

An aerial photograph of the Étretat coastline in Normandy, France. The image shows the iconic white chalk cliffs of Étretat, including the famous natural rock formations like the Needle and the Pinnacles. The sea is a deep blue, and the surrounding land is green with fields and some buildings. The text is overlaid on the image.

Une nouvelle contribution au R_{AA} des
électrons non-photoniques

Journées QGP – France

Étretat, Septembre 2007

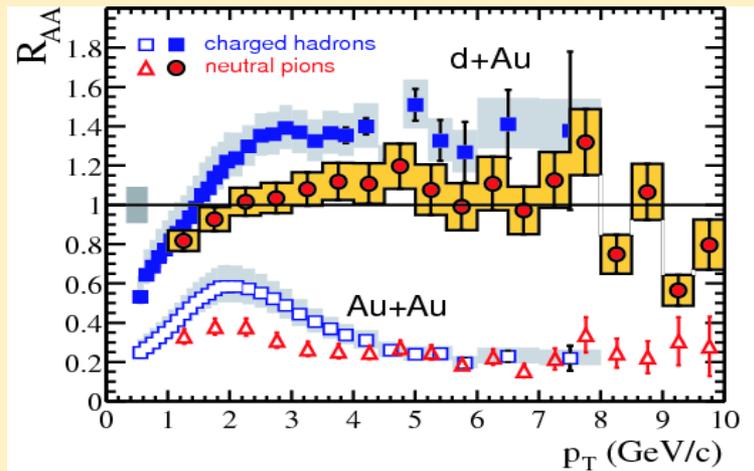
Plan de l'exposé

- Retour sur deux importants résultats de RHIC :
 - ✓ le R_{AA} des électrons non-photoniques @RHIC et le "puzzle" de la perte d'énergie des quarks lourds ;
 - ✓ l'augmentation des rapports baryons/mésons @RHIC.
- Une nouvelle contribution :
 - ✓ l'augmentation du rapport Λ_c/D ;
 - ✓ son effet sur le R_{AA} des électrons non-photoniques.
- Étude complète du R_{AA} des électrons non-photoniques avec :
 - ✓ notre effet (augmentation du rapport du Λ_c/D) ;
 - ✓ la perte d'énergie des quarks lourds ;
 - ✓ et la contribution de la beauté.
- Conclusion

La perte d'énergie des quarks @RHIC

La **suppression** des particules de **hauts p_T** a été l'une des observations clés pour la mise en évidence d'un milieu dense créé @RHIC en collisions Au+Au.

PHENIX (PRL 91 072303)



Cette suppression est attribuée à un effet dans **l'état final** : *perte d'énergie des partons* dans le milieu chaud et dense créé.

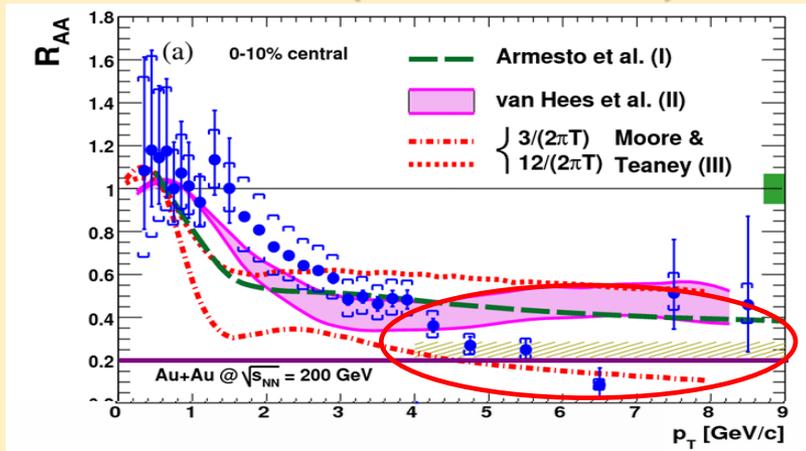
Et pour les quarks lourds ?

⇒ Les quarks lourds doivent également perdre de l'énergie au niveau partonique **MAIS** dans une moindre proportion comparé aux quarks légers dû à l'effet de **“cône mort”** (Phys. Lett. B 519, 199 (2001)).

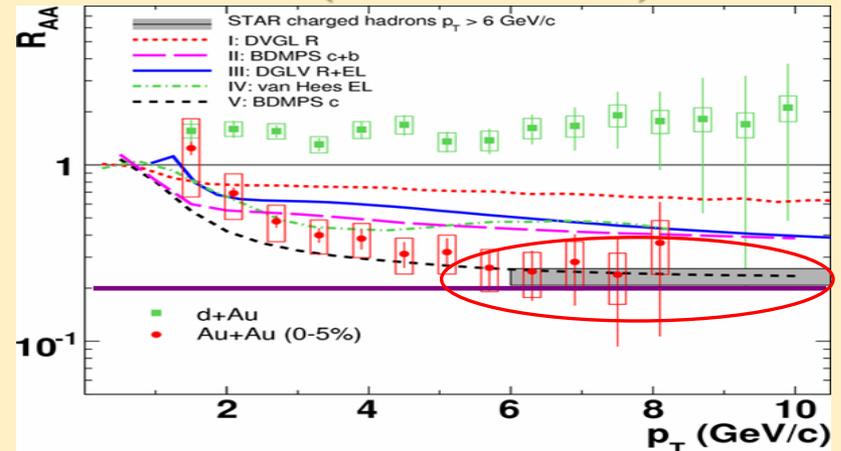
R_{AA} des électrons non-photoniques @ RHIC

Les hadrons charmés et beaux ne sont pas encore mesurés @RHIC.
 $\Rightarrow R_{AA}$ des électrons non-photoniques !

PHENIX (PRL 96 032301)



STAR (PRL 98 192301)



La suppression observée est bien plus importante que prévue :

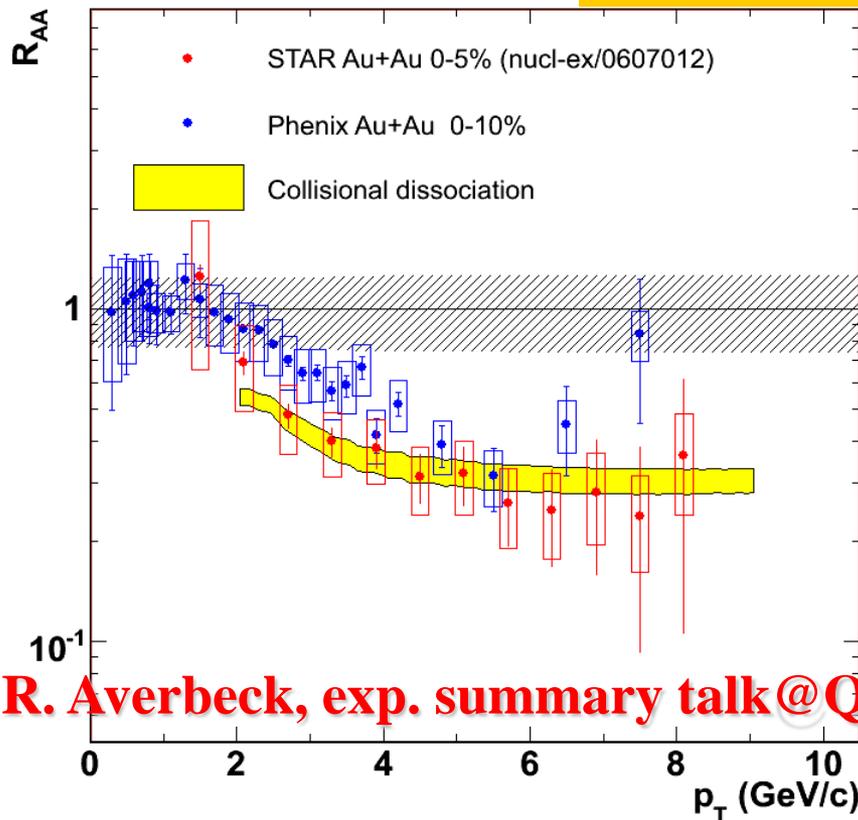
- ✓ On mesure un $R_{AA} \sim 0.2$ ($p_T \gtrsim 4-5$ GeV/c), compatible la suppression des hadrons !
- ✓ Le R_{AA} prédit varie entre 0.2 et 0.5 en fonction des modèles (la suppression reste difficile à comprendre et donc à reproduire).

R_{AA} of electrons from heavy flavor decays

- PHENIX & STAR: rough agreement

→ disagreement is common to p+p & Au+Au, cancels in the nuclear modification factor R_{AA}

A. Suaide



R. Averbeck, exp. summary talk@QM06

- describing the suppression is difficult for models

- radiative energy loss with typical gluon densities is not enough (Djordjevic et al., PLB 632(2006)81)
- models involving a very opaque medium agree better (Armesto et al., PLB 637(2006)362)
- collisional energy loss / resonant elastic scattering (Wicks et al., nucl-th/0512076, van Hees & Rapp, PRC 73(2006)034913)
- heavy quark fragmentation and dissociation in the medium → strong suppression for charm and bottom (Adil & Vitev, hep-ph/0611109)

Fragmentation contre Coalescence

Dans le vide, les hadrons sont produits par le mécanisme de *fragmentation*.

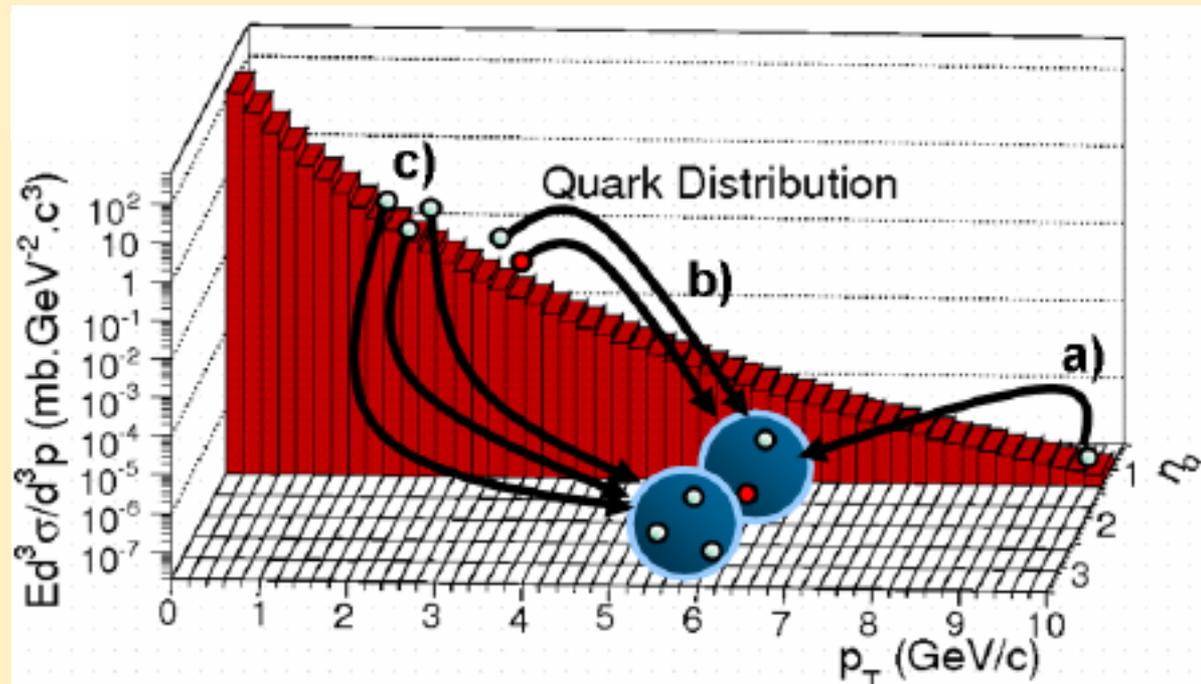
Dans un milieu, un nouvel mécanisme apparaît : *la coalescence/recombinaison*.

➤ fragmentation

- ✓ nécessite des partons énergétiques;
- ✓ le rapport B/M est donné par la fonction de fragmentation.

➤ coalescence/reco

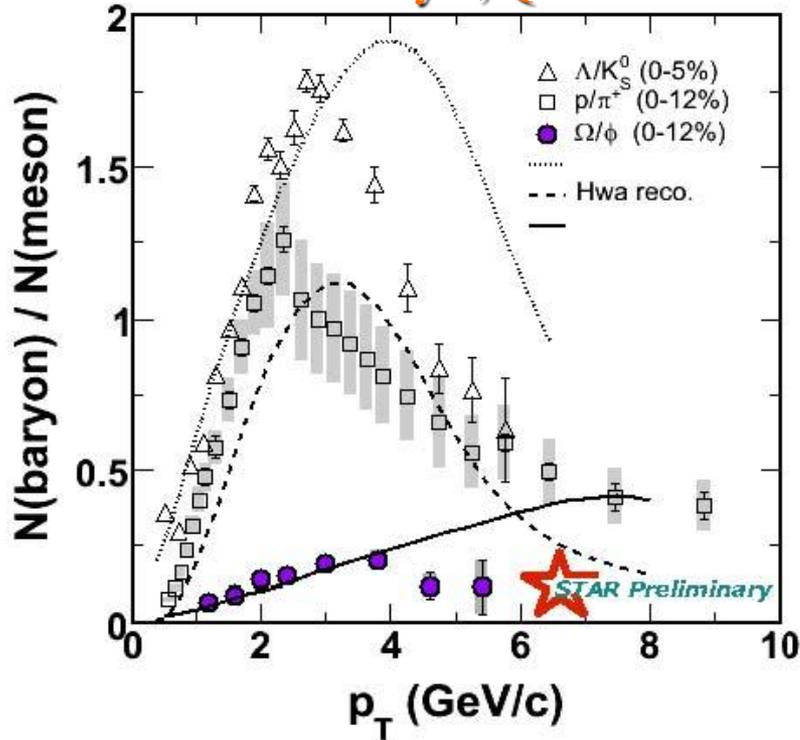
- ✓ partons proches;
- ✓ B/M dépend de la densité partonique.



En collisions Au+Au @RHIC, la coalescence est supposée dominée la production des particules jusqu'à $p_T \sim 4-6$ GeV/c, *Greco et al., Fries et al., PRL 90 ('03)*.

L'augmentation des rapports baryon/méson observés @RHIC

Sarah Blyth, QM06



- ✓ B/M devient important aux p_T intermédiaires ;
 - ✓ effet observé même pour des hadrons « lourds » (comme Ω/Φ) ;
 - ✓ le maximum de la suppression est déplacé vers les grands p_T à mesure que les particules deviennent plus « lourdes » ;
 - ✓ la coalescence décrit, au moins qualitativement, les données (PRC65, PRL90, PRC68, PRC67, JPG30, PRC70).
- ⇒ mécanisme de production dominant pour les p_T intermédiaires lors de collisions Au+Au.

Et si le rapport baryon/méson charmé était également augmenté ? Et quelles en seraient les conséquences sur le R_{AA} ?

Conséquence de l'augmentation du rapport Λ_c/D sur le R_{AA} des électrons non-photoniques

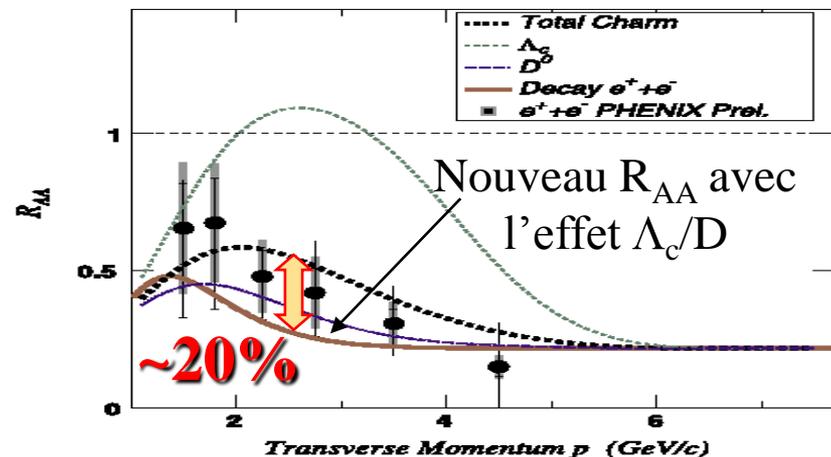
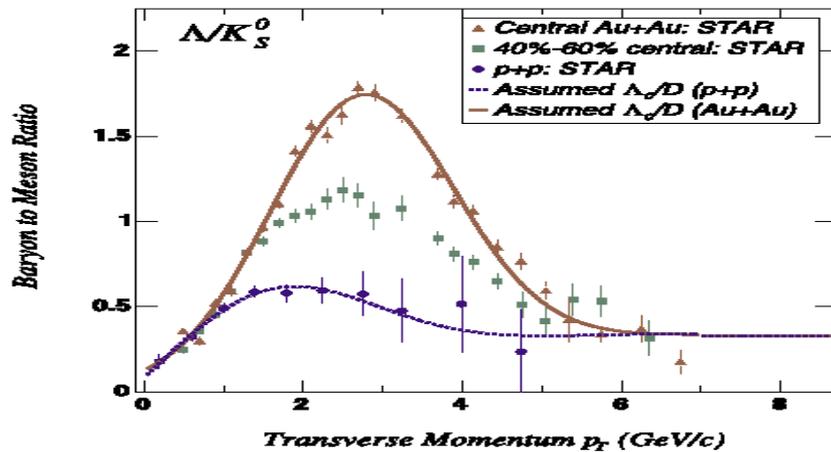
	D^0, \bar{D}^0	D^+, D^-	D_s^+, D_s^-	Λ_c^+, Λ_c^-
BR ($X \rightarrow e$) in %	6.71 ± 0.29	17.2 ± 1.9	8 +6-5	4.5 ± 1.7

$BR(\Lambda_c \rightarrow e + X)$ est plus faible que $BR(D \rightarrow e + X)$

\Rightarrow Cette différence de BR conduit donc à une suppression naturelle des électrons comparativement à la référence p+p !

Une première étude effectuée par P. Sorensen and X. Dong

PRC 74 (2006) 024902, SQM06 and HQ06.



Hypothèses :

- la forme du rapport Λ/K_s^0 mesuré prise comme référence pour Λ_c/D ;
- le R_{AA} du charme est pris similaire à celui des hadrons légers.

Résultats:

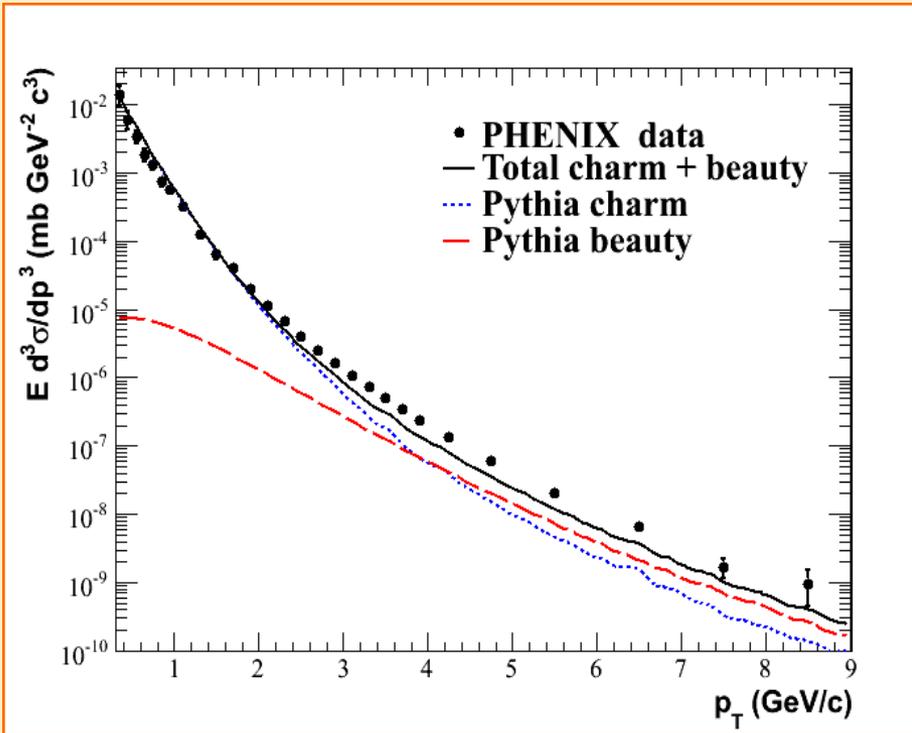
- augmentation du rapport aux faibles p_T : $2 \lesssim p_T \lesssim 5$ GeV/c;
- valeur importante du rapport Λ_c/D (~ 1.7 prise du rapport Λ/K_s^0);
- suppression maximum obtenue égale à 20%.

Étude détaillée de l'effet d'augmentation du B/M sur le R_{AA} des électrons non-photoniques

	Sorensen et Dong	Notre étude
Λ_c/D pour Au+Au	comme Λ/K_s^0	Gaussienne*
Λ_c/D pour p+p	comme Λ/K_s^0	Pythia
Maximum de Λ_c/D	~ 1.7 (de Λ/K_s^0) pour $p_T \sim 3 \text{ GeV}/c$	~ 1 for $p_T \sim 6 \text{ GeV}/c$
Perte d'énergie	À partir de la norm. au hadrons légers	De S. Wicks <i>et al.</i> , nucl-th/0512076
Contribution de la beauté	non	oui

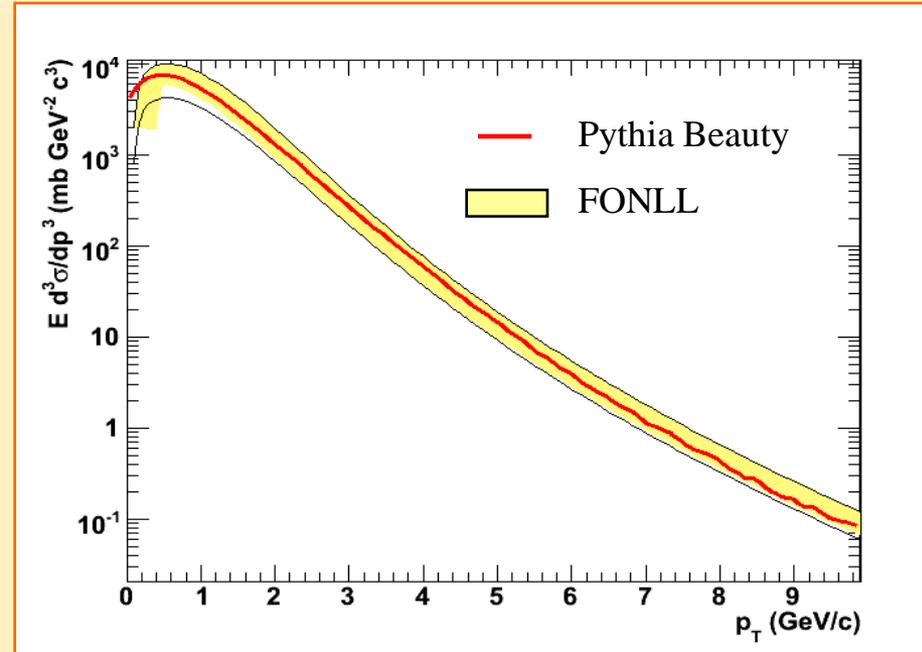
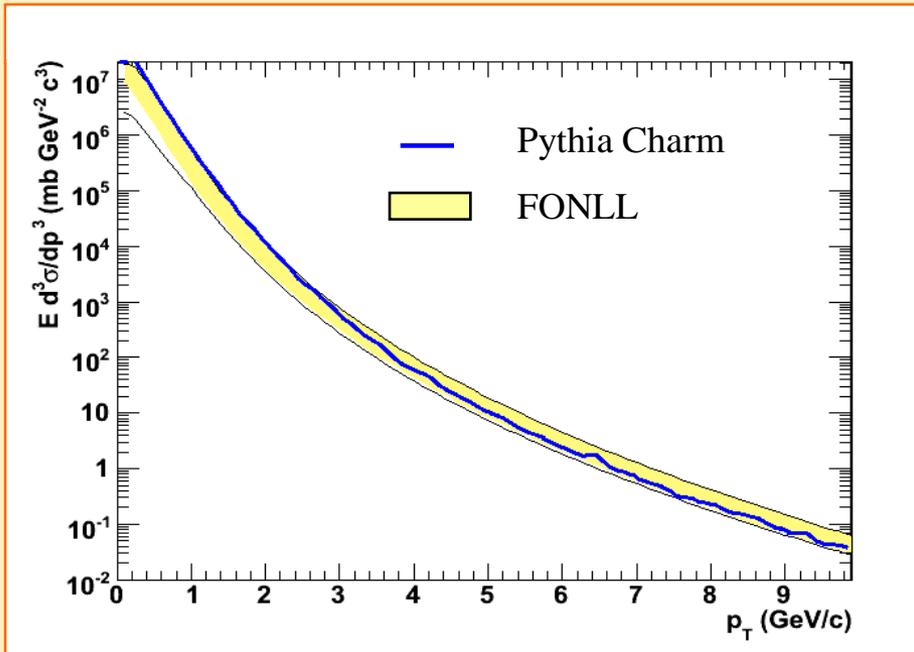
*accord qualitative avec des modèles de coalescence pour les HQ (Greco, Quenching Day, INFN, 2005).

La simulation : Pythia



- Simulation du charme et de la beauté en utilisant la paramétrisation de PHENIX (PRL 88 192303);
- Accord relativement bon sur l'ensemble du spectre en p_T .

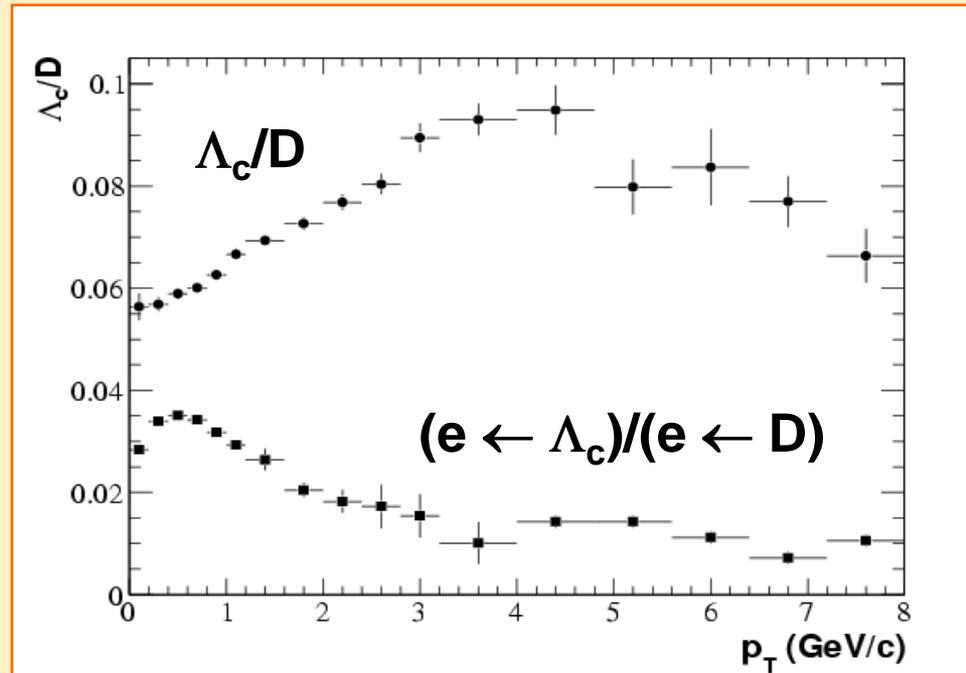
Pythia comparé aux prédictions de FONLL



✓ La pente du spectre pour le charme est plus importante que celle prédite par FONLL, mais reste néanmoins compatible dans les incertitudes théoriques ([M. Cacciari, et al. PRL 95 \(2005\) 122010](#));

✓ La pente pour la beauté est en bon accord avec les prédictions de FONLL.

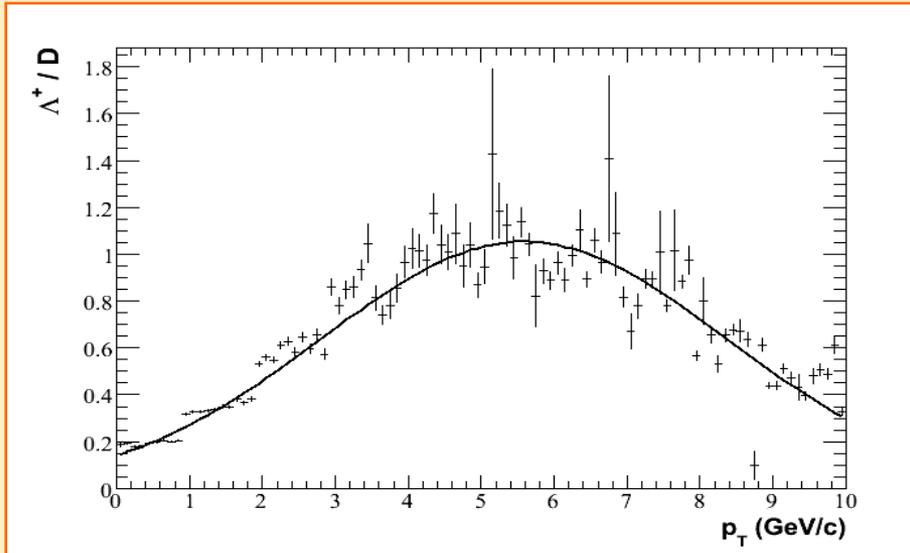
Spectres en électrons décrets des Λ_c et D



Le spectre en électrons venant du Λ_c est plus « pentu » que celui des électrons décrets des mésons D.

\Rightarrow Augmentation de la suppression des électrons pour les p_T intermédiaires et hauts avec une augmentation de Λ_c/D !

Modélisation du R_{AA} avec une augmentation du rapport Λ_c/D



2 scénarii considérés pour l'augmentation du Λ_c/D :

- *constant* (plat) en p_T ;
- *gaussienne* (*V. Greco, Quenching Day, INFN, 2005*).

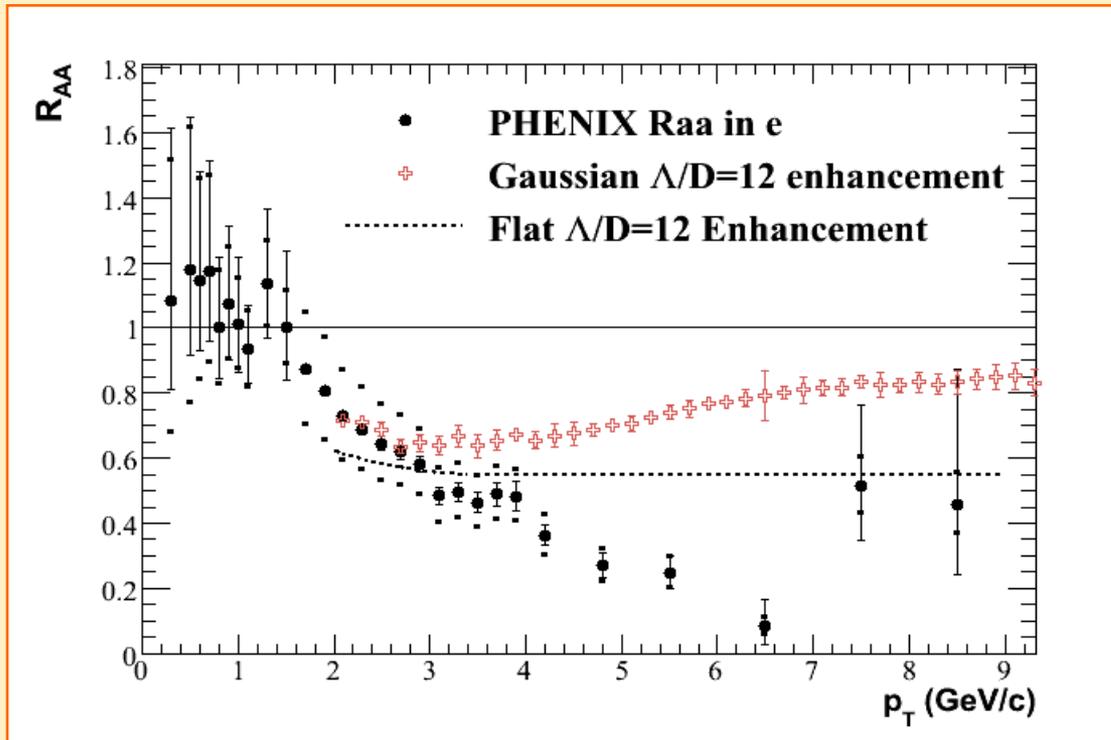
Augmentation de $12 \rightarrow \Lambda_c/D \sim 1$.

Construction du R_{AA} :

$$R_{AA} = (\text{dN/dp}_T \text{ avec effets nucléaires}) / (\text{dN/dp}_T \text{ sans effet nucléaire})$$

- ✓ spectres en p_T pour les hadrons et électrons tirés de la simulation PYTHIA ;
- ✓ application des effets (augmentation du Λ_c/D , perte d'énergie) et rapport d'embranchement (tirés du PDG).

Suppression des électrons à partir d'une augmentation du Λ_c/D



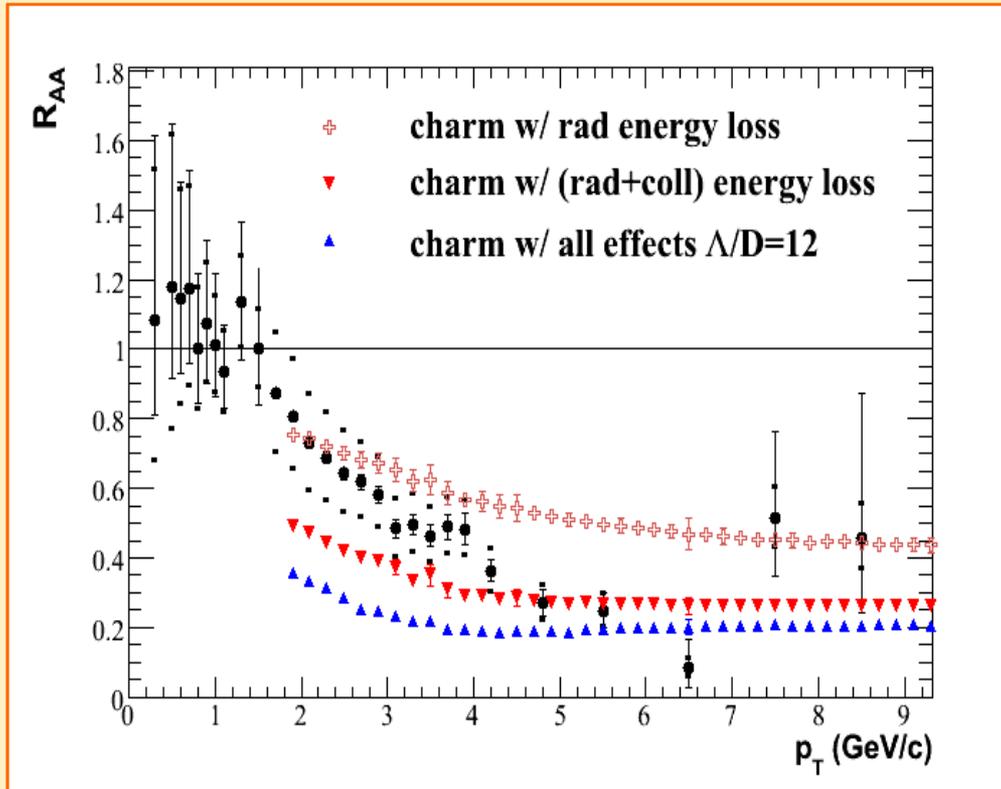
Avec $\Lambda_c/D \sim 1$, on observe une suppression de 40% pour les p_T entre 2 - 4 GeV/c dans :

- le scénario d'augmentation plat en p_T ;

- le scénario d'augmentation gaussienne (max centré à 6 GeV/c).

\Rightarrow un rapport $\Lambda_c/D \sim 1$ résulte en une suppression de 40% pour $2 < p_T < 4$ GeV/c.

Et si l'on considère la perte d'énergie du charme ? Donnée par S. Wicks et al., nucl-th/0512076.

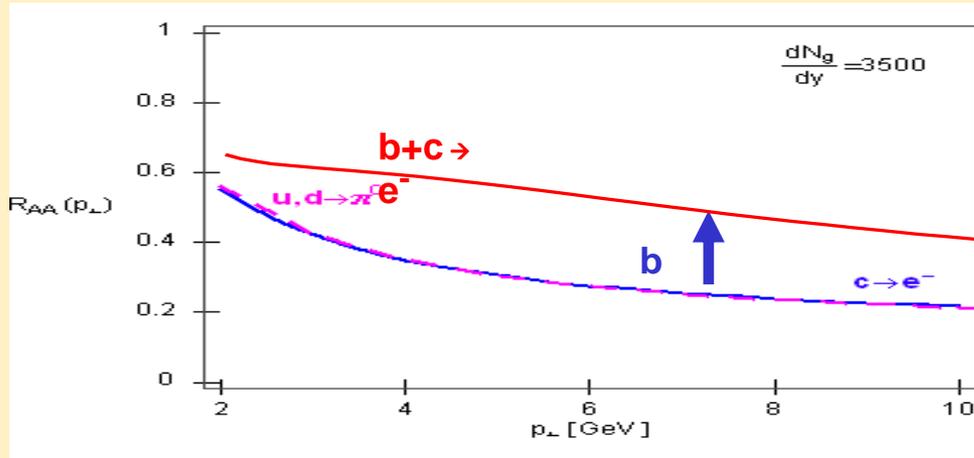


Symboles rouges : pertes d'énergie rad. (roses) et coll. (rouges) pour le charme. Accord avec les données PHENIX ($R_{AA} \sim 0.3$).

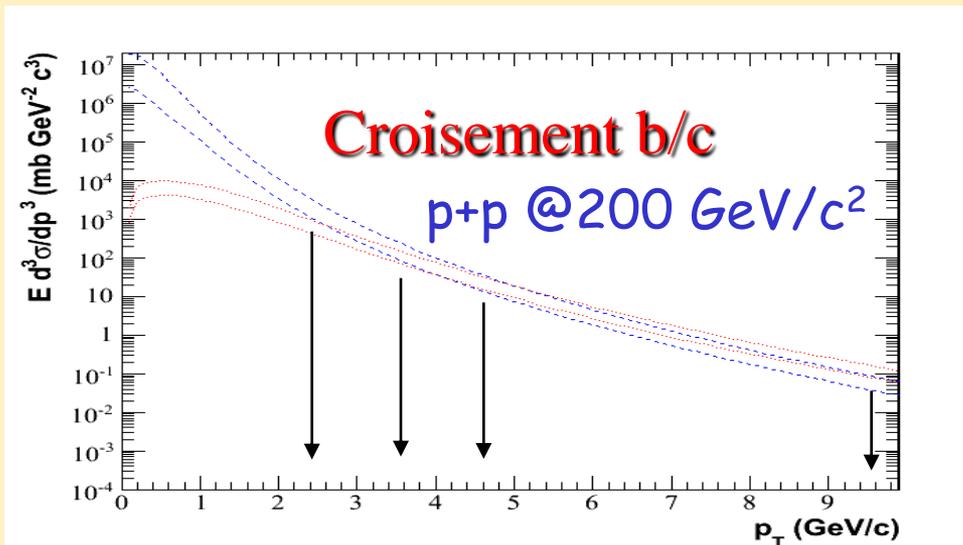
Triangles bleus : suppression supplémentaire due à notre effet.

⇒ La suppression due à notre effet est d'amplitude relative égale à celle de l'ajout de la perte d'énergie collisionnelle (élastique) !

Contribution de la beauté au R_{AA}

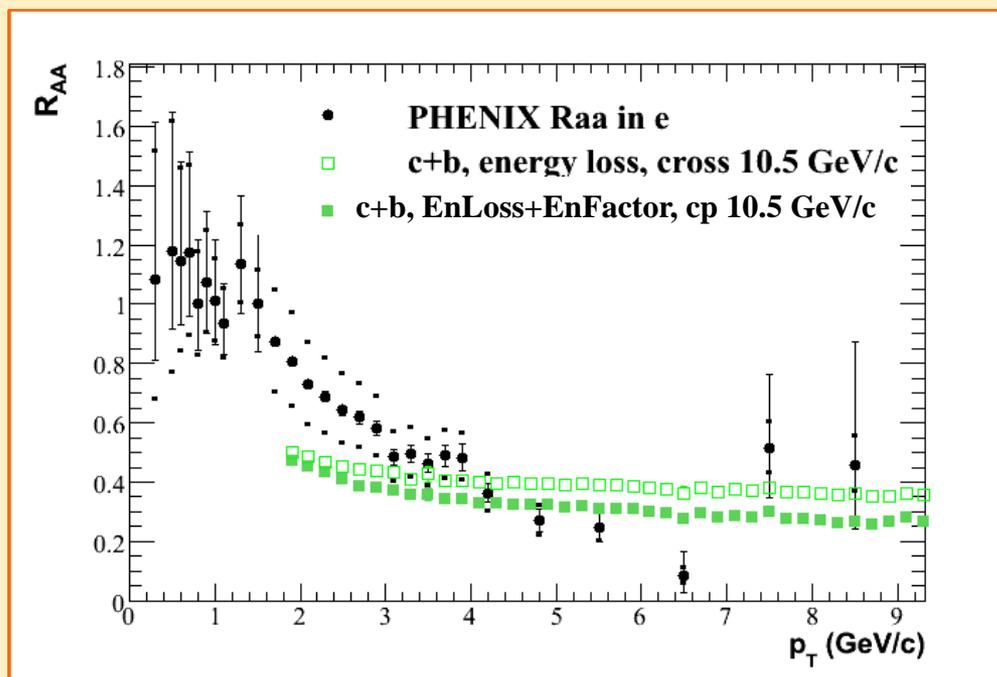


La beauté est moins supprimée que le charme due à l'effet de "cône mort" (par perte rad.) ! La contribution de la beauté augmente le R_{AA} final (de 0.3 à 0.5). **M. Djordjevic, SQM06.**



La contribution de la beauté est mal connue et la théorie (FONLL) prédit un croisement en électrons entre 2.5 GeV/c et $\sim 10 \text{ GeV}/c$, **M. Cacciari, et al. PRL 95 (2005) 122010.**

Beauty contribution to the R_{AA}



2 hypothèses étudiées :

✓ croisement c/b à $4.5 \text{ GeV}/c$ (valeur centrale prédite par FONLL)

$$R_{AA} : 0.5 \rightarrow 0.45 \text{ (10\%)}$$

✓ Croisement c/b à $10.5 \text{ GeV}/c$ (plus grande valeur possible de FONLL)

$$R_{AA} : 0.4 \rightarrow 0.3 \text{ (25\%)}$$

⇒ L'effet est dilué par la contribution de la beauté mais demeure visible, et non négligeable dans le cas d'un croisement c/b à $10.5 \text{ GeV}/c$.

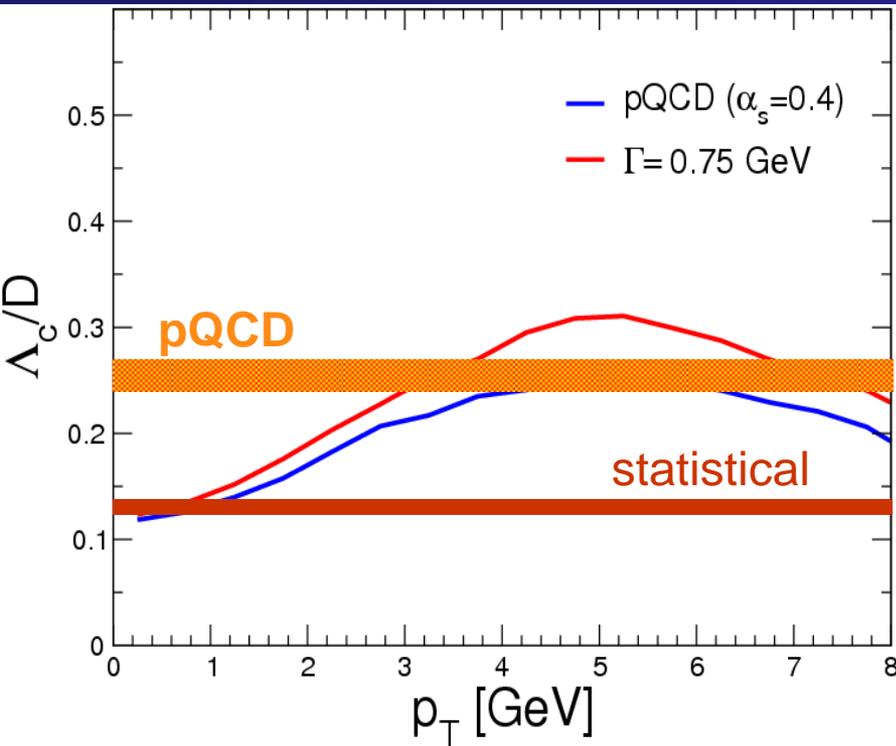
Conclusion

- L'augmentation du Λ_c/D ($\Lambda_c/D \sim 1$), comme observé pour les p/π^+ , Λ/K_s^0 et Ω/ϕ , aurait pour conséquence une diminution “naturelle” du R_{AA} pour les p_T intermédiaires.
⇒ $R_{AA} : 1 \rightarrow 0.6$, suppression de 40%.
 - L'ajout de cet effet d'augmentation du Λ_c/D sur le charme déjà supprimé par la perte d'énergie (rad. et coll.) résulte en une suppression plus forte ($p_T \geq 3$ GeV/c).
⇒ $R_{AA} : 0.3 \rightarrow 0.2$, ce qui représente près de 33% de la suppression totale.
 - La contribution de la beauté augmente le R_{AA} et donc “dilue” l'effet qui demeure visible et non négligeable :
⇒ $R_{AA} : 0.5 \rightarrow 0.45$ avec c/b à 4.5 GeV/c, représente 10% de la supp.
⇒ $R_{AA} : 0.4 \rightarrow 0.3$ avec c/b à 10.5 GeV/c, représente 25% de la supp.
 - Cet effet peut également affecter the v_2 puisque $v_2(\Lambda_c) > v_2(D)$ et donc aider à comprendre l'écart entre modèles et données.
- ⇒ Une compréhension précise du R_{AA} ne peut donc se faire sans une mesure séparée des différents hadrons charmés et beaux.

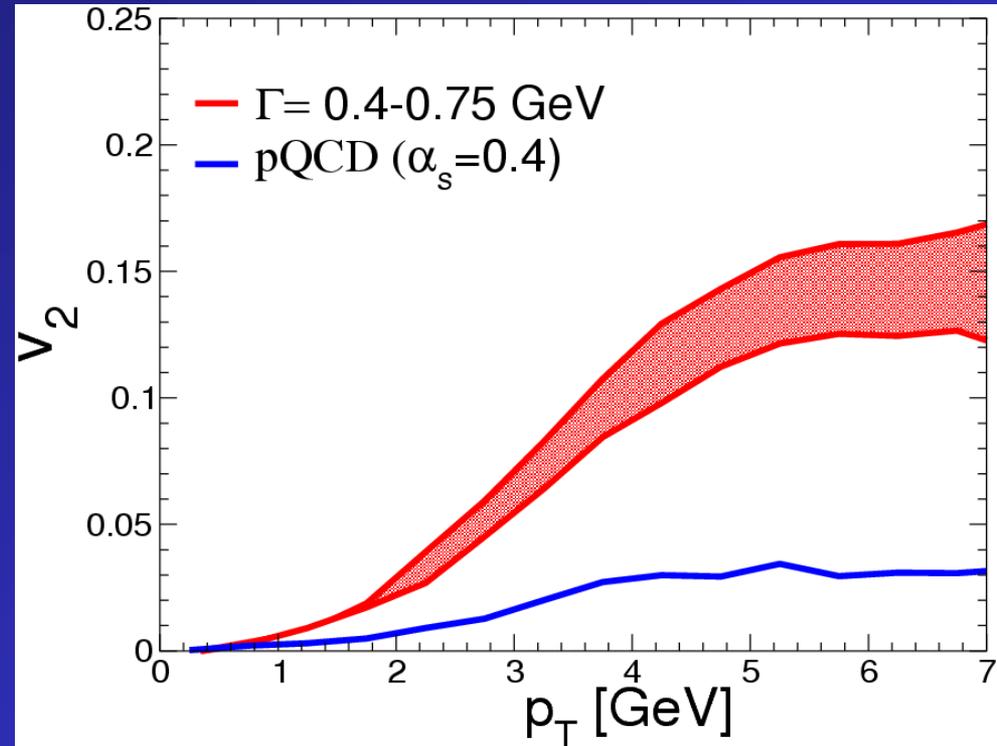
BackUp Slides

V. Greco, Quenching day, INFN, 2005

Baryon/meson from coalescence



Quarkonia v_2 from regeneration



- Contamination in single e : $v_{2\Lambda_c} > v_{2D}$
- BR to single electrons 4.5%
- > contamination negligible
- cut if one can verify those prediction ...