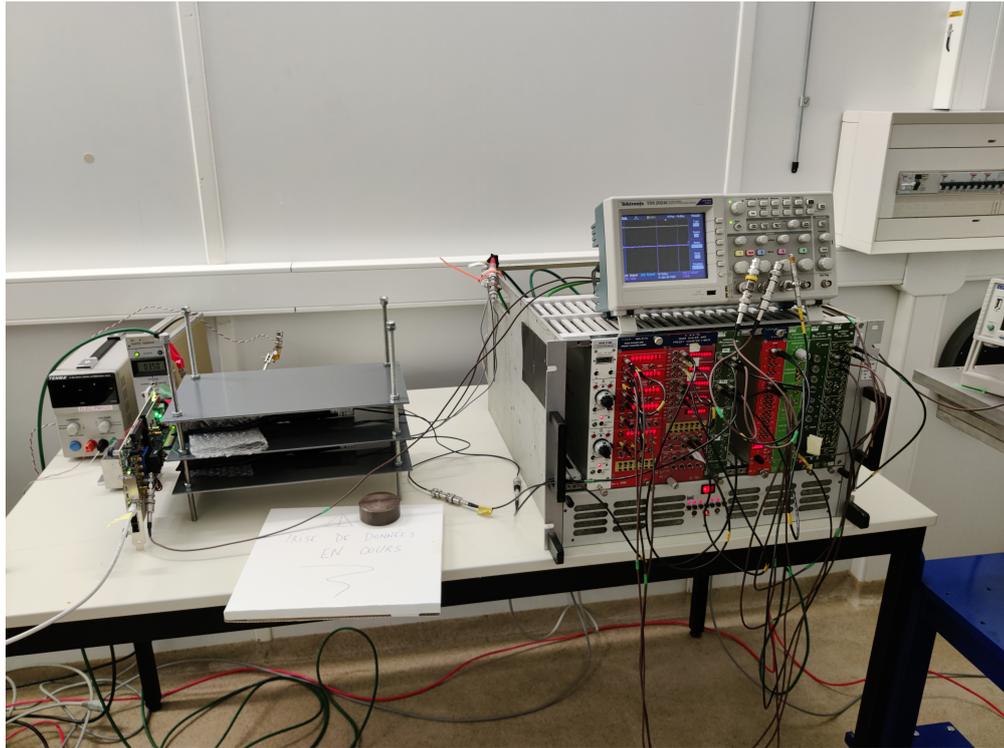


# RAPPORT DE STAGE

*Gaby BRENOT et Matis MELQUIOND*

# Banc de test associé au calorimètre FoCal



# Table des matières

Introduction et contexte . . . . .	4
Chromodynamique quantique et Plasma de quarks et de gluons	
4	
Large Hadron Collider et l'expérience ALICE	
4	
Le détecteur FoCal	
5	
Banc de test à Grenoble . . . . .	6
Mesures et Analyses . . . . .	7
Runs cosmiques et Piédestaux . . . . .	7
Delay Scan . . . . .	8
Répartition des muons et influence de la position du channel sur le pad	9
Vérification de la linéarité du régime de fonctionnement de la carte HGCROC pour des faibles charges . . . . .	10
Conclusion . . . . .	11
Annexes . . . . .	13
Annexe A : Processus d'interaction . . . . .	13
Annexe B : Énergie déposé par le muon dans le Silicium . . . . .	13
Annexe C : Détection d'une particule . . . . .	14
Annexe D : Table des Arguments . . . . .	15

## Introduction et contexte

Dans le cadre du second semestre de L3 Physique à l'Université Grenoble Alpes, nous avons réalisé un stage de 3 semaines en binôme au sein du Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie de Grenoble (LPSC). Ce stage est encadré par Christophe Furget, chercheur dans l'équipe ALICE et porte sur l'étude de performances des capteurs analogiques en Silicium d'un morceau du calorimètre FoCal et la mise en place de programmes d'analyse. Dans la suite, nous décrivons le contexte scientifique et expérimental de l'expérience ALICE ainsi que le détecteur FoCal.

### Chromodynamique quantique et Plasma de quarks et de gluons

La *Chromodynamique quantique* (QCD) est une théorie actuellement utilisée pour décrire l'interaction forte entre les constituants élémentaires que sont les quarks et les gluons. À basse énergie, les partons (quarks et gluons) qui composent les nucléons sont confinés à l'intérieur de ceux-ci, sous la forme de triplet de quarks liés par des gluons. Cependant, la QCD prédit que lors d'une collision à très haute énergie, (jusqu'à 13.6 TeV dans le centre de masse au LHC), l'intensité de l'interaction forte diminue et les partons peuvent être déconfinés. Cet état de la matière est appelé *Plasma de Quarks et de Gluons* (QGP) et a probablement été l'état de l'Univers quelques microsecondes après le Big-Bang. L'étude du QGP permet d'apporter un éclairage nouveau sur les interactions entre constituants ainsi que de tester la QCD dans des domaines inexplorés.

### Large Hadron Collider et l'expérience ALICE

Le *Large Hadron Collider* (LHC) est un accélérateur et collisionneur de hadrons (protons ou ions lourds) circulaire, de 27 km de circonférence, implanté sur le site du CERN près de Genève. Les collisions d'ions lourds ultra-relativistes délivrées par le LHC permettent d'obtenir les conditions thermodynamiques nécessaires à la formation du QGP. Situé à l'un des points d'interaction du LHC, l'expérience ALICE est dédiée à l'étude du Plasma de Quark et de Gluons. Pour sonder celui-ci, ALICE compare les distributions de particules mesurées lors de collisions plomb-plomb, où la densité est suffisante pour qu'il y ait formation de QGP, et celles mesurées lors de collisions proton-proton, où il n'y a pas de QGP. De même, la comparaison entre les mesures issues de collisions proton-plomb et proton proton permet de mettre en évidence des effets liés aux interactions des nucléons au sein du noyau. Ces mesures permettent d'accéder aux distributions initiales de partons (*parton density function*, PDF). Ces PDF sont des fonctions de  $x$ , appelée variable d'échelle de Bjorken, qui représente la fraction de l'impulsion du nucléon portée par le parton. La fonction de distribution des partons représente la probabilité que le parton a de porter la fraction d'impulsion  $x$  du hadron initial. Par exemple, comme nous le montre la figure 1, qui est un tracé des fonctions de distribution de parton en fonction de  $x$ , on peut voir que les PDF de quarks up et down présentent un maximum pour  $x \approx 1/3$ . La plus haute probabilité correspond à l'état dans lequel chacun des trois quarks constitutifs du nucléon (quarks de valence) porte un tiers de l'impulsion de celui-ci. Pour ce qui est des PDF de gluons, on voit que celles-ci augmentent très rapidement quand  $x$  diminue : si chaque gluon transporte une plus petite part de l'énergie du nucléon, alors plus de gluons peuvent exister pour une même énergie. Cependant, lorsque la densité de gluons augmente, la probabilité que deux gluons se combinent pour n'en former

qu'un augmente aussi, diminuant ainsi la densité de gluons. On atteint alors un plateau où la densité de gluons se stabilise. Ce phénomène est appelé saturation. L'étude de ce phénomène de saturation, est l'objectif principal du détecteur FoCal.

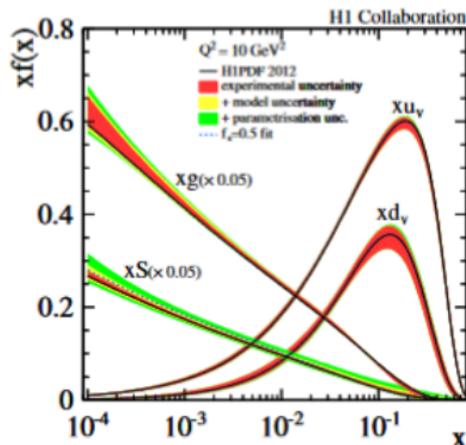


FIGURE 1 – Fonctions de distribution des partons multipliées par le variable de Bjorken  $x$  en fonction de  $x$  pour les gluons (g), quarks de valences (uv, dv) et de la mer (S).

### Le détecteur FoCal

Le détecteur FoCal, pour *Forward Calorimeter*, est un détecteur en développement prévu pour être installé sur ALICE en 2029. C'est un détecteur unique composé :

- d'un calorimètre électromagnétique (FoCal-E)
- d'un calorimètre hadronique (FoCal-H)

Un calorimètre a pour but de mesurer l'énergie des particules présentes dans l'état final. Il peut s'agir de hadrons chargés ou neutres pour un calorimètre hadronique, et d'électrons ou photons pour un calorimètre électromagnétique. Les photons peuvent interagir dans la matière via trois processus :

- l'effet photoélectrique : photon incident arrachant un électron du matériau traversé
- l'effet Compton : diffusion inélastique d'un photon sur un électron du milieu traversé
- création de paires  $e^+ e^-$  de particule-antiparticule

Le type d'interaction qui domine dépend de l'énergie du photon incident ainsi que de la densité électronique du milieu traversé (voir Annexe A : Processus d'interactions).

La succession d'interaction mène à la création d'une gerbe de particules appelée gerbe électromagnétique. Le détecteur FoCal est conçu pour générer cette gerbe et détecter les particules chargées qui en résultent. Il doit donc avoir une très bonne résolution spatiale pour séparer les gerbes formées.

Le détecteur est constitué de 20 couches de tungstène d'épaisseur  $0.35 \text{ cm}$ , qui servent à former la gerbe, entre lesquelles sont intercalés les détecteurs Silicium. La longueur totale correspond à ce qui est nécessaire pour que la gerbe dépose toute son énergie. Les détecteurs sont de deux types : Les pads, formés de capteurs analogiques en silicium, à granularité faible ( $1 \times 1 \text{ cm}$ , 72 cellules par pads), et les pixels, qui sont des capteurs digitaux de haute granularité ( $30 \times 30 \mu\text{m}$ ). Il y a deux couches de pixels par module, qui permettent d'obtenir

la résolution spatiale nécessaire, mais ne permettent pas de connaître l'énergie des particules avec précision. La figure 2 montre un module du détecteur, avec le tungstène en bleu, les pads en rouge et les pixels en vert. Les pads font l'objet d'une étude au LPSC. Notre stage consiste en la mise au point de programmes d'analyse pour étudier les performances des capteurs analogiques en silicium.

## Banc de test à Grenoble

La perte d'énergie par ionisation des particules chargées dans la partie active du pad génère un signal analogique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie déposée. La digitalisation du signal analogique est réalisé à l'aide de la carte HGCROC. Celle ci possède deux régimes de fonctionnement : pour les signaux d'énergie pas trop importante, la réponse est linéaire et au delà d'un certain seuil, la réponse devient proportionnelle au Time over Threshold, qui est le temps durant lequel l'amplitude du signal est au-dessus du seuil (voir figure 9).

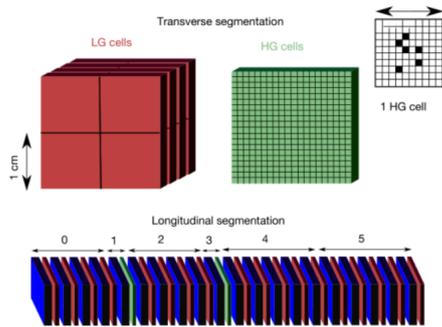


FIGURE 2 – Module du détecteur FoCal.

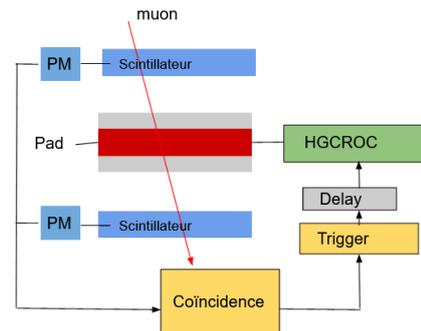


FIGURE 3 – Schéma du banc de test.

Le banc de test mis en place avait pour objectif d'utiliser les muons chargés du rayonnement cosmique pour caractériser le détecteur. Ces muons ont la particularité de déposer le minimum d'énergie qu'une particule chargée puisse déposer par ionisation, le banc de test est représenté sur la figure 3. Il y a un seul pad, qui est relié à la carte HGCROC et disposé entre deux scintillateurs plastiques. Dans ce banc de test, il n'y a pas formation de gerbe électromagnétique. Lorsqu'un muon cosmique passe à travers notre dispositif, il dépose une partie de son énergie dans les scintillateurs et le pad. Si le muon est détecté par les deux scintillateurs en même temps, on dit que les signaux des scintillateurs sont en "coïncidence" et un signal "trigger" est déclenché qui sélectionne une valeur ADC (Analog to Digital Converter) dans la mémoire d'HGCROC. Le delay est un paramètre qui correspond au retard entre le signal provenant du pad, qui est stocké instantanément, et le signal des scintillateurs qui passe à travers des appareillages électroniques. On doit donc ajuster le delay pour perdre le moins de signal possible.

## Mesures et Analyses

### Runs cosmiques et Piédestaux

Le premier travail de notre stage fut de découvrir le banc de test et toute l'électronique derrière, nous avons réglé la coïncidence entre les deux scintillateurs et nous avons directement fait une acquisition d'un run cosmique, c'est à dire qu'on laisse le dispositif détecter des muons pendant environ 24h. On sait qu'on a un flux de muons d'environ 70 muons par  $m^2$  par seconde. Au bout de 24h on a donc environ 60000 évènements détectés. Pendant ce temps, nous avons travaillé sur le programme permettant de récupérer les données et donc de pouvoir les analyser par la suite. C'est sur ce programme Python que nous avons principalement travaillé pendant notre stage. Lorsqu'on trace l'histogramme du nombre d'évènements en fonction de la valeur d'ADC pour un channel déterminé, on aura donc 60000 évènements, les muons captés par ce channel en particulier (à droite) et le piédestal (à gauche). Le piédestal d'une voie électronique correspond à la charge mesurée par l'ADC en l'absence de signal. C'est en quelque sorte le "zéro" électronique du canal en question. Il est important de connaître précisément sa position qui détermine la quantité à soustraire pour mesurer le signal physique. Sa largeur peut être exploitée d'une part comme signature du bon fonctionnement électronique et également comme mesure du bruit de fond. Pour connaître la figure de ce piédestal qui est censé être Gaussien, on peut injecter en interne des charges captés par le pad qui ne sont donc pas des muons. En comparant l'histogramme du run cosmique et du piédestal, on peut donc directement observer les détections de muons.

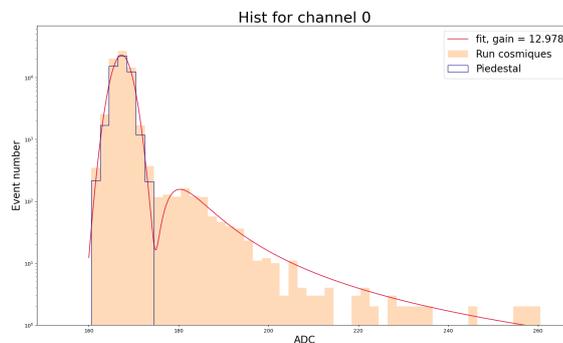


FIGURE 4 – Nombre d'évènements par valeur d'ADC pour un unique channel (ici channel 0).

On voit très nettement les muons et le piédestal, on peut calibrer le piédestal avec une gaussienne et les muons avec une distribution de Landau afin de déterminer le gain (courbe en rouge sur la figure 4) défini comme la charge déposée par les muons sur le détecteur. Ce gain peut ensuite être calculé pour tous les channels et on obtient une valeur de gain moyen de  $13,16 \pm 0.95 ADC$ . La valeur de l'ADC ne peut prendre que des valeurs entières, d'après la fiche de données de la carte HGCROC, on trouve que  $1ADC \equiv 0.14 fC$ . On a donc un gain moyen de  $1.84 \pm 0.13 fC$ .

## Delay Scan

On a dit précédemment que le timing entre les scintillateurs et le PAD est important pour la mesure. Celui-ci est ajusté à l'aide d'un delay définis par 2 paramètres  $(X, Y)$  avec  $\text{Delay} = X\_Y \equiv X \times 25 + Y \times 25/16$  avec  $Y \in [0, 15]$  car  $17\_16 \equiv 18\_0$ . Par exemple un delay de  $15\_8$  vaut  $15 \times 25 + 8 \times 25/16 = 387,5ns$ .

L'histogramme de la figure 4 montre une détection de muons plutôt satisfaisante et a été mesuré avec une valeur de delay de  $17\_0$  soit  $425 ns$ . Étant donné qu'on observe très bien les muons, on sait que le delay optimal est autour de  $17\_0$  mais on cherche à savoir plus précisément sa valeur. Pour cela, nous réalisons un delayScan, c'est-à-dire une succession d'acquisition cosmique pour différente valeur de delay (ici de  $16\_0$  à  $17\_12$  avec un pas de 4) On décide de mesurer 20000 évènements par valeur de delay. On peut ensuite tracer les histogrammes pour différents channels pour différentes valeurs de delay et déterminer l'efficacité de détection des muons (nombre de muons détectés) par le channel ou encore le gain.

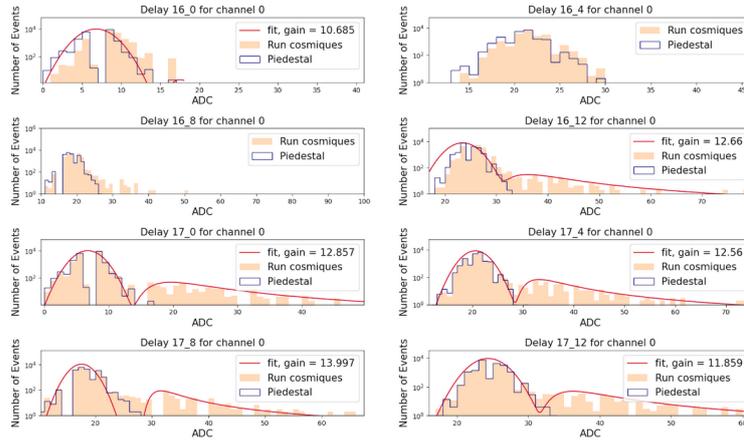


FIGURE 5 – Histogramme des évènements pour le channel 0 pour différentes valeurs de Delay.

Graphiquement, on pourrait déjà déduire la valeur de delay optimal (ou plutôt éliminer certaines valeurs de delay pour lesquels on a pas ou quasi pas de cosmiques), celle dont les histogrammes pour les différents channels présentent le plus de cosmiques. Pour déterminer le delay optimal de façon plus qualitative, nous avons approximer le nombre de muons cosmiques moyen par channel pour les différentes valeurs de delay.

Le tableau 1 montre que la valeur de delay idéal pour des muons cosmiques est  $17\_4$  soit  $431.25 ns$  car c'est celle qui présente le plus grand nombre d'évènements mesurés. Le nombre de  $\mu^-$  est la somme du nombre d'évènements strictement supérieur au piédestal pour chaque channel Pour confirmer ce résultat, on peut déterminer le gain moyen de tous les channels pour différentes valeurs de delay. Par exemple le gain pour chaque channel pour le delay  $17\_0$  et le delay  $17\_4$  sont donnés sur la figure 6.

On voit qu'on divise les channels en deux groupes allant de 0 à 35 et de 36 à 72 car le pad est en réalité de deux "sous pads" relativement indépendants et il peut donc être intéressant de comparer leurs résultats indépendamment On a donc en résumé les résultats suivants :

Valeur de Delay	Nombre de $\mu^-$ total	moyenne de $\mu^-$ par channel
16_0	1905	26.46
16_4	285	3,96
16_8	2215	30.76
16_12	7686	106.7
17_0	11124	154.5
17_4	13227	183.7
17_8	12618	175.3
17_12	8975	124.6

TABLE 1 – Analyse du DelayScan entre 16\_0 et 17\_12

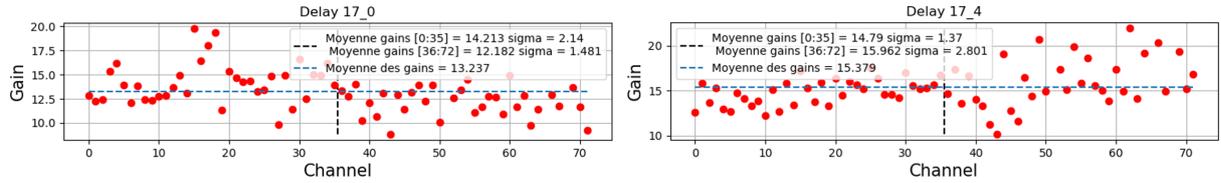


FIGURE 6 – Gain pour tous les channels pour un delay de 17\_0 et 17\_4.

Delay	Moyenne [0 :35]	Moyenne [36 :71]	Moyenne [0 :71]
17_0	$14.21 \pm 2.14$	$12.18 \pm 1.48$	13.24
17_4	$14.79 \pm 1.37$	$15.96 \pm 2.80$	15.38

TABLE 2 – Moyennes des gains pour un delay de 17\_0 et 17\_4.

Un muon cosmique proche du minimum d’ionisation et de l’ordre du Gev a une perte d’énergie dans le silicium (voir figure 14 ANNEXE B) d’environ  $1.7 \text{ MeV } g^{-1} \text{ cm}^2$ , sachant que la masse volumique du silicium est de  $2.33 \text{ g.cm}^{-3}$  on a donc une perte d’énergie de  $396,1 \text{ eV.}\mu\text{m}^{-1}$ . Le détecteur faisant une épaisseur de  $320.0 \mu\text{m}^{-1}$  on a donc une charge déposée de  $2.03 \text{ fC}$ .

Pour le delay 17\_4 on a un gain moyen de 15.38 canaux ADC sachant que un canal ADC correspond à une charge de  $0.16 \text{ fC}$  on a donc une charge moyenne déposé par les muons de  $2.505 \text{ fC}$  ce qui est parfaitement en accord avec la théorie pour des muons de l’ordre du GeV.

## Répartition des muons et influence de la position du channel sur le pad

Comme nous l’avons vu, les muons ne sont détectés par le pad uniquement lorsque les deux scintillateurs sont en coïncidence. L’angle solide pour lequel un muon incident peut traverser le pad et les deux scintillateurs est plus grand pour un channel situé au centre du pad que pour un channel situé en périphérie du pad. On devrait donc observer une différence significative du nombres de muons entre les channels en périphérie et les channels au centre. En comptant le nombre de muons comme fait précédemment, on obtient une courbe comme celle de la figure 7.

La figure 7 confirme l’hypothèse que le nombre de cosmiques détectés varie en fonction du

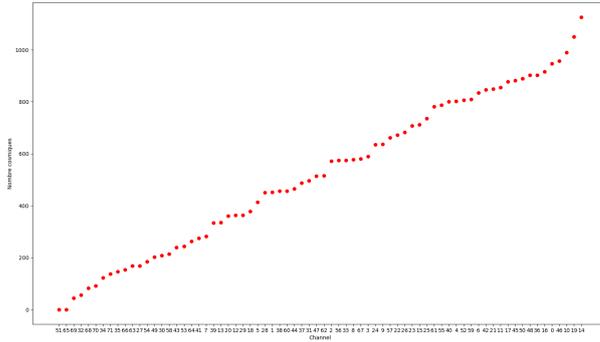


FIGURE 7 – Nombre de cosmiques détectés en fonction du canal, disposé dans l’ordre croissant.

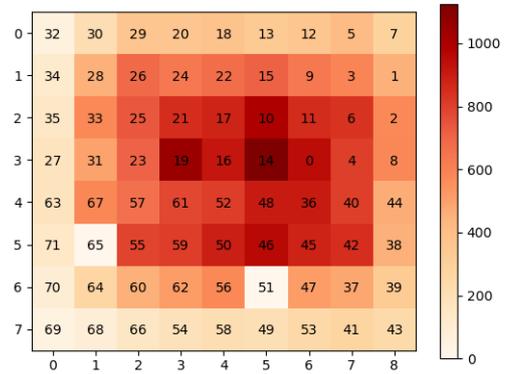


FIGURE 8 – Visualisation du nombre de cosmiques détectés pour chaque cellule du Pad.

canal, avec un facteur d’environ 20 entre le nombre minimal et maximal de muons détectés (on enlève les 2 channels 51 et 65 qui sont défectueux). On représente ensuite sur une carte le pad avec leurs nombres de muons détectés (figure 8). Le résultat est cohérent avec notre hypothèse, les channels du centre détectent plus de muons que ceux sur les bords.

## Vérification de la linéarité du régime de fonctionnement de la carte HG-CROC pour des faibles charges

Nous allons maintenant vérifier que la valeur d’ADC est proportionnelle à la charge pour des charges faibles (c’est à dire observer la discontinuité de la courbe d’ADC de la figure 9). En effet pour des charges faibles, la valeur d’ADC délivré par la carte HG-CROC et la charge sont liés linéairement, mais à partir d’un seuil de charge qu’on va chercher à déterminer, on doit avoir une saturation de charge qui entraîne une discontinuité dans la relation entre ADC et charge. C’est pour cela qu’on doit utiliser le ToT à partir de la charge seuil, le temps durant lequel le signal est au dessus du seuil. C’est ce seuil qu’on cherche à vérifier.

Pour observer ce phénomène, nous allons devoir réaliser un dacScan, c’est une succession d’injection interne de charge de différentes intensité sur tous les channels. Ici on injecte des charges allant de 0 à 2000 (correspondant à des valeurs ADC) par pas de 10 avec 1000 signaux à chaque fois.

On observe donc très nettement la discontinuité de la réponse de la carte HG-CROC pour des charges trop importante et la linéarité pour des charges faible (coefficient  $a = 0.954$  est très proche de 1 ce qui est donc très satisfaisant car cela signifie qu’on a peu de perte). On peut mesurer clairement la valeur du seuil qui est de 972 ADC soit  $155.5 fC$  ce qui est en accord avec la figure 9 donné par la fiche de donnée de la carte HG-CROC. La valeur de saturation est également la même (environ 1000 canaux ADC).

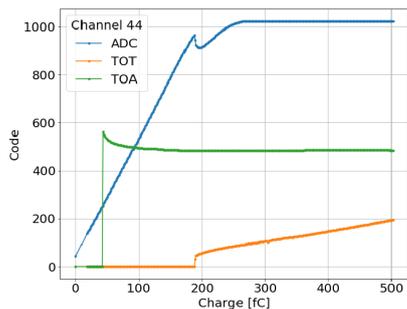


FIGURE 9 – Régimes de fonctionnement attendus de la carte HGCROC (Résultats attendus).

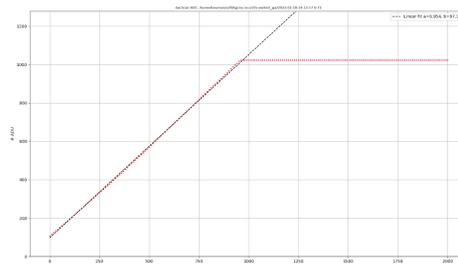


FIGURE 10 – Réponse de la carte HGCROC en fonction de la charge d'injection (Résultat du DacScan).

## Conclusion

Le stage de L3 nous a permis de découvrir le milieu professionnel dans lequel baignent les chercheurs, nous avons pu travailler en autonomie et en équipe afin de répondre aux problématiques de notre sujet. Nous avons passé la plus grande partie de notre stage à travailler sur le programme AnalyzeData, au début en essayant de comprendre les fonctions déjà présentes puis ensuite en traçant nous-mêmes nos graphes afin d'analyser les acquisitions que nous avons réalisé. Nous avons appris à maîtriser toutes les caractéristiques du banc de test (de la physique à la prise de données en passant par l'électronique derrière). Nous avons pu également avoir accès à de nombreux documents bibliographiques afin de nous familiariser avec les aspects théoriques de la physique des particules (modèle standard et QCD) et les enjeux de l'expérience ALICE et du détecteur FoCal. Nous avons eu la chance de pouvoir assister à plusieurs interventions de chercheurs sur différents sujets, comme une présentation "Pourquoi construire un collisionneur de muons ?" et une présentation de physique théorique sur l'univers primordial et l'inflation primordiale. Ce stage a été une formidable expérience qui nous a permis de développer nos connaissances théoriques de la physique des particules mais aussi nos connaissances sur beaucoup d'aspects du métier de chercheur comme l'instrumentation, la physique des détecteurs ou encore l'analyse et l'interprétation de données. Nous avons également pu à la fin de notre stage faire une présentation de nos résultats à notre encadrant puis discuter avec lui longuement du métier de chercheur et de sa vie en tant qu'enseignant-chercheur pour en connaître plus sur son quotidien et son parcours, ce qui nous a appris beaucoup de choses.

Pour conclure, ce stage était une expérience très enrichissante au cours de laquelle nous avons pu développer nos connaissances en physique et nous familiariser avec le milieu de la recherche. Le fait que le stage soit en binôme nous a permis de discuter de nos points de vue respectifs et de nous aider sur les points de blocage. Il est clair que ce stage nous conforte dans l'idée de vouloir continuer dans la recherche dans le futur.

# Bibliographie

- Thèse Astrid Vauthier
- Thèse Nicolas ARBOR
- Rapport de stage Pierre Navon
- Lettre d'intention FoCal
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Grand\\_collisionneur\\_de\\_hadrons](https://fr.wikipedia.org/wiki/Grand_collisionneur_de_hadrons)
- <https://home.cern/fr/science/experiments/how-detector-works>
- <https://home.cern/fr/resources/faqs/facts-and-figures-about-lhc>
- <https://indico.cern.ch/event/348923/contributions/821176/attachments/1174774/1698370/Detecteurs-Wingarter.pdf>

## Annexes

### Annexe A : Processus d'interaction

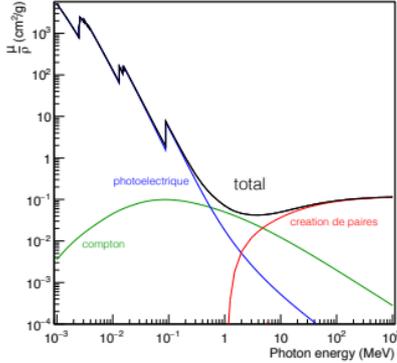


FIGURE 11 – Sections efficaces des processus d'interaction des photons avec le Plomb en fonction de l'énergie des photons.

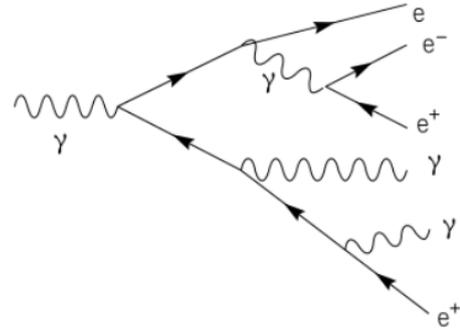


FIGURE 12 – Schéma du développement d'une gerbe électromagnétique.

La figure montre les différents processus d'interaction des photons avec le plombs en fonction de l'énergie des photons. Pour les énergies du LHC, de l'ordre du TeV, on voit que c'est le processus de créations de paires  $e^+ e^-$  qui domine, la section efficace a la dimension d'une surface et quantifie la probabilité d'une réaction. La succession d'interactions entre les photons ou les électrons avec la matière va donc mener à la création d'une gerbe de particules que l'on appelle gerbe électromagnétique.

### Annexe B : Énergie déposé par le muon dans le Silicium

La perte moyenne d'énergie par des particules lourdes chargées relativistes est bien décrite par l'équation de Bethe :

$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

FIGURE 13 – Equation de Beth.

$dE/dx$  s'appelle le pouvoir d'arrêt linéaire ou Transfert Linéique d'Energie (TLE), il donne l'énergie perdue  $dE$  par unité de longueur  $dx$  de la particule incidente. Le signe – devant  $dE/dx$  signifie une diminution d'énergie. Le terme  $\beta^2$  est une correction relativiste.

Avec cette formule, on peut donc déterminer le  $dE/dx$  pour différents éléments et notamment le Silicium.

Ce graphique montre la valeur du  $dE/dx$  pour un muon dans du silicium en fonction de son énergie cinétique, on estime que les muons sont au minimum d'ionisation c'est à dire un

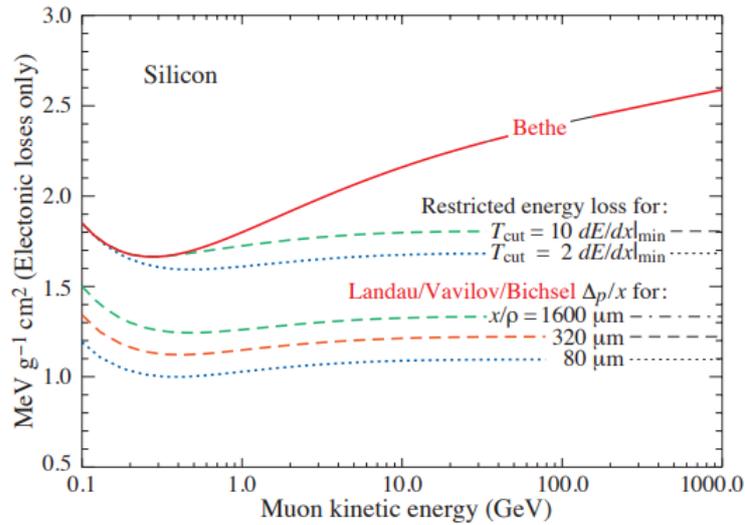


FIGURE 14 – Formule de Bethe  $dE/dx$  pour un muon dans du Silicium en fonction de son énergie cinétique.

peu moins de 1GeV. On a donc l'énergie déposée par le muon ( $1.7 \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ ), il suffit donc de multiplier par la masse volumique de l'élément (Silicium) et on aura l'énergie déposée par unité de longueur (profondeur du détecteur).

### Annexe C : Détection d'une particule

La détection d'une unique particule dans notre dispositif se fait en trois étapes. Premièrement, lorsqu'un muon cosmique traverse les raquettes du scintillateur, qui sont composées d'un matériau plastique transparent, il excite la matière de ces dernières qui se stabilise en émettant un photon. Ce photon va ensuite passer dans le Photomultiplicateur qui sert à amplifier un signal pour le rendre détectable (voir Figure 15). La photocathode émet un électron lorsqu'elle reçoit le photon. Les dynodes sont porteuses de charges positives de plus en plus grandes : l'électron est attiré par la première dynode ou il rompt la liaison qui retient un électron aux atomes du métal. Cet électron est attiré par la deuxième dynode ou il libère plusieurs électrons et ainsi de suite. La différence de potentiel entre chaque dynode crée un phénomène en cascade jusqu'à ce que le courant engendré soit détectable. Ce courant est finalement conduit vers les appareillages électroniques.

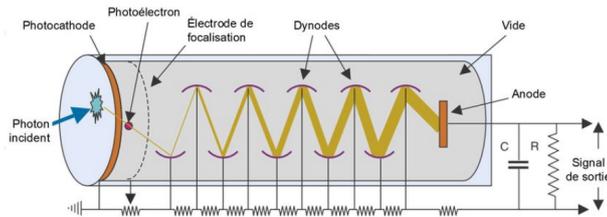


FIGURE 15 – Schéma d'un Photomultiplicateur.

## Annexe D : Table des Arguments

Argument	Effets	Valeurs possibles	Défaut
-c	liste de channels pris en compte, mettre -c 0-71	liste forme x-y	-
-t	type de Scan	'noScan', 'dacScan', 'offsetScan'	-
-p	pedestal que l'on utilise	'YYYY-MM-DD-HH-MM-SS'	'2023-01-11-11-44-01'
-d	path du run cosmique utilisé	chemin	'last'
-ch	Channel pour lequel on plot l'histogramme	0,1,...,71 ex : -ch 41	-
-ds	Si 'yes', plot hist pour chaque Delay pour le channel -ch	'yes', 'no'	'no'
-g	Si 'yes', plot nb cosmiques par channel et gain en fonction du channel. Si 'yes' et -ds = 'yes', plot gain pour chaque channel pour chaque Delay et nb cosmiques pour chaque channel pour chaque Delay	'yes', 'no'	'no'
-l	plot des histogrammes pour tous les channels de la liste choisie	1,2,3,4,5,6	-

TABLE 3 – Table des arguments.

Voici une table récapitulative des différents arguments que nous avons créé pour notre programme d'analyse des données du banc de test. Ce programme permettra aux prochains utilisateurs de pouvoir tracer facilement beaucoup de graphes différents en fonction des données et des runs effectués. On peut de cette manière sélectionner exactement les données et runs que l'utilisateur veut utiliser et ainsi ne pas avoir à fouiller le programme et perdre du temps inutilement. Ce programme sera à disposition avec une fiche d'utilisation du banc de test que nous avons également créé.