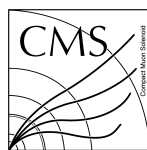

Une méthode de calibration non paramétrique pour les calorimètres de CMS.

Résumé :

DANS LE DÉTECTEUR CMS, L'ÉNERGIE DES HADRONS NEUTRES EST DÉTERMINÉE À PARTIR DE L'ÉNERGIE MESURÉE DANS LES CALORIMÈTRES ÉLECTROMAGNÉTIQUES (E_{ecal}) ET HADRINIQUES (E_{hcal}). UNE CALIBRATION EST CEPENDANT NÉCESSAIRE POUR ESTIMER L'ÉNERGIE VRAIE DU HADRON NEUTRE À PARTIR DE E_{ecal} ET E_{hcal} . DANS UN PREMIER TEMPS, J'AI UTILISÉ COMME CALIBRATION UNE FONCTION LINÉAIRE DE E_{ecal} ET E_{hcal} . ENSUITE, AFIN DE DÉCRIRE LA NON LINÉARITÉ DE LA MESURE DE L'ÉNERGIE, J'AI INVENTÉ UNE NOUVELLE MÉTHODE DE CALIBRATION NON PARAMÉTRIQUE.



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

Table des matières

1	Introduction	2
2	Régression Linéaire	3
2.1	Principe de la calibration	3
2.2	Résultat de la calibration	3
3	Méthode non paramétrique binnée	4
3.1	Principe général de l'algorithme	4
3.2	Résultat de la calibration	4
4	Méthodes des plus proches voisins	4
4.1	Moyenne pondérée	4
4.1.1	Principe général de l'algorithme	4
4.1.2	Résultat de la calibration	4
4.2	Nettoyage gaussien	4
4.2.1	Principe général de l'algorithme	4
4.2.2	Résultat de la calibration	4
4.3	Fit gaussien	4
4.3.1	Principe général de l'algorithme	4
4.3.2	Résultat de la calibration	4
5	Comparaison des méthodes	4
5.1	Méthodes des plus proches voisins	4
6	Annexes	4
6.1	Comment créer une calibration ?	4
6.2	Fonctions utiles du programme	4

1 Introduction

Après avoir permis la découverte expérimentale du boson de Higgs en 2012, les expériences généralistes ATLAS [1] et CMS [5] 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 détecteurs ATLAS et CMS sont basés sur les mêmes principes : cylindriques, ils sont constitués d'un ensemble de sous-détecteurs disposés en couches concentriques autour du point d'interaction. Les informations provenant de ces sous-détecteurs sont combinées pour déterminer le type, l'énergie et la direction des particules de l'état final de la collision, pour pouvoir mesurer les propriétés de celle-ci, et par exemple déterminer si une particule instable encore inconnue a été produite.

Nous allons nous intéresser plus spécifiquement au détecteur CMS [4]. Celui-ci dispose :

- d'un champ magnétique, pour courber la trajectoire des particules chargées ;
- d'un trajectographe, pour reconstruire la trajectoire des particules chargées, et ainsi obtenir la charge et l'impulsion ;
- d'un calorimètre électromagnétique (ECAL) [2], constitué d'un cristal de tungstate de plomb, permettant de collecter les dépôts d'énergie des particules, principalement électrons et photons, mais aussi hadrons chargés et neutres) ;
- d'un calorimètre hadronique (HCAL) [3], composé de plusieurs couches d'absorbeur en laiton et de carreaux scintillateurs en plastique, avec une segmentation grossière. La résolution du HCAL pour la mesure de l'énergie E d'un hadron est de l'ordre de $100\% \sqrt{(E/\text{GeV})}$;
- de chambres à muons, qui permettent l'identification de ces particules, les seules à pouvoir y parvenir.

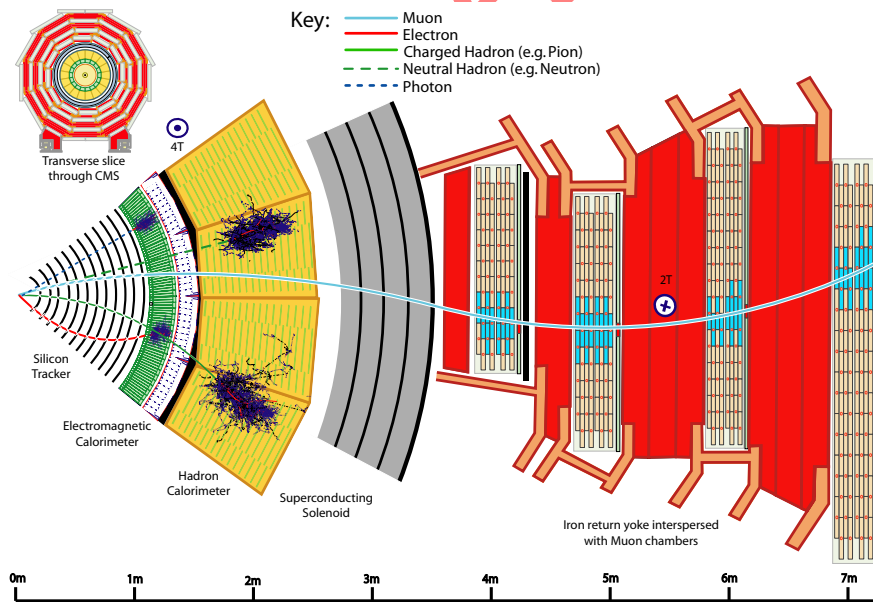


FIGURE 1 – Une esquisse des interactions spécifiques des particules dans une tranche transversale du détecteur CMS.

Détaillons alors le comportement des particules :

- photons (exemple 1 dans la Fig. 1) :
 - déposent leur énergie dans ECAL ;
- e^+, e^- (exemple 2 dans la Fig. 1) :
 - produisent une trace dans le trajectographe ;

- déposent leur énergie dans ECAL ;
- hadrons chargés (exemple 3 dans la Fig. 1) :
 - produisent une trace dans le trajectographe ;
 - déposent en minorité des cas leur énergie dans ECAL ;
 - déposent leur énergie dans HCAL ;
 - fin de course dans HCAL ;
- hadrons neutres (exemple 4 dans la Fig. 1) :
 - déposent leur énergie dans le HCAL ;
 - déposent en minorité des cas leur énergie dans ECAL ;
 - fin de course dans HCAL ;
- μ^+, μ^- (exemple 5 dans la Fig. 1) :
 - produisent une trace dans le trajectographe ;
 - traversent ECAL, HCAL ;
 - chambre à muons.

À noter que dans notre étude seuls les hadrons neutres nous intéressent.

Toutes ces informations vont permettre par la suite de reconstruire toute la décomposition qui s'effectue dans le détecteur, cette opération s'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 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. Cette méthode sera présentée dans la section 2.

Ensuite, ce rapport présente de nouvelles techniques de calibration qui permettent de prendre en compte la non-linéarité des calorimètres. Ces techniques seront présentées dans les sections 3 et 4. Enfin, dans la section 5 nous comparerons ces méthodes.

2 Régression Linéaire

2.1 Principe de la calibration

- Une première calibration

$$E_{\text{true}} = a_1 E_{\text{ecal}} + a_2 E_{\text{hcal}} + b \quad (1)$$

- ref scikitLearn
- séparation ecal != 0 , ecal = 0

2.2 Résultat de la calibration

- Résultat de la calibration
- paramètres utilisés :
- origine de la courbe de fit
- comment fait-on un fit

expliquer :

- barre d'erreur
- minimisation du χ^2
- un bon χ^2 réduit ? - quand nous ferons un fit gaussien ce sera toujours le même principe

3 Méthode non paramétrique binnée

3.1 Principe général de l'algorithme

3.2 Résultat de la calibration

- paramètres :

4 Méthodes des plus proches voisins

4.1 Moyenne pondérée

4.1.1 Principe général de l'algorithme

4.1.2 Résultat de la calibration

- paramètres :

4.2 Nettoyage gaussien

4.2.1 Principe général de l'algorithme

4.2.2 Résultat de la calibration

- paramètres :

4.3 Fit gaussien

4.3.1 Principe général de l'algorithme

4.3.2 Résultat de la calibration

- paramètres :

5 Comparaison des méthodes

5.1 Méthodes des plus proches voisins

6 Annexes

6.1 Comment créer une calibration ?

6.2 Fonctions utiles du programme

DRAFT

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. 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>.
- [5] 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.