

MALEK Magdalena
Master 2 Physique Fondamentale et Appliquée
Spécialité Noyaux, Particules, Astroparticules et Cosmologie
2006

Institute de Physique Nucléaire d'Orsay

Rapport de préthèse :

Etude dans le bras dimuons d'ALICE des processus physiques
produits dans les collisions d'ions lourds ultrarelativistes au LHC.
Préparation des premières prises de données.



Table de matières :

1. Contexte général.....	3
2. Choix de thèse : motivations personnelles.....	4
3. Présentation de l'équipe.....	5
4. Présentation du sujet	6
5. Bibliographie.....	11
6. Perspectives.....	12
7. Conclusions.....	12
A. Commentaires d'articles	13
A.1 Heavy ion collisions at the LHC: the ALICE experiment.....	13

1. Contexte général :

La matière nucléaire "classique" se caractérise par des densités d'énergie de l'ordre de $\epsilon_0 = 0,17 \text{ GeV} / \text{fm}^3$ (soit $0,18 \text{ nucléon} / \text{fm}^3$). Les nucléons ont un rayon moyen d'environ $0,8 \text{ fm}$, sont distants d'approximativement $1,8 \text{ fm}$ formant des entités bien séparées. Pour des conditions critiques de densité ($5-10\epsilon_0$) et de températures $150 \text{ à } 200 \text{ MeV}$ (10^{12} Kelvin), le nombre de hadrons par unité de volume devient tel que les quarks se chevauchent et donc les quarks ne "savent" plus à quel hadron ils appartiennent. Pour ces conditions la chromodynamique quantique, théorie qui décrit l'interaction entre les quarks et les gluons, prévoit une transition de phase entre la matière nucléaire classique et un nouvel état, le plasma de quarks et de gluons (**QGP : Quarks Gluons Plasma**) dans lequel les quarks seraient déconfinés et évolueraient librement.

Le diagramme de phases de la Figure 1 résume ces considérations et indique les conditions thermodynamiques nécessaires à la formation du QGP : la matière hadronique doit donc être soit comprimée, soit chauffée ou simultanément comprimée et chauffée.

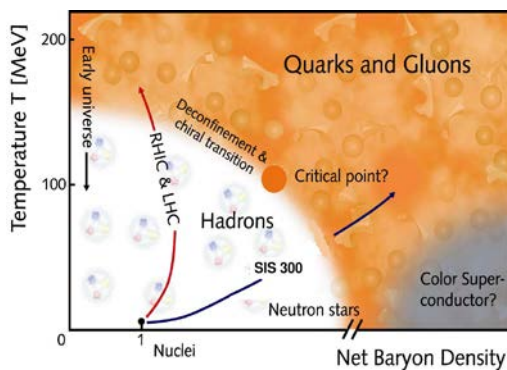


Figure 1 : La formation du QGP.

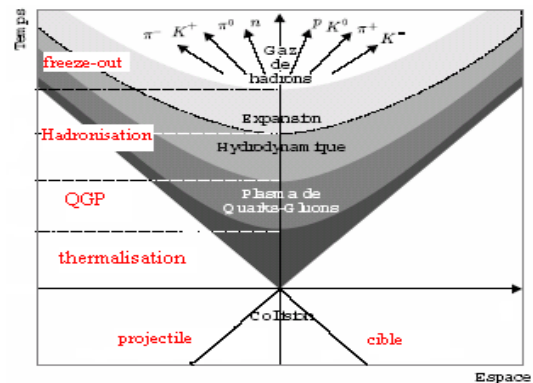


Figure 2 : Evolution spatio-temporelle du QGP.

Actuellement, l'espoir de former le QGP nous est donné par la technologie des accélérateurs en produisant des collisions entre ions lourds tel que Pb, S ou Au, accélérés à des vitesses ultra-relativistes.

Pour caractériser expérimentalement la transition de phase de déconfinement, il est important de comprendre l'évolution spatio-temporelle des collisions hadroniques à haute énergie. Selon le modèle de Björken, la collision est suivie par une succession de phases (Fig.2), chaque phase est caractérisée par un temps propre de vie τ :

_phase de pré-équilibre ($\tau \sim 1 \text{ fm} / c$): dans cette phase on observe les interactions violentes entre quarks et gluons et la production des particules très énergétiques.

_phase de QGP ($\tau \sim 5 \text{ fm} / c$) : dans cette phase les quarks et gluons se meuvent librement.

_phase d'hadronisation ($\tau \sim 20 \text{ fm} / c$) : le QGP se dilate très rapidement et se refroidit jusqu'à se condenser en gaz de hadrons. C'est à ce moment que sont créés la plupart des hadrons que l'on observera plus tard.

_phase de freeze-out : on atteint cette phase quand la formation des hadrons n'est plus possible, le milieu se refroidit jusqu'à ce que les hadrons cessent d'interagir entre eux et les particules volent vers les détecteurs.

On ne peut pas observer le plasma directement car ses dimensions spatiales et temporelles sont très faibles. Le diamètre du QGP est de l'ordre de quelques fermis et possède un temps de vie estimé à $5-10 \text{ fm}/c$. Heureusement qu'un tel plasma laisse des "traces" que les physiciens cherchent à isoler.

La quête a commencé il y a 30 ans et se poursuit aujourd'hui...

Plusieurs expériences ayant pour but d'identifier le QGP ont déjà été menées sur cible fixe au **SPS** (Super Proton Synchrotron) du CERN et au **AGS** (Alternating Gradient Synchrotron) à Brookhaven. Aujourd'hui sont menées à Brookhaven auprès du collisionneur **RHIC** (Relativistic Heavy Ion Collider). Les nouvelles expériences débuteront en 2008 au **LHC** (Large Hadron Collider) du CERN, le grand collisionneur actuellement en construction. Les caractéristiques des collisions dans ces différentes expériences sont résumées dans le Tableau 1.

	Noyaux	\sqrt{s} (GeV/nucléon)	ϵ_0 (GeV / fm ³)	τ_{QGP} (fm / c)
AGS	²⁸ Si	14.5	0.8	?
	¹⁹⁷ Au	11.6	0.8	
SPS	¹⁶ O, ³² S	200	3.5	~1
	Pb	158	3.5	
RHIC	Au	200	5-10	2-4
LHC	Pb	5500	20-30	>10

Tableau 1 : Les noyaux collisionnés, énergie dans le centre de masse \sqrt{s} , densité d'énergie ϵ_0 , durée de vie du QGP τ_{QGP} pour différents accélérateurs.

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) est une des quatre expériences du LHC consacré à l'étude des collisions d'ions lourds ultra – relativistes et en particulier à l'analyse d'un état de la matière qui aurait constitué l'univers dans ses débuts, quelques microsecondes après le Big Bang. L'expérience ALICE est capable de mesurer un grand nombre d'observables liées à la production d'hadrons, de leptons et de photons pour des couvertures larges en moment transverse (de 100 MeV/c à 100 GeV/c) et en rapidité. En plus, ces mesures seront réalisées dans un environnement où les multiplicités en particules chargées sont très élevées, la limite supérieure pour laquelle ALICE peut fonctionner avec ces performances nominales est de 8000 particules chargées par unité de rapidité (multiplicité au collisionneur RHIC à Brookhaven est ~ 600 particules chargées par unité de rapidité). Ce détecteur est composé de plusieurs sous-détecteurs mais dans ce rapport je m'intéresserai à un seul appelé spectromètre dimuons que je décrirai plus tard.

2. Choix de thèse : motivations personnelles

J'ai commencé mon cursus universitaire par l'Ecole Polytechnique en Physique Appliquée de Poznań (Pologne). Après deux ans dans cette école j'ai compris que si je voulais faire de la vraie physique appliquée c'est-à-dire participer dans la construction et ensuite l'analyse des données des expériences je ne pouvais pas rester en Pologne. Donc, je suis venu en France avec l'idée de faire de la physique nucléaire dans l'avenir. J'ai intégré une formation de second cycle, Licence et Master 1 de Physique et Applications à l'Université Paris XI à Orsay. Cette formation m'a permis d'acquérir des bases solides en physique générale ainsi que dans les domaines plus appliquées comme électronique, informatique ou traitement du signal.

J'ai effectué mon stage de Master 1 au CERN, j'ai travaillé sur expérience ALICE dans une équipe responsable de la construction du détecteur PHOS (spectromètre électromagnétique). Ce stage a comporté deux parties : une partie très théorique et une autre expérimentale. La partie théorique était sur l'étude du plasma de quarks et de gluons ainsi que l'introduction à la théorie du Modèle Standard. Mais j'ai passé presque tout mon temps à travailler très proches du détecteur en fabriquant et en testant des composantes électroniques

du PHOS et ce travail m'a plu particulièrement. C'est là où je compris que d'un côté la vie de chercheur est parfois très dure mais d'un autre côté elle est très excitante et que le milieu de la science est exceptionnelle. Après ce stage l'équipe m'a proposé de retourner une année plus tard pour faire ma thèse.

Après mon stage de M1, j'ai choisi de faire le M2 recherche CPM (Champs, Particules, Matière), pendant lequel j'ai « touché » quelques aspects de la physique théorique. J'ai trouvé que c'est un domaine très intéressant mais en même temps difficile pour quelqu'un qui n'a jamais touché à la physique théorique pure et dure. J'ai retenu de ce Master l'intérêt et la beauté de la physique théorique, et m'a permis de tout même orienter mon choix vers une physique plus appliquée.

Aujourd'hui j'ai décidé de faire ma thèse à l'IPN d'Orsay sur le sujet : « Etude dans le bras dimuons d'ALICE des processus physiques produits dans les collisions d'ions lourds ultrarelativistes au LHC. Préparation des premières prises de données. » Sujet et équipe avec qui j'avais pris contact au mois d'octobre. Avec ce choix de thèse j'aurais la possibilité de passer beaucoup du temps au CERN car il y a toute l'installation du détecteur (spectromètre dimuons) à faire dont j'aimerais participer très activement. À mes yeux cette thèse a plusieurs avantages. D'abord le sujet me paraît très intéressant donc je vais pouvoir m'investir au maximum dans ce que je dois faire. De plus c'est une expérience qui est faite en collaboration internationale donc j'espère aussi participer à des conférences et rencontrer des personnes aussi passionnées que moi. Je pense que cette thèse va m'apporter beaucoup sur un plan professionnel et humain.

3. Présentation de l'équipe :

L'Institut de Physique Nucléaire (IPN) d'Orsay a pour but de la recherche sur la matière et ses constituants ultimes. IPN a été créé en 1956 à l'initiative de Irène et Frédéric Joliot Curie, est une unité mixte de Recherche (UMR8608) du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) de l'IN2P3 (Institut de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) et de l'UPS (Université Paris-Sud). On peut distinguer 8 thèmes de recherche à l'IPN:

- Plasma de quarks et de gluons (NA50, ALICE)
- Physique hadronique (GRAAL, HADES)
- Aval du cycle (GEDEON)
- Structure et dynamique du noyau (SPIRAL, ISOLDE)
- Cosmologie (AUGER)
- Radiochimie (PRACTIS)
- Interaction agrégats-matière (TANDEM)
- Physique-Biologie

De plus l'IPN accueille les étudiants de trois M2 proposés par les Universités Paris XI, Paris VI et Paris VII:

- Champ, Particule, Matière
- Rayonnement et Energie
- Radiochimie

L'expérience ALICE regroupe environ 1000 personnes réparties selon 86 instituts dans 29 pays du monde. En France, 5 instituts participent activement en construction et installation de ce détecteur : IPN Orsay, IPN Lyon, Subatech Nantes, CEA Saclay et Laboratoire de Physique Corpusculaire à Clermont-Ferrand. Au sein de l'IPN d'Orsay, où je devrais effectuer ma thèse, l'équipe ALICE comprend actuellement six physiciens et un doctorant:

- Le chef d'équipe Bruno Espagnon, MC
- Louis Bimbot, DR2
- Marie-Pierre Comets, CR1
- Yves Le Bornec, DR1
- Christophe Suire, CR2
- Nicole Willis, Professeur Paris XI
- Alexandre Charpy, thésard

De plus nombreuses personnes travaillent dans les services techniques, je ne cite que les responsables :

- Jean Peyré, spécialiste en technologie des accélérateurs et détecteurs
- Valérie Chambert, responsable de l'électronique du système de trajectographie
- Sylvain Rousseau, responsable pour toute l'informatique

Le travail pour une expérience de ce type et de cette taille consiste à toucher des domaines différents en même moment, par exemple:

- la préparation de l'installation du détecteur au CERN
- les tests en faisceau ou les tests aux radiations
- les simulations du comportement de détecteur
- les simulations de physique, comme l'étude du charme ouvert ou du Color Glass Condensat
- il y a aussi tout les charges "administratives" et de gestion

4. Présentation du sujet :

Le sujet de ma thèse portera sur l'" Etude dans le bras dimuons d'ALICE des processus physiques produits dans les collisions d'ions lourds ultrarelativistes au LHC. Préparation des premières prises de données."

Le but de cette thèse est, dans un premier temps, de mettre en place le détecteur ainsi que de tester toutes ses composantes afin d'assurer le fonctionnement correct du dispositif. Ce détecteur doit commencer à prendre les premières données en collisions proton-proton à partir de l'été 2007. Les collisions d'ions lourds débiteront en 2008. Le groupe de l'IPN d'Orsay est chargé de la construction de la première station du système de trajectographie du spectromètre dimuons et de toutes les structures mécaniques associées. Il est aussi responsable de toute l'électronique de lecture associée au système de trajectographie. Ces études ont porté sur des sujets à la fois d'ordre mécanique avec la définition de la géométrie des chambres et d'ordre électronique avec l'élaboration de l'architecture générale de toute l'électronique. Un important travail de simulation, de réalisation de prototypes et de tests à permis de mener à bien le projet.

Dans un deuxième temps, ma thèse portera sur la simulation de processus physiques détectables dans le bras dimuons afin de permettre les premières analyses de données. Suivant la disponibilité des premières données, je pourrai analyser les premiers événements recueillis.

Je vais tout d'abord décrire la structure et le principe de fonctionnement du bras dimuons et ensuite je vais détailler les tâches qui sont attribuées à l'équipe de l'IPN.

Le spectromètre dimuons, ou bras dimuons (cf. Fig. 3) a pour but de mesurer la production des résonances J/ψ , ψ' , Υ , Υ' et Υ'' et des saveurs lourdes ouvertes au travers de leur décroissance muoniques. Il détectera les particules dans la région de pseudo-rapacité $2.5 < \eta < 4$ correspondante à un angle d'ouverture θ compris entre 2° et 9° .

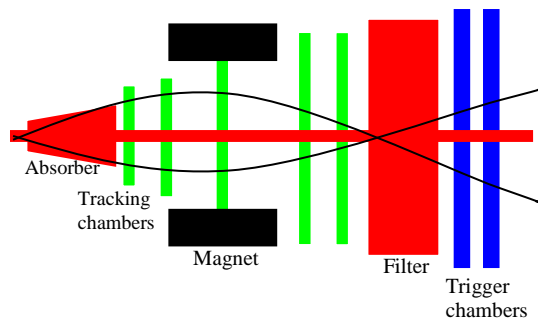


Figure 3: Le spectromètre dimuon.

Il est constitué de trois parties :

Les absorbeurs

L'absorbeur frontal : situé à 0,9 m du vertex (point d'interaction) a pour but d'atténuer le flux de hadrons extrêmement important auquel est soumis le bras dimuons (7000 particules par unité de rapidité), en particulier les pions et les kaons avant qu'ils ne décroissent en muons.

Le filtre à muons : placé entre la dernière chambre de trajectographie et la première chambre de déclenchement est constitué d'un mur de fer de 1,2 m d'épaisseur. Il est destiné à absorber les hadrons ayant franchi l'absorbeur frontal et donc d'arrêter les particules constituant le bruit de fond.

Le blindage du tube faisceau : composé d'un matériau très dense (tungstène) permet de protéger l'ensemble des chambres du bruit de fond provenant des interactions des particules de haute énergie produites à petit angle (essentiellement des pions et des kaons) avec le tube du faisceau.

Le système de déclenchement (trigger)

Lors d'une collision Pb-Pb centrale, environ 8 muons issus de la décroissance de pions ou de kaons traverseront tout le spectromètre. Ces muons simples (par opposition aux dimuons issus de la décroissance des quarkonia), de bas p_T (moment transverse) peuvent gêner la détection des muons de haut p_T issus de la décroissance des résonances et saveurs lourdes. Le trigger a pour but de sélectionner les événements intéressants en envoyant à l'acquisition un signal de déclenchement dès lors qu'un événement contient au moins deux muons de signes opposés dont le p_T est supérieur à une certaine valeur seuil. Il y a donc 4 types de trigger :

- Single low p_T == un muon avec un $p_T > 1$ GeV/c
- Single high p_T == un muon avec un $p_T > 2$ GeV/c
- Dimuon low p_T == 2 muons chacun de $p_T > 1$ GeV/c (détection du J/ψ)
- Dimuon high p_T == 2 muons chacun de $p_T > 2$ GeV/c (détection du Υ)

Les chambres de trajectographie

Le système de trajectographie du spectromètre dimuon est composé de cinq stations, chacune d'elles comprend deux chambres fournissant une localisation spatiale du point d'impact suivant deux directions (localisation bidimensionnelle). Ces chambres doivent satisfaire les critères suivants :

- Une aptitude à gérer des multiplicités d'environ 600 particules par collision et par chambre, dans le cas le plus défavorable des collisions centrales Pb-Pb (pour la station 3).
- Une résolution spatiale de 100 μm dans le plan de courbure (le plan vertical) et de l'ordre de 2 mm dans le plan de non courbure. Cette résolution spatiale permet d'obtenir une résolution en masse invariante de l'ordre de 100 MeV pour le Υ , afin de bien séparer les différents états Υ , Υ' et Υ'' .
- L'épaisseur en longueur de radiation¹ doit être faible (maximale de 3%) afin de limiter la diffusion multiple qui altère la résolution en masse.
- Une efficacité supérieure à 99% pour chacune des chambres correspond à une efficacité globale supérieure à 80 %.
- Un taux d'occupation² inférieur à 5% pour assurer une bonne efficacité de reconstruction.
- Une faible sensibilité aux photons et aux neutrons.

Pour répondre à ces impératifs, la solution des chambres proportionnelles multifils de type CSC/CPC (CSC : Cathode Strip Chamber, CPC : Cathode Pad Chamber) a été retenue permettant de couvrir de grandes surfaces pour des coûts modérés tout en assurant de bonnes performances. Ces détecteurs sont robustes avec une très bonne efficacité de détection sous des flux de rayonnements élevés.

Principe de fonctionnement des chambres multifils :

Elles sont constituées d'un plan de fils d'anode porté à une haute tension positive et inséré entre deux plans de cathode reliés à la masse (cf. Fig. 4). L'ensemble est hermétique et contient un mélange gazeux (80% d'Ar et 20% de CO_2). Lors de leur passage dans le gaz, les particules chargées ionisent les atomes du gaz et forment ainsi des paires électron/ion. Les électrons et les ions libérés dérivent, les électrons étant mille fois plus rapides que les ions, et vont suivre les lignes de champ respectivement vers l'anode la plus proche et la cathode opposée. Mais les particules de haute énergie n'engendrent que quelques électrons primaires (environ 20 pour les mélanges gazeux classiques utilisés) dans l'épaisseur typique de gaz considéré. Ce signal n'est donc pas exploitable directement : il faut un système d'amplification du phénomène. La force des détecteurs gazeux réside dans leur mécanisme d'amplification intrinsèque à l'intérieur du gaz.

En effet, au voisinage de l'anode les électrons accélérés par le champ intense acquièrent suffisamment d'énergie pour subir des collisions inélastiques et ionisantes avec les molécules. A quelques 50 nm du fil, ils déclenchent une avalanche électronique permettant la multiplication de la charge initiale. La multiplication s'arrête lorsque tous les électrons ont rejoint la surface des fils anodiques. Il faut maintenant être capable de recueillir ce signal d'ionisation, de le traiter (amplification et stockage) afin de disposer d'une information sur la localisation de la trace de la particule.

¹La longueur de radiation d'un matériau (en g/cm^2) est définie comme la distance pour laquelle l'énergie de l'électron est réduite d'un facteur 1/e par perte radiative.

²Le taux d'occupation est la fraction du nombre de voies touchées par événement.

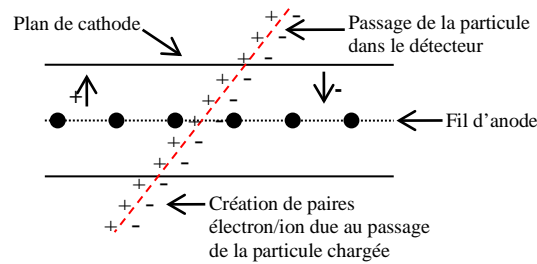


Figure 4: Vue en coupe d'une chambre multifils.

Dans les chambres à cathode segmentés ces charges sont lues sur les deux plans de cathode (les fils d'anode ne sont pas lus), le plan de courbure et le plan de non courbure, tous deux segmentés.

Dans le cadre du stage, je vais m'intéresser aux chambres étudiées (fabriquées) à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay qui équiperont la première station.

Dans cette partie je vais décrire les choix qui ont été fait en termes de paramètres géométriques, nature du mélange gazeux et type d'électronique de lecture afin de garantir l'efficacité maximale du détecteur.

Choix des paramètres géométriques :

Les paramètres géométriques déterminent les propriétés de la chambre, c'est-à-dire son gain et sa résolution spatiale. Les paramètres d'intérêts sont les suivantes :

Distance anode-cathode (gap) : la valeur adoptée est de 2,1 mm pour la station 1. Le compromis sur ce paramètre résulte du choix suivant :

- pour des petites valeurs du gap, le trajet d'une particule dans la chambre est plus faible et donc le nombre de paires primaires électron-ion aussi. En revanche, les dimensions de l'étalement de la charge sur le plan de cathode seraient plus petites, et donc l'aptitude à séparer deux particules serait meilleure.

- de grandes valeurs du gap nécessitent l'implémentation de moins de pads mais qui malheureusement augmente le taux d'occupation.

Distance entre deux fils d'anode : la valeur est usuellement choisie proche du demi-gap donc $s = 2,1$ mm dans ce cas. Cette valeur est importante car elle détermine la résolution dans le plan de non-courbure. Pour $s = 2,1$ mm, la résolution est de l'ordre de 700-800 μm donc compatible avec la valeur attendue (inferieur à 2 mm).

Largeur et longueur des pads : ce choix est défini par le taux d'occupation et la résolution spatiale. À l'aide de différentes simulations les valeurs choisies (plan bending) sont:

- la largeur est de 4,2 mm

- la longueur est un multiple de 6,3 mm (6,3 mm ; 12,6 mm ; 25,2 mm)

Diamètre des fils : la valeur de 20 μm résulte d'un compromis entre gain et solidité du fil.

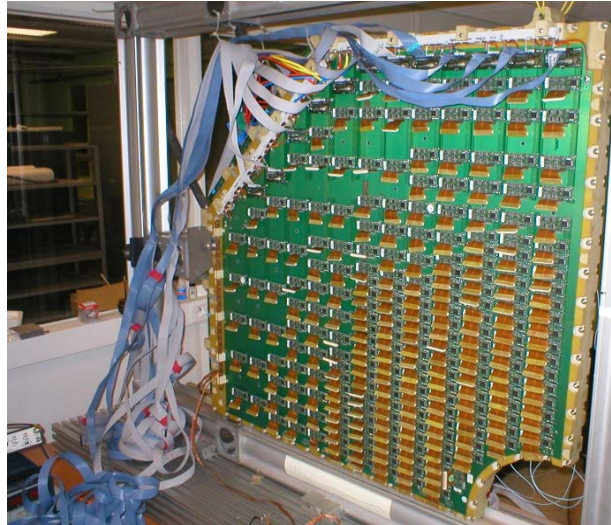


Figure 5 : la station 1 du système de trajectographie du bras dimuons.

Choix du mélange gazeux :

Dans le cas des chambres de trajectographie du bras dimuons d'ALICE, le mélange gazeux retenu est l'Argon-CO₂ (80/20). L'argon de faible coût permet d'avoir un bon taux d'ionisation. De plus le mélange 80/20 présente une vitesse de dérive des électrons constante sur une large plage de fonctionnement.

Choix de l'électronique :

L'électronique des chambres de trajectographie est en charge de la lecture, de la mise en forme et de la conversion analogique/numérique des charges récoltées par les pads. L'électronique qui sera utilisée pour la lecture des chambres de trajectographie du bras dimuons est soumise à un certain nombre de contraintes :

- Pour conserver la qualité originelle et optimiser la vitesse de codage du signal, l'électronique de préamplification doit être placée directement sur les chambres, au plus près des pads. En fait, le transport d'informations sur de longues distances se traduit par une dégradation du signal.

- Les plans cathodiques possédant un nombre de pads importants (28000 pads d'électronique / quadrant soit ~ 220000 sur l'ensemble de la station 1), donc cette électronique frontale implique une forte concentration électronique sur le détecteur. La place disponible pour installer l'électronique étant réduite, ceci a conduit à réaliser des circuits de petites tailles.

- Les chambres possédant un nombre de voies de mesure importants, il convient de gérer ces informations simultanément tout en respectant les contraintes en temps. De plus il y a des problèmes en terme de dissipation thermiques donc il faut minimiser la consommation de courant par voie électronique.

- à cause des conditions difficiles d'accès aux chambres de trajectographie et d'intervention en zone expérimentale, une fiabilité maximale est demandée aux modules électroniques.

Le système de lecture est composé de trois parties :

1. Le **MANU** (cf. Fig. 6) est une carte unique qui collecte les informations provenant de 64 pads. Cette carte assure le traitement analogique, conversion numérique, suppression de zéro et transmission au niveau supérieur, le DSP, via un bus numérique. Il est composé de :

- 4 **MANAS**: un préamplificateur qui a été développé en Inde sur le model du GASSIPLEX convient parfaitement au mode de fonctionnement du CPC car il a une grande capacité à traiter les faibles signaux recueillis au niveau de pads.

-1 **ADC (Analogue to Digital Converter)** 12 bits : assure la conversion du signal analogique en signal numérique.

-1 **ASIC** : le MARC développé en Italie et qui contrôle les communications avec les DSP, les MANAS et qui réalise la suppression de zéro.

2. Le **DSP (Digital Signal Processor)** : placé au plus près des chambres collecte les données provenant de 26 MANU au maximum.

3. Le **CROCUS** regroupe 14 DSP et transmette les données au système d'acquisition (DAQ). Il est capable de lire ½ chambre (4 CROCUS / station)

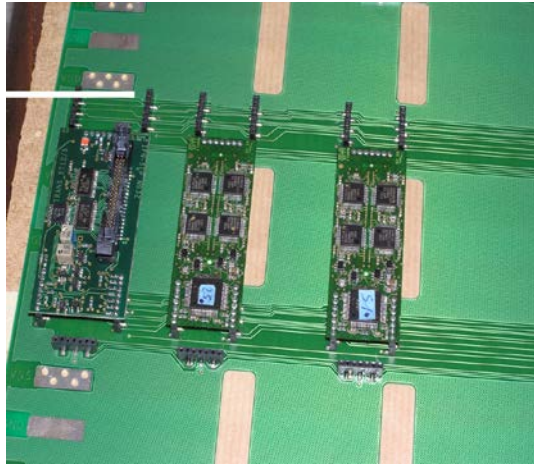


Figure 6 : Le MANU.

L'objectif prioritaire de cette thèse est de démarrer le détecteur et obtenir les premières données dès le démarrage du LHC mais il ne faut pas oublier qu'ALICE et son spectromètre dimuons ont avant tout été financés dans un but de Physique. L'étude de la production de charm (faite au SPS et RHIC) dans les collisions d'ions lourds comme signature du QGP reste encore incomplète et mal comprise. De plus avec ALICE au LHC, le champ d'étude s'élargit avec la possibilité d'étudier la beauté.

Bref, c'est passionnant et nouveau !

5. Bibliographie:

✚ ALICE Collaboration, ALICE Physics Performance Report Volume I, 2003

Ce document contient deux grandes parties : la première est une partie sur la physique théorique qui donne une vue globale de la physique à laquelle s'intéresse l'expérience ALICE. La deuxième partie décrit brièvement tous les sous-détecteurs qui composent ALICE.

✚ ALICE Technical Design Report of Dimuon Forward Spectrometer, 1999

Dans cette référence on trouve les détails sur la construction et la fabrication du bras dimuons ainsi que les résultats de tests au faisceau. On peut aussi trouver les résultats d'études sur la résolution spatiale, efficacité de la reconstruction, test de haute tension, test d'homogénéité du gain, etc....

✚ Addendum to the Technical Design Report of Dimuon Forward Spectrometer, 2000

Ce document signale les modifications apportées dans la conception de la construction du détecteur par rapport à la référence 2.

✚ **Thèse de Liliane Kharmandarian : "Etude des chambres de trajectoire du spectromètre dimuons de l'expérience ALICE auprès du LHC.", 1999**

Ce rapport de thèse permet de mieux saisir la physique étudiée dans l'expérience ALICE ainsi que l'ensemble du dispositif expérimental. Les choix, en termes de type de détecteur, de paramètres géométriques, de nature de mélange gazeux et d'électronique sont aussi discutés.

✚ **Carlos Lourenço: "Heavy Ion Collisions at the LHC: the ALICE experiment. ", 1996**

Ce document est commenté en annexe.

✚ **Ginés Martínez : "The Muon Spectrometer of the ALICE experiment.", 2004**

Ce document est commenté en annexe.

6. Perspectives :

Mon objectif pour ce qui concerne mon avenir professionnel est de devenir chercheur(e). Les nombreux stages effectués pendant mon cursus universitaires m'ont rassuré que la vie en laboratoire me convient le mieux. Depuis longtemps mon dilemme était l'hésitation entre la physique nucléaire et la physique de particules. En ayant la chance de faire mon stage de M1 de Physique Appliquée au CERN, mes idées sont devenues très claires. Pendant ce stage j'ai intégré une excellente équipe pluridisciplinaire où j'ai rencontré des gens passionnés qui m'ont permis de découvrir des domaines que j'ignorais auparavant. Finalement j'ai choisi le domaine de physique hadronique et l'expérience ALICE, dédiée à l'étude d'un état de la matière appelé le plasma de quarks et de gluons qui débutera au CERN en été 2007. Dans l'éventualité de faire un post-doctorat je voudrais développer des contacts avec mes collaborateurs nationaux ainsi que mes contacts internationaux.

A la suite de ma thèse avec/sans un post-doc, je souhaiterais obtenir un poste lié à ce domaine en France ou à l'étranger mais je suis aussi ouverte à d'autres domaines de la physique.

Une autre possibilité qui m'intéresse fortement est de travailler en entreprise où j'ai déjà pas mal d'expérience.

En générale, on pense que les perspectives professionnelles à la suite d'une thèse en physique sont assez limitées mais moi je pense que c'est plutôt un stéréotype. Pour moi si quelqu'un est capable de faire une thèse dans un domaine comme la physique, il pourra assumer n'importe quel choix professionnel, on est bien sûr pas à une exception prêt.

7. Conclusions :

La rédaction de ce rapport m'a permis de bien clarifier mes idées par rapport au contenu scientifique et aux objectifs de ma thèse. Je pense que l'importance est de faire une thèse sur un sujet qui nous passionne et non parce que c'est une suite logique de la formation M2 Recherche. Plus particulièrement je trouve que le sujet de ma thèse passionnant, d'autant plus que j'aurai une vision complète d'une expérience de physique des particules. J'attends avec impatience le début de ma thèse et j'espère que ça sera une expérience enrichissante.

A. Commentaires d'articles

A.1 Heavy ion collisions at the LHC: the ALICE experiment.

Publié dans arXiv : hep-ph/9612221 v1 1 Dec 1996

Cet article décrit la structure du détecteur ALICE ainsi que les signatures possibles pour la détection du QGP.

On distingue trois parties du détecteur en fonction de la pseudorapidité η :

- la partie centrale où $-0.9 < \eta < 0.9$ (couverture en angle azimutale de $\pm 45^\circ$) assure les détections des hadrons, des électrons et des photons.
- Le spectromètre de dimuon qui permet de reconstruire les masses et les impulsions des résonances lourdes, dont les pseudorapidités sont comprises dans l'intervalle $2.5 < \eta < 4$.
- Les détecteurs "à l'avant" (pour $\eta > 4$) qui mesurent la centralité des collisions et les multiplicités des particules chargées.

I. Les détecteurs :

La partie centrale :

La partie centrale d'ALICE se situe dans l'entrefer de l'aimant L3 et est composée de six sous-détecteurs. Cet aimant (5 m de rayon) solénoïdal génère un champ magnétique moyen de 0.2 T (actuellement 0.5T). Les détecteurs sont :

ITS L'Inner Tracking System, ou système interne de trajectographie, recouvre la région centrale de rapidité ($-0.9 < \eta < 0.9$) et est situé à quelques centimètres du vertex (point d'interaction). Ce détecteur sert à :

- la localisation du vertex primaire.
- la reconstruction des vertex secondaires de la décroissance des mésons D et B.
- l'identification de la trajectoire des particules de moment inférieur à 100 MeV/c.

TPC La Time Projection Chamber, ou chambre à dérive temporelle, a pour but :

- de mesurer les moments des particules chargées (hadrons et leptons), pour des moments transverses allant jusqu'à 100 GeV/c.
- d'identifier les particules.
- de contribuer à la localisation du vertex.

TOF Le Time Of Flight, ou le détecteur de temps de vol, a pour but d'identifier les particules de moment compris entre 0.2 et 2.5 GeV/c en particulier à discriminer les pions et les kaons. La mesure de temps de vol de ces particules se fera à l'aide de chambres du type MRPC (Multigap Resistive Plate Chamber). Le TOF d'ALICE permet de définir le temps de passage d'une particule à 150 ps près.

HMPID High Momentum Particle Identification Detector, ou le détecteur des particules à haut moment, qui détecte les hadrons de haut p_T (supérieur à 1 GeV/c). Son principe de fonctionnement repose sur la détection de photons Cherenkov émis par les particules traversant un milieu diélectrique.

PHOS PHOton Spectrometer, ou le spectromètre à photons, est un spectromètre électromagnétique de haute résolution et haute granularité fait de 17920 canaux de lecture de cristaux $PbWO_4$. Il détectera les particules dans la région de rapidité $-0.12 < \eta < 0.12$ qui sont essentiellement des photons et des mésons neutres. Deux buts sont associés à la détection de ces particules :

- pouvoir sonder les propriétés thermiques et dynamiques des instants initiaux des collisions.
- investiguer les propriétés de jet-quenching du milieu.

Le spectromètre dimuons :

Une description détaillée se trouve dans la partie principale du rapport.

Les détecteurs "à l'avant" :

ZDC Zero Degree Calorimeter, est un calorimètre placé aux rapidités proches du faisceau (c'est-à-dire $\theta \approx 0^\circ$). Le but de ce détecteur est de déterminer le nombre de participants d'une collision en donnant une mesure du nombre de ses spectateurs. En fait, le calorimètre permet de mesurer l'énergie déposée par les particules spectatrices et de calculer ensuite le nombre de participants. Le ZDC sera placé à 92 m du point d'interaction, et sera composé de deux modules de détection, l'un pour les neutrons et l'autre pour les protons.

FMD (Forward Multiplicity Detector) : permettra d'étudier la distribution de la multiplicité des particules chargées dans les intervalles de la pseudorapacité $-4 < \eta < 4$. Le FMD consiste en une mosaïque de détecteurs silicium disposés en cinq disques à proximité du tube du faisceau. Chaque disque a une extension radiale d'environ 13 cm. Il est fait de 51200 canaux de strip (ou bande) de silicium, distribués sur cinq compteurs de deux types différents (20 et 40 secteurs angulaires). Deux types de segmentations existent : 512 strips radialement pour 20 secteurs azimutaux et 256 strips pour 40 secteurs. La segmentation est choisie de façon à avoir un nombre moyen d'impacts par strip de silicium inférieur à 2-3 particules.

II. Les signatures du QGP:

La théorie prédit un certain nombre de signatures de la phase plasma qui restent mesurables après le freeze-out. Ces sondes doivent:

- être perturbées le moins possible lors d'interactions avec les hadrons créés lors de la phase d'hadronisation ;
- être capables de distinguer le confinement du déconfinement ;
- être présentes au début de la collision ;
- conserve des informations à travers les différentes phases de l'évolution.

Deux types de sondes satisfont ces conditions :

- Les sondes **internes** : Sont produites par le milieu déconfiné (QGP), ne subissent que les interactions faibles ou électromagnétiques et ne sont pas affectées par les phases suivantes.
- Les sondes **externes** : Sont créés aux premiers moments de la collision (ex : J/Ψ , Ψ ... que nous étudierons par la suite).

Plusieurs signatures, ont été proposées :

Production de photons

Les photons, créés dans le QGP, sont des particules idéales pour signer son existence car elles ne subissent pas les interactions fortes du plasma et du gaz de hadrons donc conservent les informations de la phase initiale où elles ont été créés. On distingue deux types de photons :

- Les photons **directs**
- Les photons **de décroissance (de bruit)**

Les photons directs sont une très bonne sonde des premiers instants de la collision, car ils sont produits très tôt et ne subissent pas les effets de la phase d'hadronisation. Lors des collisions, le système dense traverse potentiellement plusieurs phases, auxquelles on peut associer différentes émissions électromagnétiques (photons) :

les photons rapides (prompts photons) produits dans la phase de pré-équilibre (thermalisation) grâce aux interactions entre les partons (figure 7):

* annihilation d'un quark et d'un antiquark provenant de la cible et du projectile : $q\bar{q} \rightarrow \gamma g$

* diffusion de type Compton d'un gluon sur un quark (ou antiquark) : $qg \rightarrow \gamma q$

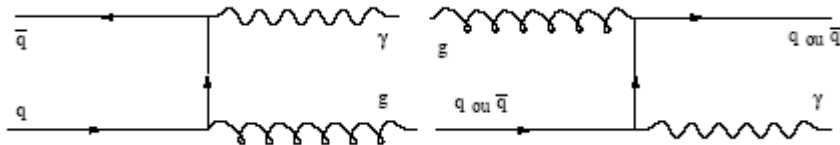


Figure 7 :

processus de production de photons par annihilation (à gauche) et diffusion Compton (à droite)

Les photons thermiques sont émis lors de la phase d'équilibre thermique du QGP.

Cependant, à ces sources de photons s'ajoute un important bruit de fond généré par la désintégration des **mésons légers**, principalement π^0 ($\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$) et η ($\eta \rightarrow \gamma + \gamma$).

Suppression de résonances lourdes (J/ψ , ψ' , Υ , Υ' et Υ'')

L'une de ces signatures est la suppression des résonances de saveur lourde ($c\bar{c}, b\bar{b}$) qui est étudiée par le bras dimuon d'ALICE.

Les résonances J/ψ et Υ sont créées dans les tous premiers instants de la collision de deux noyaux et sont de plus affectées à la traversée d'un milieu coloré : elles sont donc une bonne sonde du plasma. Le J/ψ est un état composé de deux quarks charmés $c\bar{c}$ (masse de $3.1 \text{ GeV}/c^2$) et le Υ est formé de deux quarks beaux $b\bar{b}$ (masse de $10 \text{ GeV}/c^2$). La paire quark-antiquark charmée $c\bar{c}$ colorée, principalement produite par fusion de gluons est accompagnée par un gluon sur une partie importante de son trajet (l'état pré-résonant du J/ψ). Après un certain temps, le gluon accompagnateur est absorbé par la paire charmée qui devient alors une résonance J/ψ . Les modèles théoriques prévoient qu'une formation du QGP conduit à la suppression de la résonance J/ψ . Dans un milieu dense comme le QGP la présence d'autres quarks (l'effet d'écrantage du milieu) empêche la combinaison des quarks $c\bar{c}$. Les quarks c et \bar{c} vont éventuellement s'associer à d'autres quarks de type u ou d pour former deux mésons dits de charme ouvert (D^+ et D^0). Un mécanisme similaire est envisagé pour le méson Υ et ses états excités Υ' et Υ'' .

Augmentation de la production d'étrangeté

Dans la matière nucléaire le contenu en quarks s et en antiquarks \bar{s} est faible. Lorsque la température atteinte est de l'ordre de la masse du quark étrange (150 à 200 MeV), la production de paires $s\bar{s}$ dans un plasma augmente. Dans le cas de formation du QGP, J.Rafelski et B.Müller prévoient une augmentation importante de taux de production de particules étranges. Dans 90% des cas les paires $s\bar{s}$ sont produites par la fusion de gluons.

Il existe plusieurs types de particules étranges produites, par exemple : Λ^0 (uds), Ω^- (sss), Ξ (uss ou dss).

L'expérience WA97 du CERN a mis en œuvre ce principe de détection du QGP. Les résultats ont été spectaculaires : le nombre des Ω , Ξ et Λ a été multiplié par 15.