

Le J/ψ comme sonde du Plasma de Quarks et de Gluons

Rappel des résultats obtenus au SPS
et présentation du détecteur ALICE

Philippe Pillot
Institut de Physique Nucléaire de Lyon

sommaire

- Au SPS
- Utilisation du J/ψ pour détecter le QGP
 - ◆ Description du J/ψ et modèles de suppression
 - ◆ Mécanisme de formation
 - ◆ Suppression « normale », résultats
 - ◆ Suppression « anormale », résultats
- Comment détecte-t-on le J/ψ ?
 - ◆ Description du spectromètre d'ALICE
 - ◆ Fonctionnement
 - ◆ Performances
 - ◆ Monitoring Production au SPS

Au SPS

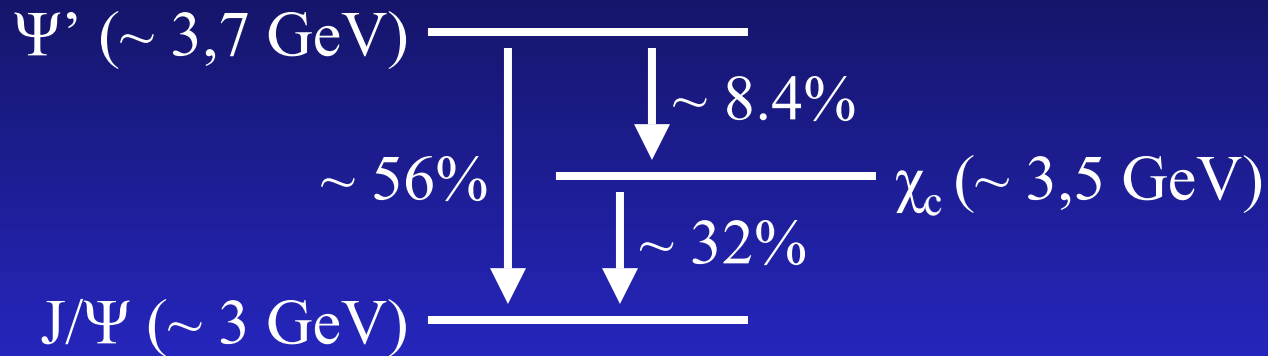
Le SPS est situé au CERN

Un faisceau de protons ou d'ions lourds ultrarelativistes (**158 GeV/c/nucléon pour les faisceaux de Pb**) entre en collision avec une cible fixe.

L'énergie disponible dans le centre de masse peut atteindre **17 GeV/c²/nucléon** dans les collisions Pb-Pb.
(5 TeV/c²/nucléon au LHC)

Description du J/Ψ

- ❖ Le J/Ψ est une résonance c \bar{c} , tout comme le Ψ' ou le χ_c :



- ❖ Le J/Ψ permet de sonder la matière très tôt après la collision : Il est produit dans les collisions primaires nucléon-nucléon (principalement par fusion de gluons), et **il se désintègre rapidement en dileptons**, non sensible à l'interaction forte, portant l'information sur l'état du système au moment de leur formation.

Modèles de suppression du J/ψ par le QGP (au SPS)

1) a) Écrantage de couleur (similaire à l'écrantage de Debye) :

Potentiel d'interaction forte liant le J/ψ : $V = \sigma \cdot r - \frac{\alpha}{r}$

Potentiel écranté : $V = \frac{\sigma}{\mu(T)} [1 - e^{-\mu(T) \cdot r}] - \frac{\alpha}{r} e^{-\mu(T) \cdot r}$

→ Température de dissociation : $\sim 1.2-1.5 T_c \sim 200 \text{ MeV}$

b) interactions J/ψ ($E_{\text{liaison } J/\psi} \sim 650 \text{ MeV}$) - gluons déconfinés :
gaz de hadrons à 200 MeV :

$$\langle p_g \rangle_{\text{conf}} = \frac{1}{5} \langle p_\pi \rangle = \frac{3}{5} T \approx 100 \text{ MeV}$$

gaz de partons à 200 MeV :

$$\langle p_g \rangle_{\text{deconf}} = 3T \approx 600 \text{ MeV}$$

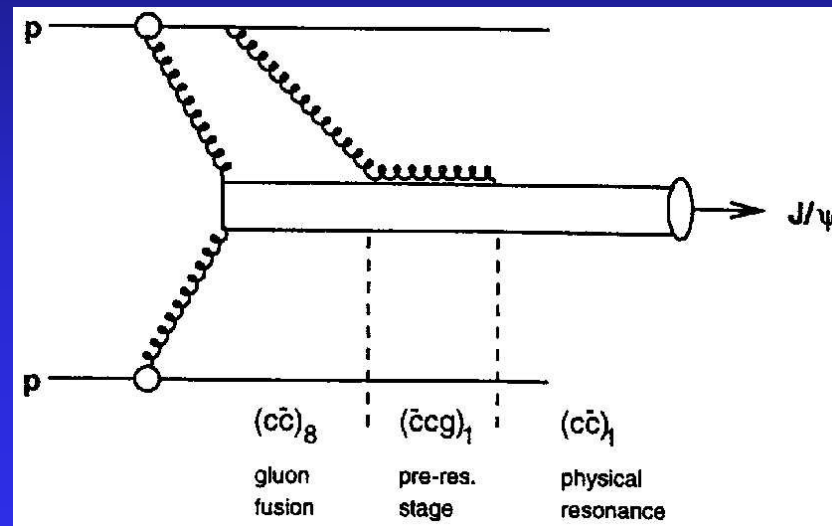
↔ effet de seuil

2) Les quarks c et cbar évoluent librement dans le plasma

3) Transition QGP → hadrons : les quarks c et cbar, peu nombreux au SPS, se lient avec des u et d

Formation du J/ψ (et du ψ')

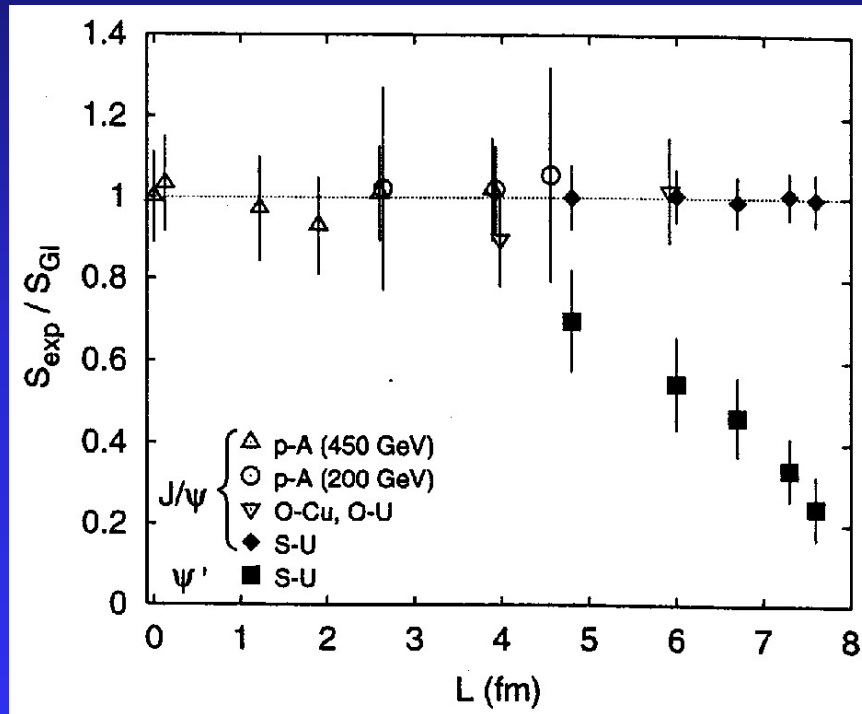
- 1) Formation d'une paire $c\bar{c}$ colorée par fusion de gluons ou annihilation quark-antiquark
- 2) Neutralisation de la couleur **après un temps τ** par absorption d'un gluon



L'état prérésonant est le même pour toutes les résonances $c\bar{c}$

Suppression « normale »

Compréhensible en terme de durée de vie de l'état prérésonant et de longueur de matière nucléaire traversée :

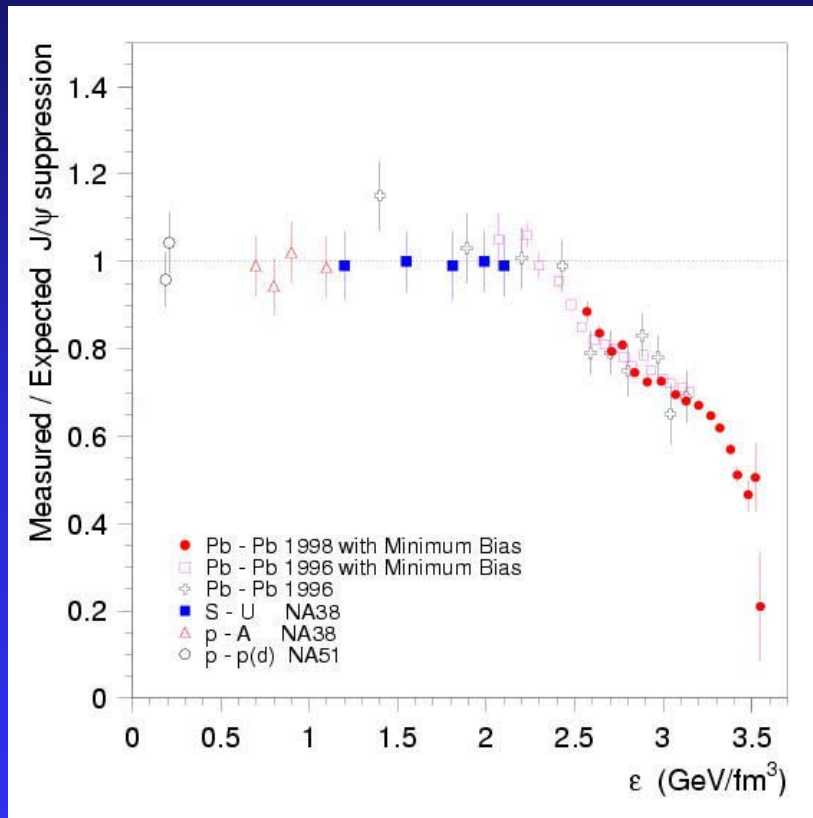


❖ **Collision p-A** : absorption nucléaire de l'état prérésonant (la même pour le J/ψ et le ψ')

❖ **Collision S-U** : absorption nucléaire de l'état prérésonant puis suppression supplémentaire du ψ' ($E_{\text{liaison } \psi'} \sim 50\text{MeV}$) par la matière nucléaire

Suppression « anormale »

Il y a manifestement un phénomène nouveau !



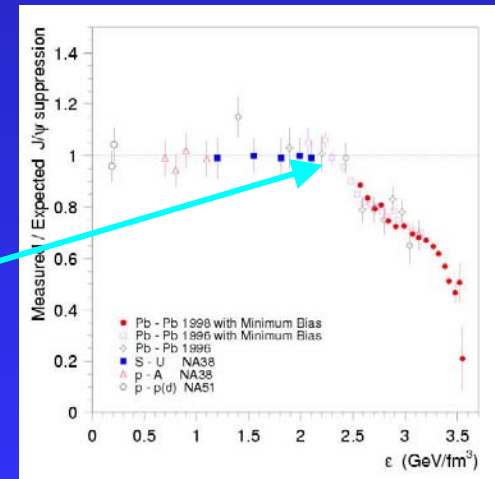
- **1 scénario QGP :**
 - 1) **suppression de χ_c** ($T_d = T_c$)
($\sim 40\%$ des J/ψ proviennent de la désexcitation des χ_c)
 - 2) **Suppression du J/ψ**
- **1 scénario classique :**
interaction avec le gaz hadronique (« comovers »)

NA60

NA60 est une amélioration de NA50 : **un nouveau détecteur** a été ajouté pour mesurer précisément les traces des particules et remonter au vertex d'interaction :

- Etude des masses intermédiaires ($1.5, 2.5 \text{ GeV}/c^2$) : surproduction mesurée dans NA50 \rightarrow dimuons thermiques provenant du plasma (prompts) ou $D\bar{D}$ (vertex décalé) ?
- Augmentation sensible de la résolution du spectre en masse, surtout dans les basses masses.

Collision In-In \rightarrow étude plus précise du début de la suppression anormale.

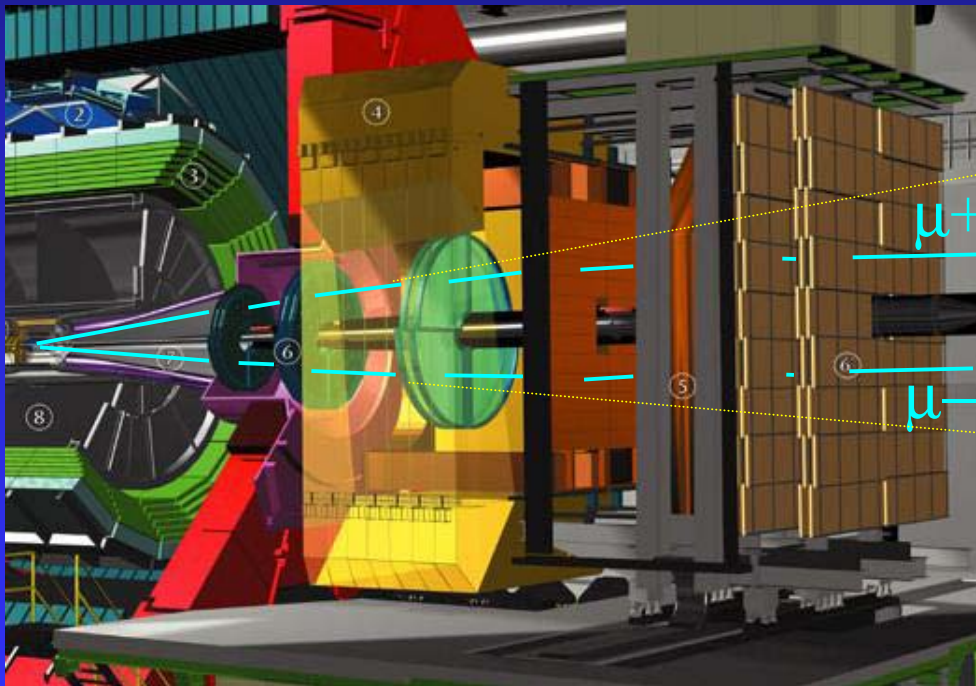


Détection du J/ψ (de l' Υ), le Spectromètre à Dimuons d'ALICE

Le J/ψ et l' Υ sont détectés via leur canal de désintégration muonique.

$$M_{\mu^+\mu^-} = 2\sqrt{p_{\mu^+} \cdot p_{\mu^-}} \sin\left(\frac{\Theta_{\mu^+\mu^-}}{2}\right) \approx \sqrt{p_{\mu^+} \cdot p_{\mu^-}} \cdot \Theta_{\mu^+\mu^-}$$

Le spectromètre mesure les caractéristiques des muons

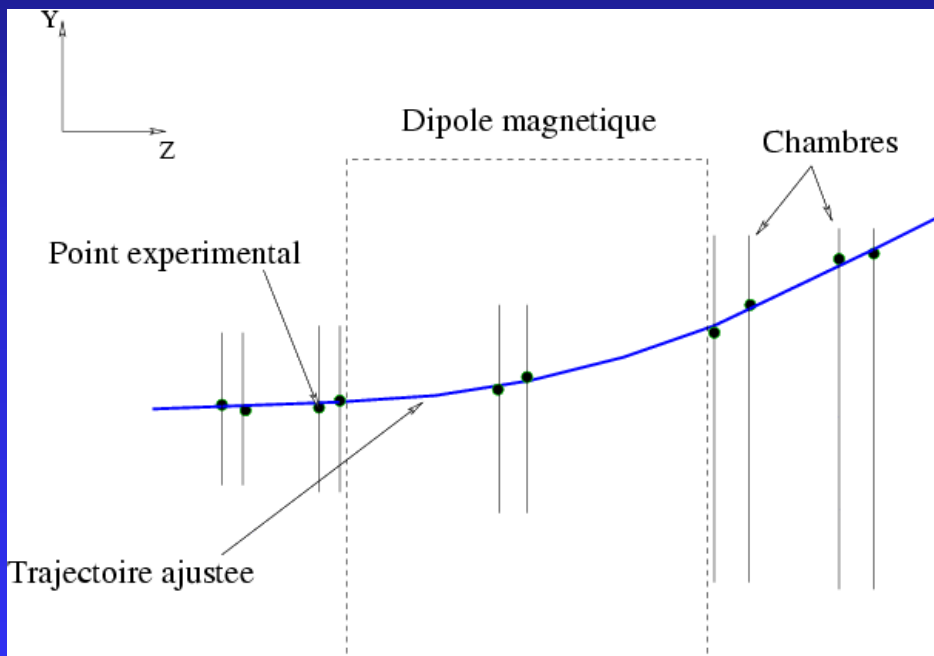


- ✓ Absorbeur : supprime les hadrons (surtout π , K , ...)
- ✓ Dipôle magnétique : courbe les muons
- ✓ Filtre à muons : supprime les muons lents (bruit de fond)
- ✓ Trigger : déclenche la mesure lors du passage d'un dimuon
- ✓ Chambres à fils : mesure le point de passage des muons

Reconstruction des muons

La courbure des muons dans le champ du dipôle dépend de la valeur de ce champ et de l'impulsion des muons ($R=p / |q|.B$).

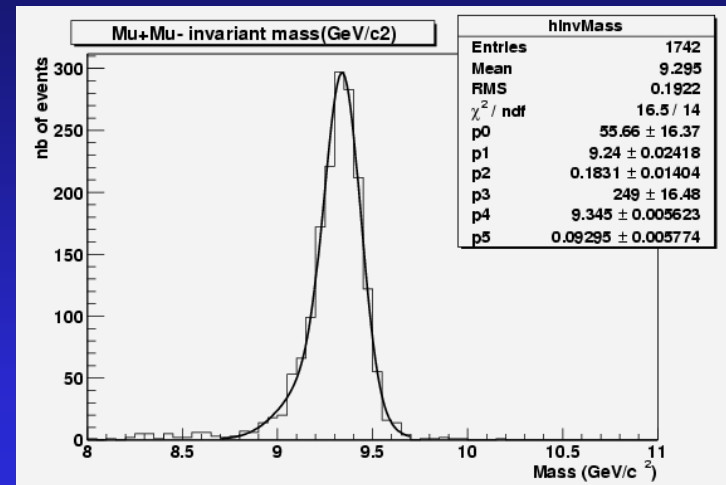
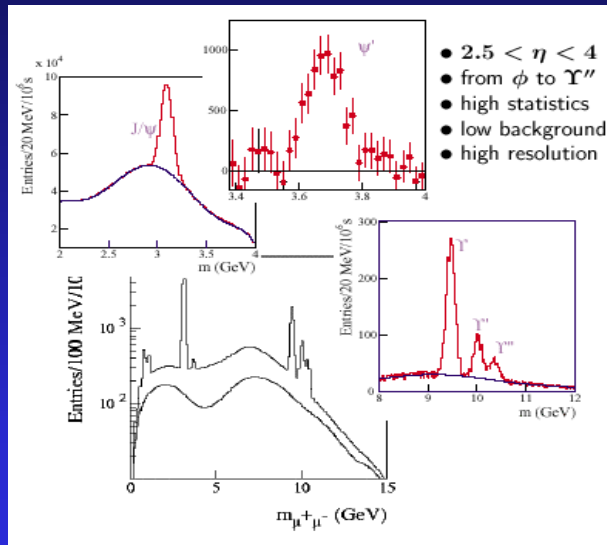
Le champ magnétique est mesuré en chaque point de l'espace.



La position et l'impulsion du muon à l'entrée du spectromètre **sont ajustées** par le programme d'analyse, **pour reproduire la trajectoire** mesurée par les chambres.

Performances

Afin de différencier les résonances de la famille du Υ , il faut une **résolution de 100 MeV** (1% M_Υ).



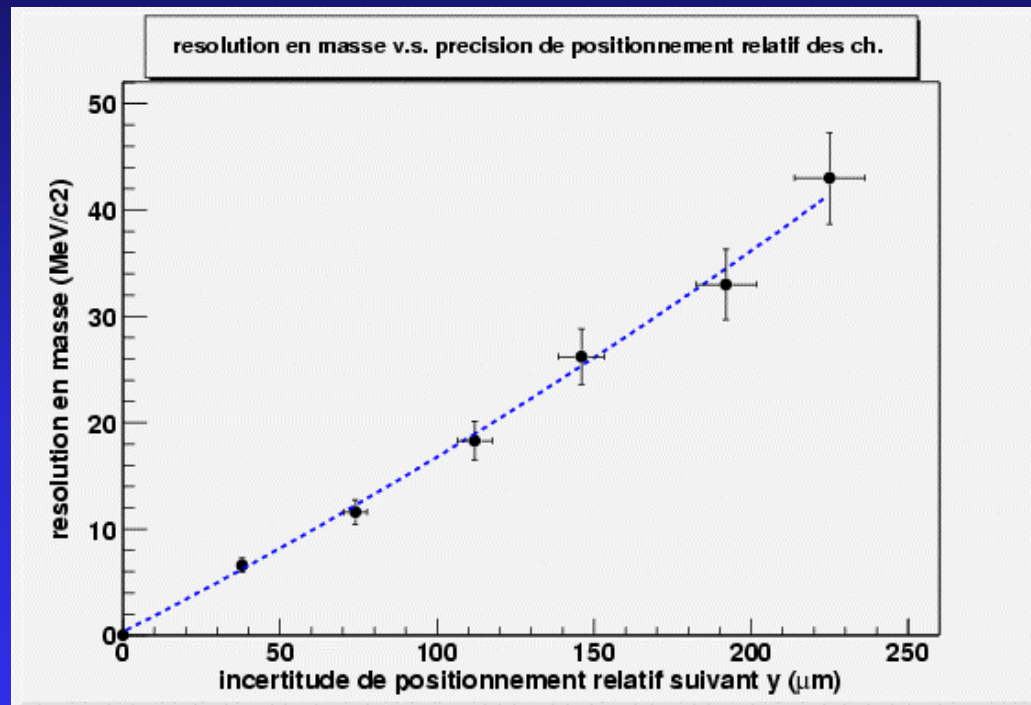
Contributions à la perte de résolution :

- **absorbeur** : diffusions multiples et fluctuations d'énergie perdue
- **chambres à fils** : diffusions multiples et résolution intrinsèque

→ résolution du spectromètre : $\sigma_M \sim 95 \text{ MeV}$

Où sont les chambres ?

Les résolutions données précédemment supposent la position des chambres parfaitement connue. **Et si ce n'était pas le cas ?**

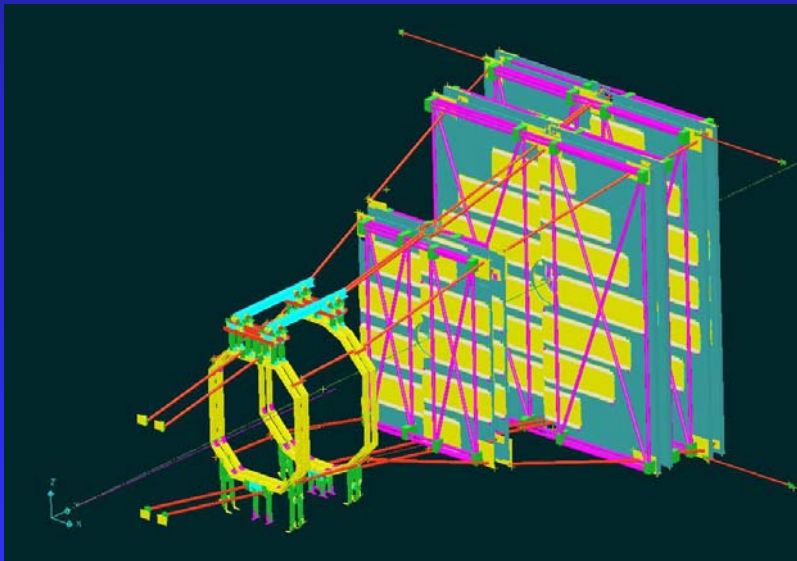


Résolution autorisée compte-tenu des résolutions existantes :
~ 30-35 MeV/c² → 150-200 μm !

Les chambres bougent !

Avant chaque prise de données, la position des chambres est mesurée précisément avec des muons, sans champ magnétique. Mais, en mettant en marche le dipôle et sous le jeu des déformations continues de leurs supports, **les chambres peuvent se déplacer de plusieurs mm !**

→ Nécessité de les monitorer.



On utilise des **lignes optiques** :
une caméra (sur une chambre)
enregistre le déplacement d'une
référence lumineuse (sur une
autre chambre).

→ résolution atteinte :

50-100 μm \rightarrow 10-15 MeV/c²