Résultats récents sur le plasma de quarks et de gluons
PANIC 2008

Hugo Pereira Da Costa, CEA Saclay

CEA/SPHN, Lundi 2 Mars 2009

Introduction

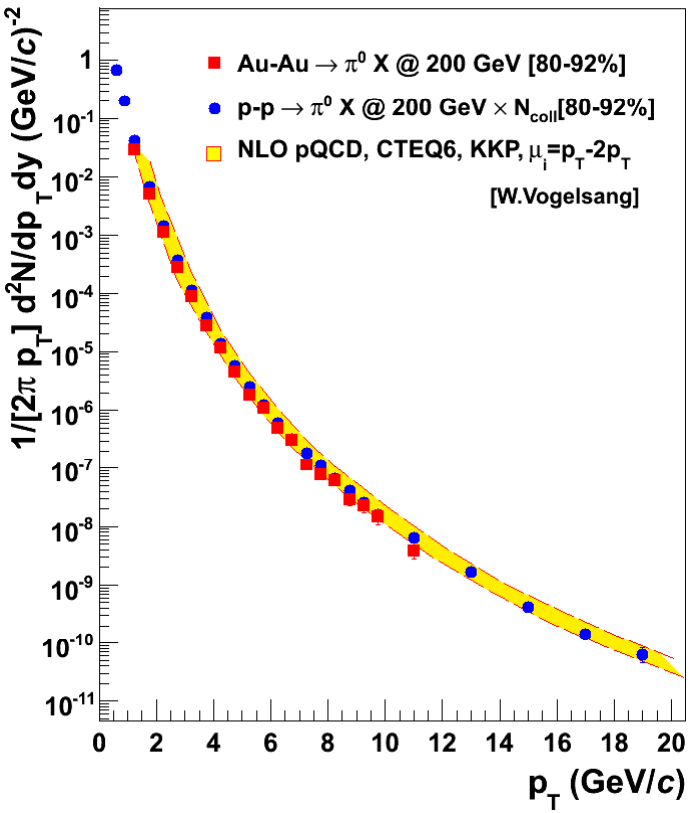
Surtout: RHIC, PHENIX, sondes dures (interactions parton-parton à grand transfert d'énergie).

- Suppression des hadrons de grande impulsion transverse
- Saveurs lourdes (charme et beauté)
- Quarkonias
- LHC

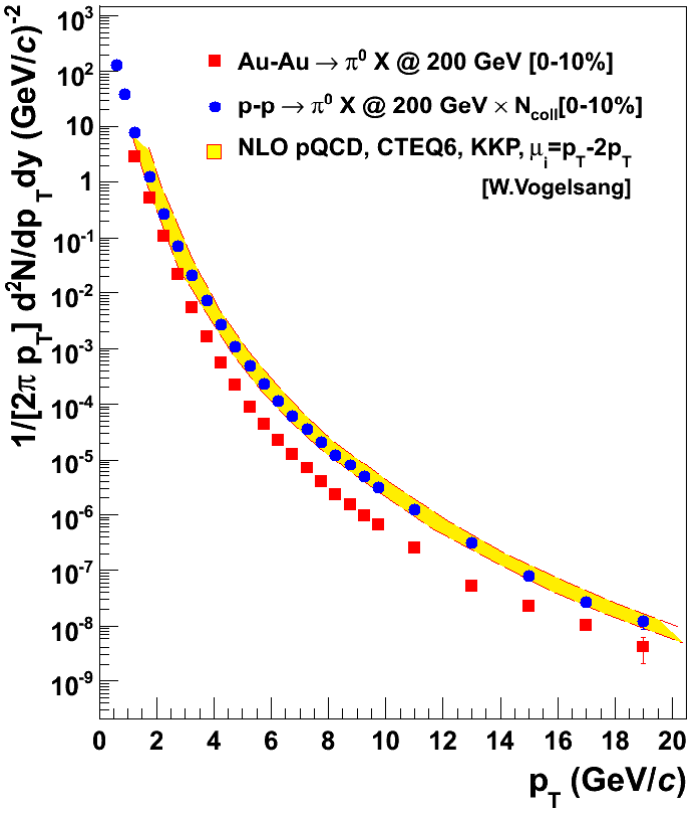
Suppression des jets et hadrons de grande impulsion transverse

Principe des mesures

Collisions p+p et Au+Au périphériques



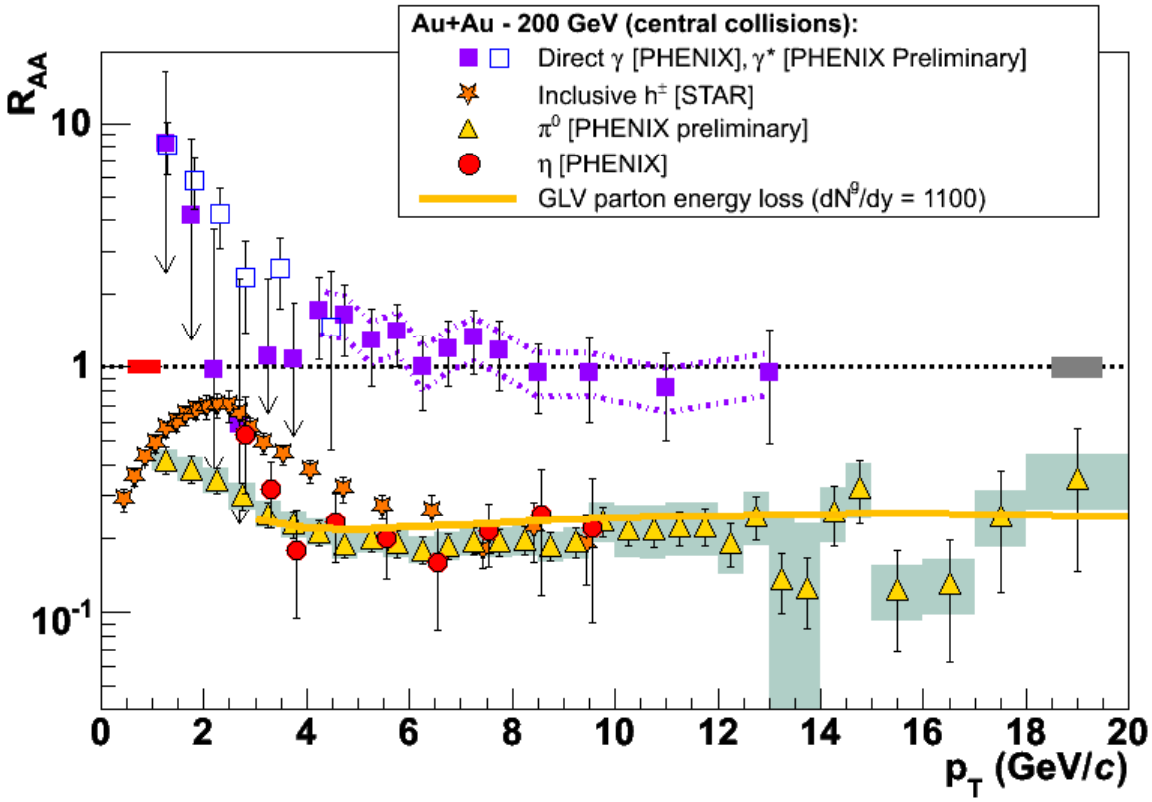
Collisions p+p et Au+Au centrales



Facteur de modification nucléaire :

$$R_{AA} = \frac{\text{Taux de production A+A}}{N_{col}.\ \text{Taux de production p+p}}$$

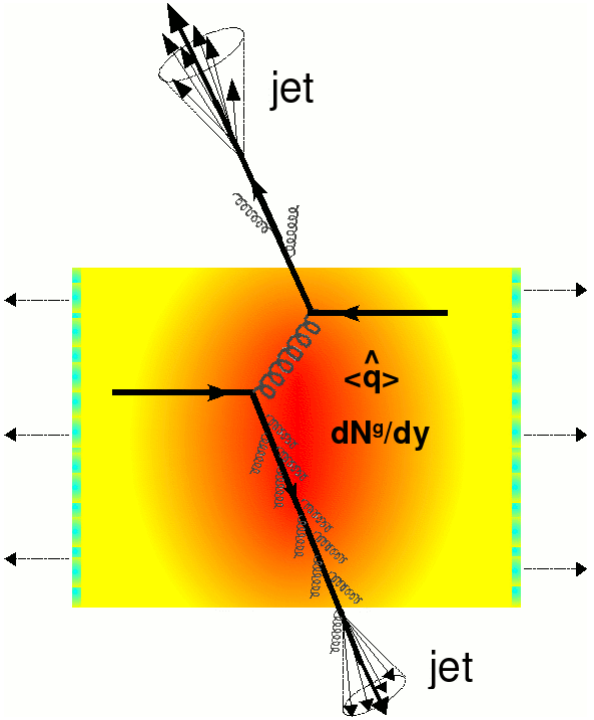
Facteur de modification nucléaire



Les photons ne sont pas affectés.

Les hadrons (π_0, η, etc.) ont $R_{AA} < 1$ (~0.2).

Interprètation

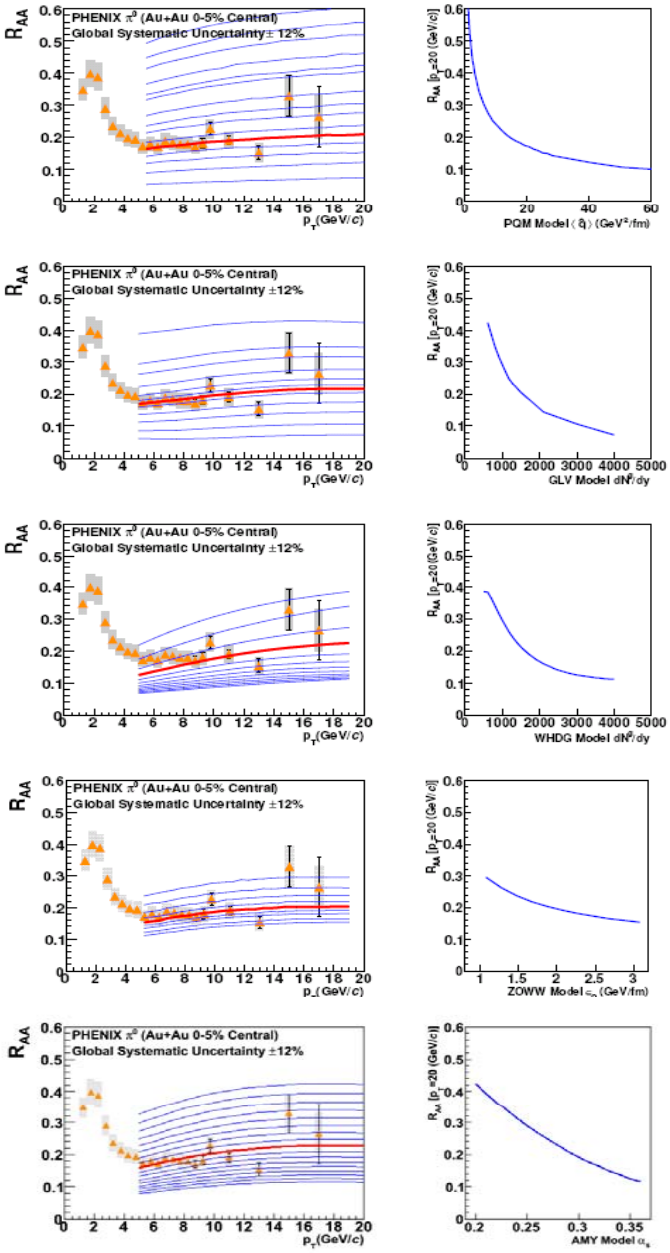


Les partons sont formés par interaction dure (grand transfert d'impulsion transverse) au début de la collision; perdent de l'énergie par rayonnement de gluons, et s'hadronisent (pour former des jets) à l'extérieur du milieu.

Les photons, produits également au début de la collisions sont insensibles à l'interaction forte.

Etudier la perte d'énergie des partons au cours de la traversée du milieu donne accès aux propriétés de ce milieu.

Détermination des propriétés du milieu



PHENIX, arXiv:0801.1665,
J. Nagle WWND08

Pour chaque modèle

1. Variation des paramètres et calcul R_{AA}
2. Minimisation du χ^2 par rapport aux donnée

Les modèles ont des paramètres différents mais équivalents:

- Coefficient de transport $\hat{q}$
- Densité de gluons dN_g/dy
- perte d'énergie par L: ε_0
- Constante de couplage α_s dans le milieu

Propriétés du milieu (2)

PQM $\hat{q} = 13.2^{+2.1}_{-3.2}$ GeV^2/fm

GLV $dN_g/dy = 1400^{+270}_{-150}$

WHDG $dN_g/dy = 1400^{+200}_{-375}$

ZOWW $\varepsilon_0 = 1.9^{+0.2}_{-0.5}$ GeV/fm

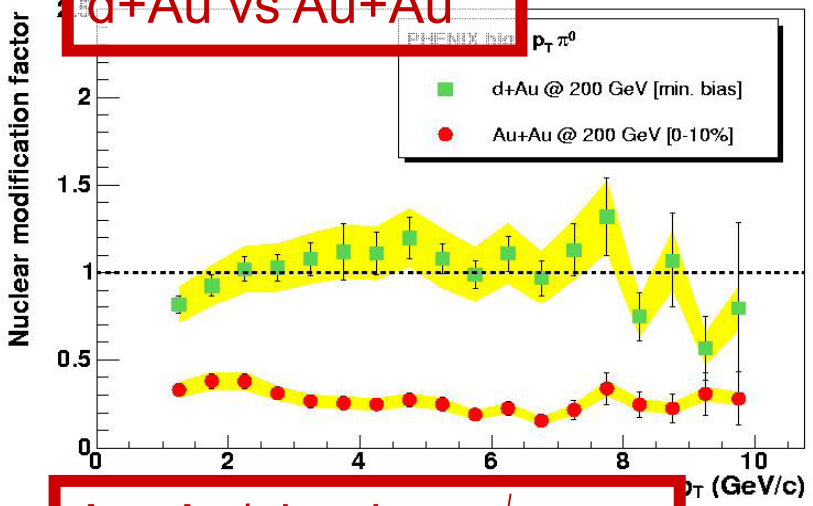
AMY $\alpha_s = 0.280^{+0.016}_{-0.012}$

Ces modèles ne sont pas indépendants : $\hat{q} \sim \rho$; $dNg/dy \sim \rho$; $T \sim \hat{q}^{1/3}$

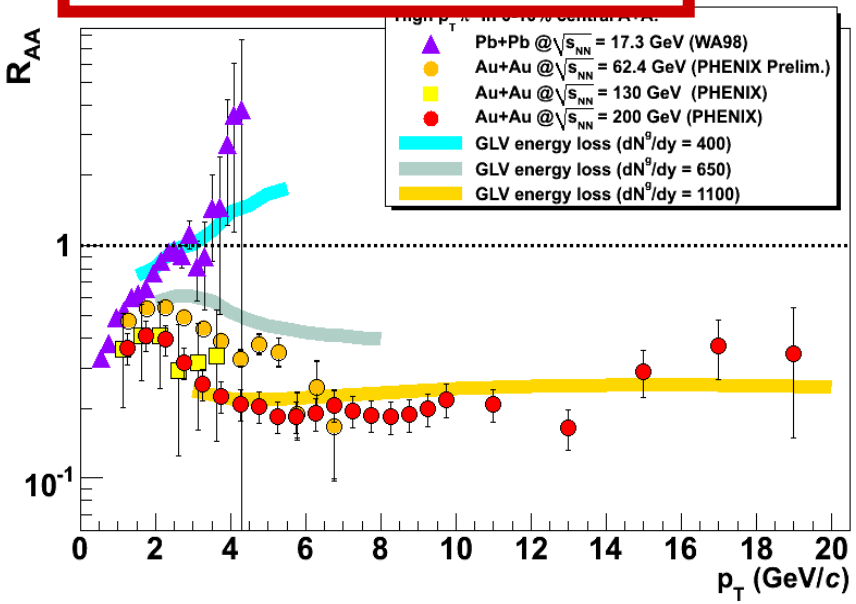
Ils sont en accord qualitatif raisonnable (à un facteur 2 près)
et prédisent une densité (en gluons) ~ 30-50 x la matière nucléaire normale

R_{AA} vs nature et l'énergie des collisions

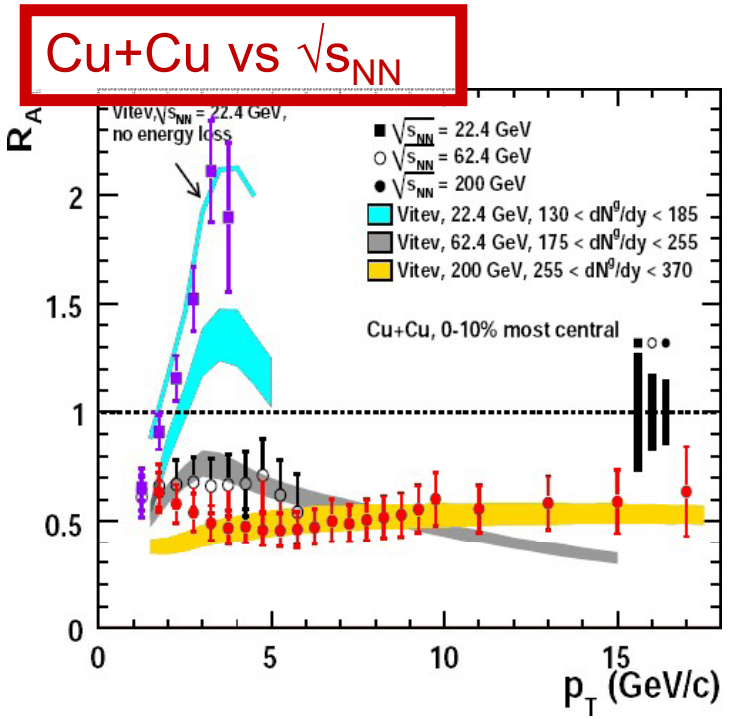
d+Au vs Au+Au



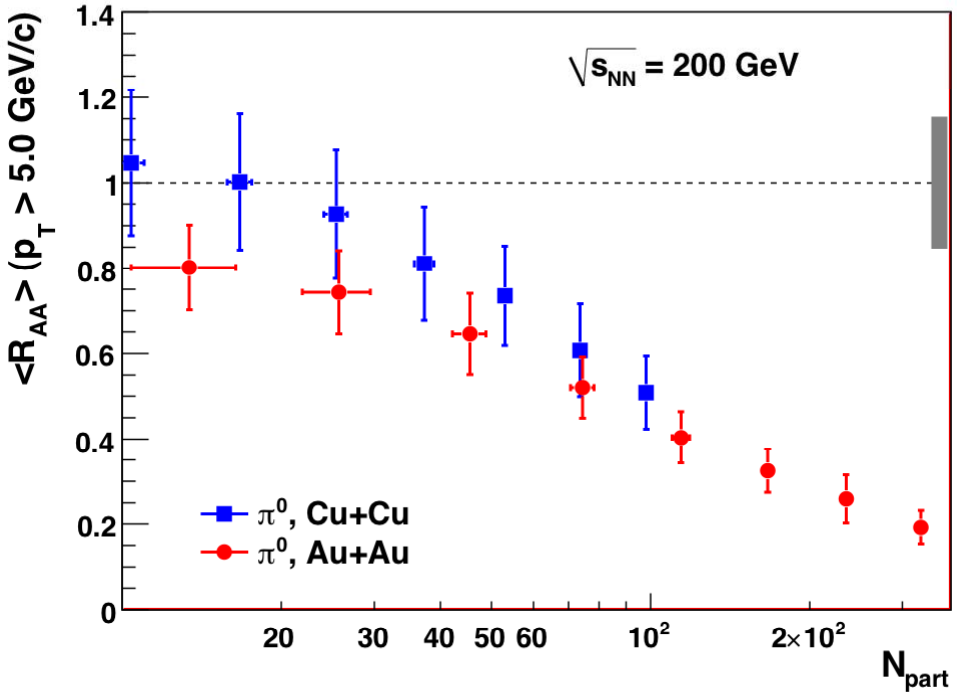
Au+Au/pb+pb vs $\sqrt{s_{NN}}$



Cu+Cu vs $\sqrt{s_{NN}}$



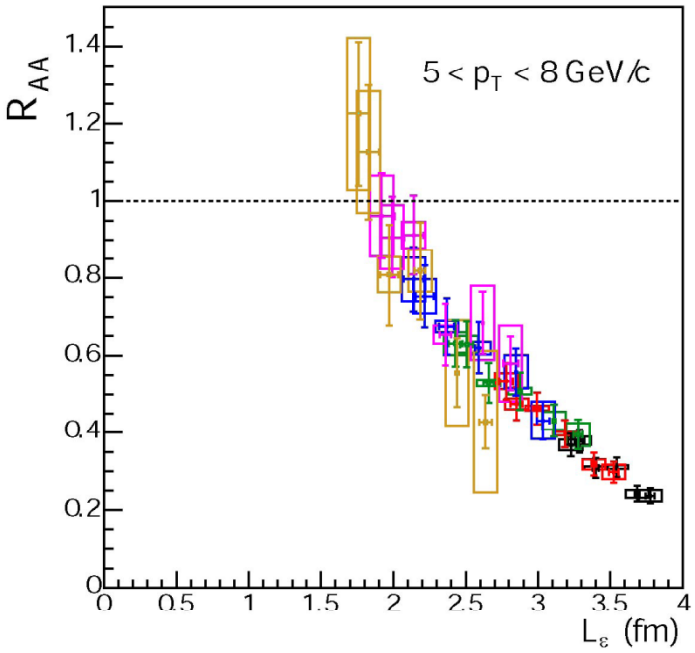
R_{AA} vs quantité de matière traversée



R_{AA} vs N_{part} en Au+Au et en Cu+Cu.

Bon accord à N_{part} donné.

Différences possibles dues à la géométrie de la collision et <L> différent.



R_{AA} vs L (longueur de matière traversée) pour différentes tranches en centralité (en collisions Au+Au).

L est estimé par mesure de l'angle vs plan de réaction.

Résumé

De nombreuses mesures disponibles:

- vs taille du système (nature des ions, centralité)
- vs énergie des collisions
- vs nature des particules observées

Premières tentatives pour obtenir des informations *quantitatives* sur le milieu formé.

Mais aussi:

Etudes de corrélations hadrons-hadrons (di-jets) pour

- avoir un meilleur contrôle sur la quantité de matière traversée
- étudier la *réponse* du milieu au passage du Jet (ce que devient l'énergie dissipée

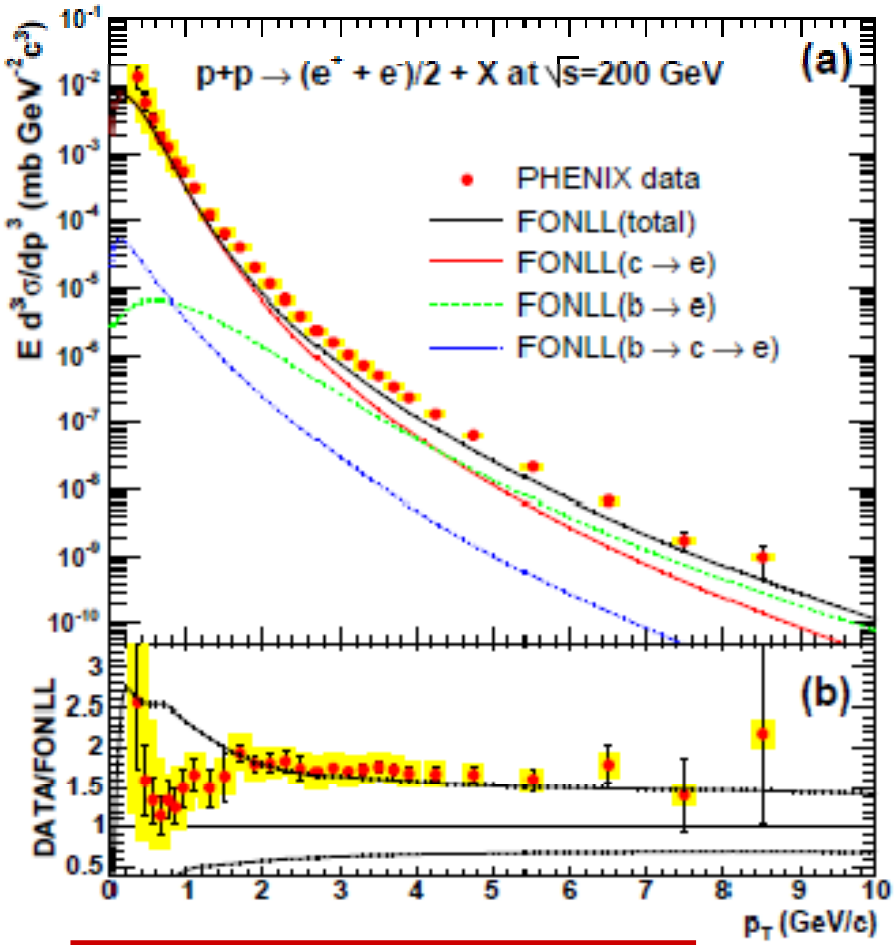
Etudes de corrélations hadrons – photons et reconstruction complètes des jets, pour avoir un accès plus direct aux partons sous-jacent.

Saveurs lourdes (charme et beauté)

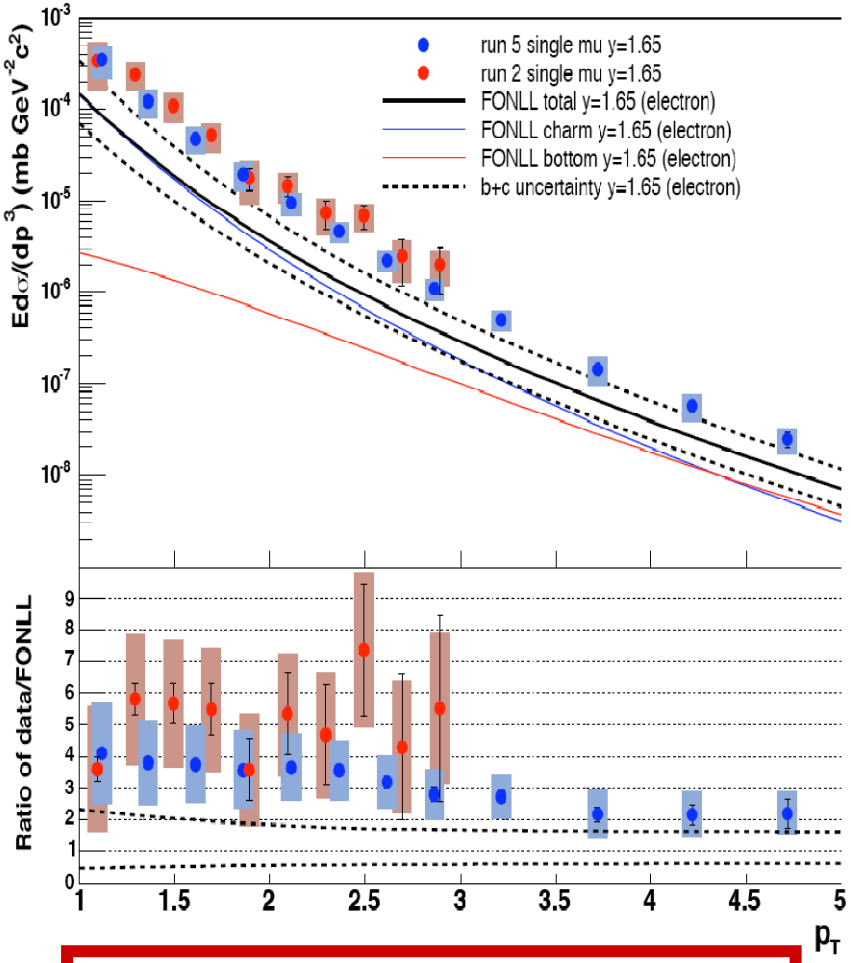
Motivations

- En collisions p+p les saveurs lourdes permettent de tester les calcul QCD perturbatifs
- En collisions A+A renseignent sur les mécanismes de perte d'énergie en complément des résultats obtenus avec les quarks légérs
- Sont nécessaires à l'étude des quarkonias lourds (J/Ψ, Υ)

Mesure à rapidité nulle et vers l'avant dans des collisions p+p

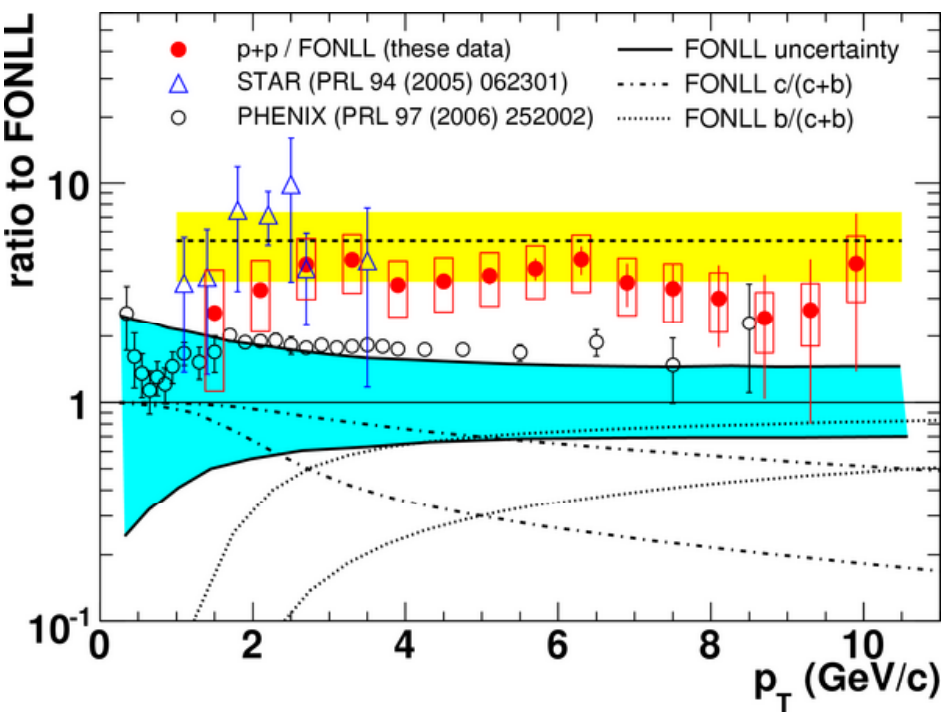


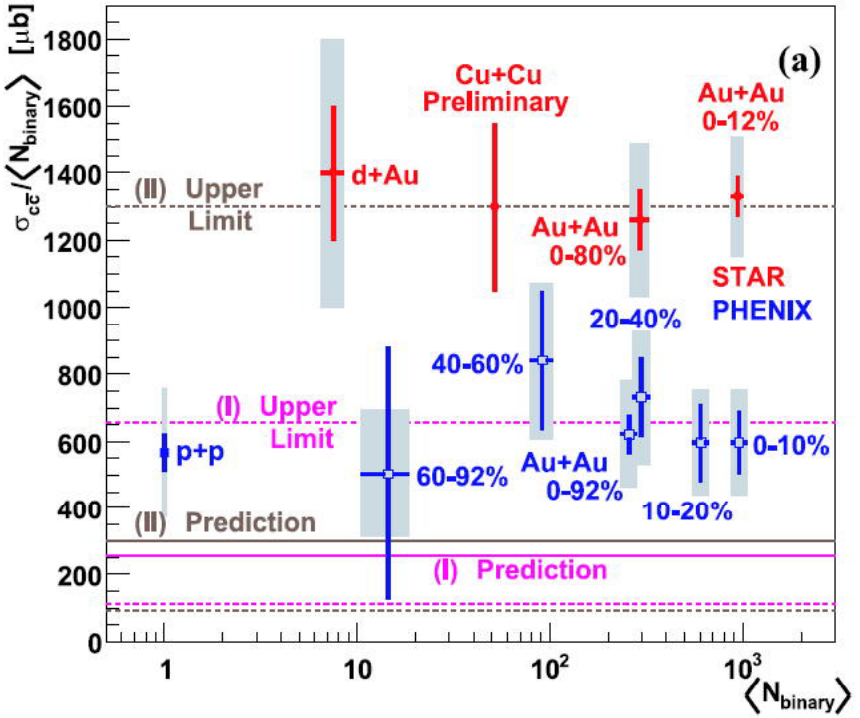
D/B → e+X (|y| < 0.3)



D/B → μ+X (1.2 < |y| < 2.2)

Différence STAR / PHENIX





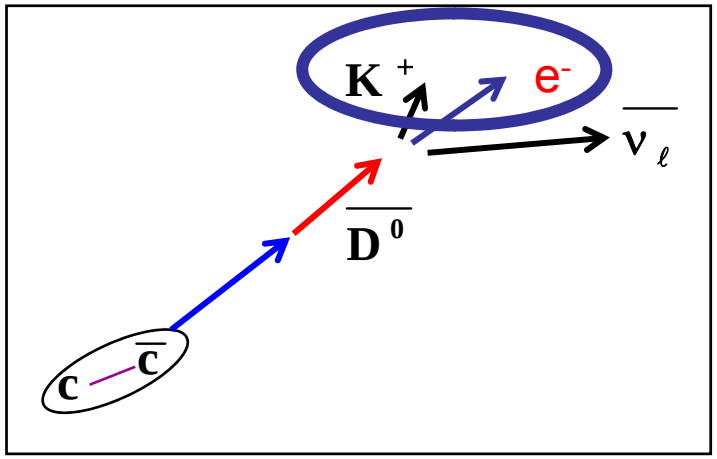
Il existe un facteur ~2 de différence entre les mesures de section efficace différentielle et totale de c/b entre STAR et PHENIX.

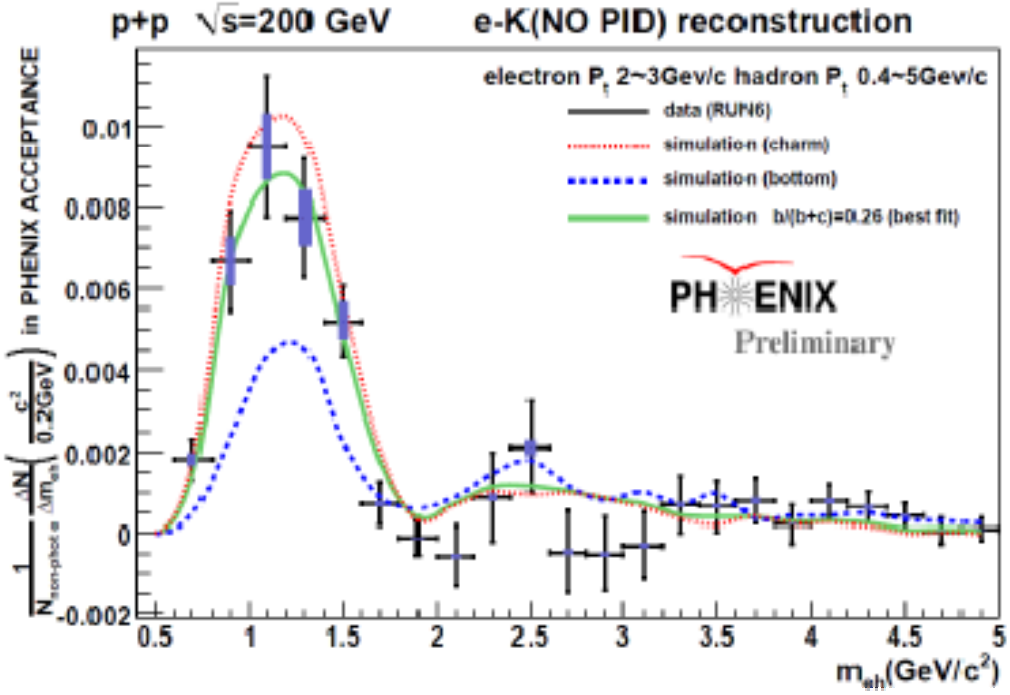
Toutes les mesures de chaque expérience sont compatibles entre elles.

La section efficace totale augmente proportionnellement à N_{coll}

Séparation du charme et de la beauté en p+p

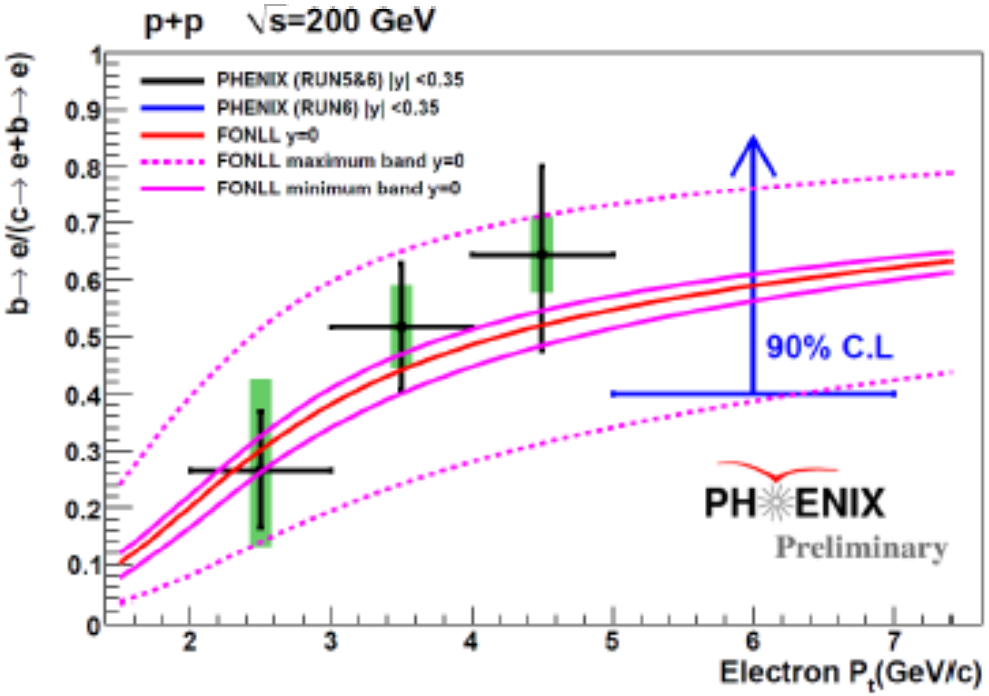
Décroissance semi-leptonique de D et B

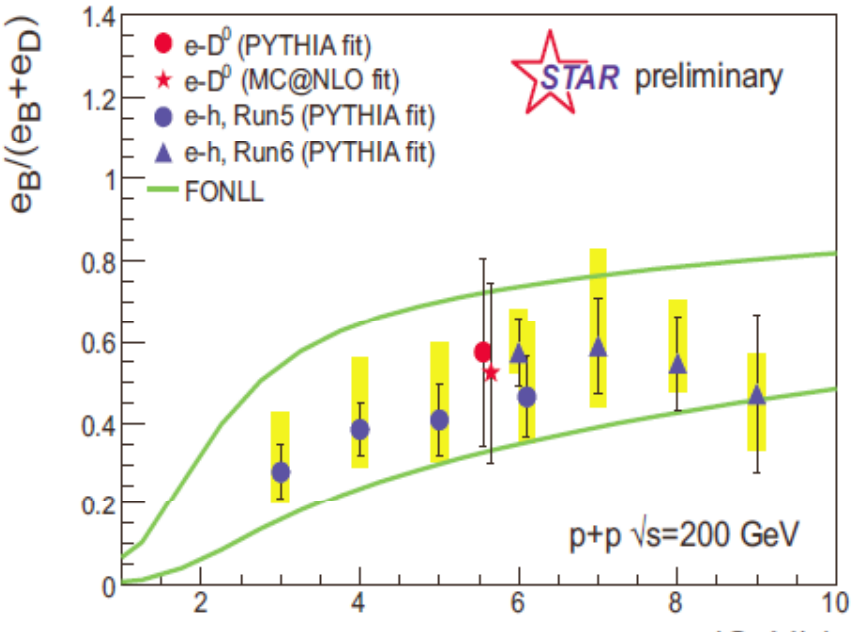




- Etude du rapport entre le nombre paires lepton-hadron de signe opposé corrélées, et le nombre total de saveurs lourdes produites.
- Ce rapport est différent pour les paires issues de c et de b;
- Il peut etre estimé pour c et b séparrément via simulations
- Comparé aux rapport obtenus dans les données réelles pour obtenir la proportion de c et de b.

Séparation du charme et de la beauté

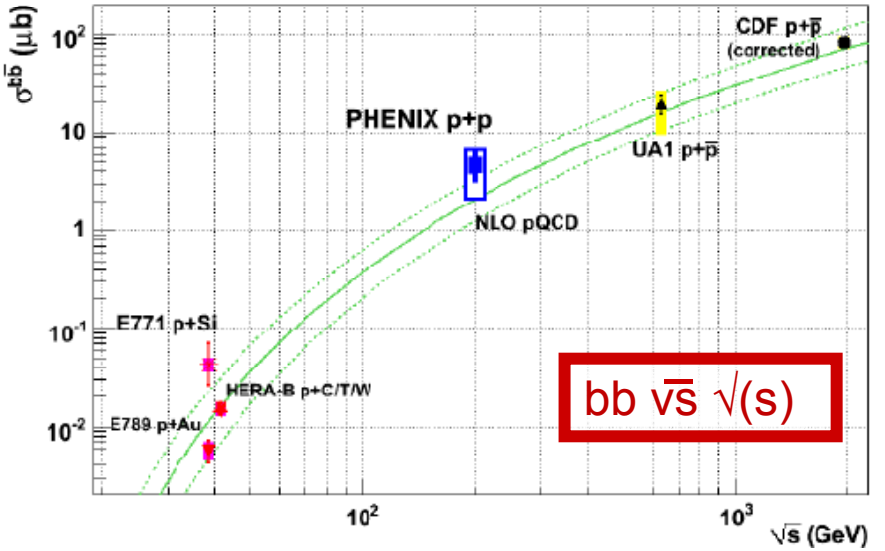




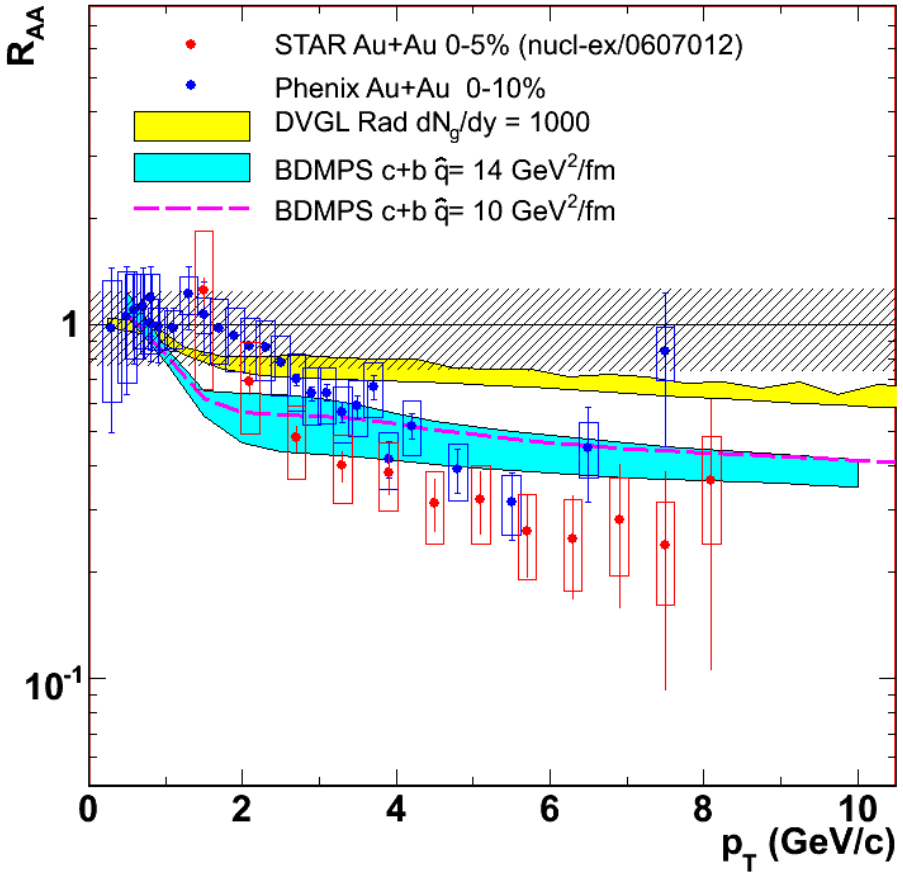
Les rapports mesurés sont compatibles avec calculs FONLL. (mais incertitudes expérimentales et théoriques sont grandes).

Mesure similaire réalisée par STAR.

Nécessité de mesures plus directes.



Collisions Au+Au et R_{AA}



Les modèles permettant d'expliquer le R_{AA} des quarks légers par radiation de gluons sous-estiment la suppression des quarks lourds (dead-cone effect)

Nécessité de mécanismes supplémentaires :

- Perte d'énergie dans les collisions élastiques
- Formation (puis dissociation) des mésons B et D dans le milieu (le temps de formation des mésons D et B est du même ordre que le temps de vie du plasma: 0.4 – 1.6 fm)
- Etc.

Difficultés similaires pour expliquer le flot elliptique v_2 des mésons lourds.

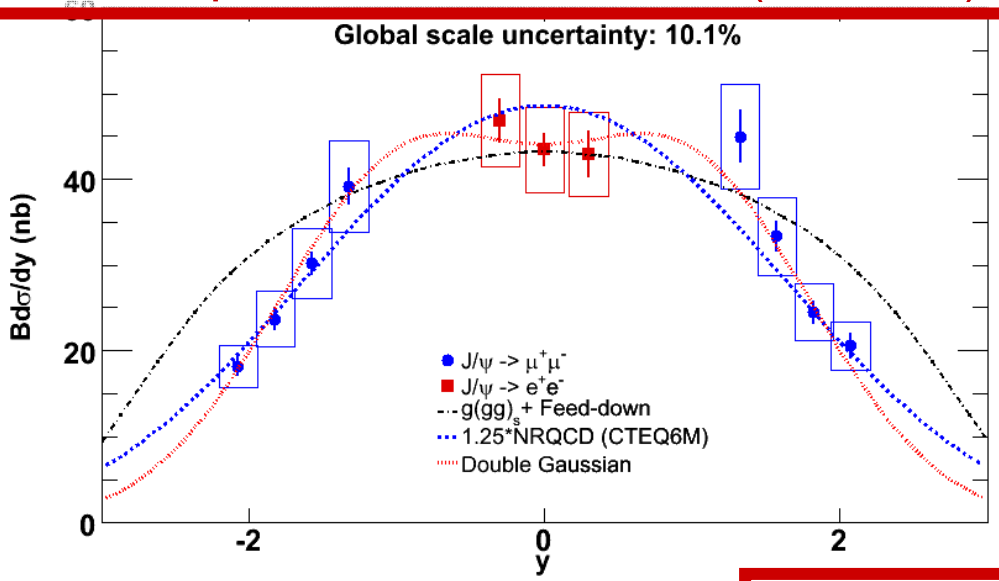
Résumé (2)

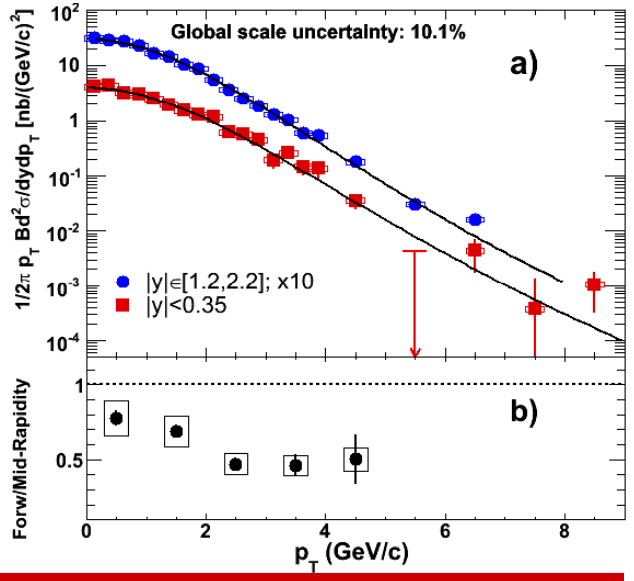
- Mesures indirectes de la production de saveurs lourdes. Très difficiles (grandes incertitudes expérimentales/théoriques)
- Mesures directes (e.g. $D \rightarrow K\pi$): faible statistique. Nécessite de nouveaux détecteurs. Détecteurs pixels, proches du point d'interaction.
- De plus en plus de résultats en collisions p+p
- Pas de consensus sur les mécanismes mis en jeux en collisions A+A pour expliquer la suppréssion observée.

Quarkonia

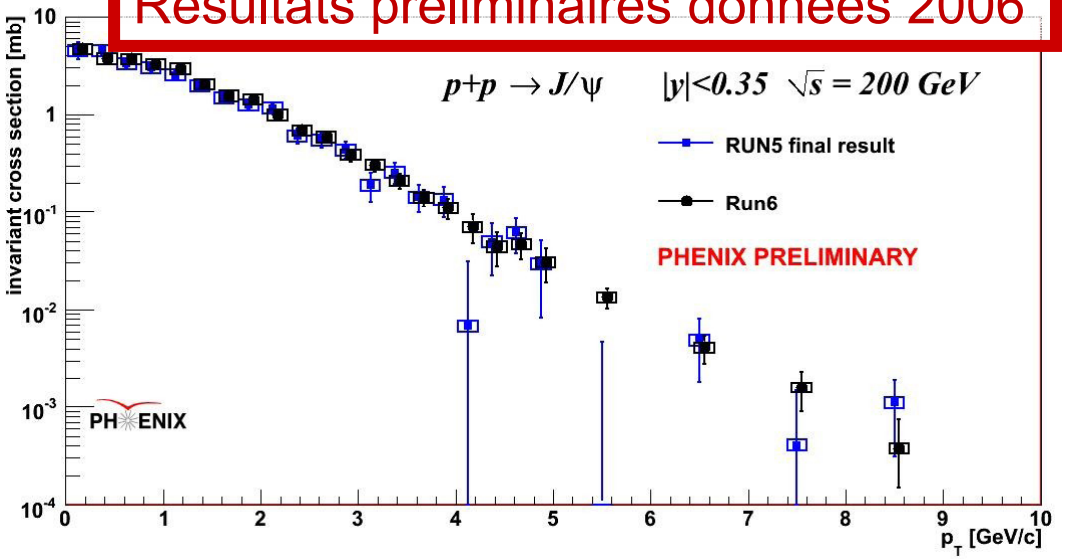
Collisions p+p

Résultats publiés données 2005 (PHENIX)

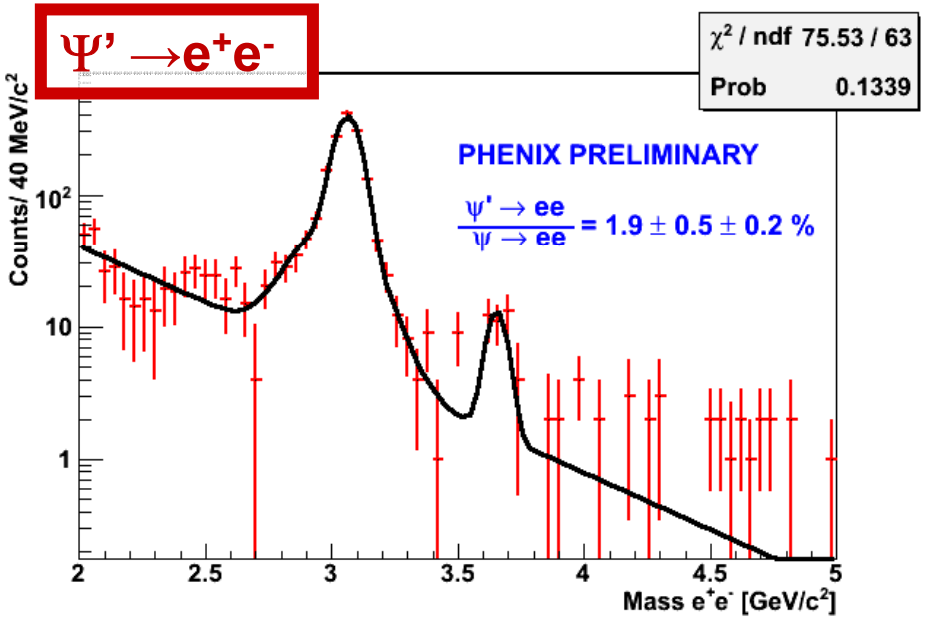


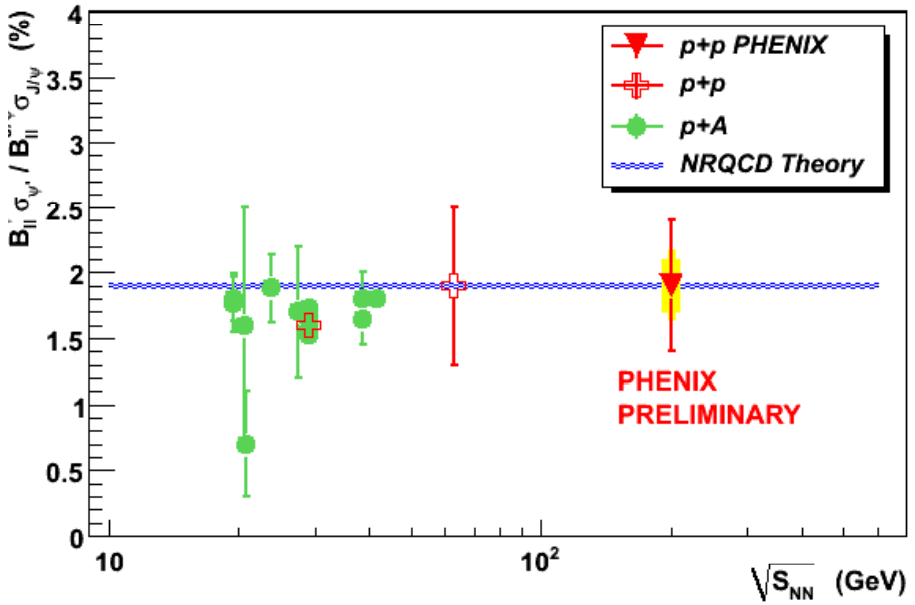


Résultats préliminaires données 2006



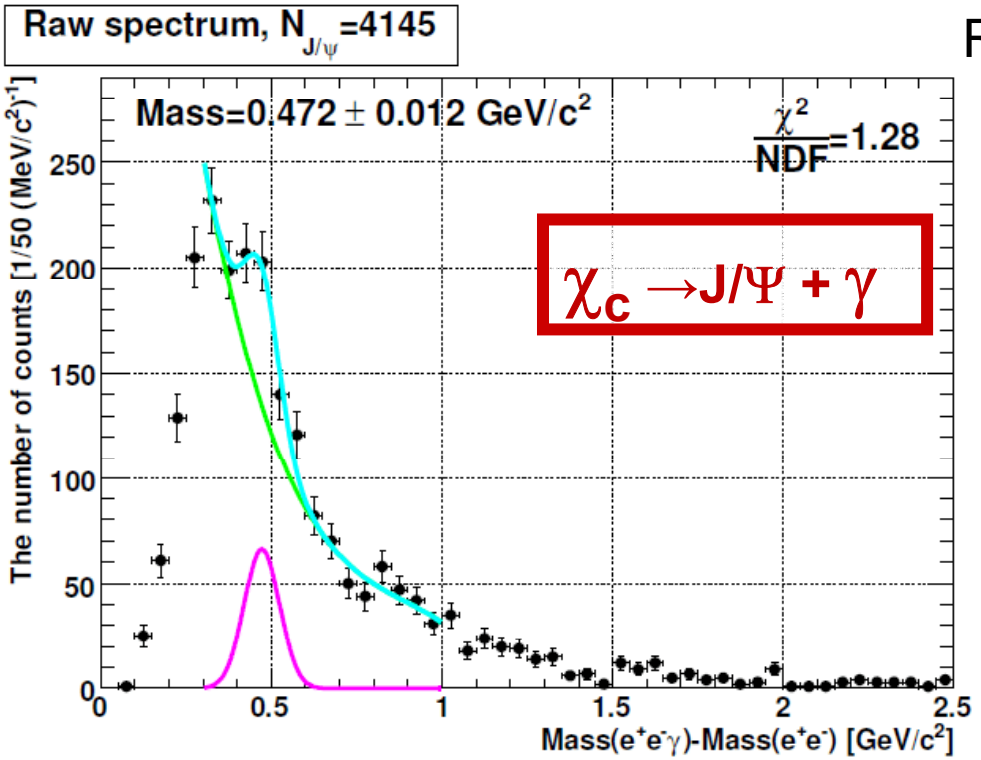
Collisions p+p (2) J/Ψ issus du Ψ'

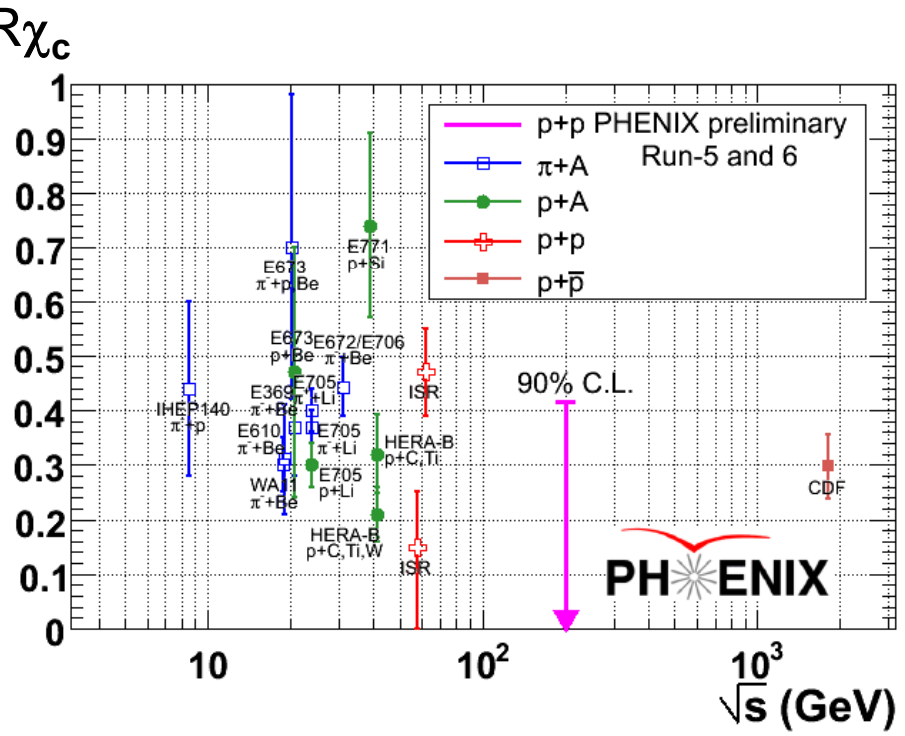




	PHENIX	Theory
J/Ψ from Ψ'	0.086 ± 0.025	0.08 Digal et al., Phys. Rev. D 64 (2001) 94015

Collisions p+p (3) J/Ψ issus du χ_c

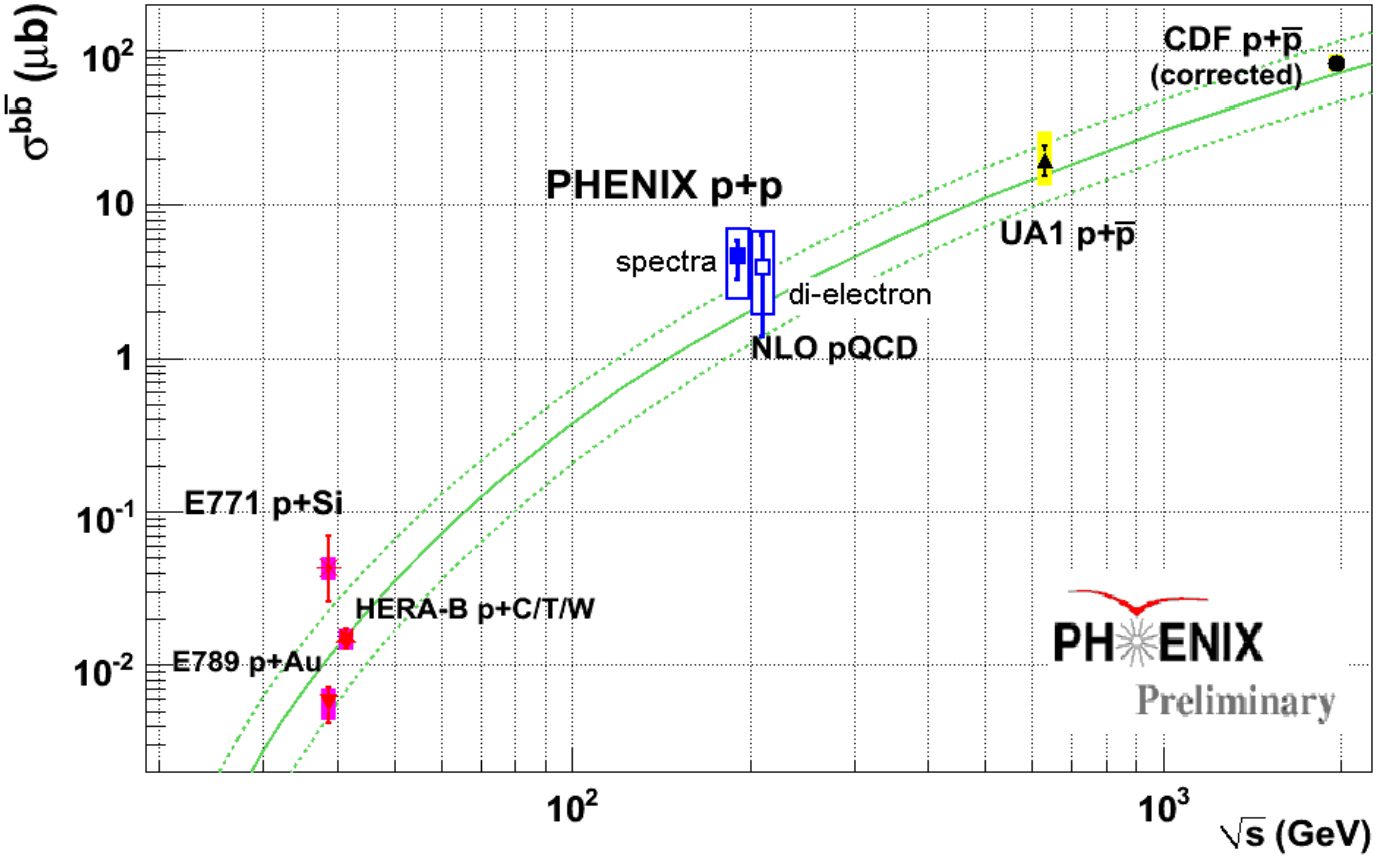




	PHENIX	Theory
J/Ψ from χ_c	< 0.42 (90% CL)	0.30 Digal et al., Phys. Rev. D 64 (2001) 94015

Collisions p+p (4) J/Ψ issus du B

total cross section of bottom

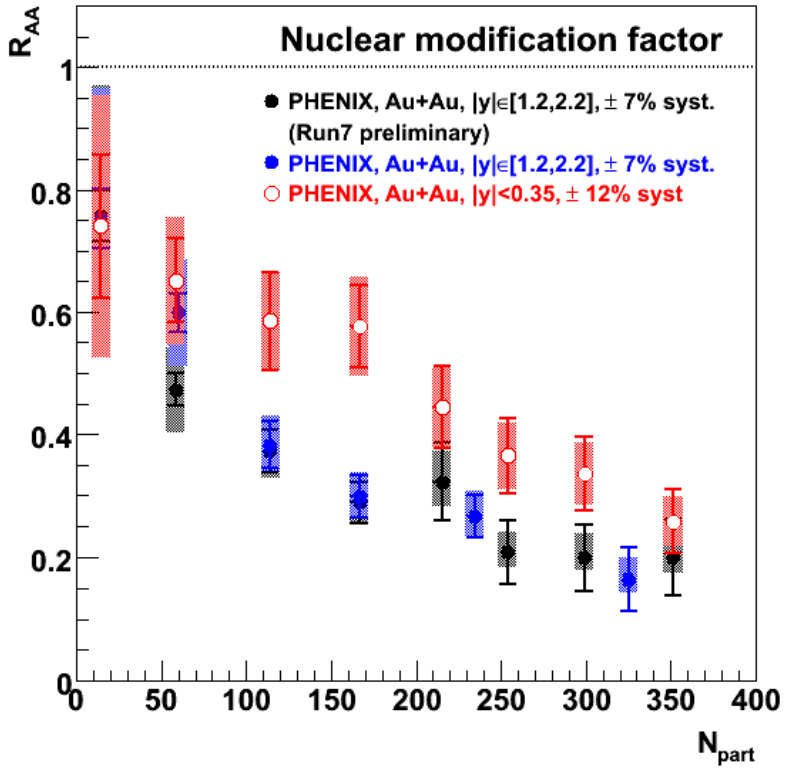


correlations e-h

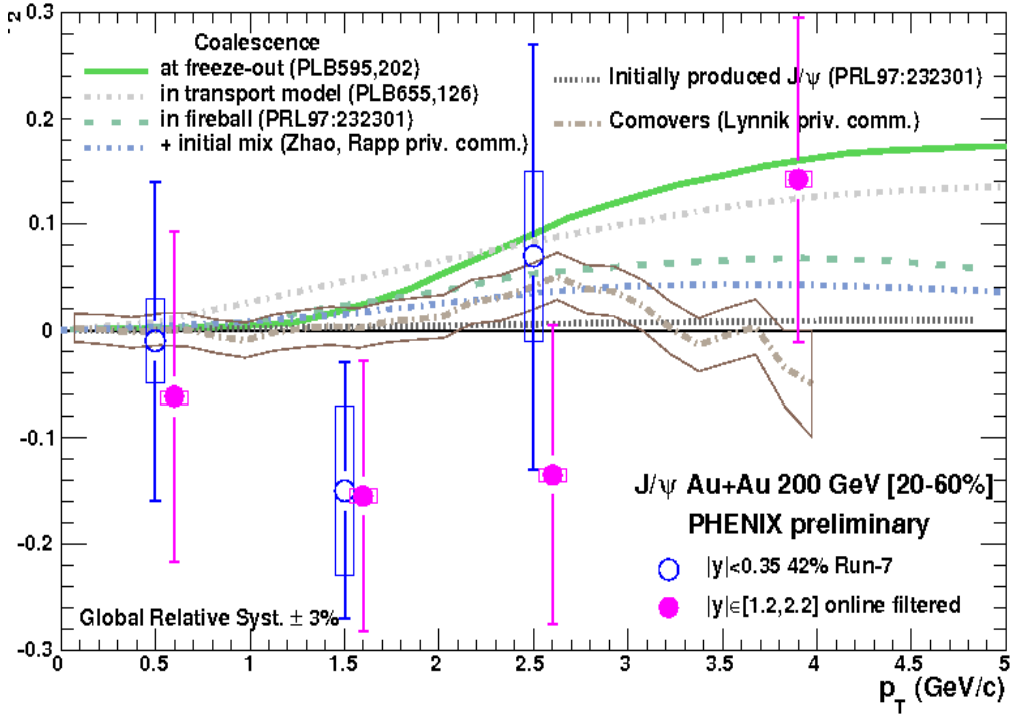
	PHENIX	Theory
J/Ψ from B	0.036 ± 0.025	0.02 ± 0.01 (NLO pQCD extrapolation)

Collisions Au+Au

Facteur de modification nucléaire

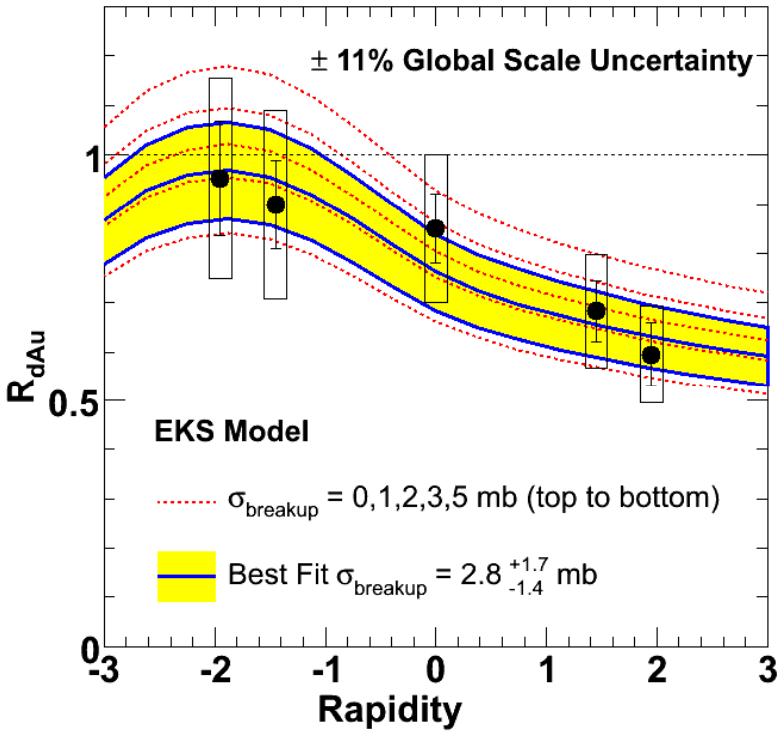


Flot elliptique du J/Ψ

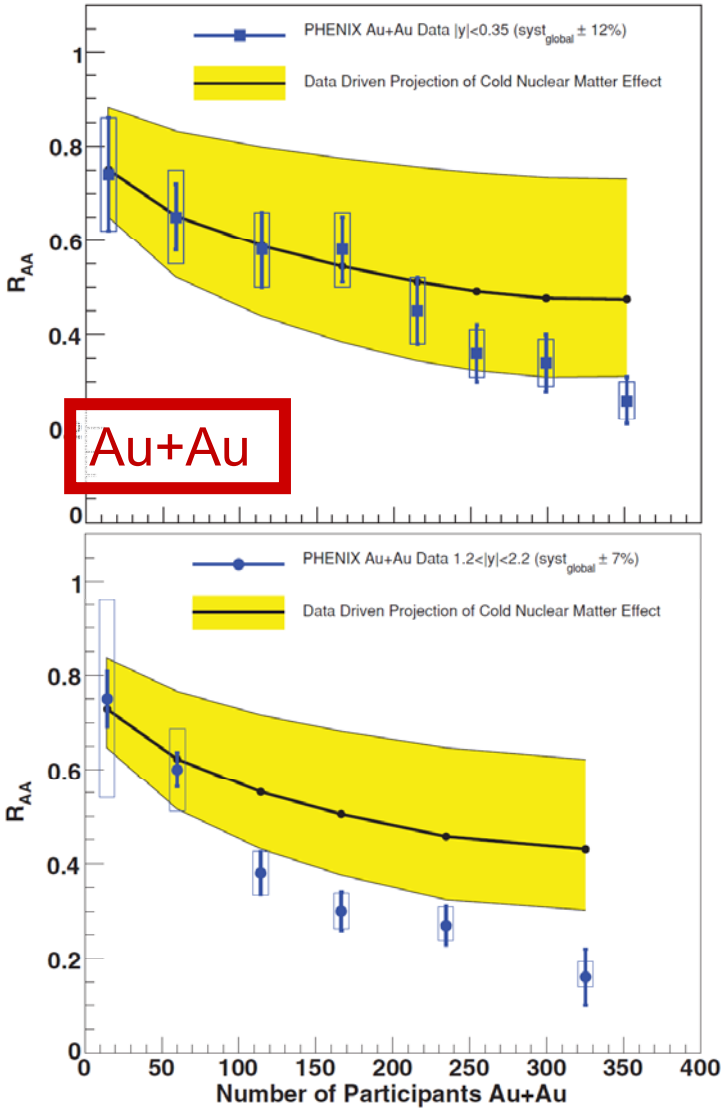


Collisions Au+Au (2)
(extrapolation des effets froids)

d+Au



Au+Au

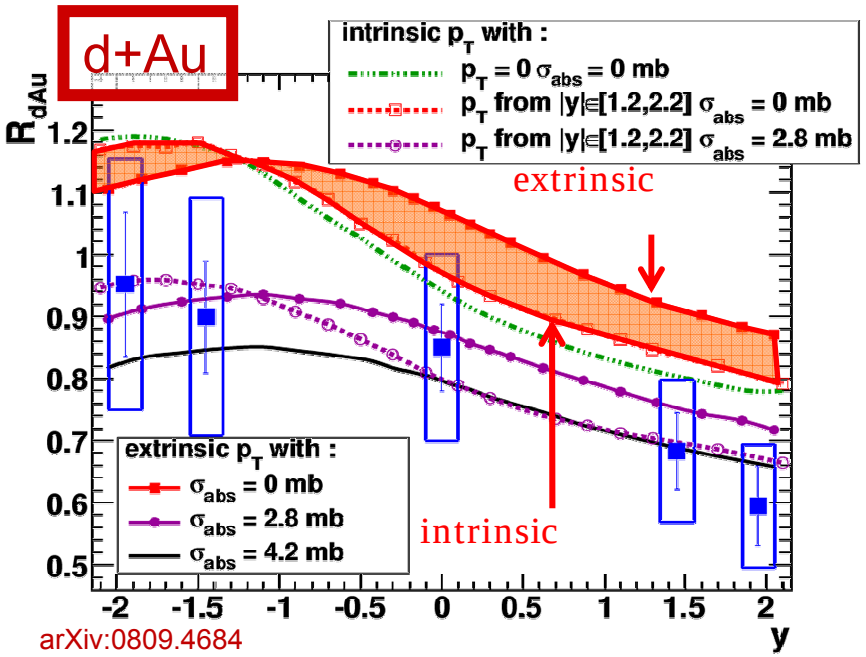


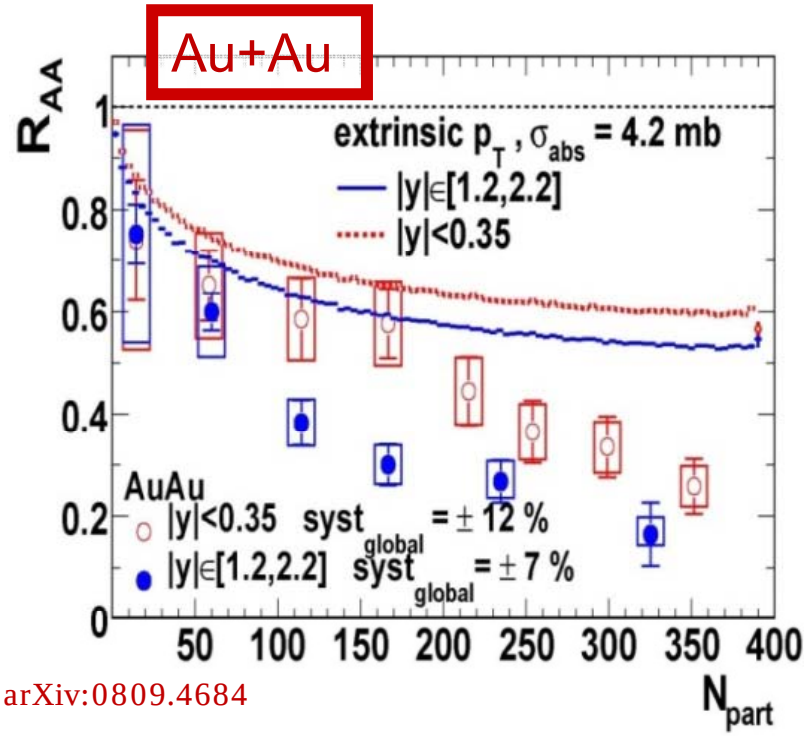
Collisions Au+Au (2) (extrapolation des effets froids)

Shadowing (modification des PDFs) basés sur de nouveaux calculs de g+g →J/Ψ+g (mécanisme de formation du J/psi) :

Extrinsèque : g+g → J/Ψ + g + X

Intrinsèque : g+g → J/Ψ + X



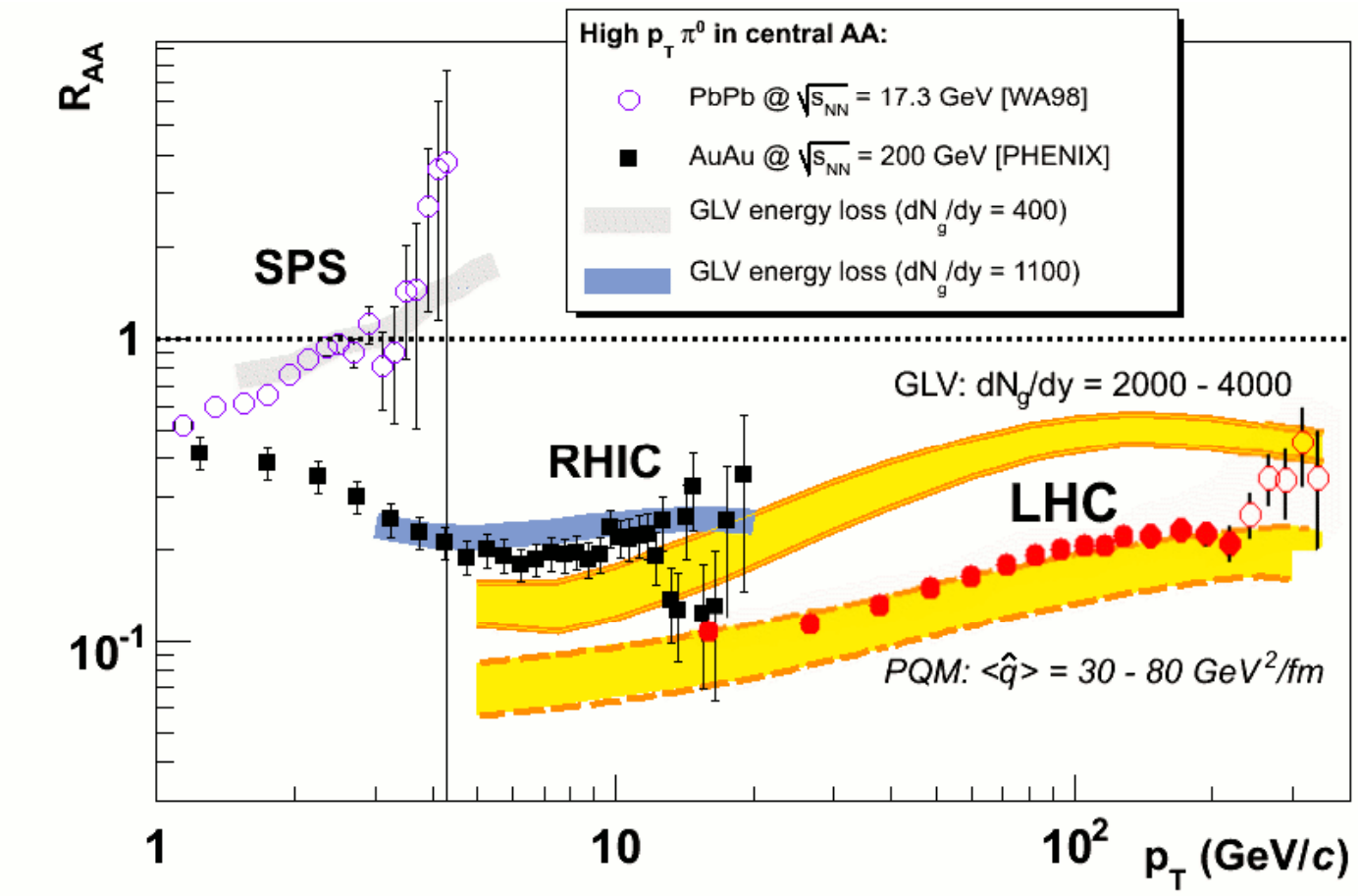


Résumé (3)

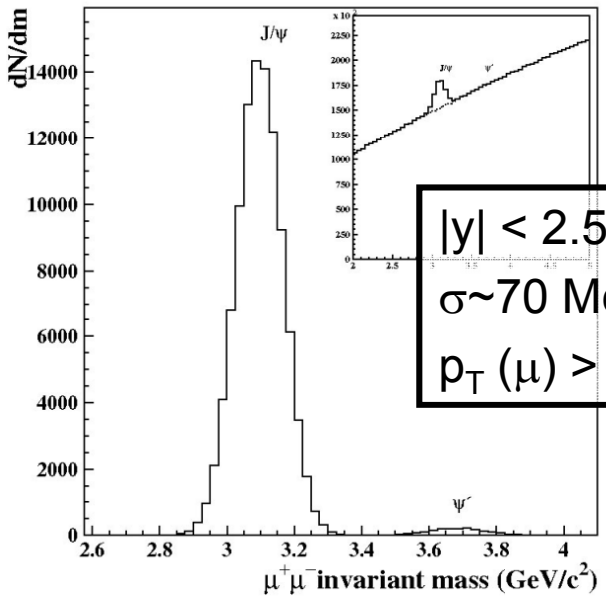
- De plus en plus de résultats en collisions p+p
- Rien de très nouveaux dans les collisions Au+Au
- Gros efforts pour quantifier les effets froids, et de là, les effets chauds

Collisions d’ions lourds au LHC

Hadrons à grand p_T / Jets au LHC

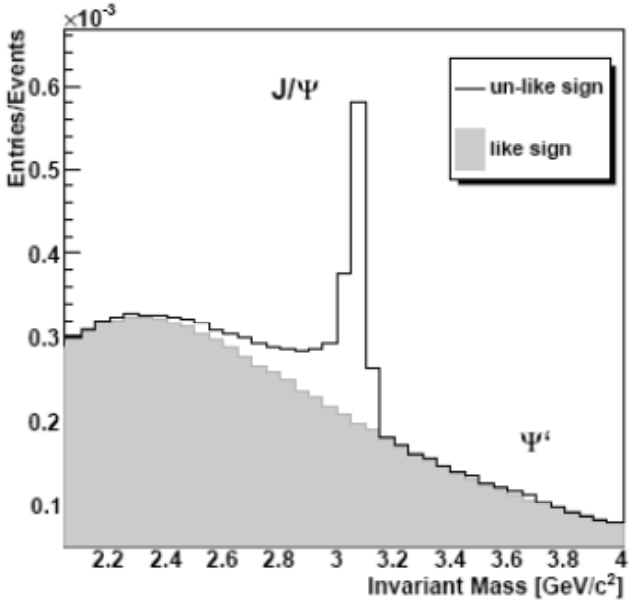


Quarkonias lourds au LHC (1) J/Ψ



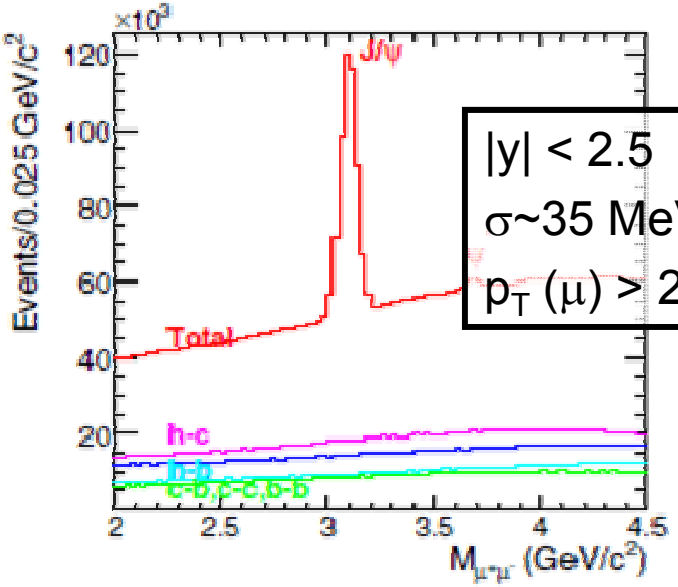
ATLAS

|y| < 2.5
σ~70 MeV
p_T (μ) > 2.5 GeV/c



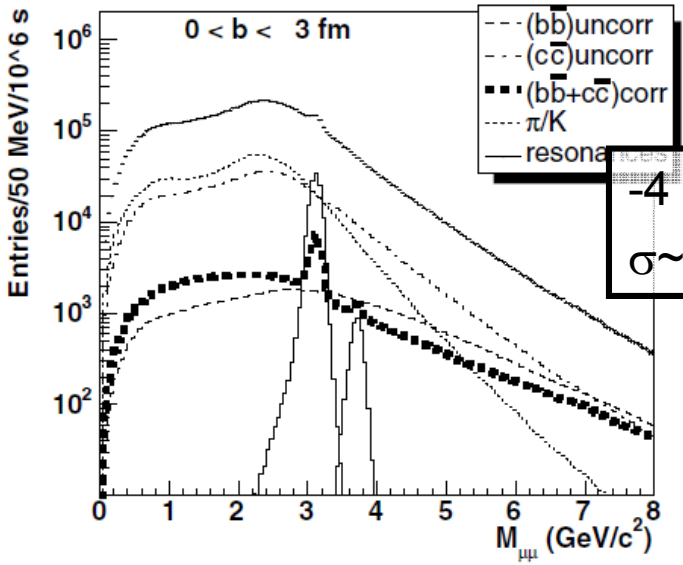
ALICE
(électrons)

|y| < 0.9
σ~30 MeV



CMS

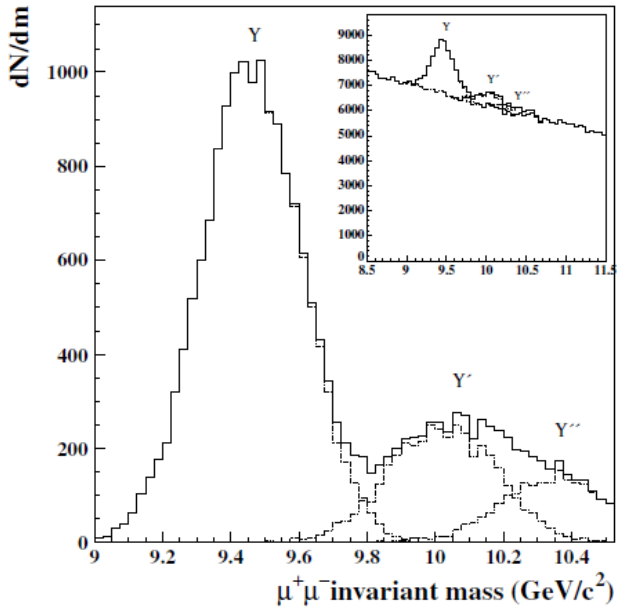
|y| < 2.5
σ~35 MeV
p_T (μ) > 2.5 GeV/c



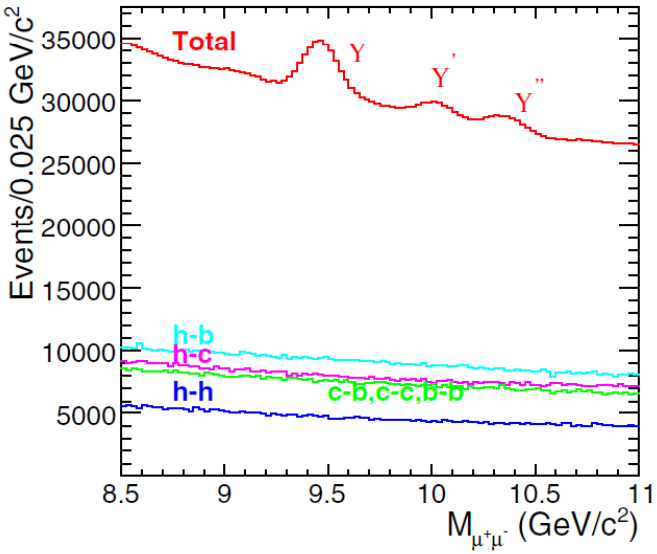
ALICE
(muons)

-4 < y < -2.5
σ~70 MeV

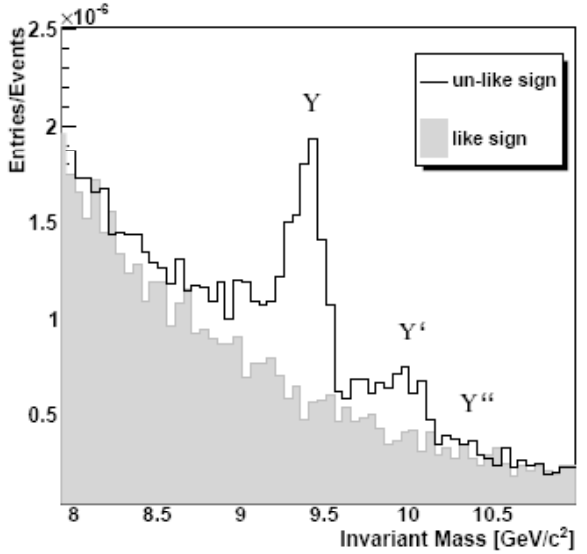
Quarkonias lourds au LHC (2) Υ



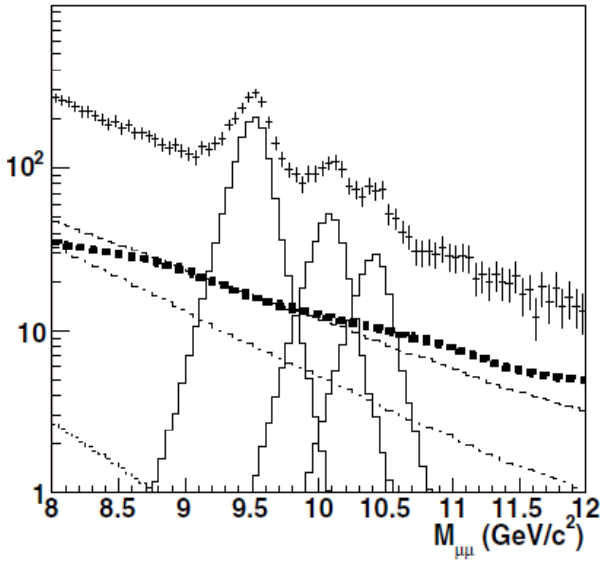
ATLAS



CMS



ALICE
(électrons)



ALICE
(muons)