



Alexandre SHABETAI

Mesures du charme ouvert et de sa section efficace

Aujourd'hui (RHIC) et demain (RHIC2)

Mesures du charme à RHIC aujourd'hui

- Indirectes
- Directes (à l'aide de la TPC de STAR)

Futur dans STAR : le Heavy Flavor Tracker

- Hardware
- Simulation

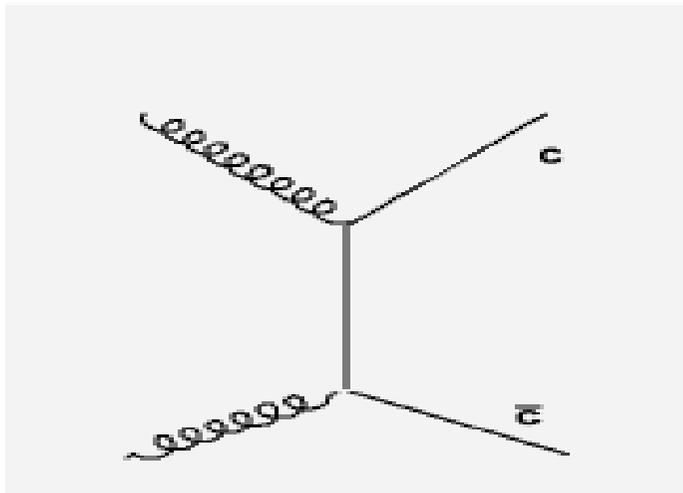
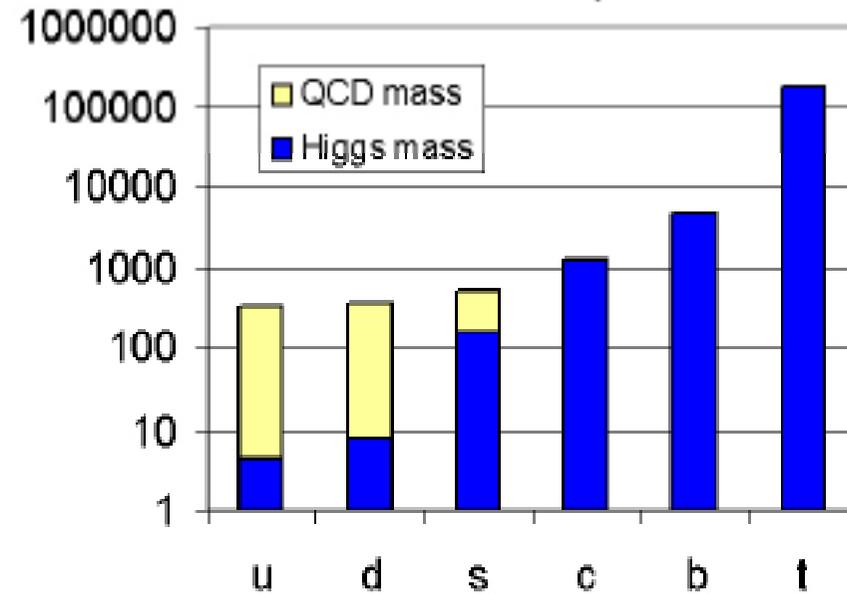


Motivations

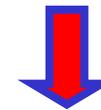
B. Müller, *nucl-th/0404015*

Le charme :

- est sensible **aux premiers instants** de la collision
- a une **structure en masse unique**
- est principalement produit par **fusion de gluons**



$M_c \approx 1.5 \text{ GeV} \gg \Lambda_{\text{QCD}}$



Sonde unique



Calcul de la section efficace du charme

$$\sigma_Q(S, m^2) = \sum_{i,j} dx_1 dx_2 \hat{\sigma}_{ij}(x_1 x_2 S, m^2; \alpha_s(\mu_R^2), \mu_R^2, \mu_F^2) F_{i/A}(x_1, \mu_F) F_{j/B}(x_2, \mu_F) + O\left(\frac{\Lambda}{m}\right)^p$$

Collision dure

Fonction de distribution des partons (PDF) Correction

Calcul:



For predicting total cross sections one can stop here

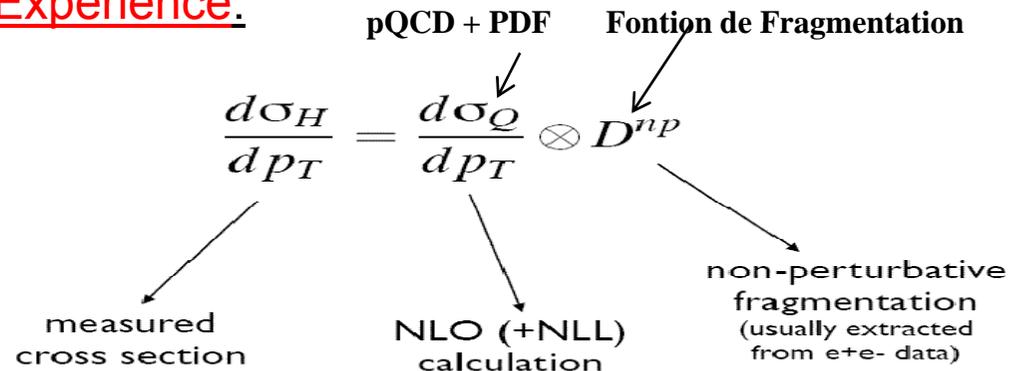
NLO: ~ 300-500 μb

R. Vogt *Int. J. Mod. Phys. E* 12(2003)211

FONLL: $256^{+400}_{-146} \mu b$

M. Cacciari et al., *PRL* 95 (2005) 122001

Expérience:

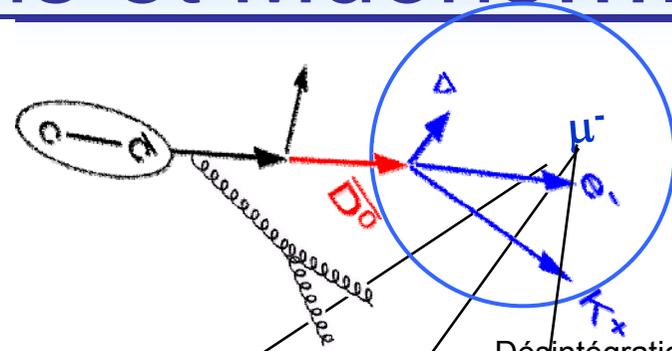




Mesures du charme ouvert à RHIC

Mesures indirectes

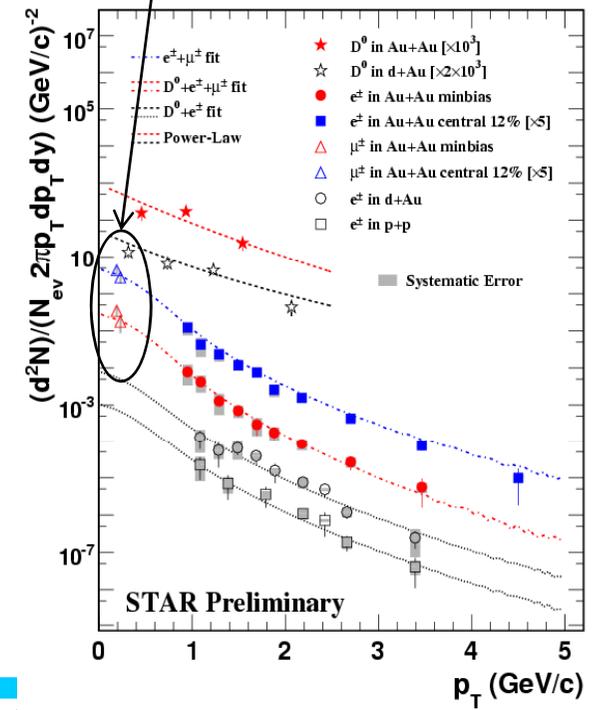
Electrons et Muons....



- $c \rightarrow e^+ + X$
- $c \rightarrow \mu^+ + X$
- $D^0 \rightarrow e^+ + X$ (6.87 %)
- $D^0 \rightarrow \mu^+ + X$

Désintégrations semi-leptoniques

- o muon (canal semi-leptonique)
- o électron (canal semi-leptonique)

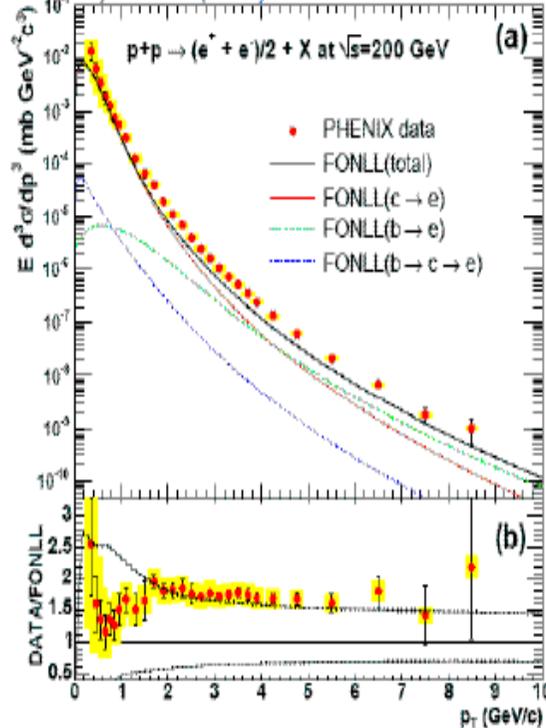




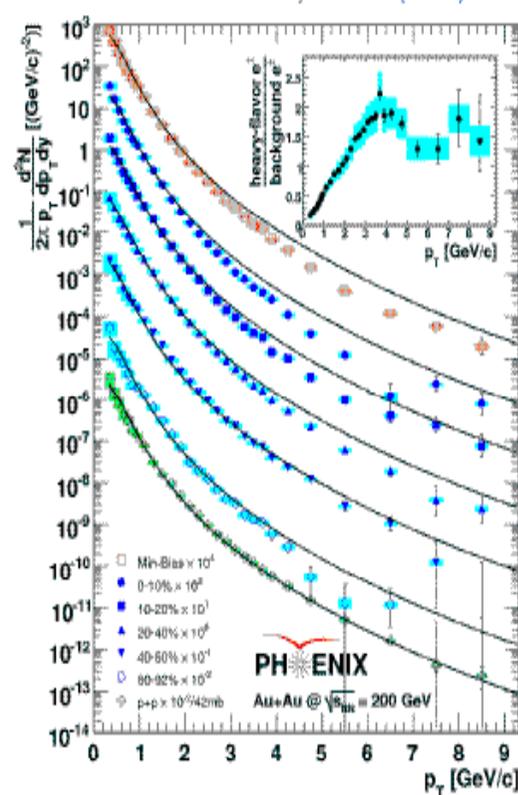
Spectres des e^- non photoniques

« **Scaling** » avec le nombre de collisions binaires (de p+p à Au+Au)

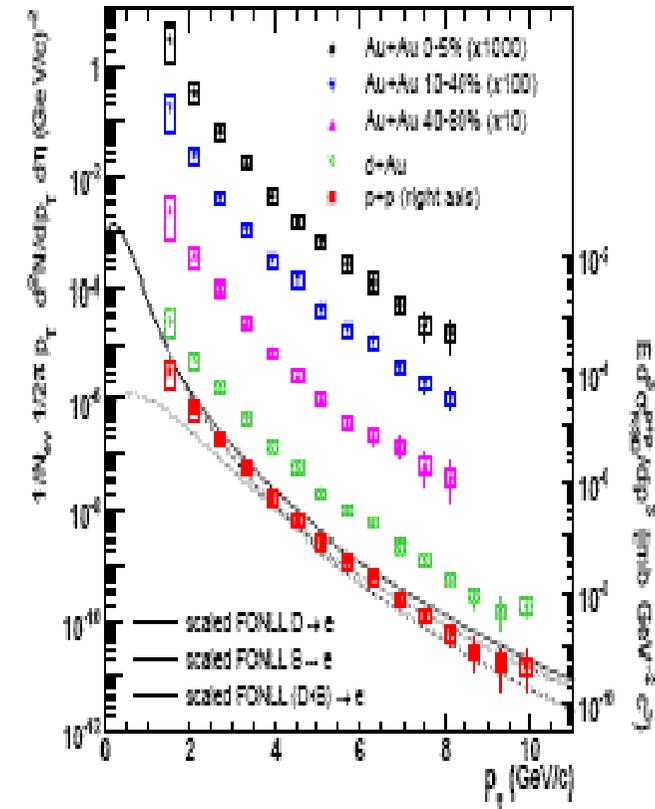
PHENIX, PRL 97 (2006) 252002



PHENIX, PRL 98 (2007) 172301

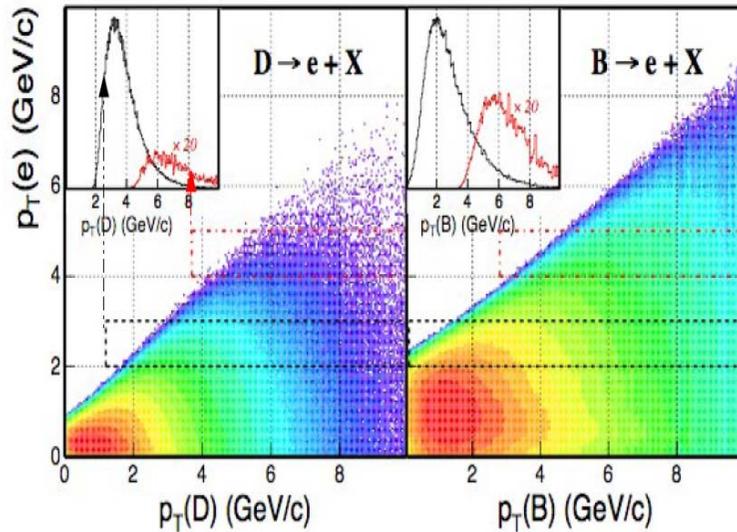


STAR nucl-exp/0607012



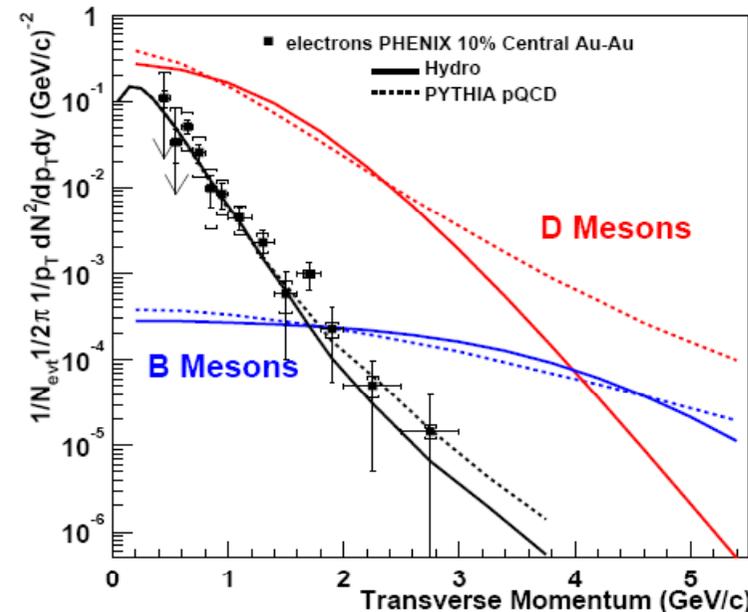
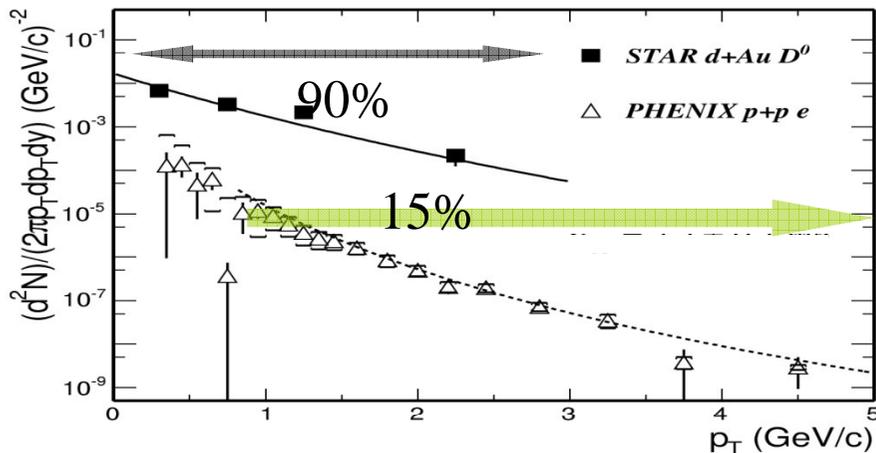


Questions ouvertes



- **Précision** à bas P_T est importante
 - Les e^- ne peuvent pas être considérés comme une sonde directe (peuvent provenir de **D et B**)
- Imprécisions → **besoin de mesures directes**

S. Batsouli, et al, Phys.Lett.B 557 (2003) 26





Mesures du charme ouvert à RHIC

Mesures directes (spécifiques à STAR)

(mon analyse de thèse)

Période	Système	$\sqrt{s_{NN}}$	Luminosité
Run I (2000)	Au+Au	130 GeV	$1 \mu\text{b}^{-1}$
Run II (2001)	Au+Au	200 GeV	$24 \mu\text{b}^{-1}$
	p+p	200 GeV	0.15pb^{-1}
Run III (2002-03)	d+Au	200 GeV	2.74nb^{-1}
	p+p	200 GeV	0.35pb^{-1}
Run IV (2003-04)	Au+Au	200 GeV	$241 \mu\text{b}^{-1}$
	Au+Au	62	$9.0 \mu\text{b}^{-1}$
	p+p	200 GeV	0.35pb^{-1}
Run V (2005)	Cu+Cu	200 GeV	3.0nb^{-1}
	Cu+Cu	62.4 GeV	0.19nb^{-1}
	Cu+Cu	22.5 GeV	$2.7 \mu\text{b}^{-1}$
	p+p	200 GeV	3.8pb^{-1}

H. Zhang (A.Shabetai)

H. Zhang

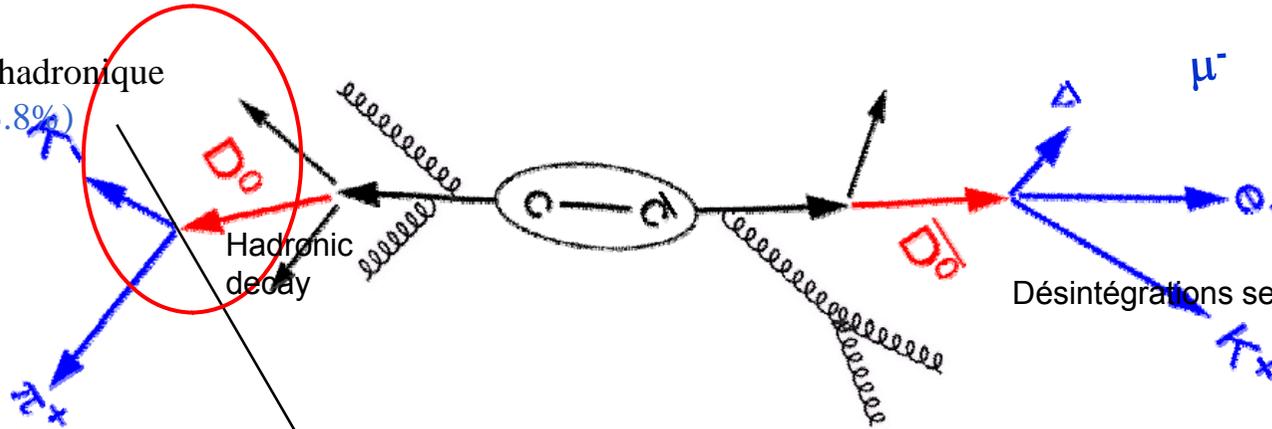
S.Baumgart (Yale)

A.Shabetai



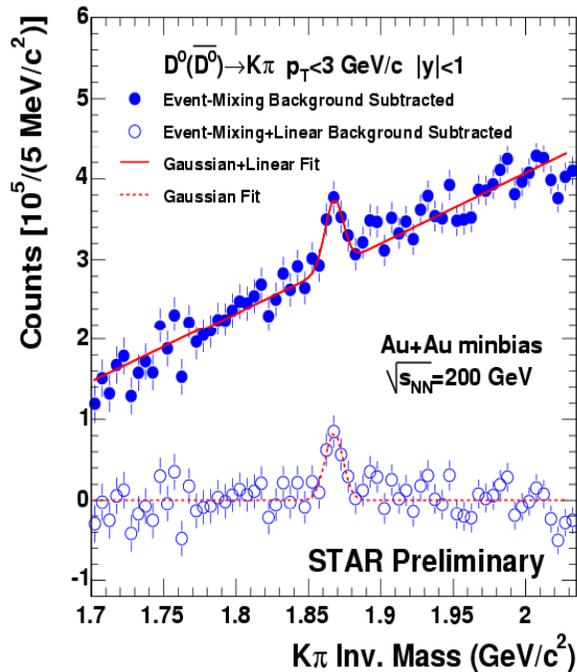
Reconstruction directe

▪ Désintégration hadronique
 $D_0 \rightarrow K\pi$ (B.R.: 3.8%)

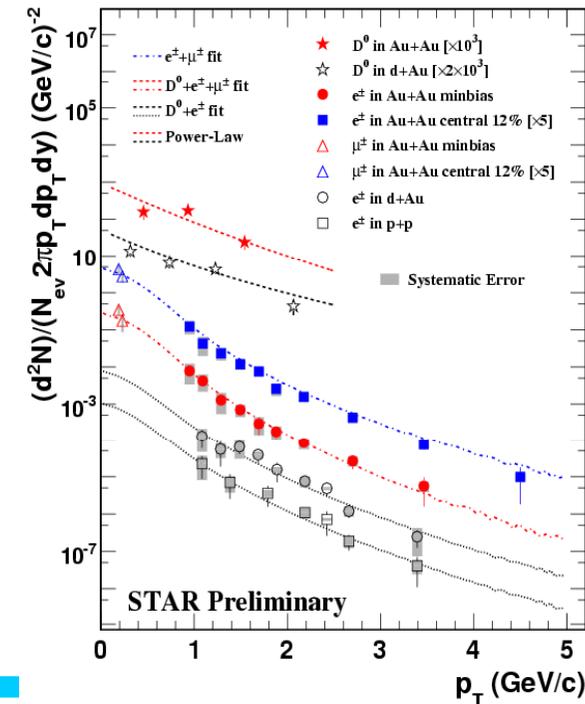


$c \rightarrow e^+ + X$
 $c \rightarrow \mu^+ + X$
 $D^0 \rightarrow e^+ + X$ (6.87 %)
 $D^0 \rightarrow \mu^+ + X$

STAR nucl-ex/0510063



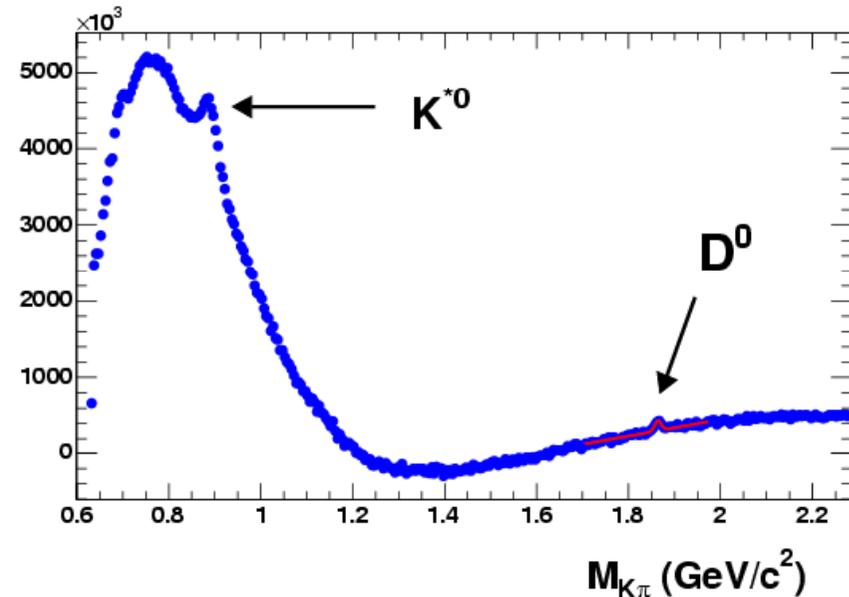
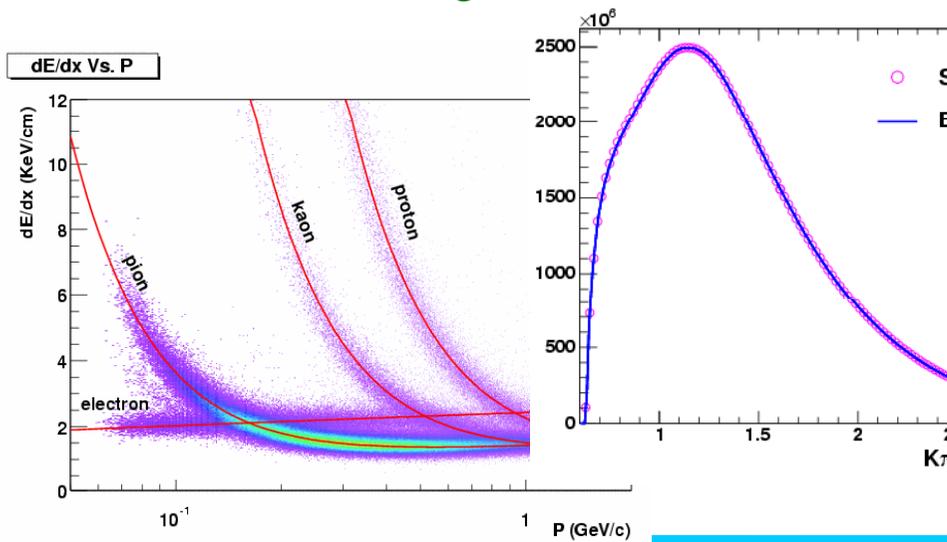
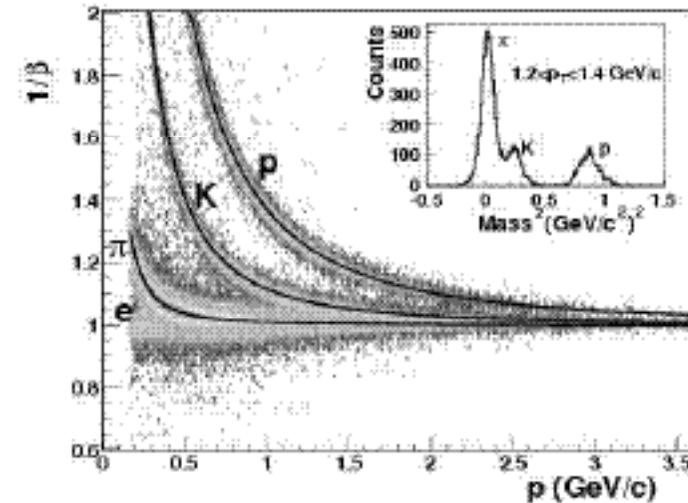
- Reconstruction "directe" du D^0 (canal hadronique) techniques "résonances"
- muon (canal semi-leptonique)
- électron (canal semi-leptonique)





Reconstruction du D^0 dans STAR

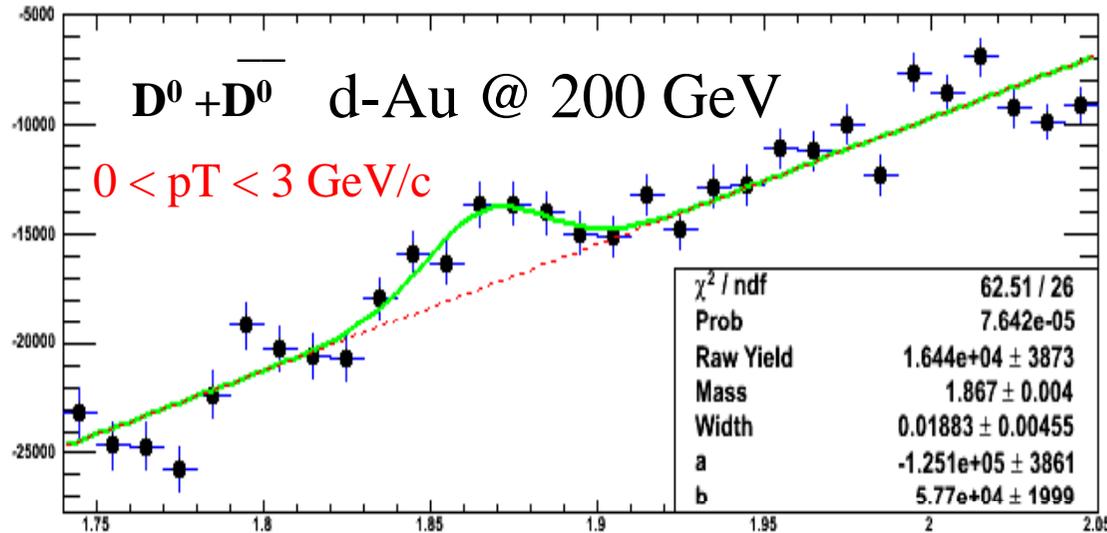
- Sélectionner les Pions et les Kaons à l'aide de la TPC et du TOF
- Combiner les paires provenant d'un même évènement \Rightarrow **signal+bruit**
- Combiner les paires provenant d'évènements différents \Rightarrow **bruit** ("évènements mélangés" ou "rotation de traces")
- Soustraire \Rightarrow **signal**



A. SHABETAI – Deuxièmes rencontre

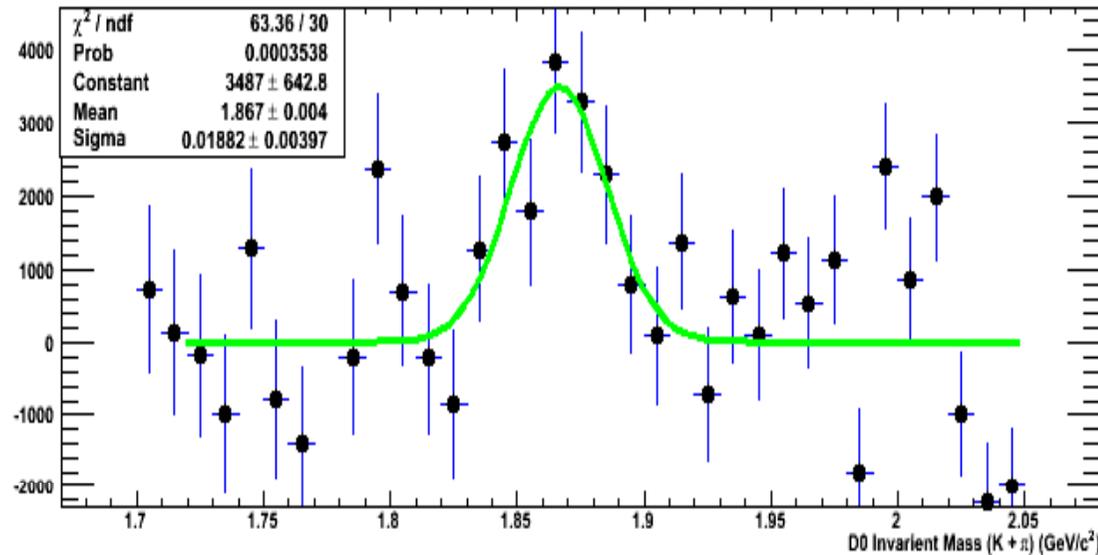


Premiers résultats – collisions d+Au @ 200 GeV



~ 15 Millions d'événements
(toute la stat. disponible)

S/B ~ [1/400 , 1/600]



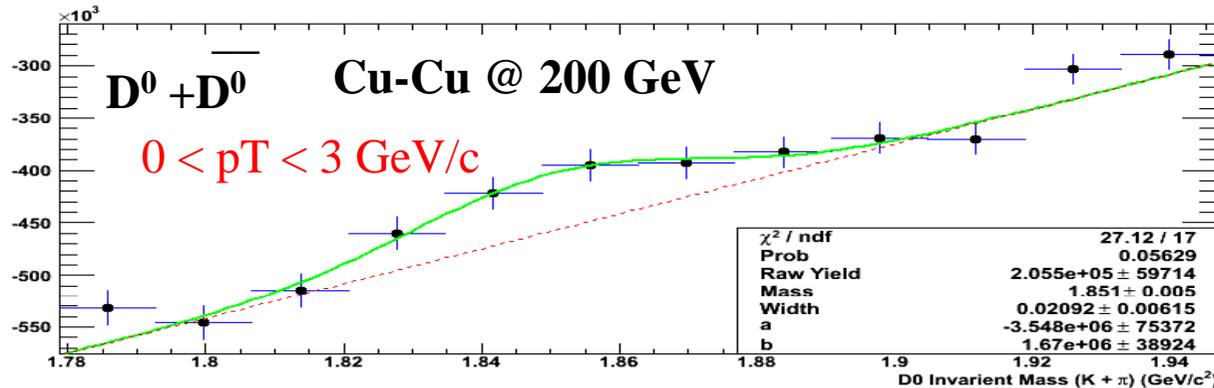
→ Mesure **difficile**
→ Soustraction du bruit de fond **capitale** (et complexe)
→ Erreurs **statistiques et systématiques** très importantes

A. SHABETAI – Deuxièmes rencontres QGP-France d'Etretat - Sept. 2007

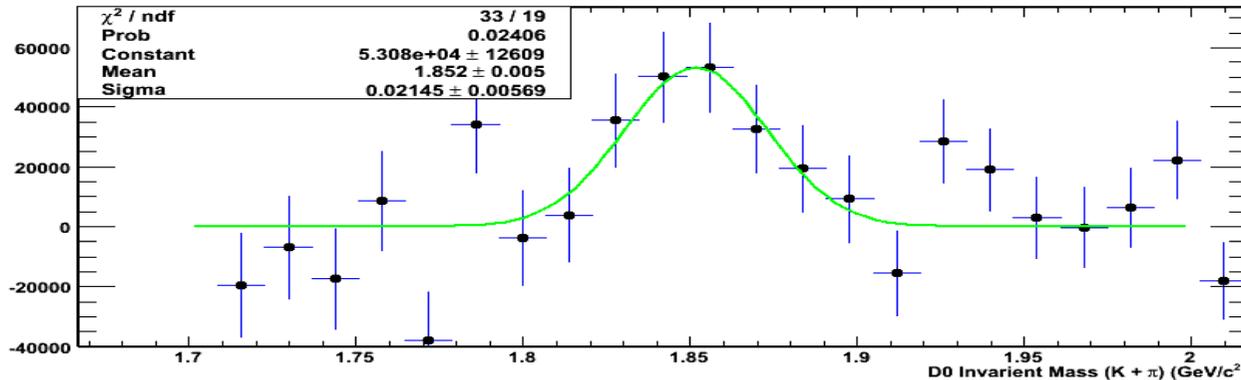




Deuxièmes résultats – collisions Cu+Cu @ 200 GeV



~ 35 Millions
d'événements:
toute la statistique
Cu+Cu
« minimum bias »
(RHIC run V)



$S/B \ll S/B_{\text{d-Au}}$
(combinatoire
plus élevée que
d-Au)

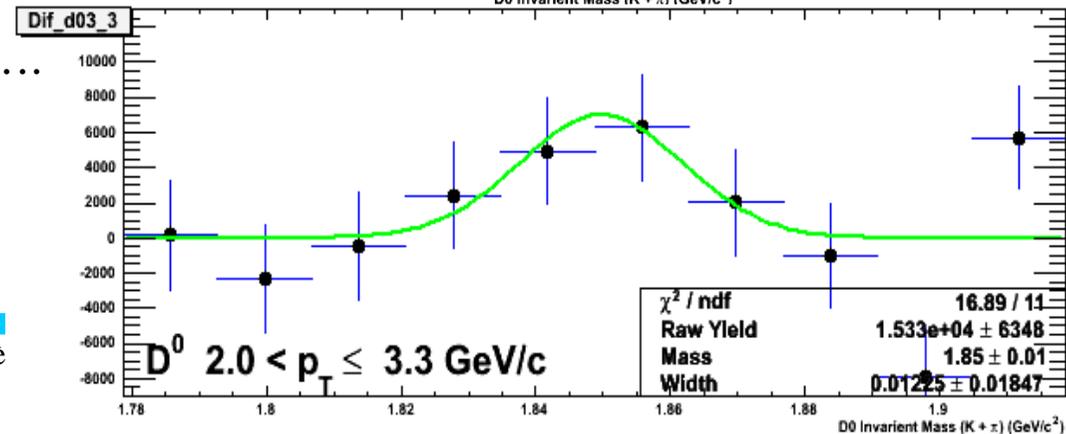
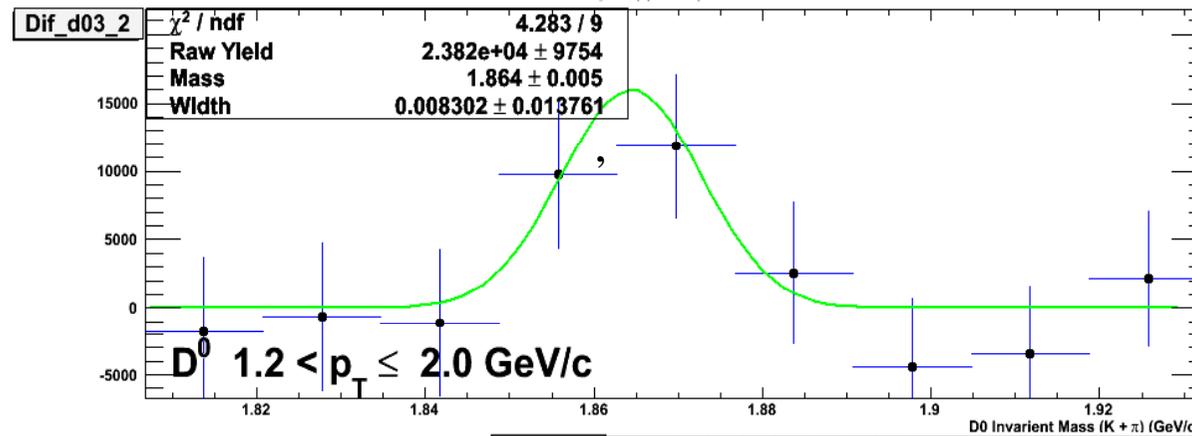
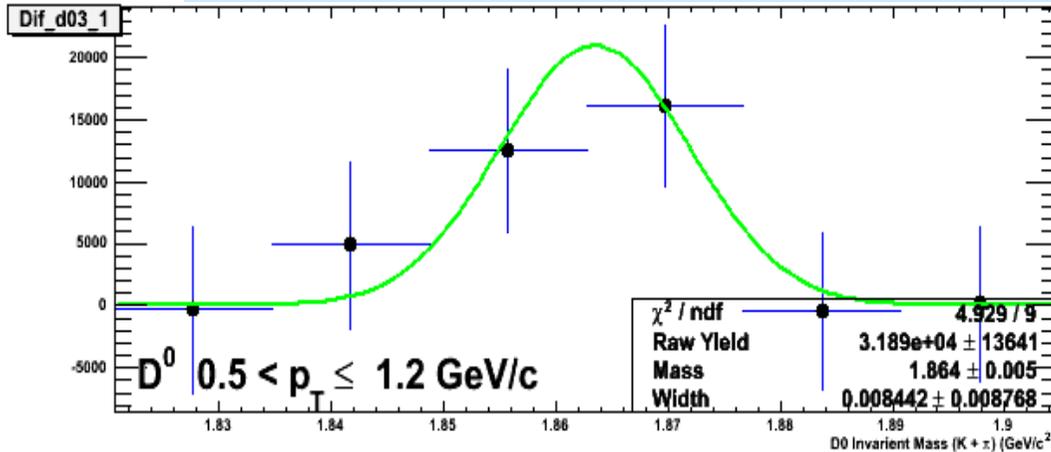
- Mesure **difficile** → 2 analyses indépendantes (A.S et S.B)
- soustraction du bruit de fond **capitale** (et complexe)
- Erreurs **statistiques et systématiques** très importantes

$S/\sqrt{S+B} > \sim 4$
(difficile à évaluer)



Canaux en Pt

Masses D^0 en accord avec le PDG (+ fluctuations)



3 canaux en p_T pas si facile à obtenir....

- stat. limite
- peu de coupures (car signal faible)
- **PID capital** (TPC + TOF)

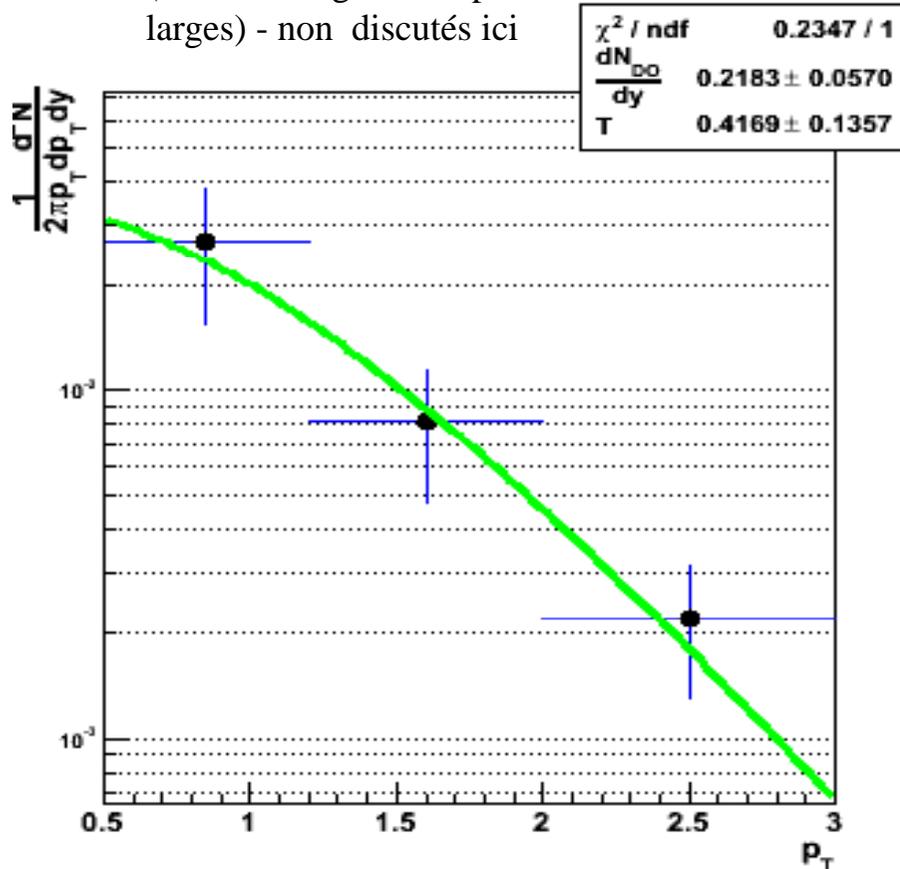


Spectres corrigés

D^0 et $(D^0+D^0\text{bar})/2$

Après corrections :

(« embedding » – température – bins larges) - non discutés ici



Ajustement **Expo. ou Boltzman**
→ **même résultat** (erreur stat)

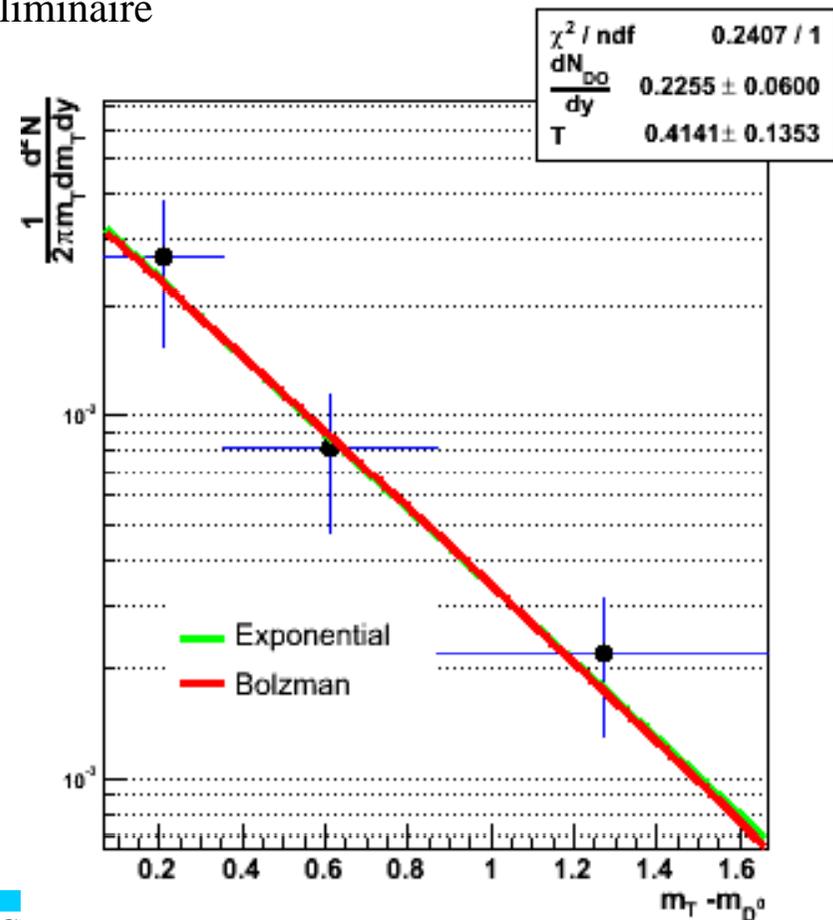
T compatible avec PYTHIA (T~ 530 MeV)

$dN/dy \sim 0.22 \pm 0.05$ (TPC – D^0) – Préliminaire

Exclusivité! :

$dN/dy = 0.20 \pm 0.05$ (TPC + T0F – $(D^0+D^0\text{bar})/2$)

Préliminaire





Retour à la section efficace

(mon file conducteur)



Extraction de la section efficace

$$\sigma_{c\bar{c}}^{NN} = dN_{D^0}^{Cu+Cu} / dy \times \sigma_{inel}^{pp} / N_{bin}^{Cu+Cu} \times f / R$$

$$dN_{D^0} / dy = 0.218 + / - 0.06 \text{ (stat.)}$$

Nombre de collisions binaires

$$N_{binary}^{Cu+Cu} = 51.5 + 1.0 - 2.9$$

Section efficace inélastique p+p

$$\sigma_{inel}^{pp} = 42 \text{ mb}$$

Facteur de conversion "full rapidity"

$$f = 4.7 \pm 0.7$$

Ratio obtenu à partir des collisions e^+e^- (FF)

$$R = N_{D^0} / N_{c\bar{c}} = 0.54 \pm 0.05$$

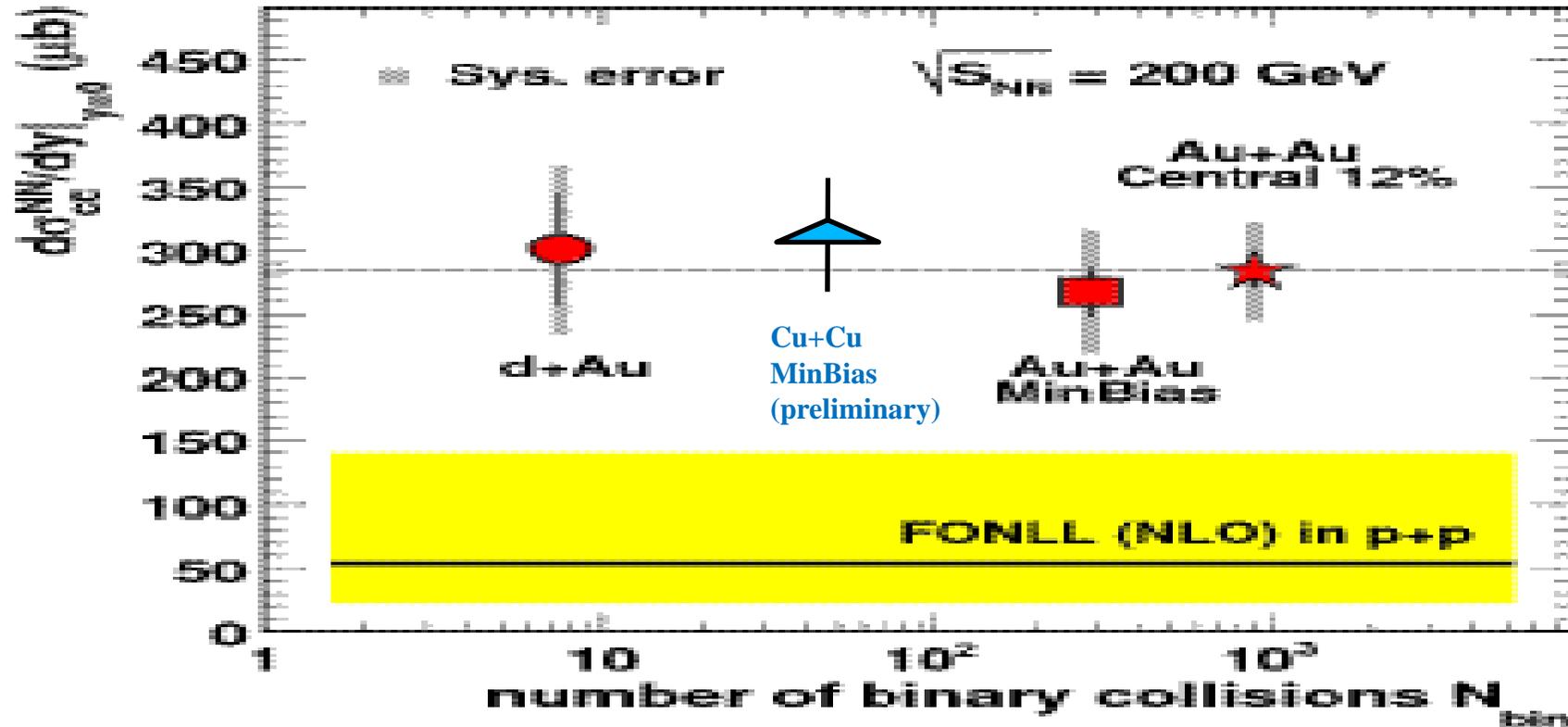
Préliminaire :

(D^0 TPC seule) :

$$\Rightarrow \sigma_{c\bar{c}}^{NN} = 1.56 \pm 0.67 \text{ (stat.) mb}$$



d σ /dy dans STAR...



Bonne soustraction du bruit de fond **capitale**

(erreur stat + effet du flow)

Etude **systematique (dominante)** en cours

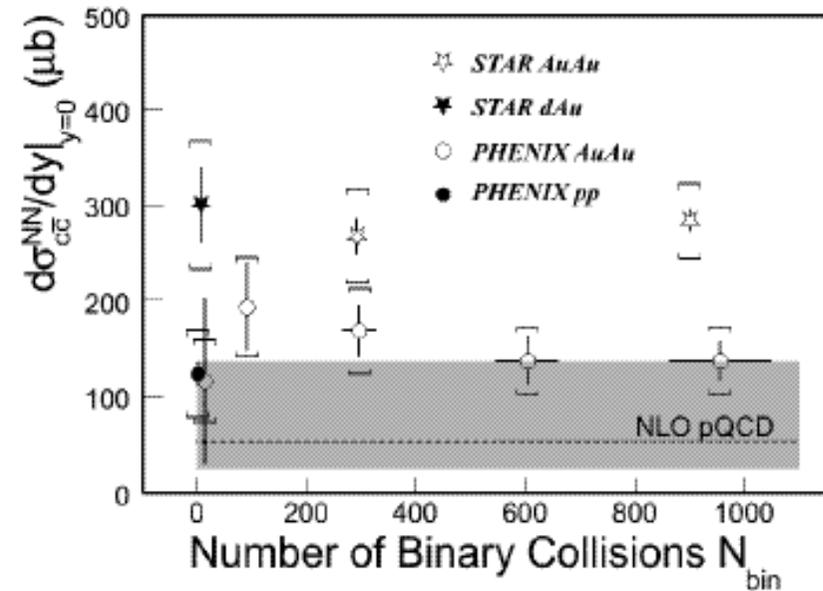
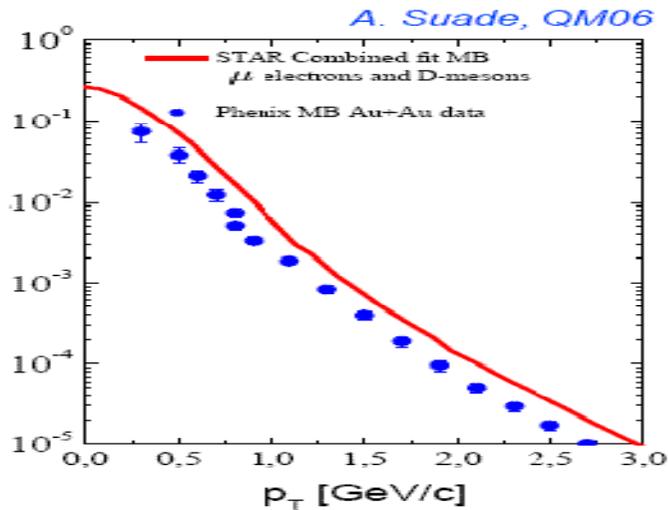
Papier + Abstract QM en préparation

Calcul FONLL discuté ensuite

« **Scaling** » avec le **nombre de collisions binaires** (de d-Au à Au+Au)



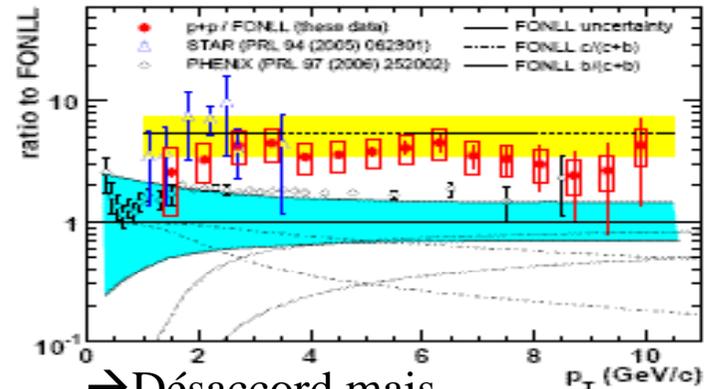
Comparaison PHENIX/STAR



- La forme des spectres est en accord
STAR et PHENIX observent la **même**
dépendance en fonction de N_{bin}

- La valeur de **la section efficace**
n'est pas la même (facteur 2-3)

- STAR et PHENIX sont tous deux **au dessus des**
prédictions FONLL...



→ Désaccord mais
le R_{AA} peut-il nous être utile ?



De quoi dépend la valeur prédite?

- Energie
- Masse des quarks (m_c)
- Echelles
 - μ_R : échelle de fragmentation
 - μ_F : échelle de factorisation
 - α_s : couplage fort
- PDF utilisé

Exemple:

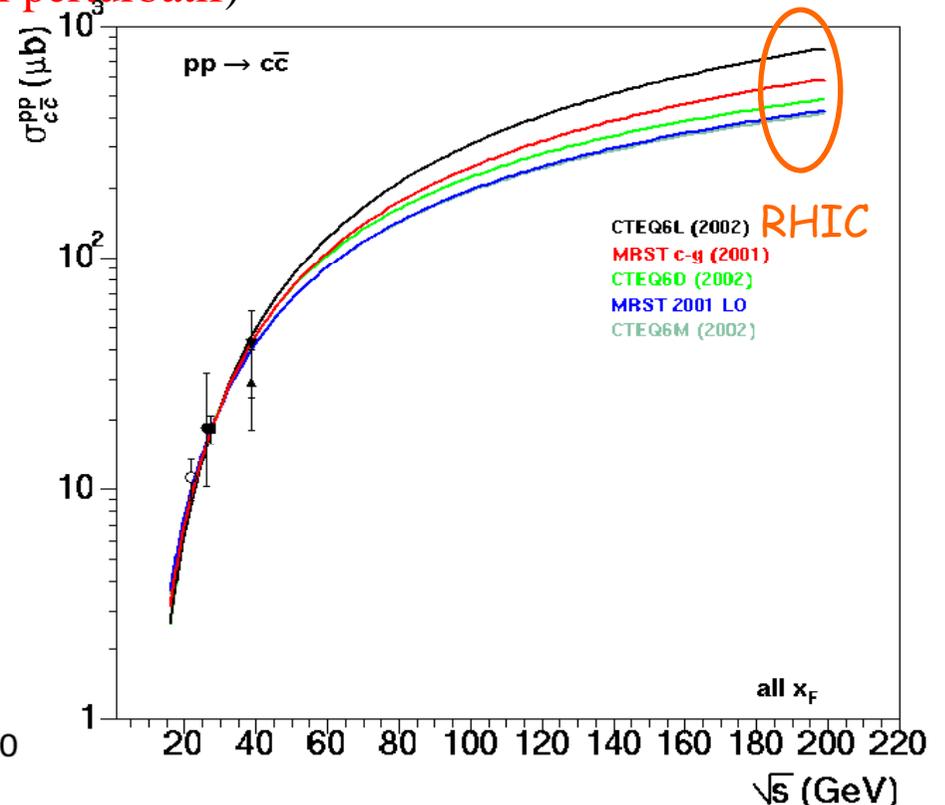
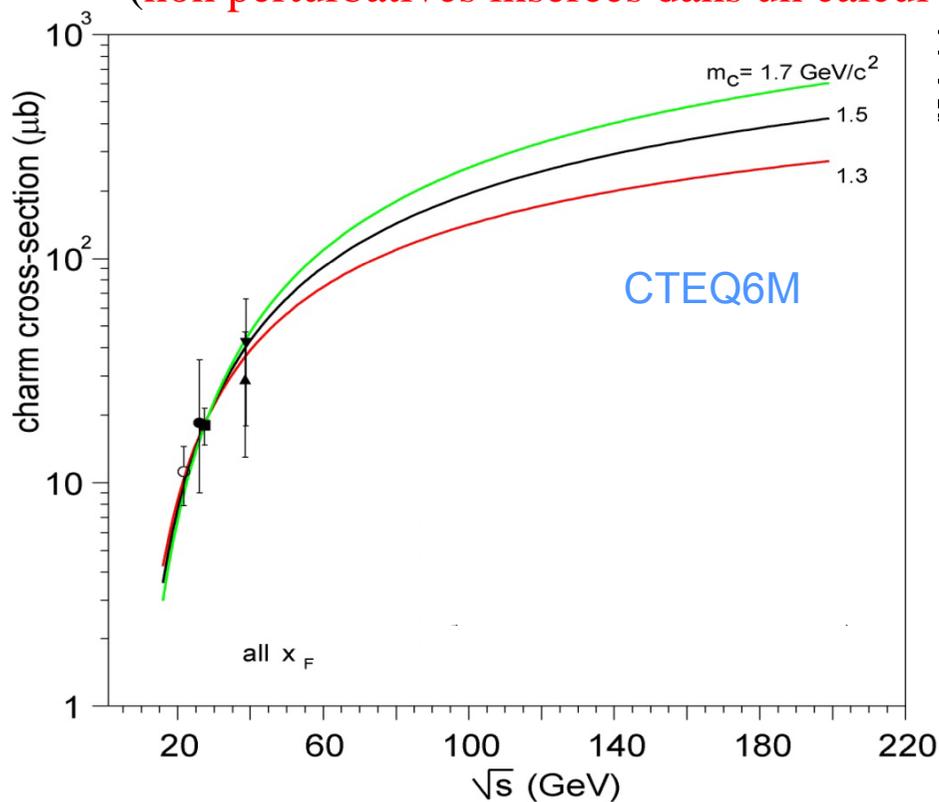
FONLL: $\mu_F = \mu_R = \mu = \sqrt{p_T^2 + m_c^2}, m_c = 1.2 \text{ GeV}/c^2$

PYTHIA: CTEQ5M1, MSEL=1

NLO: MRST $\mu = 2m_c, m_c = 1.2 \text{ GeV}/c^2$

- Utilisation correcte des Fonctions de Fragmentation (FF)
(non perturbatives insérées dans un calcul perturbatif)

H. Wöhri and C. Lourenço Jphys G
Nucl Part Phys 30 (2004)315





Est-ce un calcul précis?

A l'aide de la QCD (et pQCD) :

- on peut prédire, **correctement** la section efficace totale de production des saveurs lourdes
- les sections efficaces différentielles (en fonction de l'impulsion, de l'énergie, de la rapidité...), peuvent aussi être connues moyennant « **l'ajout d'un jeu minimal, self-consistant et universel de paramètres d'entrée non perturbatifs** »

Matteo Cacciari

ISMD 2007

Afin de parvenir à un accord, **il faut:**

- Utiliser des **outils théoriques dédiés** (FONLL et maintenant NNLO)
- Utiliser **les bon paramètres** (echelles de masse, de renormalisation et de factorisation, couplage) et les bonnes Fonction de Distributions de Partons (PDF) et Fonction de Fragmentation (FF).

- **Faire le minimum d'extrapolations/déconvolutions entre les mesures et la théorie**

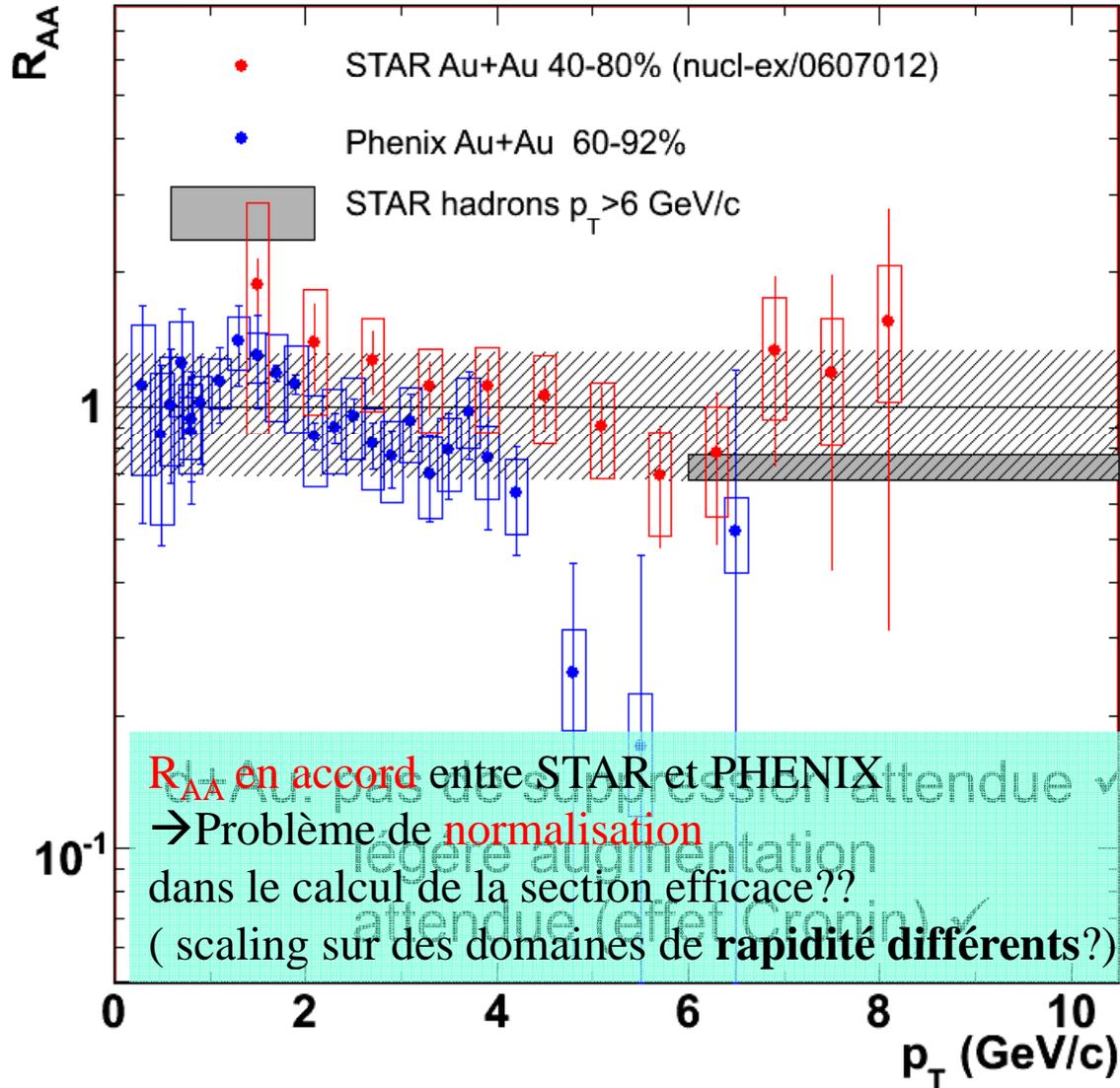
→ **Si et seulement si** toutes ces conditions sont réunies alors on peut espérer parvenir à un **bon accord entre théorie et expérience**

en pratique



$R_{AA} : (e^-)$ depuis d+Au jusqu'à Au+Au

$$R_{AA}(p_T) = \frac{Yield(A+A)}{Yield(p+p) \times \langle N_{coll} \rangle}$$



Dead cone effect
non observé ...
(e^- non photoniques)

R_{AA} en accord entre STAR et PHENIX ✓
 → Problème de normalisation
 dans le calcul de la section efficace??
 (scaling sur des domaines de rapidité différents?)





Comment faire mieux ?

- Utiliser le SVT + SSD (cf. présentation suivante)
- « Upgrade » pour RHIC2

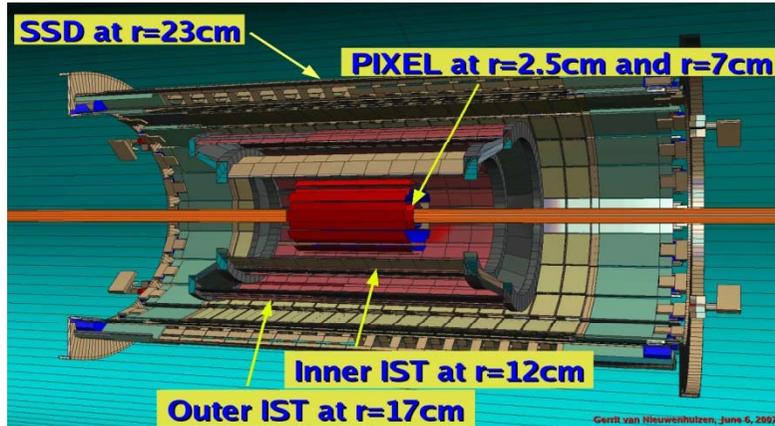
Cas de STAR :

- Projet HFT Berkeley / MIT (proto. complet installé pour le run de **2009**)
- Utilisation de capteurs **CMOS** (Strasbourg)
- « **Full Simulation** » pour en évaluer les performances de physique (deux autres parties de ma thèse)



The Heavy Flavor Tracker dans STAR

Le futur "Tracking interne" du détecteur STAR au RHIC



Un prototype d'échelle

cf. HFT Proposal LBNL-PUB-5509

Le futur détecteur de vertex de STAR (« pixel detector ») :

• 2 couches

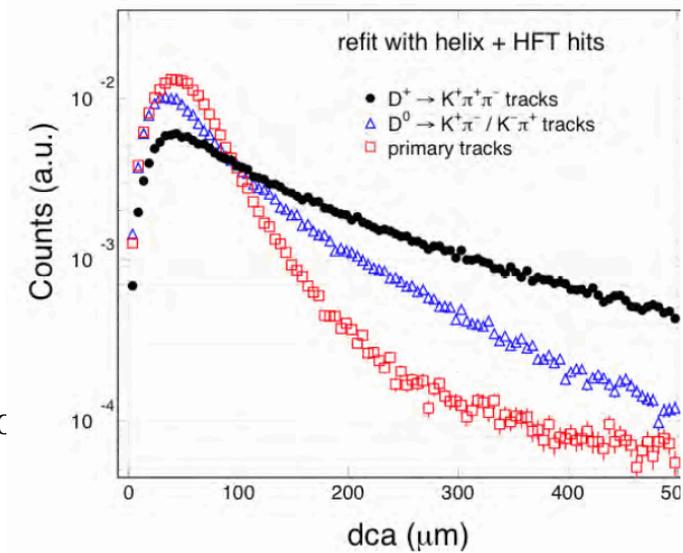
Rayon : 2.5 cm and 8 cm ,

24 échelles

-2 cm x 20 cm chacune

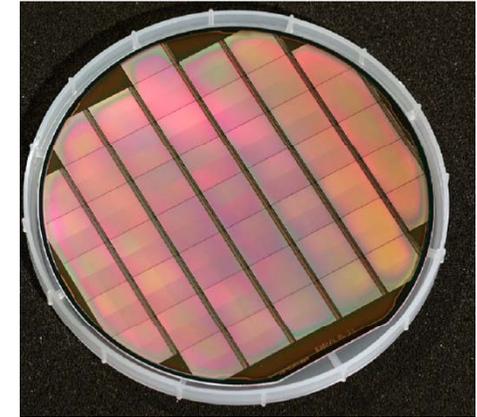
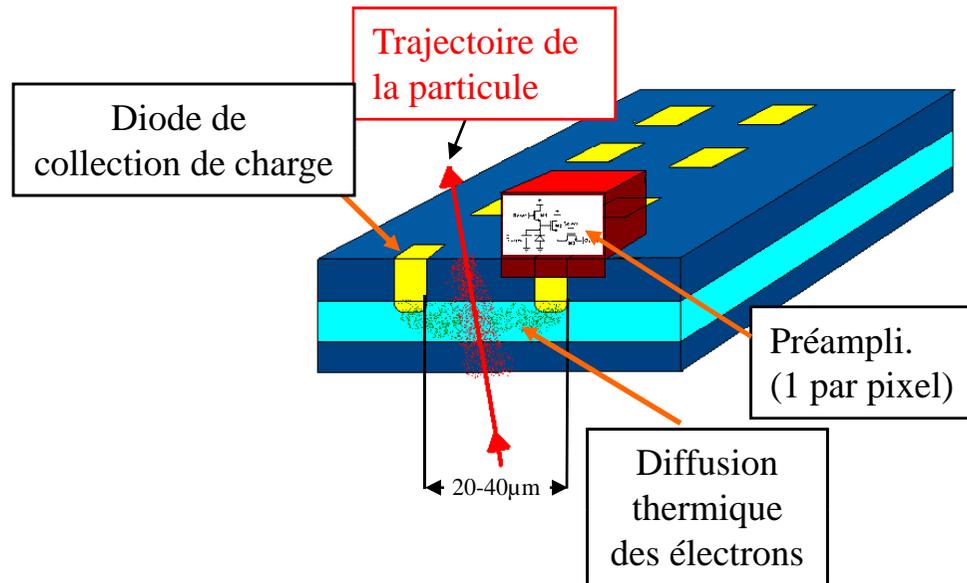
Utilisation de capteurs **CMOS** pixel car il nous faut :

- une grande **précision** (résolution du détecteur : $\sim 9 \mu\text{m}$)
- un **détecteur fin** ($260 \mu\text{m}$ equi. Si) par échelle ($0.28\% X_0$)
- un **détecteur rapide** (proto. **0.2 ms** de temps d'intégration)
- Une faible consommation électrique ($< 100 \text{ mW/cm}^2$)
- Une tolérance aux radiations modérées





CMOS « Active Pixel Sensors »



Wafer MIMOSA5

→ caractérisations, calibrations, tests en faisceaux et analyse (non discutés ici) :

o Technologie AMS **0.35 µm** opto.

Prototype actuel (Mimo*2) :

o 128x64 pixels

Prototype “final” pour le HFT

o **640 pixels** par ligne x **320 colonnes** / secteurs

o 2 secteurs / détecteur

o ~200 ns de temps de lecture

o Lecture numérique

■ Main results at $T = 25^{\circ}\text{C}$ and $t_{r.o.} = 0.8 \text{ \& } 4 \text{ ms}$:

∴ $N \sim 11 - 14 e^{-}\text{ENC}$

∴ $S/N \sim 15 - 21 \text{ (MPV)}$

∴ $\epsilon_{det} \gtrsim 99.8 \%$

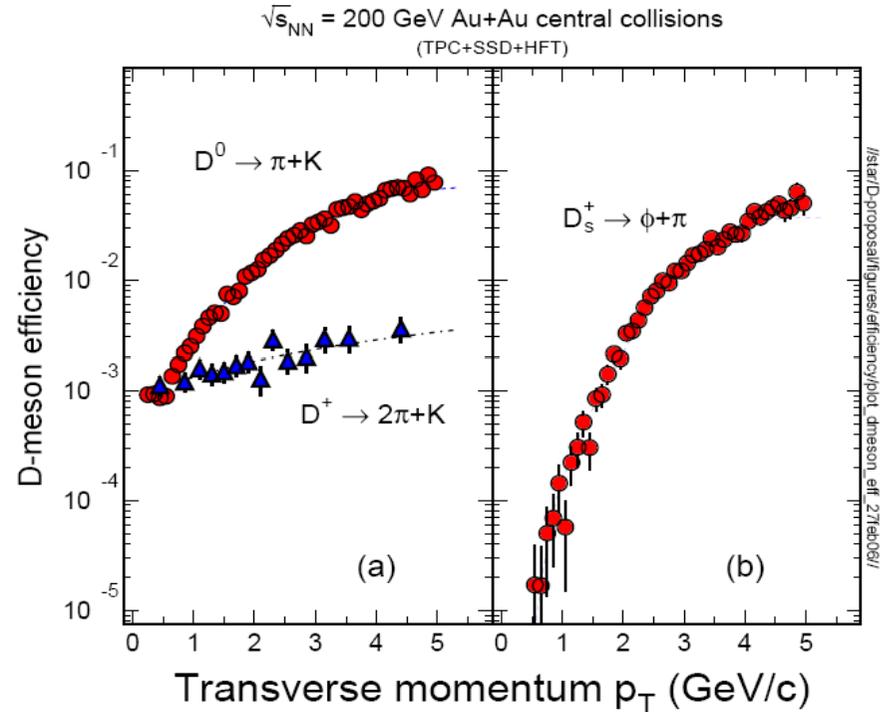
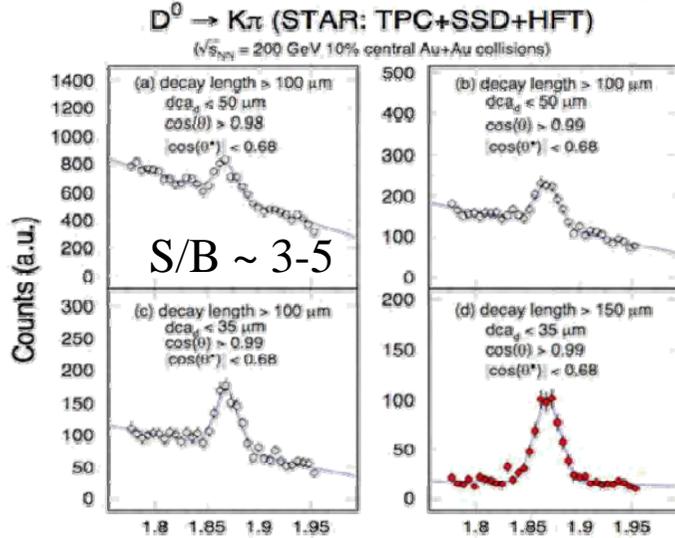
∴ $\sigma_{sp} \sim 3 \mu\text{m}$ (from MIMOSA-9)

∴ power dissipation $\sim 40 \text{ mW/cm}^2$

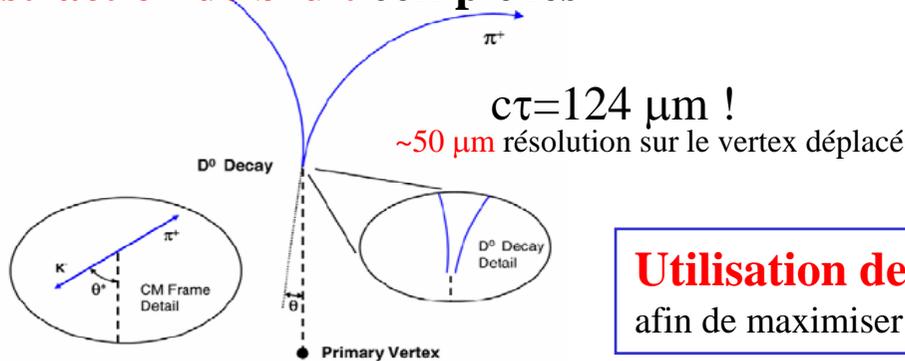


Reconstruction du charme ouvert avec le HFT

Masse invariante de D^0 avec différents jeux de coupures :



Plus besoin de techniques de **soustraction de bruit complexes**



Efficacité de reconstruction des mésons charmés

cf. *Eur.Phys.J.C* **49** 169-175 (2007)
 pour plus de détails

Utilisation de méthodes Multi-variables
 afin de maximiser la signification tout en minimisant le bruit de fond

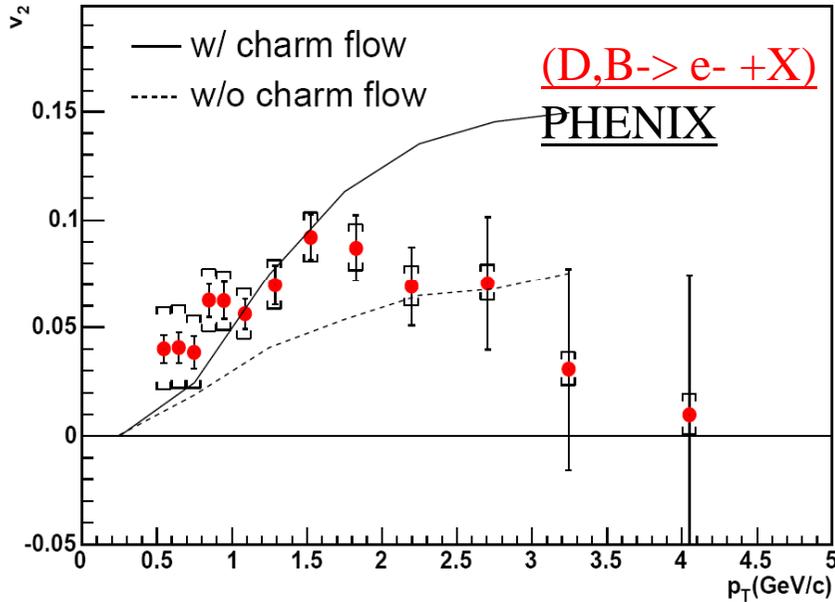
Reconstruction **directe et topologique** du D^0 ($V0$)



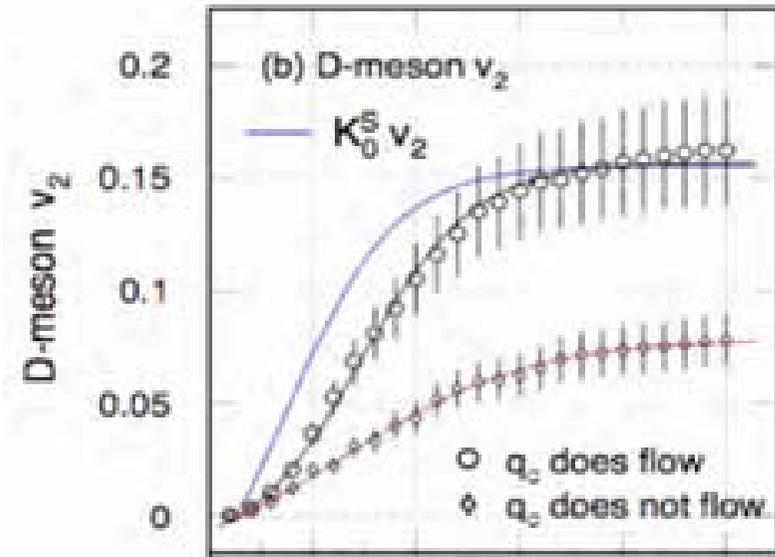


V₂ : Estimation de la stat. nécessaire

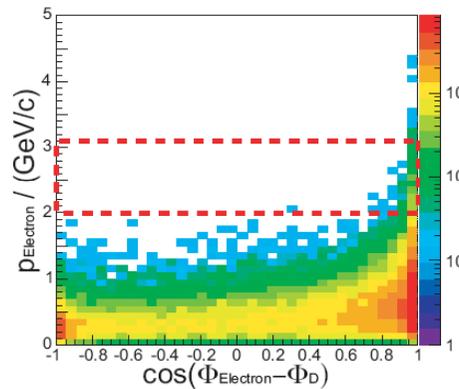
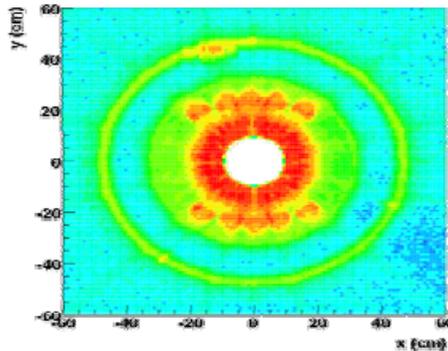
Aujourd'hui:



Futur : Mesure directe du V₂ du charme (avec le HFT)



STAR...



p _T (GeV/c)	Δp _T (GeV/c)	# of Events q _c does flow	# of Events q _c does not flow
0.6	0.2	260 × 10 ⁶	525 × 10 ⁶
1.0	0.5	70 × 10 ⁶	140 × 10 ⁶
2.0	0.5	53 × 10 ⁶	125 × 10 ⁶
3.0	1.0	105 × 10 ⁶	175 × 10 ⁶
5.0	1.0	210 × 10 ⁶	440 × 10 ⁶

Environ 100M Evts. pour mesurer le V₂ avec err. ~15%

ok avec upgarde de la DAQ de STAR (DAQ 1000)



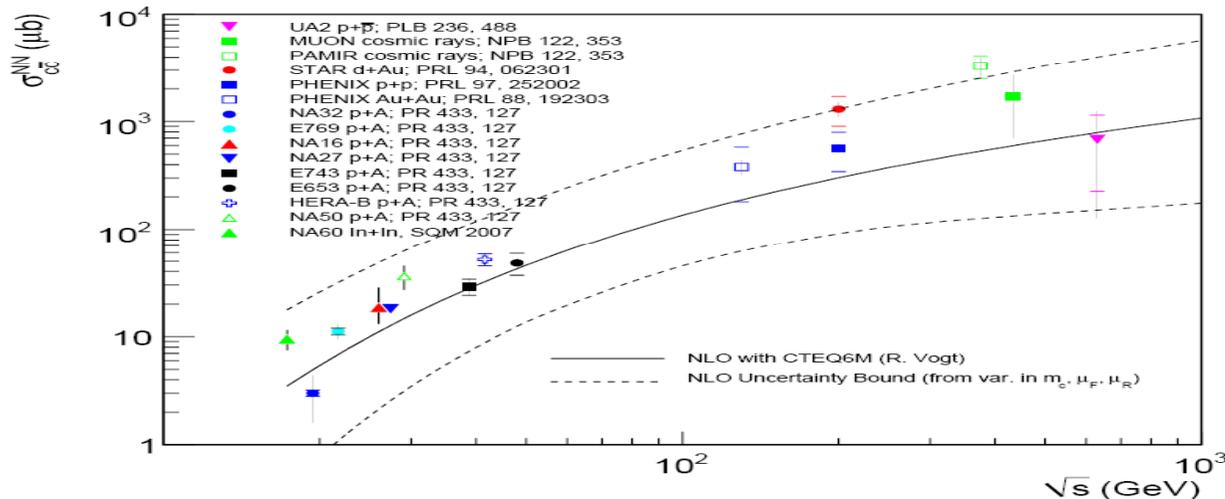


Conclusions / Perspectives

Aujourd'hui:

- mesures indirectes (limitations) et **1eres mesures directes** (spectre $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$) du charme ouvert à RHIC.
- Section efficace du charme à RHIC : **désaccord STAR/PHENIX** mais R_{AA} semble en accord : **normalisation?**
- Théorie: Calculs **peuvent être précis** si peu d'extrapolations...

:Nouvelles incertitudes NLO ? (R. Vogt @ ISMD 2007) \rightarrow STAR et PHENIX ne sont peut-être plus au dessus de la prédiction théorique.....



Section efficace du charme et lien avec le J/Ψ ?

Futur (2009-2011) avec le **HFT** Mesures **directes et topologiques** du charme et V_2 précis (+ R_{AA} , R_{CP} , corrélations...)

Perspective : finir de rédiger ma thèse....

