

Palaiseau , le 14 octobre 2008

Cher(e) Collègue,

J'ai l'honneur de vous demander de faire partie du jury de thèse de

Catherine SILVESTRE TELLO

qui soutiendra sa thèse en vue d'obtenir le grade de Docteur de l'École Polytechnique le

VENDREDI 24 OCTOBRE 2008
A 14H00
Amphi BECQUEREL
(délibération du jury en petite classe 24)
Ecole Polytechnique
91 128 Palaiseau cedex

le jury sera composé de

Gines MARTINEZ, François GELLIS, Ermanno VERCELLIN, Michel GONIN, Hugo PEREIRA DA COSTA, David D'ENTERRIA et Marie-Helene SCHUNE.

Je vous prie d'agréer, Cher(e) Collègue, mes respectueuses salutations.

Michel ROSSO
Directeur de l'École Doctorale

ÉCOLE POLYTECHNIQUE, 91128 PALAISEAU Cedex
Tél (33) (0)1 69 33 44 55 – fax (33) (0)1 69 33 44 66
E-mail : fabrice.baronnet@polytechnique.edu



Rapport sur le manuscrit de la thèse

**“Première mesure de l’asymétrie azimutale de la production
du J/ψ dans les collisions Au+Au à 200 GeV par paire
de nucléons avec l’expérience PHENIX”**

par Catherine Silvestre Tello

Le cadre général de la thèse de Catherine Silvestre est l’étude expérimentale de la matière nucléaire à haute température ou densité par le biais de collisions de noyaux lourds à très haute énergie, dans le but de créer en laboratoire le plasma de quarks et de gluons dont était formé l’Univers primordial aux tous premiers instants après le Big-Bang. Cette analyse, portant sur l’asymétrie de la distribution azimutale des particules J/ψ produites dans ces collisions, a été effectuée dans le cadre de la collaboration internationale PHENIX, dont le détecteur est implanté au Brookhaven National Laboratory (USA) auprès de l’accélérateur RHIC

Une des propriétés attendues du plasma de quarks et de gluons est un écrantage similaire à l’écrantage de Debye bien connu dans la physique des plasmas “ordinaires” constitués d’électrons et d’ions positifs: le potentiel de Coulomb d’une charge placée dans le plasma décroît exponentiellement au delà d’une distance appelée “rayon de Debye”. Cet écrantage a des conséquences dramatiques pour l’existence d’états liés dans le plasma. En effet, la cohésion des états liés, normalement assurée par les forces attractives entre les particules qui le constituent, est compromise si le rayon de Debye est inférieur à la taille de l’état lié en question.

Le J/ψ est un état lié constitué par un quark c et un antiquark \bar{c} . La suppression de l’abondance de ces particules dans les collisions de noyaux lourds (par rapport aux collisions proton-proton) a été proposée en 1986 comme une signature de la formation du plasma de quarks et de gluons. L’idée principale est que les processus microscopiques de production des quarks c et \bar{c} est identique dans les collisions pp et noyau-noyau, mais que les mécanismes d’hadronisation de ces quarks charmés sont fondamentalement différents suivants qu’ils ont lieu dans le vide ou dans un milieu chaud comme le plasma de quarks et de gluons.

Toutefois, il est apparu plus récemment que l’analyse des J/ψ dans les collisions de noyaux lourds est considérablement plus compliquée, car des processus de “recombinaison” peuvent compenser la dissociation décrite plus haut lorsque la densité des quarks c et \bar{c} produits est suffisamment grande. La simple mesure du nombre de J/ψ produits ne donne pas suffisamment d’informations pour déterminer lequel de ces deux scénarios est le plus pertinent dans les collisions d’ions lourds à l’énergie

du RHIC.

La mesure de l'ellipticité de la distribution des impulsions des J/ψ produits fournit une information précieuse sur les interactions de ces particules avec le milieu environnant. En effet, une ellipticité importante supporterait l'hypothèse que les J/ψ sont formés assez tardivement par la recombinaison de quarks c et \bar{c} . Au contraire, une absence de flot elliptique pour les J/ψ indiquerait plutôt qu'ils sont formés très tôt et ensuite interagissent peu avec le milieu. La mesure de cette observable constitue le travail central de la thèse de Catherine Silvestre.

Le manuscrit de Catherine Silvestre se divise en cinq chapitres principaux discutant successivement

- le contexte théorique dans lequel s'inscrit cette étude,
- l'expérience PHENIX qui a permis l'acquisition des données utilisées pour l'analyse,
- une discussion des méthodes de reconstruction des J/ψ et d'alignement des différentes composantes du détecteur,
- la description des données utilisées dans l'analyse et en particulier la manière dont elles ont été sélectionnées,
- et finalement l'exposition de la mesure du flot elliptique des J/ψ proprement dite.

Cette exposition est complétée par quelques annexes traitant de points plus techniques.

Le premier chapitre fait le point sur le contexte théorique dans lequel cette analyse se place, allant des collisions de noyaux lourds en général, au flot elliptique en tant qu'observable permettant d'étudier le degré de thermalisation de la matière formée dans ces collisions. Ce chapitre donne à voir un panorama assez complet de la situation actuelle concernant les mécanismes d'hadronisation qui conduisent à la formation du J/ψ , ce qui n'était pas une tâche facile compte tenu de la confusion qui règne encore sur le sujet.

Le deuxième chapitre présente une vue détaillée des divers détecteurs qui constituent l'expérience PHENIX. Il est appréciable que cette description ne soit pas limitée aux seuls composants qui ont été utilisés dans l'analyse qui va suivre, mais présente l'ensemble du dispositif.

Le chapitre 3 expose deux travaux préliminaires importants. L'un concerne une méthode globale d'alignement des divers plans de détecteurs qui constituent les

spectromètres à muons de l'expérience PHENIX. En effet, la précision de la reconstruction des trajectoires des muons dans le spectromètre dépend crucialement de la précision avec laquelle les différents sous détecteurs sont alignés les uns par rapport aux autres (et il n'est pas rare que leur position relative change suite à des interventions sur le détecteur, ou suivant les variations du champ magnétique). La deuxième de ces études concerne l'efficacité de la reconstruction des J/ψ , qui a été étudiée en fonction de la multiplicité dans le détecteur, et également en fonction de divers paramètres contrôlant la réponse des détecteurs. Ces travaux de nature technique sont très importants pour une meilleure compréhension des détecteurs utilisés et sont très utiles pour la communauté.

Finalement, les chapitres 4 et 5 présentent l'analyse des données collectées en 2007 par l'expérience PHENIX, et en particulier l'extraction du paramètre de flot elliptique (v_2) des J/ψ . Les détails de la sélection des données pertinentes pour cette étude sont exposés dans le chapitre 4, en particulier les divers mécanismes de déclenchement ainsi que les coupures utilisés. Le chapitre 5 compare plusieurs méthodes (soustraction des paires de signes identiques, soustraction à partir d'évènements mélangés, ou bien une combinaison des deux méthodes) de séparation du signal J/ψ et du bruit de fond, et ensuite présente les résultats concernant l'ellipticité de la distribution des J/ψ produits, avec une attention particulière à l'estimation des erreurs systématiques qui affectent cette mesure.

En résumé, ce travail est une contribution très intéressante à l'étude de la production des J/ψ dans les collisions de noyaux lourds. Bien que le résultat final de cette mesure du flot elliptique soit limité à cause de la faible statistique disponible, ce travail est important car il balise la technique de mesure du flot elliptique des J/ψ pour de futures études, non seulement au RHIC mais aussi dans les expériences du LHC. Il convient également de noter que Catherine Silvestre a présenté cette analyse dans deux conférences majeures cette année ("Quark Matter 2008", Jaipur, Inde et "Hard Probes 2008", A Toxa, Espagne). En conclusion, il ne fait aucun doute que cette thèse mérite d'être soutenue.

Dr. François Gelis
CERN, PH-TH, Suisse

Prof. Ermanno Vercellin
Université de Turin, Italie

A Nantes, le 2 octobre 2008

Rapport concernant la thèse présentée par Mme. Catherine SILVESTRE TELLO sous la direction du Dr. M. Gonin

Le mémoire de Mme. Silvestre est consacré à la réalisation de la première mesure de l'asymétrie azimutale de la production du charmonia J/ψ dans les collisions Au+Au à 200A GeV avec le détecteur PHENIX auprès du collisionneur RHIC du BNL (USA). Dans l'axe de recherche dédié à l'étude expérimentale du Plasma de Quarks et de Gluons (PQG) formé dans les collisions entre ions lourds aux énergies relativistes, cette mesure est cruciale pour comprendre le mécanisme dominant la production de charmonia aux énergies de RHIC et, éventuellement, pour mesurer le degré d'interaction, voire de thermalisation, entre le PQG et les quarks lourds produits dans les premiers instants de la collision, et qui vont coexister avec le PQG pendant toute sa durée de vie. Il s'agit d'une mesure pionnière et d'un défi expérimental à la frontière de la connaissance.

De ce mémoire ressortent les deux contributions principales de Mme. Silvestre à cet axe de recherche :

- Optimisation des performances du système de détection, notamment avec l'amélioration de la procédure d'alignement du système de trajectographie des spectromètres à muons et l'amélioration de l'efficacité de reconstruction des trajectoires des muons dans les collisions Au+Au les plus centrales;
- Analyse des données de l'expérience PHENIX pour mesurer l'écoulement elliptique des charmonia dans les collisions Au+Au à 200A GeV, en fonction de la centralité et de l'impulsion transverse.

Dans le premier chapitre une introduction assez étendue de la situation expérimentale et théorique autour de la physique des quarkonia comme sonde du Plasma de Quarks et de Gluons est présentée. L'ensemble de la problématique est abordée : production dans les collisions hadroniques, puzzle de la mesure de polarisation, production des charmonia dans les collisions proton-noyau (effets froids) et dans les collisions entre ions lourds (effets chauds) aux énergies RHIC et SPS. Mme. Silvestre montre avoir une connaissance complète de toute la problématique théorique et expérimentale.

Le dispositif expérimental utilisé par Mme. Silvestre est présenté dans le deuxième chapitre. Après une description du fonctionnement du collisionneur RHIC, une description globale du détecteur PHENIX est présentée, en mettant l'accent sur les sous-systèmes qu'elle a directement utilisés : les spectromètres à muons et les détecteurs de centralité et de mesure du plan de réaction (BBC, RxnP et MPC principalement).

Deux problématiques essentielles pour tout appareillage de détection sont abordées dans le troisième chapitre. Elle présente des études très approfondies et détaillées sur l'alignement des spectromètres à muons et sur la détermination des efficacités de détection et de reconstruction de trajectoires. Mme. Silvestre montre de nouvelles méthodes permettant d'améliorer les performances des spectromètres ainsi que des études permettant une meilleure connaissance de la fonction de réponse des détecteurs à gaz utilisés, afin de mener

à bien des simulations numériques les plus réalistes possibles. Ensuite, les vérifications du bon fonctionnement de l'appareillage et la tâche ardue de sélection des données pour la physique sont présentées dans le quatrième chapitre. Les coupures pour l'analyse de physique, qui ont été optimisées à l'aide des simulations, ont été testées sur les nouvelles données.

L'extraction du signal J/ψ via l'analyse de la masse invariante des paires de traces détectées par les spectromètres à muons est présentée dans le cinquième chapitre. Différentes méthodes ont été essayées afin d'identifier et de mesurer les erreurs systématiques sur la valeur du signal extrait. A mon avis, une étude sur l'évolution de la résolution en masse invariante dans la région du J/ψ en fonction de l'impulsion transverse, la rapidité, ou la centralité avec une comparaison avec les simulations Monte-Carlo pourrait nous aider à mieux comprendre les différences observées entre la simulation et l'analyse des données réelles. Les analyses de détermination du plan de réaction ainsi que de la détermination de l'incertitude sont exhaustivement abordées. Finalement les différentes méthodes d'analyse utilisées pour obtenir l'écoulement elliptique des J/ψ en fonction de la centralité de la collision et en fonction de l'impulsion transverse du charmonium sont présentées. Il s'agit de la première mesure de l'écoulement elliptique des J/ψ à grande rapidité aux énergies de RHIC.

Dans son dernier chapitre, Mme. Silvestre aborde une discussion globale sur les résultats concernant la mesure de l'écoulement elliptique du J/ψ dans les collisions entre ions lourds aux énergies SPS et RHIC et elle présente une comparaison exhaustive avec les prédictions théoriques pour les énergies de RHIC. A mon avis, la discussion sur les résultats obtenus à SPS pourrait être encore améliorée en montrant explicitement les résultats SPS, en les comparant avec les modèles théoriques, et en faisant la corrélation avec d'autres observations comme le degré de suppression anormale.

En conclusion, Mme. Silvestre a mené à bien une mesure expérimentale pionnière de la magnitude de l'écoulement elliptique du charmonium dans les collisions entre ions lourds aux énergies relativistes au sein de l'expérience PHENIX. Ce travail a été largement reconnu par la collaboration internationale PHENIX car Mme. Silvestre a été l'oratrice choisie pour présenter ces résultats lors de deux grandes conférences internationales de notre domaine : Quark Matter 2008 en Inde et Hard Probes 2008 en Espagne. Ses travaux de thèse ont été inclus dans deux articles de PHENIX : le premier publié dans Physical Review Letters et le deuxième article soumis pour publication dans Physical Review C.

Par conséquent, je déclare que la thèse de Mme. Silvestre mérite d'être soutenue pour l'obtention du grade de Doctorat en Sciences de l'École Polytechnique.



Gines MARTINEZ
Chercheur CR1 du CNRS

Habilité à Diriger des Recherches par l'Université de Nantes