe est linéaire ce qui caractérise une décroissance exponentielle du nombre de muons par unité d'énergie (GeV^{-1}).

On trouve environ :

$n(E) = C e^{-aE+b}$ avec $a = 8$ et $b = 8700$, C étant le coefficient de normalisation qui dépend du nombre de données au départ.

Energie seuil (en GeV)	10	20	50	100	200	500	1000
Pourcentage de muons de perte d'énergie supérieure à l'énergie seuil	1,726	0,7705	0,2807	0,1324	0,0573	0,0168	0,005

Tableau 1 : Pourcentage du nombre de muons dont la perte d'énergie est supérieure à une valeur donnée

III/ TRAVAUX ET RESULTATS DU STAGE

III.1. But du stage

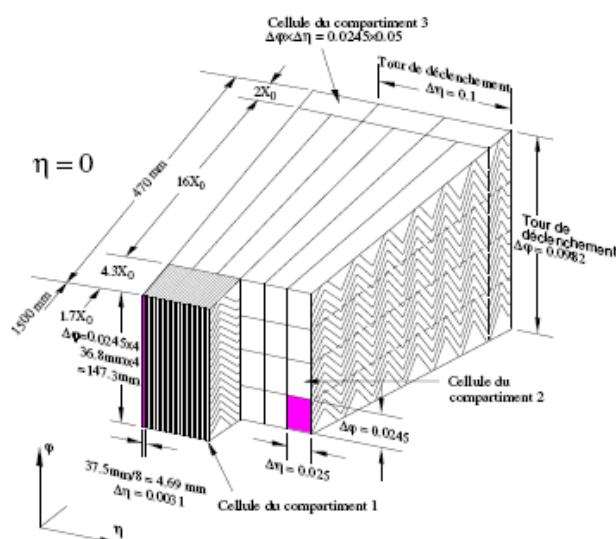
Les tests effectués sur le calorimètre électromagnétique par l'intermédiaire des muons cosmiques avant son introduction dans la caverne du LHC, apportent de nombreuses informations (différentes de ceux effectués avec des électrons) sur ses cellules. En particulier, certains muons déposent et donc perdent une grande quantité d'énergie à l'intérieur des cellules du calorimètre. Les différentes étapes de l'analyse ont été de :

- mesurer l'énergie déposée par chaque muon et identifier ces derniers (rôle du calorimètre électromagnétique)
- situer les cellules traversées par les muons (en éta pour la segmentation radiale, en phi pour la segmentation longitudinale) : dans quelle partie du calorimètre se situent-elles ? dans quels compartiments ?
- sélectionner les muons de forte perte d'énergie par compartiment pour détecter les défauts du calorimètre, si possible cellule par cellule.

III.2. Stratégie de recherche

III.2.a. La Physique : description du calorimètre EM

Le calorimètre est constitué d'une partie principale, le tonneau (ou *barrel*) de rayon intérieur 1,5m et extérieur 2m, et de deux bouchons (ou *endcaps*, *inner* et *outer*) de 4m de diamètre et 50cm d'épaisseur. On se repère, dans le calorimètre, par cellule ayant deux coordonnées : η pour la coordonnée radiale et φ pour celle longitudinale. Il est constitué de trois compartiments (ou *samplings*) selon la figure ci-dessous.

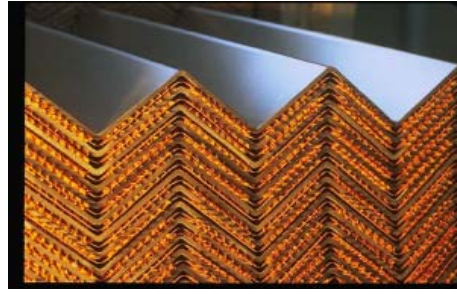


Les 3 principales caractéristiques du calorimètre électromagnétique sont :

Figure ci-contre : Représentation de la segmentation longitudinale et radiale d'une portion de la partie tonneau du calorimètre

- calorimètre à échantillonnage
- calorimètre à Argon liquide
- structure en accordéon

Le choix de l'Argon s'explique par le comportement linéaire de l'Argon, la stabilité de sa réponse dans le temps et sa tolérance aux radiations. Une géométrie en accordéon permet une importante herméticité. Ces propriétés ont été choisies ainsi, car la recherche du boson de Higgs nécessite de hautes énergies (plusieurs centaines de GeV).



liquide pour ATLAS. Une recherche du boson de Higgs nécessite de hautes énergies (plusieurs centaines de GeV).

III.2.b. L'Informatique

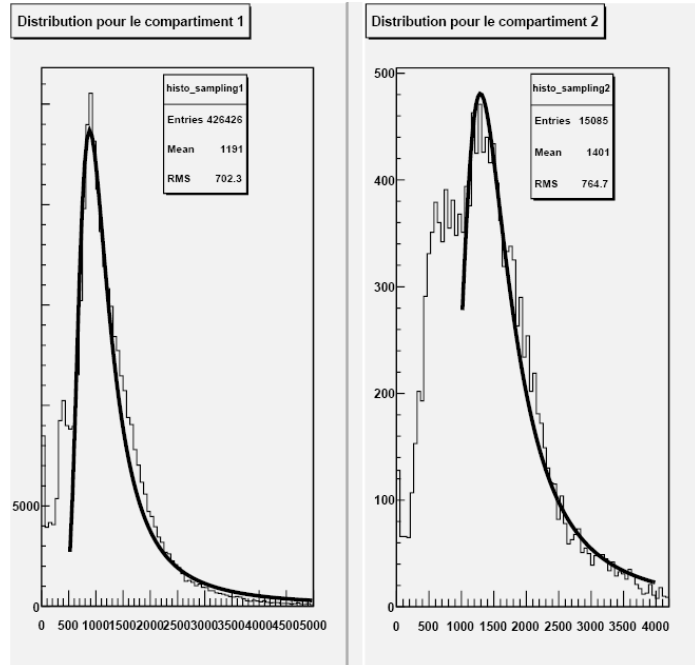
L'ensemble de la programmation a été effectué en langage C++, et les histogrammes ont été obtenus grâce à un logiciel omniprésent dans le milieu de la physique des particules, Root, dont j'ai appris petit à petit à me servir durant tout le long de ce stage et comprendre ses multiples rouages.

III.3. Les résultats obtenus

On peut obtenir donc la distribution de l'énergie par compartiment dans le tonneau du calorimètre. Avec ici 130000 événements considérés, on retrouve bien la distribution de densité de probabilité de Landau pour chaque compartiment.

Les paramètres des ajustements effectués sur ces courbes sont :

1. pour le premier compartiment, la valeur la plus probable est de 0,112 GeV et la largeur à mi-hauteur est de 0,702 GeV.
2. pour le deuxième compartiment (celui du milieu), la valeur la plus probable est de 0,134 GeV et la largeur à mi-hauteur de 0,764 GeV.



Tableaux : Distribution du maximum d'énergie par compartiment et l'ajustement correspondant pour 130000 événements

L'étape suivante de l'analyse sera donc de déterminer les erreurs et les défauts du calorimètre à partir de ces courbes en comparant les données réelles de l'ajustement

effectué ici. Ainsi, lors des premières prises de données, prévues pour 2007, il « suffira » de corriger celles-ci d'un facteur (différent pour chaque partie du calorimètre, voire même pour chaque cellule) que l'on aura déterminé à partir de ce type d'analyse.

Autrement dit, il s'agit de compenser les défauts du calorimètre, qui sont inévitables compte tenu de la haute technicité de construction de celui-ci et des erreurs humaines possibles (poussières laissées, cellules mortes dues à une mauvaise manipulation ou électrodes grillées par exemple).

Une autre difficulté est de tenir compte des bruits de fond électroniques, qui sont certes négligeables pour des grosses pertes d'énergie, mais qui, pour des faibles pertes, peuvent s'avérer primordiaux. D'ailleurs, les deux courbes ci-dessus sont non nulles au voisinage de l'origine ...

CONCLUSION

Ces dernières semaines furent pour moi une mise en bouche de ce que c'est que d'être physicien des particules : rien n'aurait pu gâcher la joie intense de voir qu'un programme sur lequel on travaille depuis des jours entiers et qui refusait jusque-là de compiler pour une erreur ou pour une autre, se met à fonctionner et que vous obtenez des histogrammes presque trop beaux pour être vrais. D'autant plus que, pendant mon stage, j'ai appris à me servir du logiciel que tous les physiciens utilisent : ROOT ... quelle satisfaction !

Elles furent également pour moi la confirmation de mon engouement pour ce sujet : la Physique des Particules en général.

Je remercie mon encadrant, Philippe, pour sa patience, qui a toujours été présent et a toujours su m'aider au mieux, et qui, surtout, m'a fait la joie immense de me choisir comme stagiaire il y a de cela quelques mois. Merci aux personnes de l'équipe à qui j'ai crié un appel au secours, en particulier à Manu mon collègue de bureau pour sa patience lorsque je le martelais de questions pénibles concernant un de mes programmes sous Root qui ne fonctionnait pas, ainsi qu'à Frédéric, qui a su trouver le temps de venir m'aider, alors qu'il avait déjà à charge un autre stagiaire.

ANNEXE N°1

DOCUMENTS MANUSCRIPTS :

✚ LIVRES :

- ROOT, An Object-Oriented Data Analysis Framework, Users Guide 4.04, Juin 2005

✚ NOTES ATLAS LPNHE :

- « Study of the EM Barrel Module 0 with Muons », A. Camard, F. Hubaut, B. Laforge, P. Schwemling, LPNHE-Paris, Août 2001

✚ THESE :

- Thèse d'Olivier Gaumer, « Analyse de l'uniformité des modules de série du calorimètre électromagnétique tonneau d'Atlas », LAPP, Décembre 2004

✚ AUTRES ARTICLES :

- "Parametrization of the Muon Response in the Tile Calorimeter", T. Davidek, R. Leitner, Mars 1997
- "Performance of the Atlas electromagnetic calorimeter barrel module 0", Atlas Electromagnetic Liquid Argon Calorimeter Group, CERN-EP/2002-087
- "Understanding the Atlas electromagnetic barrel pulse shapes and the absolute electronic calibration", L. Neukermans, P. Perrodo, R. Zitoun, ATLAS-LARG/2001-008

SITES INTERNET:

- <http://www-lpnhep.in2p3.fr/Atlas/Articles>
- <http://atlas-france.in2p3.fr/Documentations>
- <http://root.cern.ch/Tutorials>
- Présentation de Farès Djama, Le calorimètre électromagnétique de l'expérience Atlas au LHC, CPPM Marseille