

Prospective pour la physique du plasma de quarks et de gluons en France

<u>Prospective pour la physique du plasma de quarks et de gluons en France</u>	1
<u>Executive summary 2-3 pages</u>	3
1. <u>Physique du plasma de quarks et de gluons et collisionneurs d'ions lourds relativistes</u>	3
1.1 <u>Motivations générales</u>	3
1.2 <u>Collisions d'ions lourds relativistes</u>	3
1.3 <u>Les machines</u>	4
2 <u>Programmes de mesures (signatures)</u>	4
2.1 <u>Quarkonia</u>	4
2.1.1 <u>Nombre de quarkonia au RHIC et au LHC</u>	5
2.1.1.1 <u>RHIC</u>	5
2.1.1.2 <u>RHIC</u>	6
2.1.1.2.1 <u>Les quarkonia à ALICE</u>	6
2.1.1.2.2 <u>Les quarkonia à CMS</u>	7
2.1.2 <u>Etude des quarkonia</u>	8
2.1.2.1 <u>J/ψ à PHENIX</u>	9
2.1.2.2 <u>J/ψ sur ALICE-dimuon</u>	9
2.1.2.3 <u>La famille du Y dans ALICE-dimuon</u>	9
2.1.2.4 <u>La famille du Y dans CMS</u>	10
2.1.3 <u>Investissement expérimental</u>	10
2.1.3.1 <u>PHENIX</u>	10
2.1.3.2 <u>Le bras dimuon d'ALICE</u>	10
2.2 <u>Etrangeté</u>	13
2.2.1 <u>Introduction</u>	13
2.2.2 <u>Composition chimique</u>	13
2.2.3 <u>Dynamique d'expansion et mécanismes de hadronisation</u>	15
2.2.3 <u>Processus durs: effets de jet-quenching</u>	16
2.2.4 <u>Matière exotique: dibaryons étranges</u>	17
2.2.5 <u>Bilan du RHIC et nouvelles possibilités au LHC</u>	17
2.3 <u>Photons – jets</u>	20
2.4 <u>Interférométrie</u>	20
2.5 <u>Haute densité baryonique programme français avec CBM</u>	20
3. <u>Implication de la communauté française</u>	26
3.1. <u>Répartition des physiciens de la communauté Ions Lourds par laboratoire et par expérience</u> :	26
3.2 <u>Les moyens nécessaires pour le programme explicité dans la partie 2</u>	29
4. <u>Conclusion/discussion</u>	29
4.1 <u>La physique que nous pourrions couvrir</u>	29

Executive summary 2-3 pages

Introduction à la structure du document, rappel des hypothèses ou mode de travail (sélection des sujets, sources des études).

Faut il une brève introduction historique sur la physique des ions lourds relativistes (les machines, le domaine du diagramme des phases exploré, les conclusions) ?

Synthèse de la prospective scientifique sur les différents thèmes.

Conclusions de la partie discussion qui doit mettre en avant les points à présenter lors des journées de la Colle sur Loup, en particulier notre proposition actuelle de 3 présentations (2 juin):

Présentation générale de la physique du plasma de quarks et de gluons

Comment répondre à la question de la découverte du QGP aujourd'hui ?

Que signifie étudier le QGP ?

Quelles nouvelles questions avons-nous soulevé (ex CGC) ?

Il s'agira d'introduire sur la base d'une sorte de bilan notre implication dans les programmes expérimentaux et théoriques visant à répondre à ces questions.

Présentation des thèmes abordés par notre communauté

Dans le détail, faire une revue de ce que nous faisons et ferons au RHIC avant LHC et au LHC dans les premières années. Il s'agit ici de discuter des performances de nos (=in2p3/Dapnia) analyses expérimentales à venir et de les comparer aux travaux théoriques.

Discussion scientifique et logistique sur les études prospectives

En dehors d'ALICE quelles études sont possibles : pourquoi, comment, à quel coût ?

--> CMS

--> RHIC après 2008

--> CBM

--> Alice après ALICE (?)

1. Physique du plasma de quarks et de gluons et collisionneurs d'ions lourds relativistes

1.1 Motivations générales

- _ étude du vide de QCD
- _ Déconfinement
- _ Origine de la masse des quarks légers (Higgs \ll condensat $q\bar{q}$)
- _ QCD à température finie
- _ Propriété de la matière nucléaire (EOS, phases, transitions)
- _ Mécanisme de hadronisation

1.2 . Collisions d'ions lourds relativistes

- Discussion sur la description des différents instants de la collision
- (initial, QGP, hadronisation, découplages)
- Phénomènes perturbatifs et non-perturbatifs

- Quels sont les paramètres physiques importants (T, densité de g,...)

1.3 Les machines

- scénarii des prises de données (faisceau, lumi)
- RHIC 2004-2008 updates 2008-... (eRHIC ?)
- LHC 2008-...
- SIS300

2 Programmes de mesures (signatures)

Pour chaque thème ci-dessous, il faudrait inclure une discussion s'il y a lieu sur :

- _ l'intérêt de la mesure par rapport à la partie 1
- _ la situation actuelle à RHIC (<2040)
- _ ce qui sera fait encore à RHIC (2004-2008)
- _ ce que LHC apporte/change/répète (2008-)
- _ comparaison ALICE-CMS
- _ et préciser l'investissement instrumental

2.1 Quarkonia

Les résonances lourdes telles que le J/ψ ou le Υ sont créées très tôt après la collision en un temps (~ 1 fm/c) proche de celui de formation d'un éventuel plasma de quarks et de gluons. Elles constituent donc une bonne sonde de ce plasma, d'autant plus que l'on s'attend à ce que celui-ci modifie les taux de production de ces résonances, comme l'ont suggéré, il y a déjà 18 ans, T. Matsui et H. Satz [1]. Cette modification fait intervenir le mécanisme de Debye dans lequel le potentiel entre la paire de quarks lourds est écranté par les charges de couleurs des nombreux quarks légers environnant, empêchant la paire de rester liée. On s'attend donc à une suppression du taux de production des résonances lourdes. Ces résonances se désintègrent ensuite en une paire de dileptons, eux-mêmes très peu affectés par le milieu.

Les résonances des familles du J/ψ et du Υ ayant des potentiels de liaison différents, vont être affectées différemment en fonction de la température ou/et de la densité d'énergie atteinte par le système ; cela conduit à un scénario de suppression des résonances en fonction de ces paramètres.

Au SPS du CERN, l'expérience NA50 [2] a observé une suppression anormale du nombre de J/ψ en collision Pb-Pb centrales et a montré également l'importance des études en collisions p-p et p-A afin de déduire l'absorption nucléaire classique de type Glauber. Le processus de Drell-Yan, non perturbé par le plasma, a été utilisé comme référence pour normaliser la production de charmonia. Il faut cependant noter que la statistique atteinte dans le processus Drell-Yan est plus faible que celle du charmonia et donc domine l'erreur statistique sur le rapport. Une approche alternative, appelée méthode de « biais-minimum » [3,4 : NA50, J. Gosset] compare, pour chaque intervalle de centralité, le nombre de J/ψ mesuré dans l'acceptance au nombre d'événements inclusifs représentant la probabilité que la collision se déroule à cette centralité. Cette méthode ne limite plus la statistique qu'à celle du J/ψ mais demande une bonne connaissance de l'acceptance et un bon contrôle de l'efficacité en fonction de la centralité.

Alors qu'au SPS, seuls les états liés $c\bar{c}$ étaient expérimentalement accessibles, les énergies du RHIC à Brookhaven et du LHC au CERN rendent en

principe possible les mesures des états liés $b\bar{b}$. En effet, l'augmentation des processus durs aux énergies du RHIC et du LHC se traduit notamment par une augmentation importante de la section efficace de production des saveurs lourdes. La fraction des particules produites par les processus durs est respectivement de 2, 50 et 98 % au SPS, au RHIC et au LHC. D'autre part, l'augmentation de l'énergie des faisceaux conduit à une absorption nucléaire moindre dans la voie finale (paire de quarks lourds) mais aussi vers des régions en x Bjorken petits où les effets de shadowing dans la voie initiale deviennent important à considérer. Les processus de création de paires de quarks lourds étant dominés, aux énergies du RHIC et du LHC, par la fusion de gluons, c'est la modification de la fonction de structure de ces gluons dans le milieu nucléaire (shadowing) qui doit être prise en compte. Les données prises en d-Au par l'expérience PHENIX au RHIC semblent confirmer cette diminution de l'absorption nucléaire et le rôle du shadowing.

Au LHC, la production de charmonia devrait différer de manière importante par rapport au RHIC et au SPS. En effet, avec un grand nombre de paires $c\bar{c}$ produites par collision, de l'ordre de la centaine, une importante production secondaire est attendue en plus de la production directe par processus durs. Cette production secondaire peut provenir de la phase plasma (recombinaison cinétique) ou de la phase hadronique (hadronisation statistique, désintégration des mésons B, annihilation $D\bar{D}$). D'autres mécanismes que l'écrantage de couleur peuvent donc révéler la formation d'un plasma, à condition de pouvoir séparer les différentes sources par des études systématiques appliquées aux charmonia et saveurs lourdes ouvertes.

En ce qui concerne le $Y(1S)$, sa dissolution par écrantage de couleur est prédite pour des températures que seul devrait atteindre le LHC.

Nous voyons donc que les mécanismes de production des quarkonia et du continuum diffèrent en fonction de l'énergie acquise par le système, montrant la complémentarité et la continuité des programmes auprès du SPS, du RHIC et du LHC.

Nous allons dans les paragraphes suivants présenter la statistique mesurée ou attendue auprès du RHIC et du LHC, ainsi que certains points d'étude à mener afin de mieux cerner un éventuel plasma de quark et de gluons.

2.1.1 Nombre de quarkonia au RHIC et au LHC

2.1.1.1 RHIC

Parmi les quatre expériences tournées vers la physique du plasma à Brookhaven, PHENIX est la seule dédiée à l'étude des résonances lourdes dans leurs voies de désintégration en paires de muons. La résonance J/ψ est mesurée dans les deux spectromètres à muons pour des impulsions de muon $p > 2\text{GeV}/c$ et à une pseudo-rapacité $1.2 < \eta < 2.4$. PHENIX peut aussi détecter les charmonia dans leur désintégration en di-électron dans le spectromètre central pour des impulsions $p > 0.2\text{ GeV}/c$, à une pseudo-rapacité $|\eta| < 0.35$.

Les données acquises par l'expérience PHENIX lors des campagnes d-AU et p-p (2002-2003) représentent 2000 J/ψ détectés en deux muons et en deux électrons.

La faible luminosité des précédentes campagnes de prise de données Au-Au (2000-2001-2002) ainsi que l'absence du spectromètre à muons nord, n'a pu permettre une étude de la production du J/ψ dans la matière dense. Les prises de données 2004, achevées en mars, en Au-Au à $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV ont largement atteint la luminosité attendue avec une luminosité intégrée réelle de $240 \mu\text{b}^{-1}$. Le nombre de J/ψ attendu est de 3000 dans le bras nord [5 :beam use Proposal] et l'ensemble représenterait alors environ 5500 J/ψ en dimuon, autorisant la première étude importante du J/ψ dans le milieu dense au RHIC. L'analyse de ces données est très attendue et permettra de dégager les meilleures méthodes pour identifier et interpréter le comportement du J/ψ .

Les données suivantes en Au-Au à $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV et à haute luminosité seront prises en 2008, avec un nombre de J/ψ attendus en muons dans le bras nord de 20000 [5 beam use prop] et donc un nombre total de l'ordre de 35000 en cumulant les deux bras.

Le nombre d'upsilon correspondant ne serait que de quelques centaines, insuffisant pour une étude réelle.

Dans une période plus lointaine ($\sim 2011-2013$?), une amélioration des performances est prévue dans la phase RHIC II : un facteur 40 sur la production de J/ψ est attendue par rapport à 2008.

2.1.1.2 RHIC

Les prises de données au LHC doivent débuter en 2007 mais les collisions Pb-Pb à haute luminosité ne sont attendues que dans les années 2009-2010.

Deux expériences explorent le domaine des résonances lourdes au LHC : l'une, ALICE, est dédiée à l'étude du plasma de quarks et de gluons, avec une forte contribution française dans la construction du bras dimuon et sa physique associée, celle des quarkonia ; l'autre, CMS, avant tout dédiée à la physique du modèle standard, possède un excellent détecteur pour la physique des grands p_T , jets et quarkonia, avec cependant une présence française trop réduite dans la communauté « ion lourd ».

2.1.1.2.1 Les quarkonia à ALICE

Le spectromètre à muons d'ALICE couvre une région en pseudo-rapacité $2.5 < \eta < 4$, pour laquelle les J/ψ et Y peuvent être étudiés jusqu'à des $p_T = 0$. On notera un bon rapport signal/bruit et une bonne signification pour la famille des upsilon ainsi que la possibilité de corrélérer ces signaux avec ceux mesurés dans le détecteur central ($|\eta| < 0.9$).

Le tableau ci-dessous donne le nombre de quarkonia attendus dans le bras dimuon, en collision Pb-Pb à $\sqrt{s_{NN}} = 5.5$ TeV. La luminosité est de $5 \cdot 10^{26} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, le temps effectif de prise de données de 10^6 s (1 mois avec une efficacité machine de 40 %) avec un nombre total de collisions de $4 \cdot 10^9$ et le nombre de particules chargées par unité de rapidité $dN_{ch}/d\eta = 12000$ (6000 avec un facteur 2 de sécurité) à $\eta = 0$. Les chiffres résultent d'une simulation détaillée tenant compte de l'acceptance géométrique, des efficacités des chambres de trajectographie, du système de déclenchement et de reconstruction des traces, avec une coupure à 2_+ en masse invariante. La correction de shadowing est prise à 78% ; aucune suppression anormale

n'est incluse [reference ?]

	b (fm)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-16	biais min.
	ϵ (GeV/fm³)	32	30	28	16	5	
J/ ₋	S (x10³)	86.48	184.6	153.3	67.68	10.46	502.4
	S/B	0.167	0.214	0.425	1.237	6.243	0.28
	S/√S+B	111.3	180.4	213.8	193.4	94.95	331.5
Υ ₋	S (x10³)	1.989	4.229	3.547	1.565	0.24	11.57
	S/B	0.009	0.011	0.021	0.063	0.273	0.015
	S/√S+B	4.185	6.902	8.6094	9.641	7.171	12.95
Υ	S (x10³)	1.11	2.376	1.974	0.83	0.118	6.408
	S/B	2.084	2.732	4.31	7.977	12.01	3.246
	S/√S+B	27.39	41.71	40.03	27.16	10.42	70.
Υ'	S (x10³)	0.305	0.653	0.547	0.229	0.032	1.766
	S/B	0.807	1.043	1.661	2.871	4.319	1.243
	S/√S+B	11.68	18.26	18.48	13.02	5.077	31.28
Υ''	S (x10³)	0.175	0.376	0.312	0.13	0.019	1.012
	S/B	0.566	0.722	1.18	1.936	3.024	0.867
	S/√S+B	7.951	12.55	13.	9.274	3.73	21.67

Il est à retenir que 500 000 J/_{-} sont attendus (230 000 avec une coupure en masse a 1_{-}), que la production totale d'upsilon est de 6400 Υ, 1800 Υ' et 1000 Υ''. Cela équivaut pour les 10% de collisions les plus centrales (~ 40% de la production totale) à 2600 Υ et 900 Υ'. Parmi les 6400 Υ, environ 2400 sont produits directement, 3000 proviennent de la désintégration du χ_b(1P), 600 du χ_b(2P), 400 du Υ'.

2.1.1.2.2 Les quarkonia à CMS

La mesure de paires de muons de 3 GeV/c² jusqu'à 100 GeV/c² constitue avec les jets, le point fort du programme Ions Lourds de CMS. Le détecteur est centré sur η=0 où devrait se développer le plasma caractérisé par un nombre baryonique nul et les mesures de corrélations entre les sous-détecteurs seront faites dans la même zone de pseudo-rapacité. La très bonne résolution en masse de 50 MeV/c² est largement suffisante pour séparer les différents états de la famille du Υ. L'acceptance est par contre réduite pour les J/_{-} aux grandes valeurs de p_T puisque, du fait du fort champ magnétique (4 T), seuls les muons ayant un p_T > GeV/c atteignent les chambres à muons du tonneau.

Considérant les mêmes luminosité et temps de prise de données que dans le paragraphe concernant ALICE, 16500 Υ sont attendus dans les 5% des collisions les plus centrales en Pb-Pb. Le tonneau seul en détecterait 7500. Ces chiffres tiennent compte d'un nombre de particules chargées par unité de rapidité dN_{ch}/dη = 5000 à η=0 et d'effet de shadowing.

Il est à noter que ces comparaisons sont surtout qualitatives ; en effet les simulations sont plus avancées et plus détaillées à ALICE. Le programme de physique de CMS avec des faisceaux d'ions lourds et les performances du détecteur seront décrits en détail dans le futur TDR de physique de la Collaboration qui doit être édité à la fin 2005.

Les deux expériences contribueront d'une manière importante à la compréhension du comportement des quarkonia dans la matière dense, mesurant indépendamment les mêmes observables (RHIC a montré l'importance de telles mesures conjointes), dans des régions de rapidité différentes. Les deux expériences présenteront ensemble une couverture complète en rapidité.

2.1.2 Etude des quarkonia

Quelles que soient les expériences, nous retrouverons les mêmes méthodes et types d'étude à la fois pour extraire les quarkonia du fond et pour les étudier en fonction de divers paramètres.

Le nombre de quarkonia peut être obtenu à partir d'un ajustement global du signal et du fond total ; il peut l'être aussi à partir d'un ajustement après soustraction du fond non-corrélé (l'erreur statistique sur le signal est alors entachée par cette soustraction). La méthode de soustraction du fond non-corrélé utilisant les paires de mêmes signes, appliquée au SPS, est plus discutable au LHC où le fond combinatoire contient une fraction importante de leptons de la désintégration de mésons B et où les paires $B\bar{B}$ produisent non seulement des paires corrélées de signes opposés mais aussi de mêmes signes. En conséquence, la méthode de soustraction de paires de mêmes signes retire du spectre en masse invariante $_{-}^{+}_{-}$ non seulement la composante non-corrélée mais aussi une partie du signal corrélé. La méthode de mélange d'évènements n'est pas affectée par cet effet.

Une fois le signal obtenu il devra être étudié en fonction de la centralité (afin d'identifier le schéma de suppression/augmentation), de la taille du système (afin de séparer la suppression normale et anormale), du p_T (afin de distinguer des modèles de PQG) etc. et aussi en liaison avec d'autres signaux.

Différents mécanismes peuvent en effet masquer ou simuler les effets propres au plasma sur les résonances lourdes :

- l'absorption nucléaire devrait décroître lorsque l'énergie des faisceaux augmente (le temps de collision ou de traversée des noyaux des faisceaux , est plus court.)
- le shadowing : cette modification de la fonction de structure du gluon dans la matière nucléaire entraîne une suppression des quarks lourds produits par fusion de gluons. Cette suppression est plus importante pour des petites valeurs de x Bjorken atteintes lorsque l'énergie augmente.
- la coalescence : la recombinaison statistique des quarks lourds pour former des quarkonia lorsque le nombre de quarks lourds par collision est important. Elle se fait en présence de plasma mais une recombinaison peut se produire pendant la phase hadronique.
- la perte d'énergie : les quarks lourds créés peuvent perdre de l'énergie en présence de plasma entraînant une modification du spectre en masse (les résonances pourraient être moins affectées que le charme et l a b e a u t é ouverte)

Nous reprenons dans les paragraphes suivant quelques points selon les expériences.

2.1.2.1 J/ψ à PHENIX

- On attend environ 10 paires de $c\bar{c}$ par collision : le processus de coalescence devrait rester faible.
- Comment étudier le shadowing ?

- le charme ouvert :

Le charme ouvert faisant intervenir les mêmes processus de fusion de gluons pour créer les c et \bar{c} , est soumis aux mêmes effets de shadowing que le J/ψ . C'est l'effet dominant puisque le charme ouvert n'est pas affecté par l'absorption nucléaire. En considérant l'ensemble du spectre, la statistique est importante. Il est par ailleurs, après soustraction du fond non corrélé, la composante principale du continuum sous le J/ψ et pourrait être extrait statistiquement. Il ne sera probablement pas étiqueté en muons (pour le run 2008) mais pourrait l'être en électrons par un détecteur de vertex dans la partie centrale ? ; le domaine en x Bjorken serait alors différent mais pourrait peut-être suffire pour contraindre les modèles de shadowing.

- En absence d'absorption nucléaire, le J/ψ lui-même pourrait être étudié en fonction de x Bjorken mais avec une statistique bien moindre.

- Existe-t'il un processus de référence ?

Une comparaison J/ψ , $D\bar{D}$ corrélé élimine le shadowing mais peut-être affectée différemment par une éventuelle perte d'énergie des quarks lourds dans le plasma. Dans tous les cas les erreurs statistiques seraient importantes sur le rapport, dues à la faible statistique en $D\bar{D}$ corrélé sous le J/ψ .

• La comparaison entre résonances d'une même famille n'est ici pas possible puisque les ψ' ne seront plus présents.

2.1.2.2 J/ψ sur ALICE-dimuon

Nous retrouvons les points précédents à la différence que le continuum est ici principalement du $B\bar{B}$ corrélé (après soustraction du non-corrélé) dans le bras dimuon et donc les effets de shadowing ne sont pas les mêmes que pour le J/ψ . De plus, avec plus de 100 paires $c\bar{c}$ par collision, l'effet de recombinaison sera important.

La signature du QGP n'est donc plus seulement un écrantage de couleur conduisant à une suppression de la production du J/ψ mais d'autres effets peuvent même conduire au contraire à une augmentation. Il faut cependant séparer parmi ces effets ceux venant du plasma et ceux venant de la phase hadronique.

2.1.2.3 La famille du Υ dans ALICE-dimuon

Avec environ 5 paires $b\bar{b}$ par collision, nous retrouvons le même type d'étude que pour le J/ψ à PHENIX.

Le $B\bar{B}$ corrélé domine le continuum sous le Υ (après soustraction du fond non-corrélé) ; comme à PHENIX, il n'y a pas d'étiquetage des B dans le bras dimuon mais celui en électrons est possible dans le détecteur central.

La différence importante est que le Υ' ne devrait pas être complètement

supprimé, rendant possible une étude du rapport Y/Y' en fonction de la centralité et du p_T .

2.1.2.4 La famille du Υ dans CMS

Comme déjà mentionné, le continuum est totalement dominé par le fond non-corrélé. La mesure du Z^0 en dimuon, environ 10000 attendus par mois de prise de données en plomb, sera utilisée comme référence puisqu'elle ne devrait pas dépendre de la centralité; le domaine cinématique est cependant très différent de celui du Υ et le mécanisme de production également ; produit par annihilation quark-antiquark les effets de shadowing seront différents.

2.1.3 Investissement expérimental

2.1.3.1 PHENIX

Les deux spectromètres à muons appelés « bras sud » et « bras nord » comportent chacun un aimant équipé d'un trajectographe composé de 3 stations de chambres à cathodes à pistes et un identificateur de muons formé de plan de détecteur intercalés entre des murs de fer.

Le LLR et le Dapnia-Saclay ont pris en charge la réalisation de l'électronique de lecture des chambres à pistes du spectromètre nord, avec une implication importante des groupes électronique et informatique du LLR quant à la préparation et suivi de la production ainsi que la mise au point d'un nouveau banc de test. La réparation du bras sud, l'installation du bras nord et le démarrage à l'automne 2002, coordonnés par le LLR, ont également fait appel à la participation importante des physiciens et thésards des groupes de Clermont, Orsay et Saclay.

La maintenance de l'électronique est prévue jusqu'à la fin du MoU (fin 2006) ????.

2.1.3.2 Le bras dimuon d'ALICE

Le spectromètre dimuon consiste en :

- un absorbeur frontal
- 10 chambres de trajectographie de haute granularité
- un aimant dipolaire de grande acceptance
- un filtre à muons
- 4 chambres de déclenchement
- un blindage du tube faisceau
- un système de contrôle de l'alignement des chambres de trajectographie
- le détecteur V0, un système de déclenchement de niveau zero et de réjection des interactions faisceau-gaz

15 instituts de 6 pays différents sont impliqués dans le bras dimuon dont 5 laboratoires français (LPC Clermont, IPN Lyon, SUBATECH Nantes, IPN Orsay, DAPNIA/SPhN Saclay) représentant environ 25 physiciens permanents.

Les laboratoires français ont une forte contribution dans la conception et construction des chambres de trajectographie, dans la prise en charge de l'électronique des chambres RPC du système de déclenchement, dans le système de contrôle de l'alignement des chambres de trajectographie ainsi que dans le détecteur V0.

Les services techniques et de nombreux physiciens contribuent à la phase de construction, qui a démarré, et à celle d'assemblage et d'installation au CERN pendant les années 2005-2006. La période du commissioning en 2006-2007 sera principalement assurée par les physiciens avant les premiers faisceaux prévus courant 2007.

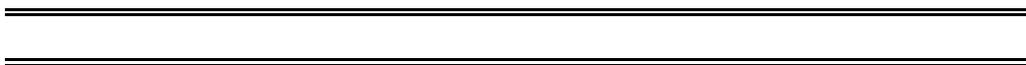
En conclusion, les quarkonia ont été et demeurent une sonde clé de la physique du plasma de quarks et gluons ; de la même façon que le J/ψ a joué un rôle fondamental au SPS et le fera également au RHIC en complément de la physique à grands p_T , la famille du bottomonium deviendra au LHC une sonde cruciale, jamais utilisée auparavant.

Il est naturel que la communauté ait ses perspectives largement tournées vers le futur de la discipline que constitue le LHC.

Il est néanmoins important que la contribution française à l'analyse des dernières données de PHENIX en collision Au-Au demeure suffisante pour la mener pleinement à son terme. Outre l'importance du résultat, très attendu, l'expérience acquise sera bénéfique aux futures analyses au LHC.

Afin de maintenir la contribution française dans la construction des détecteurs et surtout la développer pour les phases de commissioning, de prises de données et d'analyse, des embauches de physiciens permanents doivent être réalisées à court terme. En particulier pour l'immédiat, la préparation des logiciels qui seront utilisés pour ces différentes phases manque d'effectifs. Le remplacement des départs en retraite est de plus nécessaire, principalement à l'horizon du démarrage du LHC. Ces points seront repris et développés dans une section spéciale consacrée aux moyens humains.

Références :



Remarques : Moyens humains

Je ne sais pas si un tel paragraphe doit être inséré dans la partie

quarkonia ou dans une partie plus générale (de toute façon un résumé des moyens humains doit être présenté dans une partie plus générale) mais il me semble qu'il faut commencer à l'intérieur du « groupe » quarkonia (comme dans les autres groupes) à parler des moyens humains, à partir des informations de chaque laboratoire.

Il me semble qu'il faut parler :

- **du passage RHIC – LHC**
- **pour le court terme à ALICE**
 - **rappeler que beaucoup de physiciens sont pris par la phase de construction, installation...**
 - **renforcer maintenant le développement du code : passer du code de simulation au code d'analyse ; code de commissioning**
..

- **renouvellement des forces a moyen et plus long terme : departs en retraite...**
- **forces supplémentaires ? où ? ...**

2.2 Etrangeté

2.2.1 Introduction

Parmi les observables pertinentes pour caractériser le Plasma de Quarks et de Gluons (PQG), la production d'étrangeté, en particulier celle de baryons et d'anti-baryons multi-étranges, tient une place privilégiée, à la fois dans le secteur des processus "mous" ($p_T < 2 \text{ GeV}/c$) où elle permet de sonder les conditions globales de freeze-out chimique et cinétique et dans le domaine des processus durs, où il est essentiel de pouvoir mesurer les moments transverses les plus élevés possibles.

La mesure des hypérons permet d'apporter une information substantielle sur la composition chimique et la dynamique des systèmes formés lors des collisions. Elle s'inscrit dans l'analyse des abondances relatives et des distributions en moment transverse des produits de la réaction, qui permet de sonder le degré de thermalisation et les effets collectifs (flow transverse, flow elliptique) auxquels est soumis le système dans son état final, avec l'objectif d'en tirer indirectement des renseignements sur sa nature initiale: hadronique ou partonique. D'autre part, la production d'hypérons pourrait également servir de sonde directe du milieu car suivant certaines prédictions théoriques, la création de paires quark-antiquark étranges (s anti-s) et la formation subséquente de baryons et d'anti-baryons étranges devraient être plus abondante dans un PQG que dans un milieu hadronique. Ces études menées jusqu'à présent au SPS et au RHIC devront être conduites également en priorité au LHC de manière à déterminer comment l'image globale de la collision évolue avec ce saut important en énergie (des exemples seront donnés en 1 et 2).

Parallèlement au "bulk" de hadrons de bas p_T , si l'énergie de la collision est suffisamment élevée, des particules de haut p_T sont produites, résultant de processus durs entre partons au tout début de la réaction. Au RHIC, l'apparition de ces processus durs a ouvert la voie à de nouvelles sondes du PQG, en particulier les effets de jet-quenching (voir 3). Au LHC, l'influence de ces processus durs devrait être encore bien plus grande, si ce n'est dominante, offrant ainsi beaucoup de nouvelles possibilités d'analyse (voir 5) dans lesquelles les hadrons étranges de haut p_T joueront un rôle primordial.

Notre programme de Physique attrait à l'ensemble de ces aspects et comporte également un élément plus exotique (voir 4) relatif à la possible existence, sous forme métastable, de nouvelles formes de matière étrange: les dibaryons étranges, en particulier le H-dibaryon (état lié de six quarks uuddss) et le $\Xi^0 p$ (état lié de 2 baryons). L'objectif est de mettre en évidence l'existence de ces hypothétiques agrégats étranges au RHIC et au LHC.

2.2.2 Composition chimique

Au RHIC comme au SPS, l'analyse de la composition chimique des systèmes formés, au moyen de modèles statistiques qui font l'hypothèse d'un équilibre thermique et

chimique, permet de reproduire les abondances relatives des divers types de particules produites, au moyen de deux paramètres principaux: la température et le potentiel chimique baryonique.

L'excellent accord entre ces modèles et les données (dont un grand nombre de rapports incluant des particules étranges) suggère qu'un degré élevé d'équilibration chimique est atteint et que la formation d'un PQG pourrait être le moteur conduisant à cet équilibre. Déjà au SPS et plus particulièrement au RHIC, les abondances relatives de particules conduisent à des températures de freeze-out chimique (autour de 170-175 MeV) très proches de la transition de phases prédite par les calculs QCD sur réseau. Cela suggère que le système était, au préalable, au dessus de cette limite et que les hadrons observés se sont formés à partir d'une phase de partons déconfinés. L'argument selon lequel une équilibration chimique après hadronisation est improbable vu la faible durée de vie du gaz de hadrons amène à conclure que les hadrons sont « nés en équilibre ». Même si ces approches sont quelque peu controversées quant à leur interprétation, elles ont permis de construire une image statistique unifiée, de SIS jusqu'au RHIC, en passant par l'AGS et le SPS, ce qui provoque la question: Qu'en sera-t-il au LHC ?

Si la production de particules au LHC est caractérisée par la même systématique que celle observée au SPS et au RHIC, alors les taux de production suivront des ordres statistiques donnés par les valeurs de la température (T) et du potentiel chimique baryonique (μ_B), avec une température de freeze-out chimique qui devrait être très proche de celle du RHIC. Cependant, des déviations par rapport à ces prédictions seraient très intéressantes car elles pourraient mettre en évidence l'importance des processus durs.

Une autre question cruciale concerne l'évolution du facteur de Wroblevski (λ_s). Suivant les prédictions des modèles statistiques, cette quantité, définie comme le rapport entre les paires quark-antiquark étranges et les paires quark-antiquarks légers (u,d) nouvellement créés, devrait aussi être quasiment constante entre le RHIC et le LHC, en raison de la faible variation attendue de la température au freeze-out chimique. Mais suivant d'autres prédictions, impliquant des scénarios hors équilibre et la possibilité d'avoir une "sur-saturation" de l'étrangeté, une très haute température initiale dans la phase PQG devrait provoquer un fort accroissement de la production d'étrangeté et conduire à une augmentation de λ_s .

C'est pourquoi il sera primordial de mesurer cette quantité au LHC. Ces scénarios s'inscrivent dans la continuation de prédictions théoriques plus anciennes qui montrèrent que l'accroissement de l'étrangeté pouvait être considéré comme une signature robuste du PQG. Suivant ces prédictions, la production relative de Λ , Ξ , Ω devrait être très différente dans un PQG et dans un Gaz Hadronique. L'idée de base est la suivante: plus le baryon est chargé en étrangeté, plus il est difficile de le créer dans un système hadronique, du moins dans un gaz hadronique à l'équilibre en raison ou bien de la masse élevée du quark s (pour les réactions de production directes) ou du temps de formation trop important (dans le cas d'une production en plusieurs étapes d'un Ω par exemple). En revanche à partir d'un PQG initial, la création des baryons étranges même les plus lourds devrait être beaucoup plus conséquente. En effet, la fusion de gluons en paires s anti-s qui permet une rapide équilibration chimique de

l'étrangeté, combinée à une diminution de la masse effective du quark étrange si la symétrie chirale est partiellement restaurée, favorise fortement la production d'étrangeté.

La démarche expérimentale consiste donc pour l'essentiel à comparer les rapports d'hypérons (Ω/Ξ , Ξ/Λ ...) produits dans un système hadronique p+p ou proton-noyau, i.e., où l'on est sûr que la densité d'énergie (ϵ) n'a pas dépassé le seuil critique (ϵ_c) de formation d'un PQG, avec ces mêmes rapports issus d'une collision noyau-noyau où l'on espère avoir dépassé ϵ_c , c'est-à-dire avoir formé un PQG. Si l'on forme un PQG, on s'attend donc à voir une augmentation "hiérarchisée" de l'étrangeté par rapport à un système hadronique. En d'autres termes, les rapports Ω/Ξ et Ξ/Λ normalisés à leur valeur mesurée dans un système hadronique devraient aller en croissant.

Un tel comportement a été effectivement observé au SPS puis au RHIC mais son interprétation n'est pas sans ambiguïté car il a été montré par la suite que cet effet pouvait être qualitativement reproduit par des calculs statistiques dans le cadre d'un modèle de gaz de hadrons, à condition d'utiliser l'ensemble canonique. Cet ensemble statistique représente le traitement correct des productions rares. Ceci est le cas des hypérons dans les collisions pp et p-Noyau. Dans cette formulation canonique, la conservation exacte des nombres quantiques, événement par événement, réduit fortement l'espace de phases disponible pour la production de particules, comparé à l'ensemble grand canonique. Ceci pourrait constituer l'essence même de la suppression d'étrangeté observée dans pp et p-Noyau par rapport à Noyau-Noyau.

Selon les prédictions du modèle statistique dans cette formulation canonique, cet effet devrait s'atténuer lorsque l'énergie des collisions augmente. Ceci est effectivement le cas si l'on compare les données du RHIC et celles du SPS. Dans ce contexte, il sera très important de confirmer/infirmier cette tendance à l'énergie du LHC.

2.2.3 Dynamique d'expansion et mécanismes de hadronisation

Les particules étranges jouent également un rôle essentiel dans l'étude de la dynamique d'expansion du système et dans la compréhension des mécanismes de hadronisation. Les spectres en masse transverse mesurés au RHIC dans les collisions centrales indiquent que les baryons multi-étranges Ξ semblent se démarquer de toutes les autres particules en ce qui concerne le comportement au freeze-out thermique. L'interprétation (fit) de ces distributions au moyen de modèles de type blast-wave (inspirés de l'hydrodynamique) montre en effet que la température de découplage cinétique des Ξ est plus élevée et se rapproche de la température de freeze-out chimique. Ceci pourrait signifier que les Ξ se découplent plus bientôt du système en raison de leur faible section efficace d'interaction avec le milieu environnant. Mais en même temps, ces particules sont soumises à un flow transverse important, ce qui suggère que ce mouvement collectif s'est développé, au moins partiellement dans une phase pré-hadronique.

La nature partonique de ce flow pourrait être actuellement corroborée par la mesure du flow elliptique de ces particules dans les collisions semi-centrales.

De nombreux résultats montrent que l'amplitude du flow elliptique des hadrons

augmente fortement lorsque l'on passe de l'énergie de l'AGS à celles du SPS et du RHIC où elle atteint les valeurs prédites par l'hydrodynamique. Ceci suggère qu'une thermalisation quasi complète a lieu très rapidement. Cette conclusion se fonde sur l'argument intuitif selon lequel la limite hydrodynamique, limite où les ré-interactions se produisent infiniment vite (conduisant donc à un équilibre thermique local instantané), produit les effets de flow elliptique les plus marqués et que les données semblent saturer cette limite. Ces preuves de forte pression et de thermalisation très rapide sont considérées comme de fortes évidences de la formation d'un PQG.

Dans ce contexte, la mesure systématique du flow elliptique des particules étranges et multi-étranges présente un intérêt supplémentaire car, du fait de leur faible section efficace d'interaction, elles pourraient révéler directement la présence de flow partonique.

En effet, dans l'éventuelle phase partonique précédant la phase hadronique, les sections efficaces de réaction des hadrons n'ont aucune influence. Donc, si le flow elliptique des différentes espèces de hadrons mesurés s'avère être indépendant de leurs sections efficaces, cela pourrait signifier que ce flow elliptique s'est construit durant la phase partonique.

Les résultats actuels du RHIC vont dans ce sens puisqu'ils montrent que les Ξ et les Ω sont effectivement soumis à un flow elliptique important, comparable à celui des hadrons plus légers. Au LHC, on prévoit que le flow elliptique devrait saturer dans la phase PQG, ce qui signifie que ce type d'effets devrait y être plus clairement interprétable.

Il a également été montré récemment au RHIC que les différences observées entre mésons K^0 s et baryons Λ au niveau du flow elliptique et au niveau des taux de production (rapport baryon/méson > 1), à p_T intermédiaire, pouvaient s'expliquer remarquablement bien dans le cadre d'un scénario où la production de hadrons est dominée par des mécanismes de coalescence de quarks. Ceci constitue donc une indication supplémentaire de la présence de degrés de liberté partoniques.

2.2.3 Processus durs: effets de jet-quenching

Une suppression très nette des hadrons de haut p_T a été observée dans les collisions centrales Au+Au au RHIC. En revanche, aucune suppression n'a été relevée dans le système de référence hadronique d-Au. Ceci a conduit à la conclusion que cette suppression n'est pas compatible avec des effets "hadroniques" dans l'état initial mais qu'elle est due à des effets dans l'état final, en l'occurrence une perte d'énergie des partons dans un milieu dense en gluons. Mis à part ce résultat inclusif très important puisqu'il suggère fortement la création d'un PQG, il est également enrichissant de mesurer ces effets de suppression pour différents types de hadrons (en différenciant mésons et baryons) et cela est possible pour les particules étranges car elles sont identifiées par leur topologie de désintégration jusqu'à des moments transverses très élevés, bien au-delà des limites que l'on obtient avec les procédures qui se fondent sur la perte d'énergie (dans du silicium ou dans un gaz) ou le temps de vol. Il a été montré que la suppression des K^0 s commençait à plus faible p_T que celle des Λ et que pour chaque espèce, ce seuil de suppression correspondait remarquablement bien au début de la saturation du flow elliptique. Ces comportements et cette corrélation sont probablement le résultat d'une imbrication complexe entre deux mécanismes de

hadronisation: la coalescence de quarks à p_T intermédiaire et la fragmentation de partons à haut p_T .

Le LHC permettra d'étudier ces phénomènes jusqu'à des p_T plus élevés qu'au RHIC et avec une meilleure statistique à p_T intermédiaire.

2.2.4 Matière exotique: dibaryons étranges

Selon de nombreuses prédictions, un état lié de six quarks (uuddss) pourrait exister en raison du caractère attractif des forces de couleurs magnétiques qui permettrait à l'état fondamental de cette configuration de se situer en dessous du seuil de désintégration par interaction forte ($M_{\Lambda\Lambda} = 2231$ MeV). Cet objet doublement étrange et possédant une hypercharge nulle est appelé H-dibaryon ou H^0 . S'il existe, sa masse devrait être proche de $M_{\Lambda\Lambda}$ et sa durée de vie comprise entre 10^{-8} et 10^{-10} s. Parmi les quelques modes de désintégration envisageables, le seul que nous puissions étudier est celui où tous les produits finals sont chargés, c'est à dire la séquence $H^0 \rightarrow \Lambda p \pi^- \rightarrow \pi^- p \pi^-$.

La contrepartie hadronique du H^0 est le Dilambda, état lié de deux Λ , possédant les mêmes nombres quantiques que le H^0 et les mêmes modes de désintégration. D'après des spéculations théoriques récentes, il pourrait exister dans le domaine hadronique, de nombreux autres états liés dibaryoniques qui se désintégreraient par interaction faible. Par exemple: $(\Sigma^+ p)_b \rightarrow p + p$, $(\Xi^0 p)_b \rightarrow \Lambda + p$,

$$(\Xi^0 \Lambda)_b \rightarrow \Xi^- + p \text{ ou } (\Xi^0 \Xi^-)_b \rightarrow \Xi^- + \Lambda.$$

D'après ces prédictions, ces dibaryons auraient des énergies de liaison de quelques MeV et des distances de vol ($c\tau$) de quelques centimètres. Leurs taux de production ont été estimés au moyen de simulations combinant modèle de transport avec mécanisme de coalescence. Au RHIC, les mécanismes de coalescence de quarks commencent à jouer un rôle important, ce qui conforte l'espoir de pouvoir créer de telles particules aux énergies des collisionneurs: les taux de production prévues au RHIC et au LHC sont de l'ordre de 10^{-2} - 10^{-3} par unité de rapidité.

La recherche de ces particules a commencé dans les données de STAR avec l'analyse de près d'un million d'événements. Mais les distributions en masse invariante $M_{(\Lambda p \pi^-)}$ n'ont révélé pour l'instant aucun signal significatif. Cette recherche doit évidemment continuer dans le futur, aussi bien au RHIC qu'au LHC.

2.2.5 Bilan du RHIC et nouvelles possibilités au LHC

Avec l'exploitation des expériences du RHIC, la physique du PQG et en particulier l'étude systématique de l'étrangeté sont entrées dans une ère nouvelle où la combinaison des observables caractérisant le bulk de hadrons "mous" et celles relatives aux processus durs entre partons, permet de dessiner une image de plus en plus cohérente des systèmes formés. Le degré élevé de thermalisation et de collectivité suggéré par la mesure des rapports de particules et les spectres en moment transverse

(flow transverse, flow elliptique) ainsi que le succès des modèles de coalescence de quarks dans l'interprétation de nombreux effets à p_T intermédiaire, le tout associé aux phénomènes de jet-quenching à haut p_T , constituent de fortes indications d'une nouvelle matière. Mais il faudra fournir encore beaucoup d'efforts pour comprendre cette matière complexe et apporter les preuves définitives qu'il s'agit du PQG recherché. Pour cela, il sera nécessaire de parvenir à une connaissance systématique des références hadroniques à l'énergie du RHIC. Mais l'une des clefs essentielles de cette exploration consiste aussi et surtout à produire et comprendre les fonctions d'excitation de toutes les observables sur un domaine d'énergie le plus vaste possible, de manière à couvrir le plus complètement possible la transition entre la physique des processus mous (bas p_T) et celle des processus durs. Après le SPS et le RHIC, la physique du PQG va en effet s'ouvrir de nouveaux horizons avec l'avènement du LHC. Au LHC, la caractérisation et l'étude du PQG se fera suivant une stratégie similaire à celle menée au RHIC et au SPS: mesurer simultanément le maximum d'observables, toutes celles évoquées précédemment mais aussi de nouvelles grâce au saut important en énergie. Les densités d'énergie plus élevées produiront des conditions générales plus favorables pour étudier le PQG: une température initiale bien au-delà du seuil critique ainsi qu'un volume et un temps de vie du système bien plus élevés qu'au RHIC. En même temps, la forte augmentation de la multiplicité des particules combinée à une influence beaucoup plus marquée des processus durs permettront des analyses originales dans le cadre de l'expérience ALICE. Due au grand nombre de particules produites, il sera, par exemple, possible d'extraire les conditions de freeze-out chimique événement par événement et d'obtenir une distribution complète de paires T , μ_B . La largeur de cette distribution pourra être comparée à la largeur statistique pour tester le degré de thermalisation. De plus, cela permettra de sélectionner des classes d'événements: ceux de température élevée et ceux de température faible, afin de séparer différentes dynamiques possibles dans le plan T , μ_B . De même, une analyse de la composition chimique des événements contenant des jets devrait permettre de déterminer les corrélations entre la phase initiale et les phases de freeze-out ainsi que les corrélations entre les processus mous et durs.

Le RHIC a été le témoin de l'apparition des processus durs mais leur influence sur l'image globale de la collision reste modérée. Au LHC, les collisions dures entre partons constitueront en revanche une partie dominante de la conversion de l'énergie cinétique des faisceaux en excitation interne, offrant ainsi des voies d'exploration encore vierges.

En ce qui concerne les effets de « jet quenching », mis à part la mesure de la suppression des hadrons de haut p_T et de sa dépendance vis-à-vis de la géométrie de la collision (paramètre d'impact et plan de réaction), il y aura en effet d'autres observables très intéressantes, en particulier la mesure des rapports de particules à haut p_T . En effet, on prévoit que les gluons durs devraient perdre dans un PQG approximativement deux fois plus d'énergie que les quarks. Ceci aurait pour conséquence de modifier les abondances relatives de certaines espèces hadroniques. Pour l'ensemble de ces études, il sera nécessaire d'atteindre les moments transverses les plus élevés possibles. Dans ce contexte et pour les raisons données précédemment, les hyperons joueront dans ALICE un rôle prépondérant.

En conclusion, la contribution française relative aux signaux hadroniques dans ALICE se concentrera sur les 4 thèmes suivants:

- Composition chimique: mesure des rapports de production des particules, incluant tous les hadrons étranges et mesure du facteur de Wroblevski.
- Dynamique d'expansion: mesure des spectres en masse transverse et du flow elliptique des hadrons étranges.
- Mécanismes de coalescence de quarks et de fragmentation: mesure des rapports mésons/baryons
- Sondes dures du milieu: mesure des hadrons étranges de haut pt
- Matière exotique: mise en évidence de dibaryons étranges

Jusqu'à présent, le travail effectué pour préparer ces analyses peut être résumé de la manière suivante.

La collaboration ALICE est depuis plusieurs années, en phase de développement des programmes de simulation et de reconstruction des données. Parmi l'ensemble des tâches à effectuer, deux des grandes priorités étaient de disposer d'une simulation la plus réaliste possible de tous les détecteurs d'une part et d'optimiser les algorithmes de « tracking » dans la TPC et l'ITS d'autre part. Ces programmes donnent à présent des résultats qui permettent d'évaluer dans de bonnes conditions le potentiel d'ALICE pour la quasi-totalité des mesures que l'on envisage. Depuis deux ans, utilisant l'expérience acquise dans STAR, le groupe français a pris en charge le développement des algorithmes et des méthodes de reconstruction des vertex secondaires et des cascades. Les deux outils principaux: l'algorithme de recherche des vertex secondaires (association de deux traces secondaires appelée « V0 ») pour la reconstruction des K^0_s et des Λ et l'algorithme de recherche des cascades (association entre un V0 et une trace secondaire dite « bachelor ») pour les Ξ et les Ω , sont à présent opérationnels. Depuis lors, nous les avons exploités afin d'évaluer quantitativement le potentiel d'ALICE pour la Physique des (anti-)baryons étranges. Il s'agit d'une étude systématique destinée à obtenir pour chaque espèce (Λ , Ξ , Ω) l'efficacité de reconstruction, le rapport signal sur bruit, le nombre moyen de particules reconstruites par événement en fonction de leur impulsion, de la valeur du champ magnétique et de nombreux autres paramètres.

L'optimisation des performances de la reconstruction nécessite l'application de sélections géométriques et cinématiques élaborées. Pour les raisons données précédemment, nous avons optimisé la mesure des hyperons de moment transverse élevé. Les résultats actuels de nos simulations montrent notamment qu'il sera possible de mesurer, avec une statistique correcte, les Λ jusqu'à des moments transverses de l'ordre de 15 à 20 GeV/c, ce qui est primordial pour les aspects de Physique évoqués précédemment. Un autre résultat très important concerne les taux de reconstruction globaux, qui sont très satisfaisants: entre 7 et 10 Λ pourront être reconstruits en moyenne par événement, ce qui permettra notamment de réaliser des corrélations entre les particules étranges.

Parallèlement à ce travail de préparation à la Physique des hadrons étranges, nous avons également évalué la sensibilité d'ALICE à la découverte de dibaryons étranges, en développant des algorithmes spécifiques pour la reconnaissance de leurs chaînes de désintégration présumées. Actuellement, nos travaux indiquent que la découverte du H^0 et du $(\Xi^0 p)_b$ est possible s'ils sont produits à raison de 10^{-2} à 10^{-1} par événement et par unité de rapidité, en considérant une statistique totale de 10^7 événements.

Tout ce travail est fait actuellement par deux physiciens. Pour pouvoir obtenir une visibilité forte dès les premières analyses qui se feront au démarrage du LHC, il faudrait que le groupe comporte dès à présent 4 physiciens pour pouvoir préparer de manière optimale les outils nécessaires à ces analyses.

2.3 Photons – jets

2.4 Interférométrie

L'interférométrie de particules est une technique puissante utilisée afin de définir l'extension spatio-temporelle de la source de particules créée lors de la collision d'ions lourds ultra-relativistes. Les informations recueillies par ces études permettent de caractériser la phase de freeze-out correspondant au refroidissement du système créé aux tout premiers instants de la collision. De plus, les fonctions de corrélation de particules non-identiques permettent de déterminer les asymétries espace-temps lors de l'émission.

Les études des fonctions de corrélation HBT ont été réalisées sur les données collectées par l'expérience STAR, pour les collisions pp, dAu, AuAu avec des énergies par nucléon allant de 63 GeV à 200 GeV.

Les fonctions de corrélation pion-pion par rapport au plan de réaction montrent que la source de particules est étendue perpendiculairement au plan de réaction. L'analyse des données permet de caractériser l'évolution de la source dans le temps.

L'étude des fonctions de corrélation pion-kaon permet de déterminer une asymétrie spatiale ou temporelle. Les études complémentaires des systèmes proton-pion et proton-kaon permettront de discriminer ces asymétries. De plus, les signaux visibles par l'intermédiaire des fonctions de corrélations relèvent de la statistique quantique, des interactions coulombienne et forte. Ainsi les interactions encore inconnues peuvent être étudiées et caractérisées.

L'expérience ALICE installée au LHC permettra par la forte densité de particules attendue d'extrapoler et de confirmer les études effectuées sur l'expérience STAR. De plus l'application de cette technique, événement par événement, permettra d'accéder statistiquement aux tailles de source et aux structures d'événements rares.

2.5 Haute densité baryonique programme français avec CBM

2.5.1. Propriétés de la matière baryonique à haute densité

F.Rami, IReS-Strasbourg
Draft préliminaire (2/6/2004)

Le futur complexe d'accélérateurs FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) du GSI-Darmstadt (Allemagne) offrira dans la prochaine décennie, grâce à son large éventail de faisceaux primaires (des protons jusqu'à 90 GeV et des ions lourds jusqu'à 45 GeV/nucléon) et secondaires (isotopes rares et anti-protons) très intenses, de nouvelles perspectives de recherche dans différents domaines : structure des noyaux et astrophysique nucléaire, physique hadronique, étude de la matière baryonique à haute densité, physique des plasmas et physique atomique. Le projet de construction de cette nouvelle machine a été recommandé par le NuPECC (Nuclear Physics European Collaboration Committee) et approuvé en février 2003 par le gouvernement fédéral allemand. Son coût global (incluant machine, infrastructure et expériences) est évalué à 675 M€ dont 25% au moins devra venir de partenaires européens.

L'expérience CBM, acronyme de « Compressed Baryonic Matter experiment », est l'une des expériences majeures planifiées auprès de l'accélérateur FAIR. Le domaine d'énergie couvert par FAIR pour les ions lourds (2-45 GeV/nucléon) présente un grand intérêt pour l'exploration du diagramme de phase de la matière nucléaire dans la région, très peu connue, des hautes densités baryoniques nettes. Cette approche est complémentaire aux activités du RHIC et de l'expérience ALICE-LHC qui se situent dans la région des hautes températures et des faibles densités baryoniques nettes.

Une collaboration internationale, comptant environ 250 physiciens de 14 pays différents, travaille à la conception de cette expérience. Une Lettre d'Intention, dont des physiciens français de l'IReS-Strasbourg sont cosignataires, a été soumise récemment (février 2004) au comité scientifique de FAIR. Le programme scientifique de CBM vise à explorer les propriétés de la matière nucléaire à très haute densité baryonique avec comme objectifs principaux :

- Rechercher la transition de phase de la matière hadronique vers le plasma de quarks et de gluons dans la région du point tri-critique du diagramme de phase
- Explorer les signatures d'une restauration possible de la symétrie chirale à travers l'étude des modifications des propriétés des hadrons dans la matière baryonique superdense.
- Découvrir de nouvelles formes de la matière (structures exotiques telles que les penta-quarks et les strangelets) et de nouveaux phénomènes pouvant apparaître à très haute densité baryonique tels que la supraconductivité de couleur.

Ces études portent sur des questions fondamentales de la théorie de l'interaction forte, la Chromodynamique Quantique (QCD), telles que le confinement des quarks et l'origine de la masse des hadrons. Elles présentent, en outre, un grand intérêt au plan cosmologique, notamment pour la stabilité des étoiles à neutrons et la dynamique des supernovae.

L'expérience CBM permettra d'étudier de façon détaillée et simultanée plusieurs observables physiques présentant une grande sensibilité aux effets des hautes densités baryoniques et des transitions de phase et qui, pour la plupart, n'ont encore jamais été mesurées dans le domaine d'énergie 2-45 GeV/nucléon :

- **Les mésons vecteurs de faible masse (ρ , ω , ϕ) à travers leur désintégration en paires de dileptons (électron, positron).** Ce mode de décroissance n'est pas affecté par l'interaction avec le milieu nucléaire. Ces particules sont donc des témoins privilégiés de la phase dense et chaude de la

collision. Leur étude permet d'extraire des informations sur la fonction spectrale des mésons vecteurs dans le milieu nucléaire dense et sur une possible restauration de la symétrie chirale.

- **Le charme ouvert et le charmonium.** La modification des propriétés (masse, largeur) des mésons charmés (D^0 , D^+ , D^-), en particulier au seuil de leur production, constitue également un signal potentiel de la restauration de la symétrie chirale dans la matière baryonique dense. La production de charmonium et sa propagation dans le milieu nucléaire offre une sonde privilégiée pour signer la formation du plasma de quarks et de gluons. La suppression de la résonance J/ψ , due aux effets d'écrantage de la force de liaison entre quarks, est l'une des manifestations les plus directes de la transition de phase.
- **Les baryons multi-étranges (Λ , Σ , Ξ).** On s'attend à ce que les taux de production de ces particules (contenant des quarks étranges) ainsi que leur distribution d'espace de phase soient sensibles à la phase dense de la collision. Une production accrue de ces particules multi-étranges pourrait également apporter des informations sur la transition de la phase hadronique vers le plasma de quarks et de gluons. Notons que des résultats récents du SPS montrent que l'étrangeté relative (rapport K/π) présente un maximum aux environs de 30 GeV/nucléon. Cet effet très intrigant n'a pas encore d'explication claire et l'étude des particules multi-étranges auprès de FAIR devrait apporter des informations sur son origine.
- **Les observables liées aux effets d'écoulement collectif (flot).** De telles observables devraient permettre d'introduire des contraintes sur l'équation d'état de la matière nucléaire à très haute densité. Des mesures détaillées de leur fonction d'excitation, dans tout le domaine d'énergie accessible à FAIR (2-45 GeV/nucléon), pourraient révéler des changements dans le comportement de l'équation d'état nucléaire qui seraient dus à une possible transition de phase. Des résultats expérimentaux obtenus récemment par la collaboration NA49 au SPS semblent indiquer que le seuil de formation du plasma de quarks et de gluons est situé à une énergie incidente d'environ 30 GeV/nucléon. Notons que le flot des sondes directes, telles que les mésons vecteurs légers et le charmonium, présente un grand intérêt pour ce genre d'études et mérite donc d'être examiné avec une attention particulière.
- **Les fluctuations événement par événement.** Ceci devrait permettre d'explorer la présence éventuelle d'un point tri-critique dans le diagramme de phase de la matière nucléaire. L'existence de ce point tri-critique a été suggérée récemment par des calculs de QCD sur réseau avec un potentiel chimique baryonique non nul. Ces calculs indiquent que pour des faibles densités baryoniques (ce qui est le cas au RHIC et au LHC) le passage de la phase de gaz hadronique à celui de plasma de quarks et de gluons serait de type « cross-over » (transition douce). Au contraire pour des potentiels baryoniques plus élevés la transition de phase serait plutôt du premier ordre (transition discontinue plus facile à mettre en évidence expérimentalement). L'observation de ce point critique constituerait une signature directe de la transition de déconfinement et permettrait en outre de caractériser la nature (1^{er} ou 2^{ème} ordre) de cette transition. Au voisinage d'un tel point, on s'attend à observer une amplification considérable des effets de fluctuations. Ceci devrait se refléter sur différentes observables, mesurées événement par événement, telles

que le rapport K/π ou le moment transverse des particules produites lors de la collision.

Les observables mentionnées ci-dessus seront mesurées avec un détecteur de nouvelle génération couvrant un grand angle solide et capable de mesurer simultanément les hadrons, les électrons et les photons. Ce détecteur comprendra un trajectographe constitué d'un ensemble de 7 plans de détecteurs Silicium (pixels et Si-strip) placés à l'intérieur d'un dipôle magnétique, de détecteurs Cherenkov à anneaux (RICH) pour l'identification des électrons et des mésons et d'un ensemble de détecteurs de rayonnement de transition (TRD) pour l'identification des électrons au-dessus de 1 GeV. Il sera également doté d'un dispositif de temps de vol constitué de détecteurs à plaques résistives (RPC) et d'un calorimètre électromagnétique pour la mesure de l'énergie des électrons et des photons. Ces différents éléments de détection doivent être conçus pour opérer à des taux de collisions extrêmement élevés, jusqu'à 10^7 par seconde, indispensables pour mesurer des signaux rares, comme le charme ouvert ou le charmonium au seuil de production, dans un environnement de très haute densité de particules (typiquement, quelques milliers de particules chargées produites dans une collision centrale Au+Au). Ceci requiert des détecteurs aux performances sans précédents, notamment en termes de vitesse de lecture et de tenue aux rayonnements intenses. Afin de relever ces défis et de répondre aux exigences de l'expérience, la collaboration CBM a lancé plusieurs projets très ambitieux de recherche et de développement. Ces activités R&D sont menées actuellement dans le cadre de programmes européens soutenus par le 6ème PCRDT. Les physiciens de l'IReS-Strasbourg contribuent activement à cet effort R&D.

25..2. Implication des physiciens français dans ce projet

Un groupe de physiciens de l'IReS-Strasbourg est fortement engagé dans un programme de développement de capteurs semi-conducteurs à pixels monolithiques ultra-rapides et de haute précision, destinés à équiper le détecteur de vertex de l'expérience CBM. Cette activité est menée dans le cadre d'une collaboration avec plusieurs laboratoires européens (Darmstadt, Francfort, Dresde, Cracovie et Zagreb), où les physiciens français jouent un rôle de premier plan.

Ces capteurs à pixels monolithiques ont la particularité d'être inséparables de leur électronique de lecture, puisque les micro-circuits électroniques, de type CMOS (Combined Metal Oxide Silicon), sont intégrés sur le substrat du détecteur. Cette nouvelle technologie est développée depuis 1999 à Strasbourg, dans le cadre d'une collaboration entre l'IReS et le LEPSI, et son utilisation pour la détection de particules proches du minimum d'ionisation a été démontrée. Le procédé industriel de fabrication de ces capteurs présente l'avantage d'être parfaitement standard (coût relativement bas et délai de fabrication court). Plusieurs prototypes, dont un capteur de grande taille (3.5 cm^2 de surface, 1 million de pixels), ont été déjà réalisés et testés avec succès. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une douzaine de publications dans des revues spécialisées.

L'un des attraits de cette nouvelle technologie réside dans la possibilité de réaliser des capteurs très minces ($< 100\mu\text{m}$) offrant une résolution spatiale de l'ordre du micron. Ces performances en font un très bon candidat pour équiper le détecteur de vertex de

CBM dont la tâche principale est de reconstruire les chaînes de désintégration des mésons charmés (D^0 , D^+ , D^-), ce qui constitue un des défis majeurs de l'expérience. Les mésons charmés étant de courte durée de vie (de l'ordre de la picoseconde), leur identification exige une résolution sensiblement meilleure que $50\mu\text{m}$ sur la position du vertex de désintégration. Notons qu'à ce jour, la détection directe de ces mésons charmés n'a encore jamais été réalisée dans une expérience d'ions lourds.

La détection des mésons charmés dans les conditions expérimentales de l'expérience CBM est particulièrement difficile à cause de leur très faible taux de production (au seuil) et du nombre très élevé de particules émises lors de la collision. A cela s'ajoutent d'autres complications qui résultent des impératifs de résolution : i) les plans de capteurs doivent être installés au plus près du point d'interaction ce qui se traduit par une exposition des capteurs à un taux de rayonnement très élevé ii) il faut amincir les capteurs à quelques dizaines de microns d'épaisseur seulement pour éviter que les mesures ne soient perturbées par la diffusion des particules détectées dans la matière constituant le détecteur et iii) la nécessité de lire les signaux délivrés par des capteurs constitués de plusieurs dizaines de millions de pixels en un temps très court, moins de dix microsecondes, pour faire face à des taux de collisions très élevés (jusqu'à 10MHz).

En résumé, les capteurs requis pour l'étude des particules charmées dans l'expérience CBM doivent satisfaire au cahier des charges suivant :

- durée de lecture : $\leq 10\mu\text{s}$
- résolution spatiale : $< 10\mu\text{m}$
- épaisseur : $\leq 50\mu\text{m}$
- radio-résistance : $\sim 10^{14}n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ et $\sim 10\text{MRad}$

Ces performances sont hors de portée des détecteurs à pixels existants (pixels hybrides et CCD) et les capteurs à pixels intégrés constituent la seule technologie actuelle susceptible de les approcher.

Le programme R&D mené par les physiciens de l'IReS vise à mettre au point un capteur répondant aux exigences drastiques de l'expérience CBM (voir plus haut). Il s'agit notamment de réduire le temps de lecture des capteurs actuels (quelques millisecondes) d'un facteur cent à mille, tout en préservant leur précision micrométrique et en maintenant la dissipation thermique dans des limites acceptables, et d'améliorer leur résistance aux rayonnements d'un facteur dix à cent. L'objectif est de réaliser un prototype d'une des deux stations du détecteur de vertex à la fin 2007. La conception d'un système d'acquisition des données adapté au flux considérable de signaux délivrés par ces capteurs, sera prise en charge par les groupes allemands du GSI-Darmstadt et de l'Université de Francfort. Le développement d'un support mécanique de précision et d'un système de refroidissement sera réalisé par d'autres groupes de la collaboration.

Les physiciens français sont également impliqués dans les activités de simulation avec comme tâche principale de définir un concept géométrique pour le détecteur de vertex. Ils contribuent également aux études de faisabilité concernant le charme ouvert. Les premiers résultats de ces travaux devraient être inclus dans le Technical Proposal qui sera soumis début 2005 au comité scientifique de FAIR.

Le groupe français engagé dans ce projet est constitué actuellement de 7 physiciens de l'IReS-Strasbourg, dont 2 permanents et 5 non-permanents (doctorants et post-doctorants). L'implication des physiciens permanents est d'environ 40%; celle des personnels non-permanents s'échelonne entre 50 et 100%. Quelques physiciens d'autres laboratoires français manifestent un certain intérêt envers ce projet et nous espérons qu'ils pourront nous rejoindre prochainement. Par ailleurs, il faut souligner que plusieurs théoriciens français s'intéressent de près au programme de physique de l'expérience CBM.

Le calendrier de CBM prévoit le démarrage de la phase de construction du détecteur en 2008 et les premières prises de données vers 2012-2013. Les discussions pour le partage des responsabilités des différentes composantes du détecteur vont donc commencer bientôt. Une participation française à la réalisation du détecteur devrait donc être préparée parallèlement aux activités R&D et les travaux de simulation. Celle-ci pourrait consister en la prise en charge, entièrement ou en partie, du détecteur de vertex. Un tel engagement assurerait un rôle crucial et une très bonne visibilité au sein de la collaboration CBM. Nous considérons qu'un minimum de 4-5 chercheurs est nécessaire pour envisager de se lancer dans un tel projet de construction, avec comme objectif ultime de réunir une communauté plus large (10 à 15 physiciens) sur cette expérience. Concernant les personnels techniques, il faut souligner qu'une partie des ingénieurs et des techniciens engagés actuellement dans la construction des détecteurs du LHC devrait être disponible après 2007, ce qui coïncide parfaitement avec le début de la construction de CBM. Du point de vue financier, le coût du détecteur de vertex devrait se situer entre 1 et 2 M€.

En résumé, un groupe français de l'IReS-Strasbourg est engagé dans la préparation de l'expérience CBM prévue auprès de la future machine FAIR (Darmstadt, Allemagne) et dont l'objectif principal est d'étudier le diagramme de phase de la matière QCD dans la région, encore quasiment inexplorée, des très hautes densités baryoniques nettes. Son activité porte sur le développement de capteurs semi-conducteurs à pixels monolithiques ultra-rapides et de haute précision, destinés à équiper le détecteur de vertex. La technologie proposée pour ces capteurs est actuellement la seule susceptible de satisfaire les exigences de l'expérience CBM pour la détection des mésons charmés. Une participation à la construction du détecteur CBM (à partir de 2008) pourrait être envisagée si d'autres physiciens français sont intéressés par ce projet. Celle-ci pourrait consister en la prise en charge, entièrement ou en partie, du détecteur de vertex.

Calendrier de l'expérience CBM

- 2004-05 Etudes de faisabilité et simulations des performances du détecteur
- 2005 Dépôt du Technical Proposal
- 2004-08 R&D sur les détecteurs, conception et réalisation de prototypes
- 2008 Dépôt du Technical Design Report
- 2008-12 Construction des détecteurs
- 2012-13 Installation et premières prises de données

Site Web de CBM

<http://www.gsi.de/zukunftsprojekt/experimente/CBM/>

On peut y trouver, entre autres, la Lettre d'Intention de CBM ainsi que divers documents portant sur différents aspects de l'expérience.

Site Web de l'équipe CMOS de l'IReS Strasbourg

<http://ireswww.in2p3.fr/ires/recherche/capteurs/>

Pour ceux qui souhaitent avoir plus d'informations sur les capteurs à pixels monolithiques et leurs performances.

3. Implication de la communauté française

3.1. Répartition des physiciens de la communauté Ions Lourds par laboratoire et par expérience :

Le tableau ci-dessous recense le nombre de physiciens permanents actuels, **projeté en 2008** et **nécessaire pour mener à bien le projet**. Ces chiffres ne sont pas pondérés par d'éventuelles activités de recherche autres que celles répertoriées dans ce tableau et/ou par des activités d'enseignement.

Machines Expériences	GSI FOPI	SPS NA60	RHIC BRAHMS	RHIC PHENIX	RHIC STAR	LHC ALICE*	LHC CMS	GSI CBM
LPC-Clermont	4-0	4-0		2-0		9-7		
IPN-Lyon		2-0				3-4-5	1-1-5	
SUBATECH-Nantes				4-1	4-2	7-7-9		
IPN-Orsay				6-0		5-2-5		
LLR-Palaiseau				5-5				
DAPNIA-Saclay				2-0		3-4-5		
IReS Strasbourg	1-0		1-0		3-0	3-3-5		0-1

(* ALICE comprend les activités ALICE-Dimuon et/ou ALICE-ITS)

1. Nature de l'implication dans par laboratoire (thème de physique, instrumentation) :

LPC-Clermont :

Expérience FOPI :

- Thème de physique : production d'étrangeté et étude des phénomènes collectifs aux énergies SIS.
- Implication software : développement des codes d'analyses

Expérience NA60 :

- Thème de physique : Quarkonia (production de charme et beauté)
- Implication software : développement des codes d'analyses pour

l'étude des quarkonia.

Expérience ALICE-Dimuon :

- Thème de physique : Quarkonia (production de charme et beauté)
- Implication software : développement et maintenance des programmes pour le trigger de niveau 0. Optimisation des performances du trigger de niveau 0. Développement des codes pour les études de dépendance en centralité des productions de quarkonia et des coïncidences électron-muon.
- Implication hardware : conception de l'électronique front-end pour le système de trigger. Conception de l'électronique pour le trigger de niveau 0. R&D autour des chambres type RPC (Resistive Plate Chamber).

IPN-Lyon :

Expérience NA60 :

- Thème de physique : Quarkonia (production de charme et beauté) résonances de faible masse dans les collisions pp et AA)
- Implication software : Développement des codes d'analyses pour la reconstruction des quarkonia.

Expérience ALICE-Dimuon :

- Thème de physique : Quarkonia (production de charme et beauté)
- Implication software : développement d'algorithmes de reconstruction des quarkonia
- Implication hardware : coordination, construction et assemblage du détecteur V0 et du système de contrôle de l'alignement (Geometry Monitoring System) des chambres à tracking du spectromètre dimuon.

Expérience CMS :

- Thème de physique : Quarkonia (production de charme et beauté)
- Implication software : développement des algorithmes de reconstruction des saveurs lourdes.

SUBATECH-Nantes :

Expérience PHENIX

- Thème de physique : processus durs (jet quenching) et photons directs
- Implication software : mise au point d'algorithmes de reconstruction des jets.

Expérience STAR

- Thème de physique : production des particules multi-étranges, phénomènes à haut p_T , corrélation de particules non-identiques
- Implication software : coordination et développement des programmes de trajectographie dans la partie centrale de STAR, incluant le SSD.
- Implication hardware : coordination, conception, construction et assemblage du SSD

Expérience ALICE-Dimuon :

- Thème de physique : Quarkonia (production de J/Psi, charme

ouvert)

- Implication software : développement des codes de trajectographie pour le spectromètre dimuons. Coordination des programmes offline pour MUON et PHOS. Coordination de la DAQ pour le spectromètre muons.
- Implication hardware : coordination, construction, et assemblage de chambres à muon (stations 3, 4, 5). Coordination, construction et assemblage des chambres à trigger.

ALICE-ITS :

- Implication hardware : participation à l'assemblage des couches SSD.

IPN-Orsay :

Expérience PHENIX :

- Thème de Physique : Quarkonia (production de charme dans les collisions pp et AA)
- Implication software : production de données simulées pour l'étude de la production de Quarkonia

Expérience ALICE-Dimuon :

- Thème de Physique : Quarkonia (production de charme et beauté)
- Implication software :
- Implication hardware : Coordination, construction et assemblages de chambres pour le spectromètre dimuon (stations 1 & 2)

LLR-Palaiseau :

Expérience PHENIX

- Thème de physique : Quarkonia (production de J/Psi, de charme ouvert, Drell-Yan des collisions pp à AuAu)
- Implication software : développements d'algorithmes de reconstruction et d'analyses de données ; installation des softs de PHENIX au CCIN2P3 pour participer à l'effort de reconstruction des données ; reconstruction des données « muons » filtrées et production de nanoDST pour l'analyse.
- Implication hardware : après la production, les tests et l'installation de l'électronique de l'un des deux spectromètres à muons, responsabilité de la maintenance de l'électronique des deux spectromètres.

DAPNIA-Saclay :

Expérience PHENIX :

- Thème de physique : Quarkonia (production de J/Psi, de charme ouvert, Drell-Yan des collisions pp à AuAu)
- Implication software : développement des codes d'analyses
- Implication hardware : réalisation de l'électronique de lecture des chambres à pistes de cathode de l'un des deux spectromètres.

Expérience ALICE-Dimuons :

- Thème de physique : Quarkonia (production de charme et beauté)
- Implication software : développement de codes de reconstruction pour les particules de saveurs lourdes.

- Implication hardware : réalisation de chambres des stations 3, 4, 5, design et réalisation d'une partie de leur support, intégration des trois dernières stations et leur refroidissement.

IReS-Strasbourg :

Expérience FOPI :

- Thème de Physique : Etude des phénomènes collectifs aux énergies SIS
- Implication software : Développement des codes d'analyses

Expérience STAR :

- Thème de Physique : production des particules multi-étranges
- Implication software : développement de codes pour la reconstruction des particules étranges, des softs liés au SSD.
- Implication hardware : conception, réalisation des tests de tous les éléments s'articulant autour du module (capteurs silicium, électroniques, hybrides, modules), du contrôle global et d'alimentation du SSD.

Expérience ALICE-ITS :

- Thème de Physique : Signaux hadroniques (composition chimique, dynamique d'expansion), production d'étrangeté et de matière exotique étrange.
- Implication software : Développement des codes de trajectographie dans la partie centrale d'ALICE, reconstruction des particules étranges.
- Implication hardware : Conception et réalisation des modules de détecteurs silicium à micropistes pour les couches SSD, conception de l'électronique de lecture.

3.2 Les moyens nécessaires pour le programme explicité dans la partie 2

même revue par labo

4. Conclusion/discussion

4.1 La physique que nous pourrons couvrir

4.2 Quelles priorités, où sont les points forts : stratégie ?

ALICE

La contribution à l'expérience ALICE est le point majoritaire de notre communauté pour les quelques années qui nous séparent du démarrage de LHC et bien entendu lorsque LHC fonctionnera.

L'articulation RHIC-LHC

L'activité à RHIC est assurée jusqu'à l'horizon du démarrage de LHC. Elle assure

la couverture d'un domaine d'énergie intermédiaire entre le SPS et le LHC et procure une excellente préparation aux analyses à LHC.
Il faut qualifier l'intérêt de continuer ce programme pendant LHC...(excellente luminosité de la machine, bonnes conditions expérimentales ?)

L'articulation ALICE-CMS

La communauté CMS ions-lourds française est à l'origine du programme d'étude du QGP ainsi que du système pA dans CMS. Aujourd'hui cette contribution est réduite à deux physiciens permanents, ne pas la renforcer équivaut à l'arrêter à terme. Pourtant l'intérêt de CMS en complémentarité d'ALICE est indéniable.

Possibilités pour CBM (compact baryonic matter)

Cette machine offre la seule véritable alternative à LHC en offrant de sonder une autre zone du diagramme de phase. Actuellement seule l'IRéS à travers un physicien est impliquée concrètement via un programme de R&D sur les capteurs CMOS. L'implication et la prise de responsabilité de la France peut évoluer rapidement avec un fort impact potentiel dans le trajectographe. Cependant le démarrage reste lointain (2012) ...

Lien théorie expérience

4.3 organisation future ?

lien théorie-expérience

un GDR