



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

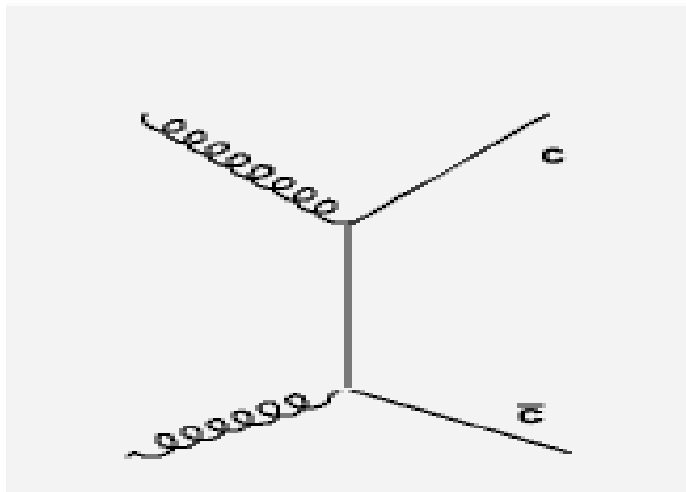
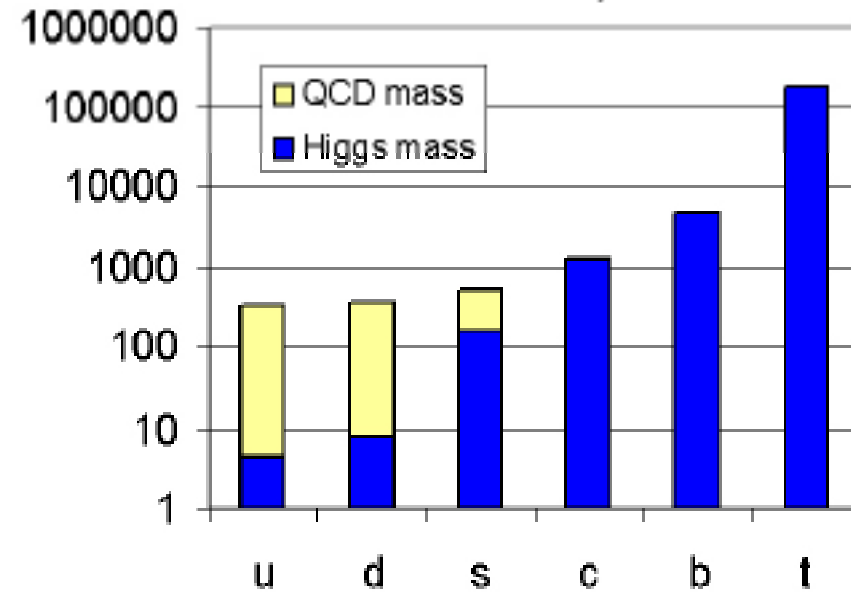


# Motivations

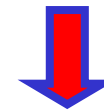
B. Müller, *nucl-th/0404015*

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

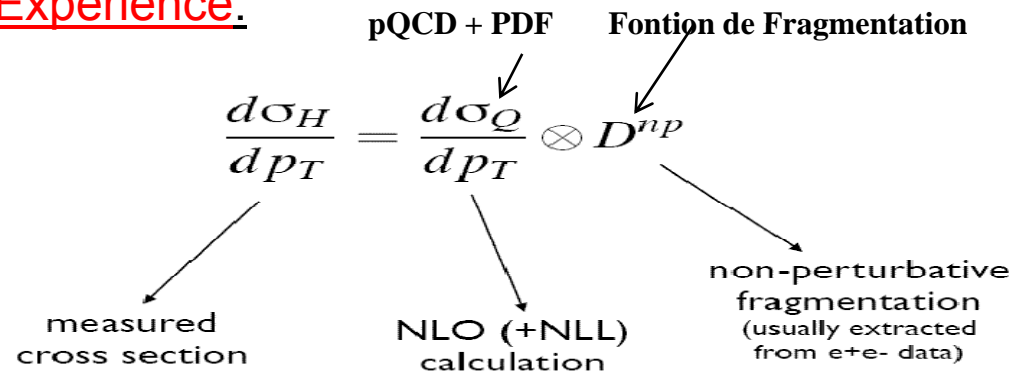
NLO: ~ 300-500  $\mu b$

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

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

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

Expérience:

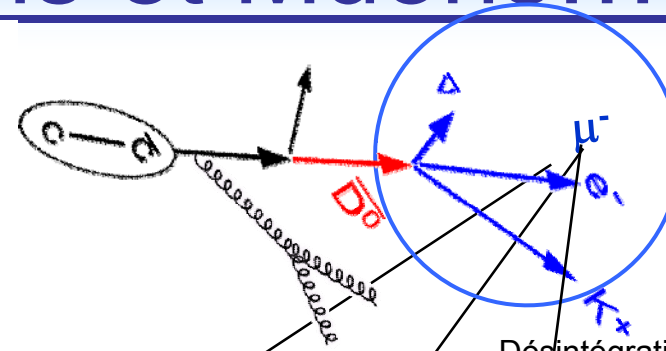




# Mesures du charme ouvert à RHIC

## Mesures indirectes

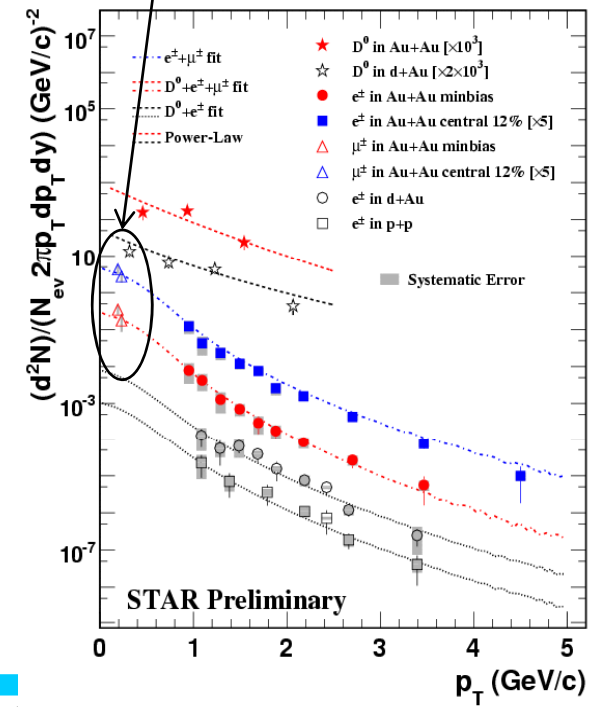
# Electrons et Muons....



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

Désintégrations semi-leptoniques

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

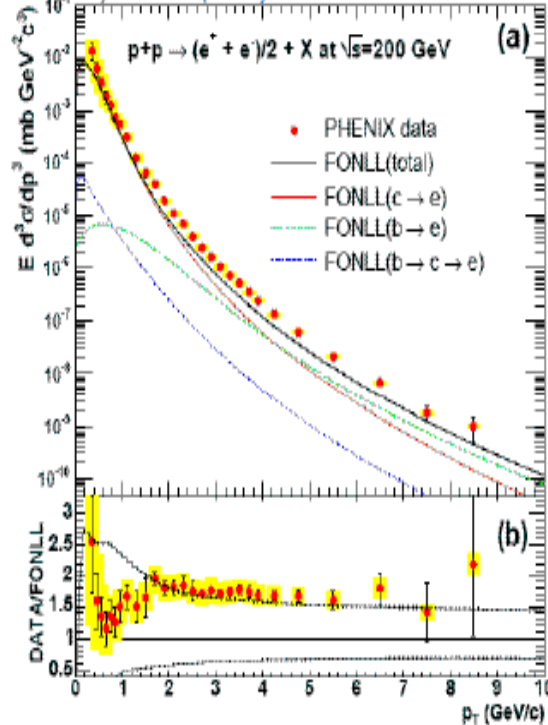




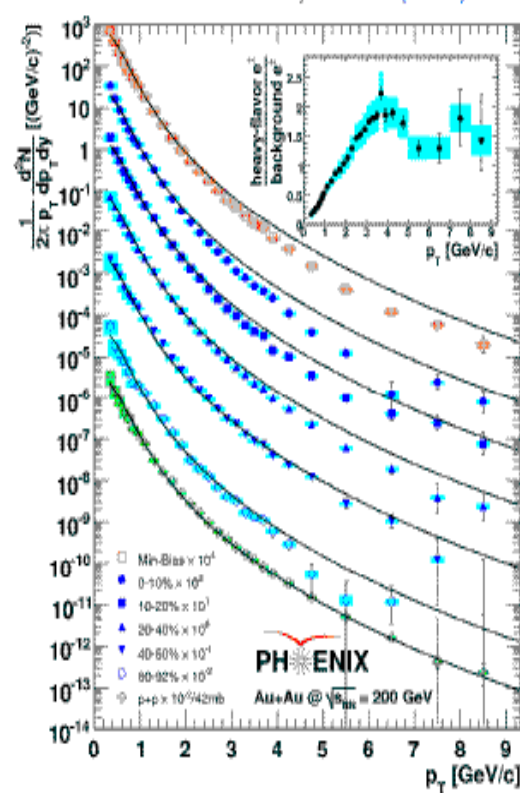
# Spectres des $e^-$ non photoniques

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

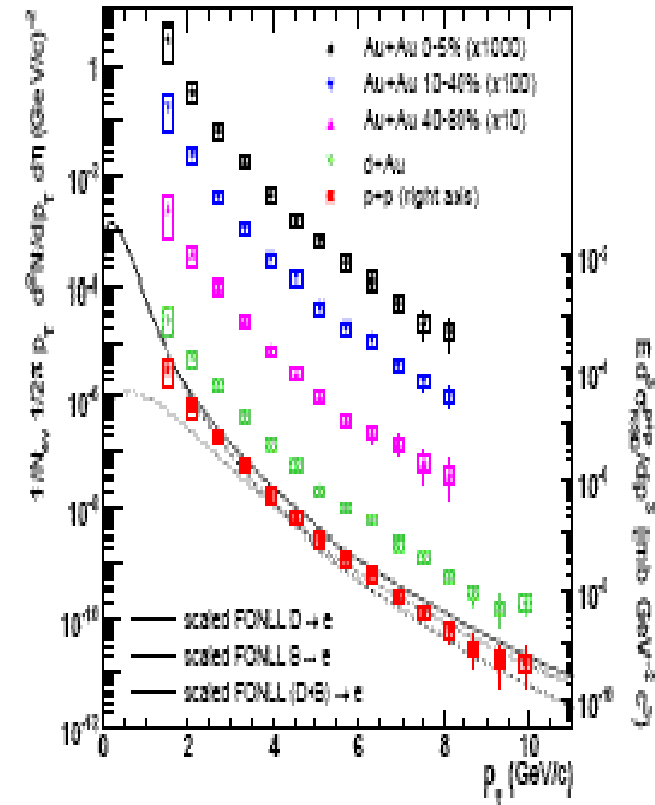
PHENIX, PRL 97 (2006) 252002



PHENIX, PRL 98 (2007) 172301

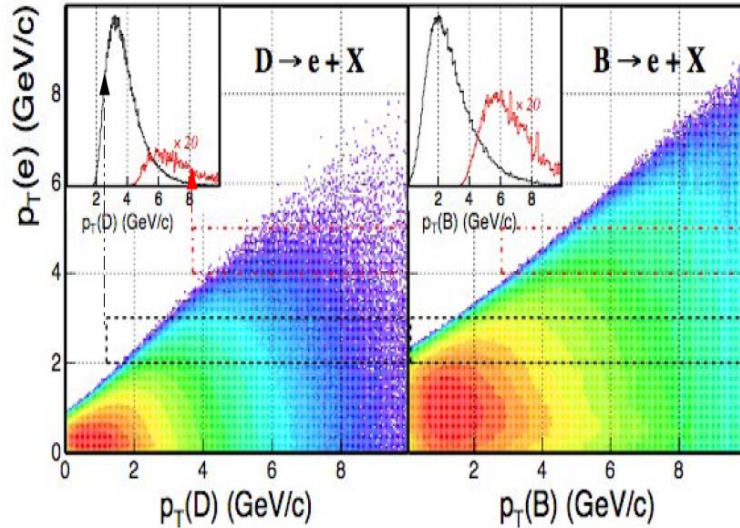


STAR nucl-exp/0607012





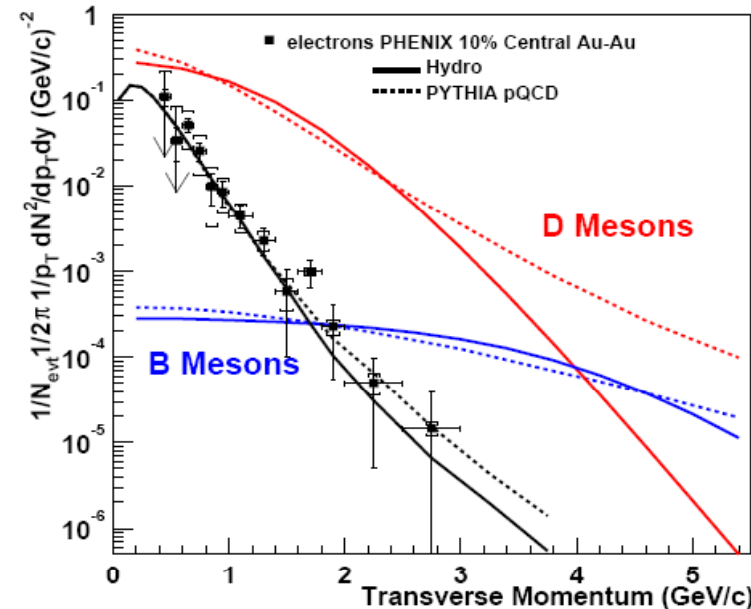
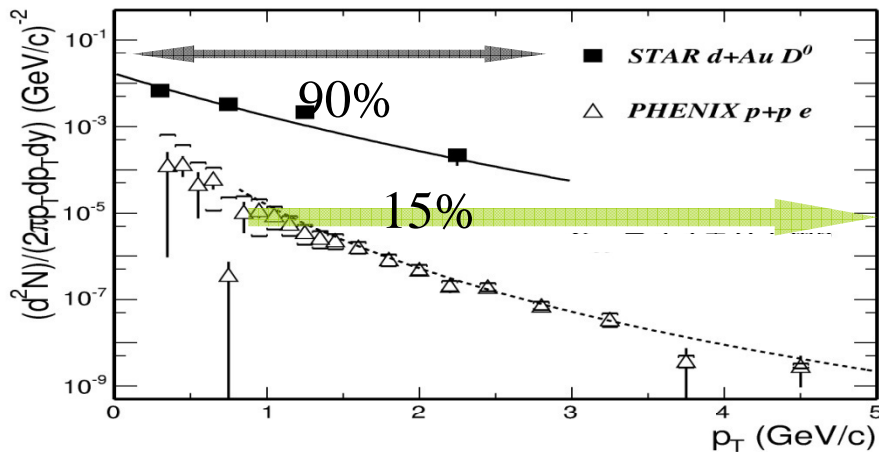
# Questions ouvertes



- **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	$0.15 \text{pb}^{-1}$
Run III (2002-03)	d+Au	200 GeV	$2.74 \text{nb}^{-1}$
	p+p	200 GeV	$0.35 \text{pb}^{-1}$
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	$0.35 \text{pb}^{-1}$
Run V (2005)	Cu+Cu	200 GeV	$3.0 \text{nb}^{-1}$
	Cu+Cu	62.4 GeV	$0.19 \text{nb}^{-1}$
	Cu+Cu	22.5 GeV	$2.7 \mu\text{b}^{-1}$
	p+p	200 GeV	$3.8 \text{pb}^{-1}$

H. Zhang (A.Shabetai)

H. Zhang

S.Baumgart (Yale)

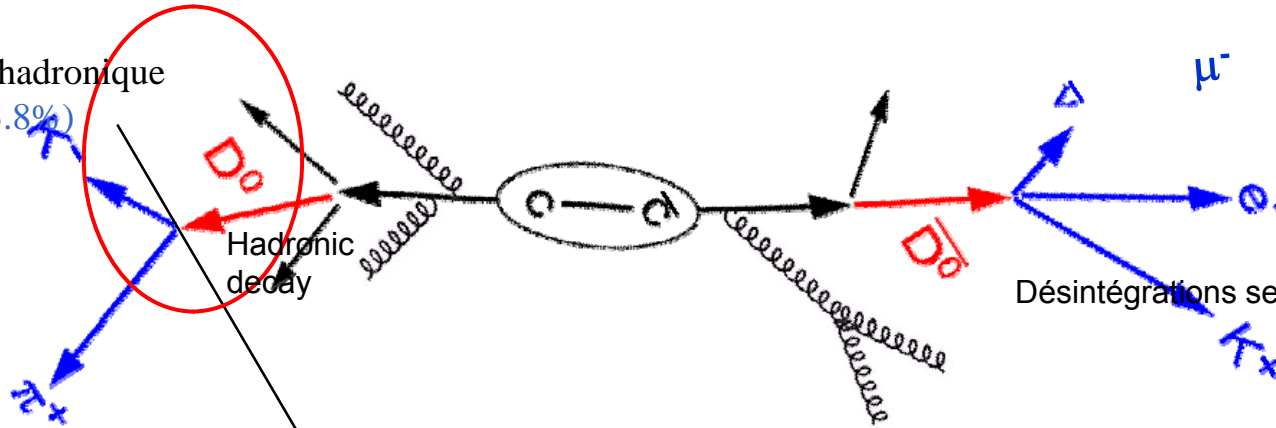
A.Shabetai





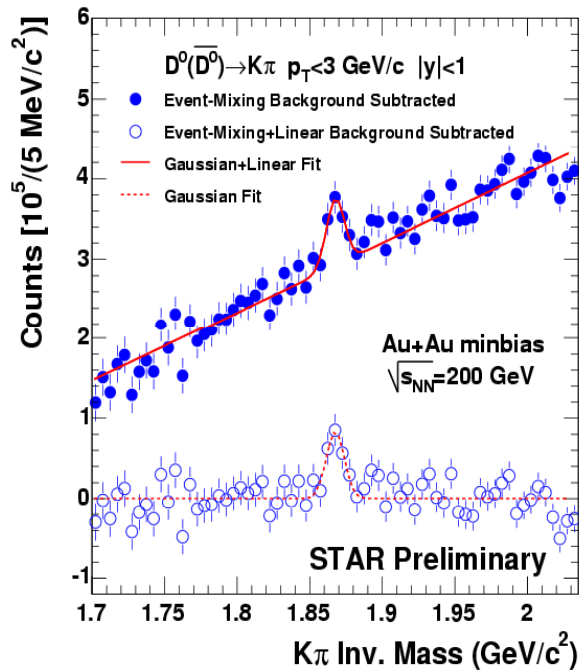
# Reconstruction directe

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

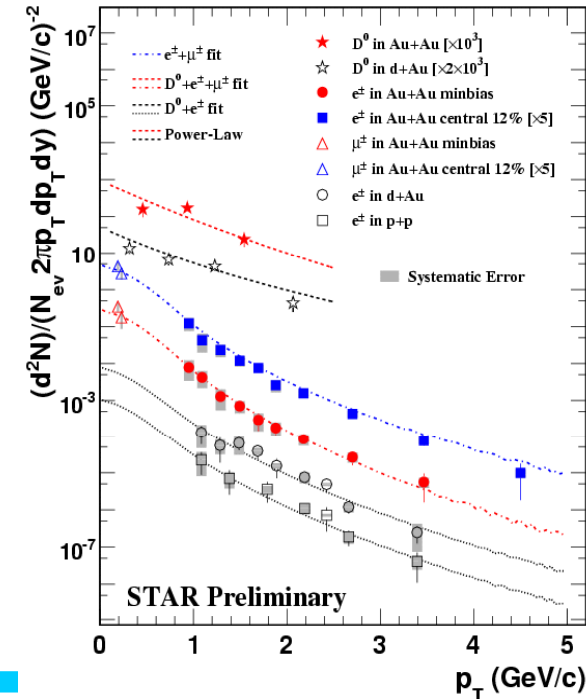


$c \rightarrow e^+ + X$   
 $c \rightarrow \mu^+ + X$   
 $D^0 \rightarrow e^+ + X$  (6.87 %)  
 $D^0 \rightarrow \mu^+ + X$

STAR nucl-ex/0510063



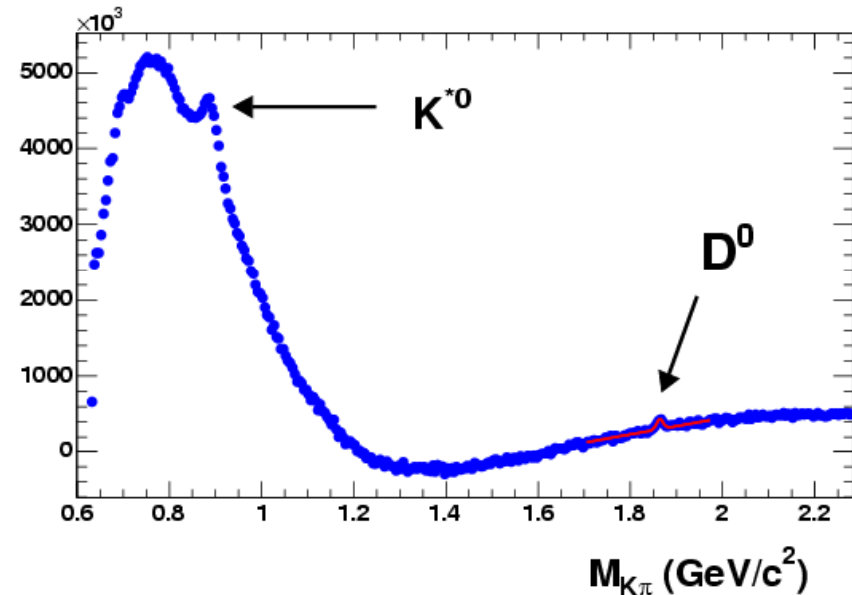
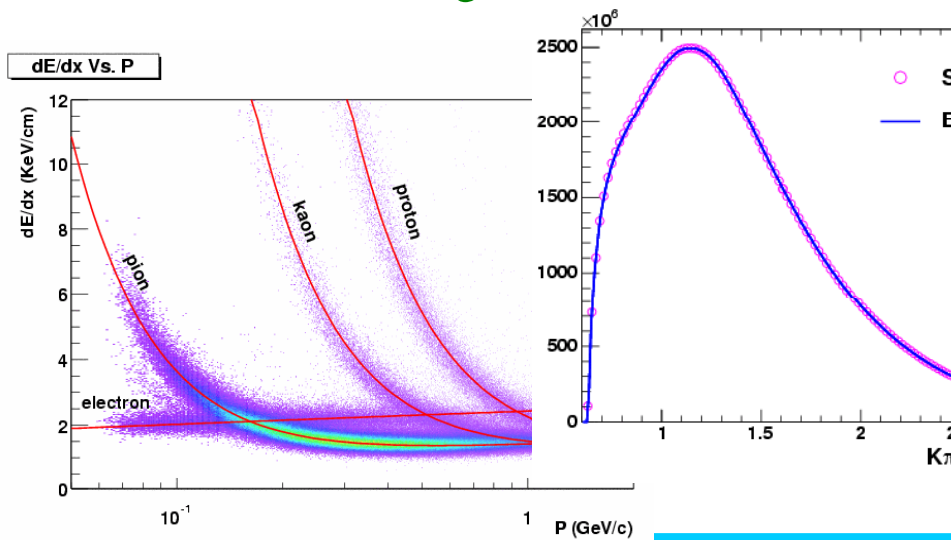
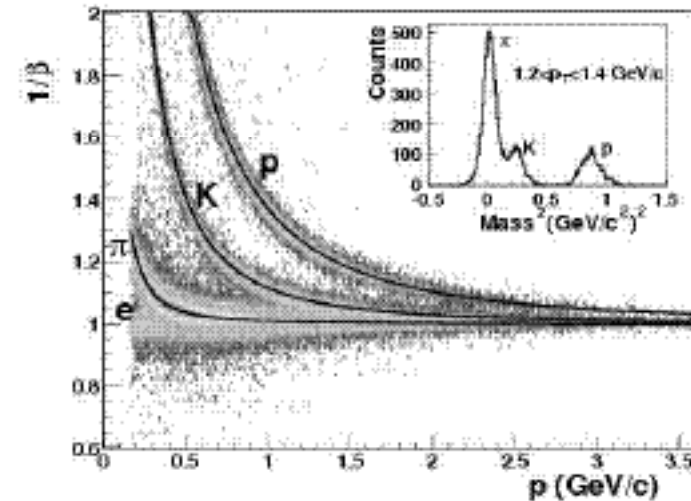
- Reconstruction "directe" du  $D^0$  (canal hadronique) techniques "résonances"
- muon (canal semi-leptonique)
- électron (canal semi-leptonique)





# Reconstruction du $D^0$ dans STAR

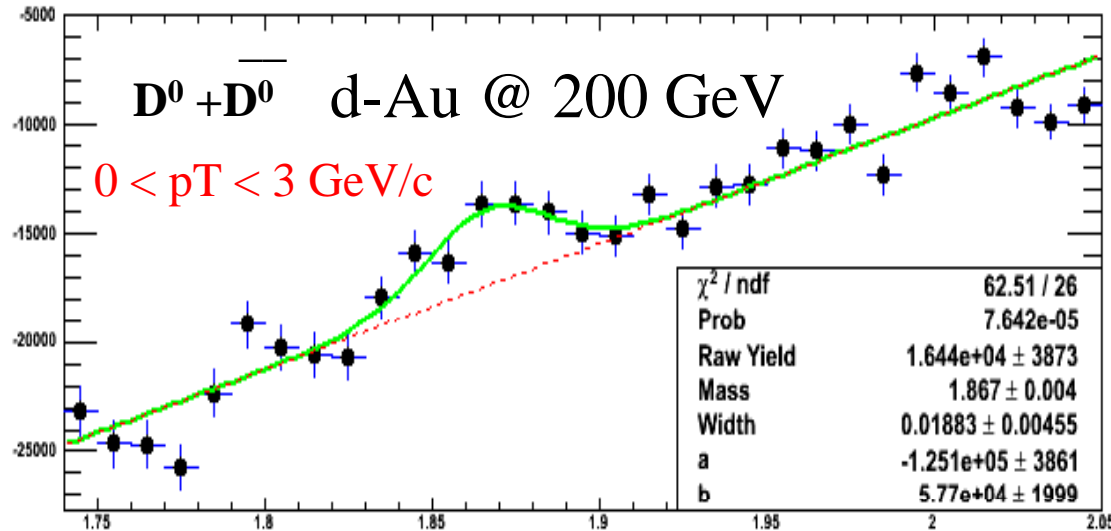
- Sélectionner les Pions et les Kaons à l'aide de la TPC et du TOF
- Combiner les paires provenant d'un même évènement  $\Rightarrow$  signal+bruit
- Combiner les paires provenant d'évènements différents  $\Rightarrow$  bruit ("évènements mélangés" ou "rotation de traces")
- Soustraire  $\Rightarrow$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



A. SHABETAI – Deuxièmes rencontre

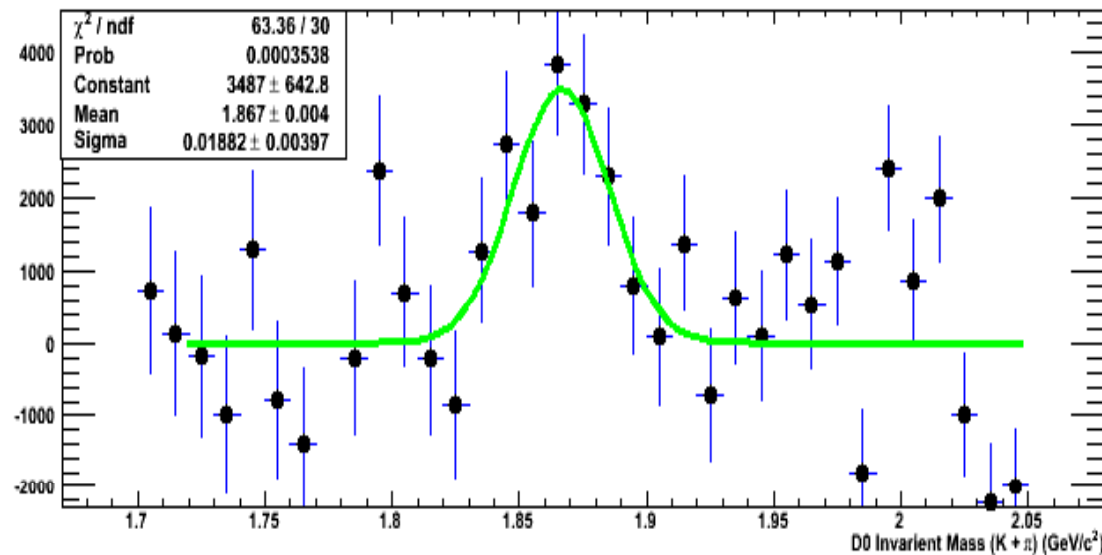


# Premiers résultats – collisions d+Au @ 200 GeV



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

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



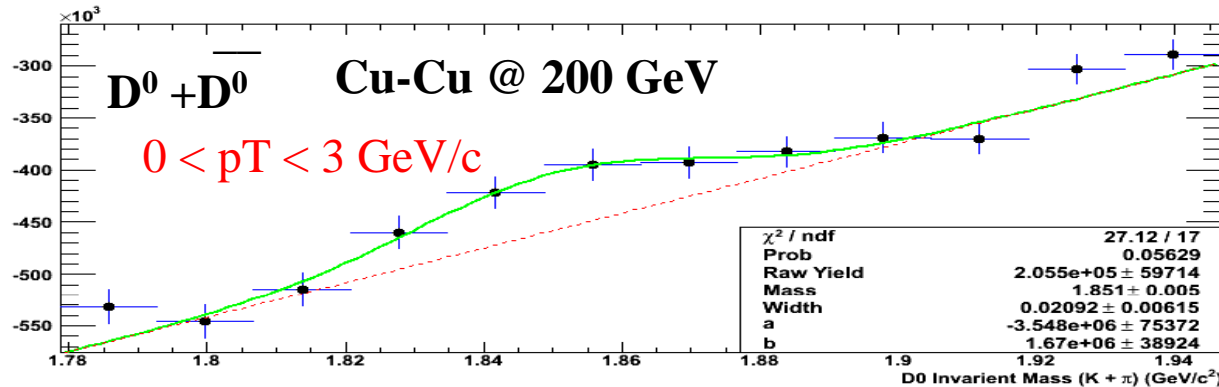
→ Mesure **difficile**  
→ Soustraction du bruit de fond **capitale** (et complexe)  
→ Erreurs **statistiques et systématiques** très importantes

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

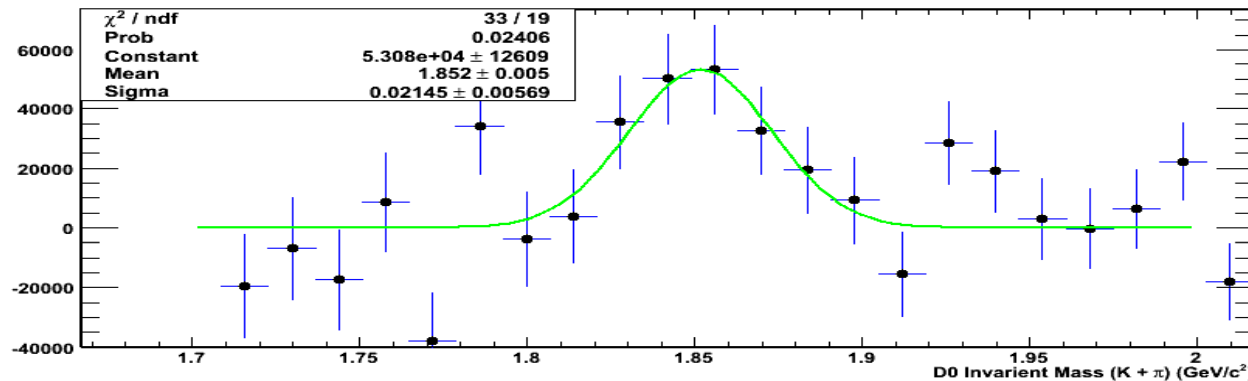




# Deuxièmes résultats – collisions Cu+Cu @ 200 GeV



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



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

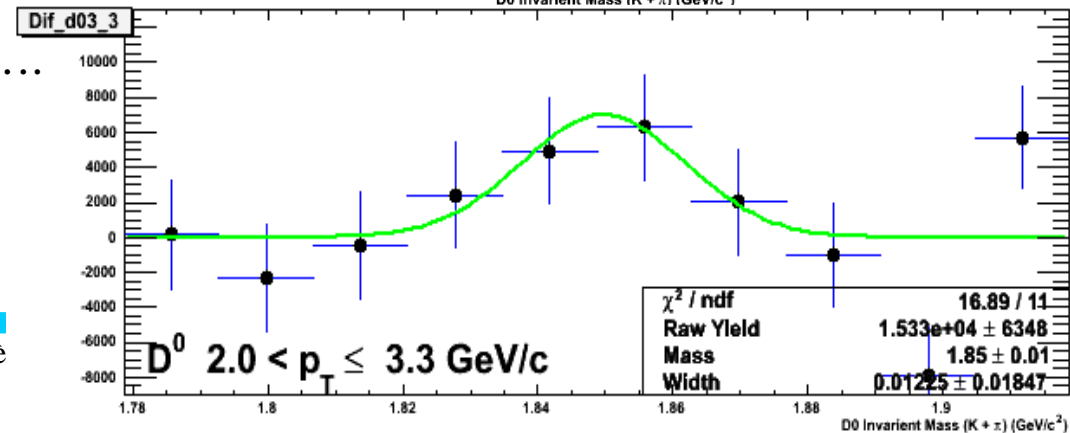
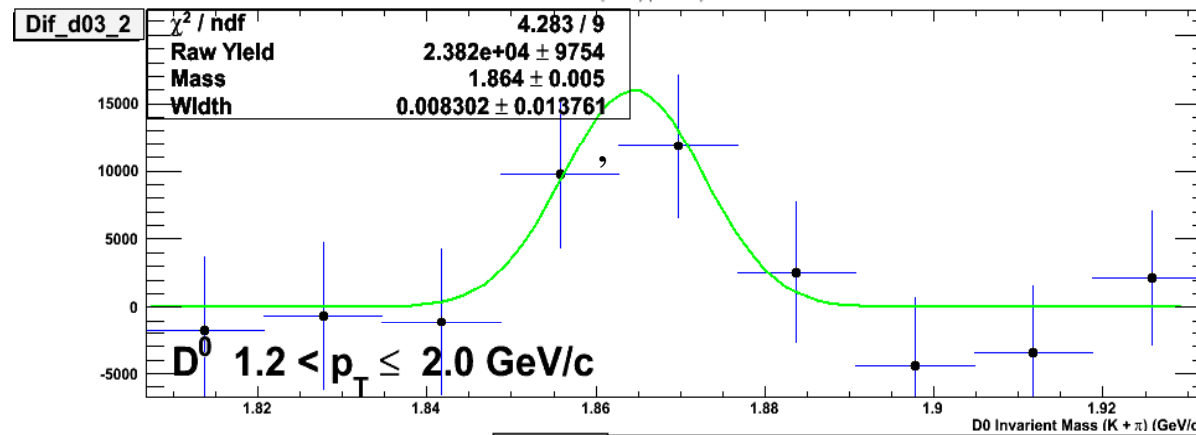
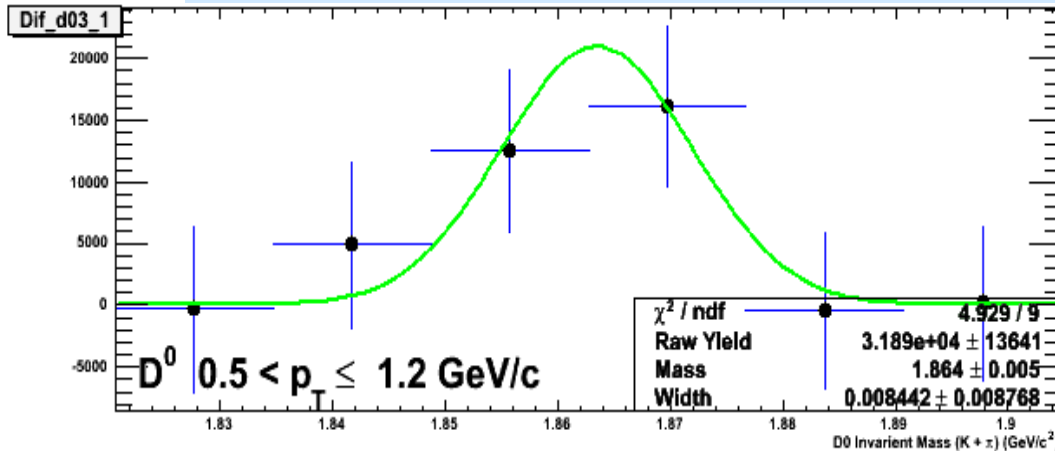
- Mesure **difficile** → 2 analyses indépendantes (A.S et S.B)
- soustraction du bruit de fond **capitale** (et complexe)
- Erreurs **statistiques et systématiques** très importantes

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

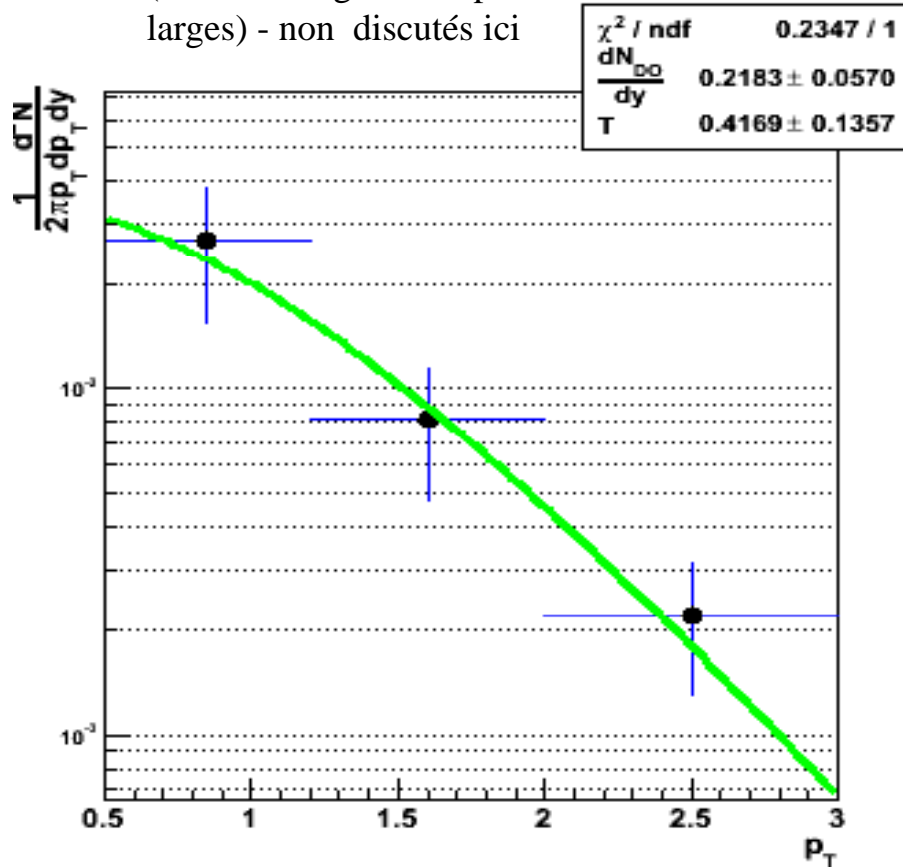


# Spectres corrigés

D<sup>0</sup> et (D<sup>0</sup>+D<sup>0</sup>bar)/2

## Après corrections :

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



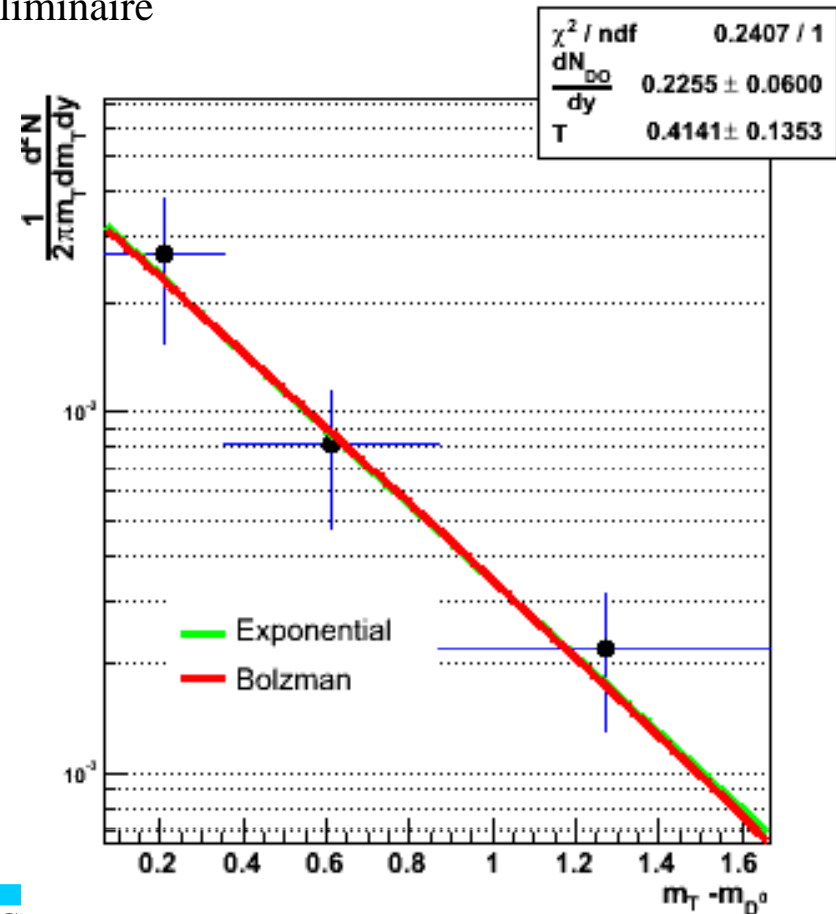
Ajustement **Expo. ou Boltzman**  
→ **même résultat** (erreur stat)

T compatible avec PYTHIA (T~ 530 MeV )

dN/dy ~ 0.22 +/- 0.05 (TPC – D<sup>0</sup>) – Préliminaire

## Exclusivité! :

dN/dy = 0.20 +/- 0.05 (TPC + T0F – (D<sup>0</sup>+D<sup>0</sup> 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 :**

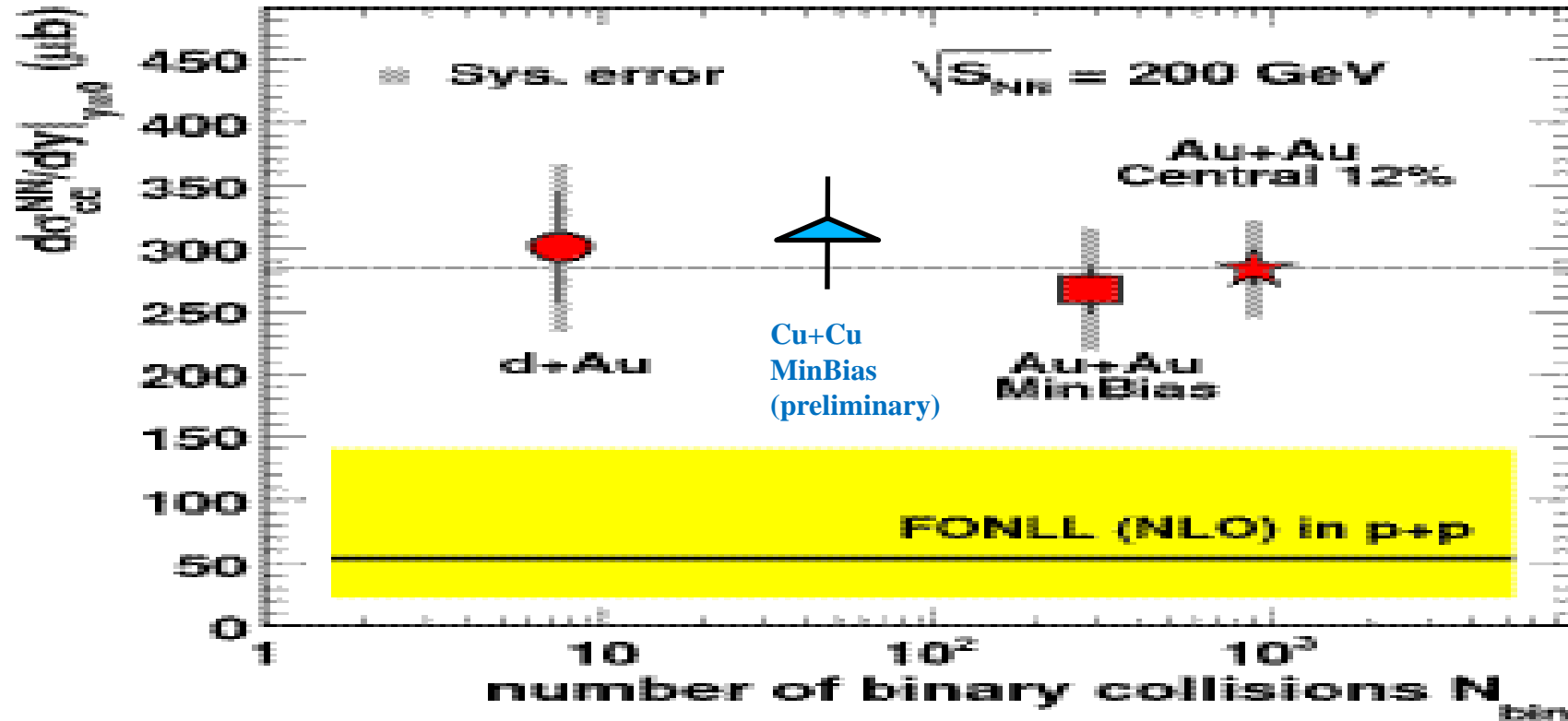
( $D^0$  TPC seule) :

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





# d $\sigma$ /dy dans STAR...



Bonne soustraction du bruit de fond **capitale**

(erreur stat + effet du flow)

Etude **systematique (dominante)** en cours

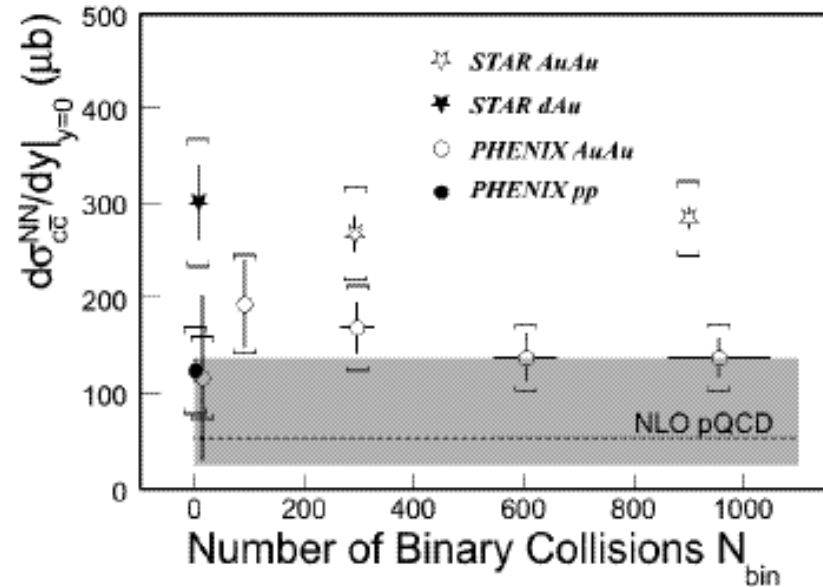
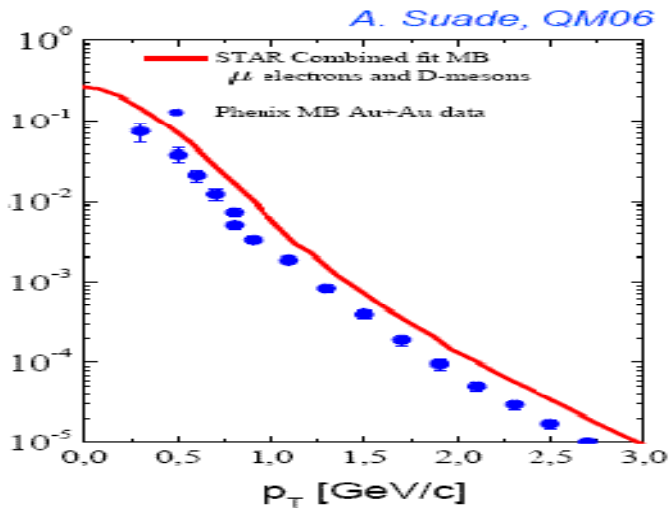
Papier + Abstract QM en préparation

Calcul FONLL discuté ensuite

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



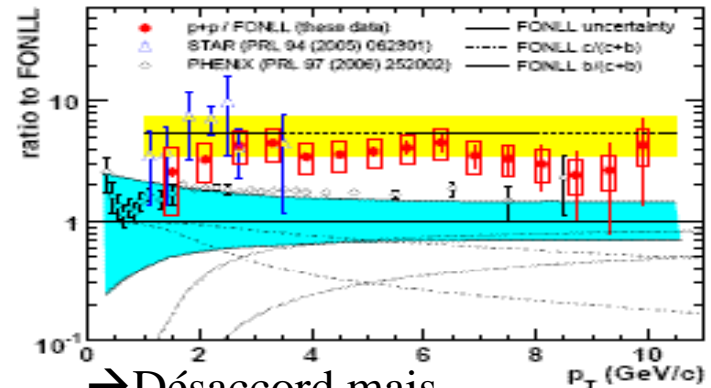
# Comparaison PHENIX/STAR



- 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
  - $\mu_R$ : échelle de fragmentation
  - $\mu_F$ : échelle de factorisation
  - $\alpha_s$ : couplage fort
- PDF utilisé

Exemple:

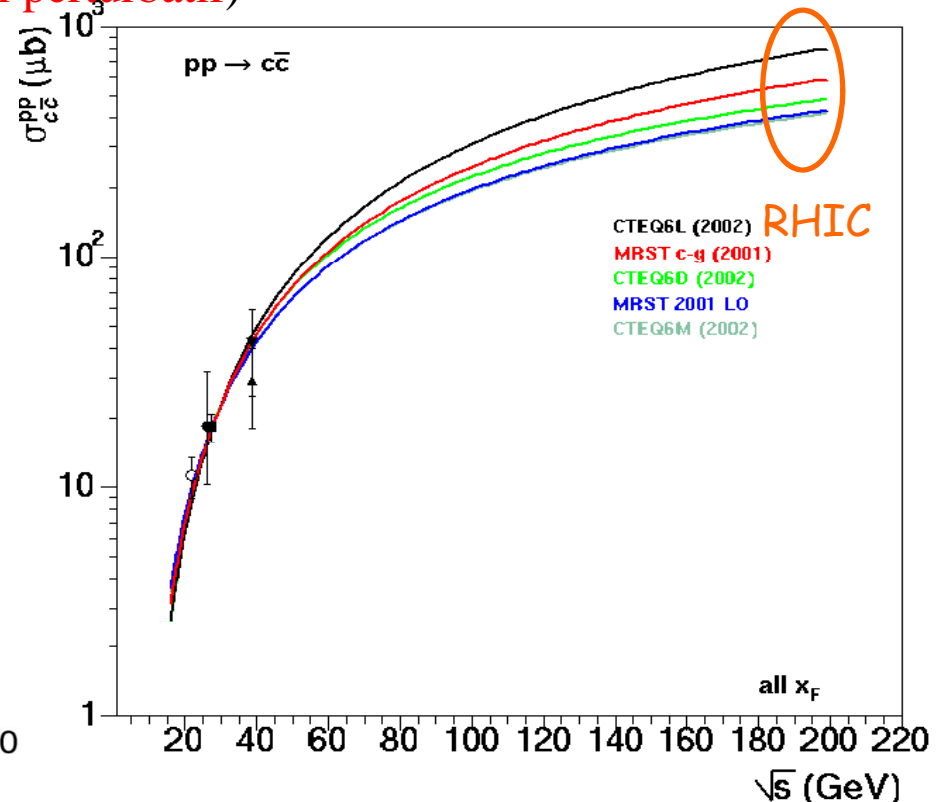
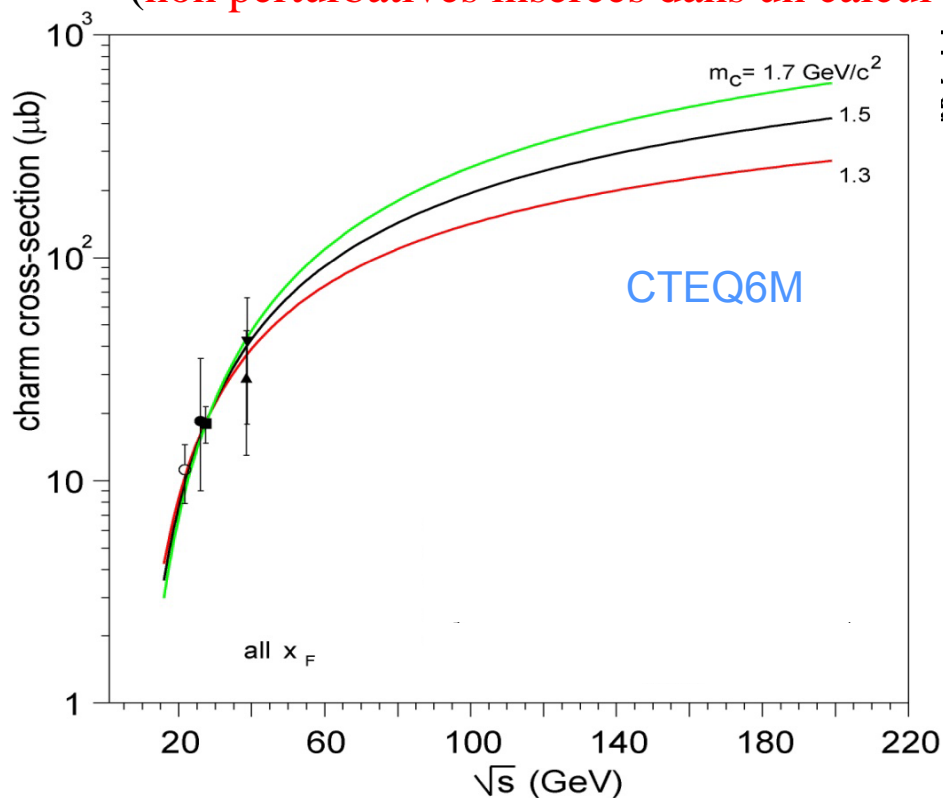
FONLL:  $\mu_F = \mu_R = \mu = \sqrt{p_T^2 + m_c^2}, m_c = 1.2 \text{ GeV}/c^2$

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**

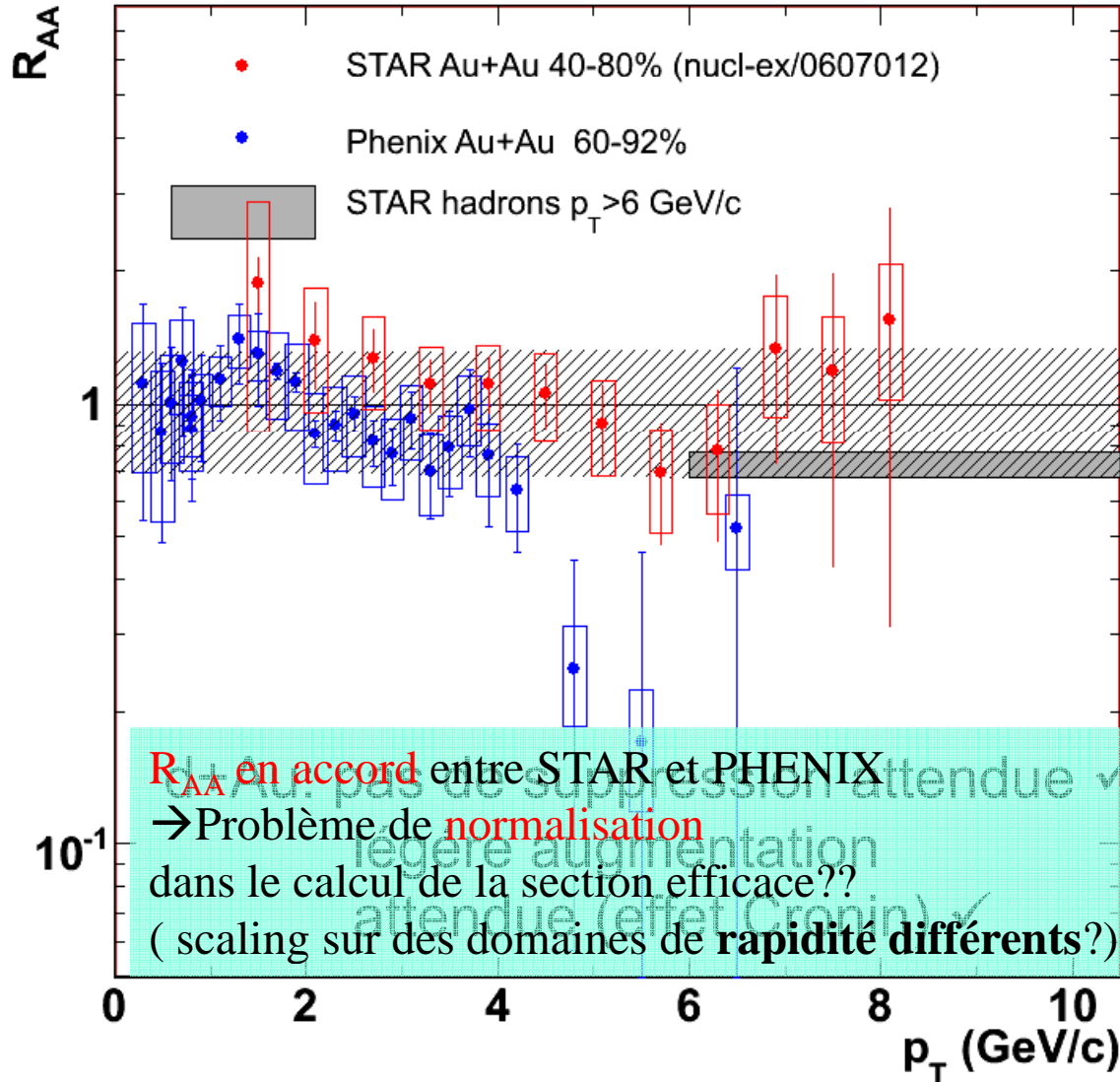
→ **Si et seulement si** toutes ces conditions sont réunies alors on peut espérer parvenir à un **bon accord entre théorie et expérience**

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

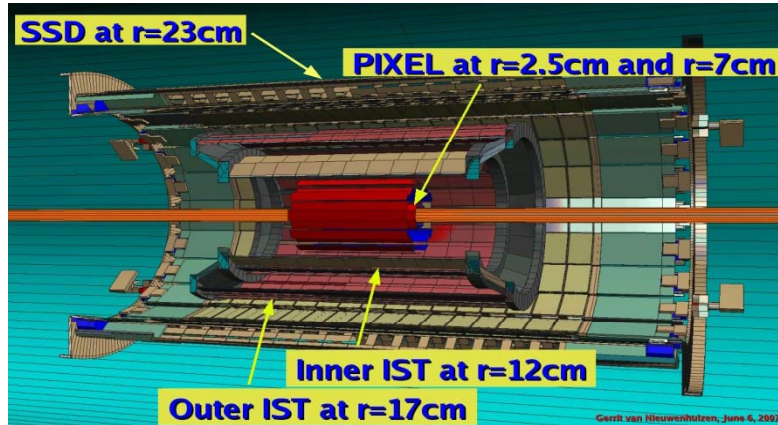
## Cas de STAR :

- 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

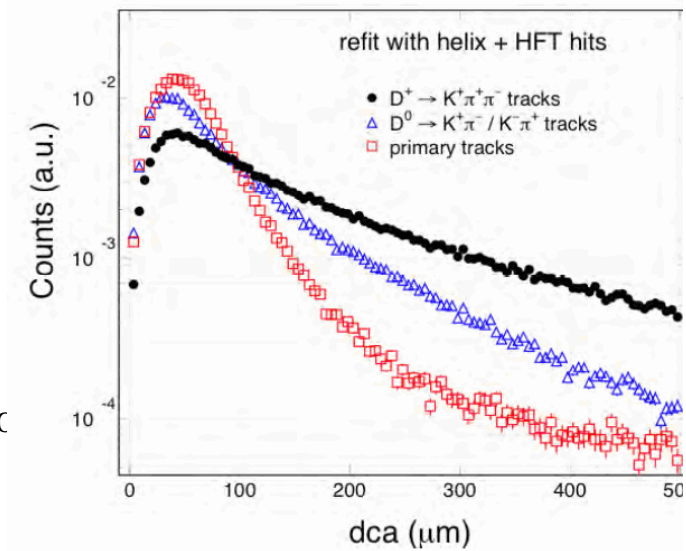
Rayon : 2.5 cm and 8 cm ,

24 échelles

-2 cm x 20 cm chacune

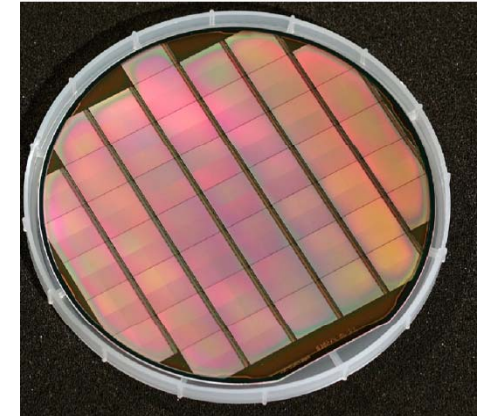
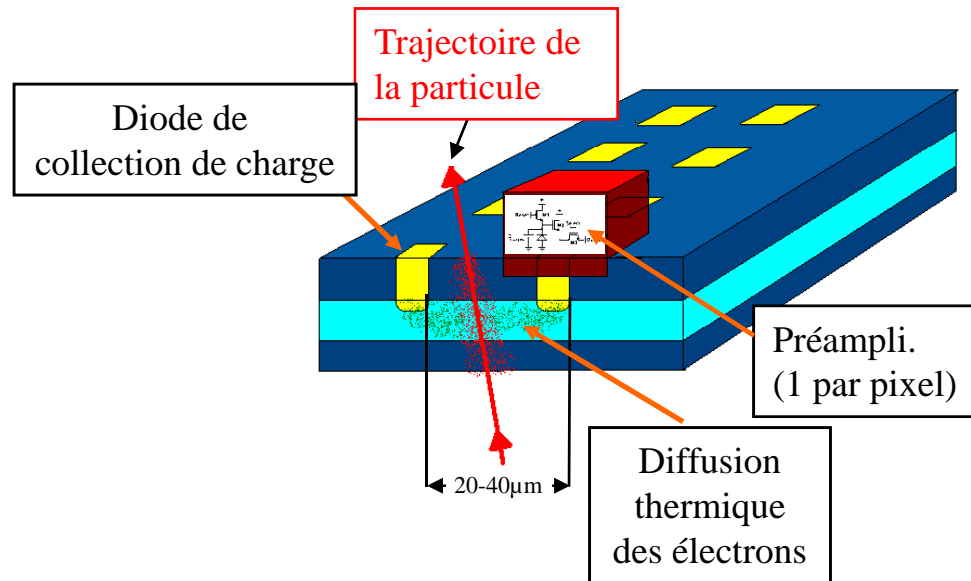
Utilisation de capteurs **CMOS** pixel car il nous faut :

- 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)

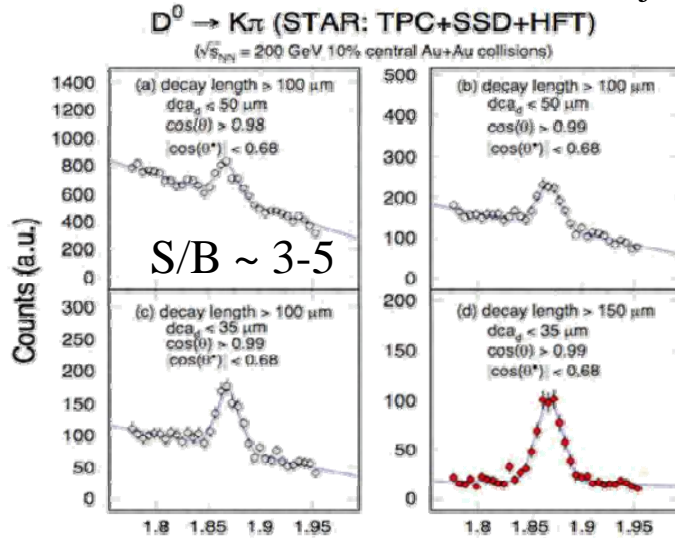
∴ power dissipation  $\sim 40 \text{ mW/cm}^2$



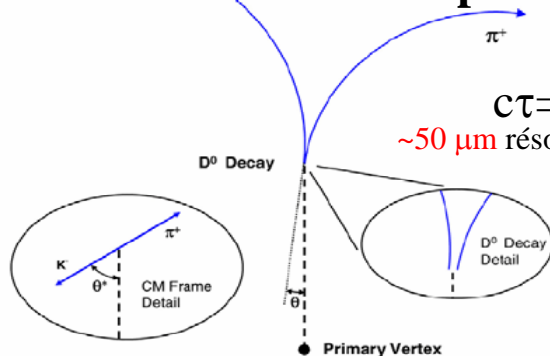


# Reconstruction du charme ouvert avec le HFT

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

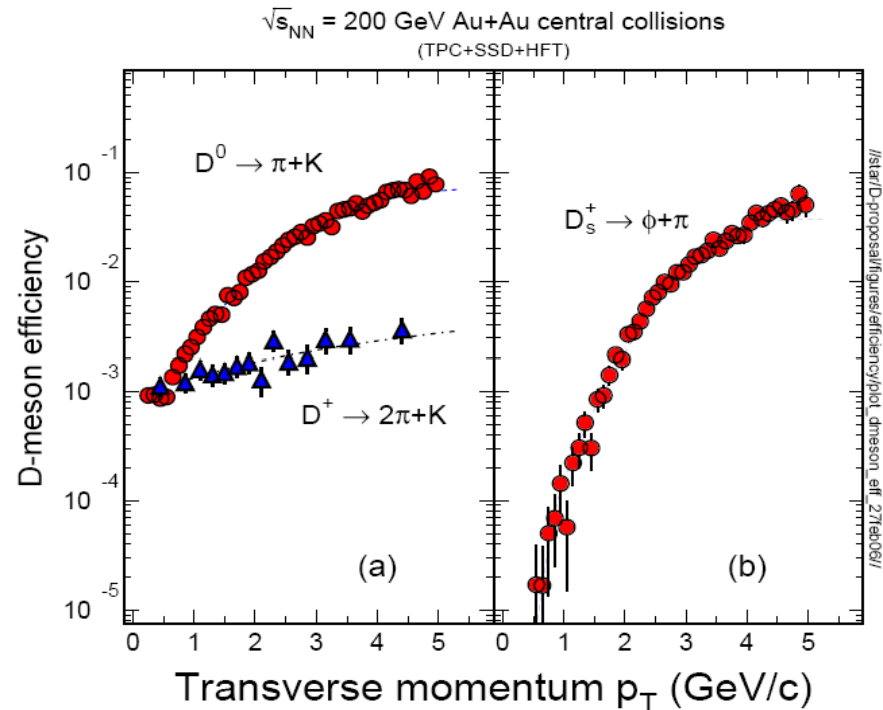


Plus besoin de techniques de **soustraction de bruit complexes**



$c\tau = 124 \mu\text{m} !$

$\sim 50 \mu\text{m}$  résolution sur le vertex déplacé



**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  $D^0$  ( $V0$ )

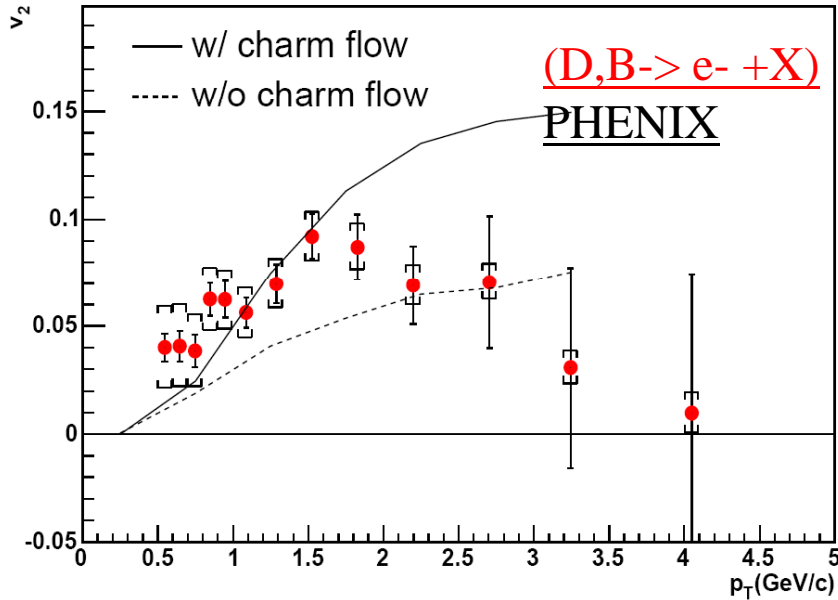
A. SHABETAI – Deuxièmes rencontres QGP-France d'Etretat - Sept. 2007



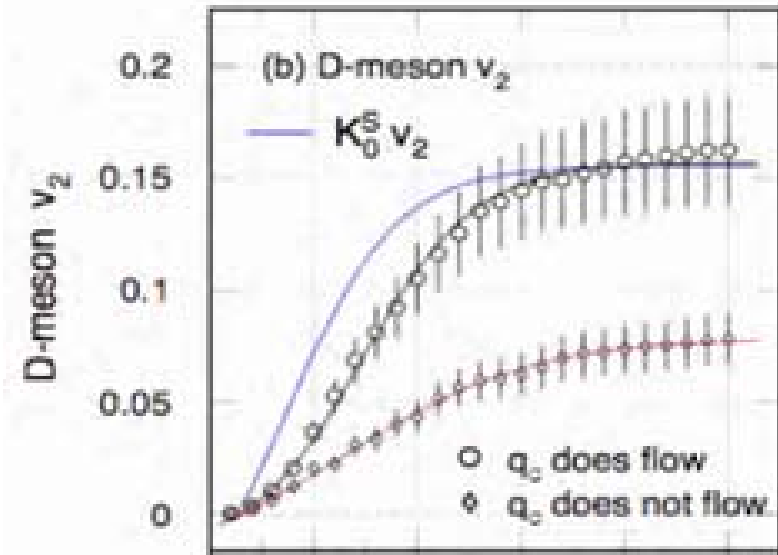


# $V_2$ : Estimation de la stat. nécessaire

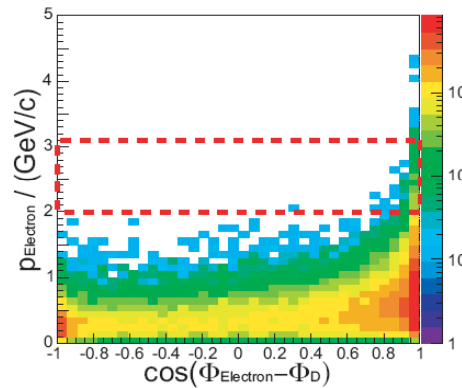
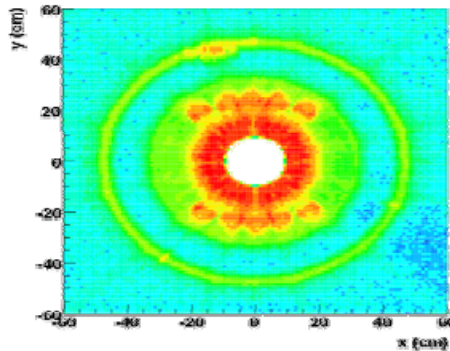
Aujourd'hui:



Futur : Mesure directe du  $V_2$  du chame  
 (avec le HFT)



STAR...



$p_T$ (GeV/c)	$\Delta p_T$ (GeV/c)	# of Events $q_c$ does flow	# of Events $q_c$ does not flow
0.6	0.2	$260 \times 10^6$	$525 \times 10^6$
1.0	0.5	$70 \times 10^6$	$140 \times 10^6$
2.0	0.5	$53 \times 10^6$	$125 \times 10^6$
3.0	1.0	$105 \times 10^6$	$175 \times 10^6$
5.0	1.0	$210 \times 10^6$	$440 \times 10^6$

Environ **100M** Evts. pour mesurer  
 le  $V_2$  avec err..  $\sim 15\%$

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



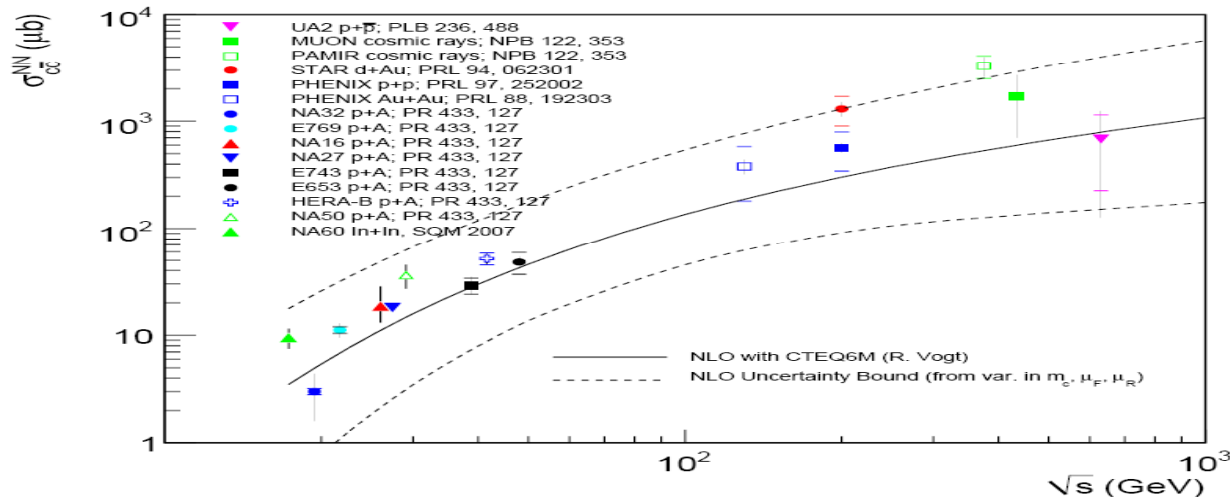


# Conclusions / Perspectives

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  $J/\Psi$  ?

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....**