

# Prédictions du modèle de Color Glass Condensate pour la production de muons auprès du spectromètre à muons d'ALICE

Alexandre CHARPY

Université Paris XI - IPNO

12 octobre 2007

## Le Plasma de Quarks et de Gluons

Les bases de la ChromoDynamique Quantique

Les signatures et la suppression des  $J/\psi$  et  $\Upsilon$

Les prédictions au LHC

## Le détecteur ALICE

Présentation générale

Influences de la variation des piédestaux

Conclusions

## Le modèle de Color Glass Condensate

Présentation

Simulations

Conclusions & perspectives

# Plan

# Plan

## Le Plasma de Quarks et de Gluons

Les bases de la ChromoDynamique Quantique

Les signatures et la suppression des  $J/\psi$  et  $\Upsilon$

Les prédictions au LHC

## Le détecteur ALICE

Présentation générale

Influences de la variation des piédestaux

Conclusions

## Le modèle de Color Glass Condensate

Présentation

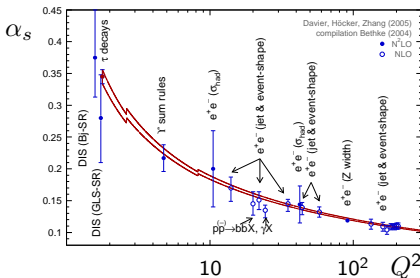
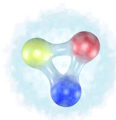
Simulations

Conclusions & perspectives



# Modèle partonique "évolué" & Chromo-Dynamique Quantique (QCD)

- Nucléons constitués de 3 quarks de valence qui interagissent entre eux par les gluons
- Gluons  $\rightarrow$  échange des charges de couleurs responsables de l'**interaction forte**
- Interaction forte caractérisée par la constante de couplage  $\alpha_s$
- Dépendance de  $\alpha_s$  en fonction  $r \propto \frac{1}{Q^2} \Rightarrow$  **Liberté asymptotique**
- Confinement des quarks à l'intérieur des hadrons par paires ou triplets

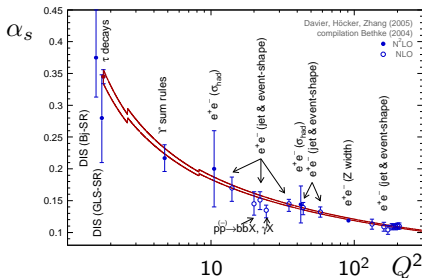
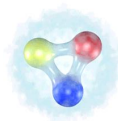


# Modèle partonique "évolué" & Chromo-Dynamique Quantique (QCD)

- Nucléons constitués de 3 quarks de valence qui interagissent entre eux par les gluons
- Gluons  $\rightarrow$  échange des charges de couleurs responsables de l'interaction forte
- Interaction forte caractérisée par la constante de couplage  $\alpha_s$

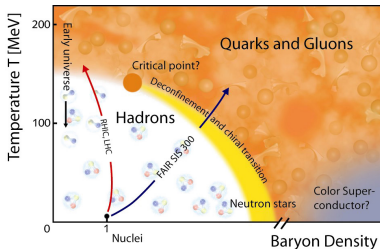
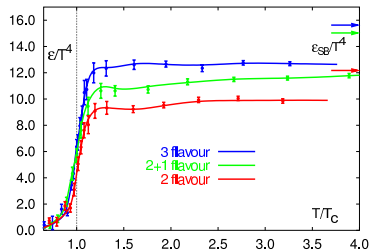
Le déconfinement est-il possible ?

- Dépendance de  $\alpha_s$  en fonction  $r \propto \frac{1}{Q^2} \Rightarrow$  Liberté asymptotique
- Confinement des quarks à l'intérieur des hadrons par paires ou triplets



# Prédiction de la QCD sur réseau

- QCD sur réseau  $\implies$  existence d'une transition de phase entre :
  - matière nucléaire *normale*
  - plasma Quarks-Gluons (PQG)
- Transition caractérisée par :
  - température critique  $\sim 170 \text{ MeV}$
  - densité baryonique critique  $5 - 10 \times \rho_0$
- Déconfinement de la matière possible via les collisions d'ions lourds ultra-relativistes :
  - durée de vie du PQG  $< 10 \text{ fm} \cdot c^{-1}$  ;
  - volume du PQG très restreint.



# Prédiction de la QCD sur réseau

- QCD sur réseau  $\implies$  existence d'une transition de phase entre :

- matière nucléaire *normale*
- plasma Quarks-Gluons (PQG)

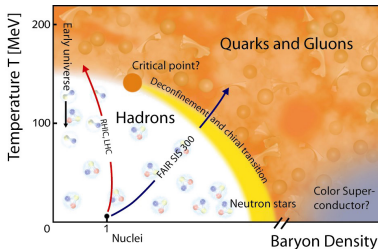
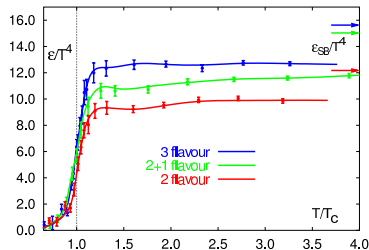
- Transition caractérisée par :

- température critique  $\sim 170$  MeV

Mise en évidence du PQG ?

- Déconfinement de la matière possible via les collisions d'ions lourds ultra-relativistes :

- durée de vie du PQG  $< 10$  fm.c $^{-1}$  ;
- volume du PQG très restreint.



# Les signatures

## 1. Processus d'interaction "durs"

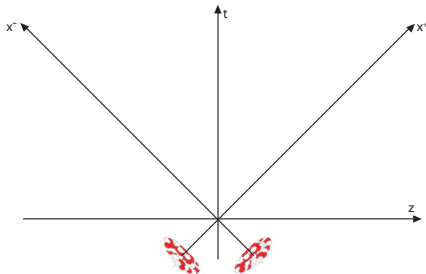
- création de paires de quarks  $q\bar{q}$  de haut  $p_T$
- création de paires de quarks lourds  $Q\bar{Q}$

## 2. Système thermalisé de quarks déconfinés

- perte d'énergie dans le PQG = suppression des jets
- suppression anormale du  $J/\psi$  ( $c\bar{c}$ ) et  $\Upsilon$  ( $b\bar{b}$ )

## 3. Phase d'hadronisation du système = Freeze Out

- flot des particules
- production des particules étranges et charmées



# Les signatures

## 1. Processus d'interaction "durs"

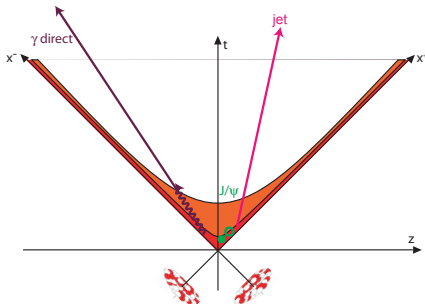
- création de paires de quarks  $q\bar{q}$  de haut  $p_t$
- création de paires de quarks lourds  $Q\bar{Q}$

## 2. Système thermalisé de quarks déconfinés

- perte d'énergie dans le PQG = suppression des jets
- suppression anormale du  $J/\psi$  ( $c\bar{c}$ ) et  $\Upsilon$  ( $b\bar{b}$ )

## 3. Phase d'hadronisation du système = Freeze Out

- flot des particules
- production des particules étranges et charmées



# Les signatures

## 1. Processus d'interaction "durs"

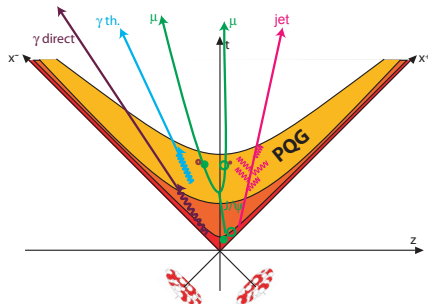
- création de paires de quarks  $q\bar{q}$  de haut  $p_t$
- création de paires de quarks lourds  $Q\bar{Q}$

## 2. Système thermalisé de quarks déconfinés

- perte d'énergie dans le PQG = suppression des jets
- **suppression anormale du  $J/\psi$**  ( $c\bar{c}$ ) et  $\Upsilon$  ( $b\bar{b}$ )

## 3. Phase d'hadronisation du système = Freeze Out

- flot des particules
- production des particules étranges et charmées



# Les signatures

## 1. Processus d'interaction "durs"

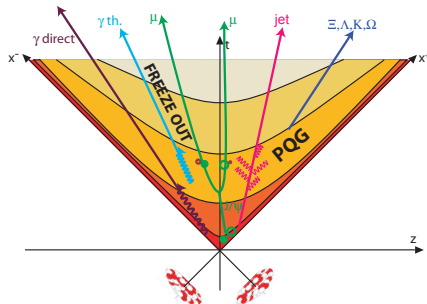
- création de paires de quarks  $q\bar{q}$  de haut  $p_t$
- création de paires de quarks lourds  $Q\bar{Q}$

## 2. Système thermalisé de quarks déconfinés

- perte d'énergie dans le PQG = suppression des jets
- **suppression anormale du  $J/\psi$**  ( $c\bar{c}$ ) et  $\Upsilon$  ( $b\bar{b}$ )

## 3. Phase d'hadronisation du système = Freeze Out

- flot des particules
- production des particules étranges et charmées





# Les signatures

## 1. Processus d'interaction "durs"

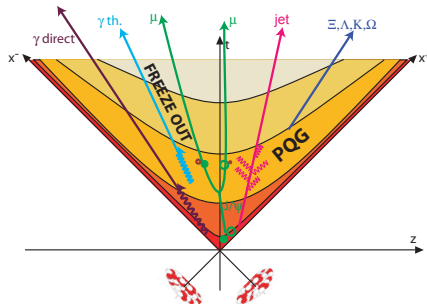
- création de paires de quarks  $q\bar{q}$  de haut  $p_t$
- création de paires de quarks lourds  $Q\bar{Q}$

## 2. Système thermalisé de quarks déconfinés

- perte d'énergie dans le PQG = suppression des jets
- **suppression anormale du  $J/\psi$**  ( $c\bar{c}$ ) et  $\Upsilon$  ( $b\bar{b}$ )

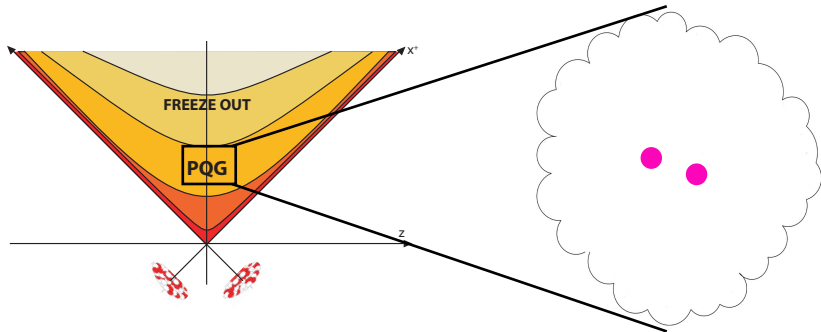
## 3. Phase d'hadronisation du système = Freeze Out

- flot des particules
- production des particules étranges et charmées



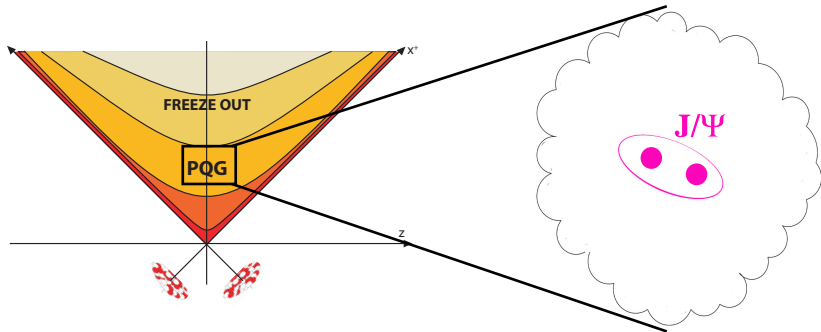
## La suppression des $J/\psi$ (et des $\Upsilon$ ?)

- Ecrantage de Debye des paires de quarks lourds issues des processus durs (Matsui & Satz (1984))



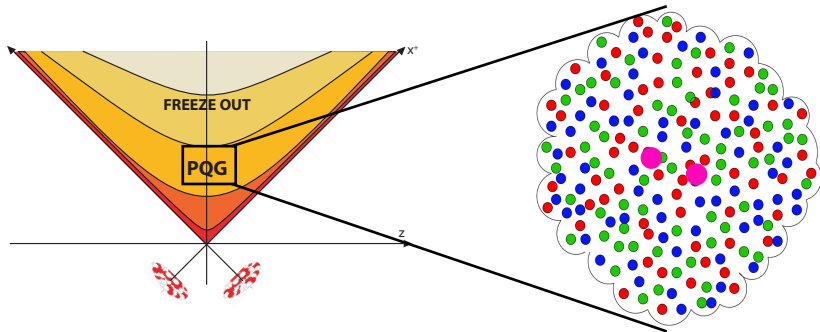
## La suppression des $J/\psi$ (et des $\Upsilon$ ?)

- Ecrantage de Debye des paires de quarks lourds issues des processus durs (Matsui & Satz (1984))



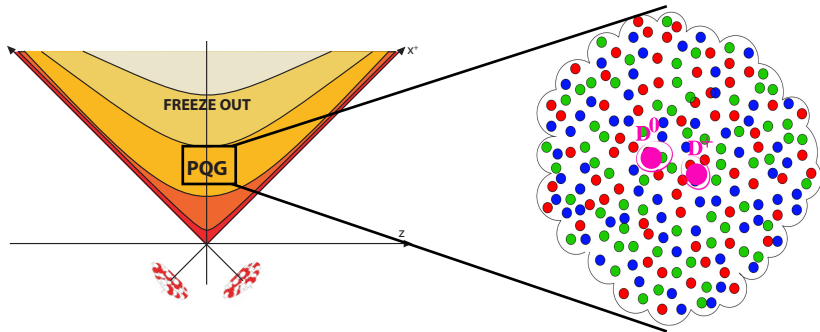
## La suppression des $J/\psi$ (et des $\Upsilon$ ?)

- Ecrantage de Debye des paires de quarks lourds issues des processus durs (Matsui & Satz (1984))



# La suppression des $J/\psi$ (et des $\Upsilon$ ?)

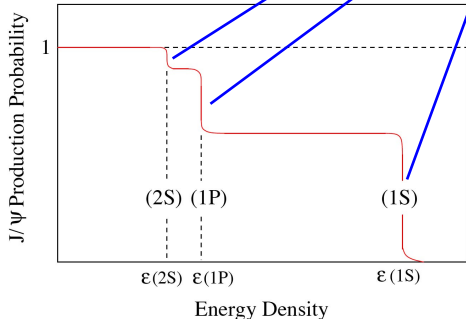
- Ecrantage de Debye des paires de quarks lourds issues des processus durs (Matsui & Satz (1984))



## La suppression des $J/\psi$ (et des $\Upsilon$ ?)

- Température de dissociation différente pour chaque état de la famille du  $J/\psi$  et  $\Upsilon$

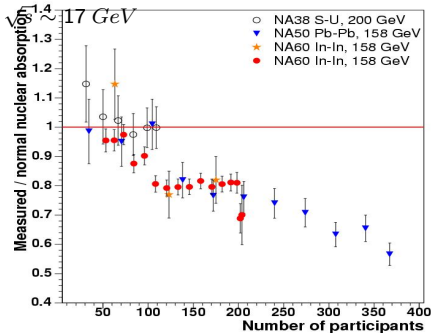
Etat	$\psi'$	$\chi_c$	$J/\psi$	$\Upsilon''$	$\Upsilon'$	$\Upsilon$
$T_d/T_c$	1.12	1.16	2.10	1.17	1.6	>4.0
100 $J/\psi$	10	30	60			



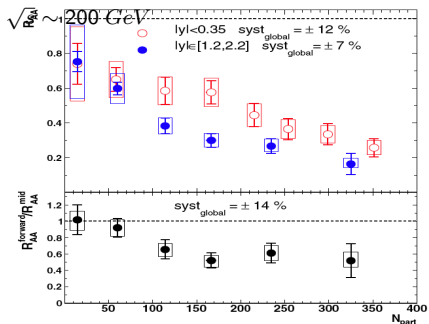
- Prédictions théoriques du modèle d'écrantage de couleur  $\Rightarrow$  fonte séquentielle des  $J/\psi$  mesurés

# Résultats expérimentaux

- Expériences auprès du SPS : NA38, NA50, NA60

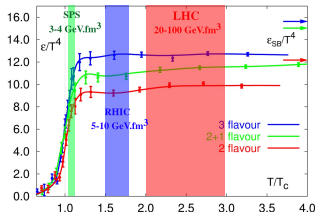
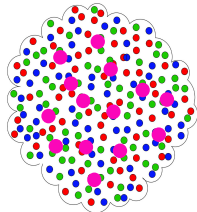


- Expériences auprès du RHIC



# Les prédictions et scénarios du LHC

- Modèle de recombinaison
  - processus durs plus nombreux et plus violents
  - densité de quarks  $c$  en nette augmentation par rapport au SPS et RHIC
  - probabilité de recombinaison de deux quarks  $c$  présent dans le PQG plus grand
- Effet de saturation de la fonction de distribution partonique
- Collisions Pb-Pb au LHC :
  - énergie dans le centre de masse  $\sim 5.5 TeV$
  - $\sim 30\times$  l'énergie du RHIC
  - température atteinte :  $2 - 3 T_c \implies$  suppression du  $J/\psi$
  - volume d'interaction plus "gros"
  - dissociation des résonances de la famille du  $\Upsilon$  ?





# Plan

## Le Plasma de Quarks et de Gluons

Les bases de la ChromoDynamique Quantique

Les signatures et la suppression des  $J/\psi$  et  $\Upsilon$

Les prédictions au LHC

## Le détecteur ALICE

Présentation générale

Influences de la variation des piédestaux

Conclusions

## Le modèle de Color Glass Condensate

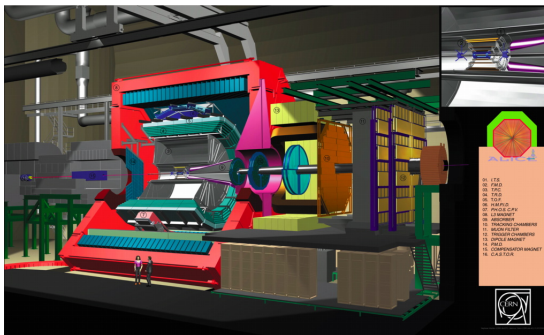
Présentation

Simulations

Conclusions & perspectives

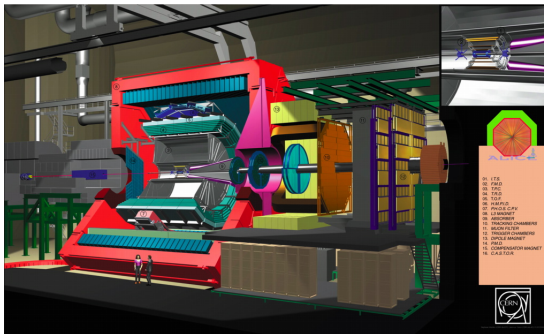
# L'expérience ALICE

- ALICE : conçu pour étudier les collisions d'ions lourds ultra-relativistes
  - Partie centrale : *suppression des jets, flot, étrangeté, photons directs ...*
  - Détecteurs à grande rapidité : *centralité de la collision, validation pour le déclenchement, ...*
  - Spectromètre à muons : *mesure des  $J/\Psi$  et  $\Upsilon$*



# L'expérience ALICE

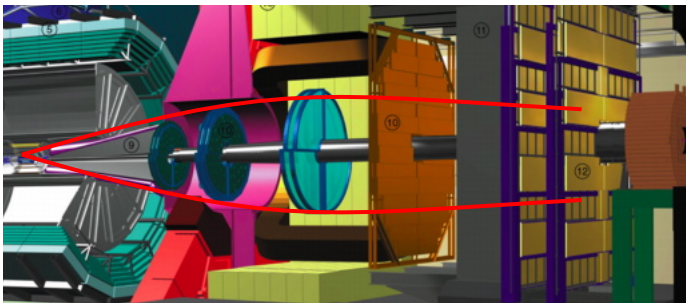
- ALICE : conçu pour étudier les collisions d'ions lourds ultra-relativistes
  - Partie centrale : *suppression des jets, flot, étrangeté, photons directs ...*
  - Détecteurs à grande rapidité : *centralité de la collision, validation pour le déclenchement, ...*
  - Spectromètre à muons : *mesure des  $J/\Psi$  et  $\Upsilon$*



# L'expérience ALICE

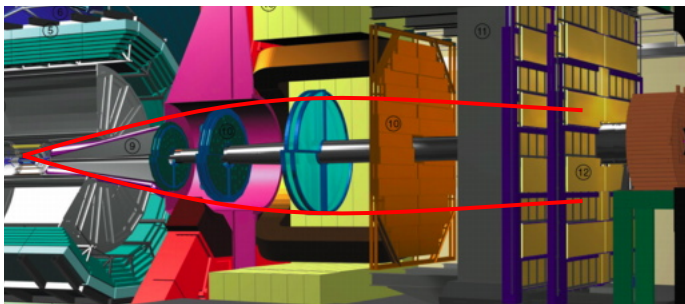
- Le spectromètre à muons

- Mesure du  $J/\psi$  et  $\Upsilon$  via leur décroissance di-muonique
- Résolution en masse de 1% pour la masse du  $\Upsilon \Rightarrow 70 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$  et  $100 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$
- Résolution spatiale sur les chambres de trajectographie inférieure à  $100 \mu\text{m}$



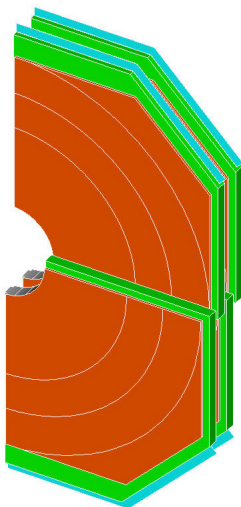
# L'expérience ALICE

- Le spectromètre à muons
  - Mesure du  $J/\psi$  et  $\Upsilon$  via leur décroissance di-muonique
  - Résolution en masse de 1% pour la masse du  $\Upsilon \Rightarrow 70 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$  et  $100 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$
  - Résolution spatiale sur les chambres de trajectographie inférieure à  $100 \mu\text{m}$



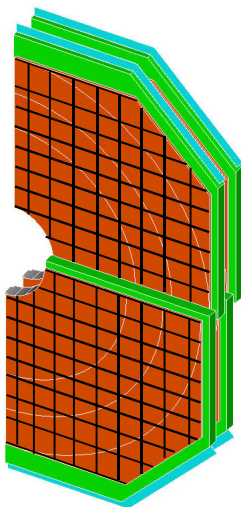
## Les chambres de trajectographie

- 5 stations de 2 chambres de trajectographie
- chambres à fils à 2 cathodes segmentées → *pads*
- lecture des charges induites sur les *pads* à partir des cartes MANU
- informations transmises à la DAQ via CROCUS
  
- Tests qualité des paramètres électroniques lors de tests sous faisceau effectués au SPS
- 1 100 000 voies de lecture → réduction des données à 5% = mécanisme de suppression de zéros



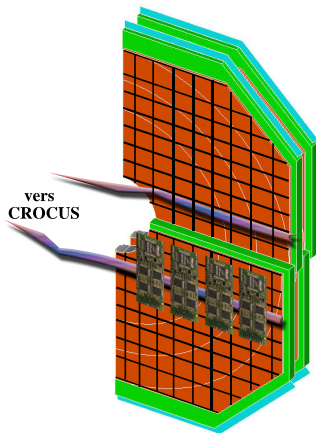
## Les chambres de trajectographie

- 5 stations de 2 chambres de trajectographie
- chambres à fils à 2 cathodes segmentées → *pads*
- lecture des charges induites sur les *pads* à partir des cartes MANU
- informations transmises à la DAQ via CROCUS
  
- Tests qualité des paramètres électroniques lors de tests sous faisceau effectués au SPS
- 1 100 000 voies de lecture → réduction des données à 5% = mécanisme de suppression de zéros



## Les chambres de trajectographie

- 5 stations de 2 chambres de trajectographie
- chambres à fils à 2 cathodes segmentées → *pads*
- lecture des charges induites sur les *pads* à partir des cartes MANU
- informations transmises à la DAQ via CROCUS
  
- Tests qualité des paramètres électroniques lors de tests sous faisceau effectués au SPS
- 1 100 000 voies de lecture → réduction des données à 5% = mécanisme de suppression de zéros

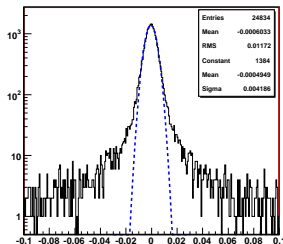




## Les chambres de trajectographie

- 5 stations de 2 chambres de trajectographie
- chambres à fils à 2 cathodes segmentées → *pads*
- lecture des charges induites sur les *pads* à partir des cartes MANU
- informations transmises à la DAQ via CROCUS
- Tests qualité des paramètres électroniques lors de tests sous faisceau effectués au SPS
- 1 100 000 voies de lecture → réduction des données à 5% = mécanisme de suppression de zéros

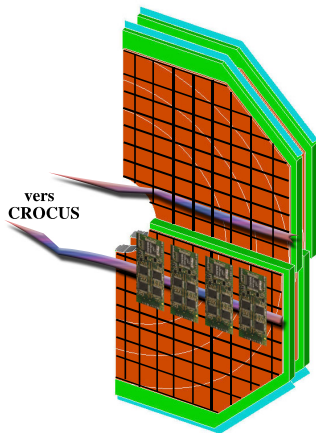
Résolution spatiale : 50  $\mu\text{m}$



Charpy & Al., ALICE-INT-2006-016

## Les chambres de trajectographie

- 5 stations de 2 chambres de trajectographie
- chambres à fils à 2 cathodes segmentées → *pads*
- lecture des charges induites sur les *pads* à partir des cartes MANU
- informations transmises à la DAQ via CROCUS
  
- Tests qualité des paramètres électroniques lors de tests sous faisceau effectués au SPS
- 1 100 000 voies de lecture → réduction des données à 5% = mécanisme de suppression de zéros

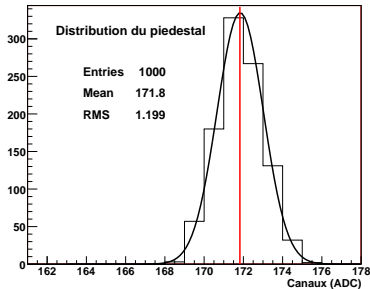


# Mécanisme de suppression de zéros

Mécanisme de suppression de zéros = comparaison de la tension mesurée à une valeur seuil.

Définition du seuil de suppression :

1. distribution du piédestal = référence en l'absence de signal physique



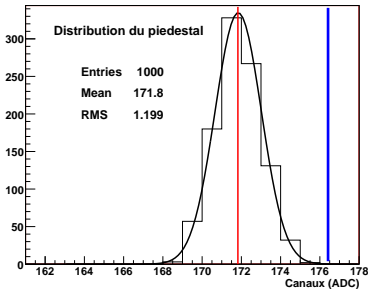
2. seuil de suppression fixé à  $\text{piédestal} + n * \text{bruit}$

# Mécanisme de suppression de zéros

Mécanisme de suppression de zéros = comparaison de la tension mesurée à une valeur seuil.

Définition du seuil de suppression :

1. distribution du piédestal = référence en l'absence de signal physique



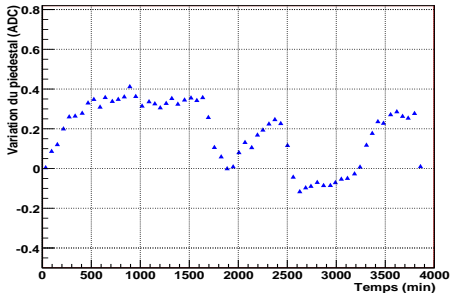
2. seuil de suppression fixé à  $\text{piédestal} + n * \text{bruit}$

## Mécanisme de suppression de zéros

Mécanisme de suppression de zéros = comparaison de la charge mesurée à une valeur seuil

Définition du seuil de suppression :

1. distribution du piédestal = référence en l'absence de signal d'entrée
2. seuil de suppression fixé à  $\text{piédestal} + n * \text{bruit}$
3. tests sous faisceau au CERN + mise en service des quadrants → variation des piédestaux



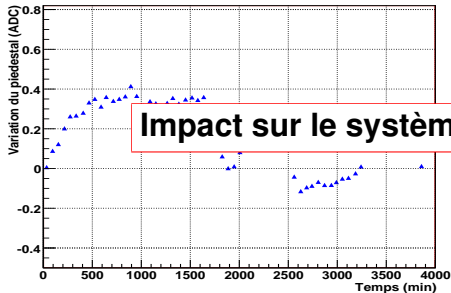
- bonne stabilité des piédestaux
- variation de  $\pm 0.5$  canal ADC sur 6 heures

## Mécanisme de suppression de zéros

Mécanisme de suppression de zéros = comparaison de la charge mesurée à une valeur seuil.

Définition du seuil de suppression :

1. distribution du piédestal = référence en l'absence de signal d'entrée
2. seuil de suppression fixé à  $\text{piédestal} + n * \text{bruit}$
3. tests sous faisceau au CERN + mise en service des quadrants → variation des piédestaux



**Impact sur le système de trajectographie ?** <sub>x</sub>

- variation de  $\pm 0.5$  canal ADC sur 6 heures

# Impact possible sur la variation des piédestaux

## 1. Influence sur le système d'acquisition (DAQ)

- *variation du piédestal  $\implies$  variation du taux d'occupation*
- *$\nearrow$  taux d'occupation  $\equiv$   $\nearrow$  temps mort de la DAQ*
- *plus grand volume des données à stocker*

## 2. Influence sur l'analyse des données :

- *Analyse des "clusters"*
- *Augmentation du nombre et de la taille des clusters*
- *Reconstruction des points d'impact (MLEM + Mathieson)*
- *influence sur la résolution spatiale*
- *Reconstruction des traces des muons (Kalman + plan Branson)*
- *Nombre et reconstruction des traces*
- *Association des paires de muons*
- *Résolution en masse invariante*

# Impact possible sur la variation des piédestaux

## 1. Influence sur le système d'acquisition (DAQ)

- *variation du piédestal  $\implies$  variation du taux d'occupation*
- *$\nearrow$  taux d'occupation  $\equiv$   $\nearrow$  temps mort de la DAQ*
- *plus grand volume des données à stocker*

## 2. Influence sur l'analyse des données :

- *Analyse des "clusters"*
- *Augmentation du nombre et de la taille des clusters*
- *Reconstruction des points d'impact (MLEM + Mathieson)*
- *influence sur la résolution spatiale*
- *Reconstruction des traces des muons (Kalman + plan Branson)*
- *Nombre et reconstruction des traces*
- *Association des paires de muons*
- *Résolution en masse invariante*



# Impact possible sur la variation des piédestaux

## 1. Influence sur le système d'acquisition (DAQ)

- *variation du piédestal  $\implies$  variation du taux d'occupation*
- *$\nearrow$  taux d'occupation  $\equiv$   $\nearrow$  temps mort de la DAQ*
- *plus grand volume des données à stocker*

## 2. Influence sur l'analyse des données :

- Analyse des "clusters"
- *Augmentation du nombre et de la taille des clusters*
- Reconstruction des points d'impact (MLEM + Mathieson)
- *influence sur la résolution spatiale*
- Reconstruction des traces des muons (Kalman + plan Branson)
- *Nombre et reconstruction des traces*
- Association des paires de muons
- *Résolution en masse invariante*

# Impact possible sur la variation des piédestaux

## 1. Influence sur le système d'acquisition (DAQ)

- *variation du piédestal  $\implies$  variation du taux d'occupation*
- *$\nearrow$  taux d'occupation  $\equiv$   $\nearrow$  temps mort de la DAQ*
- *plus grand volume des données à stocker*

## 2. Influence sur l'analyse des données :

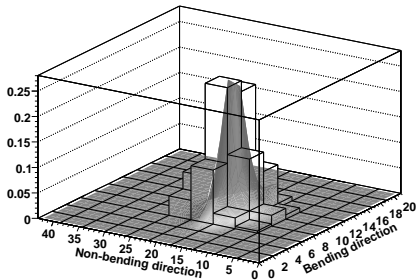
- Analyse des "clusters"
- *Augmentation du nombre et de la taille des clusters*
- Reconstruction des points d'impact (MLEM + Mathieson)
- *influence sur la résolution spatiale*
- Reconstruction des traces des muons (Kalman + plan Branson)
- *Nombre et reconstruction des traces*
- Association des paires de muons
- *Résolution en masse invariante*

## Impact sur la résolution spatiale

1. Soustraction des piédestaux réalisée lors de l'analyse off-line
2. Reconstruction du point d'impact effectuée à partir d'un ajustement de la fonction de Mathieson

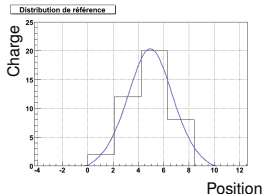
# Impact sur la résolution spatiale

1. Soustraction des piédestaux réalisée lors de l'analyse off-line
2. Reconstruction du point d'impact effectuée à partir d'un ajustement de la fonction de Mathieson

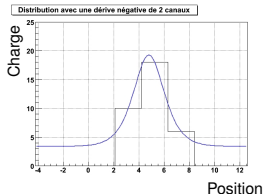


# Impact sur la résolution spatiale

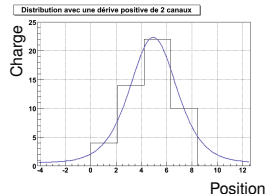
1. Soustraction des piédestaux réalisée lors de l'analyse off-line
2. Reconstruction du point d'impact effectuée à partir d'un ajustement de la fonction de Mathieson



Cas de référence : dérive nulle



Dérive négative : perte d'informations



Dérive positive : ajout de "bruit"

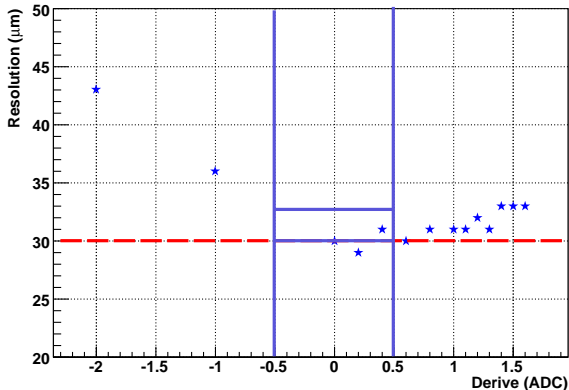
Décalage du point d'impact reconstruit par rapport au point de référence

## Impact sur la résolution spatiale

- Simulations effectuées avec deux échantillons de 1000  $J\psi$  et  $\Upsilon$
- Variation du piédestal entre [-2, 1.6] canal ADC
- Résidu = distance (position du point d'impact - position reconstruite)

## Impact sur la résolution spatiale

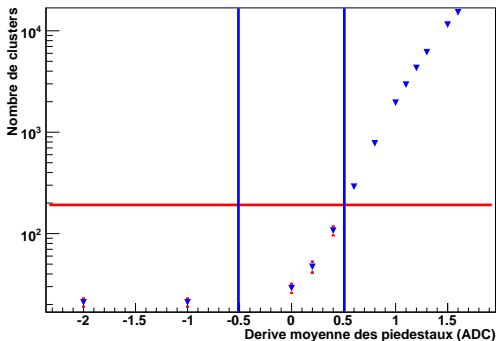
- Simulations effectuées avec deux échantillons de 1000  $J\Psi$  et  $\Upsilon$
- Variation du piédestal entre [-2, 1.6] canal ADC
- Résidu = distance (position du point d'impact - position reconstruite)



# Impact sur la reconstruction des traces

## 1. Recherche des clusters

- définition d'un "cluster" : au moins deux pads adjacents ou face à face.
- ↗ nombre de pads  $\implies$  ↗ nombre de clusters



## 2. Conséquence sur la reconstruction des traces



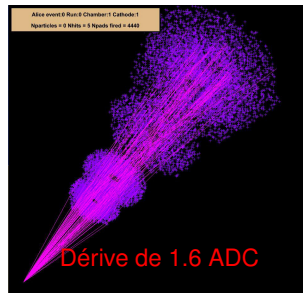
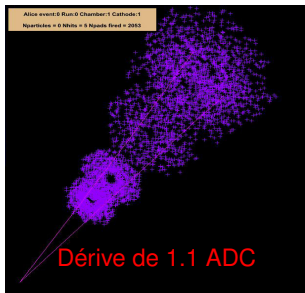
# Impact sur la reconstruction des traces

## 1. Recherche des clusters

- définition d'un "cluster" : au moins deux pads adjacents ou face à face.
- ↗ nombre de pads  $\implies$  ↗ nombre de clusters

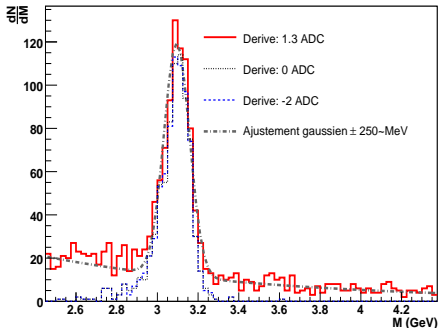
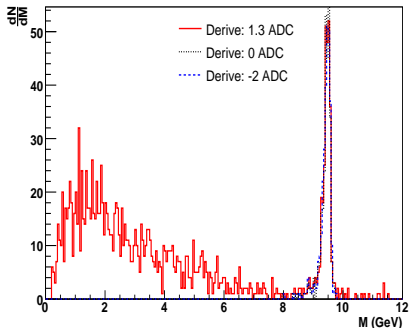
## 2. Conséquence sur la reconstruction des traces

- possibilité de reconstruire des traces virtuelles dites "fantômes"
- temps de reconstruction ↗
  - Temps de clusterisation
  - Temps de reconstruction des traces + association par paires



## Influence sur la reconstruction

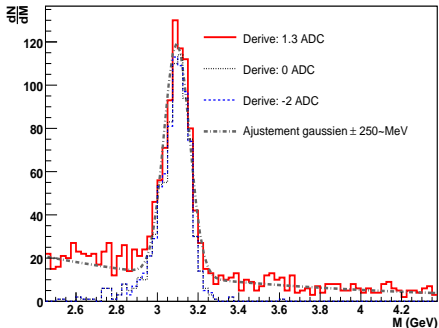
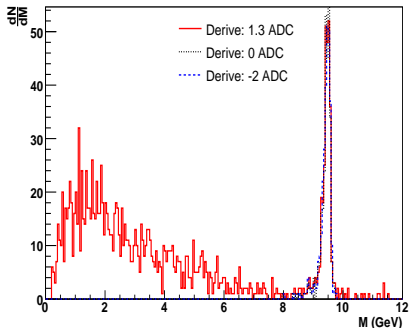
- Augmentation du nombre de traces « fantômes » = bruit de fond combinatoire



- Pas de dégradation significative sur la résolution en masse

## Influence sur la reconstruction

- Augmentation du nombre de traces « fantômes » = bruit de fond combinatoire

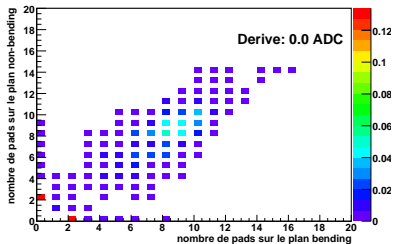


- Pas de dégradation significative sur la résolution en masse
- → comment supprimer de bruit de fond dans ce type de situation ?

**Discriminer les clusters « fantômes »**

# Caractérisation des clusters

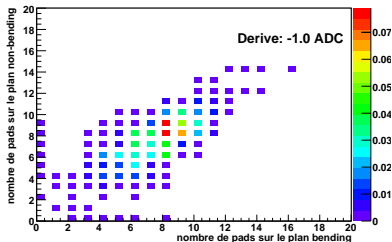
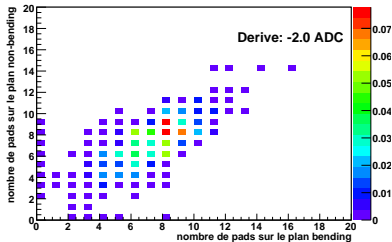
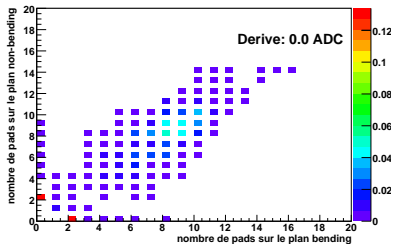
## Caractéristiques des clusters : dimension spatiale et charge totale



- Corrélation entre le nombre de pads sur les deux plans des chambres
- Dimension typique : 6 à 10 pads par plan

# Caractérisation des clusters

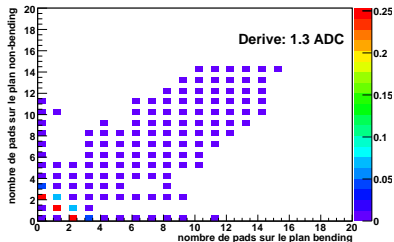
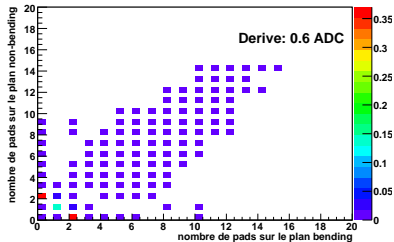
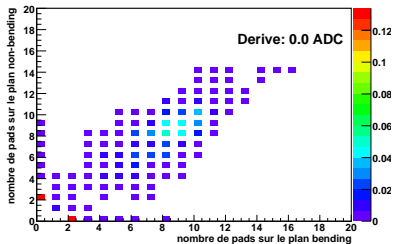
## Caractéristiques des clusters : dimension spatiale et charge totale



- Corrélation entre le nombre de pads sur les deux plans des chambres
- Dimension typique : 6 à 10 pads par plan

# Caractérisation des clusters

## Caractéristiques des clusters : dimension spatiale et charge totale



- Corrélation entre le nombre de pads sur les deux plans des chambres
- Dimension typique : 6 à 10 pads par plan

# Conclusions

1. Tests de l'électronique → mesure d'une dérive de pieds-taux de 0.5 canal ADC
2. Implémentation de la dérive des pieds-taux dans le code de simulation AliROOT
  - Impact sur le temps mort
  - Impact sur la résolution
  - Impact sur la reconstruction
3. Pour une dérive de  $\pm 0.5$  canal ADC → conséquences négligeables : un chargement des pieds-taux toutes les 6 heures est raisonnable
4. Pour une dérive supérieure à 0.5 canal ADC :
  - Surveiller le taux d'occupation et le temps mort
  - Correction éventuelle sur la soustraction des pieds-taux
  - Supprimer les clusters "fantômes" via leur charge

# Plan

## Le Plasma de Quarks et de Gluons

Les bases de la ChromoDynamique Quantique

Les signatures et la suppression des  $J/\psi$  et  $\Upsilon$

Les prédictions au LHC

## Le détecteur ALICE

Présentation générale

Influences de la variation des piédestaux

Conclusions

## Le modèle de Color Glass Condensate

Présentation

Simulations

Conclusions & perspectives



## Protocole d'étude et motivations

Etude de la production des résonances  $J/\psi$  et  $\Upsilon$  dans les collisions noyau-noyau :

1. Mesure de production en collisions proton-proton
  - Mesure de référence avec le système le plus "élémentaire"
2. Mesure de production en collisions proton-noyau
  - Détermination des effets nucléaires froids (shadowing, effet Cronin...)
  - Extrapolation pour les collisions noyau-noyau
3. Comparaison aux taux de production en collisions noyau-noyau
  - Effets liés au PQG

## Protocole d'étude et motivations

Etude de la production des résonances  $J/\psi$  et  $\Upsilon$  dans les collisions noyau-noyau :

1. Mesure de production en collisions proton-proton
  - Mesure de référence avec le système le plus "élémentaire"
2. Mesure de production en collisions proton-noyau
  - Détermination des effets nucléaires froids (shadowing, effet Cronin...)
  - Extrapolation pour les collisions noyau-noyau
3. Comparaison aux taux de production en collisions noyau-noyau
  - Effets liés au PQG

## Protocole d'étude et motivations

Etude de la production des résonances  $J/\psi$  et  $\Upsilon$  dans les collisions noyau-noyau :

1. Mesure de production en collisions proton-proton
  - Mesure de référence avec le système le plus "élémentaire"
2. Mesure de production en collisions proton-noyau
  - Détermination des effets nucléaires froids (shadowing, effet Cronin...)
  - Extrapolation pour les collisions noyau-noyau
3. Comparaison aux taux de production en collisions noyau-noyau
  - Effets liés au PQG

## Protocole d'étude et motivations

Etude de la production des résonances  $J/\psi$  et  $\Upsilon$  dans les collisions noyau-noyau :

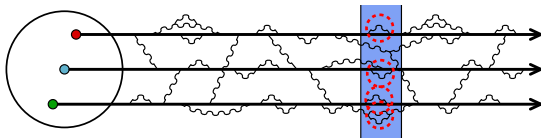
1. Mesure de production en collisions proton-proton
  - ◀ Mesure de référence avec le système le plus "élémentaire"
2. Mesure de production en collisions proton-noyau
  - Détermination des effets nucléaires froids (shadowing, effet Cronin...)
  - Extrapolation pour les collisions noyau-noyau
3. Comparaison aux taux de production en collisions noyau-noyau
  - ◀ Effets liés au PQG

Besoin d'un outil théorique pour décrire :

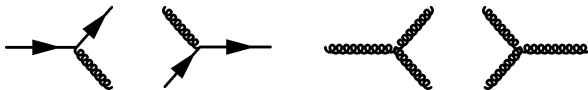
- les conditions initiales des collisions  
 ⇒ **distribution partonique  $\phi$  au sein des noyaux** (prise en compte du shadowing)
- **les interactions partoniques** ⇒ effets de diffusion dans le milieu nucléaire "froid" (effet Cronin), ...

**le Color Glass Condensate**

## Le nucléon à basse énergie

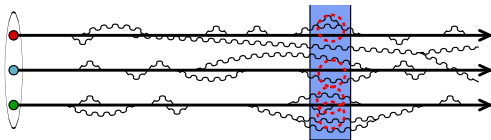


- le nucléon est un objet dynamique

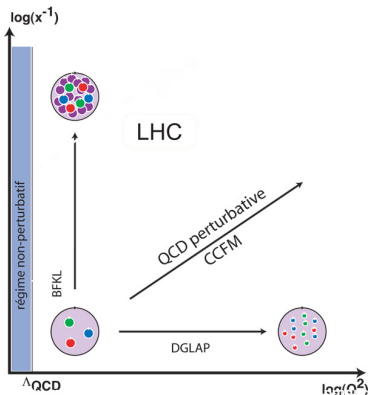


- nucléon exploré à l'aide d'une sonde
- échelle de temps de la sonde  $>$  échelle de temps des fluctuations
- nucléon perçu comme un objet "dilué"
- structure du nucléon est décrite par les Fonctions de Distribution Partonique (PDF)

# Le nucléon à la limite des très hautes énergies

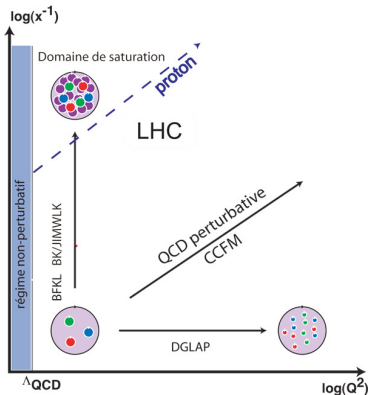
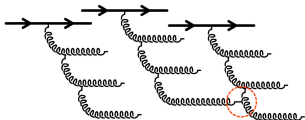


- Dilatation des échelles de temps des fluctuations
- le nucléon apparaît de plus en plus dense
- énergies LHC : processus gluon-gluon dominants
- cinématique des partons :
  - $k_t$  définit l'impulsion transverse
  - $x$  la fraction d'impulsion du nucléon portée par un parton
  - projection sur le diagramme de phase QCD



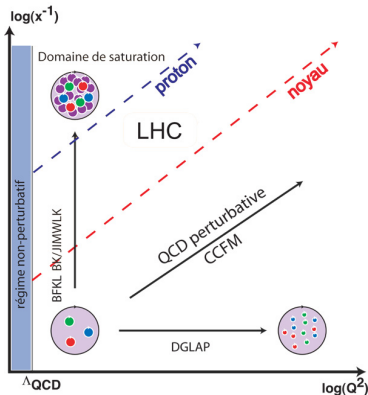
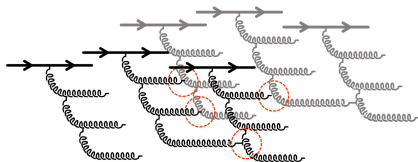
# Shadowing et échelle de saturation

- L'évolution de la densité de gluons en fonction de  $k_t$  finit par saturer :
  - recouvrement dans espace des phases des gluons "mous"  $\Rightarrow$  recombinaison des gluons (shadowing)
  - définition de l'échelle de saturation :  $Q_s^2 \sim \alpha_s \frac{xG_A(x, Q^2)}{\pi R_A^2}$



# Shadowing et échelle de saturation

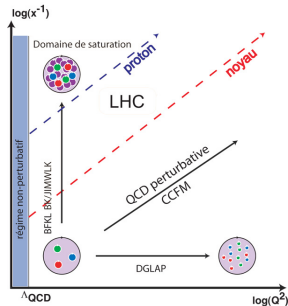
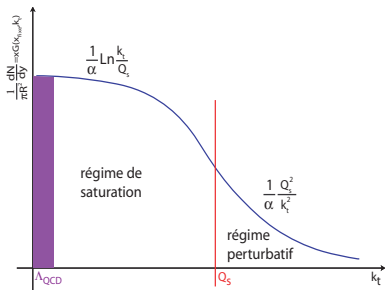
- L'évolution de la densité de gluons en fonction de  $k_t$  finit par saturer :
  - recouvrement dans espace des phases des gluons "mous"  $\Rightarrow$  recombinaison des gluons (shadowing)
  - définition de l'échelle de saturation :  $Q_s^2 \sim \alpha_s \frac{xG_A(x, Q^2)}{\pi R_A^2}$





## Shadowing et échelle de saturation

- L'évolution de la densité de gluons en fonction de  $k_t$  finit par saturer :
  - recouvrement dans espace des phases des gluons "mous"  $\Rightarrow$  recombinaison des gluons (shadowing)
  - définition de l'échelle de saturation :  $Q_s^2 \sim \alpha_s \frac{xG_A(x, Q^2)}{\pi R_A^2}$



- Fonctions de distribution  $\phi$  données par l'équation BK (dérivée de l'équation JIMWLK)
- Noyaux désormais décrits comme des condensats de gluons**

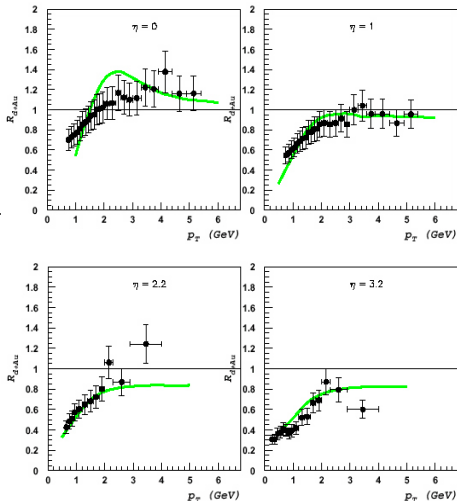
# Données de BRAHMS en collision d-Au collision à 200 GeV

- Etude du facteur de modification nucléaire :

$$R_{dAu}(p_t) = \frac{\frac{dN_{dAu}}{dy dp_t}}{N_{coll} \frac{dN_{pp}}{dy dp_t}}$$

- Plus grande rapidité  $\equiv$  plus petits  $x \Rightarrow$   
 $x_{\pm} \sim \frac{m_{\pm}}{\sqrt{s}} e^{\pm y}$

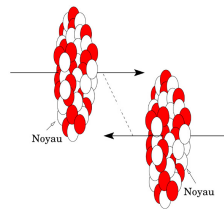
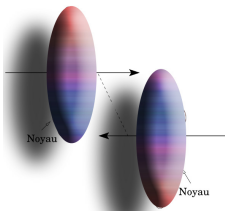
- Motivation pour introduire le modèle CGC aux énergies LHC
- **Acceptance du spectromètre ALICE permet-elle de sonder les effets à petits  $x$  ?**
- Etude réalisée pour la production des quarks lourds  $c\bar{c}$  ( $J/\psi$ ) et  $b\bar{b}$  ( $\Upsilon$ )



Paramétrisation des données - J. Jalilian-Marian -  
 Khazeev, Kovchegov & Tuchin (2004)

# Comparaison du CGC au modèle de référence (MNR)

Modèle	CGC	MNR/PYTHIA
Représentation géométrique	Condensat de gluons	Modèle de Glauber
Evolution en $x$ et $k_t$	JIMWLK/BK	$k_t$ – factorisation EKS98
Condition initiale	Modèle de MV	CTEQ
Ordre du processus	LO+(NLO partiel)	NLO
Effet de rediffusion	OUI	négligé
variable de référence	L	$N_{part,L}, N_{coll}$



# Production des quarks lourds

## Comparaison avec le modèle MNR

- Calculs valides pour  $y < 0$
- Pas de normalisation absolue des taux de production
- **Normalisation relative possible**

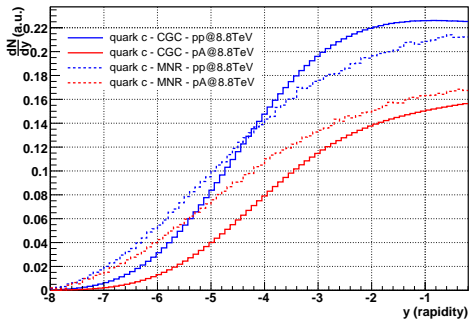
## Rapport de production entre les différents système de collisions

Modèle/Rapport	Charme		Beauté	
	$\frac{pp^{8.8 \text{ TeV}}}{pp^{14 \text{ TeV}}}$	$\frac{pPb^{8.8 \text{ TeV}}}{pp^{8.8 \text{ TeV}}}$	$\frac{pp^{8.8 \text{ TeV}}}{pp^{14 \text{ TeV}}}$	$\frac{pPb^{8.8 \text{ TeV}}}{pp^{8.8 \text{ TeV}}}$
MNR	0.78	0.77	0.59	0.85
CGC	0.8	0.6	0.68	0.8

## Rapport de production entre le charme et la beauté

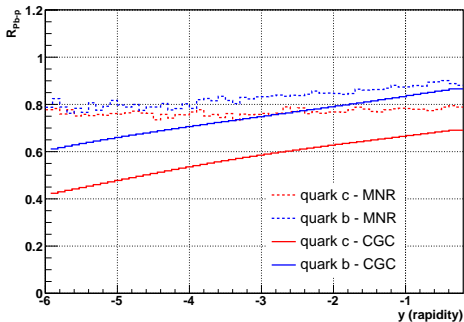
$N_{beauty}/N_{charm}$	pp14 TeV	pp8.8 TeV	pPb8.8TeV
MNR	0.05	0.03	0.04
CGC	0.12	0.10	0.14

# Comparaison MNR / CGC



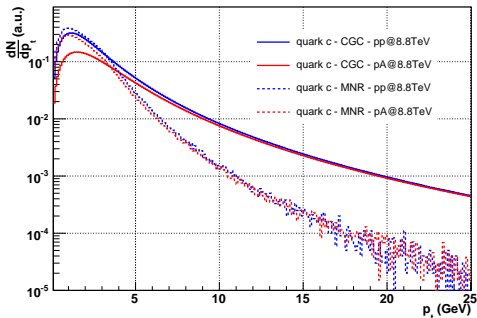
- Normalisation absolue non connue pour le CGC
- Normalisation relative par rapport aux collisions pp à 8.8 TeV
- Bon accord entre les deux modèles (LO Vs NLO)
- Plus forte dépendance en fonction de la rapidité ← évolution de la fonction de distribution gluonique en fonction de  $x$  :  $x_{\pm} \sim \frac{m_{\pm}}{\sqrt{s}} e^{\pm y}$

# Comparaison MNR / CGC



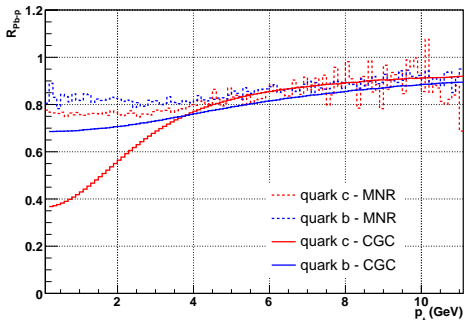
- Plus forte dépendance en fonction de la rapidité ← évolution de la fonction de distribution gluonique en fonction de  $x$  :  $x_{\pm} \sim \frac{m_{\pm}}{\sqrt{s}} e^{\pm y}$
- Shadowing plus prédominant dans le cadre du CGC
- Quarks  $c$  plus sensibles au shadowing que les quarks  $b$

# Comparaison MNR / CGC



- Distributions prédites par le CGC plus dures en  $p_t$ 
  - distribution en  $k_t$  des gluons
  - effet de diffusion multiple pris en compte
- Dépendance plus importante pour le quark  $c$  (en particulier  $p_t \in [0, 4] \text{ GeV}$ )

## Comparaison MNR / CGC

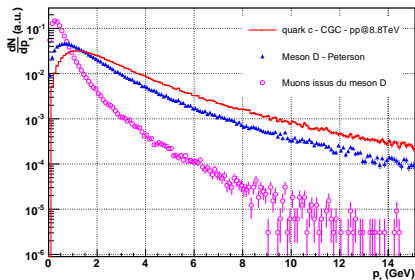


- Distributions prédites par le CGC plus dures en  $p_t$ 
  - distribution en  $k_t$  des gluons
  - effet de diffusion multiple pris en compte
- Dépendance plus importante pour le quark  $c$  (en particulier  $p_t \in [0, 4] \text{ GeV}$ )



# Problématique associée au spectromètre à muons d'ALICE

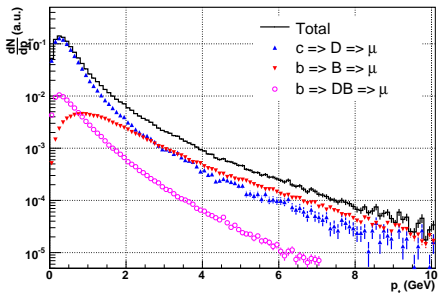
1. Introduction des distributions dans le code de simulation/reconstruction AliRoot
2. Fragmentation des quarks en mésons : fonction de Peterson
3. Décroissance muonique des mésons charmés et beaux



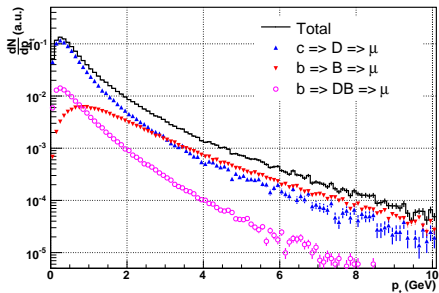
- Processus de décroissance = incertitude théorique
- Possibilité de discrimination des muons issus des mésons B et D ?

Spectre en muons pour  $y < 0$ 

collision pp@8.8 TeV



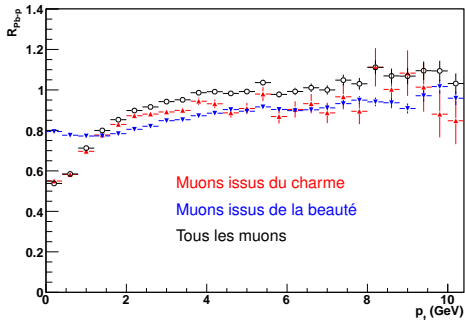
collision pA@8.8 TeV



- Muons issus du charme ouvert dominant pour  $p_t < 3 \text{ GeV} \cdot c^{-1}$
- A haut  $p_t$ , contribution charme/beauté quasi-identique
- Restriction du domaine en  $p_t$  des effets observés en quarks
  - comportement analogue du rapport  $R_{pA\mu}(p_t)$
  - effets de diffusion marqués pour  $p_t < 2 \text{ GeV} \cdot c^{-1}$

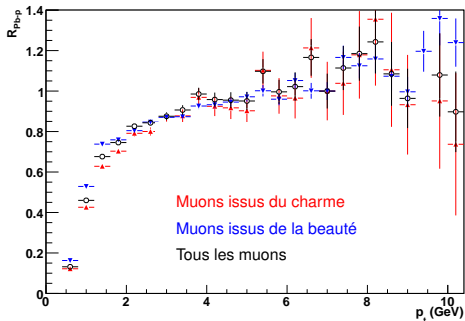
## Spectre en muons pour $y < 0$

- Muons issus du charme ouvert dominant pour  $p_t < 3 \text{ GeV}.c^{-1}$
- A haut  $p_t$ , contribution charme/beauté quasi-identique



- Restriction du domaine en  $p_t$  des effets observés en quarks
  - comportement analogue du rapport  $R_{Pb-p}(p_t)$
  - effets de diffusion marqués pour  $p_t < 2 \text{ GeV}.c^{-1}$

# Muons produits dans l'acceptance du spectromètre



- Projection dans le référentiel du laboratoire
- Acceptance en rapidité du spectromètre :  $y \in [-4, -2.5] \Rightarrow$  étude  $R_{PbP}$  en fonction de  $p_t$
- Coupure cinématique liée à l'absorbeur :  $p > 5 \text{ GeV} \cdot c^{-1}$
- Effet d'efficacité du système de déclenchement

## Conclusions :

- CGC prédit un shadowing plus important que MNR
- **spectre plus dur en  $p_t$  dans le cas du CGC que MNR**
- processus de décroissance muonique tend à masquer les effets liés à la recombinaison des gluons
- diffusions multiples visibles à bas  $p_t$  difficilement exploitables avec les muons issus des saveurs lourdes ouvertes

## Perspectives :

- modèle de collision plus réaliste
- introduction de la multiplicité
- **introduction des muons issus du bruit de fond (dominant à bas  $p_t$ )**
- **génération des paires de quarks  $\Rightarrow$  extension à l'étude des  $J/\psi$  et  $\Upsilon$**