Mesure de la production de J/ψ dans les collisions Cu+Cu et Au+Au à $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV par l'expérience PHENIX à RHIC

Hugo Pereira Da Costa - CEA Saclay, 14 Octobre 2005

Introduction

principe des mesures

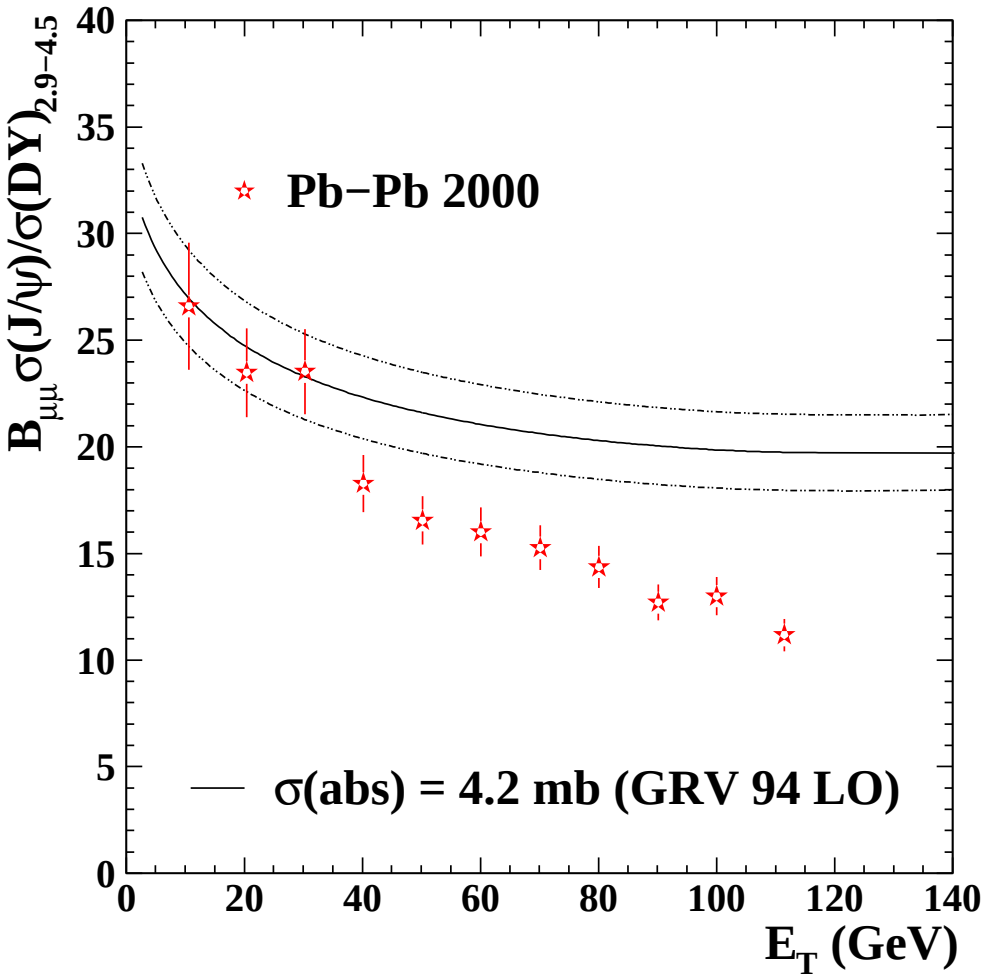
Résultats p+p et d+Au (2003)

Résultats Au+Au (2004) et Cu+Cu (2005)

Conclusion

Question: **formation du plasma de quarks et de gluons dans les collisions d'ions lourds ultrarelativistes**

Collaboration NA50, hep-ex/0412036



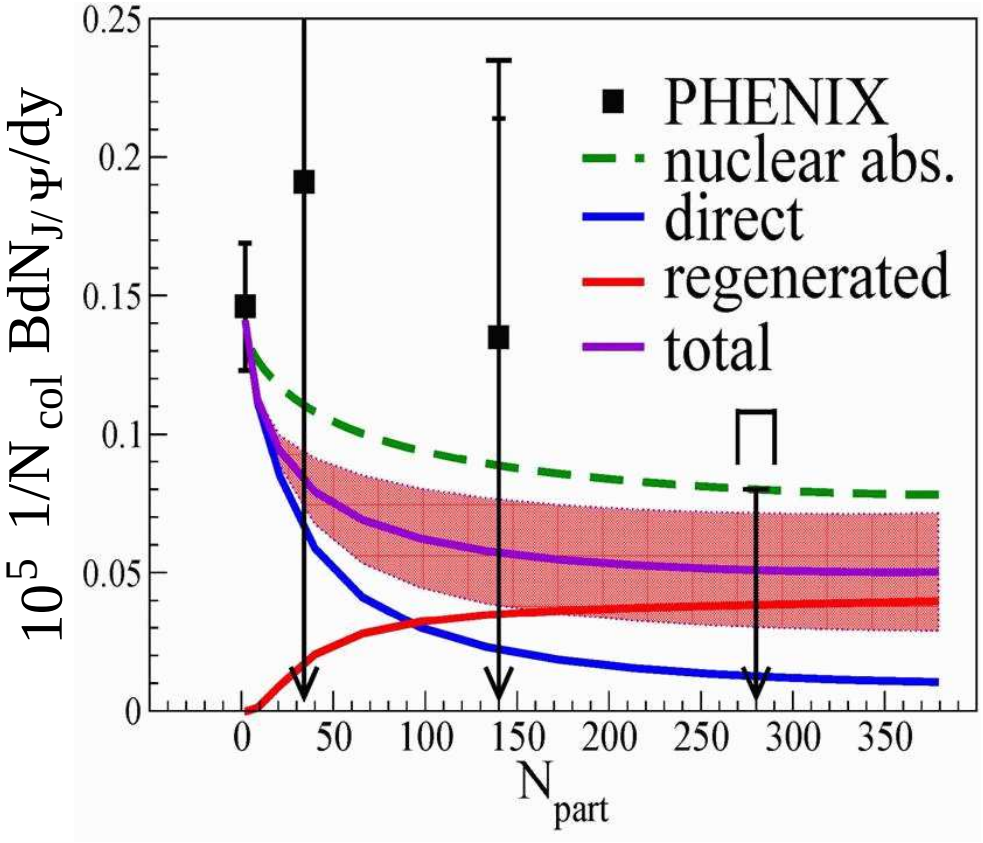
Utilisation du J/ψ ($c\overline{c}$) comme sonde du milieu formé dans la collision

Suppression du J/ψ vs énergie transverse observée au SPS ($\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV)

Mécanismes proposés:

- absorption nucléaire *normale* et shadowing
- absorption nucléaire *anormale* due au plasma de quarks et de gluons
- recombinaison des paires c, $\overline{c}$

Phys. Rev.C **69**, 014901 (2004)



Mesure à $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Résultats PHENIX Run 2 (2002)
spectromètre incomplet
faible luminosité (24 μb^{-1})
statique **très** limitée

Prise de donnée Run 4 (2004)
spectromètre complet
luminosité $\times 10$
$\Rightarrow$ mesure de plus grande précision

bras central

hadrons, photons et <u>électrons</u>

$J/\psi \to e^+e^-$

$p > 0.2$ GeV/c

$|y| < 0.35$

$\Delta\Phi = \pi$

bras muons

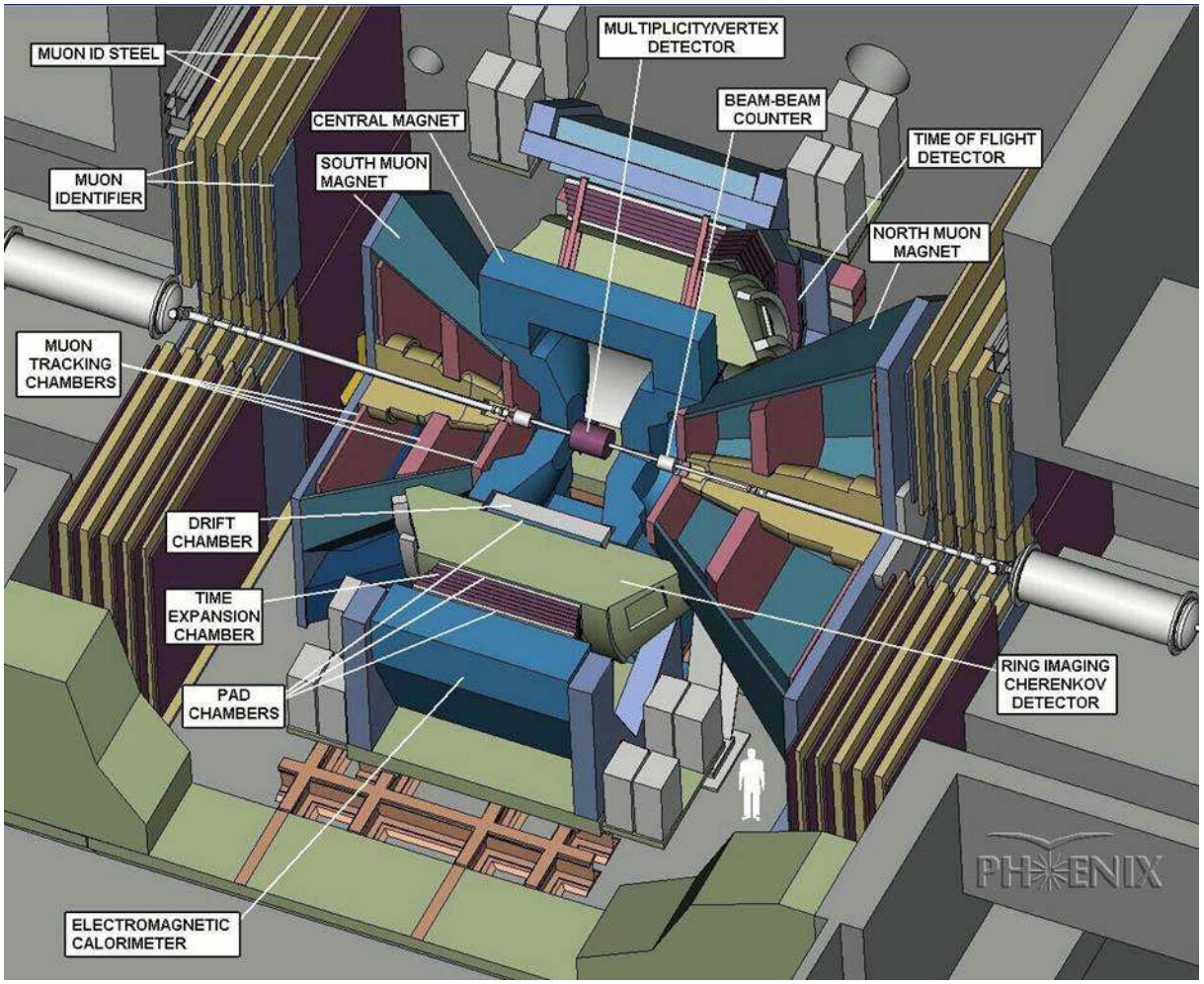
<u>muons</u> vers l'avant

$J/\psi \to \mu^+\mu^-$

$p > 2$ GeV/c

$|y| \in [1.2, 2.4]$

$\Delta\Phi = 2\pi$



mesure de la centralité des collisions

BBC (Beam Beam Counters) nord et sud: scintillateurs + PM

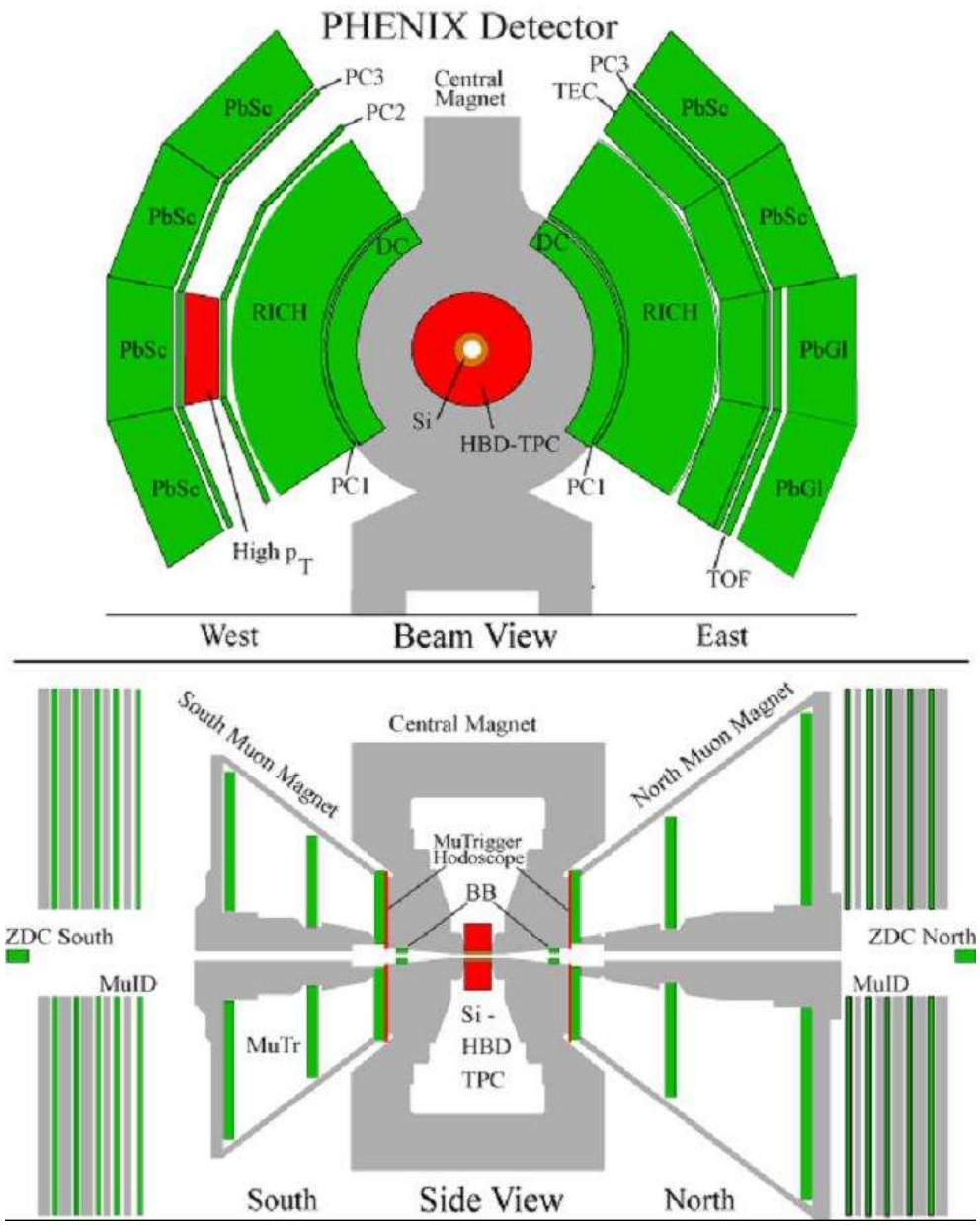
ZDC (Zero Degree Calorimeter) nord et sud: calorimètres hadroniques

mesure des électrons

- identification à l'aide des RICH
- mesure d'impulsion dans les chambres à dérive + chambres à pads
- matching avec mesure d'énergie dans les calorimètres électromagnétiques

mesure des muons

- selection à l'aide de l'absobeur frontal
- identification à l'aide de tubes Iarocci (MuID) + absorbeurs
- mesure de l'impulsion à l'aide de chambres à cathodes stripées (MuTr)



Trigger minimum bias (MB)

déclenchement sur un nombre minimum de tube touchés dans le BBC

Trigger de niveau 1 (L1)

pour les bras muons: “ou” logique entre tubes du MuID appartenant aux différents plans de détection

déclenchement sur des événements possédant deux muons

Trigger de niveau 2 (L2)

pour les bras muons: reconstruction succincte des trajectoires

- dans le MuID (L2MUI)
- dans le MuTr (L2MUT)

déclenchement sur des événements possédant deux muons (L2MUI)
avec une masse invariante $\geq$ 2 GeV (L2MUTR)

Année	Ions	Luminosité	trigger
2002	Au+Au@200 GeV p+p@200GeV	24 μb^{-1} 150 nb^{-1}	
2003	d+Au@200 GeV p+p@200 GeV	2.74 nb^{-1} 350 nb^{-1}	MB + L1 MB + L1
2004	Au+Au@200 GeV p+p@200 GeV	241 μb^{-1} 325 μb^{-1}	MB + L2MUI MB + L1
2005	Cu+Cu@200 GeV p+p@200 GeV	3.06 nb^{-1} 3.72 pb^{-1}	MB + L1 + L2MUT MB + L1 + L2MUT

Les données Run3 p+p sont utilisées comme référence pour le calcul de rapport de modification nucléaire

Les données Run3 d+Au servent de ligne de base pour l'absorption nucléaire **normale**

Ce sont des résultats **finaux** (publiés)

Les résultats Au+Au at Cu+Cu sont **préliminaires**, présentés à Quark Matter 2005 (Budapest)

Principe des mesures

Définition:

grandeur *arbitraire* permettant expérimentalement de catégoriser les événements en fonction de leur *paramètre d'impact*.

Par **construction** la distribution d'événements minimum bias en fonction de la centralité est plate.

[0,10%]	10% des événements correspondant aux collisions les plus centrales
[90,100%]	10% des événements correspondant aux collisions les plus périphériques

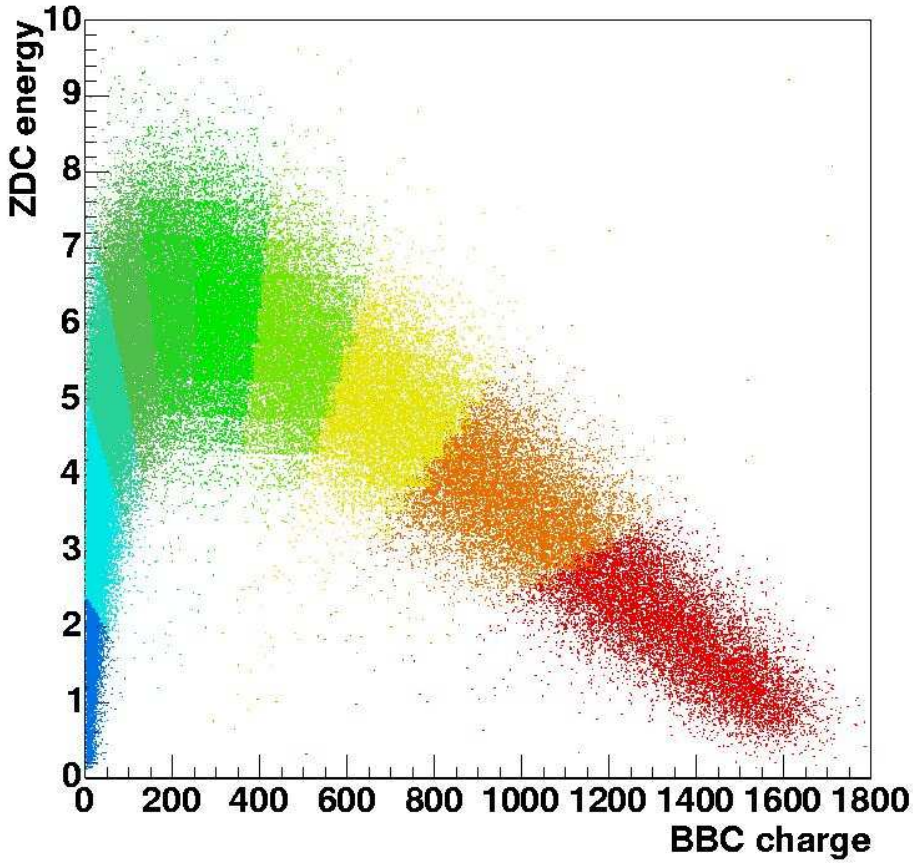
Grandeurs physiques:

- b paramètre d'impact
- N_{col} nombre de collisions nucléon-nucléon
- N_{part} nombre de nucléons participant à la collision

Ces grandeurs sont corrélées; elles sont calculées pour chaque classe de centralité à l'aide de simulations, à partir d'un modèle du noyau (modèle de Glauber, Nucl. Phys. **B21**, 135, 1970).

La méthode de mesure de la centralité est choisie de façon à ce qu'elle soit corrélée au mieux à ces grandeurs physiques.

ZDC vs BBC - Run4 Au+Au



Détecteurs utilisés:

- la charge dans le BBC

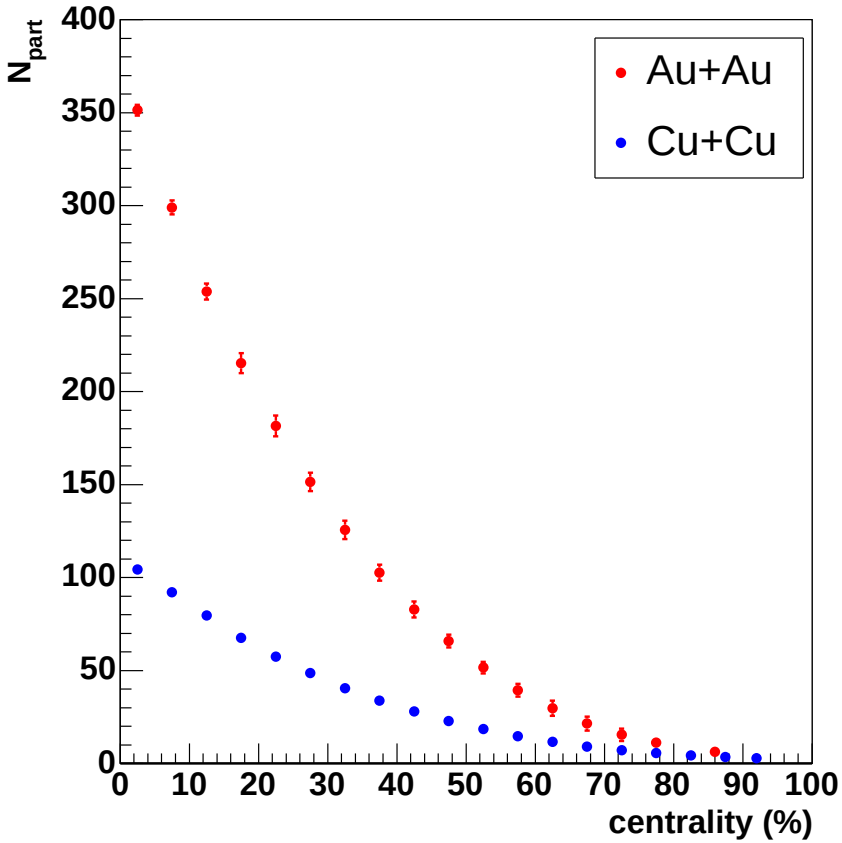
  mesure le nombre de particules produites vers l'avant.

- l'énergie déposée dans le ZDC

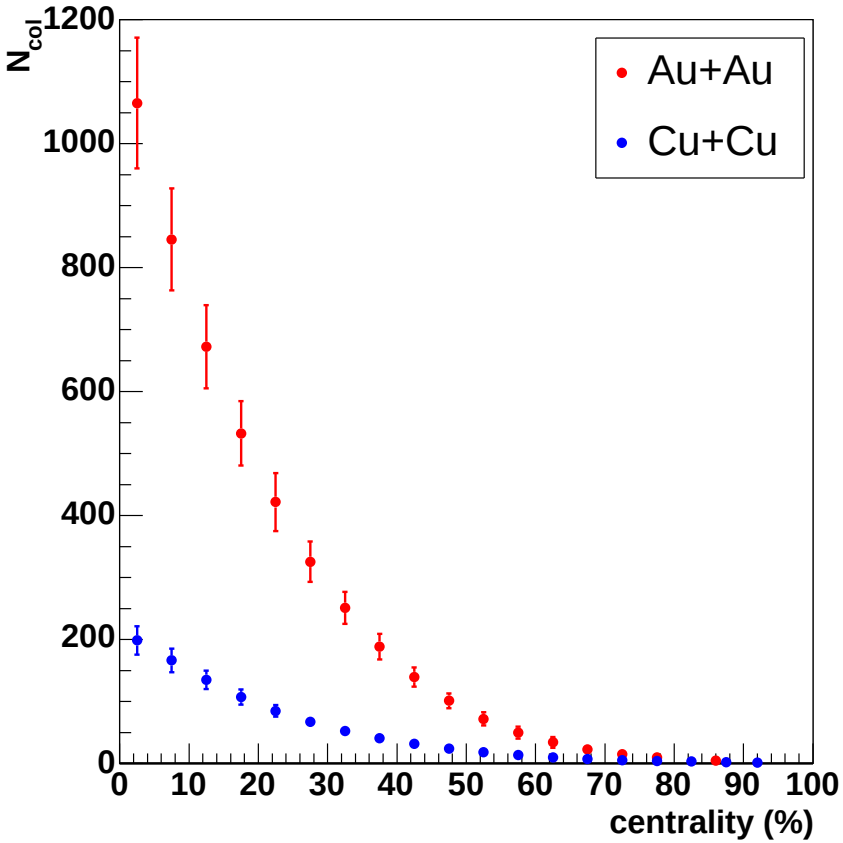
  mesure le nombre de neutrons spectateurs

Note: pour le run5 (Cu+Cu) seul le BBC est utilisé.

nombre de nucléons participants



nombre de collisions nucléon-nucléon



$$B\frac{dN_{\mathrm{J}/\psi}}{dy} = \frac{N_{\mathrm{J}/\psi}}{\Delta y A \varepsilon_{\mathrm{J}/\psi} \varepsilon_{\mathrm{BBC}}^{\mathrm{J}/\psi}} / \frac{N_{\mathrm{BBC}}}{\varepsilon_{\mathrm{BBC}}^{\mathrm{MB}}}$$

avec

- B rapport de branchement pour le canal de désintégration détecté
- y la rapidité du J/ψ (mesuré)
- $N_{\mathrm{J}/\psi}$ le nombre de J/ψ (mesuré)
- $A\varepsilon_{\mathrm{J}/\psi}$ corrections d'efficacité et d'acceptance du détecteur (simulé)
- $\varepsilon_{\mathrm{BBC}}^{\mathrm{J}/\psi}$ efficacité du trigger (ici BBC) sur des événements contenant un J/ψ (simulé)
- N_{BBC} nombre d'événements (mesuré)
- $\varepsilon_{\mathrm{BBC}}^{\mathrm{MB}}$ efficacité du trigger pour tout les événements (simulé)

Note: l'efficacité des triggers supplémentaires (L1 et L2) est prise en compte dans $A\varepsilon_{\mathrm{J}/\psi}$

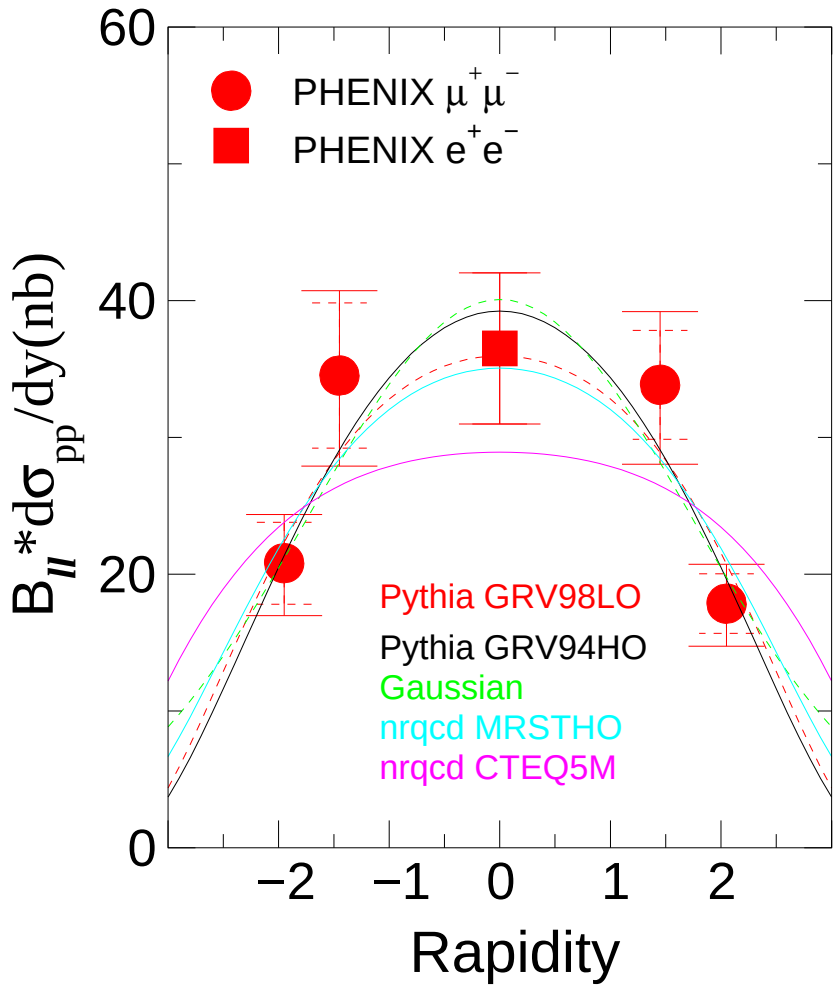
$$R_{\mathrm{AB}} = \frac{dN^{\mathrm{AB}}_{\mathrm{J}/\psi}/dy}{N_{\mathrm{col}} dN^{\mathrm{pp}}_{\mathrm{J}/\psi}/dy}$$

avec

- $dN^{\mathrm{AB}}_{\mathrm{J}/\psi}/dy$ nombre de J/ψ par collision A-B
- $dN^{\mathrm{AB}}_{\mathrm{J}/\psi}/dy$ nombre de J/ψ par collision p-p
- N_{col} nombre de collisions nucléon-nucléon *équivalentes* à une collision A-B
  pour une centralité donnée (simulé)
  permet d'avoir $R_{\mathrm{AA}} = 1$ en l'absence de tout effet d'interaction (normal ou anormal) avec le milieu

p+p et d+Au (2003)

nucl-ex/0507032

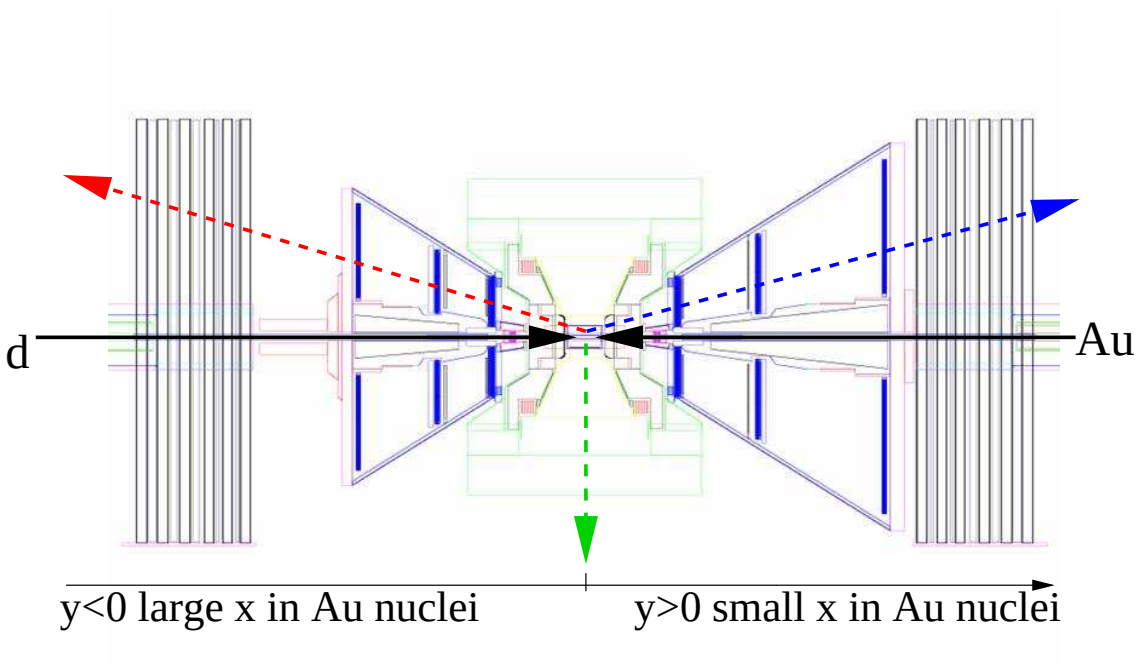


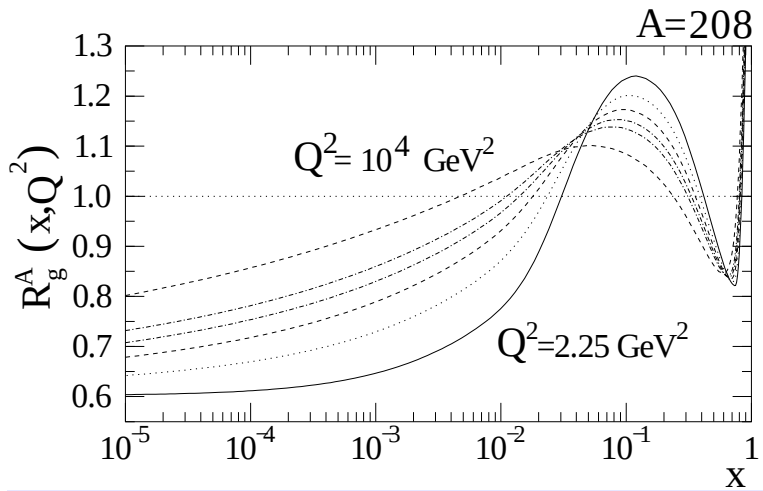
données: $d\sigma_{\rm pp}^{\rm J/\psi}/dy$ vs y

courbes ajustées:
différentes paramétrisations des fonctions de distribution de partons

section efficace totale:

$$\sigma_{\rm pp}^{\rm J/\psi} = 2.61 \pm 0.20 \pm 0.26\ \mu{\rm b}$$



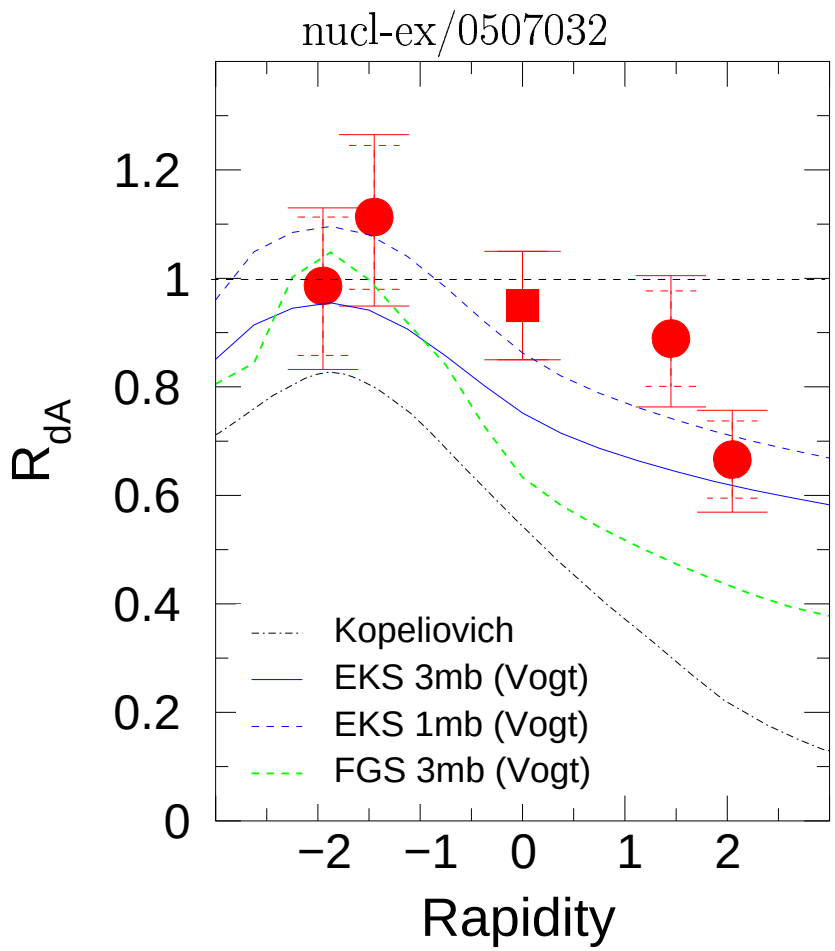


distribution en x des gluons dans un noyau d'Au rapporté à la distribution dans un nucléon

Permet de sonder les différents effets nucléaires attendus:

valeurs à $y < 0$ région des grands x_{Au} → antishadowing

valeurs à $y > 0$ région des petits x_{Au} → shadowing



données: $R_{\mathrm{dA}}^{\mathrm{J}/\psi}$ vs y

courbes:
prédiction pour

- plusieurs paramétrisations du shadowing
- plusieurs sections efficace d'absorption nucléaire

$$\boxed{\sigma_{abs} \in [1,3] \text{ mb}}$$

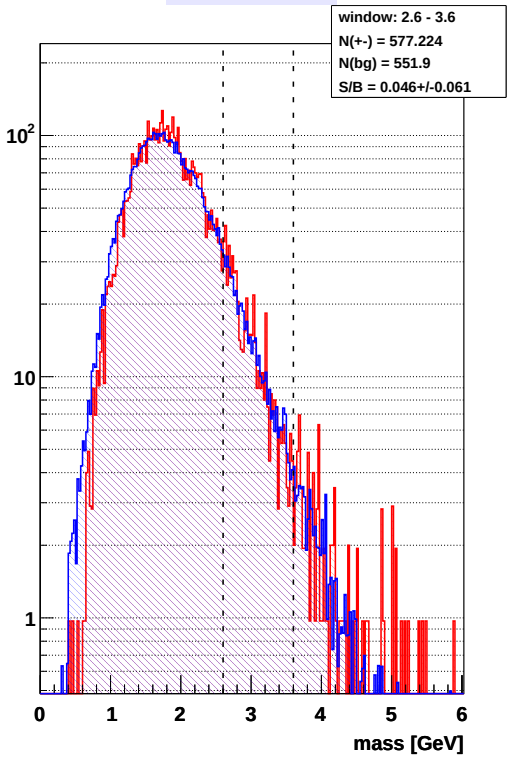
(à comparer à ~ 4.2 mb mesuré au SPS)

- les résultats manquent de précision pour conclure plus quantitativement sur σ_{abs}
- les modèles de *fort* shadowing, tel que FGS ou Kopolievitch, semblent exclus

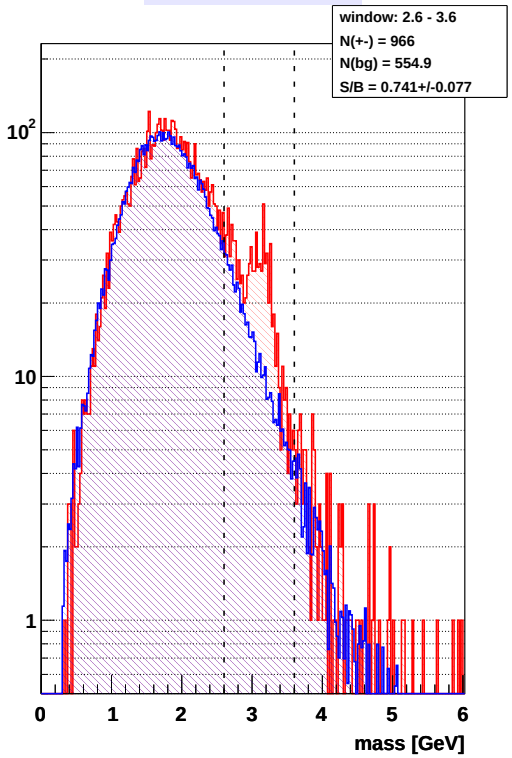
Au+Au (2004) et Cu+Cu (2005)

Détection du J/ψ dans les bras muons [I] (event mixing)

like sign



unlike sign



mesure du J/ψ à l'aide du spectre de masse invariante des paires $\mu^+\mu^-$

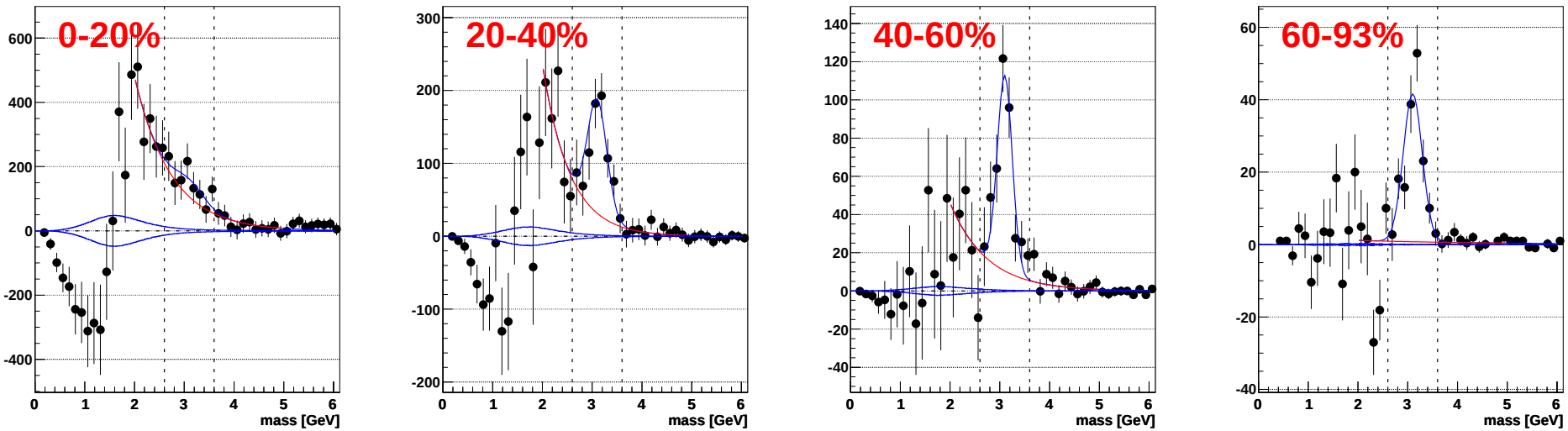
estimation du bruit de fond par *event mixing* normalisé aux spectres $\mu^+\mu^+$ et $\mu^-\mu^-$

nombre de J/ψ estimé par simple comptage dans la fenêtre $[2.6, 3.6]$ GeV après soustraction

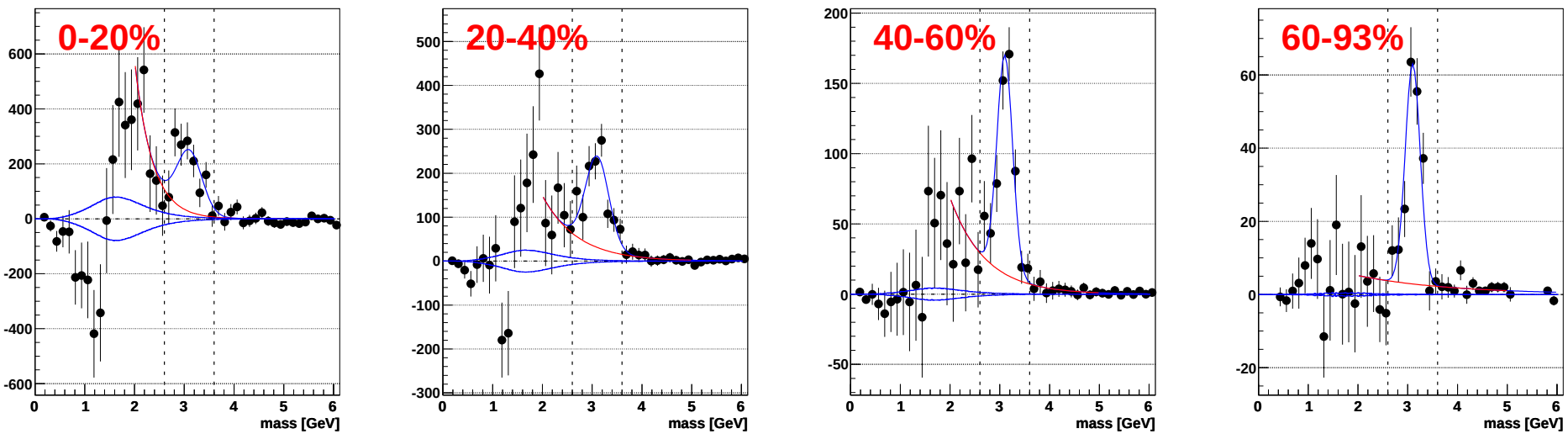
Note: pour Cu+Cu, l'event mixing n'est pas employé.
Les spectres $\mu^+\mu^+$ et $\mu^-\mu^-$ sont soustraits *directement* au spectre $\mu^+\mu^-$

Détection du J/ψ dans les bras muons [II]

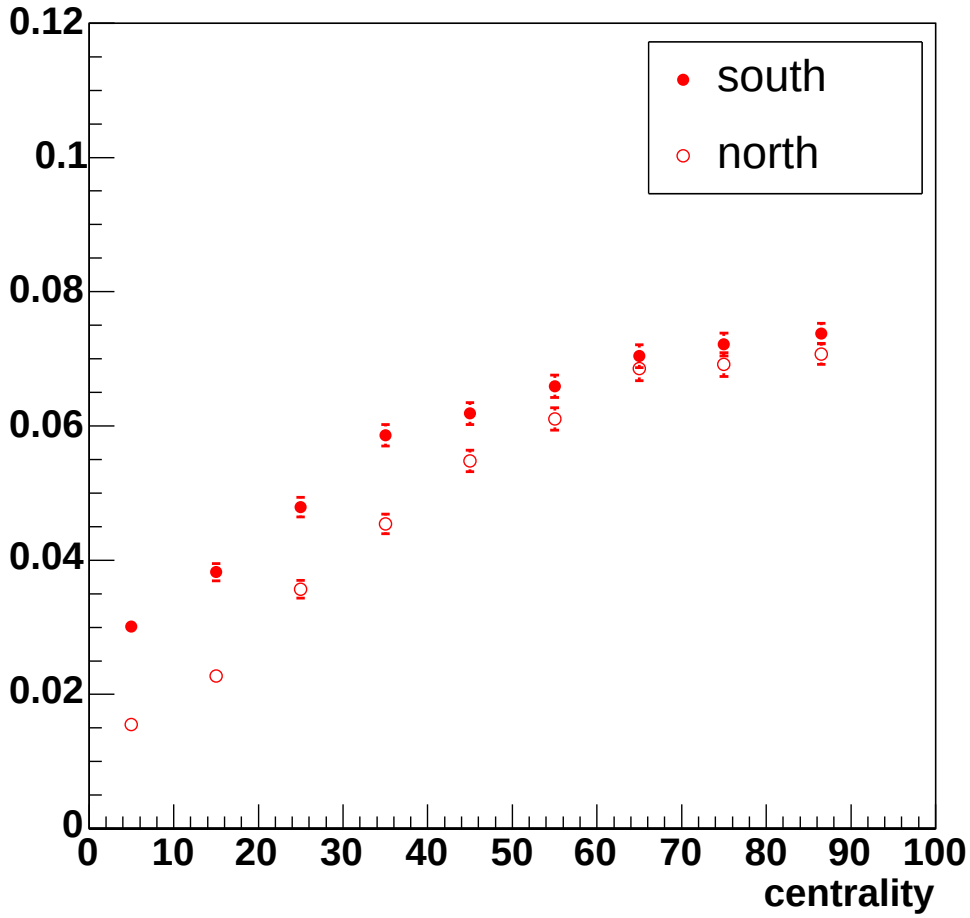
Au+Au Bras Nord



Au+Au Bras Sud



Note: les données Cu+Cu correspondent $\sim$ Au+Au $[40-93\%]$



Simulation réalisée en mélangeant des J/ψ simulés dans des événements réels (embedding)

- par définition, l'acceptance ($\sim$ 10 %) est plate en fonction de la centralité
- l'efficacité diminue avec la centralité à cause de l'occupation dans les détecteurs
- l'effet est plus marqué dans le bras nord ($y > 0$), car à même centralité, la multiplicité est plus grande

Note: les données Cu+Cu correspondent $\sim$ Au+Au [$40 - 93\%$]

extraction du signal:

- variation du facteur de normalisation du bruit de fond mixé de $\pm$ 2 %
- utilisation d'un fit de gaussienne + bruit de fond exponentiel sur le spectre après soustraction
- utilisation du nombre de coups dans les spectres *like-sign* après soustraction (idéalement nul)

le plus grand des écarts mesuré par rapport à la valeur moyenne est utilisé comme erreur systématique

pour Au+Au, c'est l'erreur dominante

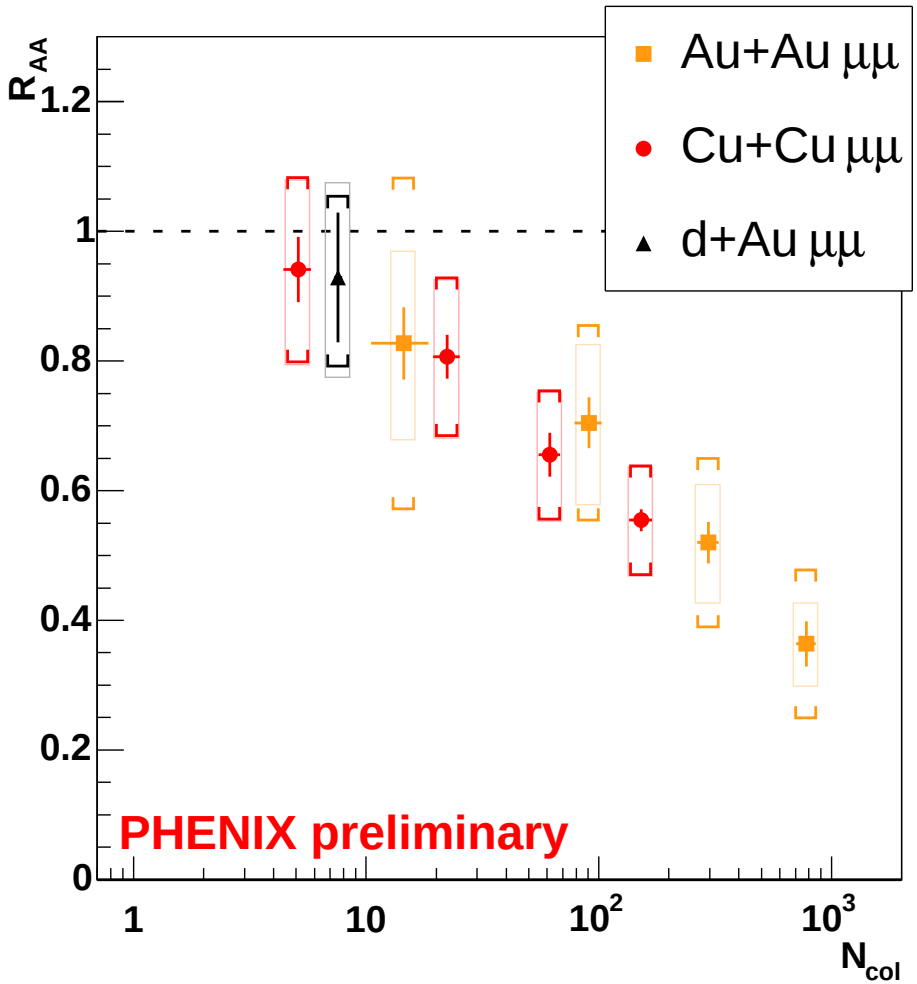
autres contributions:

- incertitude sur l'efficacité$\times$acceptance
  - mesure de l'efficacité des détecteurs
  - dépendance aux distributions simulées de J/ψ
  - incertitude sur l'effet de coupures données réelles vs Monte Carlo
- incertitude sur N_{col}
- incertitude sur la mesure p+p (pour le rapport de modification nucléaire)

Résultats

R_{AA} vs N_{col} dans des collisions Au+Au/Cu+Cu

bras muons $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$



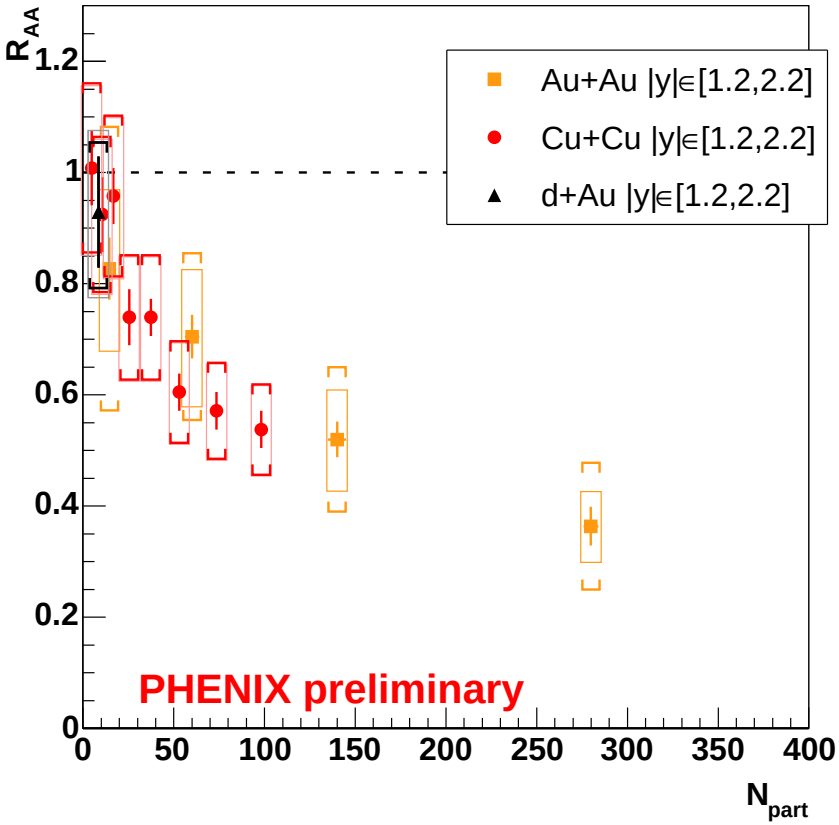
Normalisation: p+p Run 3

Signification des erreurs:

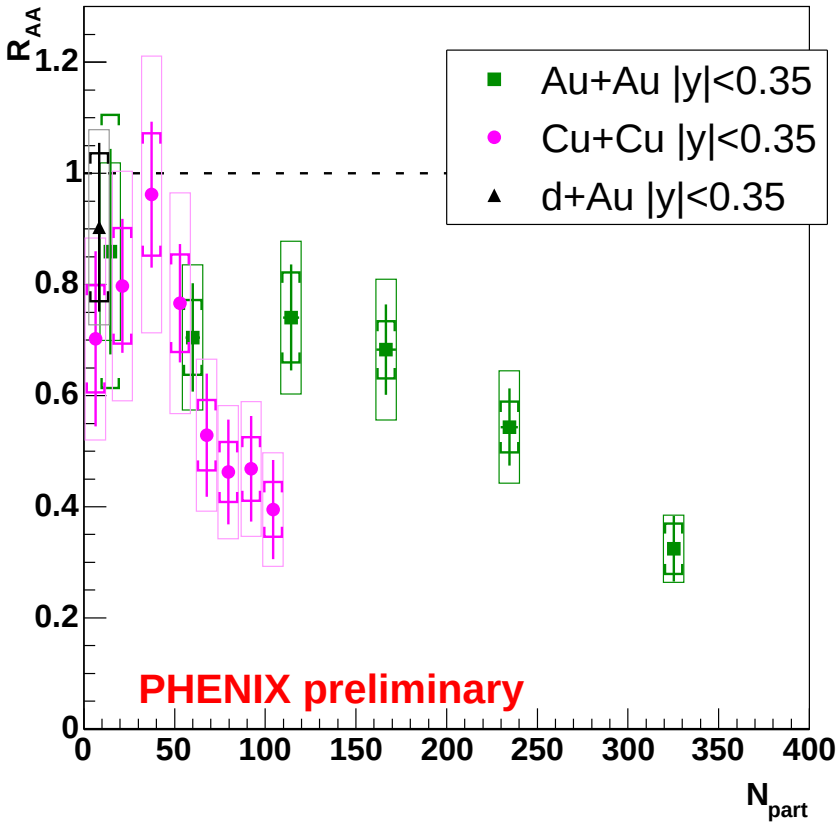
- lignes verticales: erreurs statistiques
- brackets: erreurs systématiques
- rectangles: erreurs systématiques globales

R_{AA} vs N_{part} dans des collisions Au+Au/Cu+Cu [I]

bras muons $J/\psi \to \mu^+\mu^-$

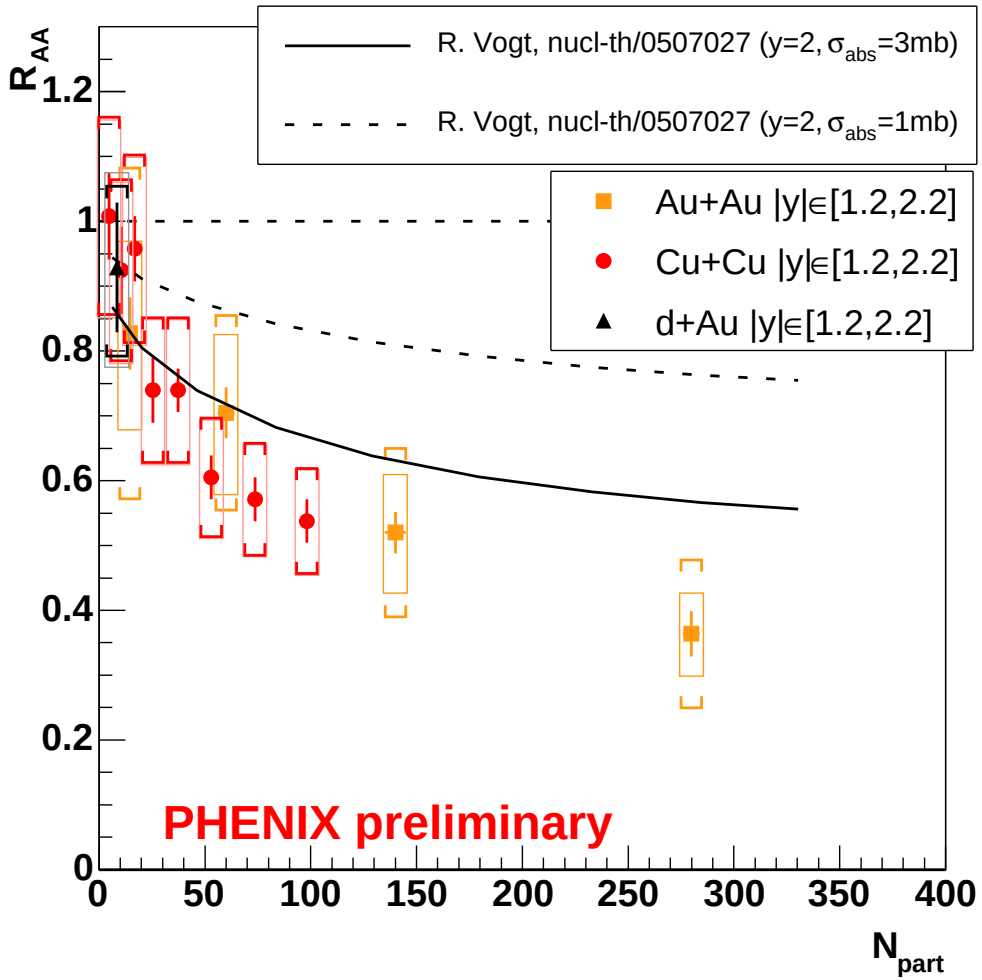


bras central $J/\psi \to e^+e^-$



Suppression d'un facteur ~ 3 dans les collisions les plus centrales
La tendance est différente entre les résultats bras muons ($J/\psi \to \mu^+\mu^-$)
et les résultats bras central ($J/\psi \to e^+e^-$)
ils correspondent à des domaines cinématiques différents

bras muons $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$

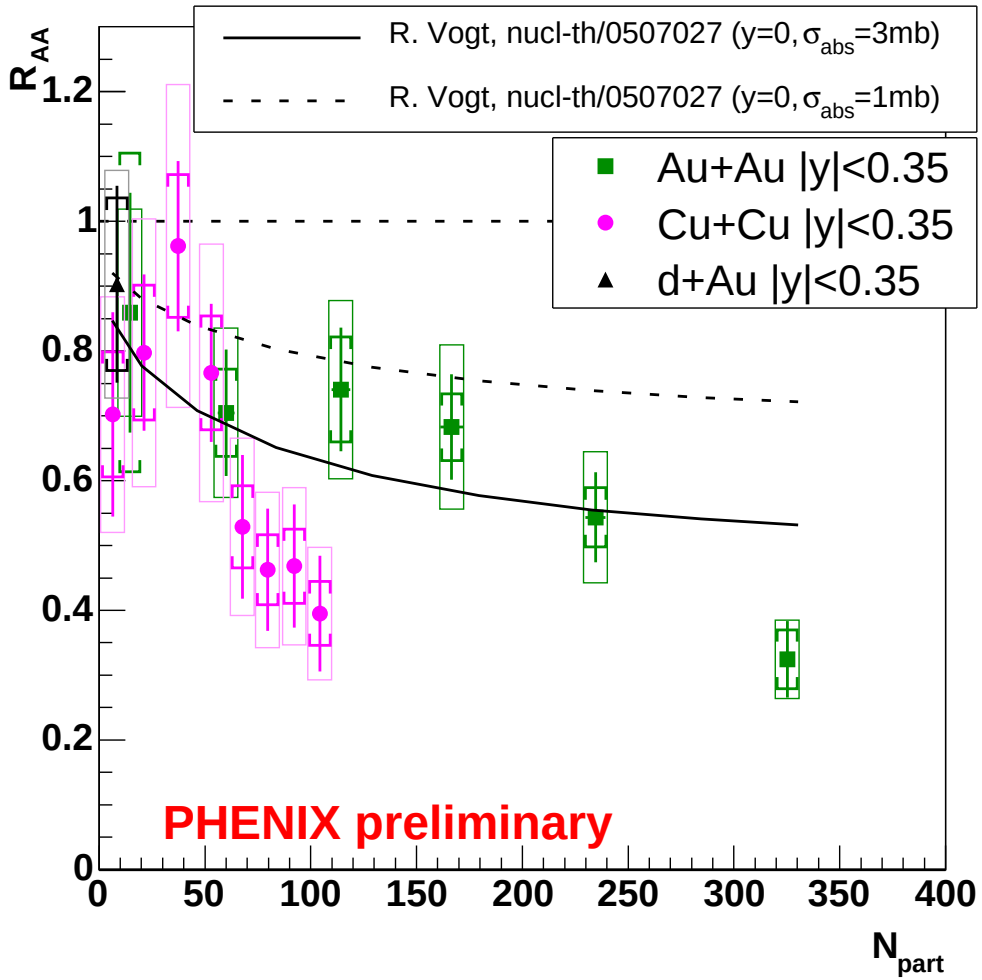


Prédiction par R. Vogt

- Paramétrisation du shadowing: EKS98
- section efficace d'absorption: 3 mb

Note:
vu les résultats d+Au, 3 mb représente une borne sup pour l'absorption nucléaire

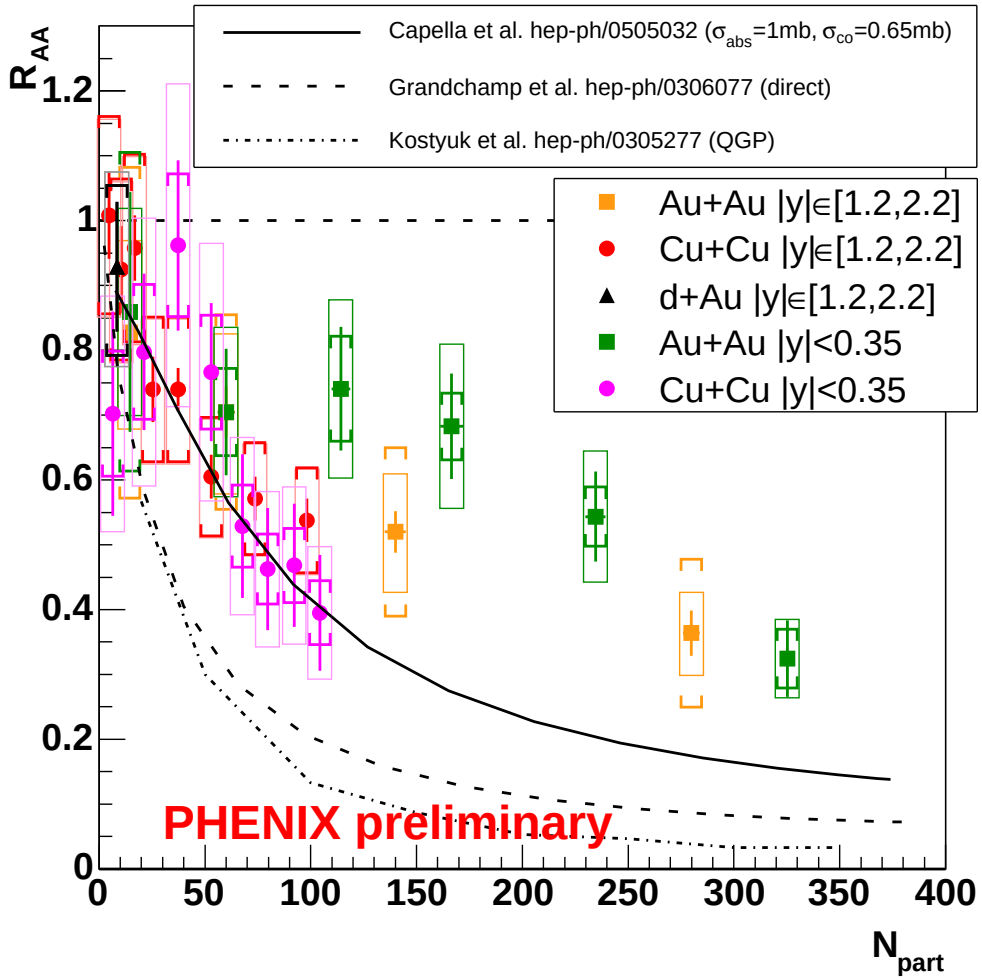
bras central $J/\psi \rightarrow e^+e^-$



Prédiction par R. Vogt

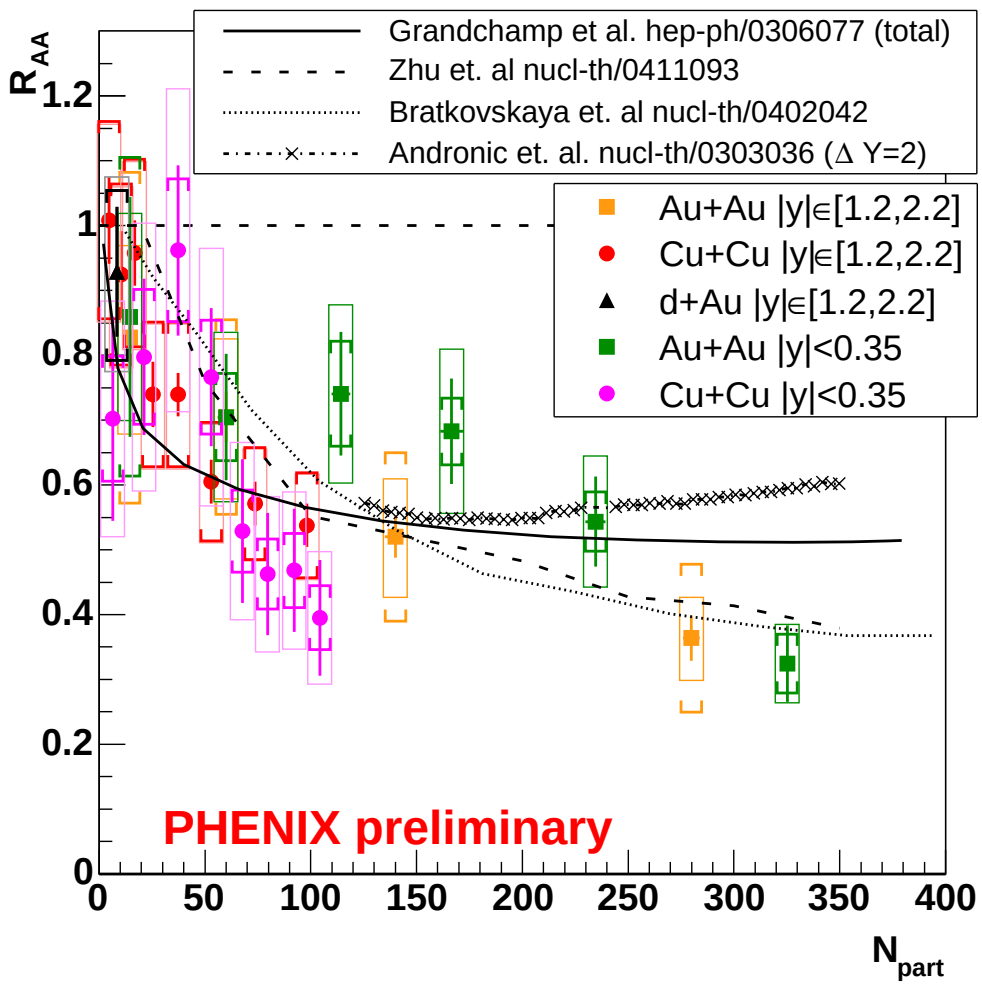
- Paramétrisation du shadowing: EKS98
- section efficace d'absorption: 3 mb

Note:
vu les résultats d+Au, 3 mb représente une borne sup pour l'absorption nucléaire



Tous les modèles présentés reproduisent les données du SPS, et les données PHENIX RUN2

- **Capella et. al.:**
  absorption par des co-movers
- **Grandchamp et. al:**
  absorption QGP
- **Kostyuk et. al.:**
  absorption QGP



Tous les modèles présentés reproduisent les données du SPS, et les données PHENIX RUN2

- **Grandchamp et. al.:**

  absorption QGP + régénération

- **Zhu et. al.:**

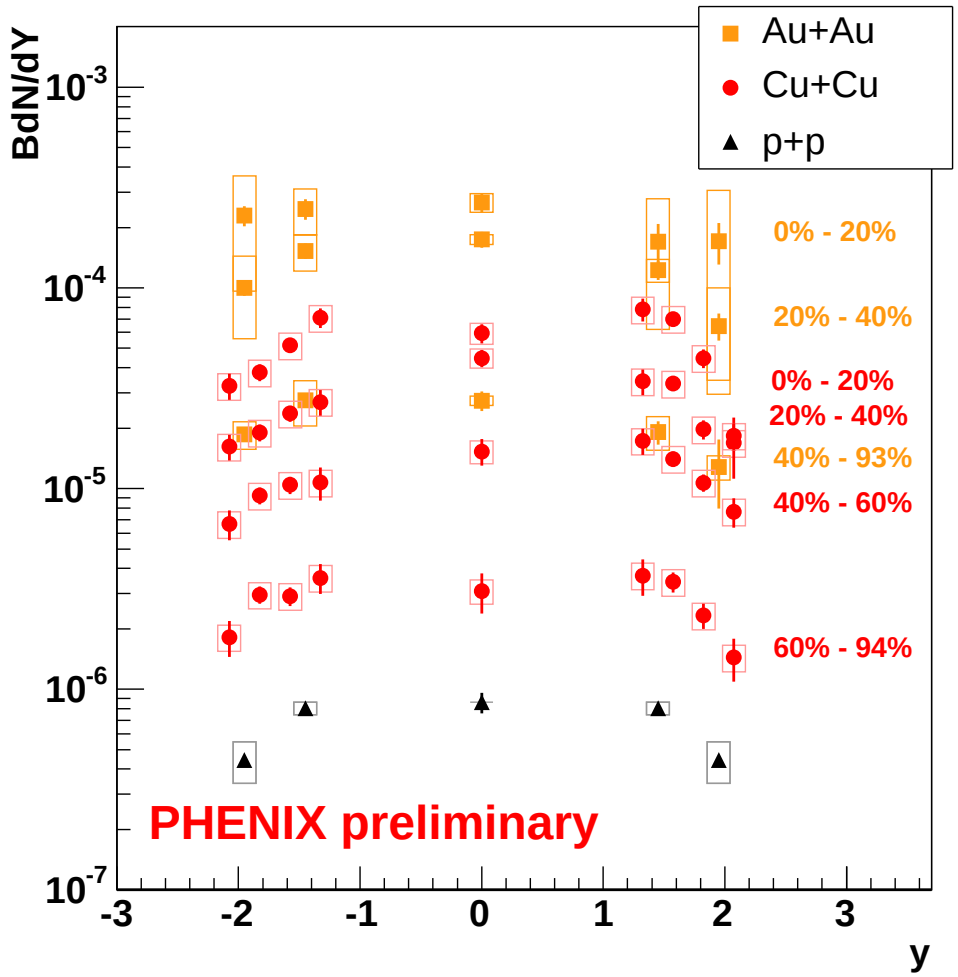
  absorption par des co-movers + transport détaillé des J/ψ dans le milieu (vs p_t)

- **Bratkovskaya et. al.:**

  balance détaillée de la réaction J/$\psi \leftrightarrow c\bar{c}$

- **Andronic et. al.:**

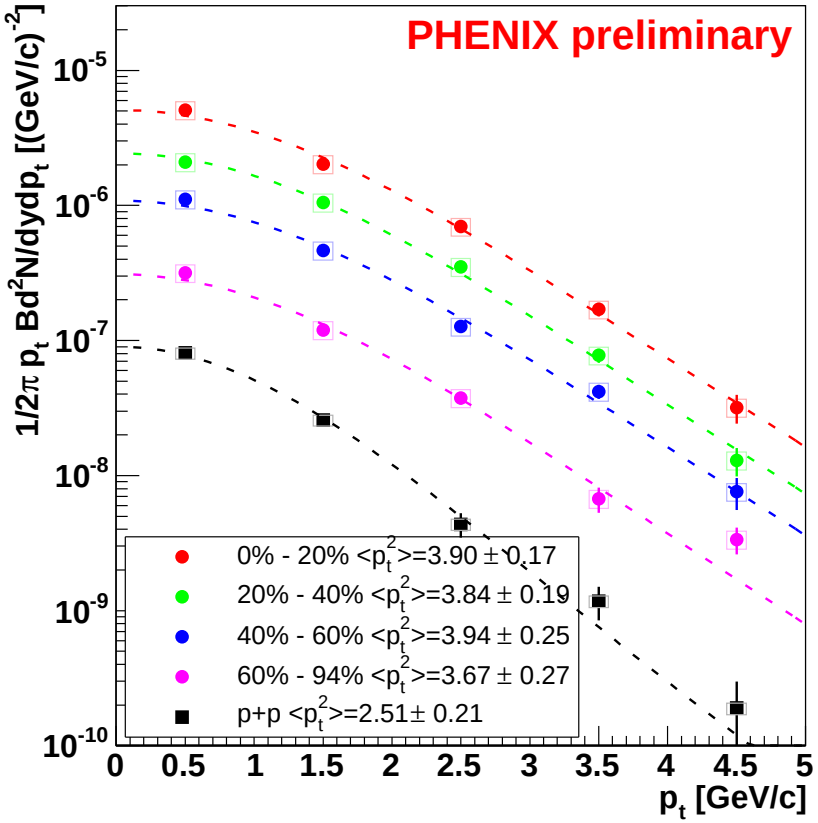
  Statistical Coalescence Model



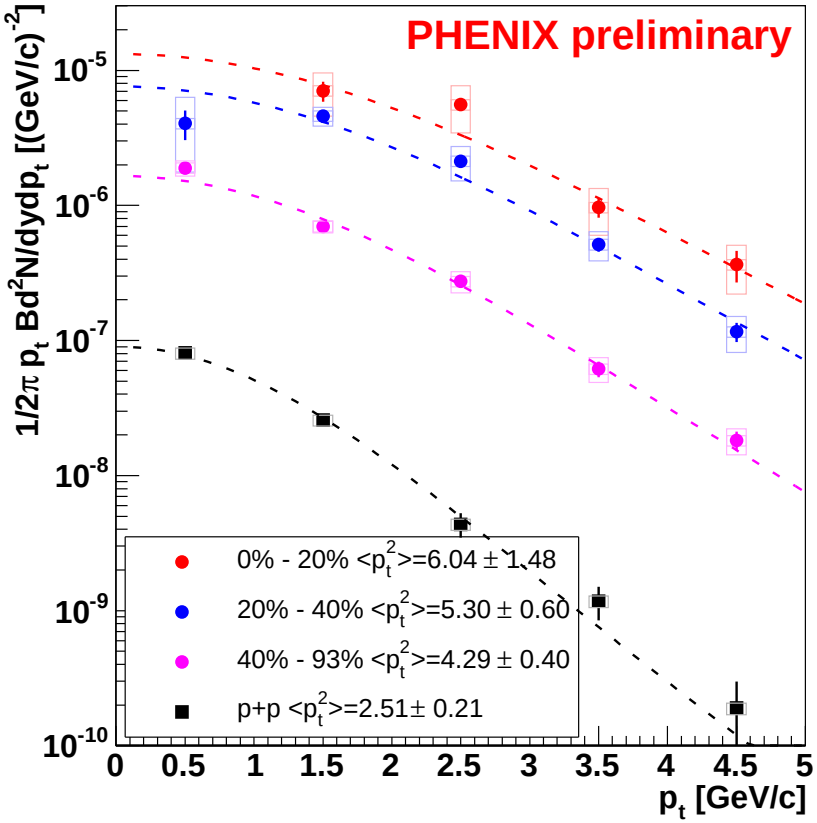
Pas de changement *notable* quant à la forme de la distribution

Certains modèles de recombinaison (Thews, nucl-th/0505055) prévoient un rétrécissement du spectre

bras muons Cu+Cu



bras muons Au+Au

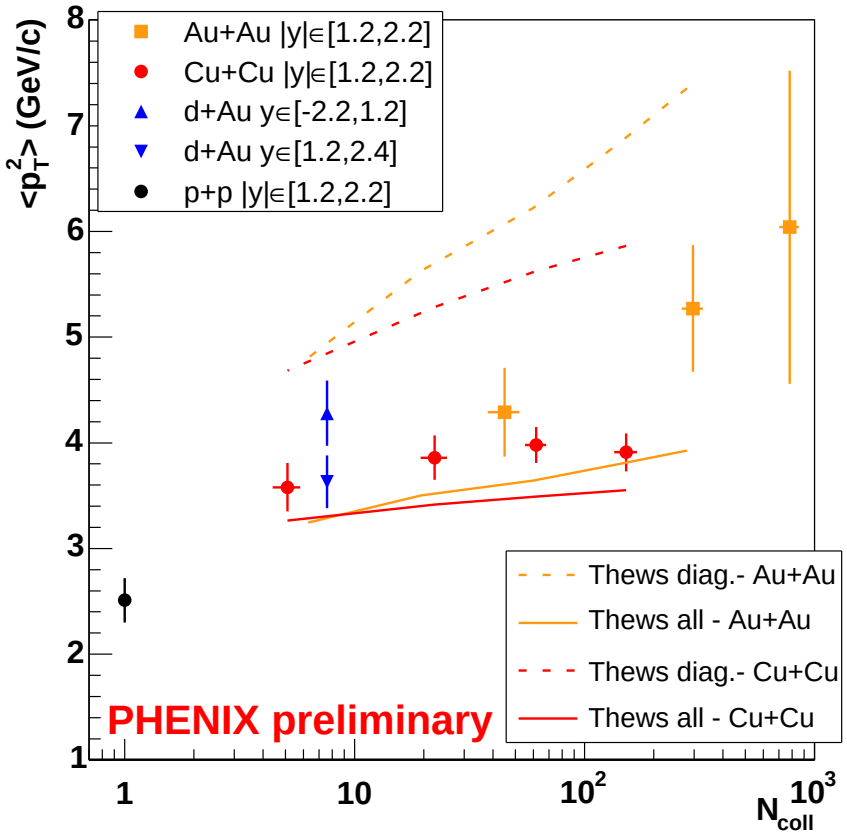


Les spectres en p_t sont utilisés pour calculer $\langle p_t^2 \rangle$.

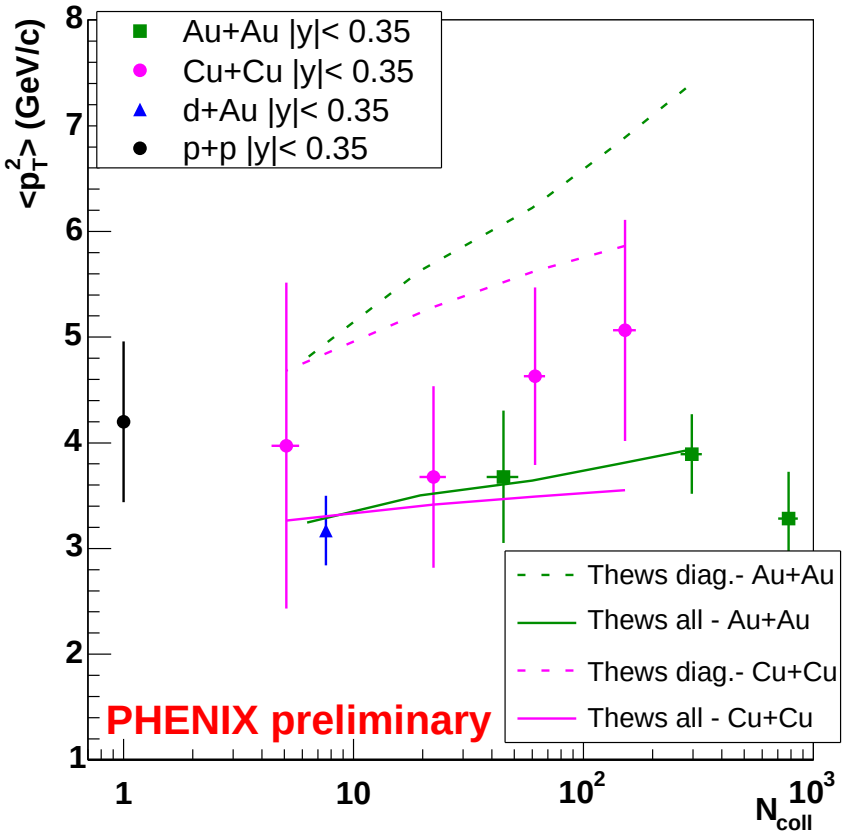
Fonction utilisée pour le fit: $A\left[1+(p_t/B)^2\right]^{-6}$

Déviation par rapport à la fonction fittée dans les collisions centrales Au+Au

bras muons J/$\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$



bras central J/$\psi \rightarrow e^+e^-$



Prédictions:

Thews et. al. (nucl-th/0505055) avec (traits pleins) et sans (traits pointillés) recombinaison

Conclusion

PHENIX a mesuré la production de J/ψ dans des collisions Au+Au et Cu+Cu à $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

La statistique est considérablement supérieure aux résultats obtenus en 2002.

La comparaison aux prédictions théoriques est délicate car

- les erreurs (stat et syst) restent larges
- les prédictions théoriques dépendent fortement de
  - l'absorption nucléaire normale (cf résultats d+Au)
  - la production de J/ψ dans les collisions p+p
  - la production de c et $\overline{c}$

La suppression *normale* du J/ψ ne semble pas suffisante pour expliquer nos mesures

Les modèles de suppression *anormale* capables de reproduire les données SPS surestiment la suppression observée

$\Rightarrow$ nécessité d'introduire des mécanismes supplémentaires, tels que la recombinaison, ou d'utiliser un description plus détaillée de l'interaction des J/ψ avec le milieu

Aucun modèle ne semble reproduire la tendance observée à rapidité nulle (bras centrale)

analyse:

- Analyse des données Run 5 p+p (10× la statistique Run 3 utilisée jusqu'à présent pour la normalisation)
- Réduction des systématiques sur les mesures Run 4 et Run 5
- Mesure du flot du J/ψ

prises de données futures et hardware:

- Prise de données 2006: Au+Au@200 GeV (luminosité attendue 4× la luminosité du Run4)
- Prise de données 2007: d+Au@200 GeV
- upgrade du spectromètre (2007 et après):

  meilleure identification des électrons dans le bras central

  triggers plus sélectifs dans les bras muons