

Présentation générale du spectromètre dimuons d'ALICE au LHC

Pauline BERNAT, Charles BOUCHART

Encadrant: Bruno ESPAGNON

Octobre, 2006

Résumé

ALICE est l'une des quatre principales expériences installées au CERN qui utilise le LHC (Large Hadron Collider), un imposant anneau de collision (p-p, Pb-Pb et également Noyau-p) dont le démarrage est prévu pour fin 2007. L'objectif d'ALICE est d'étudier la formation du plasma de quarks et de gluons lors de collisions à haute température et/ou forte densité d'énergie. Cette expérience dispose pour ce faire de deux parties : la partie centrale, dont les caractéristiques globales seront détaillées en annexe, et le spectromètre dimuons. Le laboratoire de l'IPN d'Orsay s'occupe de la construction de la première station du bras dimuons, composée de deux chambres, de l'électronique et du Software de ces MWPC. Après une brève introduction des motivations physiques sous-jacente à ALICE, nous détaillerons les caractéristiques et performances des divers modules du bras dimuons.

1 Introduction : Quelle physique sous-jacente à ALICE

ALICE (A Large Ion Collider Experiment at CERN LHC) est le détecteur dédié à la physique des ions lourds au LHC¹. Son but est l'étude de la physique de la matière nucléaire et des interactions fortes à très hautes densités d'énergie, où une nouvelle phase de la matière, le plasma quarks-gluons (*QGP*), est attendue.

A l'heure actuelle, notre compréhension de la matière nucléaire ainsi que son évolution à partir de ses origines, donne lieu à de nombreuses interrogations et fait l'objet d'études à la fois théoriques et expérimentales de la part d'une large communauté de physiciens. La Chromo-dynamique Quantique (*QCD*) prédit clairement la formation de *QGP* à haute température et/ou à forte densité d'énergie. Se pose alors la question de

la mise en évidence expérimentale de cet état de la matière, ainsi que les observables à mesurer pour l'identifier et étudier son évolution.

La façon dont évolue le *QGP* a été décrite par Bjorken. Dans une première phase, les collisions partons-partons vont amener le système à se thermaliser. Le temps nécessaire à cette thermalisation est de l'ordre de 1 fm/c ($\cong 10^{-23}$ s). Dans la seconde phase, le *QGP* va évoluer selon les lois de l'hydrodynamique. Pendant son expansion, la température décroît, et le système évolue vers une troisième phase dite phase mixte dans laquelle les quarks se reconfinent. Enfin après hadronisation (10 à 20 fm/c après la collision), le gaz de hadrons se refroidit rapidement jusqu'au moment de l'émission des hadrons libres ("freeze-out").

Nous pouvons imaginer le problème posé par ces signatures hadroniques concernant la détection de la formation initiale du *QGP*. En effet, étant donné que ces particules sont soumises à l'interaction forte et qu'elles sont passées par plusieurs étapes, elles ont perdu en partie la mémoire du *QGP*. D'autres sondes, dites "sondes dures", telles que les photons ou les leptons produits au moment de la phase de *QGP*, vont elles conserver la mémoire de cette formation et apporter des informations plus fidèles et non biaisées par la phase d'hadronisation.

L'ensemble des différentes parties d'ALICE est conçu pour étudier la totalité des signatures du *QGP*. Le spectromètre dimuons est chargé de mesurer la production de résonance de haute masse (familles du J/Ψ et du Υ) via leur désintégration muonique. Les informations recueillies par ce bras dimuons peuvent être mises en corrélation (ou pas) avec celles provenant de la partie centrale d'ALICE, de forme cylindrique.

2 Signature du *QGP* et résonances haute masse

Les possibles signatures de la formation du *QGP* sont nombreuses : augmentation de l'étrangeté, production

¹La structure du LHC et les énergies dans le centre de masse des collisions auxquelles il devrait fonctionner sont détaillées en annexe.

de "strangelet", restauration de la symétrie chirale, photon et dilepton thermique, "jet quenching", etc... Une signature très prometteuse est la suppression des mésons lourds (J/Ψ , Υ). Dans le cas de la formation d'un QGP , la production des états liés $c\bar{c}$ ou $b\bar{b}$ est diminuée suite à un écrantage de couleur. Cette prédiction théorique de Matsui et Satz en 1986 a été étudiée par les expériences $NA38$ avec des ions Soufre et Oxygène sur Uranium et par $NA50$ avec le Plomb. Les résultats de ces expériences sont à la base de la décision de la construction du spectromètre dimuons de $ALICE$.

Cet effet d'écran, dû en physique atomique à la présence de charges électriques, s'applique ici à la charge de couleur. Le potentiel quark-antiquark est, dans un milieu confiné, formé d'un terme proportionnel à r (distance inter-quarks), traduisant le confinement, et d'un terme en $1/r$ de type coulombien. Dans un milieu déconfiné (QGP), ce terme coulombien prend la forme $exp(-r/\lambda_D)/r$. λ_D est appelé rayon de Debye et est caractéristique de chaque résonance. Cette longueur d'écrantage de Debye est inversement proportionnelle à la température. Ainsi, lorsque cette dernière augmente, et qu'elle devient supérieure à une valeur critique T_0 , le rayon de Debye devient inférieur au rayon de la résonance. Celle-ci ne peut alors se former et les quarks vont s'habiller pour donner du charme ouvert ou de la beauté ouverte.

Le tableau 1 résume les caractéristiques des différentes résonances. Etant donné les valeurs des rayons de ces résonances (plus le rayon est faible moins la résonance sera écrantée), nous constatons que les états excités seront écrantés avant les états fondamentaux et que la suppression du Υ nécessitera des énergies très importantes qui seront atteinte au LHC . L'étude de

	J/Ψ	Ψ'	Υ	Υ'	Υ''
M (GeV)	3.097	3,686	9,460	10,023	10,355
Γ (MeV)	0.087	0,277	0,052	0,044	0,026
r (fm)	0,453	0,875	0,226	0,509	-
B.R. $_{\mu}$ (%)	5,88	1	2,48	1,31	1,81
Td/Tc (2000)	1.2	1.12	2.7	1	1
Td/Tc (2006)	2.1	2	>4	1.6	1.17

TAB. 1 – Caractéristique des mésons Υ et J/Ψ dont une suppression de leur production est attendue lors de la formation de QGP . L'évolution[8] du rapport température de dissociation (Td) de l'état sur température critique (de changement de phase Tc) est aussi indiqué.

la suppression des résonances, et notamment celles de la famille du Υ , constitue un point fort de la physique

proposée, grâce au spectromètre dimuons.

3 Le spectromètre dimuons

Le spectromètre dimuons de $ALICE$ est conçu pour détecter les muons sous une petite ouverture angulaire comprise entre 171° et 178° ². Il est relié à la partie centrale par l'absorbeur frontal, qui comme nous allons le voir, contribue grandement à la sélection des événements. Parmi les différents modules qui constituent le spectromètre dimuons, on trouve :

- Un système de trajectographie constitué de chambres proportionnelles à multi-fils (MWPC).
- Un système de déclenchement (ou Trigger, RPC).
- Un dipôle magnétique qui va courber la trajectoire des muons.
- Un blindage de faisceau, dont le rôle, proche de celui de l'absorbeur, est de stopper la trajectoire des particules provenant du point d'interaction à petit angle.

L'IPN a pris en charge la première station, de la conception à la réalisation physique, électronique et informatique de ses deux chambres MWPC, comme illustré sur le schéma 1.

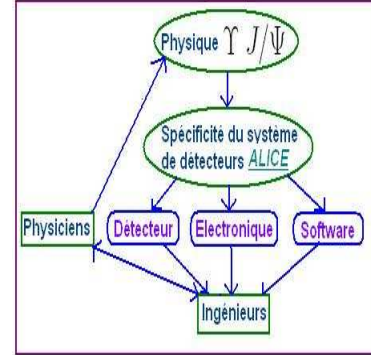


FIG. 1 – Schéma des différentes branches liées à la construction des chambres de trajectographie du spectromètre dimuons d'ALICE à l'IPN.

3.1 Pourquoi un spectromètre dimuons dans ALICE ?

Le spectromètre dimuons a été ajouté à la demande du $LHCC$ ("Large Hadron Collider Committee") pour

²Ainsi la région couverte par ce détecteur en pseudo-rapacité est $-4 < \eta < -2.5$.

compléter la partie centrale de *ALICE* et permettre l'étude des résonances de quarks lourds dans leur désintégration en voie muonique. La suppression des quarkonia est, comme nous l'avons vu précédemment, une des signatures les plus prometteuses pour la mise en évidence du *QGP*. L'accès à cette signature, via la famille du Υ , constitue une motivation importante pour la construction de ce spectromètre. Sa conception doit permettre[4] :

- De séparer les résonances dans les familles du J/Ψ et du Υ (résolution inférieure ou égale à $100\text{MeV}/c^2$ pour une masse de $10\text{GeV}/c^2$).
- D'avoir une grande acceptance jusqu'aux basses impulsions transverses.
- De fonctionner en collisions proton-proton et proton-noyau afin d'avoir des références sur les sections efficaces de production, ainsi qu'avec plusieurs systèmes d'ions afin de faire varier la densité d'énergie.
- D'étudier la centralité des collisions afin d'étudier les suppressions en fonction de la densité d'énergie.
- De corrélérer des événements en coïncidence avec la partie centrale.

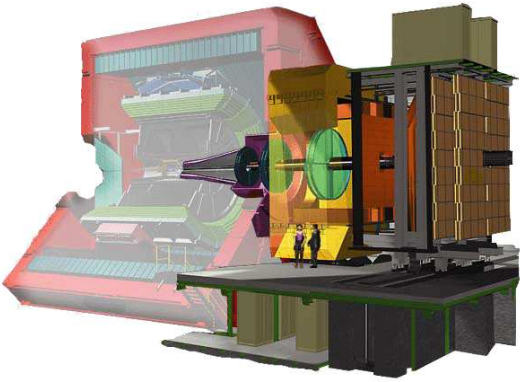


FIG. 2 – Schéma des différents sous-détecteurs qui constituent le bras dimuons d'ALICE.

3.2 L'absorbeur et les blindages

L'absorbeur frontal du bras dimuons schématisé en gris sur la figure 2 va de paire avec le blindage du faisceau. Se situant à 90 cm du point de collision, il a pour but de réduire le bruit de fond issu des pions et kaons de hautes énergies.

Une protection supplémentaire est nécessaire, cette fois-ci pour les chambres à déclenchement qui se trouvent à l'extrémité du bras. Ce filtre à muons se matérialise par un mur de fer de 1 m d'épaisseur qui va supprimer la plupart des hadrons qui ont résisté aux

absorbeurs³.

3.3 Les chambres MWPC

Le système de trajectographie est réparti en 5 stations, chaque station étant constituée de deux chambres successives. Les deux premières chambres, dont l'*IPN* s'occupe, sont faites de quatre quadrans. La deuxième station est quant à elle construite en Inde. Les trois autres sont par contre réalisées à base de panneaux rectangulaires individuelles. Seule la troisième station va se trouver à l'intérieur de l'aimant dipolaire, dont le rôle est de courber la trajectoire des muons dans le plan transversal. Il est par ailleurs situé à 7 m du point d'interaction et délivre un champ magnétique nominal $B = 0.7\text{ Tesla.m}$.

Les quadrans des *MWPC* (des deux premières stations) sont constituées de deux plans de cathodes (*CPC* pour Cathode Pad Chamber) séparés d'une épaisseur de 4.2 mm . A l'intérieur du gap, rempli d'un mélange gazeux $\text{Ar}-\text{CO}_2$ (80%-20%), sont insérés les fils d'anodes. Les pads sont reliés aux puces électroniques qui véhiculent le signal, matérialisé en mode proportionnel par des avalanches d'électrons. La présence de CO_2 dans le gaz n'est pas sans raison : l'ionisation est favorisée par la présence du gaz rare[7] ($I_{18\text{Ar}} = 15.76\text{ eV}$) mais la présence de CO_2 dans ces proportions assure une vitesse de dérive des électrons constantes et limite la délocalisation des avalanches. En effet, les photons émis par réabsorption des électrons sont dans le domaine de l'UV et sont donc absorbés par le CO_2 .

L'acheminement des signaux va permettre une mesure de la position (x,y) du point de passage des particules, mesure dont la résolution dépend explicitement de la taille des pads et de l'électronique utilisée.

La taille des pads varie en fonction de leur distance radiale : puisque le passage des muons a une importante probabilité d'avoir lieu à petit angle et que l'on souhaite avoir un taux d'occupation des pads⁴ constant, la dimension de ceux-ci sera plus petite à petit angle, dans les régions où le nombre de particules produites est le plus important. Les pads, répartis en trois zones suivant leur taille, auront comme dimensions[3] $4.2 \times 6.3\text{ mm}^2$, $4.2 \times 12.6\text{ mm}^2$ et $4.2 \times 25.2\text{ mm}^2$ en s'éloignant de l'axe central⁵. On notera cependant qu'une taille réduite des pads influe sur la dimension des puces électroniques qui

³Deux absorbeurs à petit angle suivent la structure conique de l'absorbeur frontale

⁴taux de pads touchés par unité de surface

⁵La longueur des pads de la zone 3, la plus éloignée de l'axe central, correspond au double de celle des pads de la zone 2, elle-même égale au double de la longueur des pads de la zone 1.

receptionnent le signal et inversement.

D'autres paramètres sont également à prendre en compte comme l'efficacité de détection, les résolutions spatiales et sur la masse des chambres :

- La résolution spatiale va directement déterminer la résolution sur la mesure des masses. Comme nous pouvons le constater sur la figure 3[2], une résolution en masse sur le Υ meilleur que 100 MeV nécessite une résolution spatiale sur les chambres meilleur que 150 μm , elle-même reliée à l'électronique.

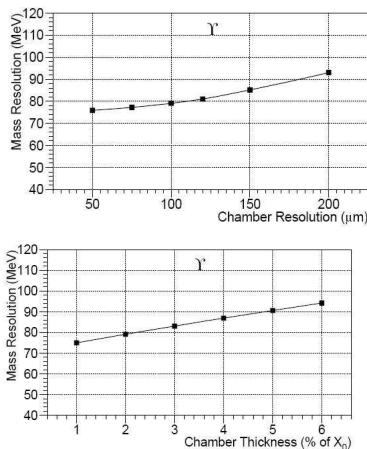


FIG. 3 – En haut : résolution en masse attendue[4] pour le Υ en fonction de la résolution spatiale des MWPC du spectromètre dimuons. En bas : résolution en masse attendue pour Υ en fonction de l'épaisseur traversée en pourcentage de X_0 .

- L'épaisseur des chambres (des cathodes, des puces, du cablage...), exprimée en pourcentage de longueur de radiation X_0 va affecter l'allure des courbes de résonances et doit donc être minimale. Typiquement de l'ordre de 2% de X_0 , l'épaisseur totale atteint au maximum 3% de X_0 , ce qui représente une résolution en masse[2] de l'ordre de 80 MeV comme indiqué sur la figure 3.
- On remarquera tout de même que la plus grande contribution sur la résolution en masse est due à l'absorbeur central. Celui-ci représente en effet 90% de la résolution en terme de X_0 , pour une longueur totale de 4.13 m⁶.
- Aux performances propres du détecteur s'ajoute l'électronique, qui nécessite, outre des tests d'irradiation (réalisés à l'IPN) et des tests en faisceaux (réalisés au CERN), une mesure du bruit de fond électronique. Vérifier le gain des pads est fondamental : une dispersion de ceux-ci peut en effet

entraîner une modification de la distribution des charges, et donc de la position reconstruite du passage d'une particule. Comme illustré sur la figure 4, un ajustement gaussien de la distribution de charge de trois pads voisins peut fournir dans le cas idéal une résolution spatiale de 50 – 70 μm . Mais une trop grande dispersion des gains (actuellement elle est de l'ordre de 2%) peut dégrader cette résolution.

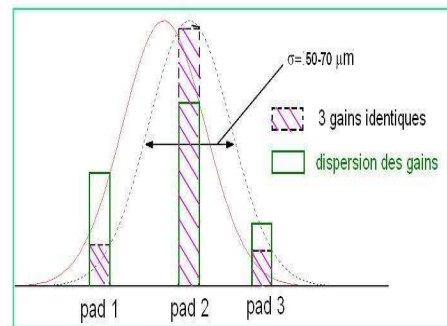


FIG. 4 – Illustration d'une distribution de charges sur trois pads, modifiée par la dispersion de leur gain : celle-ci entraîne une perte sur la résolution spatiale des chambres.

- Sans oublier la localisation des chambres dans l'espace⁷, la cartographie du champ magnétique \vec{B} délivré par les aimants, ou encore le Software d'ALICE dont la performance des algorithmes de reconstruction peut influencer sur les résultats.

3.4 Les chambres de déclenchement RPC

Le déclenchement va s'effectuer via deux stations de deux plans de RPC (Resistive Plate Chamber) schématisés sur la figure 5. Ils sont disposés derrière les chambres de trajectographie et le mur de fer. Ces deux stations se trouvent à 16 et 17 m du point d'interaction. Elles fonctionnent en mode streamer et vont, après amplification des ionisations primaires, fournir par effet capacitif la position des particules dans le plan transverse. L'impulsion transverse de ces particules est obtenue par la mesure de la déviation de leur trajectoire entre les deux stations. Compte-tenu de la déviation engendrée par l'aimant dipolaire, il est possible de retrouver les traces des particules qui pointent en direction du vertex d'interaction. Un trigger basé sur la différence de

⁷Sous des faibles fluctuations de température, ou en considérant le poids des sous-détecteurs sous lesquels reposent les différents modules du spectromètre, il est possible que les coordonnées spatiales des chambres aient évolué pendant la durée de l'expérience, influant directement sur la précision de mesure des positions des dimuons. La mise en marche de l'aimant peut également influencer sur les positions.

⁶Il équivaut à 10 longueur d'absorption λ et 62 X_0 .

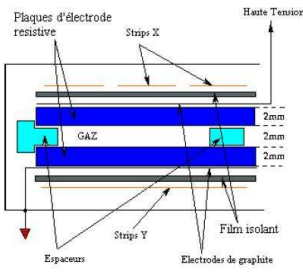


FIG. 5 – Schéma des *Resistive Plate Chamber* utilisées pour le déclenchement du bras dimuons d'ALICE

position mesurée dans les deux stations permet une première sélection sur les événements. C'est donc via une coupure en impulsion transverse des muons individuels (figure 6) que l'on peut sélectionner les événements dimuons issus de la désintégration d'un des états du Υ .

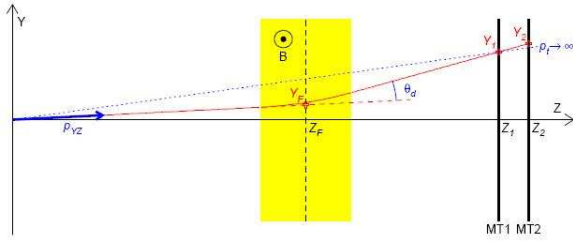


FIG. 6 – Illustration du principe du déclenchement du bras dimuons.

4 Le système de trigger du bras dimuons

Le déclenchement de l'acquisition de données est déterminé, comme énoncé plus haut, par la coupure sur les impulsions transverses des muons.

Ces coupures en impulsions seront optimisées pour limiter le bruit de fond lié aux pions et kaons ⁸, sans pour autant biaiser le nombre d'événements acceptables. Comme indiqué sur le tableau 7, une coupure à bas $P_t = 1 \text{ GeV}/c$ réduit le bruit de fond de 88% mais offre un taux de 98% de Υ et de 76% J/ψ détectés. En revanche, Une coupure à haute $P_t = 2 \text{ GeV}/c$ augmente le rapport signal sur bruit de fond.

A titre d'exemple, la luminosité en collision $p - p$, réduite par rapport à la luminosité nominale du LHC, est de $10^{31} \text{ cm}^2.s^{-1}$. Compte-tenu de la section efficace d'interaction $p - p$, de l'ordre de 0.1 barn , le taux de collision $p - p$ s'obtient simplement comme le produit

	$p_T = 1 \text{ GeV}/c$	$p_T = 2 \text{ GeV}/c$
π et K	88% (rej.)	98% (rej.)
Charme	77% (rej.)	96% (rej.)
Beauté	-	74% (rej.)
J/ψ	76% (dét.)	-
Υ	98% (dét.)	90% (dét.)

FIG. 7 – Taux de Υ et J/ψ détectés pour des coupures à bas et haute P_t .

de la section efficace par la luminosité, soit :

$$L_{p-p} \cdot \sigma_{p-p} = 10^{31} \times 0,1 \cdot 10^{-24} = 1 \text{ MHz}$$

Soit un taux d'environ 1 million de collisions par seconde. On trouvera pour les collisions $Pb - Pb$, un taux de 8 kHz , pour une luminosité $L_{Pb-Pb} = 10^{27} \text{ cm}^2.s^{-1}$ et une section efficace $\sigma_{Pb-Pb} = 8 \text{ barn}$.

La coupure à bas P_t réduit le taux de collisions $Pb - Pb$ à 650 Hz et celle à haut P_t à 90 Hz . Ces taux sont donnés pour tous types de collisions (on parle de minimum bias) et sont typiquement réduit d'un facteur 10 dans le cas des collisions centrales.

Les coupures en impulsions transverses choisies par le trigger vont diminuer ces taux attendus. Mais la principale perte d'événements est liée à l'acceptance, c'est-à-dire le rapport de la région angulaire couverte par le bras dimuons sur les 4π stéradians ⁹. Cette acceptance nous ramenera à un nombre de 5830 Υ produits en collision $Pb - Pb$ pour une période de 10^6 s pour un taux initial de $1 \cdot 10^5 \Upsilon$ produits. Si nous tenons compte ensuite des efficacités de détection, des chambres et trigger, et des coupures en masse, il ne reste plus que 2920 Υ attendus.

4.1 Electronique et informatique associées au trigger du bras dimuons

Si le trigger (du bras dimuons) sélectionne un événement, les informations sont envoyées vers le trigger central d'ALICE (CTP), qui, s'il décide de lancer l'acquisition, renvoie la commande au bras dimuons. Ce temps de réponse ne peut cependant excéder les $1.2 \mu\text{s}$: ce temps correspond au temps de dérive des électrons dans les chambres de trajectographie, et coïncident avec le moment où le maximum de la charge des avalanches est produit en mode proportionnel. Un trigger de niveau 1 pourra par la suite stopper ou accepter l'acquisition des données d'un événement.

Les informations des cartes installées sur les cadrans

⁸qui engendrent des muons

⁹Ce rapport est de l'ordre de $7^\circ/180^\circ \approx 4\%$.

et qui reçoivent le signal électrique des pads sont reliées par des bus (cables) au *CROCUS*. Le *CROCUS* est un châssis pouvant contenir les informations d'une demi-chambre¹⁰ et renvoyer les instructions nécessaires à la DAC. Ces informations sont envoyées vers des ordinateurs locaux et globaux (resp. *LDC* et *GDC*) qui rassemblent les bouts d'informations d'événements¹¹ vers d'imposants disques durs, de taille de l'ordre du TeraOctets, qui, une fois remplis, se déchargent sur des bandes magnétiques.

5 Annexes

5.1 LHC

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) est une expérience dédiée à l'étude de la formation du plasma Quarks-Gluons dans les collisions d'ions lourds. Installée au Cern, elle utilisera le LHC figure(8), un anneau de collision (p-p, Pb-Pb, et aussi N-p) de 27 km de circonférence. Trois autres expériences, ATLAS, CMS et LHC-B, seront également installées auprès de ce collisionneur, les deux premières s'intéressant aux limites et extensions possibles du Modèle Standard avec l'étude de la SuperSymétrie et la recherche du Higgs, et la dernière se consacrant à la violation CP avec entre autre l'étude du quark b.

5.1.1 structure de la machine

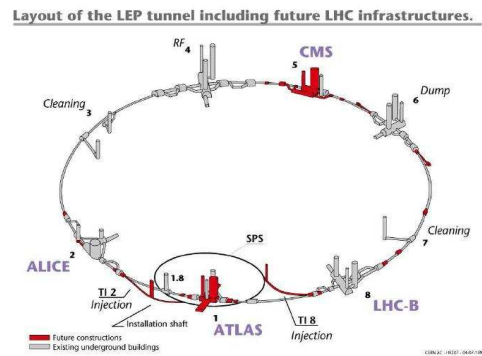


FIG. 8 – Vue schématique du LHC : on distingue les 4 expériences -ALICE, ATLAS, CMS et LCH-b- qui utilisent l'anneau de collision.

Le LHC se compose de huit sections droites d'environ 500 m de long, sur lesquelles reposent les quatre expériences, où plus de 1200 aimants supra-conducteurs sont placés pour courber la trajectoire des faisceaux et assurer leur bonne focalisation. Ces aimants sont refroidis à des températures de 2 K avec de l'hélium liquide, délivrant ainsi un champ magnétique de 8.4 Tesla.

5.1.2 collision p-p et Pb-Pb du LHC

Le principal mode de fonctionnement du LHC se fera avec des faisceaux de protons où les collisions auront une énergie dans le centre de masse $\sqrt{s_{p-p}} = 14 TeV$ pour une luminosité nominale $L = 10^{34} cm^{-2}.s^{-1}$. ALICE, qui s'intéressera aux collisions d'ions lourds, utilisera comme référence ces collisions p-p mais avec une luminosité limitée à $L_{ALICE} = 10^{31} cm^{-2}.s^{-1}$. Deux procédés actuels permettent de réduire la luminosité : un

¹⁰20 CROCUS seront donc nécessaires pour ALICE, les 5 stations étant constituées de 4 demi-chambres.

¹¹chaque événement est numéroté en fonction du nombre de cycles effectués par le faisceau dans le LHC

étalement transversal des faisceaux ou bien une légère déviation des faisceaux limitant la section transversale de la zone des collisions.

Le LHC fonctionnera aussi en collision d'ions lourds (Pb-Pb) environ un mois à la fin de chaque année, ces collisions libérant une énergie dans le centre de masse $\sqrt{s_{Pb-Pb}} = 5.5 \text{ TeV}$. Afin de varier les densités en énergie dans la recherche de la formation du plasma Quarks-Gluons, ALICE étudiera également un ou plusieurs systèmes de masse intermédiaire telles que les collisions Ar-Ar. Les collisions p-noyau permettront également d'étudier, en l'absence de formation de plasma, l'absorption nucléaire normale des résonnances de quarks lourds.

5.2 ALICE : description générale

ALICE est une expérience généraliste, de part son étendue de recherche (applications en QCD, QGP et Astrophysique avec l'Univers primordial...), et de part sa diversité de sous-détecteurs qui la constituent. Une vue schématique d'ALICE est présentée figure (9) : ce détecteur est constitué de deux parties : un spectromètre dimuons et un tonneau central. Nous verrons par la suite qu'il est tout à fait possible de dissocier le fonctionnement de ces deux parties, comme il est possible de les corrélérer via un système de trigger central (CTP). Commençons par une brève description des caractéristiques physiques (performances) et géométriques des sous-détecteurs principaux de la partie centrale.

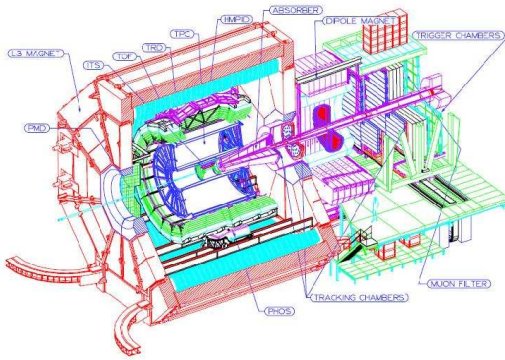


FIG. 9 – Vue schématique d'ALICE où apparaissent les différents sous-détecteurs de la partie centrale et du spectromètre dimuons.

5.3 La partie centrale

Elle se compose de plusieurs détecteurs plongés dans un champ magnétique solénoïdal, et a pour objectifs de détecter les photons, électrons et hadrons issus des collisions, et reconstruire leur trajectoire et leur impulsion. Parmi les divers sous-détecteurs, on retrouve :

L'ITS Un système de trajectographie interne (ITS)[5] composé de six couches de détecteurs de silicium couvrant une région de pseudo-rapacité¹² $\eta = \pm 0.9$. Composé d'environ $15 \cdot 10^6$ pixels de silicium de $50 \times 300 \mu\text{m}^2$, la granularité de l'ITS est telle qu'elle permet une mesure simultanée de 15000 traces de particules. L'épaisseur des couches est inférieure à 1% de X_0 (longueur de radiation), pour limiter la perte d'énergie des électrons et l'absorption des photons thermiques dans le matériau. Il permet donc une bonne mesure des vertex primaires et secondaires des interactions. L'ITS va également fournir une bonne mesure de la centralité des collisions (à partir du nombre de particules produites qu'il va détecter). Plus la collision sera « centrale », plus la densité d'énergie sera élevée, et inversement, un nombre peu élevé de particules détectées signera une collision « périphérique ». Il permet enfin d'identifier les particules de faible impulsion n'atteignant pas la TPC.

La TPC La TPC[5] a pour but de reconstruire la trace des particules chargées ayant ionisé le gaz qui la remplit, mesurer leur impulsion au moyen du champ magnétique qui courbe leur trajectoire et identifier les particules par leur perte d'énergie pour une précision meilleure que 7% dans un même domaine de pseudo-rapacité que l'ITS. Cette dernière a l'allure d'un tonneau, pour un rayon interne $R_{int} = 85 \text{ cm}$, un rayon externe $R_{ext} = 250 \text{ cm}$ et une longueur de 5 m, avec un système de lecture de près de 500 000 pads sur ses extrémités. Elle est remplie d'un mélange gazeux composé à 90% de néon et à 10% de CO_2 . Bien que la TPC soit le principal système de trajectographie d'ALICE, son temps de réponse long¹³ va être la cause d'une luminosité limitée pour ALICE¹⁴.

Le TRD Le détecteur à rayonnement de transition (TRD) est installé autour de la TPC. Il est constitué de six couches, séparées chacune en 18 plans, chacun muni d'une chambre de lecture proportionnelle multi-fils (MWPC). Les deux régions (de dérive et d'amplification) sont plongées dans un mélange gazeux à 95% de Xe et à 5% de CO_2 . Il est à noter que le Xe est également un gaz rare ($I_{Xe} = 12.13 \text{ eV}$), avec un $Z_{Xe} = 54$ élevé qui favorise la détection de photons via la création

¹²la pseudo-rapacité est définie comme $\eta = -\ln \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$. Cela signifie que le ITS couvre une région angulaire comprise entre $\approx 45^\circ$ et 136° .

¹³le temps de dérive d'ionisation des électrons est de l'ordre de $100 \mu\text{s}$ sur une distance de 2.5 m séparant l'électrode centrale des deux plans de lecture de part et d'autre

¹⁴En diminuant d'un facteur ≈ 1000 la luminosité du LHC, on limite l'empilement d'événements.

de paires[1], dont la section efficace est proportionnelle à Z^2 .

Le TOF et le HMPID Un détecteur de temps de vol (TOF)[6] est installé en périphérie de ce dernier, suivi du HMPID[6] (identification des particules de grandes impulsions) qui ne couvre qu'une petite région de l'espace des phases de la partie centrale. Il est en effet constitué de 7 détecteur Cerenkov de $1.5 \times 1.5 m^2$. Son rôle est de renforcer les identifications faites par les détecteurs précédents et d'étendre la discrimination pions/kaons à $3 GeV/c$ et kaons/protons à $5 GeV/c$. Les mésons, de masse plus faible que le proton laisseront pour signature dans le détecteur un cône caractérisé par un angle θ supérieur à celui d'un proton¹⁵.

Le PHOS Le spectromètre à photons (PHOS) est la dernière couche de la partie centrale avant l'aimant L_3 . Ce dernier a pour objectif la détection des photons directs (thermiques) et l'étude des « jet quenching » à travers le canal de désintégration di-photonique des mésons neutres π et η qui échappent à la TPC. En effet, lors d'une collision périphérique, le jet émis près de l'extrémité du QGP ressortira mais le second, de direction opposé, aura peu de chance de s'en échapper. La détection et la mesure en énergie d'un photon, quasi-insensible à la matière hadronique¹⁶, permettrait une étude approfondie du « jet quenching », déjà observé dans Phenix et Star.

Remerciement

Nous voudrions remercier M. Bruno Espagnon qui nous a encadré pendant ces cinq demi-journées de mini-stage. Outre nous donner une description complète et rigoureuse de la physique sous-jacente à ALICE, il nous a balladé de place en place pour nous présenter aux divers membres de l'équipe ALICE à l'IPN. Nous avons ainsi pu découvrir les occupations diverses et variées des chercheurs, techniciens, informaticiens et ingénieurs du laboratoire. Nous voudrions remercier Christophe Suire, notamment pour son aide dans notre recherche bibliographique, ainsi que Valérie Chambert, responsable du service électronique des chambres et Sylvain Rousseau, du service informatique,

¹⁵La relation $\cos(\theta) = \frac{1}{\beta n}$ où n est l'indice de réfraction du milieu et β le rapport impulsion sur énergie d'une particule justifie clairement un $\theta_{meson} > \theta_p$.

¹⁶Les quarks, de charge non-nulle, peuvent interagir avec cette sonde EM.

pour leurs explications sur l'électronique et le Software des MWPC du bras dimuons d'ALICE.

Références

- [1] *detector for particle radiation*, Konrad Kleinknecht, 2nd revised ed.
- [2] *ALICE Technical Design Report, chapitre 2*
- [3] *Journal of Physics G*, Nuclear and Particle Physics, Vol. 30, n°11, 11/04, ALICE : Physics Performance Report Vol.1
- [4] *Optimisation du détecteur du système de déclenchement du spectromètre dimuons et étude des résonances de haute masse dans l'expérience ALICE au CERN-LHC*, L. Lamoine, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II
- [5] *Les résonances de quarks lourds comme sonde du plasma de quarks et de gluons : optimisation du spectromètre à muons de l'expérience ALICE et étude de la production du $J\psi$ dans l'expérience Na60*, P. Pillot, Université Claude Bernard-Lyon 1
- [6] *Production de dimuons en réactions p-p et Pb-Pb avec ALICE : le détecteur V0 et les résonances de basse masse*, B. Rapp, Université Claude Bernard-Lyon1
- [7] *Particle Data Group, édition 2004*
- [8] *Charm and Beauty in a Hot Environment*, Helmut Satz, arXiv :hep-ph/0602245 v1 28 Feb 2006