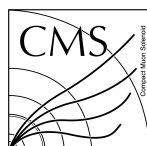

Une méthode de calibration non paramétrique pour les calorimètres de CMS.

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 hadroniques (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	5
4.2.1	Principe général de l'algorithme	5
4.2.2	Résultat de la calibration	5
4.3	Fit gaussien	5
4.3.1	Principe général de l'algorithme	5
4.3.2	Résultat de la calibration	5
5	Comparaison des méthodes	5
5.1	Méthodes des plus proches voisins	5
6	Annexes	5
6.1	Fonctions utiles du programme	5

1 Introduction

Après avoir permis la découverte expérimentale du boson de Higgs en 2012, les expériences généralistes ATLAS [1] et CMS [2] 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 [3]. 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) [4], 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) [5], 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.

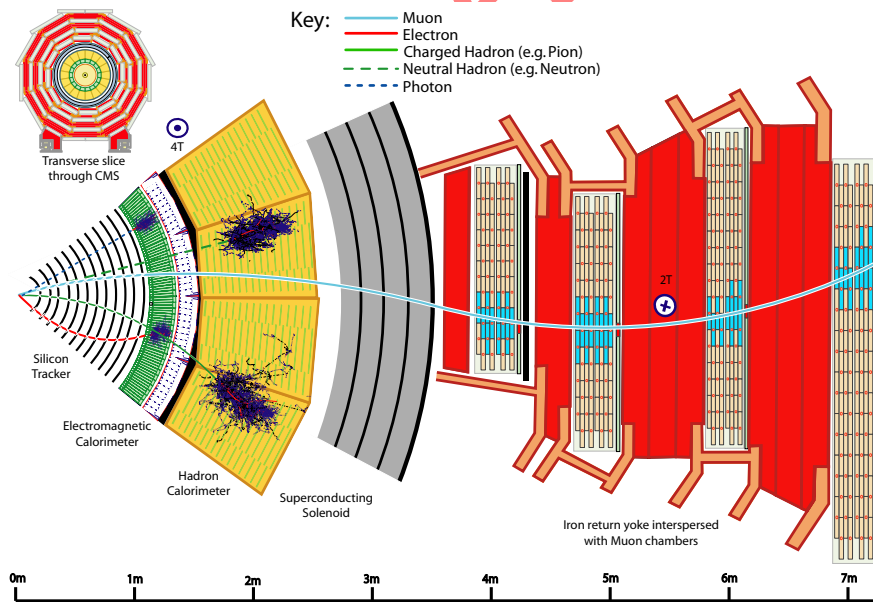


FIGURE 1 – Une esquisse des interactions spécifiques des particules dans une tranche transversale du détecteur CMS.

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.

Le connaissance des dépôts d'énergies et du comportement des particules dans les différentes parties du détecteur nous permette de reconnaître et distinguer les particules, cette opération s'appelle le *Particle Flow (PF)*. Cependant, il est aussi nécessaire d'estimer l'énergie des particules (E_{true}) à l'aide d'une calibration des calorimètres. En effet, ces derniers ne présentent pas une réponse linéaire et la somme des énergies dans les calorimètres ne correspond pas à l'énergie de la particule. Cette énergie de calibration sera notée E_{calib} .

En première approximation, nous déterminerons l'énergie calibrée par une fonction linéaire de l'énergie lue dans le ECAL (énergie notée par la suite E_{ecal}) et de celle lue dans le HCAL (notée par la suite H_{ecal}). 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

- Un première calibration

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

- ref scikitLearn [6]
- séparation ecal != 0 , ecal = 0

2.2 Résultat de la calibration

- doc GitHub [7]
- paramètres utilisés :
- LinearRegression : lim -> 150

```

limmax -> 80
limmin -> 20
numberPart -> 162195
for ecal == 0 :
ecalib = 0.960326144365 hcal + 5.92100531606
for ecal != 0 :
ecalib = 1.34578479311 ecal + 0.987111240421 ecal + 8.27380815395
- origine de la courbe de fit
- comment fait-on un fit
-scipy [8]
expliquer :
- barre d'erreur
- minimisation du chi2
- un bon chi2 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

- ref Git [9]
- paramètres
- biais lié aux bins

4 Méthodes des plus proches voisins

4.1 Moyenne pondérée

4.1.1 Principe général de l'algorithme

- l'algo
- moyenne pondérée par une gaussienne
- trouver les plus proches voisins scikitlearn [10]

4.1.2 Résultat de la calibration

```

- doc git [11] - paramètres :
lim -> 150
n_neighbors_cal_q0 -> 2000
n_neighbors_cal_nq0 -> 250
numberPart -> 162195
recalibrated -> False
sigma -> 5

```

4.2 Nettoyage gaussien

4.2.1 Principe général de l'algorithme

- on enlève les points éloignés du coeur de la distribution
- principe de l'algo
- interpolation [12]

4.2.2 Résultat de la calibration

- doc git [13] - paramètres :

```

n_neighbors_cal_e0 = 2000
n_neighbors_cal_ne0 = 250
weights = 'gaussian'
algorithm = 'auto'
sigma = 5
lim = 150
energystep = 1
kind = 'cubic'
cut = 2

```

4.3 Fit gaussien

4.3.1 Principe général de l'algorithme

- principe de l'algo
- Ecalib = μ

4.3.2 Résultat de la calibration

- doc git [14] - paramètres :

```

lim = 150 if ecal + hcal > lim, ecalib = math.nan
n_neighbors_cal_e0 = 2000 numberofneighborsforecal = 0
n_neighbors_cal_ne0 = 250 numberofneighborsforecal?0
energystep_cal_e0 = 1
energystep_cal_ne0 = 5

```

5 Comparaison des méthodes

5.1 Méthodes des plus proches voisins

6 Annexes

6.1 Fonctions utiles du programme

Références

- [1] ATLAS Collaboration. Observation of a new particle in the search for the standard model higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. *Physics Letters B*, 716(1) :1 – 29, 2012.
- [2] CMS Collaboration. Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. *Physics Letters B*, 716(1) :30 – 61, 2012.
- [3] CMS Collaboration. The CMS experiment at the cern LHC. *Journal of Instrumentation*, 3(08) :S08004, 2008. <http://stacks.iop.org/1748-0221/3/i=08/a=S08004>.
- [4] CMS Collaboration. The CMS electromagnetic calorimeter project : technical design report. *Technical Design Report CMS*, 1997. <https://cds.cern.ch/record/349375>.
- [5] CMS Collaboration. CMS : The hadron calorimeter technical design report. *Technical Design Report CMS*, 1997. <https://cds.cern.ch/record/349375>.
- [6] Scikit Learn. *Generalized Linear Models*. scikit-learn.org.
- [7] Samuel Niang. *Classe LinearRegression*.
- [8] Scipy. *Optimization*. docs.scipy.org.
- [9] Samuel Niang. *Classe CalibrationLego*. github.com/sniang/particle_flow_calibration.
- [10] Scikit Learn. *Nearest Neighbors*. scikit-learn.org.
- [11] Samuel Niang. *Classe KNN*. github.com/sniang/particle_flow_calibration.
- [12] Scipy. *Interpolation*. docs.scipy.org.
- [13] Samuel Niang. *Classe KNNGC*. github.com/sniang/particle_flow_calibration.
- [14] Samuel Niang. *Classe KNNGF*. github.com/sniang/particle_flow_calibration.