

MESURE DE LA PRODUCTION DE LA PARTICULE $\Psi(2S)$ EN PRÉSENCE D'UN PLASMA DE QUARKS ET DE GLUONS

07 Juillet 2016

Journée des thésards - Victor Feuillard

Journée des thésards – 07 et 08 juillet 2016

2

- Feuillard Victor

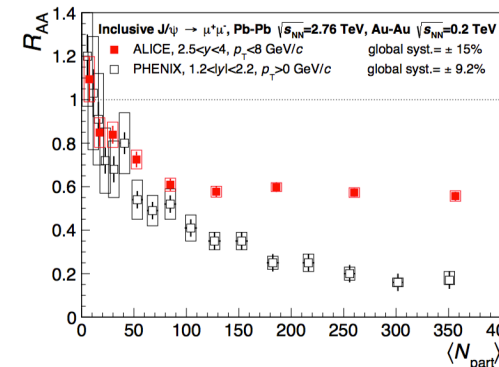
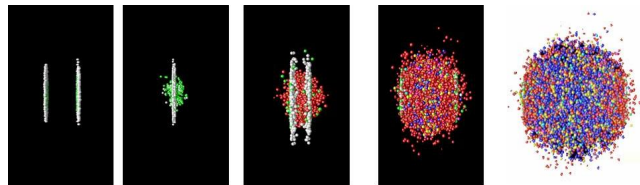
- Ecole Centrale de Lyon (2010-2013)
Master 2 PSA à Grenoble (2013-2014)

- Thèse faite à la suite du stage de master 2, obtenu en prenant directement contact avec le responsable suite à une offre de thèse sur le site internet du CEA

Journée des thésards – 07 et 08 juillet 2016

3

- Sujet de thèse : Mesure de la production de la particule $\psi(2S)$ en présence d'un plasma de quarks et de gluons dans l'expérience ALICE
- Le Plasma de quarks et de gluons est un état de la matière dans lequel les quarks et les gluons sont déconfinés. Il peut être recréé à l'aide de collisions d'ions lourds au LHC. L'un des moyens d'obtenir des informations sur ce plasma est de regarder la production de quarkonia, en particulier la production des particule J/ψ et $\psi(2S)$.

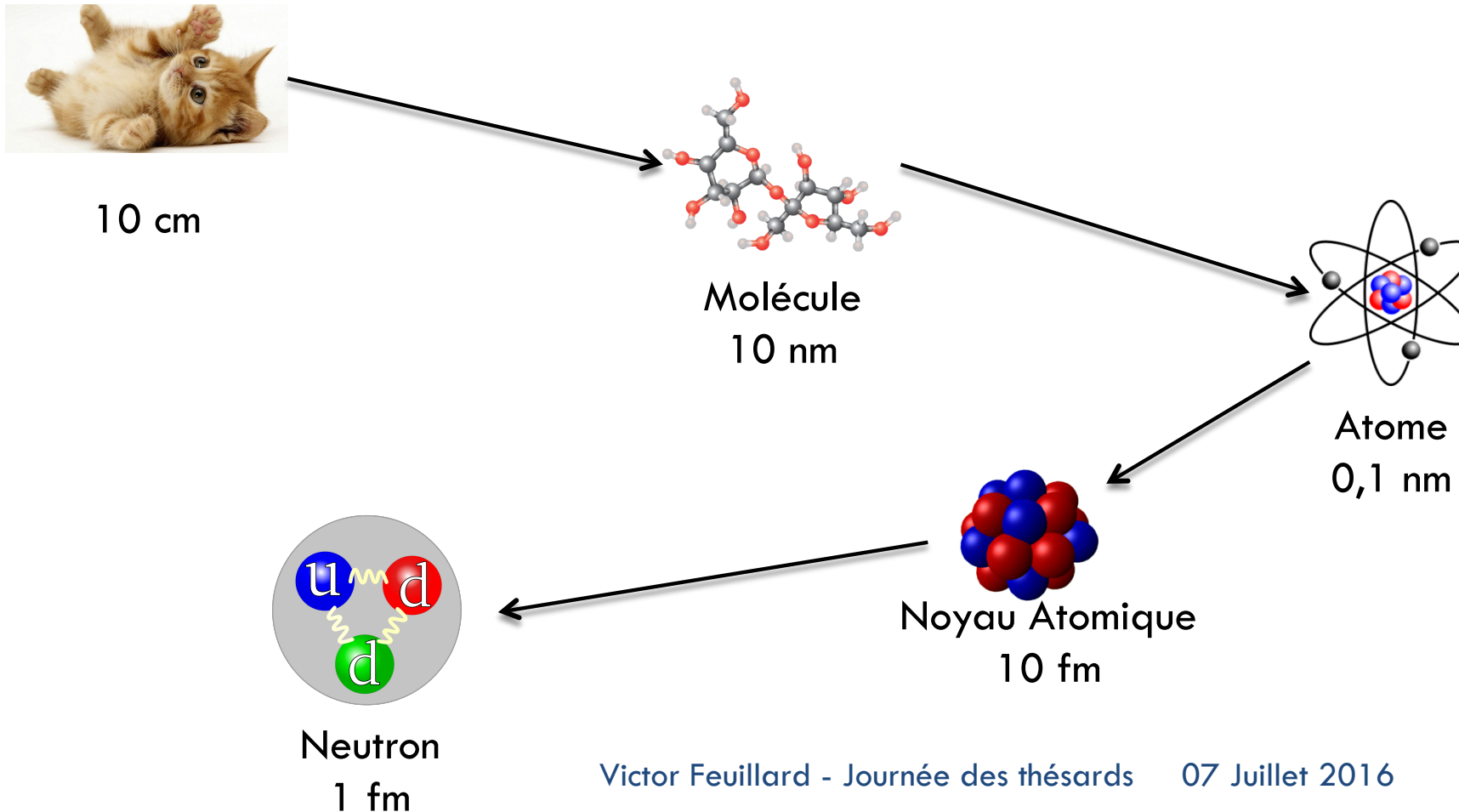


- Mots-clés : Plasma de Quarks et de Gluons, ions lourds, quarkonium, J/ψ , $\psi(2S)$, ALICE, LHC

Introduction

4

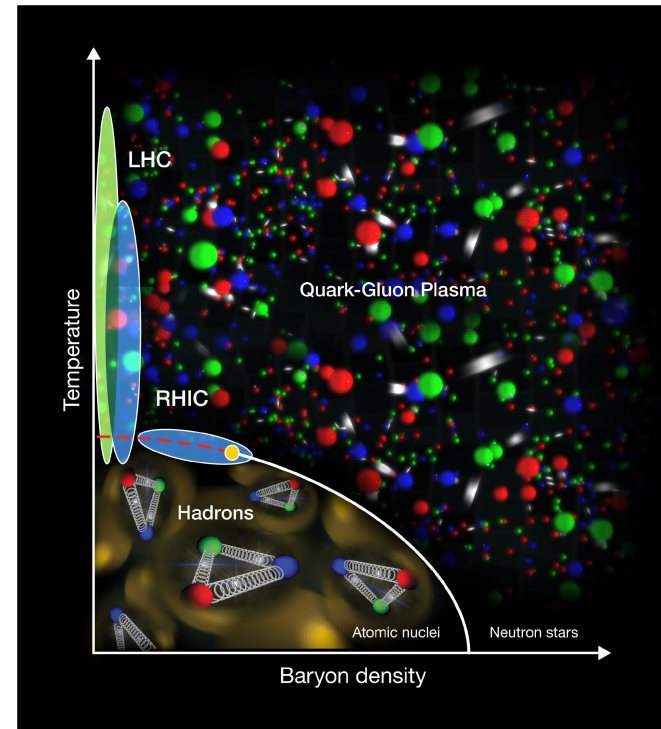
- On s'intéresse à la structure élémentaire de la matière, à savoir les quarks et les gluons



Introduction

5

- Le Plasma de Quarks et de Gluons (QGP) est un état déconfiné de la matière
- Température de transition :
 $T_C \approx 180 \text{ MeV}$ ($2.1 \times 10^{12} \text{ K}$!)
- Ce serait l'état de l'Univers quelques instants après le Big Bang
- Il est possible de recréer cet état grâce à des collisions d'ions lourds ultra-relativistes pendant un temps très court (10^{-23} s) et dans un très petit volume (10^{-14} m)



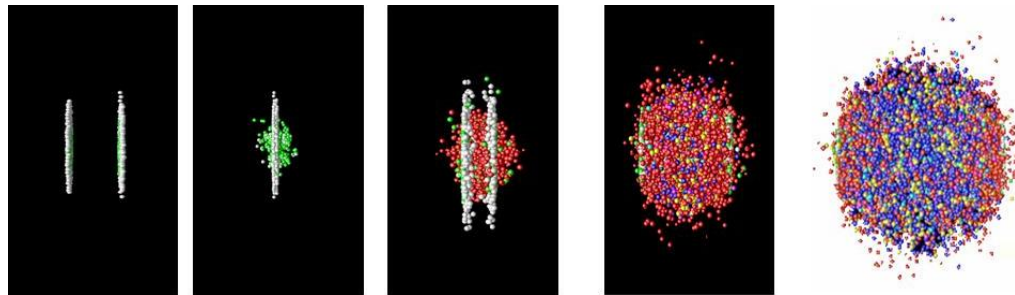
Introduction – Les Quarkonia

6

- Quarkonia : états liés quark-antiquark lourds
charmonia : J/ψ (3.1 GeV), $\psi(2S)$ (3.7 GeV)
bottomonia : $Y(1S)$ (9.6 GeV)

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3
spin →	1/2	1/2	1/2
	u up	c charm	t top
QUARKS			
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	-1/3	-1/3	-1/3
	1/2	1/2	1/2
	d down	s strange	b bottom

- Formés au début de la collision, ils subissent les effets du milieu

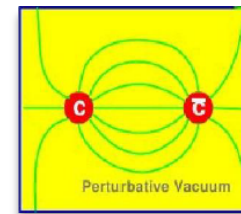


- Le J/ψ est produit plus abondamment
- Le $\psi(2S)$ est moins lié (plus sensible ?)

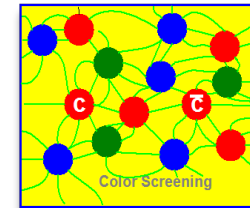
Introduction – Les Quarkonia

7

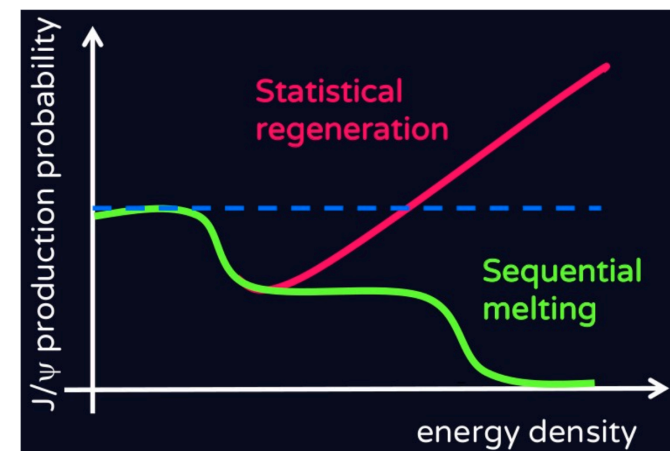
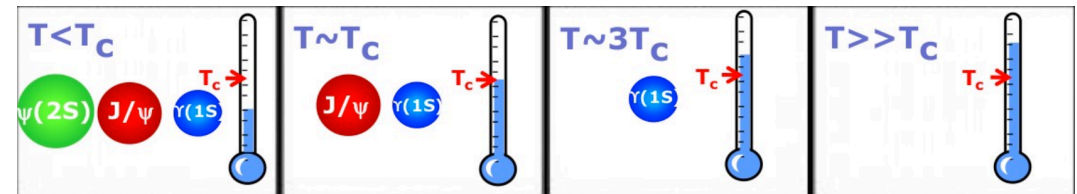
- La théorie prévoit que les quarkonia soient dissociés en présence d'un QGP à cause du phénomène d'écrantage de couleur
- La différence entre les énergie de liaison conduit à une suppression séquentielle des quarkonia en fonction de la température
- Une augmentation de l'énergie conduit également à une augmentation de la production de paires charm charm-anticharm
→ recombinaison de quarkonia



Dans le vide

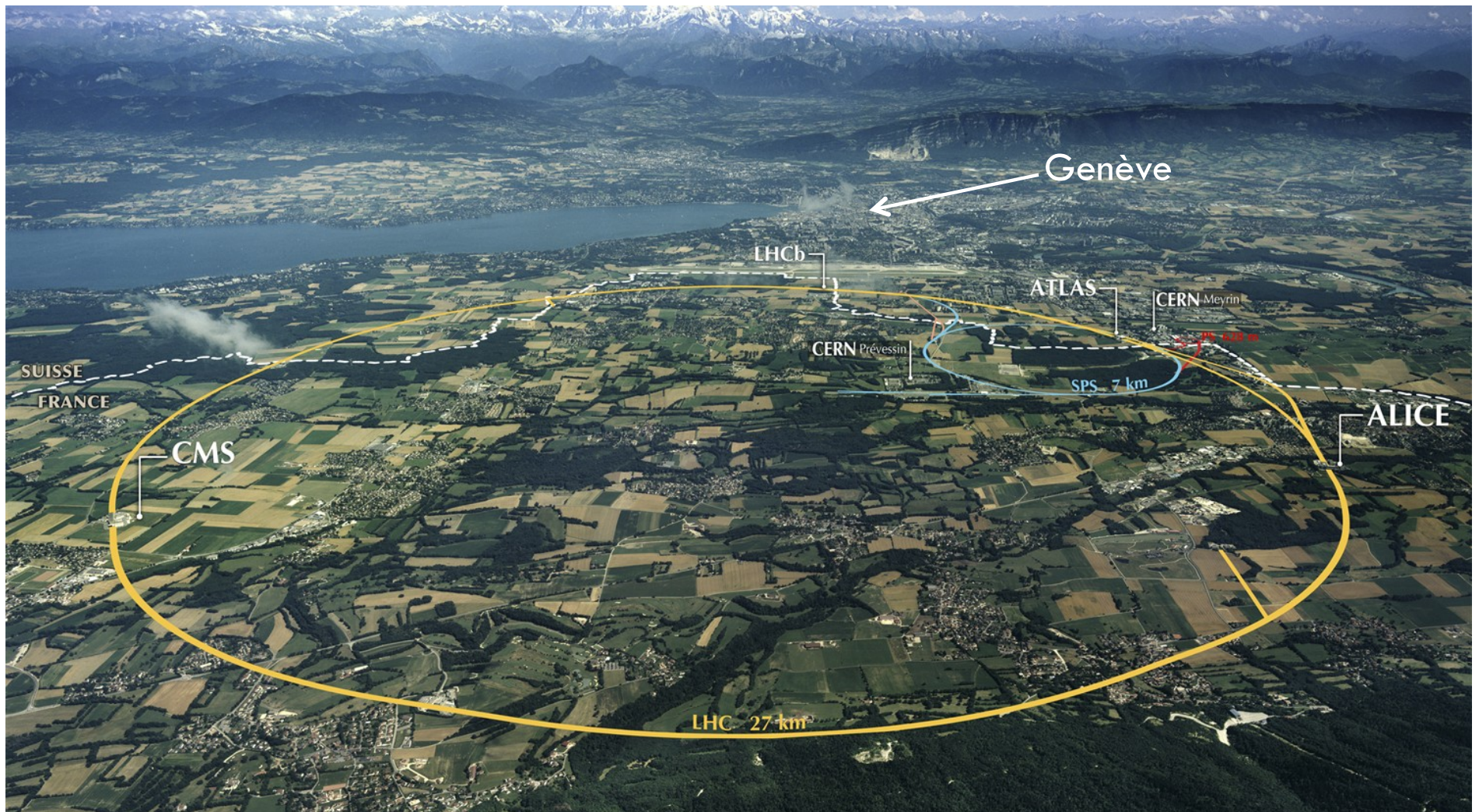


Dans le QGP



Introduction – Le LHC

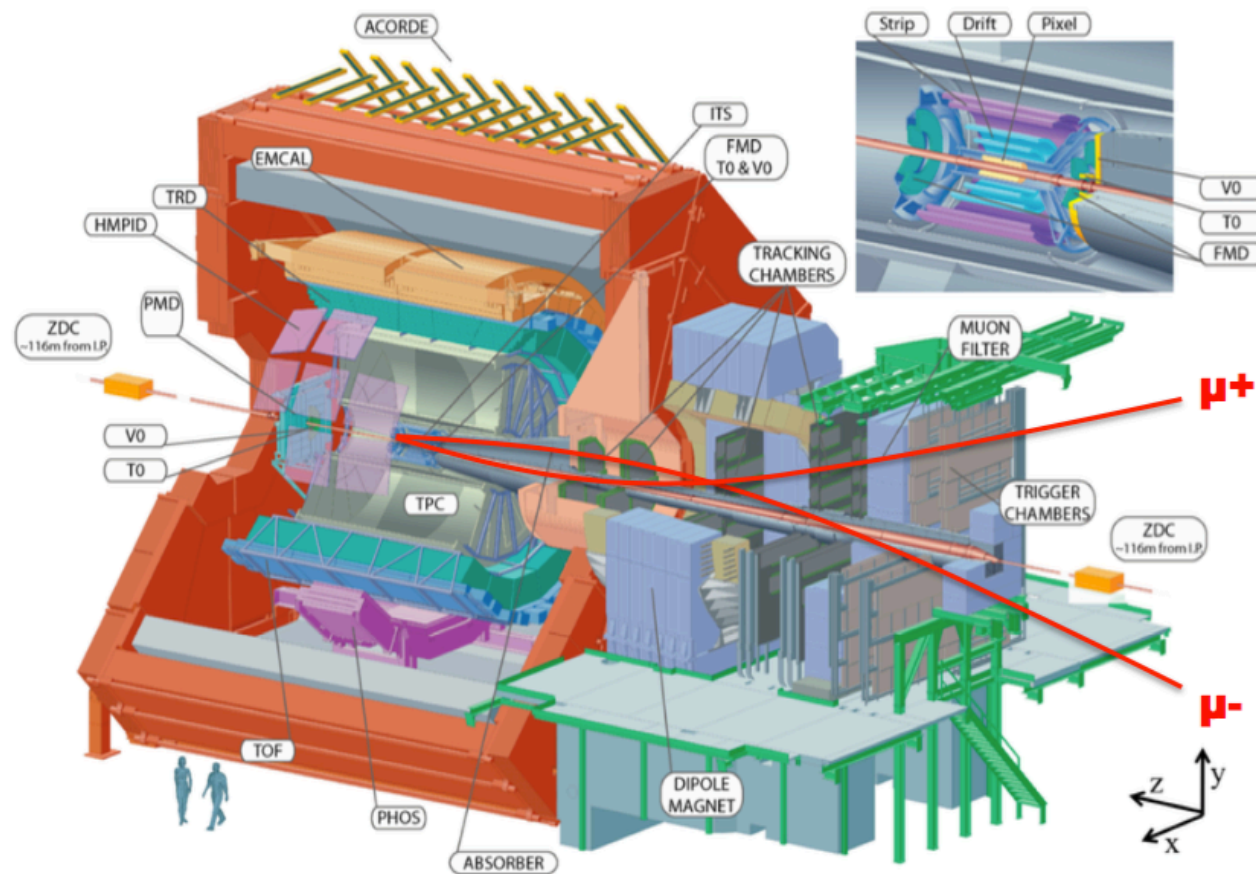
8



Introduction - ALICE

9

- ALICE : 41 pays, 159 instituts, 1665 membres



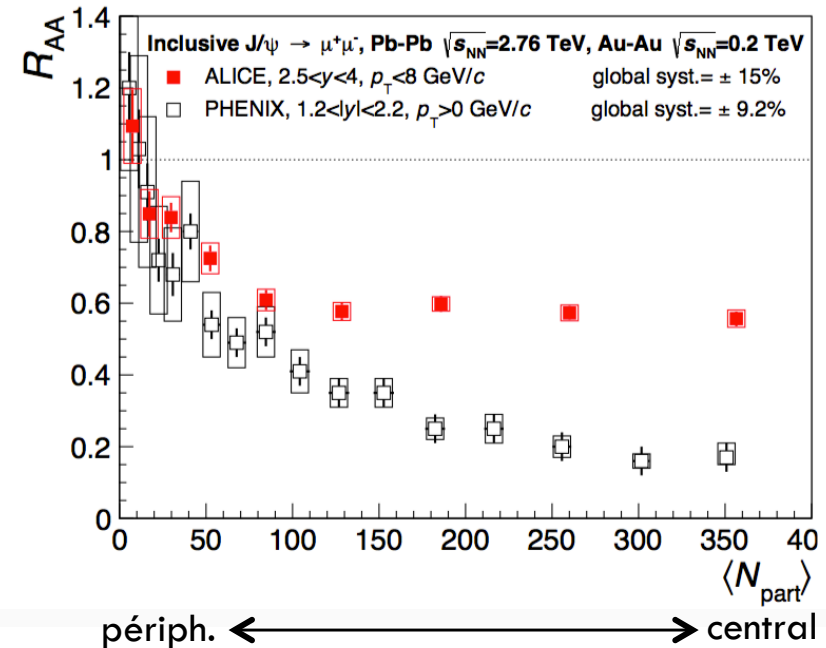
Introduction – collisions Pb-Pb

10

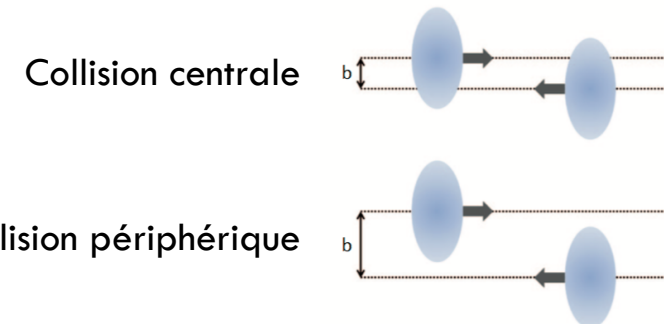
- Facteur de modification nucléaire

$$R_{AA} = \frac{Y_{PbPb}}{N_{coll} \cdot Y_{pp}}$$

- Si pas d'effet du milieu, alors $R_{AA} = 1$
- Si $R_{AA} \neq 1$, alors effets du milieu
- Centralité, N_{part} , N_{coll} : paramètres reliés à la distance entre le centre des noyaux au moment de la collision
- Pour le J/ψ , on observe $R_{AA} < 1$



PLB 734 (2014) 314-327



Introduction – collisions pp et p-Pb

11

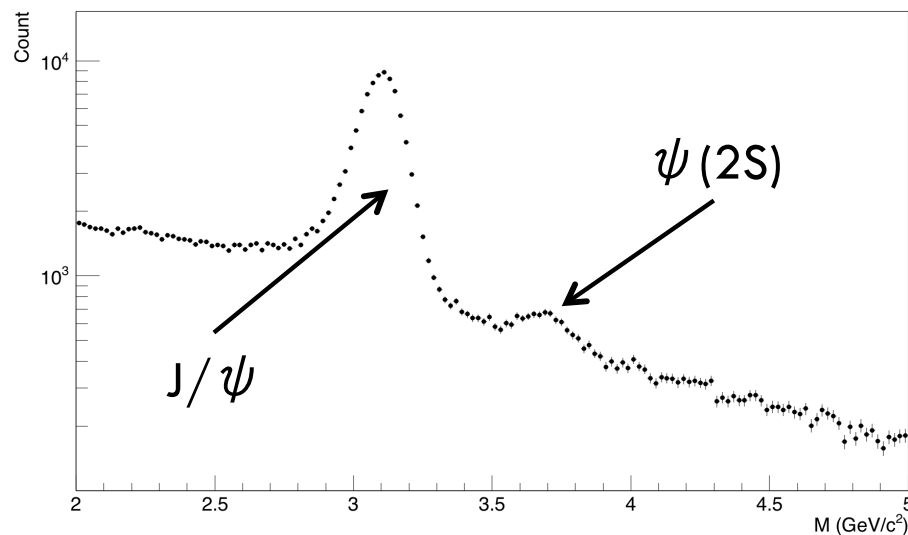
- Outre le fait de servir de référence, les collisions pp permettent également de tester les modèles de production des quarkonia.
- ➔ Participation au calcul de section efficace du J/ψ en collisions pp à 8 TeV en attendant les données 2015
- Les collisions p-Pb permettent de mettre en évidence les effets nucléaires froids, ie dus à la présence d'un noyau mais sans QGP.

Extraction du signal

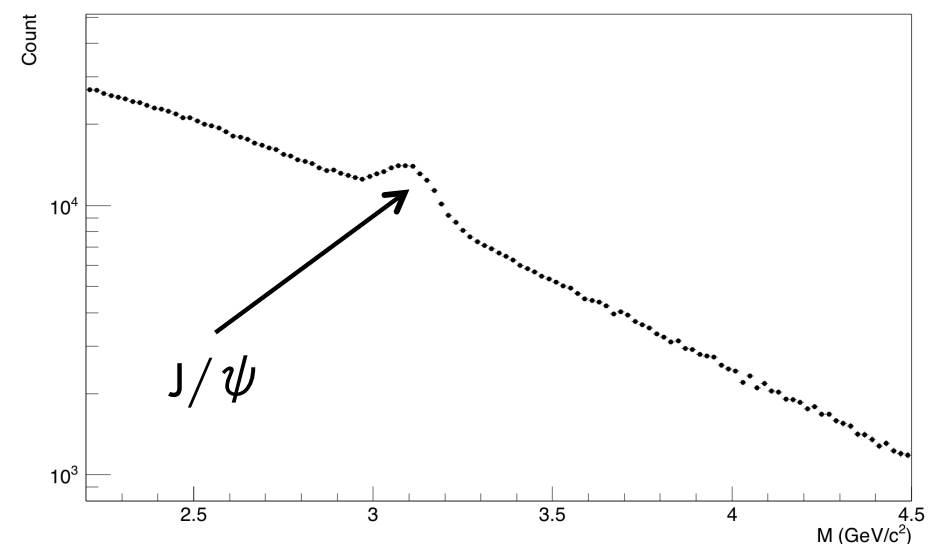
12

- L'extraction du signal se fait à partir d'un spectre de masse invariante : connaissant la masse des muons et ayant mesuré leur impulsion, on peut retrouver la masse de la particule mère

pp Spectrum at 8TeV



Pb-Pb Spectrum at 5 TeV cent 20-30%

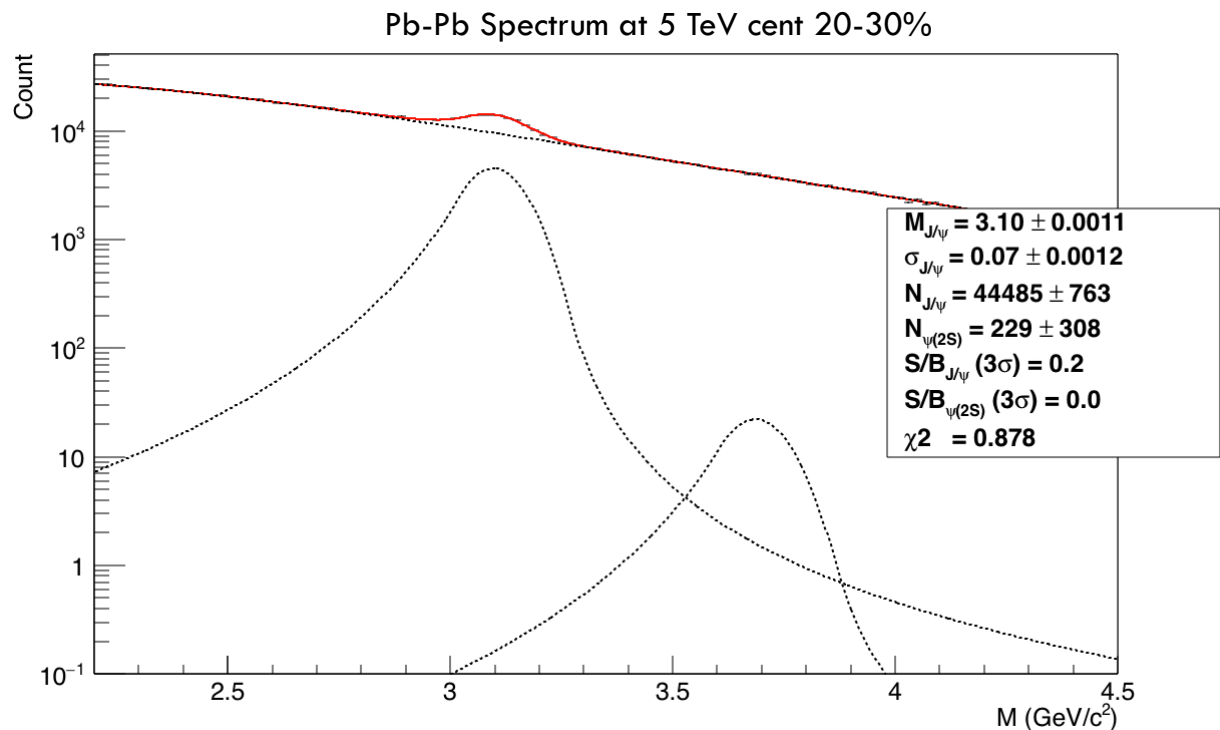


- On repère un signal et beaucoup de bruit de fond

Extraction du signal avec ajustement

13

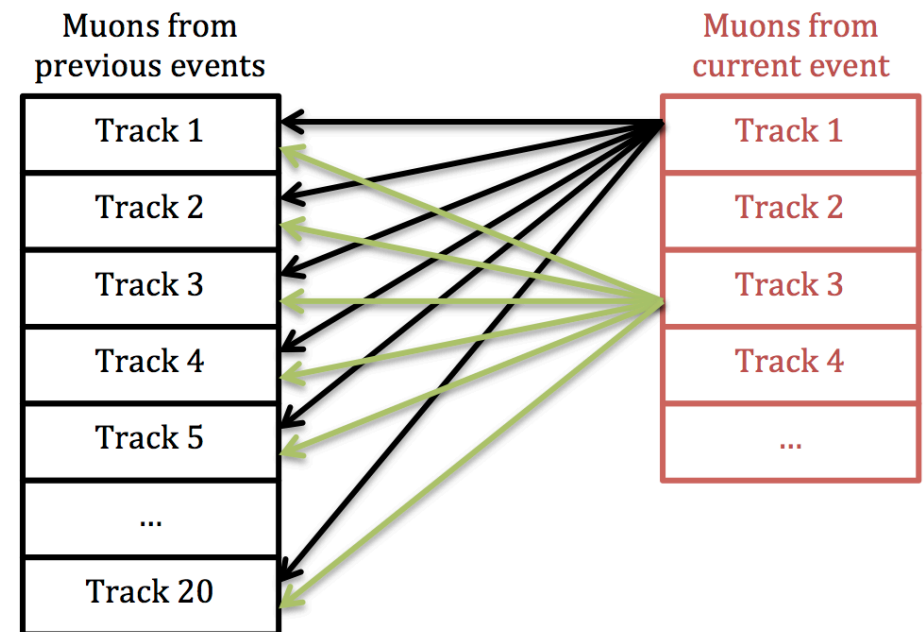
- On va faire un ajustement sur ce spectre avec :
 - ▣ Une fonction signal
 - ▣ Une fonction de bruit de fond ad hoc
- On obtient



Extraction du signal avec event mixing

14

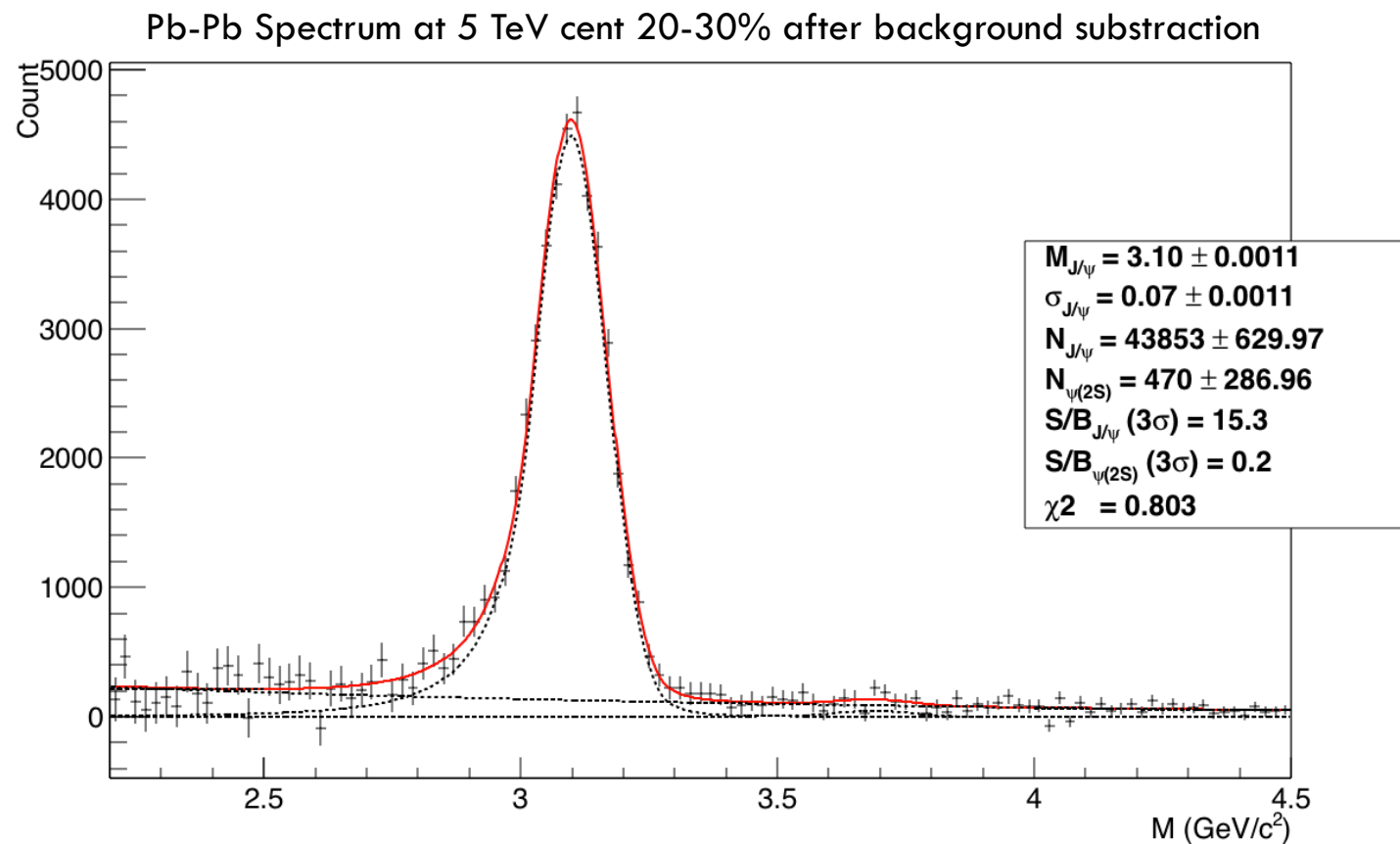
- Le bruit de fond se compose d'une partie corrélée et d'une partie décorrelée
- L'idée est de reproduire le bruit de fond décorrelé : on associe deux muons provenant de deux événements différents et on les « mixe ». Les muons sont par constructions décorrelés
- Les muons doivent provenir du même run et de la même classe d'événements
- Avantage : on a autant de statistique que l'on veut.



Extraction du signal avec event mixing

15

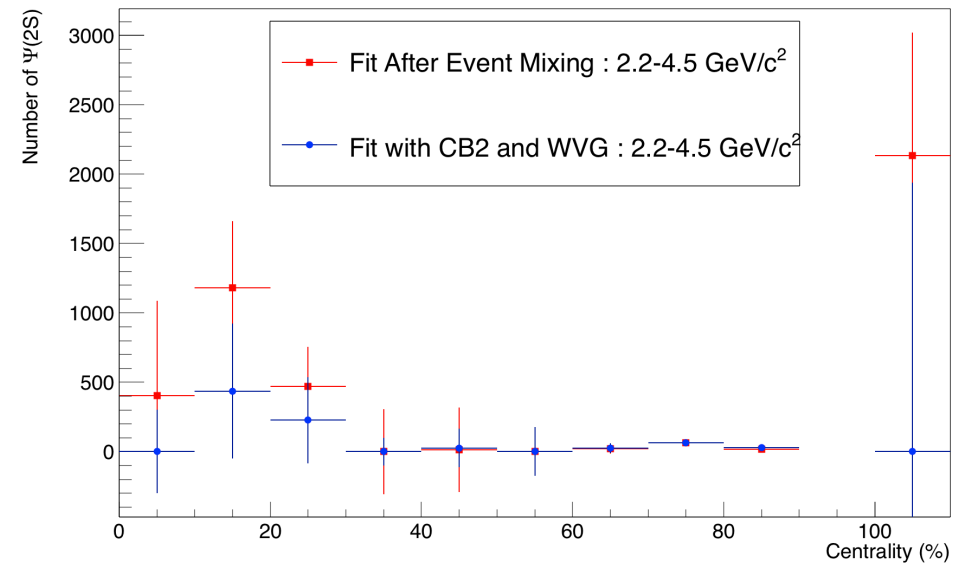
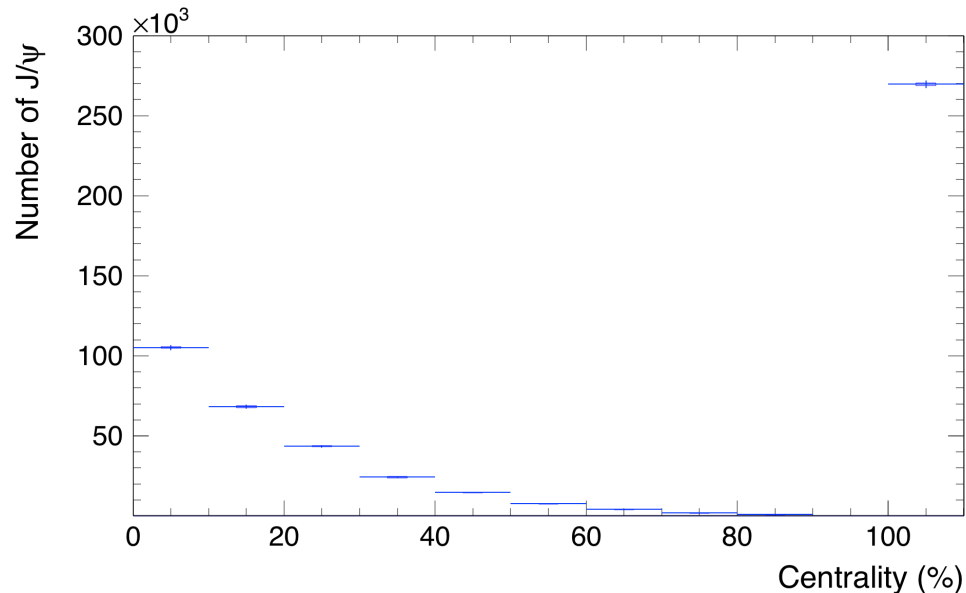
- Après soustraction du background, on obtient le spectre :



Extraction du Signal

16

□ Résultats :



- Le $\psi(2S)$ est beaucoup plus difficile à extraire, l'erreur est beaucoup plus importante et les valeurs sont compatibles avec zéro

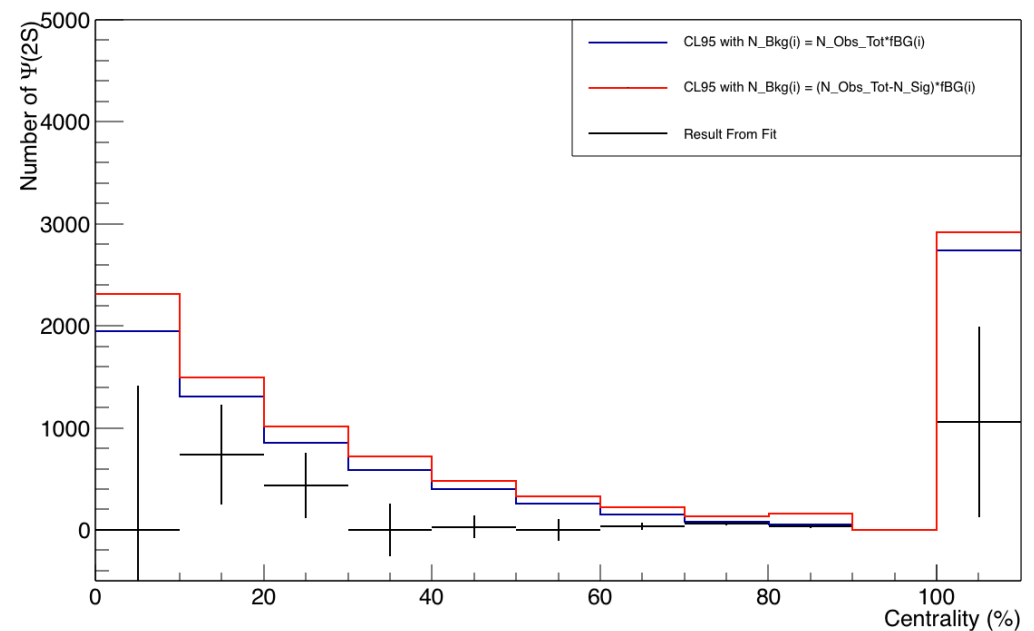
Extraction du signal pour le $\Psi(2S)$

17

- Un moyen de pallier au problème est d'utiliser les intervalles de confiance à 95% : trouver la valeur X_{CL} telle que

$$P(X_{réel} \leq X_{CL}) = 95\%$$

- Méthode du CLs :
 - ▣ Background connu
 - ▣ Hypothèse sur le signal



Autres éléments du R_{AA}

18

$$\sigma_{J/\Psi}^{pp} = \frac{N_{J/\Psi}}{A \cdot \varepsilon \times L \times BR_{J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-}} \quad R_{AA} = \frac{N_{J/\Psi}}{BR_{J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-} \cdot N_{MB} \cdot A \varepsilon \cdot \langle T_{AA} \rangle \cdot \sigma_{J/\Psi}^{pp}}$$

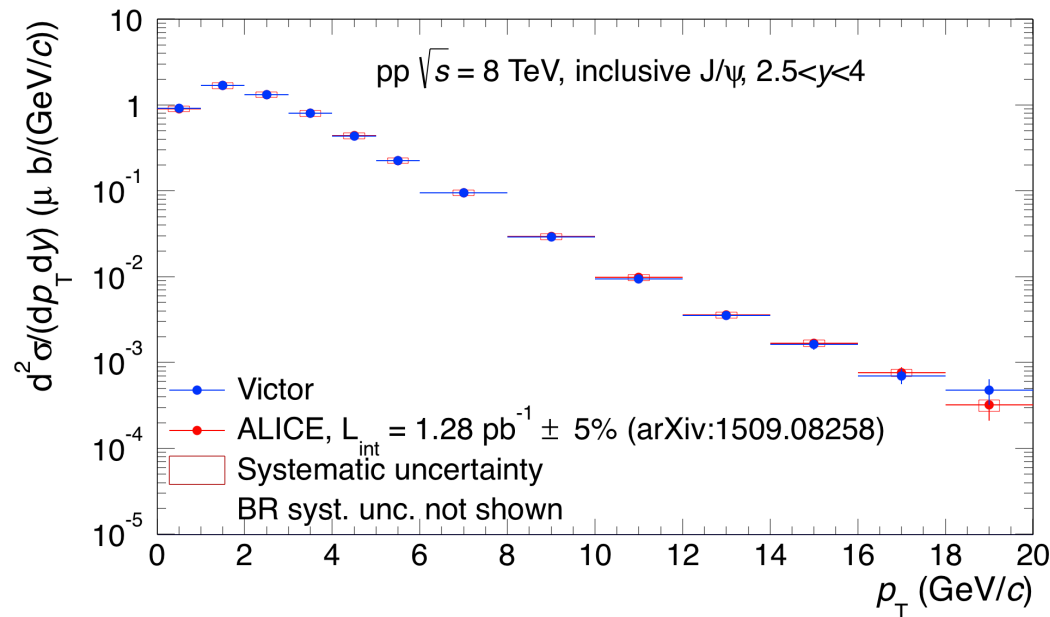
- $A \varepsilon^i$: Acceptance-efficacité : permet de corriger le nombre de particules extraites, qui est incomplet du fait de l'acceptance et de l'efficacité du détecteur, calculé par simulations
- $BR_{J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-}$: Rapport d'embranchement, donné par le booklet
- N_{MB}^i : Nombre d'évènements équivalents biais minimum, compté grâce aux détecteurs
- $\langle T_{AA} \rangle^i$: Fonction de superposition nucléaire
- L : Luminosité intégrée délivrée par le LHC, calculée grâce à des détecteurs dédiés

➔ Chacun de ces éléments est source d'erreurs systématiques

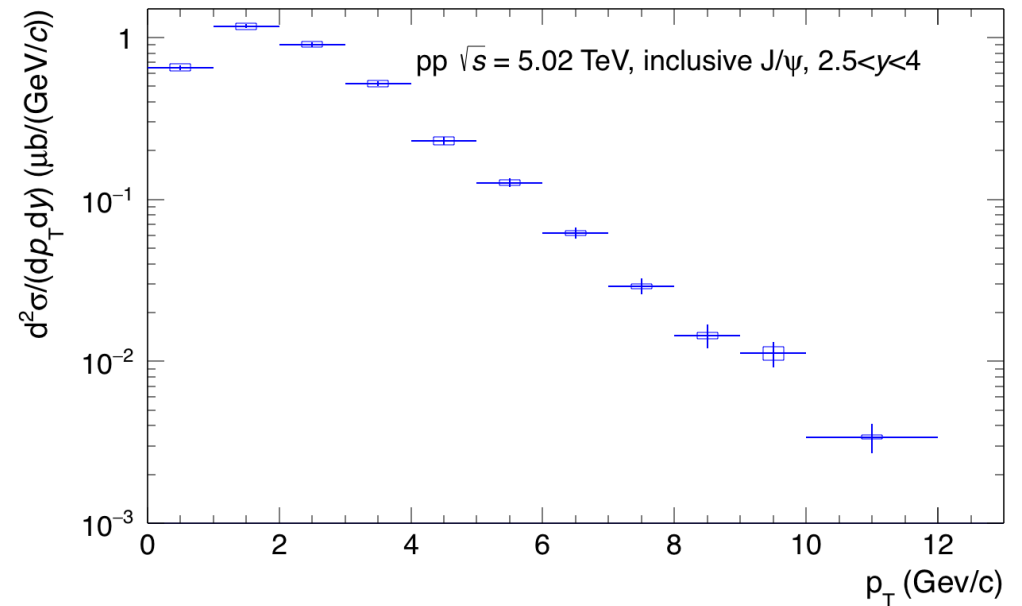
Résultats

19

□ Section efficace du J/ψ en collisions pp



EPJC 76 (2016) 184

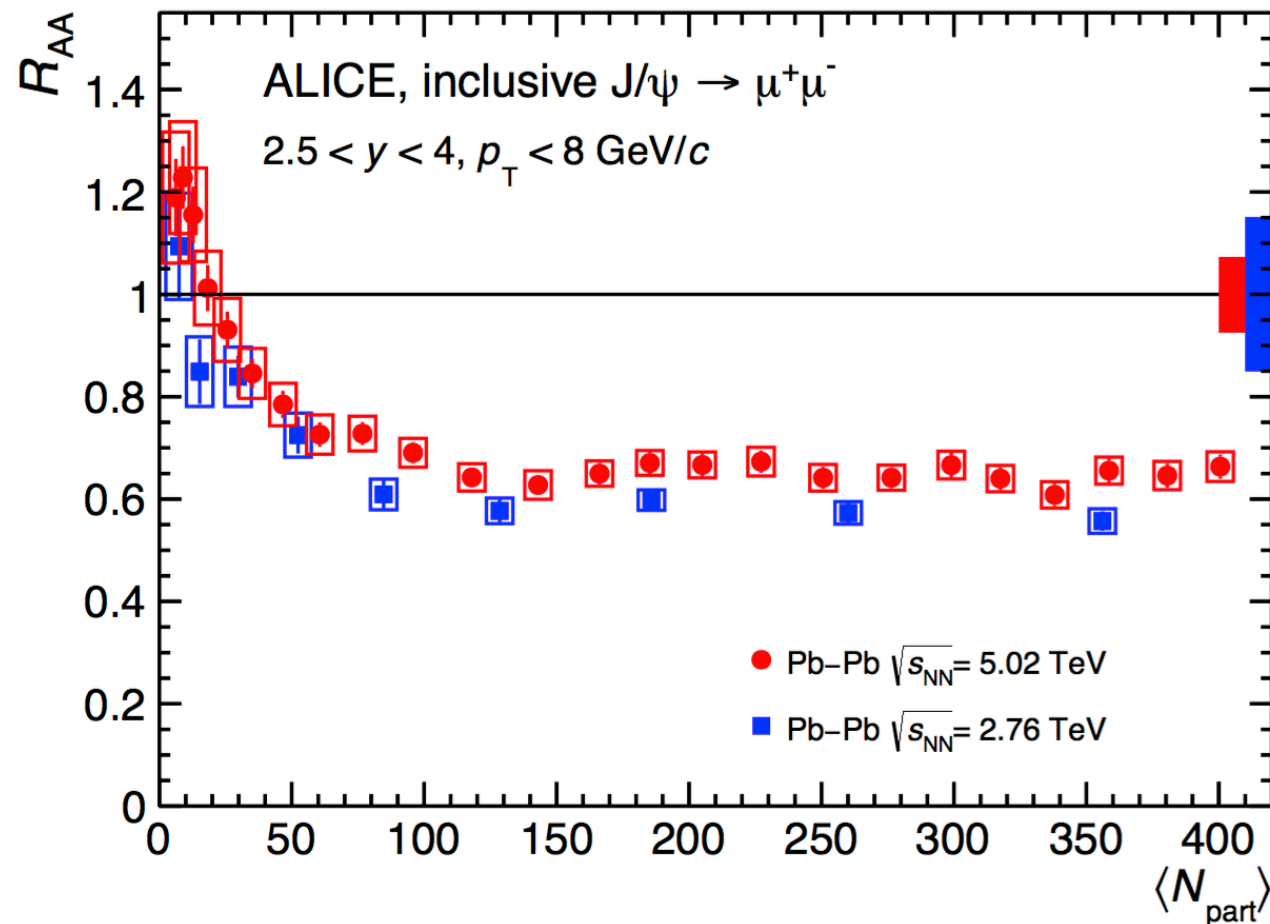


arXiv:1606.08197

Résultats

20

□ RAA vs Centralité



arXiv:1606.08197

Conclusion

21

- Calcul de la section efficace du J/ψ , $\psi(2S)$ et $Y(1S)$ en pp 8 TeV
- Nouveaux résultats pour le J/ψ grâce aux données 2015 : pas de différence significative avec 2011
→ Papier publié (arXiv:1606.08197)
- A faire la même chose avec le $\psi(2S)$ (en cours) : le $\psi(2S)$ étant un état moins lié, il devrait être plus sensible aux effets du QGP

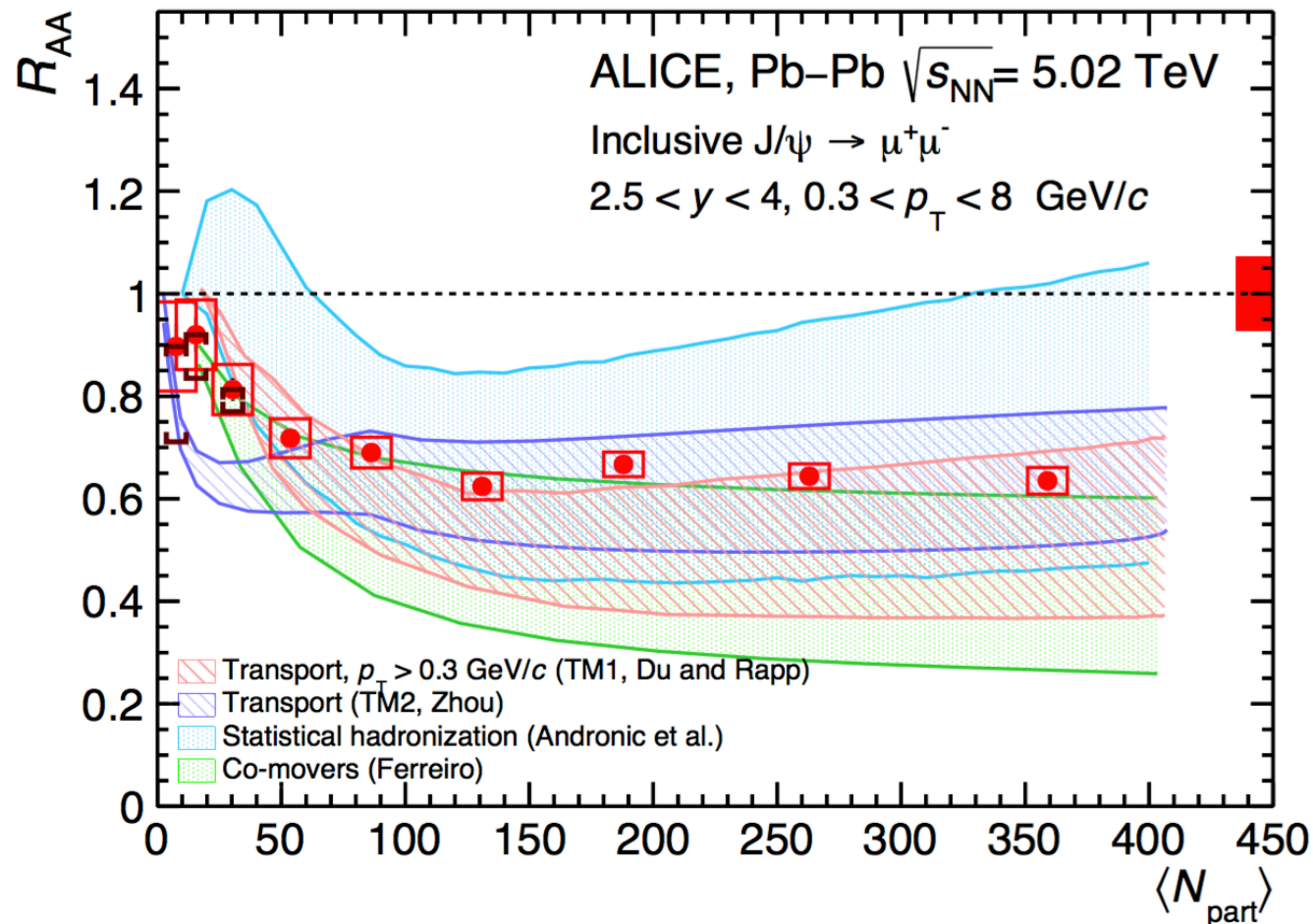
22

Back-up

RAA - Résultats

23

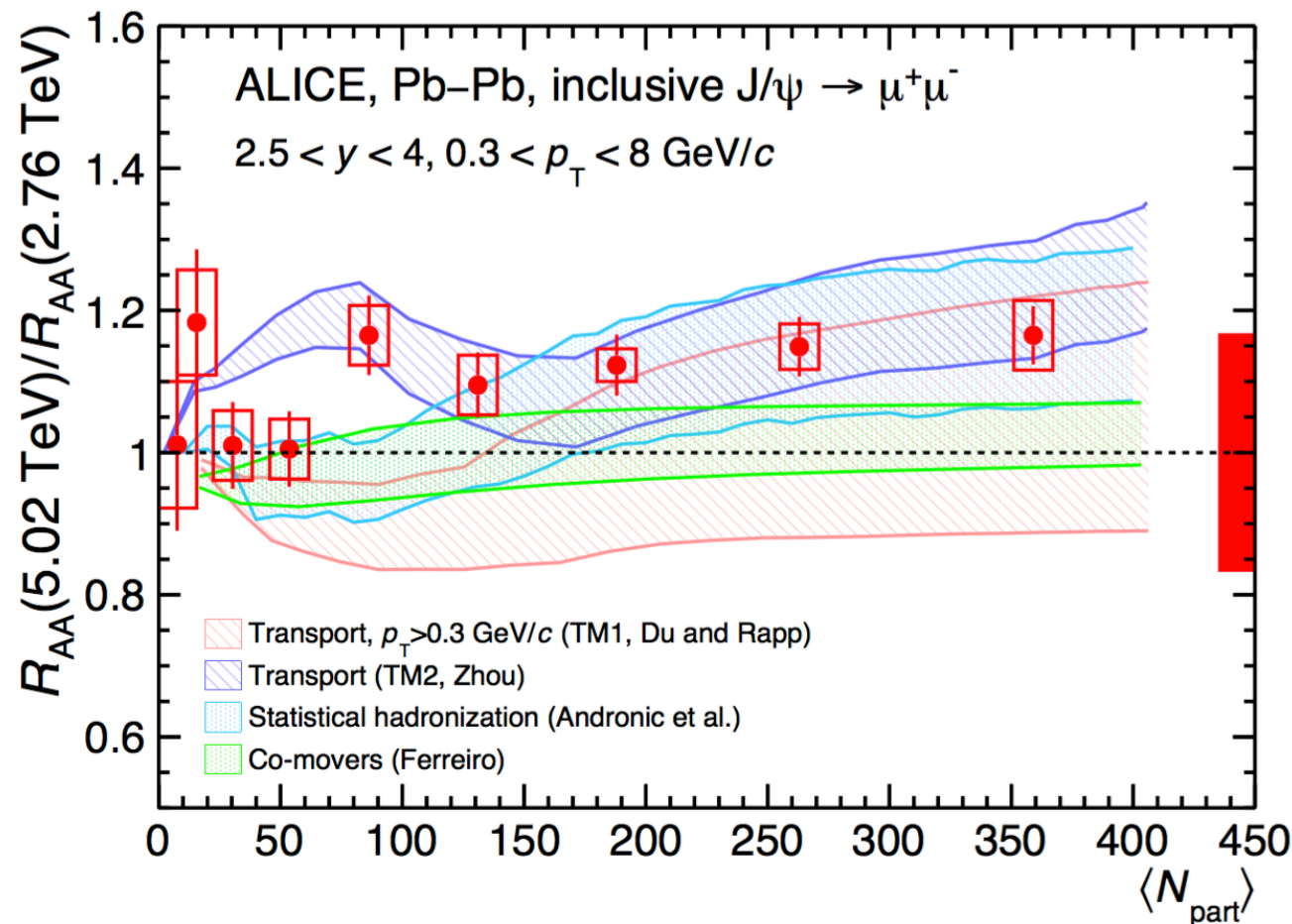
□ RAA vs models



RAA - Résultats

24

- Double Ratio 5.02/2.76 comparés aux modèles



Definition of Confidence Levels

25

- Hypothesis : known Background, unknown signal
We define X , a statistical test of the known background and hypothetical signal which ranks experiments from least to most signal like
- The Confidence Level is calculated as

$$CL_{s+b} = P_{s+b}(X \leq X_{obs})$$

i.e., assuming the presence of signal and background at their hypothesized levels, it is the probability that the statistical test is less or equal to the one observed in the data

This Probability is evaluated by making « experiments » satisfying the hypothesis $s+b$, that gives you a distribution for X that you can compare to X_{obs} .

- We can also define the Confidence Level for the background alone :

$$CL_b = P_b(X \leq X_{obs})$$

Definition of Confidence Levels

26

- A classic computation is to normalize the signal+background hypothesis with respect to the background only hypothesis :

$$CL_s = \frac{CL_{s+b}}{CL_b}$$

- The Modified Frequentist Confidence Level CLs allows to have conservative limits on the signal hypothesis.

The signal hypothesis will be considered excluded at the confidence level α when :

$$CL_s \leq 1 - \alpha$$

Likelihood ratio

27

- A common choice for the test statistic is the likelihood ratio :

$$X = \frac{P(n : s + b)}{P(n : b)}$$

Where $P(n : s+b)$ is the probability to observe n , when $s+b$ is the truth

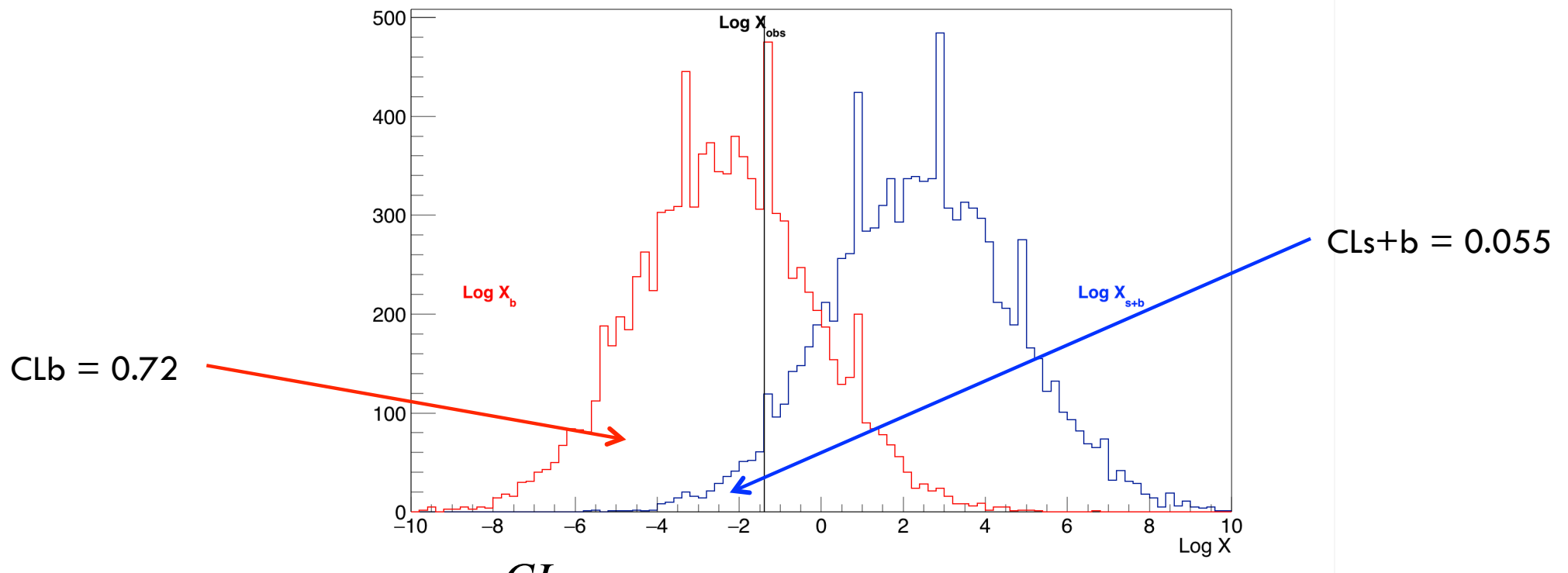
- It ranks experiments based on the likelihood by which it is described by a given signal

- In the end we use $\ln(X) = \sum_{i=1}^{n_{bins}} -s_i + n_i \ln(1 + \frac{s_i}{b_i})$

Example for a Single Channel

28

- Known Background : 500 counts
Hypothesized Signal : 50 counts
Observed : 510 counts

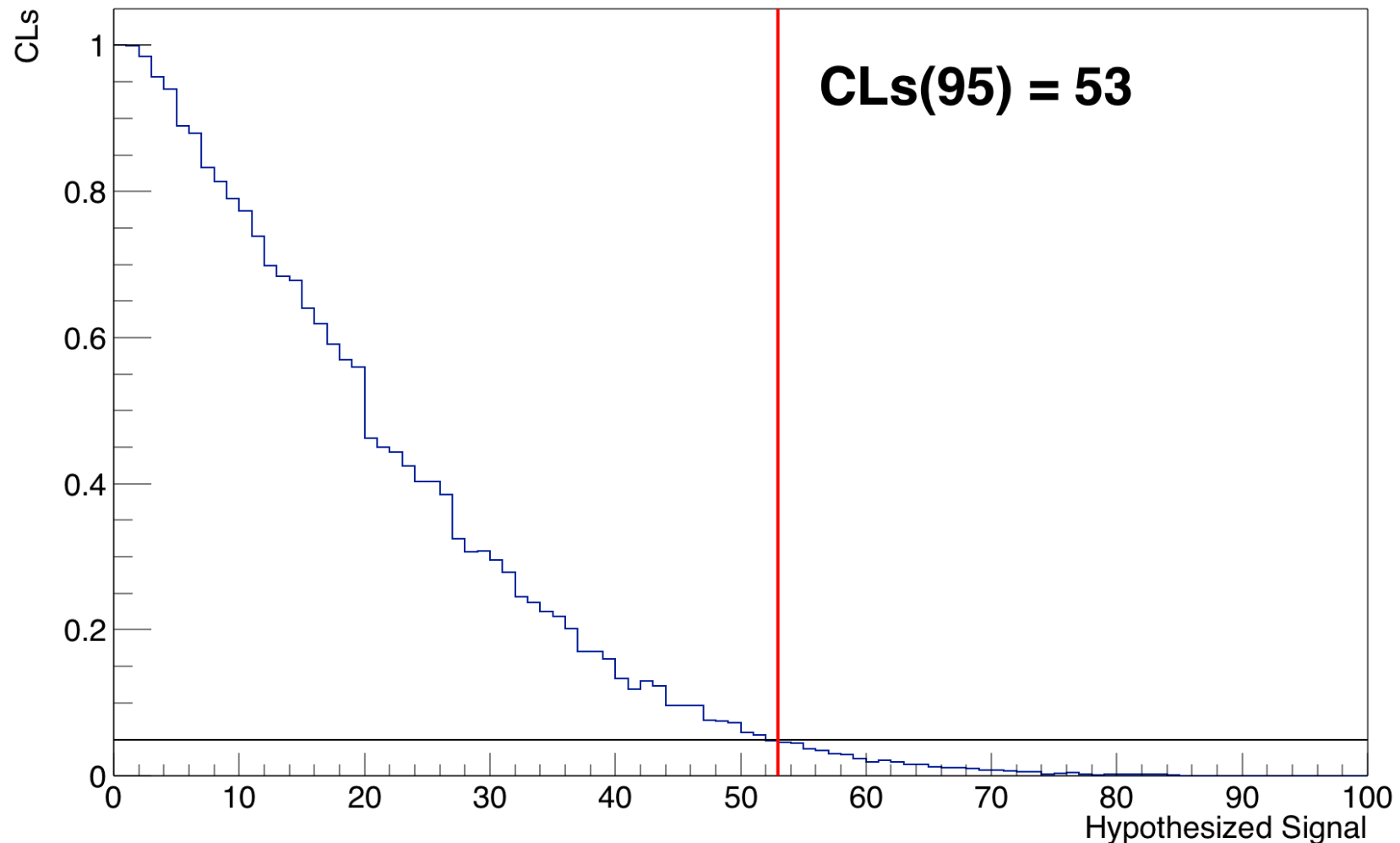


- We have $CL_s = \frac{CL_{s+b}}{CL_b} = 0.072$

Example for a Single Channel

29

- For Hypothesized signal from 0 to 100:



Application to the J/Ψ

30

- Background is known
- Shape of the signal known : Crystal Ball
- Hypothesis on the total number of signal counts

- We have :

$$s_i = \text{SignalHypothesis} \times \text{CB2}(x_i)$$

$$b_i = \text{TotalBackground} \times \text{VWG}(x_i)$$

$$n_i^{\text{obs}} = \text{BinContent}(i)$$

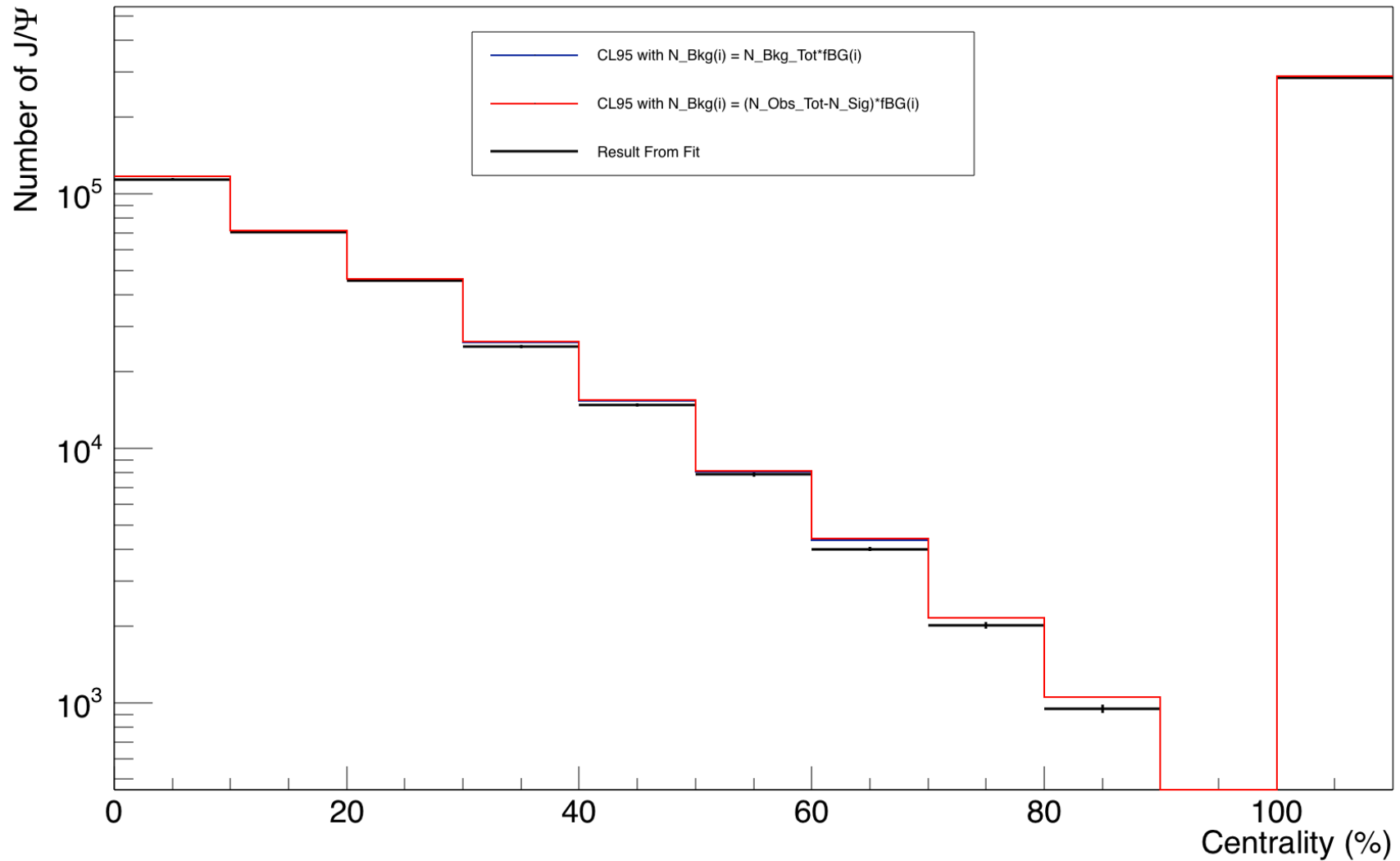
- And so

$$\ln(X_{s+b}) = \sum_{i=1}^{n_{\text{bins}}} -s_i + \text{Poisson}(s_i + b_i) \cdot \ln\left(1 + \frac{s_i}{b_i}\right) \quad \ln(X_{\text{obs}}) = \sum_{i=1}^{n_{\text{bins}}} -s_i + n_i^{\text{obs}} \ln\left(1 + \frac{s_i}{b_i}\right)$$

$$\ln(X_b) = \sum_{i=1}^{n_{\text{bins}}} -s_i + \text{Poisson}(b_i) \cdot \ln\left(1 + \frac{s_i}{b_i}\right)$$

Application to the J/ψ

31



$\Psi(2S)$ Confidence Levels

32

- Two different hypothesis on the background (i.e J/Psi and « normal » Background) :

- ▣ 1) Everything I see is background,

$$N_{BG}^{Tot} = N_{Obs}^{Tot}$$

- ▣ 2) I have either Psi(2S) or Background,

$$N_{BG}^{Tot} = N_{Obs}^{Tot} - N_{Sig}$$

$\Psi(2S)$ Confidence Levels

33

□ Results Vs Centrality

