

- 1. Les J/Psi sont-ils dissous dans un plasma de quarks et de gluons ?**
- 2. Moins de J/Psi à cause du plasma de quarks et de gluons ?**
- 3. Production de J/Psi et plasma de quarks et de gluons**
- 4. Suppression du J/Psi dans les collisions Au + Au dans l'expérience PHENIX à Brookhaven**
- 5. J/Psi et plasma de quarks et de gluons : dissolution (ou suppression) et régénération ?**

Résumé

L'expérience PHENIX vient d'obtenir les premiers résultats significatifs concernant la production de la résonance J/Psi dans les collisions centrales entre noyaux d'or à l'énergie maximale accessible dans le collisionneur RHIC de Brookhaven. Cette production s'avère plus importante que les prédictions faites en supposant la formation d'un plasma de quarks et de gluons, état de la matière dans lequel la densité de charges de couleur portées par ces quarks et ces gluons serait tellement grande qu'un quark et un antiquark charmés ne pourraient plus se lier pour former la résonance J/Psi. Comme elle est également plus faible que ce que l'on attend en l'absence de plasma, ces résultats ne remettent pas directement en cause la formation d'un tel plasma. Faudrait-il faire appel à un mécanisme supplémentaire capable de régénérer cette résonance quand le système se dilate après avoir atteint sa densité maximale ?

Texte

Dans les collisions centrales entre noyaux suffisamment lourds à énergie suffisamment élevée, on s'attend à obtenir des densités d'énergie de l'ordre de $1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$ ou 10 fois la densité nucléaire normale, suffisantes pour former un nouvel état de la matière, appelé plasma de quarks et de gluons, dans lequel les quarks et les gluons ne sont plus confinés à l'intérieur de hadrons. Ce nouvel état est prédit par la chromodynamique quantique, plus précisément par des calculs numériques dits sur réseau. C'est probablement aussi par cet état que l'Univers tout entier est passé pendant ses premiers instants, jusqu'à quelques microsecondes, après le Big Bang.

De bonnes indications ont été obtenues en faveur de la production de ce plasma dans les collisions centrales entre noyaux lourds étudiées auprès du SPS du CERN dans les années 1990, à des énergies tout juste suffisantes pour obtenir la densité d'énergie critique. L'indication la plus probante fut sans doute ce qu'on a appelé la suppression anormale de la résonance J/Psi, prédite dès 1986 par Matsui et Satz. Cette résonance, état lié constitué d'un quark et d'un antiquark charmés dont la masse est grande, ne peut être formée que dans les tout premiers instants de la collision, correspondant aux plus grandes densités et au passage éventuel par la phase plasma. Dans un tel plasma, la densité de charges de couleur portées par les quarks et les gluons est tellement grande qu'un quark et un antiquark charmés ne peuvent plus se lier pour former la résonance J/Psi. Cet écrantage de Debye pour la couleur serait responsable de la suppression anormale.

Le collisionneur RHIC, en service au laboratoire national de Brookhaven depuis l'an 2000, permet d'étudier les collisions entre noyaux lourds jusqu'à des énergies $\sqrt{s_{NN}}$ égales à 200 GeV, environ 10 fois plus grandes qu'au SPS du CERN, $\sqrt{s_{NN}}$ étant l'énergie dans le centre de masse des paires de nucléons de chacun des noyaux entrant en collision. Par rapport aux énergies du SPS, on s'attend à ce que des températures plus élevées soient atteintes et que la phase plasma dure plus longtemps. De nouveaux phénomènes y ont été observés, comme la

suppression des jets de particules à grande impulsion transverse (voir fait marquant, novembre 2003). Cette suppression, jusqu'à un facteur 5 dans les collisions les plus centrales, ne peut s'interpréter qu'en supposant le passage du système par un état très dense en charges de couleurs, qui serait le plasma de quarks et de gluons.

Compte tenu des observations faites au SPS du CERN, les résultats concernant la production de la résonance J/Ψ aux énergies du RHIC étaient très attendus. Seule l'expérience PHENIX est capable de la mesurer, en utilisant des voies de désintégration différentes (paires d'électrons ou de muons de charges opposées) dans deux domaines cinématiques. La campagne de mesures de 2002 pour les collisions entre noyaux d'or ($Au + Au$) n'apporta pas une statistique satisfaisante, parce que la luminosité du collisionneur était insuffisante et le détecteur incomplet. La campagne 2004 pour les mêmes collisions $Au + Au$ fut très productive et les premiers résultats, préliminaires, ont été présentés à la dernière conférence internationale couvrant ce domaine de recherche (« Quark Matter 2005 » à Budapest), en même temps que ceux de la campagne 2005 concernant les collisions entre noyaux de cuivre ($Cu + Cu$).

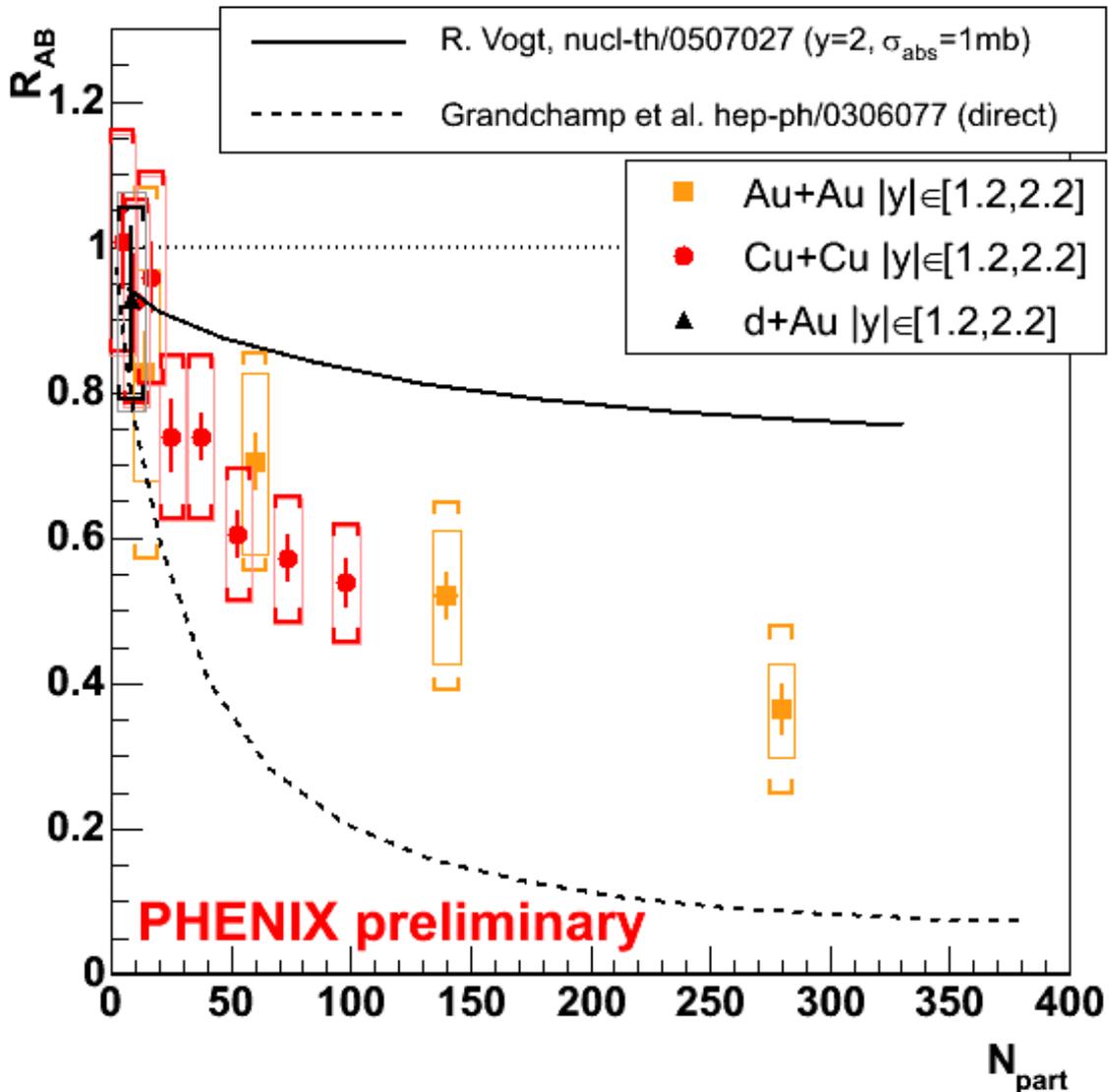
La production de J/Ψ dans la voie de désintégration en muons a été étudiée par PHENIX en fonction du paramètre d'impact des collisions noyau-noyau, représenté en abscisses sur la figure par le nombre de nucléons dits participants, d'autant plus grand que le paramètre d'impact est petit ou la collision plus centrale. L'expérience PHENIX comprend un ensemble de détecteurs de centralité servant à estimer le paramètre d'impact par l'intermédiaire d'un modèle géométrique simple. La quantité portée en ordonnées sur la figure est ce qu'on appelle le facteur de modification nucléaire. Il serait égal à 1 si, pour la production de J/Ψ , une collision noyau-noyau pouvait être assimilée à une simple superposition de collisions entre nucléons participants. Plus précisément, il est égal au nombre $N_{AB}(J/\Psi, b)$ de J/Ψ par collision noyau-noyau ($A + B$) à paramètre d'impact donné b , divisé par le nombre $C(A + B, b)$ de collisions nucléon-nucléon dans les mêmes collisions $A + B$ au même paramètre d'impact b et par le nombre $N_{pp}(J/\Psi)$ de J/Ψ par collision proton-proton ($p + p$). Le nombre $C(A + B, b)$ est estimé à l'aide du modèle géométrique mentionné ci-dessus. La production de J/Ψ a été mesurée dans les collisions $p + p$ à la même valeur de $\sqrt{s_{NN}}$ par l'expérience PHENIX, ce qui supprime une bonne partie des incertitudes systématiques dans le rapport $N_{AB}(J/\Psi, b) / N_{pp}(J/\Psi)$. La figure regroupe les résultats obtenus pour les collisions $Au + Au$, $Cu + Cu$ et deuton-or ($d + Au$, campagne 2003).

Le rapport de modification nucléaire mesuré décroît d'une valeur proche de 1 pour les collisions les plus périphériques jusqu'à environ 0,35 pour les collisions $Au + Au$ les plus centrales. Deux prédictions théoriques sont également montrées sur la figure. La première tient compte des effets de matière nucléaire froide, attendus en l'absence de plasma et déterminés pour être en accord avec les résultats de PHENIX pour les collisions $d + Au$. Elle aboutit à une suppression dite normale du J/Ψ , moindre que la suppression mesurée. La seconde prédiction suppose la dissolution de la résonance J/Ψ dans un plasma de quarks et de gluons, avec des paramètres extrapolés en énergie par rapport aux paramètres qui rendaient compte de l'absorption anormale observée au SPS. Elle aboutit à une suppression bien plus grande que la suppression mesurée.

Au vu de ces résultats, on peut dire que les effets du plasma sur la résonance J/Ψ sont plus complexes que la prédiction théorique simple de Matsui et Satz. Des modèles plus compliqués sont également disponibles, faisant notamment intervenir la régénération de la résonance J/Ψ quand le système se dilate après avoir atteint sa densité maximale, plus probable aux énergies du RHIC qu'à celles du SPS car les sections efficaces de production de quarks charmés y sont

plus grandes. Ces modèles sont en train d'être confrontés non seulement aux résultats ici présentés mais aussi à des résultats plus détaillés comme les distributions en impulsion transverse et en rapidité de la résonance J/Psi.

Figure



Rapport de modification nucléaire R_{AB} pour la production de J/Psi dans les collisions noyau-noyau ($A + B$) en fonction de la taille du système en collision (nombre de nucléons participants N_{part} à paramètre d'impact donné). Les points avec les barres d'erreur sont les données. Les lignes sont les prédictions théoriques sans plasma (trait plein) et avec plasma (tirets).

Contact :

Jean Gosset (jean.gosset@cea.fr) et Hugo Pereira (pereira@hep.saclay.cea.fr)

Pour en savoir plus :

Le site de l'expérience PHENIX (<http://www.phenix.bnl.gov/>)

Le « livre blanc » de l'expérience PHENIX sur les campagnes de mesures 2001-2003
[Nuclear Physics A757(2005)184, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2005.03.086>]

Le site de la conférence internationale « Quark Matter 2005 » (<http://qm2005.kfki.hu/>) avec
l'exposé de Hugo Pereira, « PHENIX results on J/Psi production in Au + Au and Cu + Cu
collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV » (http://qm2005.kfki.hu/talk2_select.pshtml?sel=129)