

---

# Calibration des calorimètres de CMS pour la reconstruction de flux de particules.

---

## Résumé :

Les énergies des flux de particules dans le détecteur CMS sont mesurées à l'aide d'un calorimètre électromagnétique (ECAL) et d'un calorimètre hadronique (HCAL). Pour reconstruire les flux de particules dans le traqueur, il nous faut connaître au mieux l'énergie de la particule qui a engendrée ces dépôt d'énergies dans les calorimètres.

Pour se faire, j'ai développé durant ce stage des algorithmes qui, connaissant les énergies déposées dans les calorimètres pour un événement, lui prédisent une énergie de calibration ( $e_{calib}$ ) qui se veut la plus proche possible de la vraie énergie en se basant sur des données d'entraînement simulées, c'est à dire un ensemble d'événements qui contiennent l'énergie déposée dans ECAL, dans HCAL et la vraie énergie,  $(e_{cal}, h_{cal}, e_{true})$ .

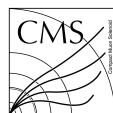
L'idée générale des différentes méthodes proposées est de modéliser ce nuage de points simulés  $(e_{cal}, h_{cal}, e_{true})$ , par une surface  $e_{calib} = f(e_{cal}, h_{cal})$ .

En première approximation, j'ai utilisé une régression linéaire, qui modélise grossièrement le nuage de point et qui met en avant des non-linéarités locales.

Pour prendre en compte les non-linéarités, j'ai maillé le plan  $(e_{cal}, h_{cal})$  en petits carrés et j'ai moyenné les vraies énergies pour obtenir une énergie de calibrations par carré. Cependant, cette méthode de calibration fait apparaître des paliers et est trop dépendante de la répartition des données d'entraînement et de la taille arbitraire des carrés.

Pour lisser cette méthode précédente et enlever ces dépendances, j'ai donc cette fois-ci choisi de travailler en fonction des plus proches voisins : pour un couple  $(e_{cal}, h_{cal})$ , l'énergie calibrée sera dépendante des vraies énergies de ces plus proches voisins.

Cette dernière idée fût la plus prometteuse et reste à être améliorée.



**Mots clefs :** *Calibration, Modélisation, Physique des particules*

Stage encadré par :

**Colin Bernet** colin.bernet@cern.ch

*Bâtiment Paul Dirac*

*4, Rue Enrico Fermi*

*69622 Villeurbanne Cedex*

*Tél. : +33 (0) 4 72 44 84 57*

19 juillet 2017

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Méthodes de calibrations développées pendant le stage</b>	<b>3</b>
2.1	Régression Linéaire . . . . .	3
2.2	Méthode des "legos" . . . . .	3
2.3	Méthode des plus proches voisins (KNN) . . . . .	3
2.4	KNN Gaussian Cleaning . . . . .	3
2.5	KNN Gaussian Fit . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Comparaison des méthodes</b>	<b>3</b>

DRAFT

# 1 Introduction

Après avoir permis la découverte expérimentale du boson de Higgs en 2012 [1, 6], les expériences généralistes ATLAS et CMS installées sur le LHC du CERN, sont toujours en place dans l'optique de découvrir de la nouvelle physique au delà du modèle standard.

Les détecteur ATLAS et CMS sont basés sur les mêmes principes : ils disposent tous deux d'une structure cylindrique en couches placées autour du point d'interaction où les collisions proton-proton sont réalisées.

Le but de ces détecteur étant de déterminer le type, l'énergie ainsi que la direction des particules de l'état final de la collision, pour pouvoir en mesurer les propriétés, et par exemple déterminer si une nouvelle particule instable a été produite.

Nous allons alors nous intéresser plus spécifiquement au détecteur CMS [5], celui-ci dispose :

- d'un champ magnétique, pour séparer les dépôts d'énergie du calorimètre des particules chargées et neutres dans les jets
- d'un traceur, pour reconstruire la trajectoire des particules chargées
- d'un calorimètre électromagnétique (ECAL) [2, 4], constitué d'un cristal de tungstate de plomb, permettant de dégager des dépôts d'énergie à partir de particules dans des jets (hadrons chargés, hadrons neutres et photons) clairement séparés l'un de l'autre jusqu'à un jet  $p_T$  de l'ordre de 1TeV. L'identification efficace du photon résultant, couplée à la résolution élevée de l'énergie ECAL, permet une excellente mesure d'environ 25% de l'énergie du jet
- d'un calorimètre hadronique (HCAL) [3], composé de plusieurs couches d'amortisseurs en laiton et de carreaux scintillateurs en plastique, avec une segmentation grossière mais suffisante pour séparer les dépôts d'énergie hadron chargés et neutres dans des jets jusqu'à de 200 – 300GeV, ce qui permet de reconstruire les 10% restants de l'énergie du jet, bien qu'avec une modeste résolution
- d'un système de suivi des muons, fournissant une identification, indépendamment des particules environnantes.

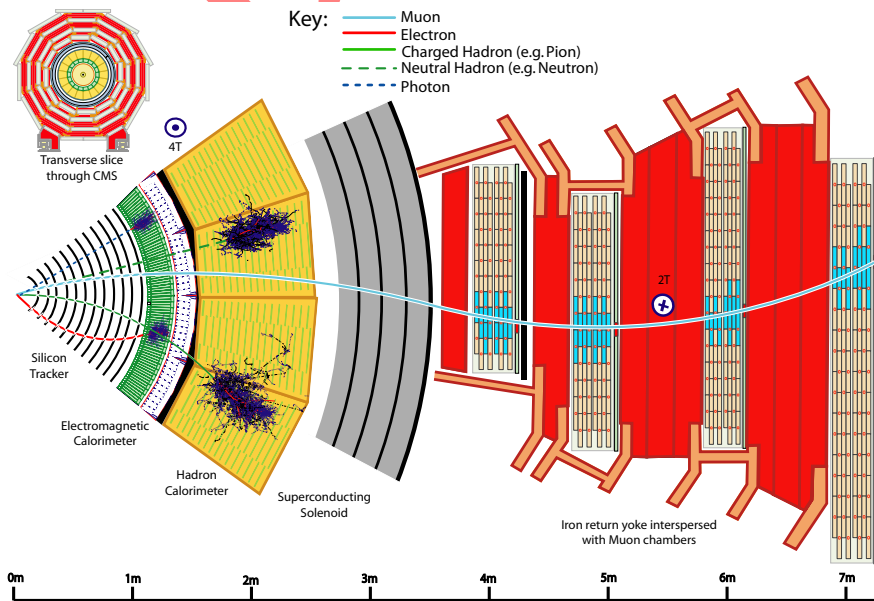


FIGURE 1 – Une esquisse des interactions spécifiques des particules dans une tranche transversale du détecteur CMS.

Détaillons alors le comportement des particules stables dans le détecteur :

- $e^+, e^-$  :
  - suivis dans le traceur
  - déposent leur énergie dans ECAL
- hadrons chargés :
  - suivis dans le traceur
  - déposent leur énergie dans ECAL
  - déposent leur énergie dans le HCAL
  - fin de course dans HCAL
- hadrons neutres :
  - déposent leur énergie dans le HCAL
  - fin de course dans HCAL
- $\mu^+, \mu^-$  :
  - suivis dans le traceur
  - traverse ECAL, HCAL
  - système de suivis des muons

À noter que dans notre étude seul les hadrons chargés nous intéressent. Toutes ces informations vont permettre par la suite de reconstruire toute la décomposition qui s'effectue dans le détecteur, ce que l'on appelle le *Particle Flow (PF)*.

Cette complexité de détection, plus le fait que les dépôts d'énergies sont reliés aux sections efficaces des particules en mises en jeu font que la réponse des calorimètres n'est pas linéaire et que la somme des énergies dans les calorimètres ne correspond pas à l'énergie de l'événement incident, d'où la nécessité d'une calibration.

Une technique classique de calibration consiste à déterminer l'énergie calibrée par une fonction linéaire de l'énergie lue dans le ECAL et de celle lue dans le HCAL (malgré ce qui fût dit plus haut). Nous reviendrons en détail sur cette méthode dans la section 2.1.

De plus, ce rapport présente de nouvelles techniques de calibration qui permettent de prendre en compte la non-linéarité des calorimètres. Ces techniques sont présentées dans les sections 2.2, 2.3, 2.4 et enfin 2.5.

Enfin, dans la section 3 nous comparerons ces méthodes.

## 2 Méthodes de calibrations développées pendant le stage

### 2.1 Régression Linéaire

### 2.2 Méthode des "legos"

### 2.3 Méthode des plus proches voisins (KNN)

### 2.4 KNN Gaussian Cleaning

### 2.5 KNN Gaussian Fit

## 3 Comparaison des méthodes

## Références

- [1] ATLAS Collaboration. Observation of a new particle in the search for the standard model higgs boson with the atlas detector at the lh. *Physics Letters B*, 716(1) :1 – 29, 2012.
- [2] CMS Collaboration. The cms electromagnetic calorimeter project : technical design report. *Technical Design Report CMS*, 1997. <https://cds.cern.ch/record/349375>.
- [3] CMS Collaboration. Cms : The hadron calorimeter technical design report. *Technical Design Report CMS*, 1997. <https://cds.cern.ch/record/349375>.
- [4] CMS Collaboration. Addendum to the cms ecal technical design report : changes to the cms ecal electronics. *Technical Design Report CMS*, 2002. <https://cds.cern.ch/record/349375>.
- [5] CMS Collaboration. The cms experiment at the cern lh. *Journal of Instrumentation*, 3(08) :S08004, 2008. <http://stacks.iop.org/1748-0221/3/i=08/a=S08004>.
- [6] CMS Collaboration. Observation of a new boson at a mass of 125 gev with the cms experiment at the lh. *Physics Letters B*, 716(1) :30 – 61, 2012.

DRAFT