



**HAL**  
open science

**Reconstruction des photons et des  $\pi_0$  pour la  
calibration du calorimètre électromagnétique de  
l'expérience LHCb et étude du canal de désintégration**

$$B^d_0 \rightarrow J/\psi\pi_0$$

G. Rospabe

► **To cite this version:**

G. Rospabe. Reconstruction des photons et des  $\pi_0$  pour la calibration du calorimètre électromagnétique de l'expérience LHCb et étude du canal de désintégration  $B^d_0 \rightarrow J/\psi\pi_0$ . Journées Jeunes Chercheurs JJC 2006, Dec 2006, La Rochelle, France. pp.251-254. in2p3-00168472

**HAL Id: in2p3-00168472**

**<https://in2p3.hal.science/in2p3-00168472v1>**

Submitted on 28 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Table des matières

<b>Gaël ROSPABÉ : <i>Reconstruction des photons et des <math>\pi_0</math> pour la calibration du calorimètre électromagnétique de l'expérience LHCb et étude du canal de désintégration <math>B_d^0 \rightarrow J/\psi\pi_0</math></i></b>	<b>3</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 La violation CP . . . . .	3
1.3 L'expérience LHCb . . . . .	4
1.4 La reconstruction des photons dans l'expérience LHCb . . . . .	4
1.5 Calibration du Ecal dans l'expérience LHCb . . . . .	5
1.6 Analyse de canaux de désintégration utilisant les informations du Ecal . . . . .	6
1.7 Conclusion . . . . .	6



**Reconstruction des photons et des  $\pi_0$  pour la  
calibration du calorimètre électromagnétique de  
l'expérience LHCb et étude du canal de  
désintégration  $B_d^0 \rightarrow J/\psi\pi_0$**

**Gaël ROSPABÉ**

*LAPP (Laboratoire d'Annecy le Vieux de Physique des  
Particules), Annecy le Vieux*



## Résumé

LHCb est l'une des quatre expériences présentes sur le LHC. Le LHC est un accélérateur de particule présent dans la plaine genevoise. Il va faire entrer en collision des protons contre des protons à une énergie de 14TeV. Son démarrage est prévu pour la fin de l'automne 2007 mais à une énergie de seulement 900 Gev.

La calibration du calorimètre électromagnétique est une étape incontournable dans une expérience. En effet la précision des mesures en dépend.

Dans LHCb, une calibration basée sur la méthode des  $\pi_0$  a été choisie. La masse invariante des  $\pi_0$  est reconstruite à partir des deux photons issus de sa désintégration.

Ces  $\pi_0$  servent aussi dans certains canaux de physiques étudiés dans LHCb pour la détermination de la violation CP.

## 1.1 Introduction

Le calorimètre a été conçu pour atteindre une résolution de  $1\%/\sqrt{E}$ . Pour cela il faut passer par deux intercalibrations pour amener dans un premier temps cette résolution à moins de 5% puis se servir de la méthode des  $\pi_0$  pour descendre en dessous de 1%. Plusieurs voies sont envisagées pour la calibration du Ecal de l'expérience LHCb. On peut citer par exemple la calibration grâce au flux d'énergie transverse qui est constant dans notre cas, celle à partir des électrons en comparant la mesure de leur impulsion et l'énergie qu'ils déposent dans le calorimètre électromagnétique. Et la dernière, qui nous intéresse ici, se servant de la reconstruction de la masse invariante des  $\pi_0$  (très bien connue) se désintégrant en deux photons.

Dans un premier temps une bonne reconstruction des photons est demandée, c'est à dire une bonne efficacité de reconstruction et une énergie reconstruite la plus proche de l'énergie réelle. On entend par efficacité le rapport entre le nombre de photons reconstruit sur celui obtenu par les simulations Monte-Carlo (MC) pour chaque zone du Ecal.

Quant à l'énergie reconstruite, plusieurs corrections sont apportées à celle obtenue par la simple addition de l'énergie des différentes cellules touchées par un photon

dans le calorimètre, corrections que je développerai.

Ces photons ainsi reconstruits pourront alors reconstruire des  $\pi_0$ . La reconstruction des  $\pi_0$  est aussi une étape importante pour optimiser la calibration et ainsi obtenir la meilleure précision possible.

La reconstruction des  $\pi_0$  est également mise en jeu pour certains canaux d'analyse dans l'expérience LHCb comme  $B_d^0 \rightarrow J\psi\pi_0$  et aussi dans le canal  $B_d^0 \rightarrow 3\pi$  (lui, servant à l'extraction de l'angle  $\alpha$ ). Les photons eux aussi serviront dans beaucoup de canaux d'analyse comme par exemple les canaux  $B_s^0 \rightarrow J\psi\eta^{(\prime)}$ .

## 1.2 La violation CP

L'expérience LHCb fait partie des quatre expériences présentes sur le LHC et qui utiliseront les collisions protons-protons (p-p) à 14TeV. L'expérience LHCb est dédiée à l'étude d'un des grands mystères de la physique actuelle : la violation CP dans le système des B. Les deux autres expériences présentes sur le LHC (Atlas et CMS) couvriront l'ensemble de la physique présente au LHC.

La violation CP est la différence de comportements entre la matière et l'anti-matière. Des particules  $A$  et  $\bar{A}$  par exemple ne se désintègreront pas de la même manière.

Cette violation CP est présente et observée pour l'instant que dans le domaine des quarks. On peut la représenter par la matrice CKM (du nom des physiciens Cabbibo, Kobayachi et Maskawa, qui relie les états de masse aux états de saveurs des quarks. Ce sont les deux termes  $V_{ub}$  et  $V_{td}$  qui sont responsables de cette violation CP car ils contiennent la phase de cette représentation SU(3).

Cette matrice a plusieurs représentations. Wolfenstein l'a développée sous une notation que l'on nomme notation de Wolfenstein. La représentation la plus connue est celle du triangle CKM (voir fig1.1). L'aire de ce triangle est directement proportionnelle à l'intensité de la violation CP. Le jeu consiste donc à mesurer les cotes et les angles de ce triangle [?].

Les différentes mesures pour déterminer les angles et cotés sont montres avec des couleurs différentes. On peut voir que certaines d'entre elles (les premières) ont

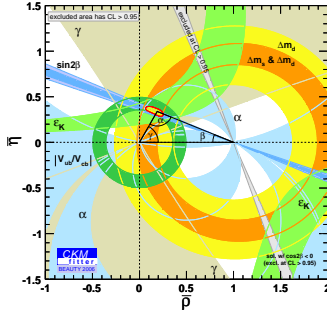


FIG. 1.1 – Représentation de la matrice CKM sous la forme du triangle d'unitarité.

été effectuées dans le domaines des mésons K ( $\epsilon_K$ ). Les autres se font principalement dans le domaines des mésons B.

Les systèmes des mésons B (association d'un quark  $b$  ou  $\bar{b}$  avec un autre quark) est un très bon terrain d'étude de la violation CP. Les expériences Babar et Belle y travaillent et y ont déterminer les angles  $\alpha$   $\beta$  et  $\gamma$  avec les meilleures précisions actuelles [?].

Les expériences CDF et  $D_0$  ont obtenu aussi un résultat important pour la mesure de l'oscillation des  $B_s$  et ceci aussi dans le domaine des mésons B.

### 1.3 L'expérience LHCb

La particularité de l'expérience LHCb est sa géométrie en un bras unique. Une telle géométrie est d'habitude utilisée pour des expériences sur cible fixe. Ceci vient du fait que les mésons B seront produits principalement par la fusion de quarks et de gluons dont un sera mou et l'autre dur ainsi que dans les excitations de saveurs ou là aussi le quark sera dur et l'anti-quark mou. Ces mésons B seront alors produits vers l'avant (voir fig1.2) [2].

LHCb est donc une succession de détecteurs pour

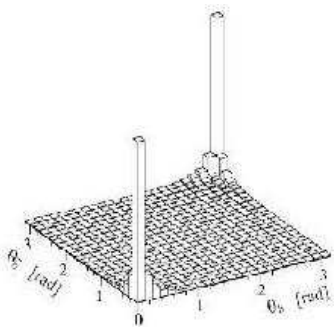


FIG. 1.2 – Angle de production des mésons B vs celui des mésons  $\bar{B}$ .

l'identification des particules et la mesure de leur énergie; déclenchant sur les paires  $B\bar{B}$ . En partant du point d'interaction (position  $z=0$ ) et en allant vers les plus grands  $z$ , on trouve d'abord un détecteur de vertex (VELO), les trackers pour la reconstruction des trajectoires des particules chargées, des Cherenkov (RICHs) pour l'identification des particules chargées et la calorimétrie pour la mesure de l'énergie des particules. La calorimétrie comprend le calorimètre électromagnétique (ECAL), le hadronique (HCAL). Et enfin les chambres à muons pour permettre de sélectionner et identifier les muons.

Le Ecal lui-même est une succession de plusieurs détecteurs. On trouve en allant du point d'impact vers ces chambres à muons (voir fig1.3) :

- un scintillateur (SPD) servant pour la séparation particules chargées/neutres
- un pied de gerbe (PS) de  $2.5X0$  servant à l'identification électromagnétique.
- la partie principale du Ecal ( $25X0$ ) où se d'éposera la quasi-totalité de l'énergie des particules électromagnétiques.

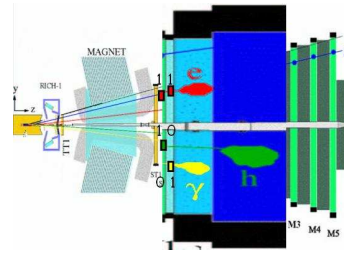


FIG. 1.3 – Zoom sur la calorimétrie de l'expérience LHCb

Le Ecal est ségmenté en x et en y donc l'énergie déposée dans les PS et Ecal se fera sous forme de clusters. Un cluster est un ensemble de cellules jointives ou a été déposé un minimum d'énergie.

### 1.4 La reconstruction des photons dans l'expérience LHCb

Les clusters électromagnétiques n'ayant pas de trace pointant dessus seront identifiés comme candidats photons [3]. D'autres effets du détecteur empêchent la bonne reconstruction des photons, comme on peut le voir sur la fig1.4.

La mauvaise efficacité à grand angle et énergie s'explique par une saturation du Ecal à 100GeV en Pt et par une coupure à bas Pt au niveau de l'électronique ( $>50\text{MeV}$  par cellule par suppression de zéro), le fait que

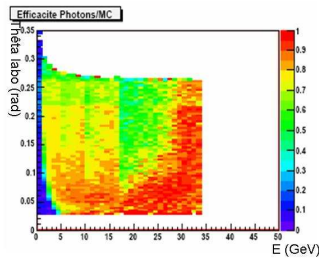


FIG. 1.4 – Efficacité de reconstruction des photons en fonction de l'énergie et de l'angle de ceux-ci

les photons sont mergés (dans le même cluster). Celle à bas theta, quant à elle est du à . Les effets de bords aussi font baisser cette efficacité.

Plusieurs corrections sont à appliquer, la première est la correction dite S-Shape [4], qui corrige la position du barycentre du cluster reconstruit par rapport à celle obtenue par MC. La deuxième est celle due aux fuites en énergie longitudinales et transverses respectivement vers le Hcal et les matériaux autour du cluster.

La troisième correction est celle en fonction de l'énergie déposée dans le PS (2,5X0) et la région où se trouve le cluster. Cette dernière correction est déterminée par la fonction de correction suivante (voir fig1.5), figure obtenue en étudiant l'énergie recueillie dans le calorimètre en fonction de l'énergie déposée dans le pied de grebe.

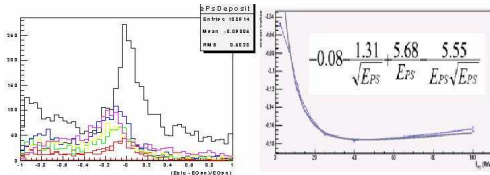


FIG. 1.5 – A gauche :  $\frac{E_{Clus} - E_{Gen}}{E_{Gen}}$  en fonction de l'énergie déposée dans le PS. A droite : fonction de correction obtenue.

## 1.5 Calibration du Ecal dans l'expérience LHCb

Une fois les photons reconstruits, ils sont appariés deux à deux pour reconstruire les  $\pi_0$  avec la formule :

$$m_{\pi_0}^2 = 2E_{\gamma_1}E_{\gamma_2}(1 - \cos\theta_{12}) \quad (1.1)$$

Avec  $E_{\gamma_i}$  l'énergie du photon  $i$  et  $\theta_{12}$  l'angle entre les deux photons.

Le spectre initial en masse des  $\pi_0$  est représenté sur la figure 1.6 ainsi que celui après l'application des coupures suivantes.  $P_{t\pi_0} > 0.8$  GeV,  $P_{t\gamma_1} > 0.2$  GeV,  $P_{t\gamma_2} > 0.15$  GeV ; ces coupures sélectionnent les  $\pi_0$  d'une

certaine énergie.  $150 <$  distance entre les deux clusters  $< 750$  mm afin d'avoir des clusters séparés et pas trop éloignés, des événements ayant une faible activité : nombres de clusters  $< 20$ , ce qui limite la combinatoire. Un nombre minimum et maximum de cellules par cluste, entre 6 et 20, pour sélectionner les  $\pi_0$  où un des photons se développe dans peu de cellules. Ces  $\pi_0$  ser-

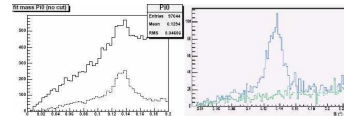


FIG. 1.6 – A gauche : masse des  $\pi_0$  sans coupure, en pointillés les  $\pi_0$  associé à des MC. A droite : coupures appliquées

viront pour la calibration du Ecal. D'autres méthodes sont aussi en analyse [6](flux d'énergie [5], rapport E/P des electrons).

Ce sont en tout 12.000 cellules à calibrer 6000 pour le Ecal et 6000 pour le PS.

Les deux photons forment deux ensembles de cellules. Les coefficients de calibration de ces cellules vont être alors ajustés pour obtenir la bonne masse invariante des  $\pi_0$ .

Deux méthodes sont à l'étude et développées au Lapp. La première est la méthode statistique qui consiste à ajuster ces coefficients en fonction de leur poids par rapport aux autres cellules et à la masse reconstruite du  $\pi_0$ . La distribution est alors ajustée par une gaussienne et la valeur moyenne est alors attribuée à la cellule (voir fig 1.7).

La seconde consiste à chaque événement à changer les coefficients des cellules d'un facteur  $\delta$ . Laisant le système converger.

Étant donné le nombre d'événements par an ( $\sim 2.10^{14}$ )

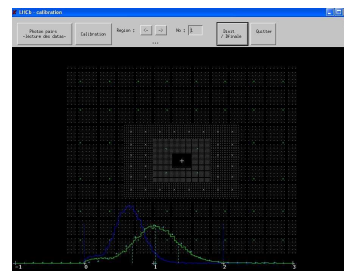


FIG. 1.7 – A droite : résultats de la méthode statistique. La courbe bleue représente la distribution sans calibration et la rouge avec calibration

et le nombre de  $\pi_0$  par événement on obtient 164.000  $\pi_0/s$ . Or pour calibrer les 6000 cellules de chaque sous-détecteur on a besoin de 500  $\pi_0/cellule$  pour atteindre une précision de 1%. Une calibration de l'ordre de 1%

est attendue pour une prise de données de 30 heures. Ceci sera à comparer avec d'autres méthodes. Et aussi avec la précision de la méthode du flux en énergie transverse qui est de 3 – 4% et donc pourra servir de pré-calibration.

## 1.6 Analyse de canaux de désintégration utilisant les informations du Ecal

Les canaux d'analyses étudiés dans ma thèse sont des canaux utilisant les informations du Ecal :

- $B_d^0 \rightarrow J/\psi \pi_0$
- $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta$
- $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta'$

Les  $J/\psi$  peuvent se désintégrer en pair  $\mu^- - \mu^+$  (BR = 5.93%) qui sont reconstruits dans les chambres à muons et donc donne de très bonne reconstruction de masse comme on peut le voir sur la figure 1.8 ( $m_{J/\psi} = 3.096\text{GeV}$  et  $\sigma_m = 0.012\text{GeV}$ ). Les  $\pi_0$ s sont reconstruits comme décrits dans la méthode de calibration ( $m_{\pi_0} = 135.5\text{MeV}$  et  $\sigma_m = 22.8\text{KeV}$ ). Finalement le méson  $B_d^0$  est reconstruit avec une précision de 0.5% sur sa masse.

Ce canal est dominé par le diagramme en arbre mais est aussi contaminé à 15% par le processus pingouin. Cette analyse ne permettra donc pas une bonne extraction de l'angle  $\beta$ [7] par asymétrie mais permettra de voir ou non de la nouvelle physique.

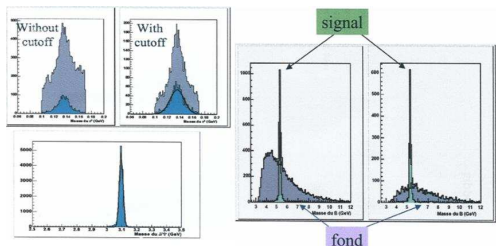


FIG. 1.8 – *A gauche : reconstruction des masse des  $J/\psi$  et  $\pi_0$  avant et après application des coupures décrites plus haut. A droite : reconstruction de la masse du  $B_d^0$  avant et après application des même coupures.*

Deux autres canaux seront aussi à l'étude avec à la place du  $\pi_0$  les particules  $\eta$  et  $\eta'$  mais pour un méson  $B_s^0$  et non plus  $B_d^0$ . Elles se désintègrent principalement en deux photons (BR=39.38 %) et la méthode de reconstruction sera la même que celle utilisée pour la reconstruction des  $\pi_0$ , c'est à dire l'appariement des photons.

Ce canal quant à lui servira pour l'extraction de l'angle  $\chi$ [8] du triangle CKM. Mais celui-ci est moins contaminé que celui avec le  $\pi_0$  par le diagramme pingouin et

donc permet une meilleure extraction de  $\chi$ .

## 1.7 Conclusion

La calibration comme on l'a vue dépend de la bonne reconstruction des photons. Dans un premier temps des corrections améliorant cette reconstruction ont été simulées et seront implanter dans le code de LHCb.

La méthode de calibration quant à elle est en voie de développement et sera améliorée pour atteindre la précision voulue. Pour cela d'autres coupures et autres astuces seront à développer

Une bonne reconstruction des photons et une bonne calibration du Ecal amenera donc une meilleure précision sur la mesures des angles et paramètres du triangle CKM comme avec les canaux  $B_d^0 \rightarrow J/\psi \pi_0$ ,  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta$  et  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta'$ . Le premier servant pour voir ou non de la nouvelle physique et les deux autres pour la mesure de l'angle  $\chi$ . l'analyse de ces deux canaux vient de commencer et sera donc poursuivie.

## Remerciements

Je voudrais remercier tous les organisateurs pour avoir permis à cette semaine riche en palabres, connaissances (dans les deux sens du terme) et enrichissement scientifique et humain d'avoir eu lieu ; et de plus est dans un bel endroit comme La Rochelle. Merci à eux aussi pour leurs allers-retours qui ont montrés que les physiciens ont une vie après la physique.

## Références

- [1] J. Charles et al. CKMFitter group, <http://ckmfitter.in2p3.fr/>
- [2] LHCb Reoptimized Detector Design and Performance, Technical Design Report, CERN-LHCC/2003-030.
- [3] O. Deschamps et al., Photon and neutral pion reconstruction, LHCb-96-091.
- [4] R. Beneyton, S-Shape modelisation, LHCb-2003-010.
- [5] K. Voronchev et Y. Belayev, Energy flow calibration of LHCb ECAL, LHCb-2006-051.
- [6] I. Korolko et al., On the possibily of in situ calibration of LHCb calorimeters, LHCb-200-027
- [7] B. Aubert et al.,[the BaBar collaboration],SLAC-PUB-11362,BaBar-CONF-05/16,(2005)
- [8] B. Caron, The  $B_s^0 \rightarrow J\psi(\mu^+\mu^-\eta(\gamma\gamma))$  Reconstruction at LHCb, thesis, LHCb/2003-102 (2003)