



Alexandre SHABETAI

# Mesure de la production de charme (ouvert) dans l'expérience STAR

Aujourd'hui et demain

**Mesures du charme à RHIC aujourd'hui**

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

**Futur dans STAR : le Heavy Flavor Tracker**

-Hardware

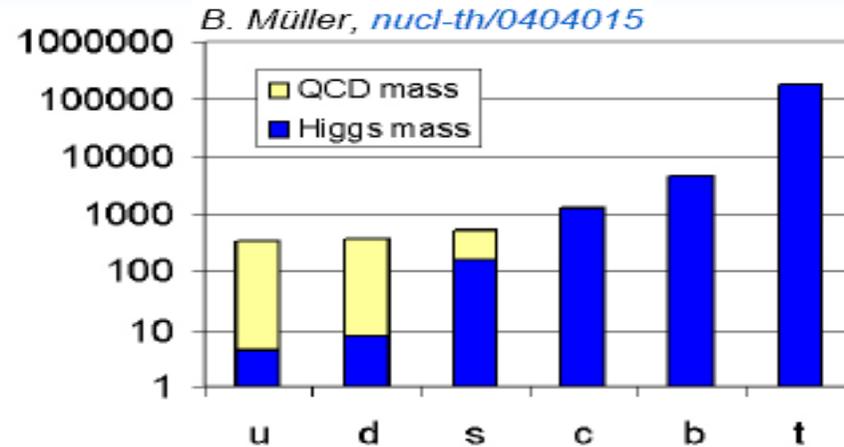
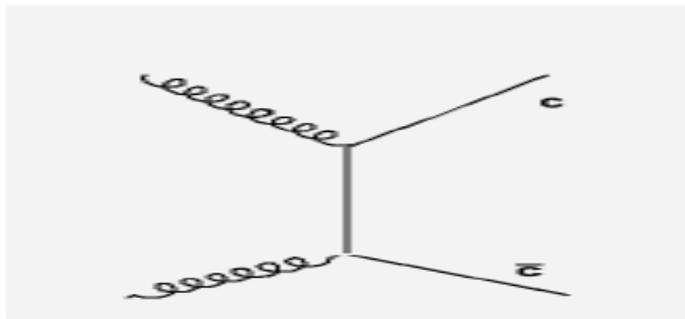
-Simulation



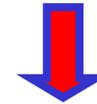
# Motivations

## Le charme :

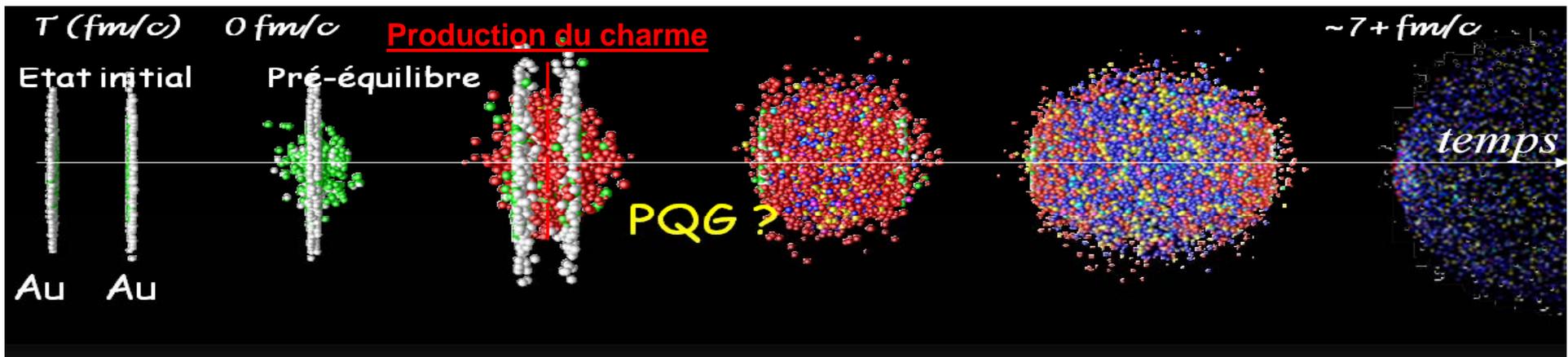
- est sensible **aux premiers instants** de la collision
- est principalement produit par **fusion de gluons**
- a une **structure en masse unique**



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



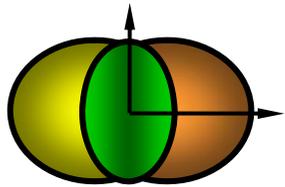
Sonde **unique**



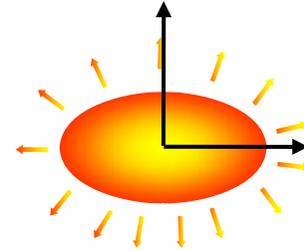


# Le flow elliptique

Coordinate space:  
initial asymmetry



Momentum space:  
final asymmetry



Distribution en  $\phi$  des particules  $\rightarrow$   
décomposition en série de Fourier

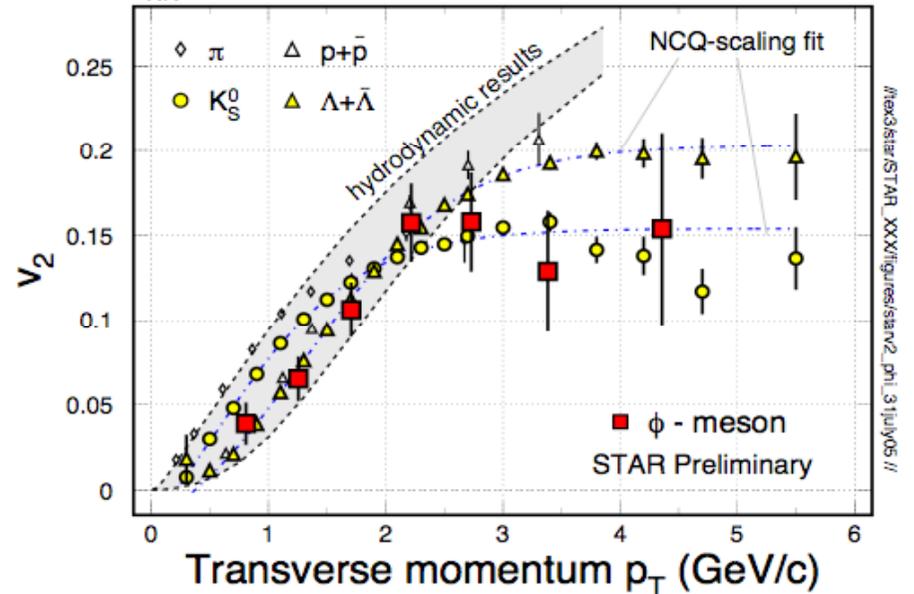
$$v_2 = \langle \cos 2\phi \rangle, \quad \phi = \tan^{-1}\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$$

$V_2$  est un des termes de la série

u,d,s : “scaling” avec n  $\rightarrow$   
Degrés de liberté partoniques

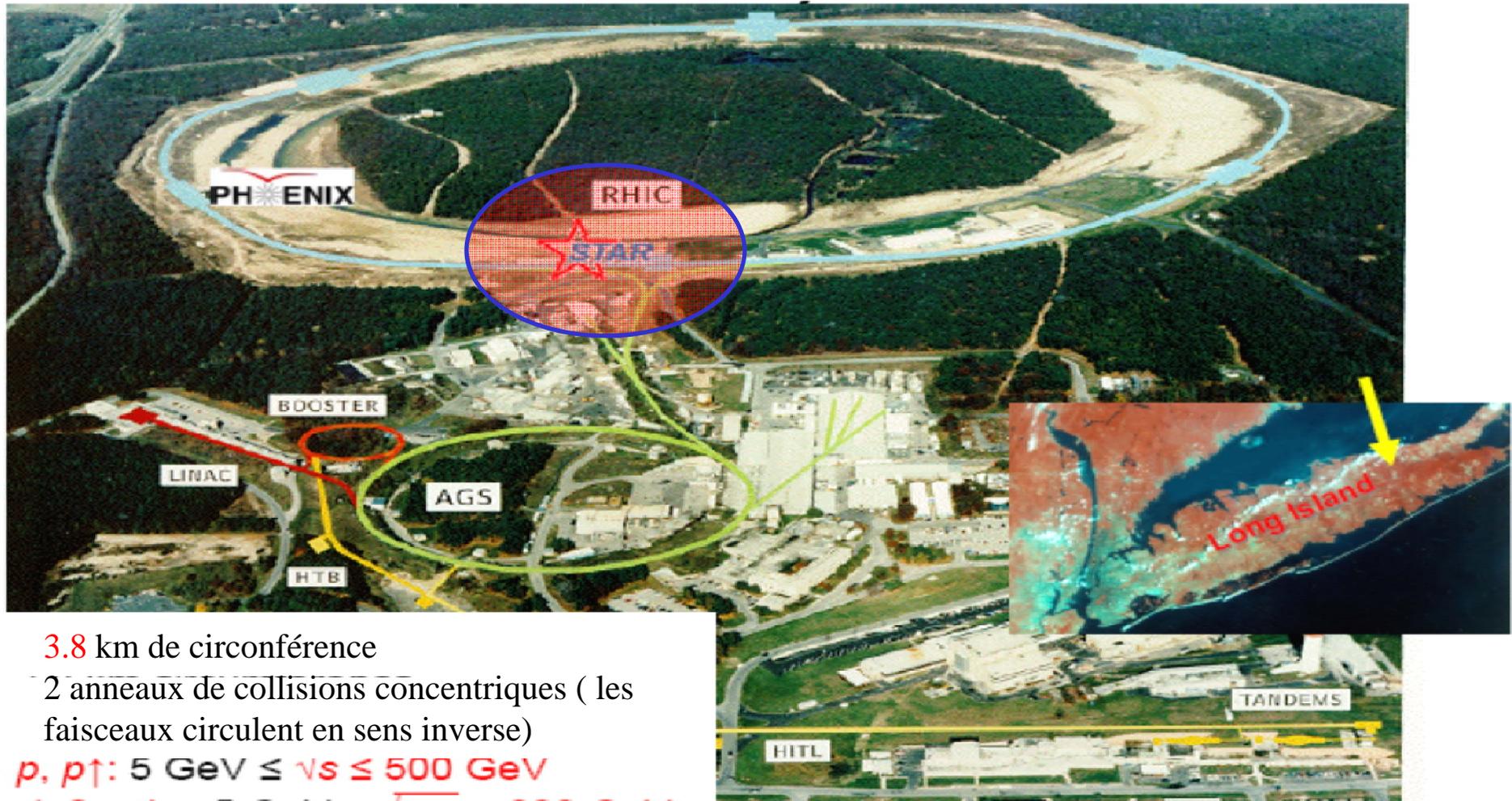
Que se passe t’il pour le charme ?

$\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV } ^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au} \text{ Collisions at RHIC (IV)}$





# RHIC : Le collisionneur (BNL USA)

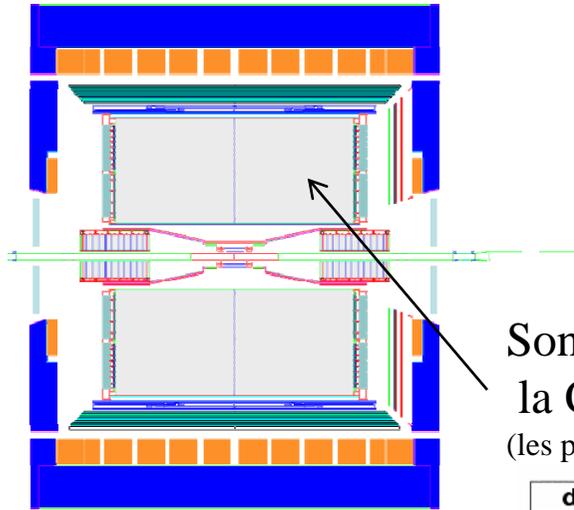


- 3.8 km de circonférence
- 2 anneaux de collisions concentriques ( les faisceaux circulent en sens inverse)
- $p, p\uparrow$ :  $5 \text{ GeV} \leq \sqrt{s} \leq 500 \text{ GeV}$
- $d, \text{Cu}, \text{Au}$ :  $5 \text{ GeV} \leq \sqrt{s_{NN}} \leq 200 \text{ GeV}$



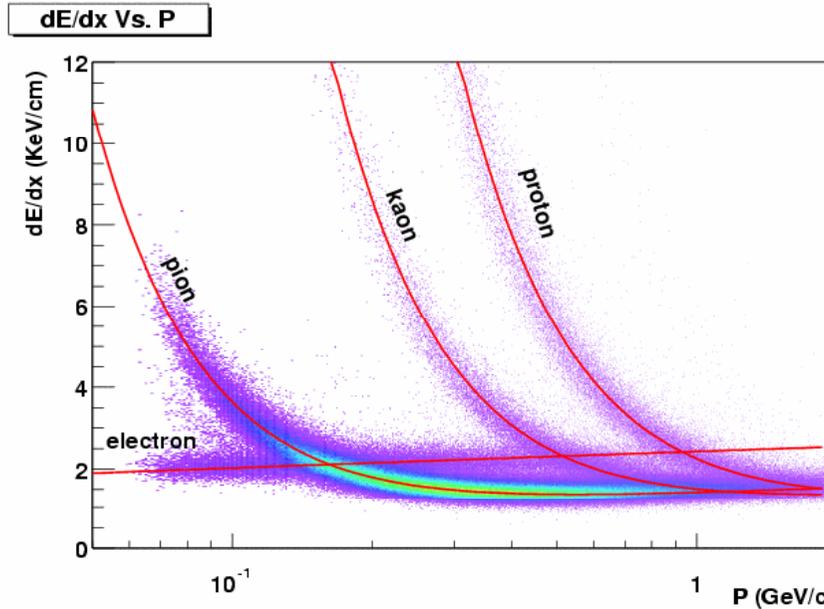
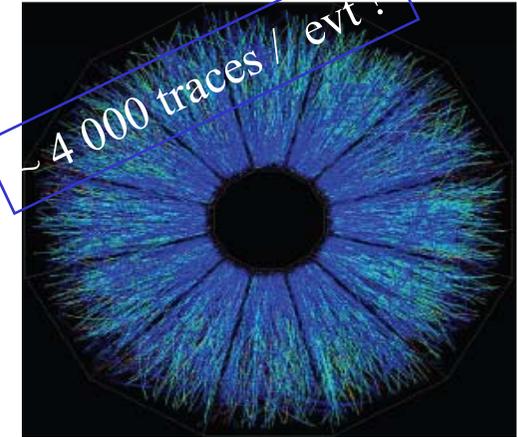
# STAR et sa TPC

Le détecteur STAR



Son sous-détecteur principal :  
la Chambre à Projection Temporelle (TPC)  
(les particules ionisent son gaz)

Une collision Au-Au « centrale »

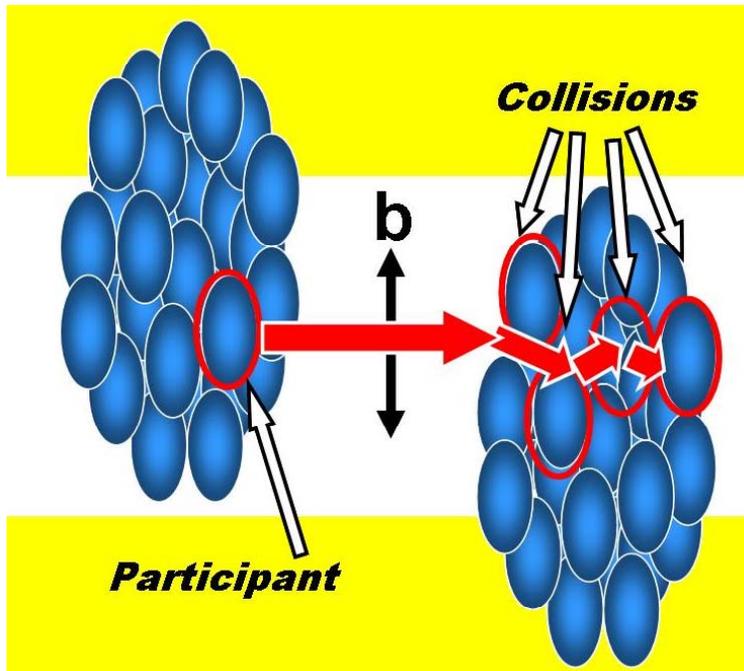


← 2 informations:  
- P  
-  $dE/dx$   
→ Identification des  
particules



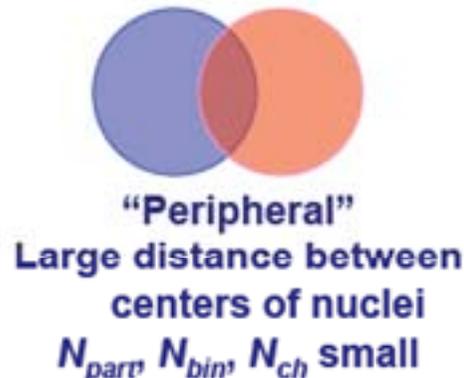
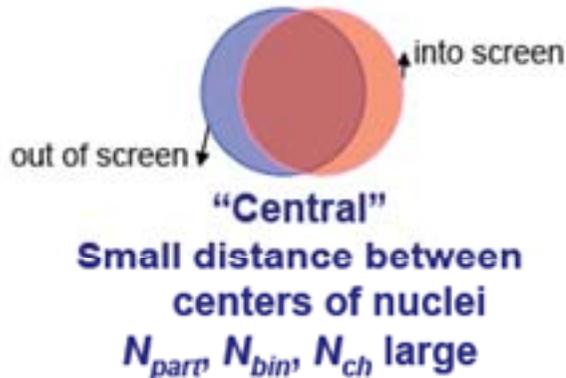


# Géométrie de la collision: Centralité



- $N_{bin}$ : nombre de collisions nucléon-nucléon inélastiques
- $N_{part}$ : nombre de nucléons qui subissent au moins une collision nucléon-nucléon inélastique

Si la production de charme est proportionnelle à  $N_{bin}$   
 → produit **très tôt**  
 (car  $N_{bin}$  gouverne sa production)





# Mesures du charme ouvert à RHIC

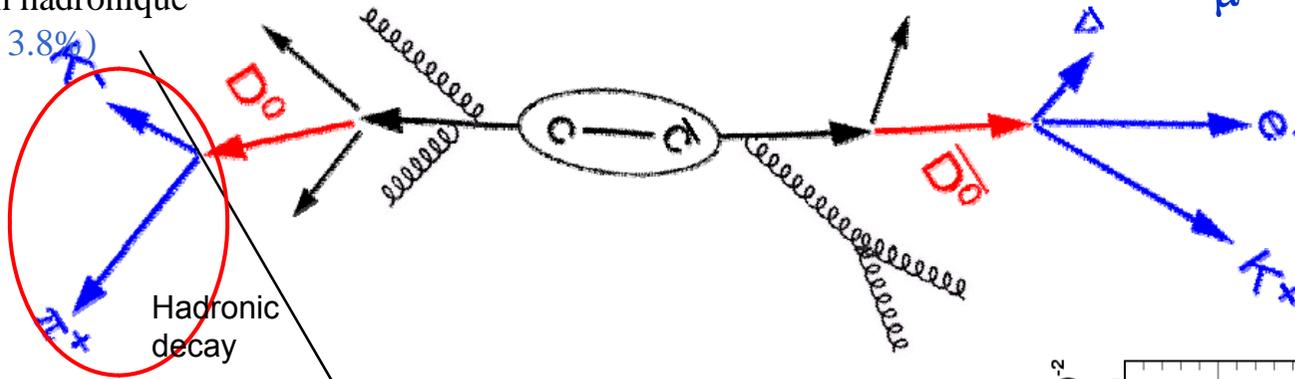
## Mesures directes (spécifiques à STAR)

(mon analyse de thèse)



# Reconstruction directe

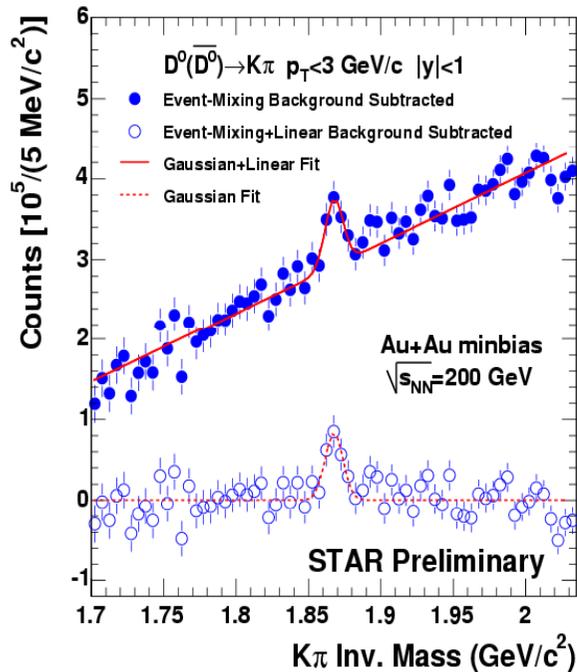
▪ Désintégration hadronique  
 $D_0 \rightarrow K\pi$  (B.R.: 3.8%)



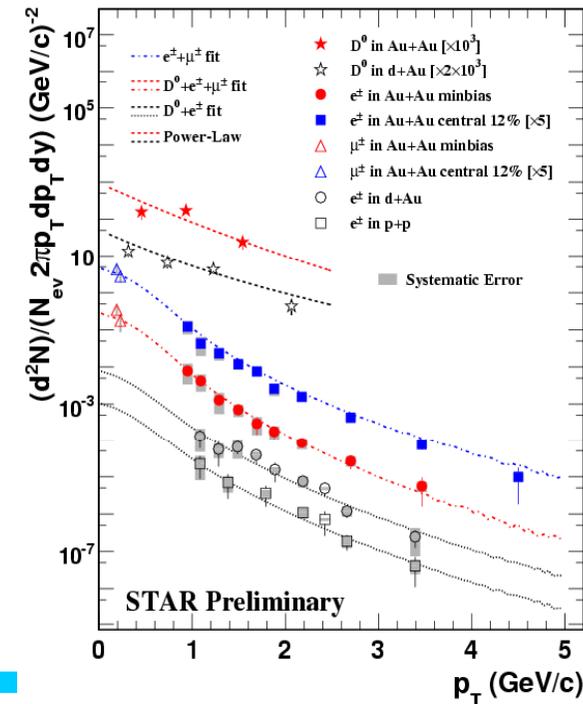
Désintégrations semi-leptoniques

- $c \rightarrow e^+ + X$
- $c \rightarrow \mu^+ + X$
- $D^0 \rightarrow e^+ + X$  (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) (Pas le temps)



A. SHABETAI – JRJC 2007 - Dinard





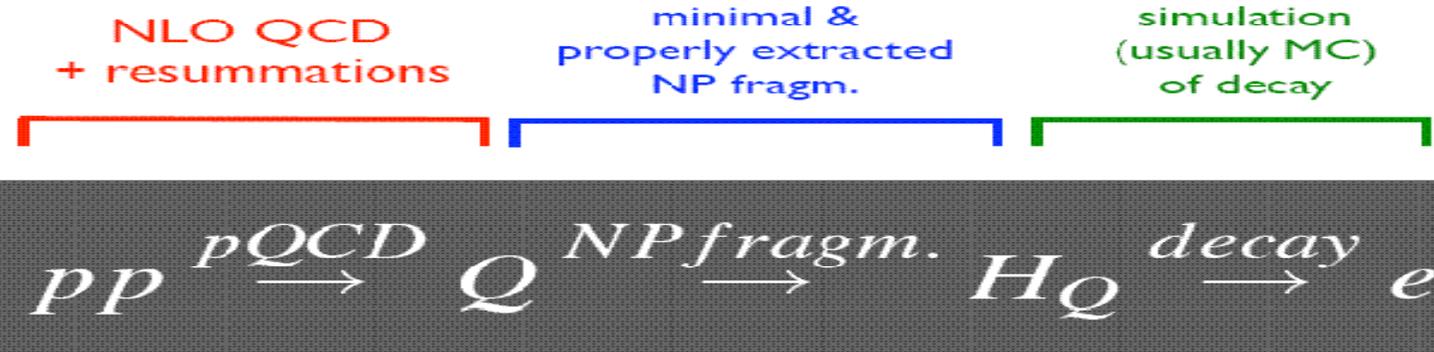
# Calcul de la section efficace du charme

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

Collision dure

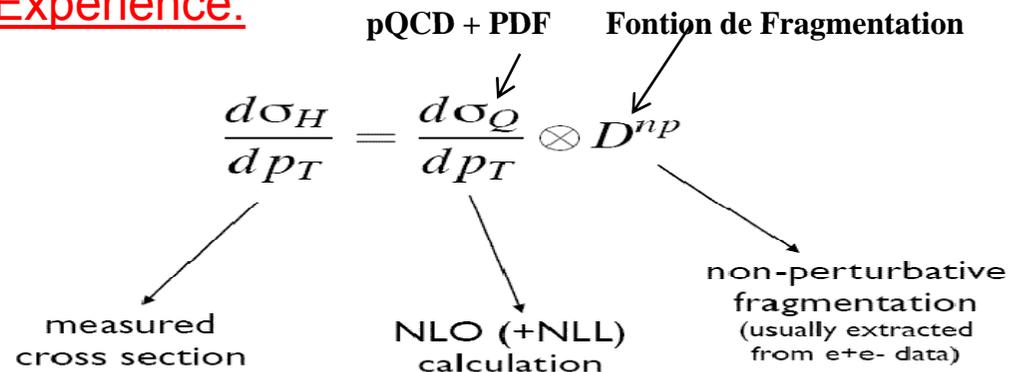
Fonction de distribution des partons (PDF) Correction

Calcul:



For predicting total cross sections one can stop here

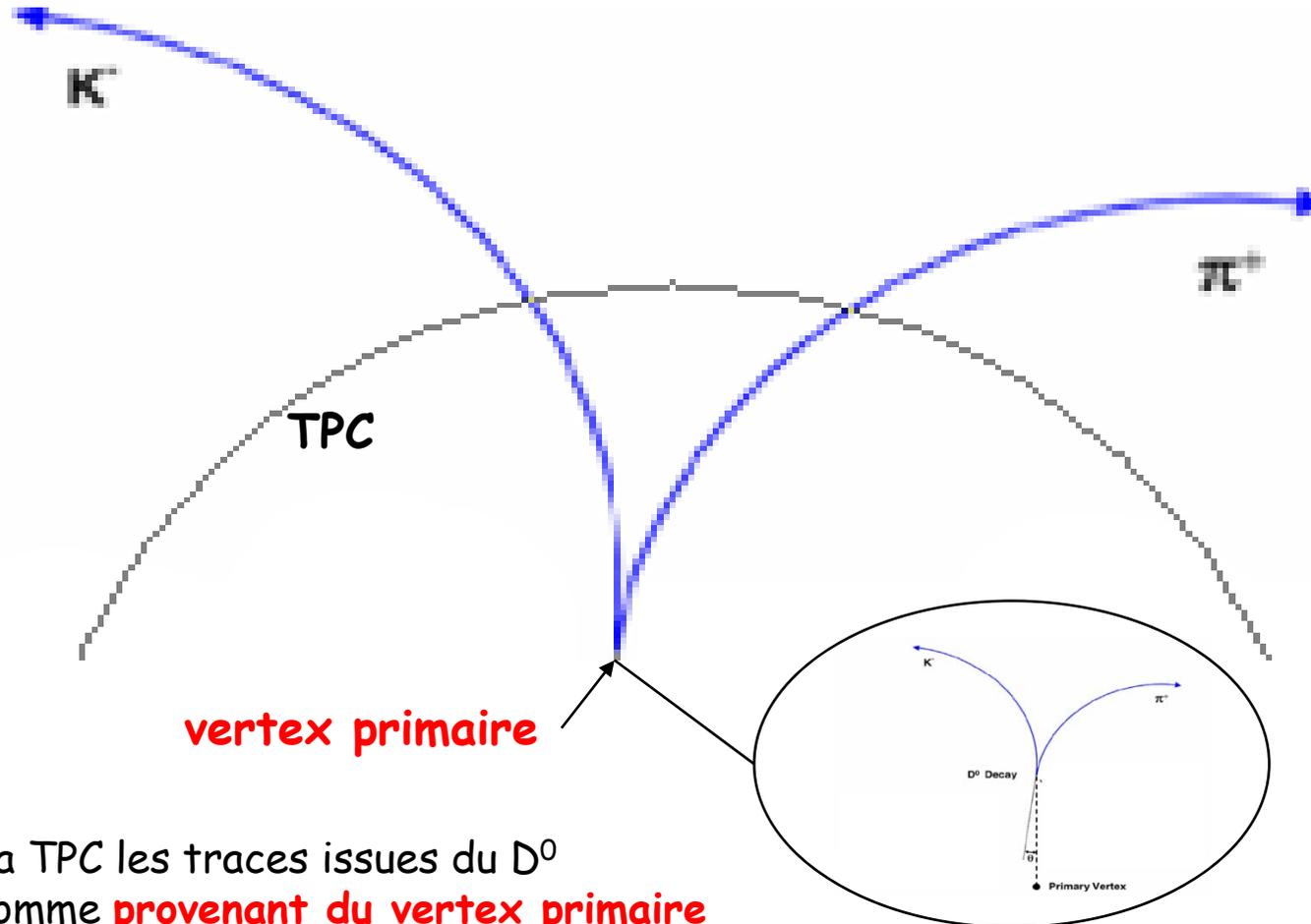
Expérience:



A. SHABET



# Reconstruction du $D^0$ dans la TPC



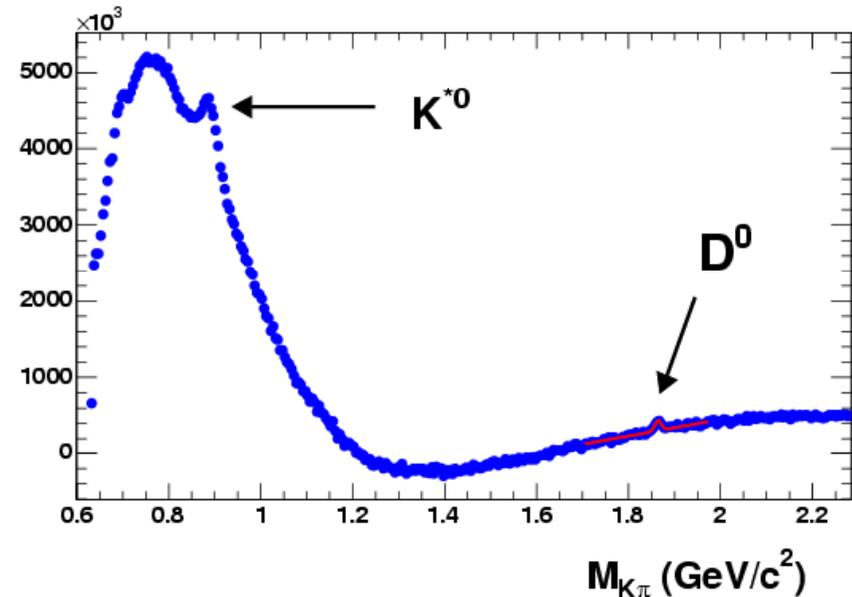
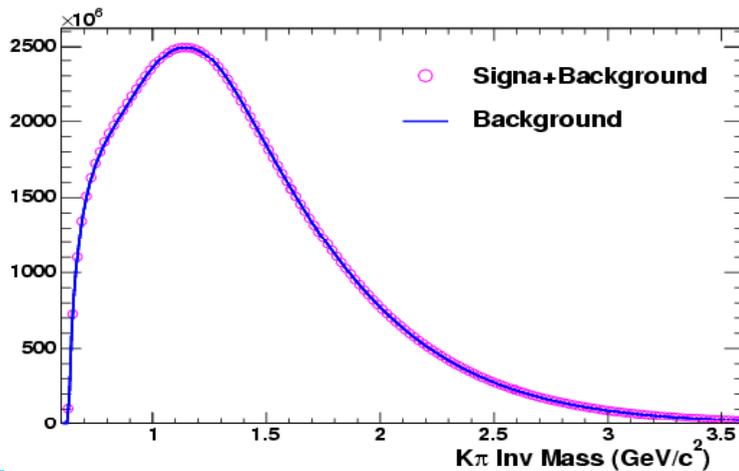
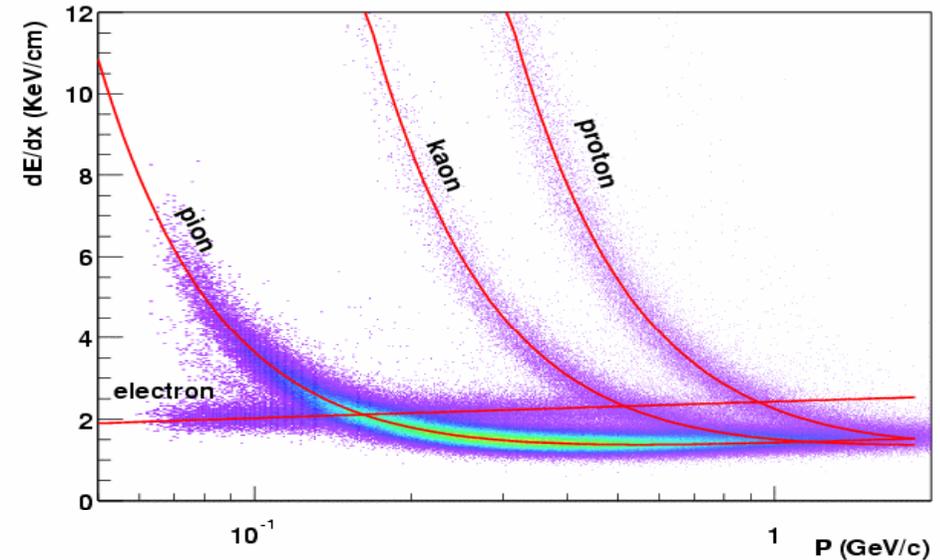
A L'échelle de la TPC les traces issues du  $D^0$  apparaissent comme **provenant du vertex primaire**  
→ **Bruit de fond combinatoire très important!**

$c\tau=124 \mu\text{m} \ll$  resolution de la TPC !



# Reconstruction du $D^0$ la TPC (2)

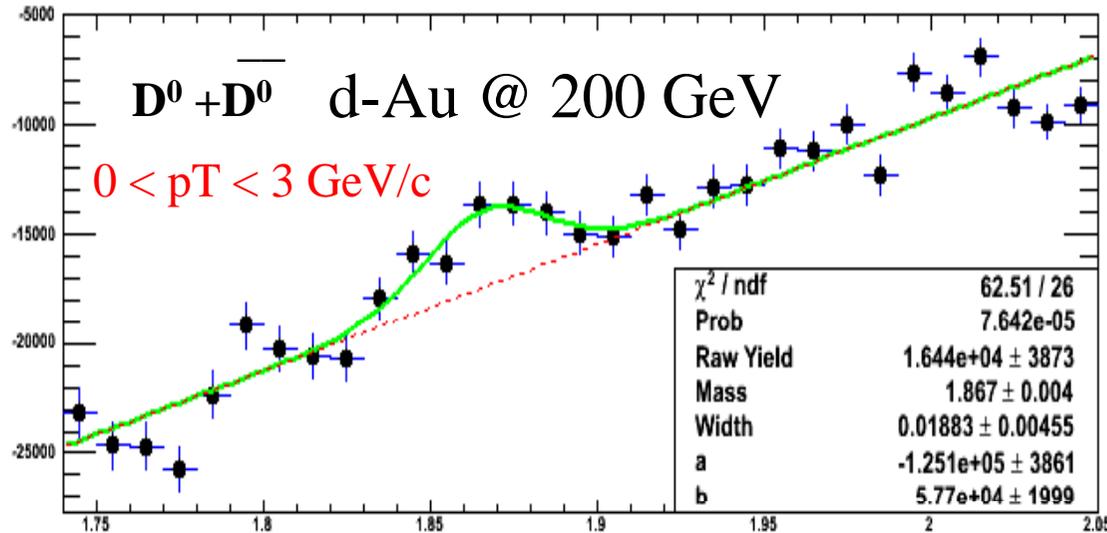
- Sélectionner les Pions et les Kaons à l'aide de la TPC et du TOF
- Combiner les paires provenant d'un même évènement  $\Rightarrow$  **signal+bruit**
- Combiner les paires provenant d'évènements différents  $\Rightarrow$  **bruit** ("évènements mélangés" ou "rotation de traces")
- Soustraire  $\Rightarrow$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



A. SHABETAI - JR.

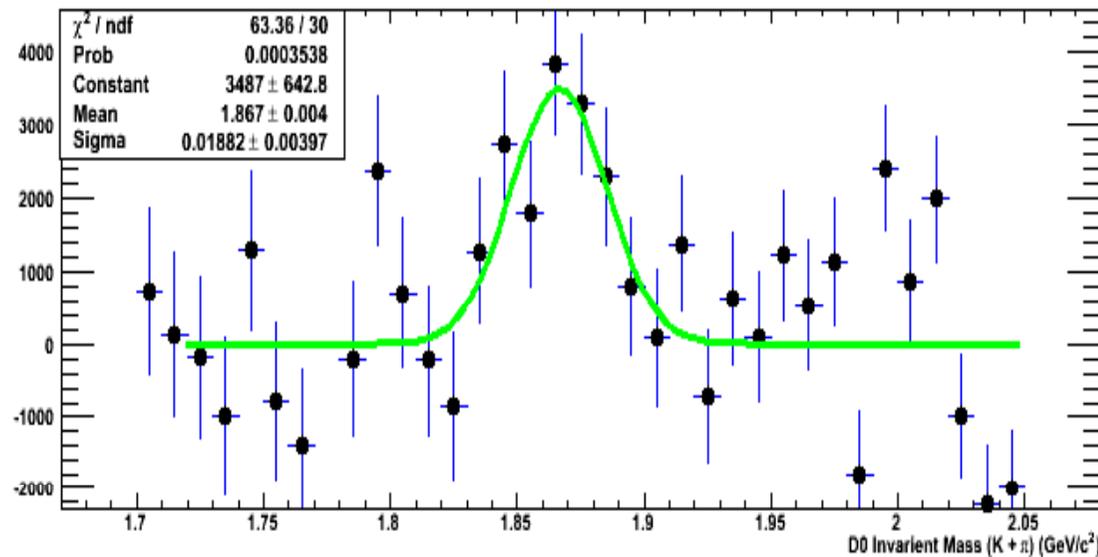


# Premiers résultats – collisions d+Au @ 200 GeV



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

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

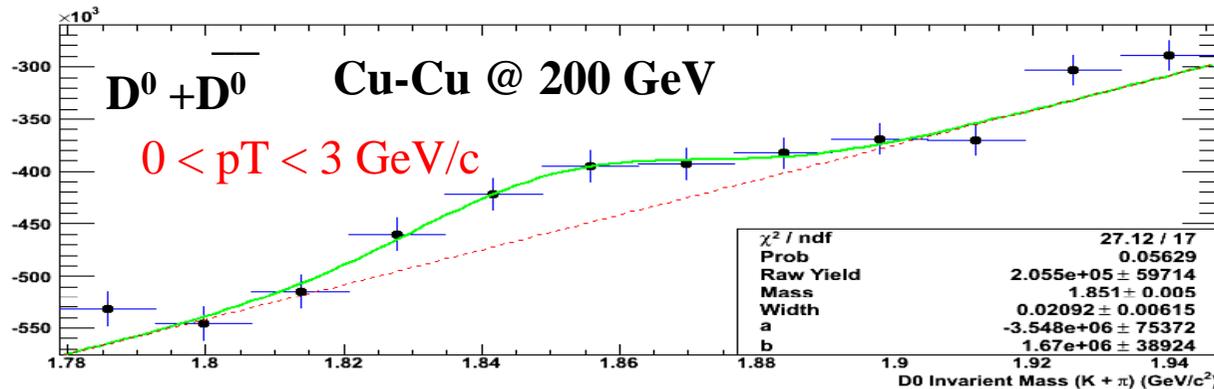


→ Mesure **difficile**  
→ Soustraction du bruit de fond **capitale** (et complexe)  
→ Erreurs **statistiques et systématiques** très importantes

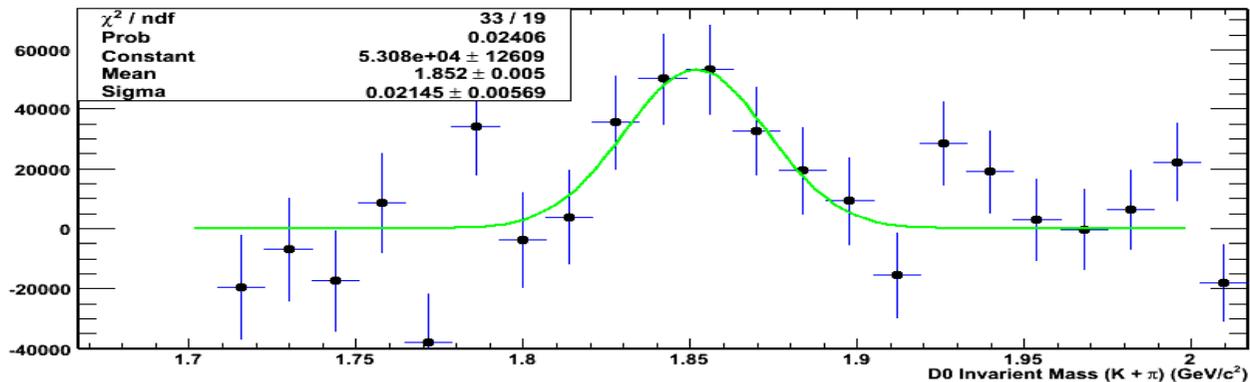
A. SHABETAI – JRJC 2007 - Dinard



# 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)

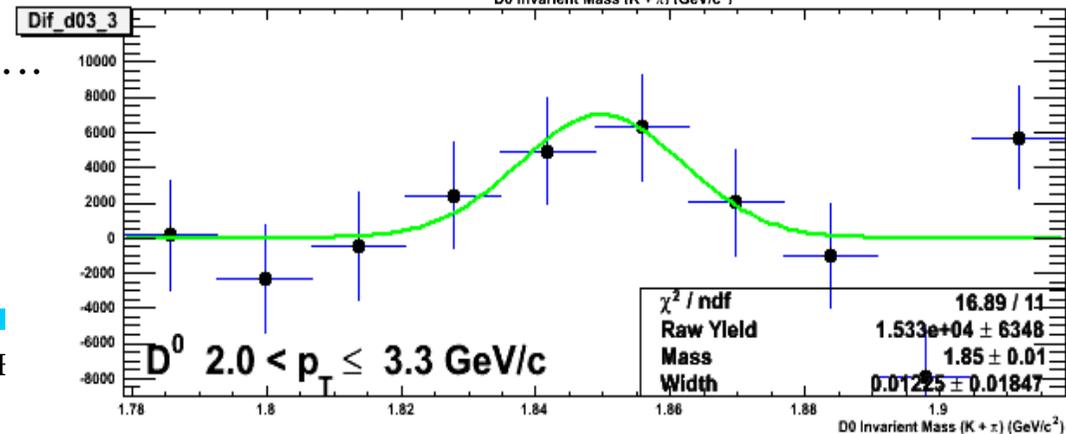
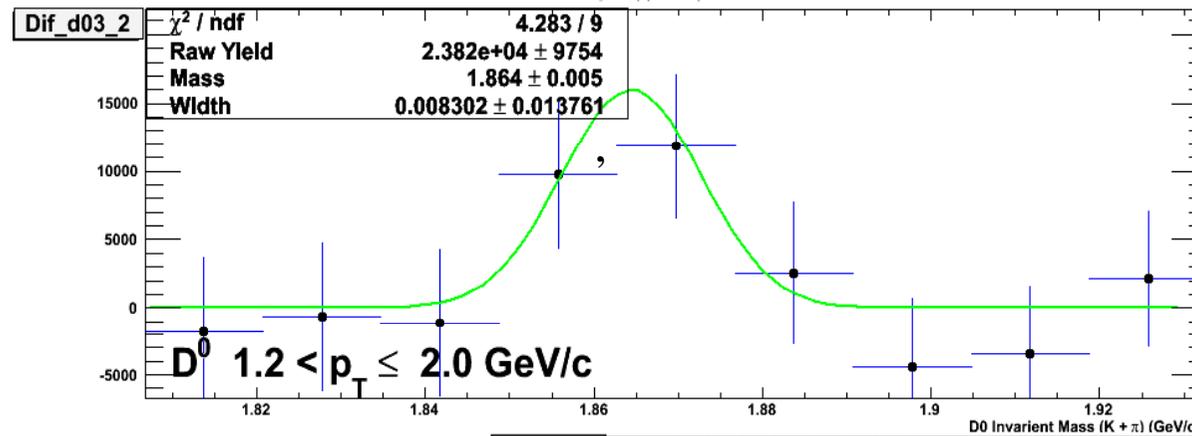
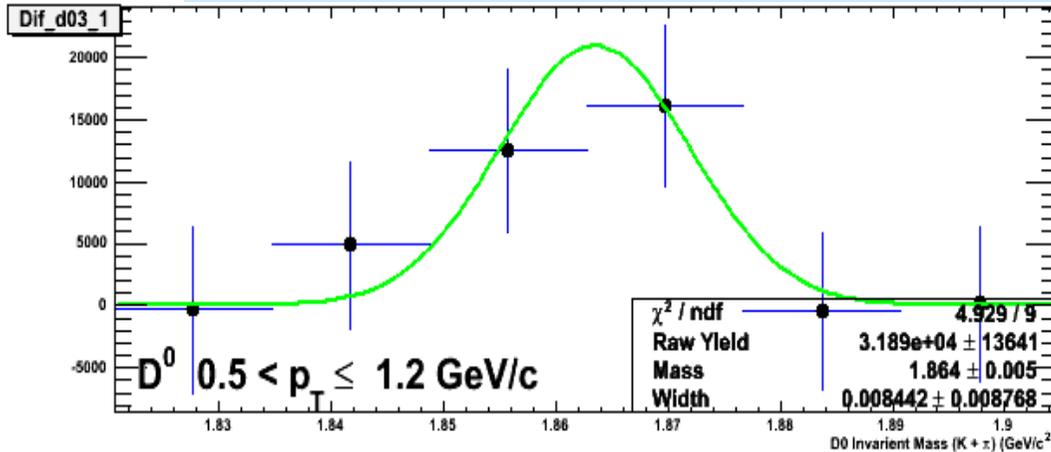
- Mesure **difficile** → 2 analyses indépendantes (A.S et S.B)
- soustraction du bruit de fond **capitale** (et complexe)
- Erreurs **statistiques et systématiques** très **importantes**
- Construction du **spectre**

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



# Canaux en Pt

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



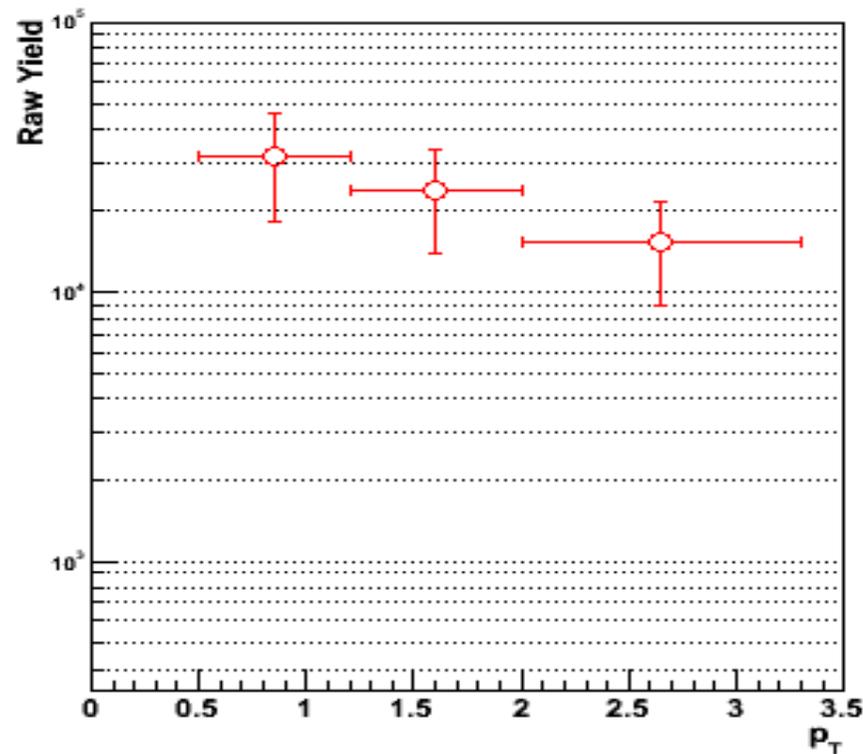
**3 canaux en  $p_T$  pas si facile** à obtenir....

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

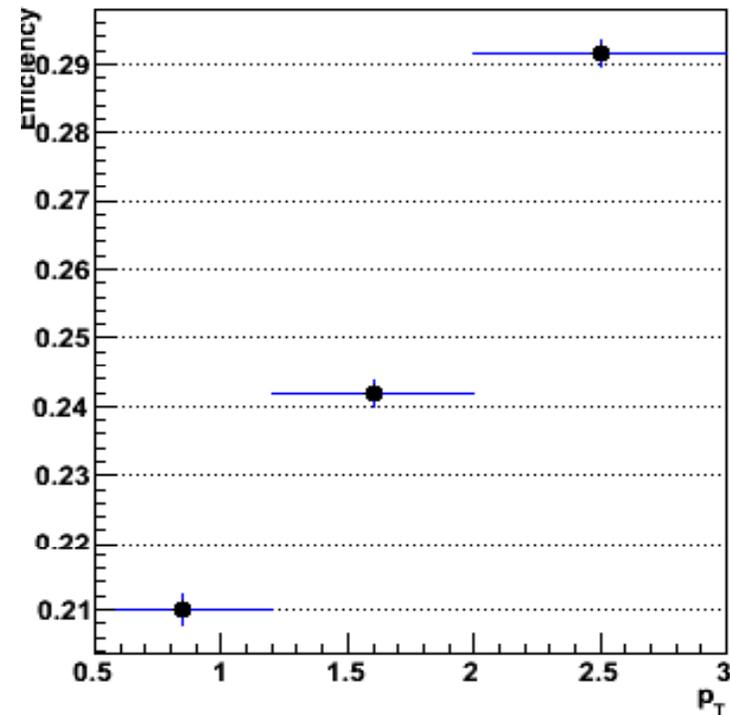


# Taux de production brut & Efficacité

Spectre brut :  
Simple comptage du nombre de  
particules



Efficacité: (simulation MC)  
N reconstruits (après sélections)  
 $N_{\text{générés}}$



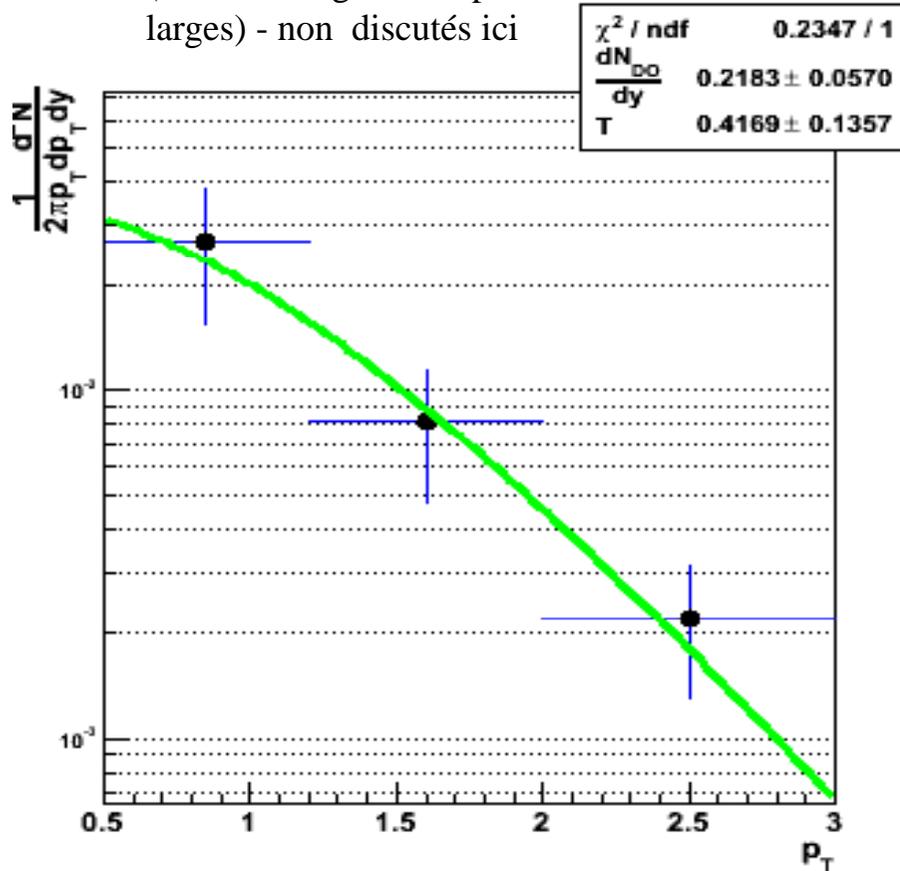


# Spectres corrigés

$D^0$  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)

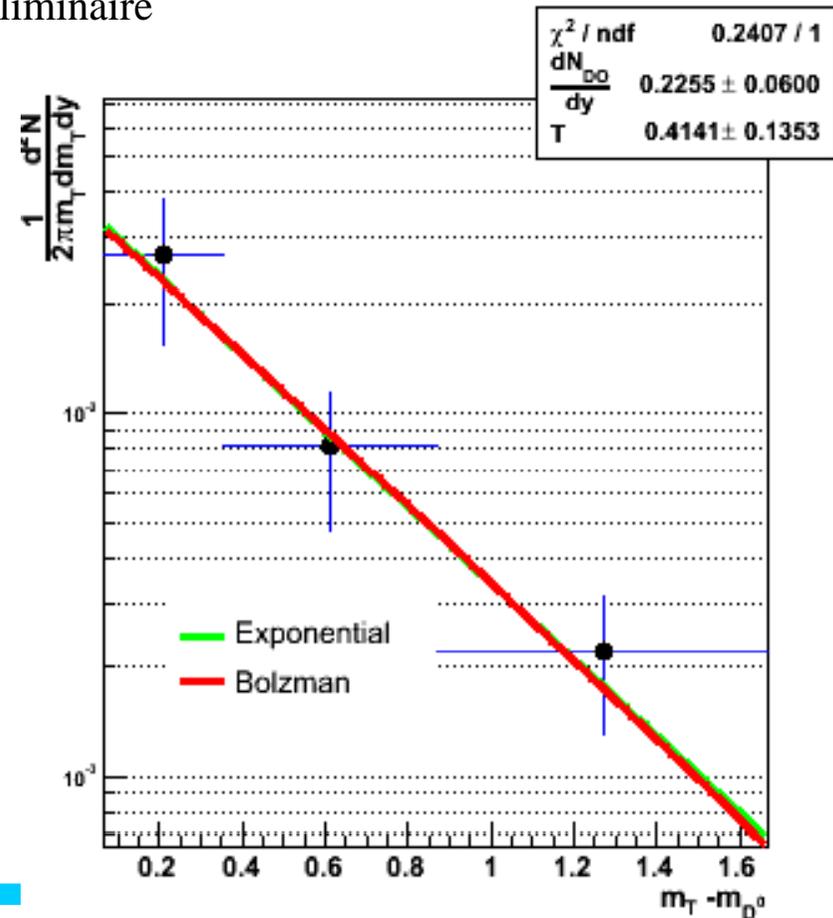
Ajustement du spectre



T compatible avec PYTHIA (T~ 530 MeV )

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

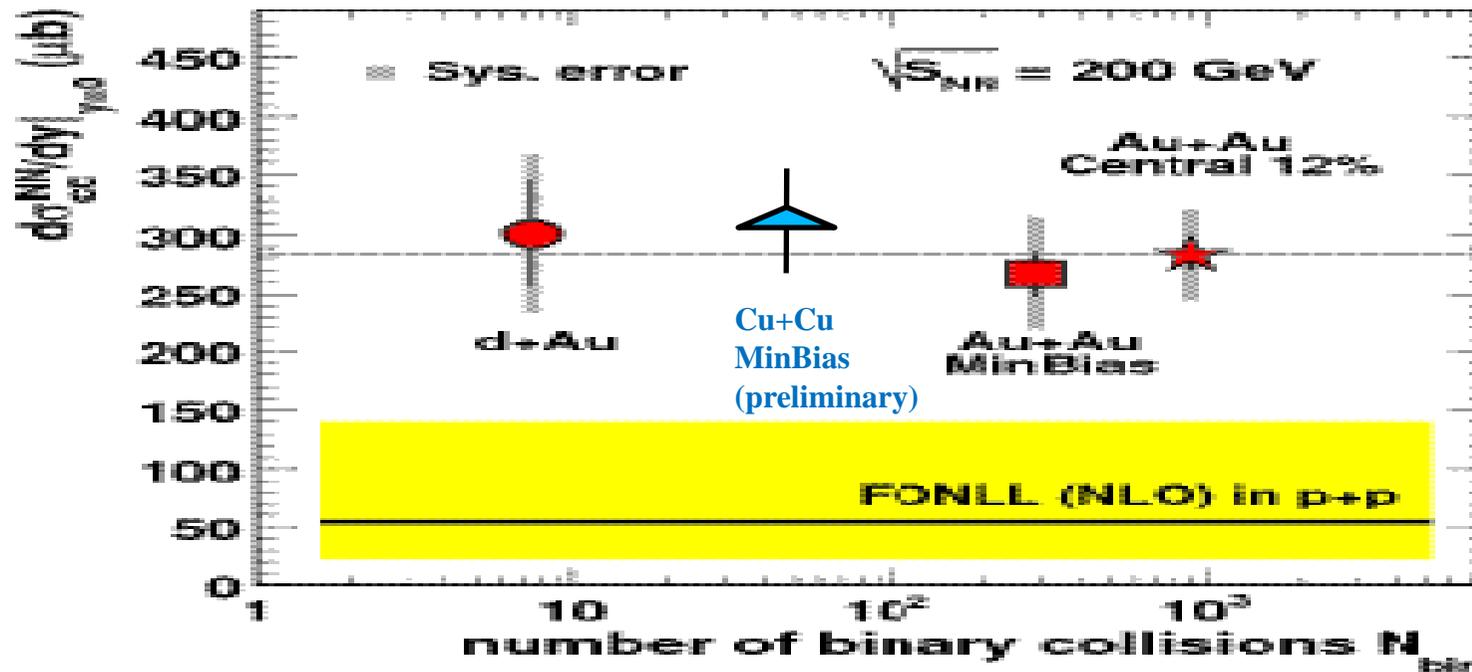
Préliminaire





# $d\sigma/dy$ dans STAR

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



Bonne soustraction du bruit de fond **capitale**  
 (erreur stat + effet du flow)  
 Etude **systematique (dominante)** en cours

Haut Pt → suppression

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



# Comment faire mieux ?

→ « Upgrade » pour RHIC2

Cas de STAR :

Projet HFT Berkeley / MIT (proto. complet installé pour le run de **2009**)

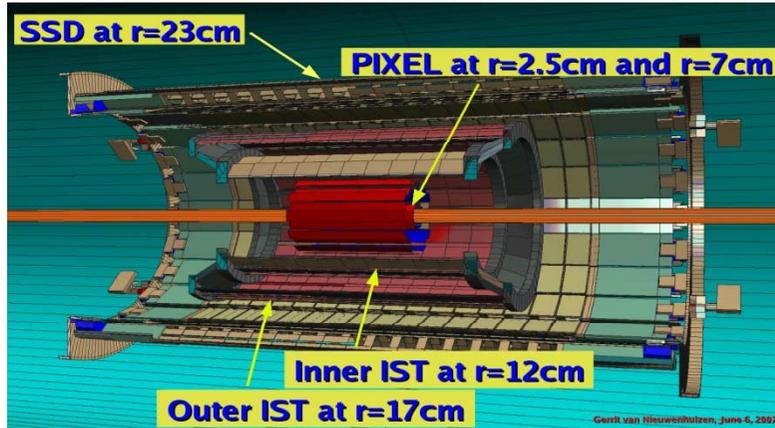
- Utilisation de capteurs **CMOS** (Strasbourg)

- « **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

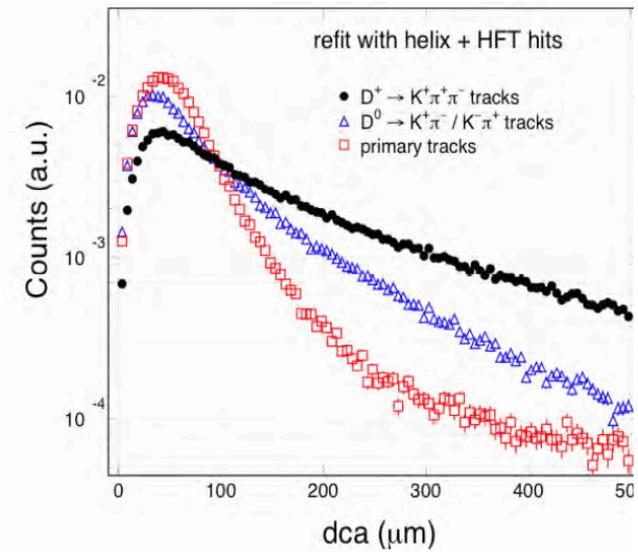
Rayon : 2.5 cm and 8 cm ,

24 échelles

-2 cm x 20 cm chacune

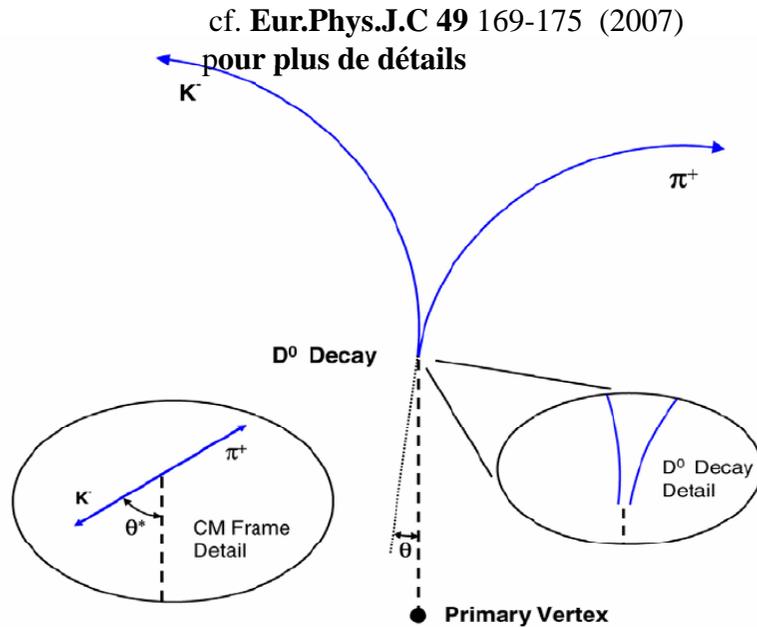
Utilisation de capteurs **CMOS** pixel car il nous faut :

- 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



# Reconstruction du $D^0$ avec le HFT

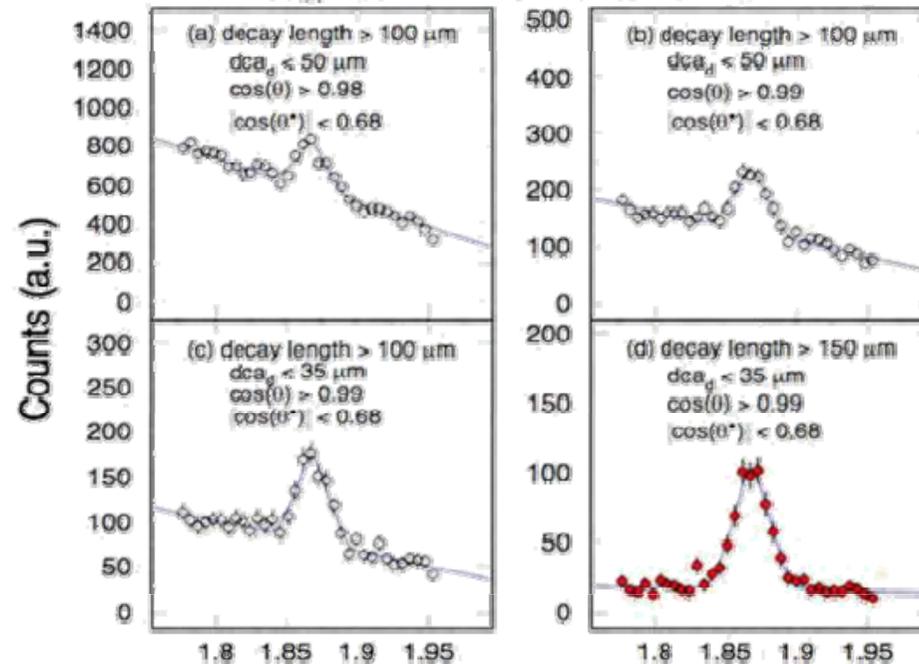
Masse invariante de  $D^0$  avec différents jeux de coupures :



$c\tau = 124 \mu\text{m}$  !  
~50  $\mu\text{m}$  résolution sur le vertex déplacé

$D^0 \rightarrow K\pi$  (STAR: TPC+SSD+HFT)

( $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV 10% central Au+Au collisions)



Plus besoin de techniques de  $S/B \sim 3$   
**soustraction de bruit complexes**

Reconstruction directe  
et topologique du  $D^0$

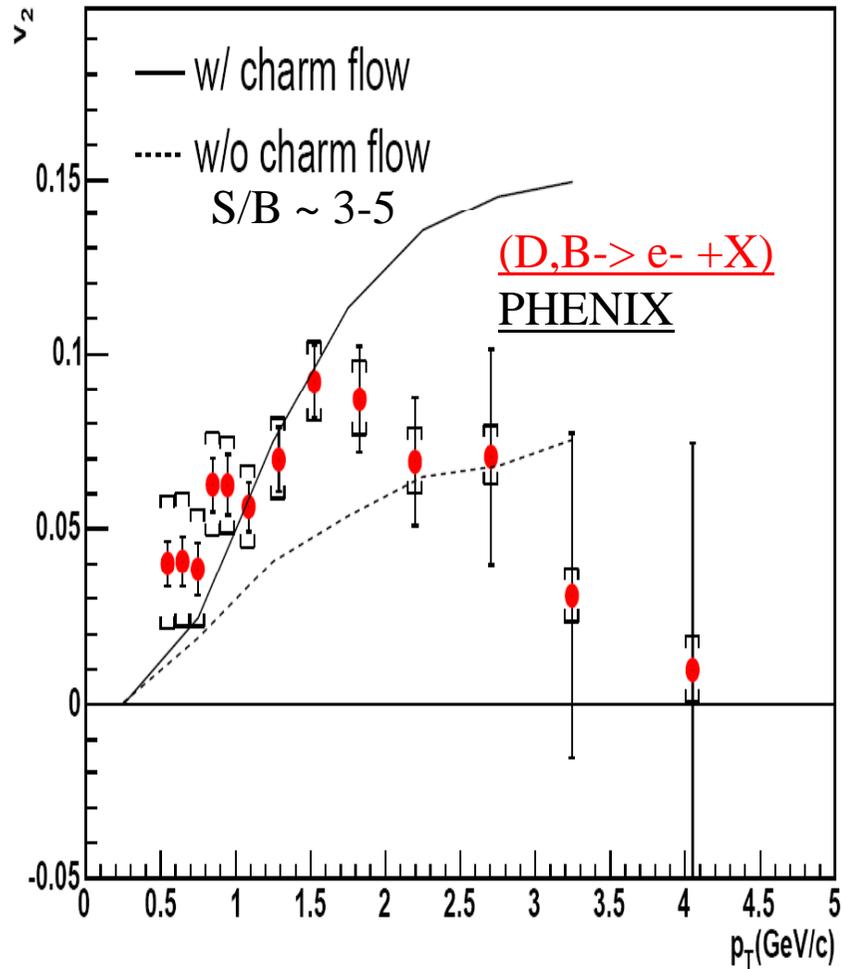
**Utilisation de méthodes Multi-variables**

afin de maximiser la signification tout en minimisant le bruit de fond



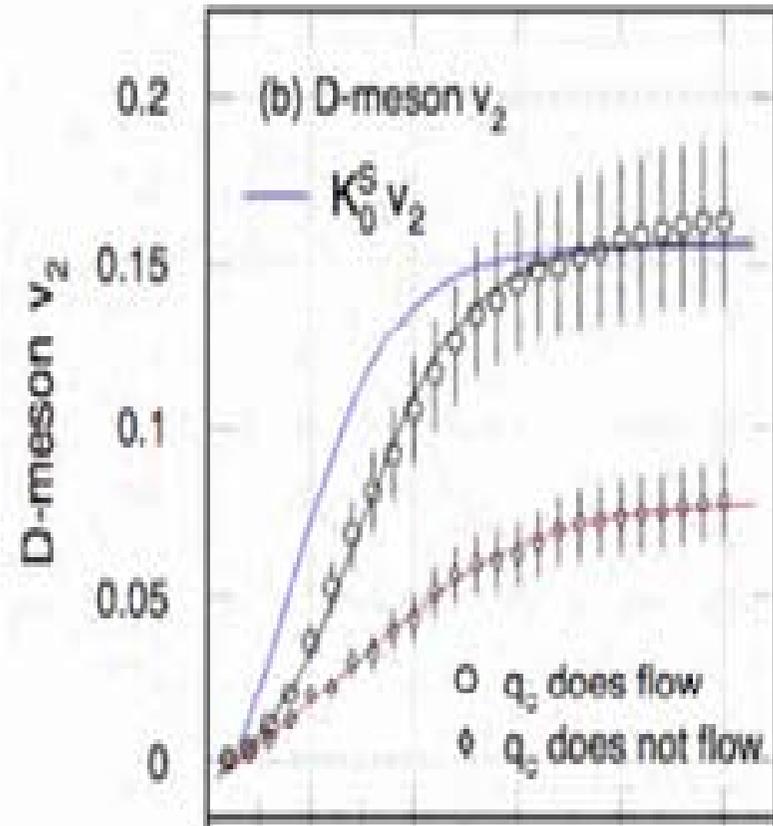
# $V_2$ : Estimation de la stat. nécessaire

Aujourd'hui:



Futur (simulation):

Mesure directe du  $V_2$  du chame





# Conclusions / Perspectives

## Aujourd'hui:

- mesures indirectes (limitations) et **1eres mesures directes** (spectre  $D^0 \rightarrow K^+ \pi$ ) du charme ouvert à RHIC.
- Théorie: Calculs **peuvent être précis** si peu d'extrapolations...

## Futur (2009-2011) avec le **HFT**

Mesures **directes et topologiques** du charme et  $V_2$  précis

Perspective : finir de rédiger ma thèse....