

An aerial photograph of Étretat, France, showing the iconic white chalk cliffs meeting the sea. A golf course is visible on the green hills to the right. The text is overlaid in orange.

Polarisation du J/ψ : Résultats et perspectives avec ALICE

Sébastien Gadrat, Subatech

Journées QGP-France, Étretat, 5 juillet 2006

Plan de l'exposé

- Motivations à l'étude de la polarisation
- Quelques définitions
- Principaux résultats expérimentaux
- Simulation et reconstruction des quarkonia polarisés
- Résultats en dimuons (et un peu di-électrons) avec ALICE
- Conclusion

Résultats tirés de présentations de *R. Arnaldi & E. Scomparin* pour l'étude dans le canal dimuon et de *E. Kryshen* dans le bras central.

Motivations à l'étude de la polarisation

En collisions $p+p$: test des *modèles de production* des quarkonia.

- Color Singlet Model CSM
 - prédit une **polarisation transverse**.
- Color Evaporation Model CEM
 - **pas de polarisation** (dû à l'émission de gluons mous pendant l'hadronisation).
- Non-relativistic QCD
 - **polarisation transverse pour les p_T élevés** (héritée de la fragmentation de gluons sur couche de masse).
- Khoze, Martin, Ryskin, Stirling : Eur. Phys. J., C39, 163 (2005)
 - prédit une **polarisation transverse à faible p_T et longitudinale à grands p_T** .

En collisions $A+A$: une *signature* de la formation d'un QGP ?

B.L. Ioffe & D.E. Kharzeev : Phys. Rev. C68 061902 (2003)

« Quarkonium Polarization in HIC as a possible signature of the QGP »

Polarisation transverse de l'ordre de 0,6 si formation d'un QGP.

Mesure de la polarisation

La distribution angulaire de désintégration d'une particule vectorielle est

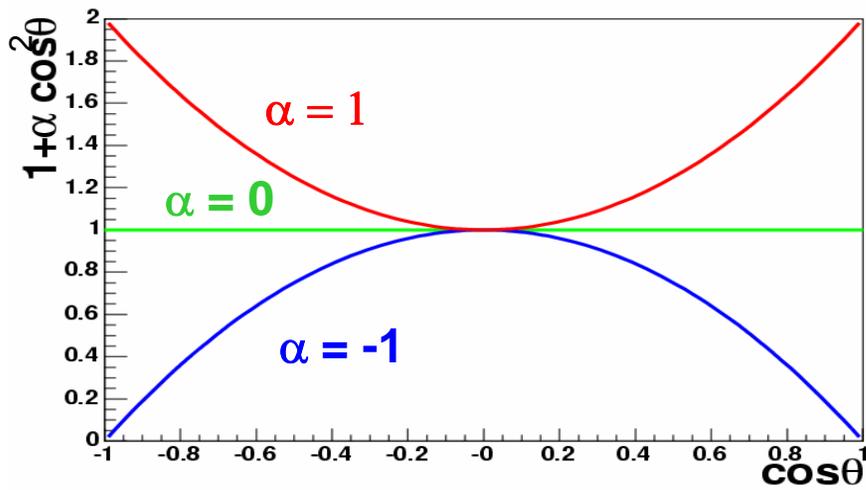
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim 1 + \alpha \cos^2 \theta + \beta \sin 2\theta \cos \phi + \gamma \sin^2 \theta \cos 2\phi$$

avec θ et ϕ les angles radial et azimutal d'un des muons (le +) dans le référentiel du centre de masse de la particule. α , β et γ dépendent du système de coordonnées et de la cinématique.

À l'ordre dominant (modèle des partons), cette distribution donne

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} \sim 1 + \alpha \cos^2 \theta$$

Ce qui revient à poser l'hypothèse que la distribution en ϕ est plate.



Cette distribution va *signer la polarisation* de la particule mère.

$\alpha = 0$ - pas de polarisation

$\alpha > 0$ - polarisation transverse

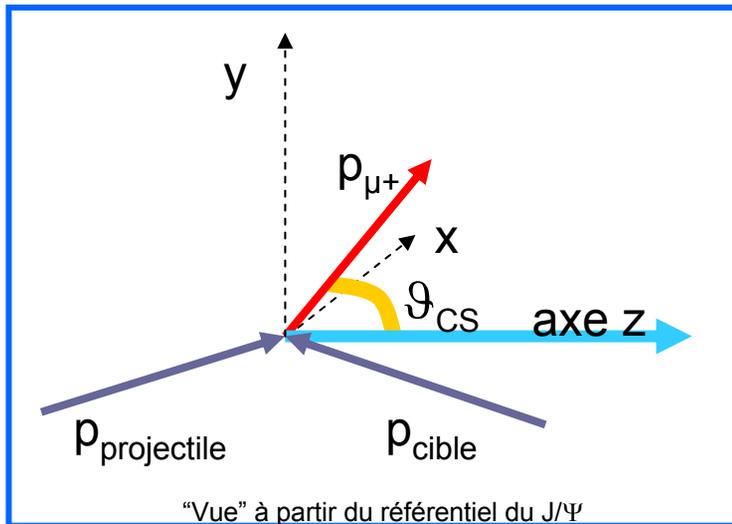
$\alpha < 0$ - polarisation longitudinale

Principaux référentiels utilisés

En fonction du choix de l'axe de polarisation, l'axe « z », on peut définir différents référentiels.

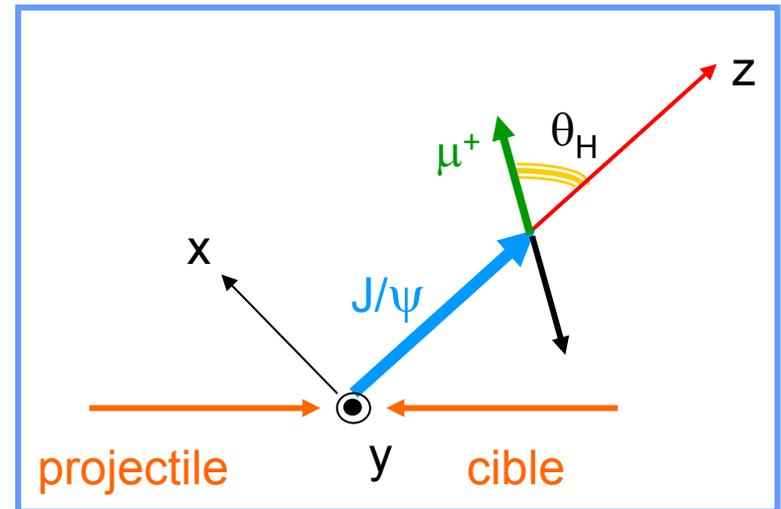
Deux sont principalement utilisés en physique des particules :

Collins-Soper



L'axe Z est parallèle à la bissectrice de l'angle fait par les faisceaux incidents dans le référentiel du quarkonia, réf. utilisé dans *les expériences de faisceaux sur cibles*.

Hélicité

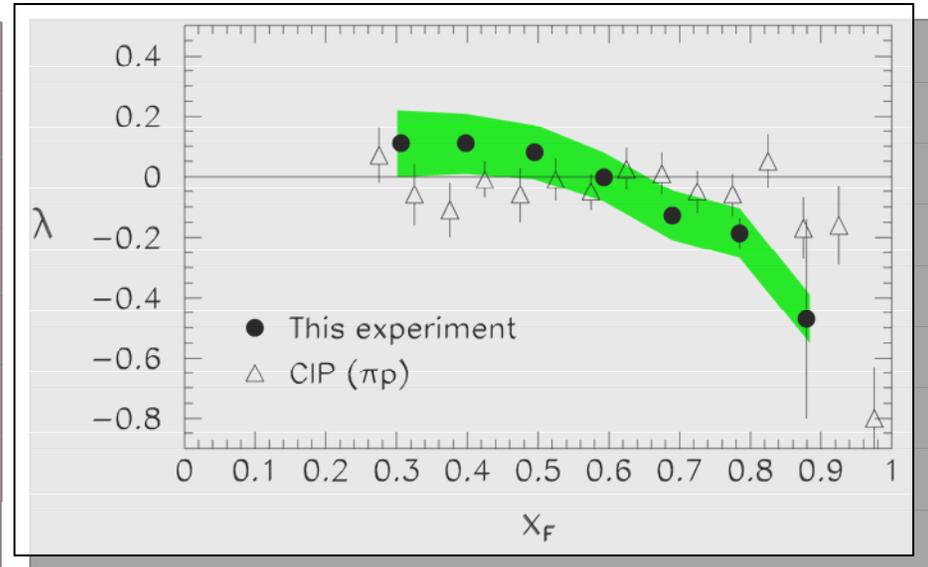
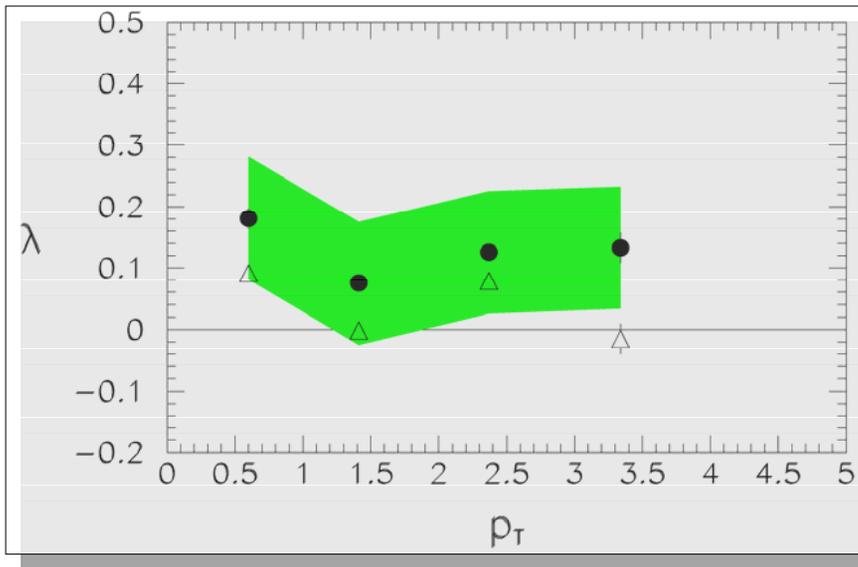


L'axe Z coïncide avec la direction du quarkonia dans le référentiel du CM des faisceaux, réf. utilisé dans *les expériences auprès de collisionneur*.

Attention ! Référentiels équivalents que pour $p_T(J/\psi) = 0$. La comparaison aux prédictions théoriques n'est donc pas *immédiate* !

Polarisation du J/Ψ dans E866

9 millions de J/Ψ ont été récoltés lors des collisions $p+Cu$ @ 800GeV



L'intégration en p_T et X_F donne $\lambda = 0,069 \pm 0,004 \pm 0,08$

La NrQCD prédit, quant à elle, $0,31 < \lambda < 0,63$

MAIS :

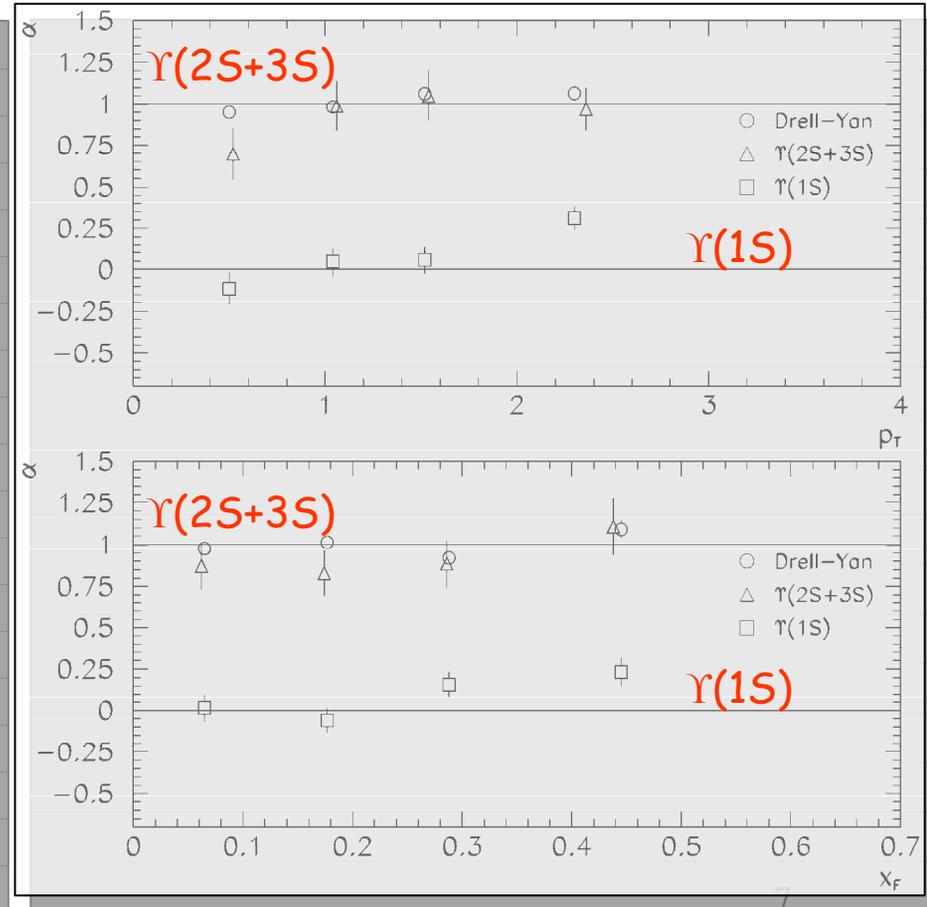
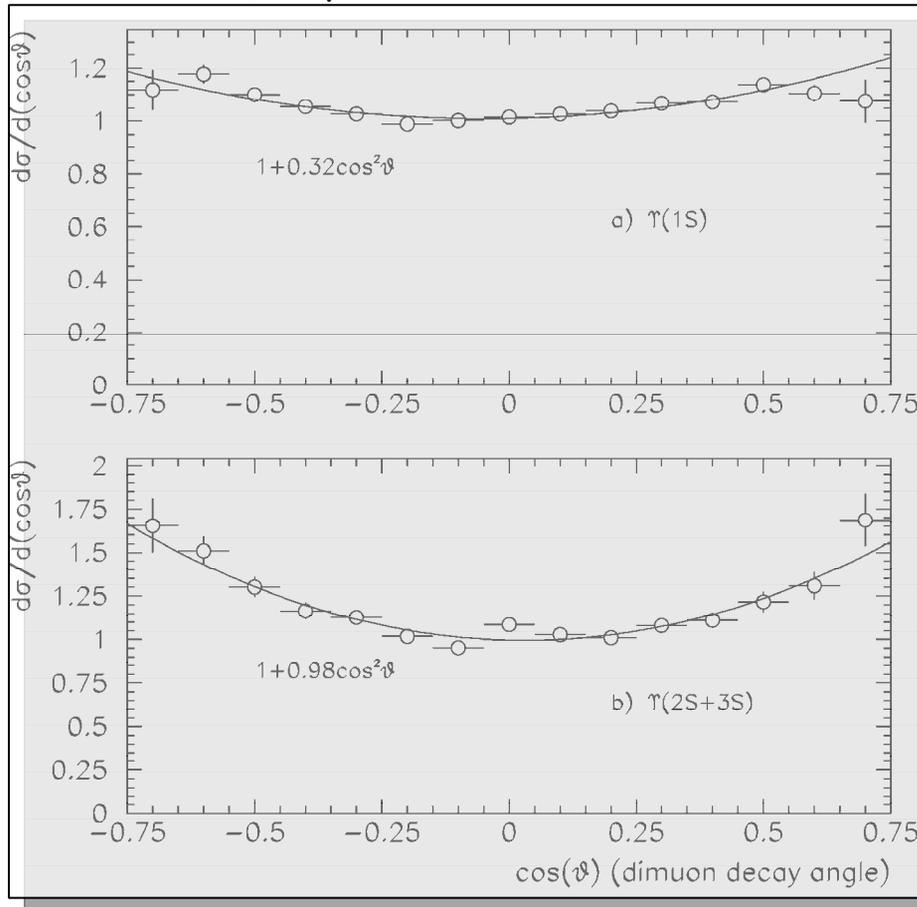
- enrichissement des J/ψ prompts par ceux de désintégration des états χ_{c1} (longitudinale) et χ_{c2} (transversale) ;
- possible altération de la polarisation par des effets nucléaires.

Cas du Υ dans E866

2 millions d'évènements, pour $8,1 < M_{\mu\mu} < 15$ GeV, ont été récoltés lors de collisions $p+Cu @ 800$ GeV.

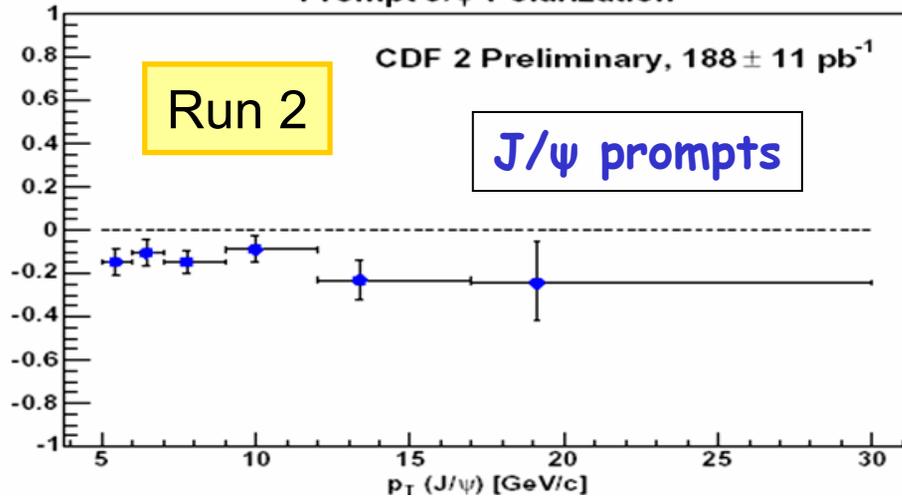
Pour $\Upsilon(1S)$: $\alpha(\text{mesuré}) = 0.07 \pm 0.04$,
NRQCD prédit $\alpha = 0.28 - 0.31$

Pour $\Upsilon(2S$ et $3S)$: polarisation importante
(~ 1) à bas p_T , en accord avec le CSM.



Polarisation du J/ψ à CDF

Prompt J/ψ Polarization



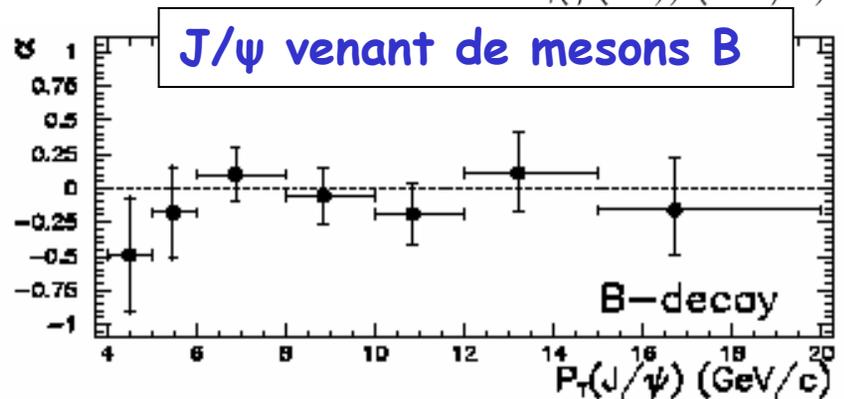
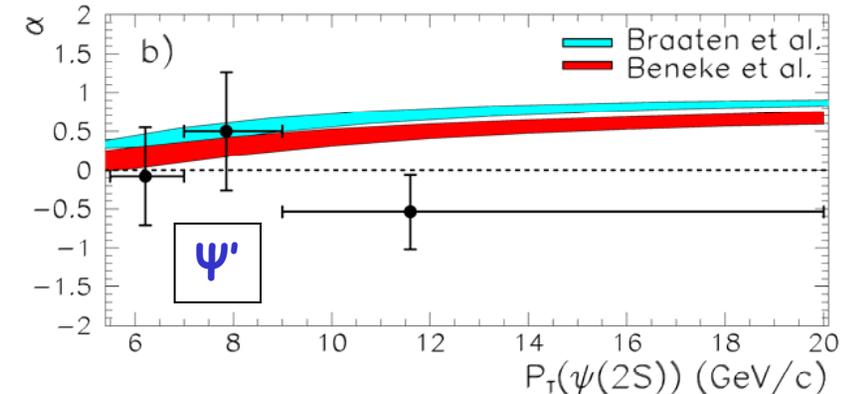
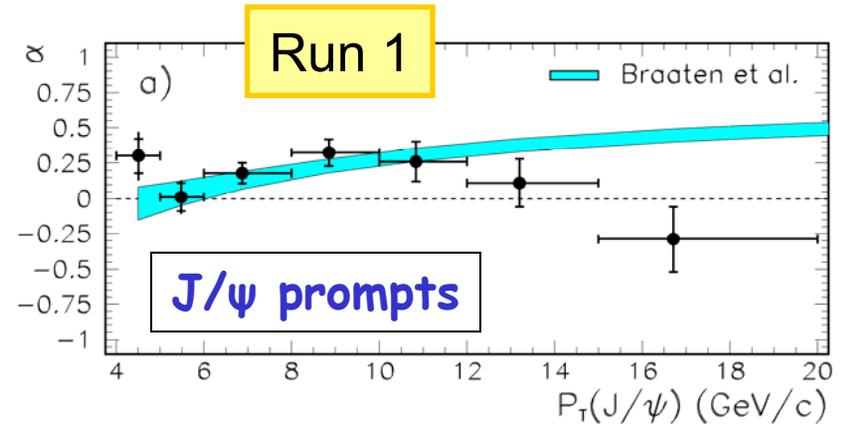
Collisions $p+\bar{p}$ @ $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$

18000 J/ψ et 1800 ψ' récoltées au run 1

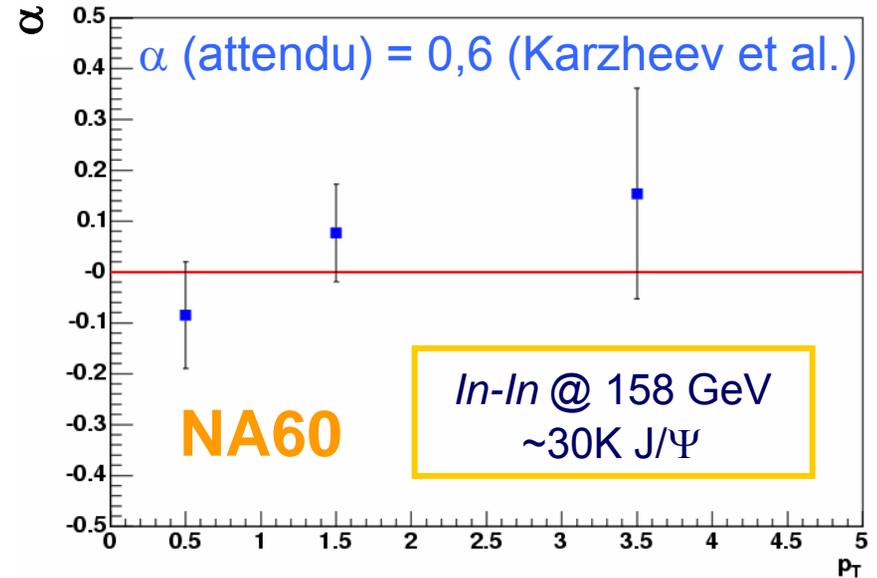
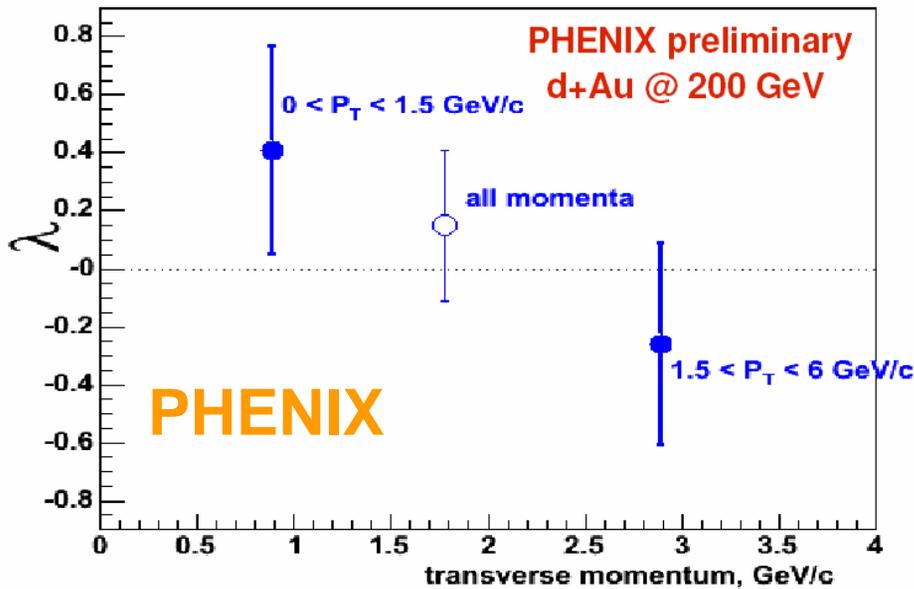
➤ les données Run 1 sont en *désaccord* avec $NrQCD$ mais en *accord* avec le modèle de Khoze et al.

➤ les J/ψ provenant du B n'exhibent aucune polarisation.

➤ **désaccord** entre les résultats du Run 1 et ceux du Run 2.



Autres résultats expérimentaux



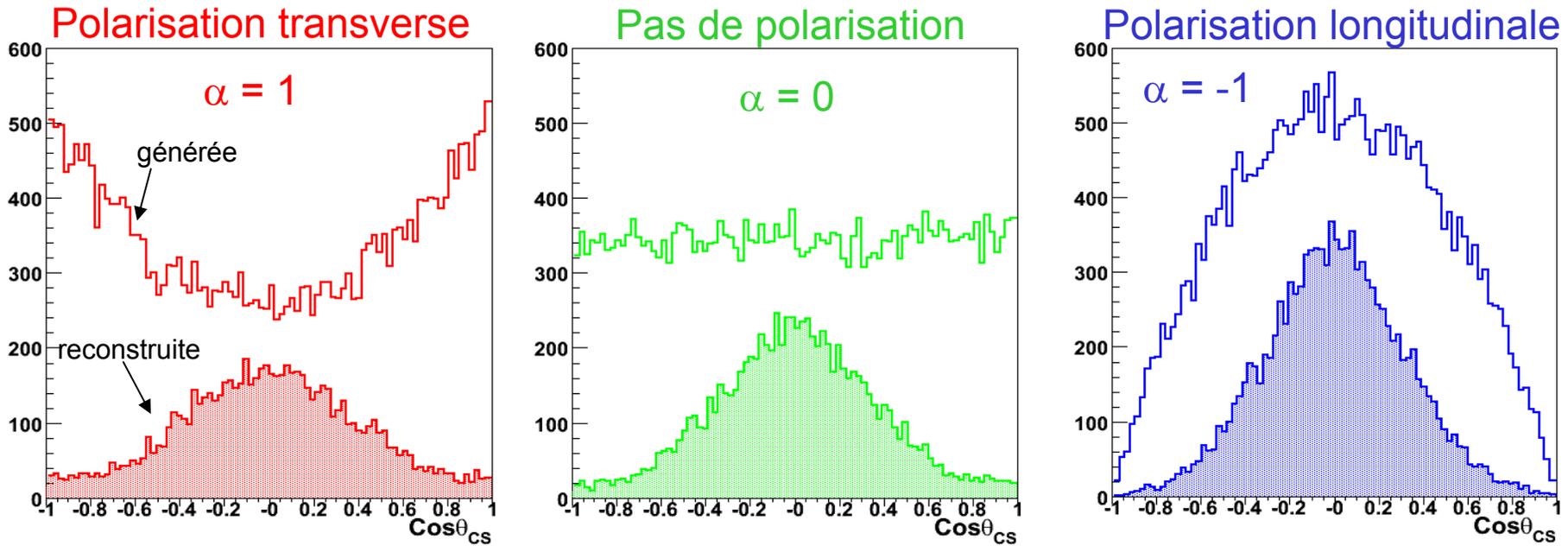
- Les résultats expérimentaux sont, pour la plupart, en *désaccord* avec les modèles théoriques.
- De plus, aucun modèle ne prédit pour le moment à la fois le taux de production *ET* la polarisation du quarkonia.

L'étude de la polarisation est donc un **test important** des modèles de production des quarkonia.

Peux-t-on mesurer la polarisation du J/Ψ avec le détecteur ALICE ?

- génération d'événements J/Ψ avec différents états de polarisation.
- reconstruction complète avec AliRoot (simulation lente).

Distributions en $\cos\theta$ obtenues pour différents états de polarisation



Acceptance maximale pour $\cos\theta=0$ mais non nulle sur l'ensemble des valeurs possibles ➡ mesure de la polarisation possible !₁₀

Correction d'acceptance

Afin de tenir compte des **corrélations** entre les variables cinématiques ($p_T, y, \cos\mathcal{Q}$), une méthode de correction de l'acceptance 3D a été utilisée.

Méthode :

- *génération d'événements ayant des distributions plates en p_T , y et $\cos\mathcal{Q}$;*
- *reconstruction puis détermination des matrices d'acceptance en (p_T, y) par intervalle en $\cos\mathcal{Q}$.*
- *correction des distributions reconstruites.*

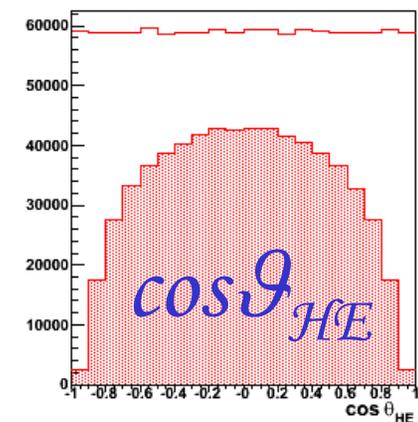
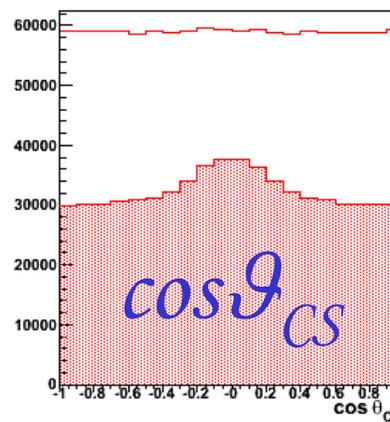
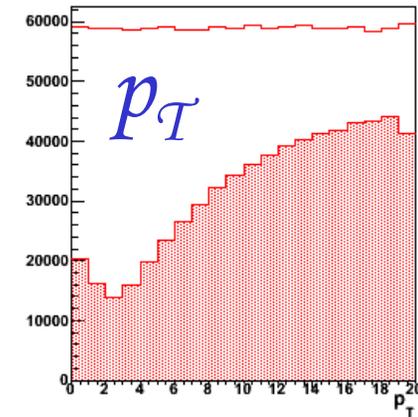
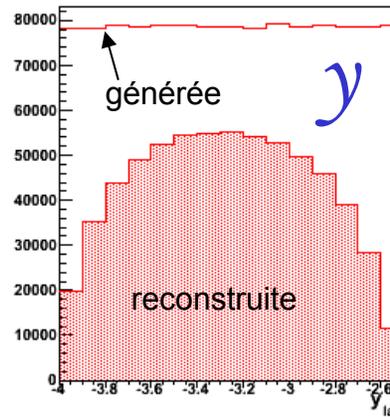
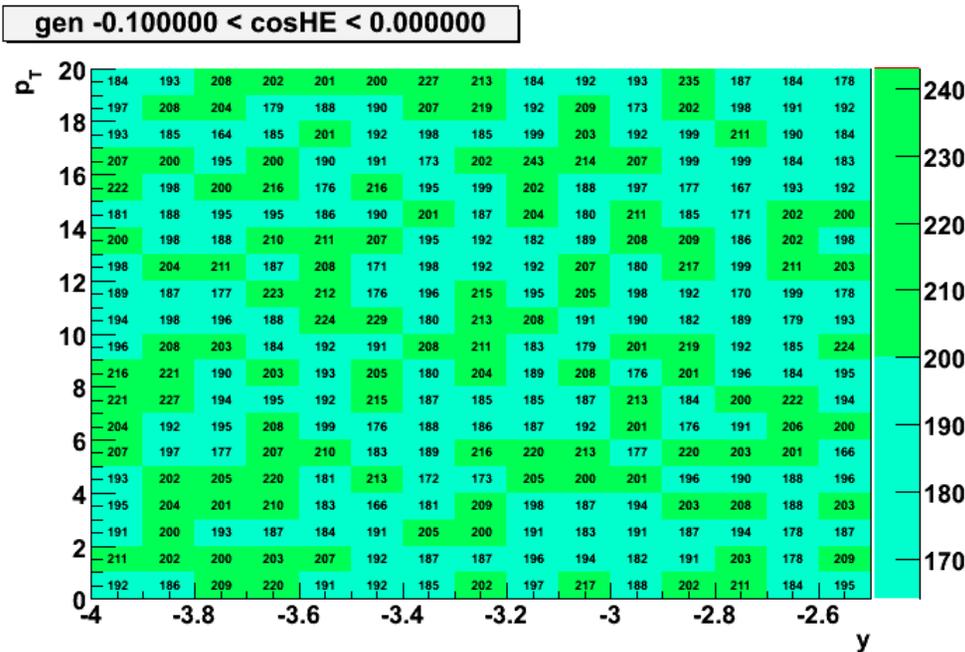
Plusieurs itérations peuvent être nécessaire afin de reproduire correctement les distributions générées (dans ce cas, utilisation des distributions corrigées obtenues à l'itération $i-1$).

Matrices d'acceptance

- génération d'évènements J/ψ (distributions plates en y , p_T et $\cos\vartheta$) :

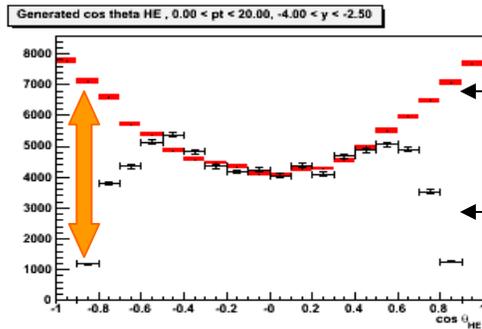
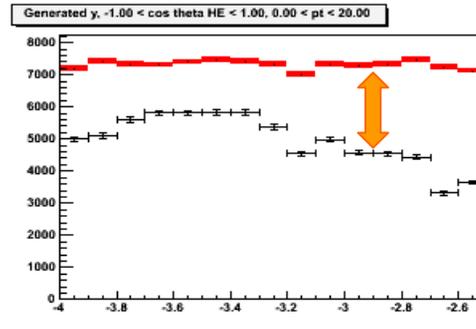
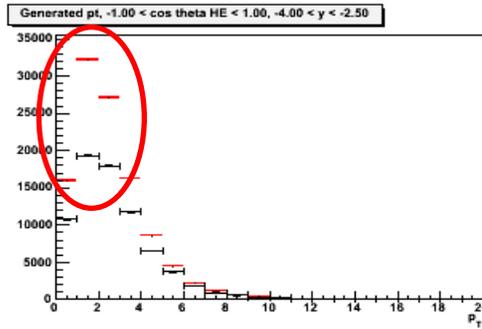
$$0 < p_T < 20 \text{ GeV}/c, \quad -4 < y < -2.5, \quad -1 < \cos\vartheta < 1.$$

- reconstruction et détermination des matrices d'acceptance



Un total de $1,18 \times 10^6$ évènements générés,
soit près de 200 par cellule

Définition de régions fiduciales



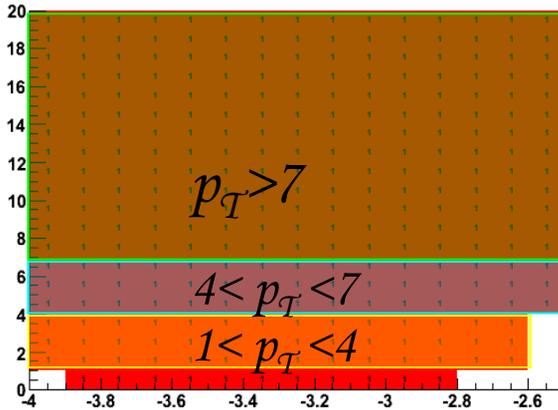
Distribution générée

Distribution corrigée

Désaccord entre spectre corrigé et généré pour les espaces de phases dont l'acceptance est nulle ou voisine de 0.

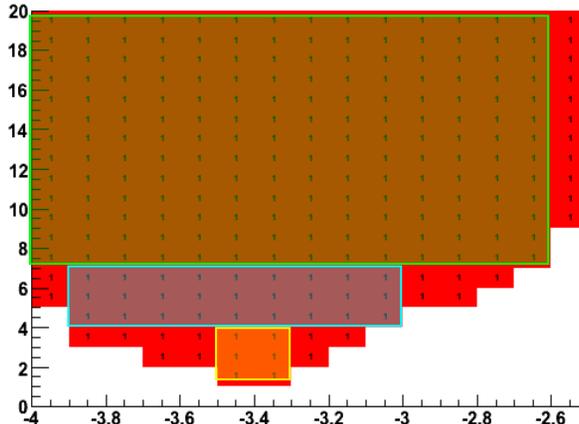
Des coupures sont appliquées pour écarter les zones dont l'acceptance est faible.

And Matrix $-0.500000 < \cos \theta < 0.500000$, thresh = 0.050000



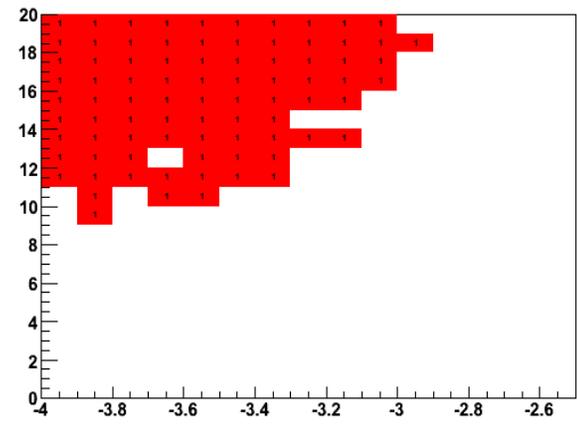
$-0,5 < \cos \theta < 0,5$

And Matrix $-0.800000 < \cos \theta < 0.800000$, thresh = 0.050000



$-0.8 < \cos \theta < 0.8$

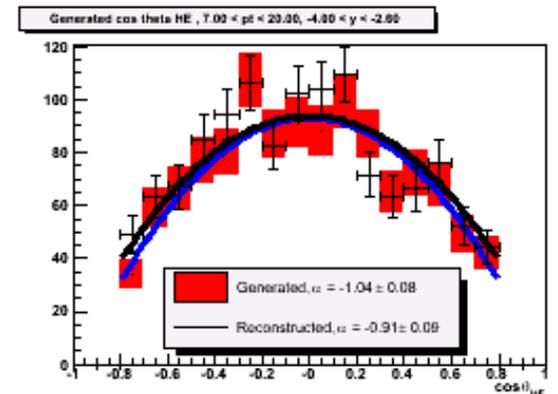
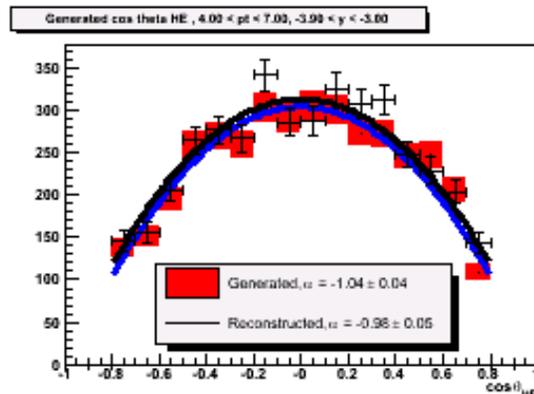
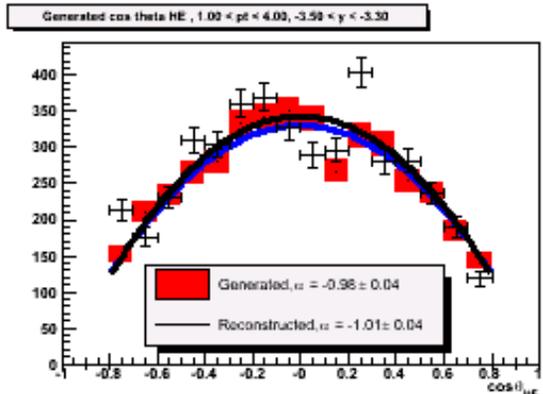
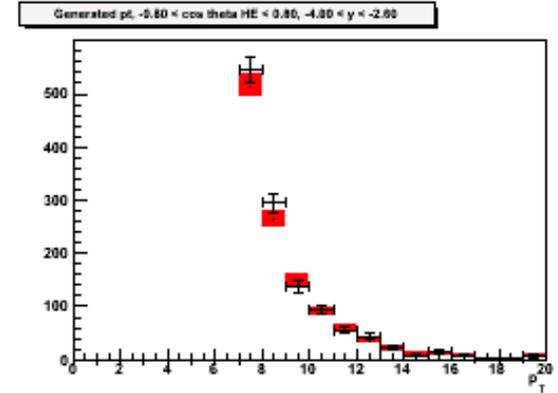
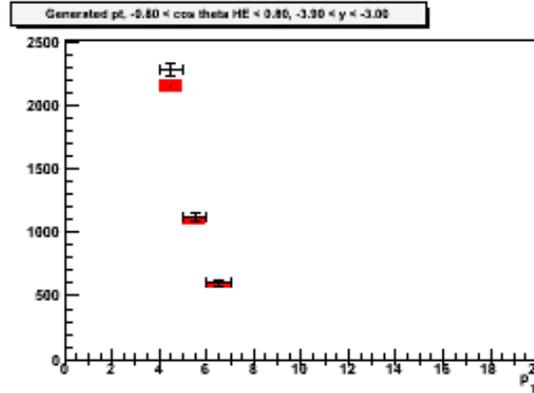
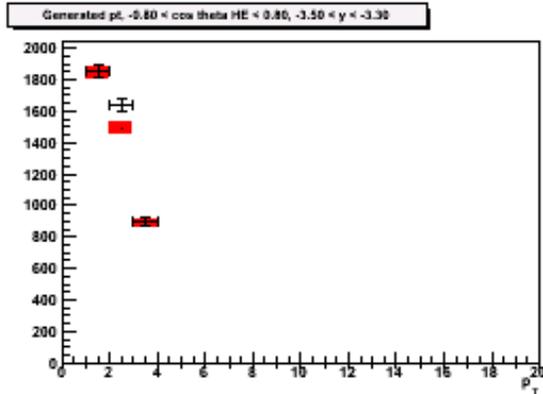
And Matrix $-1.000000 < \cos \theta < 1.000000$, thresh = 0.050000



$-1 < \cos \theta < 1$

Comparaison entre distribution générée et corrigée

- génération puis reconstruction d'événements polarisés longitudinalement
- comparaison entre la génération et les événements corrigés (dans la région fiduciale)



$1 < p_T < 4 \text{ GeV}/c$

$4 < p_T < 7 \text{ GeV}/c$

$p_T > 7 \text{ GeV}/c$

Très bon accord entre distribution générée et reconstruits

Systematique sur la section efficace de production du J/Ψ si la polarisation est inconnue

Dans le cas où la statistique est *trop faible* pour mesurer la polarisation du J/Ψ, on désire connaître l'incertitude systématique sur la section efficace de production provenant de la méconnaissance de la polarisation.

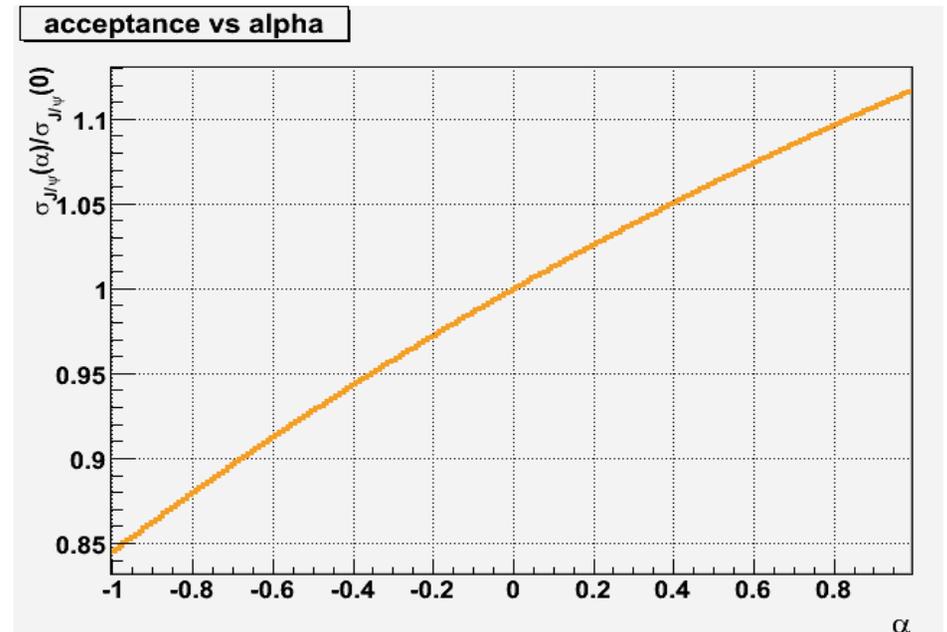
L'erreur commise est donnée par :

$$\frac{\int_{-1}^1 d \cos \theta (1 + \alpha_0 \cos^2 \theta) \text{Acc}(\cos \theta)}{\int_{-1}^1 d \cos \theta (1 + \alpha_0 \cos^2 \theta)} \bigg/ \frac{\int_{-1}^1 d \cos \theta \text{Acc}(\cos \theta)}{\int_{-1}^1 d \cos \theta}$$

Au plus, la polarisation induit une différence de 15% sur la section efficace totale de production (pour $\alpha = \pm 1$). Ce qui nous donne, en terme d'incertitude :

$$\sigma_{J/\psi} = \sigma_0 \begin{matrix} +0.07\sigma_0 \\ -0.08\sigma_0 \end{matrix}$$

Évolution du rapport $\sigma_{J/\psi}(\alpha)/\sigma_{J/\psi}(0)$ en fct α

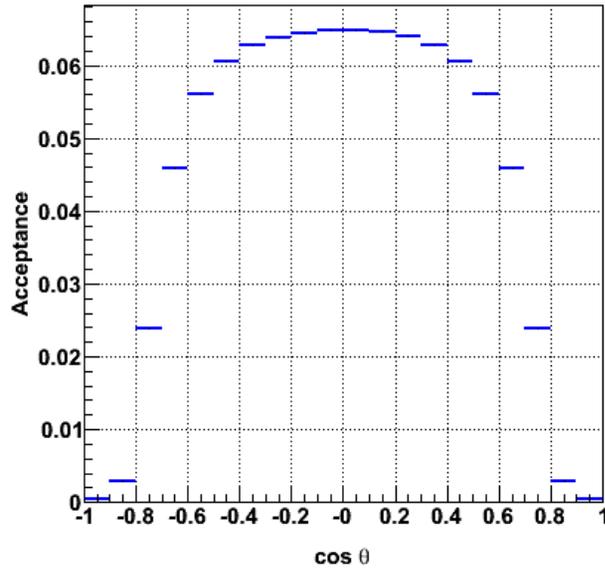


Polarisation du J/Ψ dans le barrel central

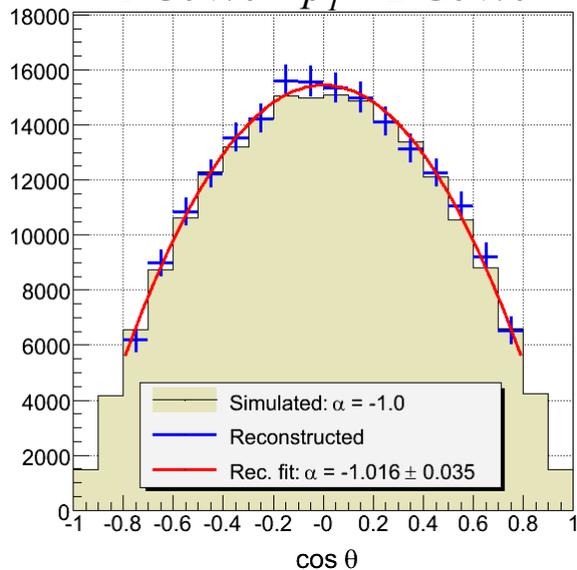
Étude réalisée par Evgeny Kryshen, pour *des collisions pb+pb*.

La *même démarche* que pour les dimuons a été suivie (correction d'acceptance par une méthode 3D) mais des *simulations rapides* seulement ont été envisagées pour le moment.

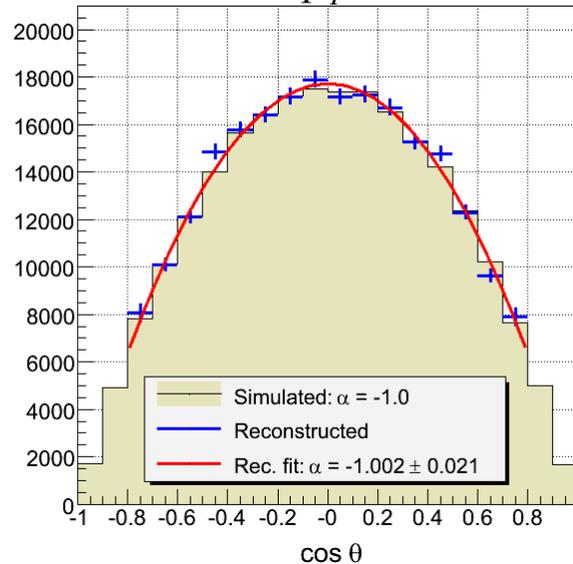
- La **bonne acceptance en $\cos\theta$** devrait permettre la mesure de la polarisation.
- La polarisation peut être extraite avec une incertitude de **quelques pourcents** seulement.



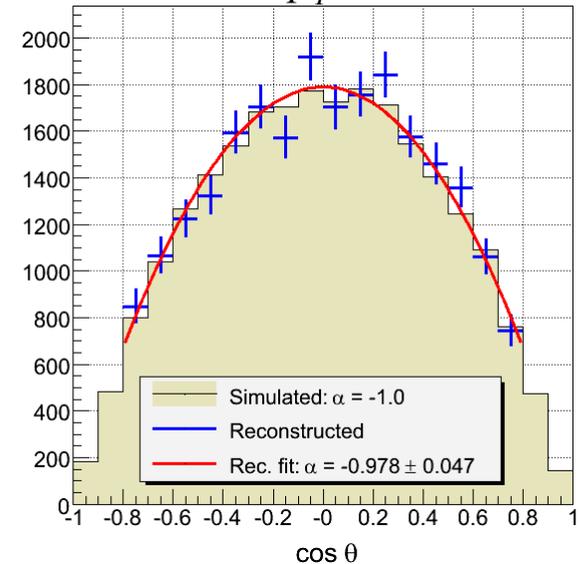
1 GeV/c < p_T < 2 GeV/c



4 GeV/c < p_T < 6 GeV/c



8 GeV/c < p_T < 10 GeV/c



Conclusion

- ✓ *l'acceptance en $\cos\theta$ est suffisante pour assurer la mesure de la polarisation ($p+p$ en muons et $p\bar{b}+p\bar{b}$ pour barrel)*
- ✓ *correction d'acceptance comprise (1 seule itération est nécessaire) (μ ons et barrel)*
- ✓ *en cas de faible statistique (et donc d'impossibilité de mesurer précisément la polarisation), la systématique sur la polarisation inconnue est déterminée (μ ons)*

Outlook

- ✓ *soustraction du bruit de fond* (point particulièrement important pour la correction d'acceptance utilisée);
- ✓ mesure de la polarisation des J/Ψ provenant de la désintégration des mésons beaux ;
- ✓ polarisation des bottonomium.

Back up Slides

Experimental results: J/Ψ polarization in NA60

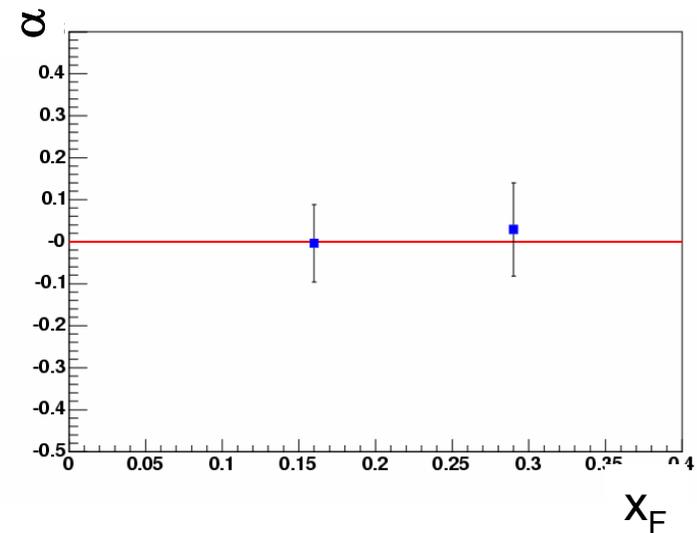
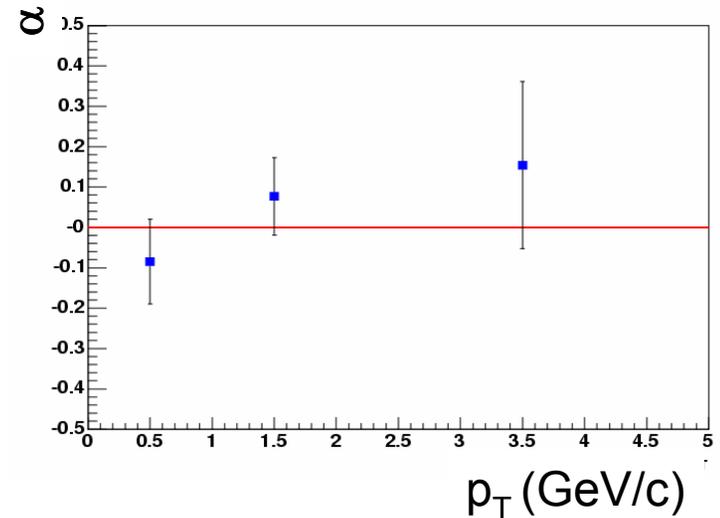
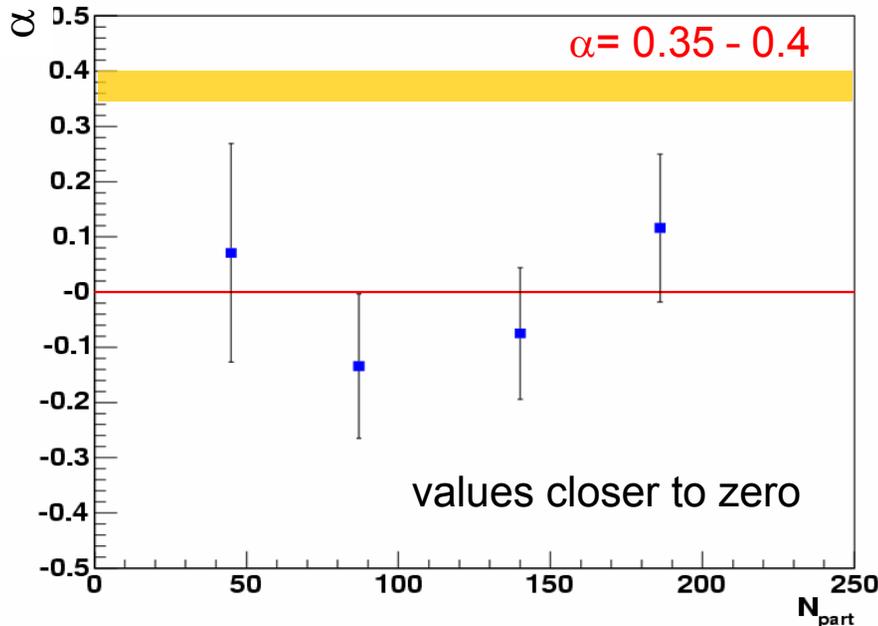
NA60 experiment

- In-In @ 158 GeV
- $\sim 30K$ J/Ψ

According to Phys. Rev. C68 061902 (2003) , in case of QGP formation the expected value for the polarization is

$$\alpha = 0.6 \text{ (for } p_T \sim 0 \text{)}$$

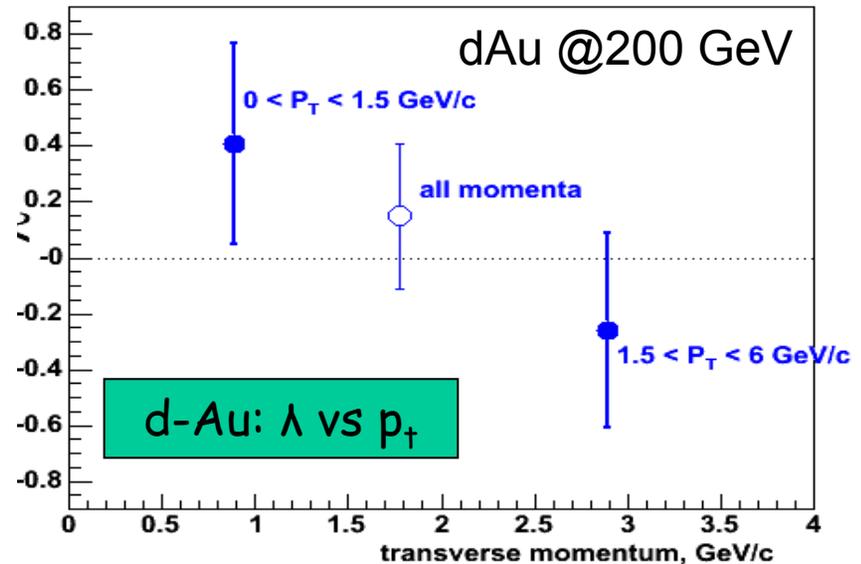
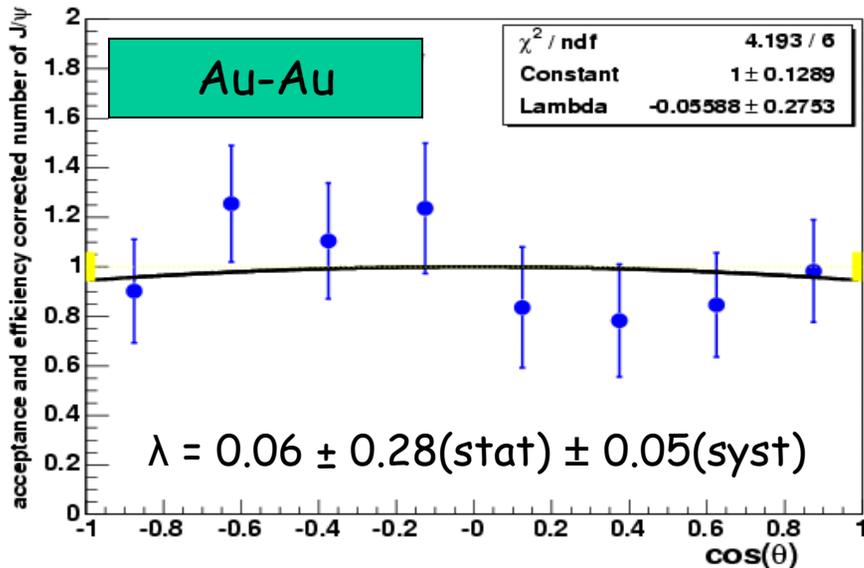
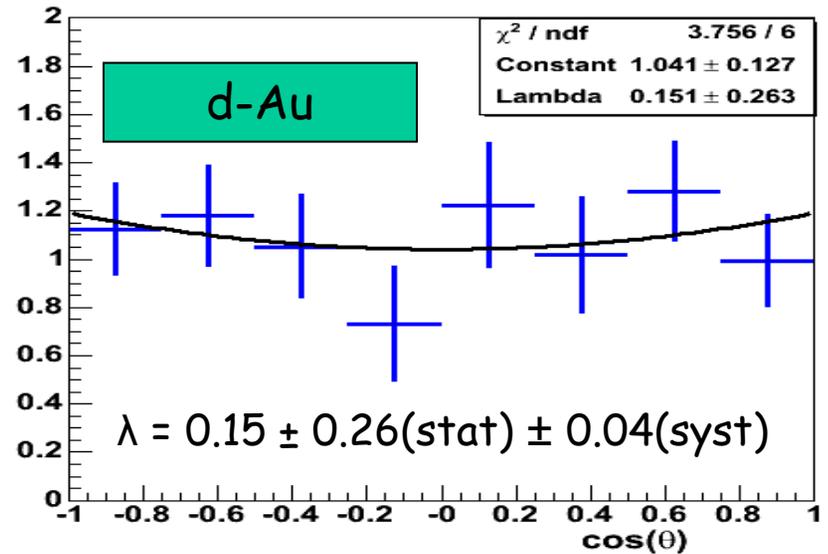
and even taking into account the initial transverse momentum of gluons, α remains significantly higher than zero



J/ψ polarization in PHENIX

- AuAu @ 200 AGeV, dAu @200 AGeV
- $J/\psi \rightarrow e^+ e^-$
- Central arm: $|\eta| < 0.35$, $p > 0.2$ GeV
- Low statistics
- Consistent with zero polarization
- $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ is under studies
- Larger statistics is expected

PHENIX



Methods for polarization measurements

3D-acceptance correction method (used in E866, NA60)

- Invariant mass distributions are plotted in bins of p_{T} , x_{F} and $\cos \theta$ and fitted to a Gaussian peak + background.
- The number of events under the peak give the triple-differential yield
- Uncorrected $\cos \theta$ distributions are plotted in each $(p_{\text{T}}, x_{\text{F}})$ bin
- 3D acceptance plot is calculated with predicted distribution in p_{T} , x_{F} and $\cos \theta$.
- Acceptance-corrected $\cos \theta$ distributions are obtained for each $(p_{\text{T}}, x_{\text{F}})$ bin
- $\cos \theta$ distributions are fitted with the function: $f(\cos \theta) = N(1 + \alpha \cos^2 \theta)$

Advantage: exact knowledge of the differential cross-section is not crucial

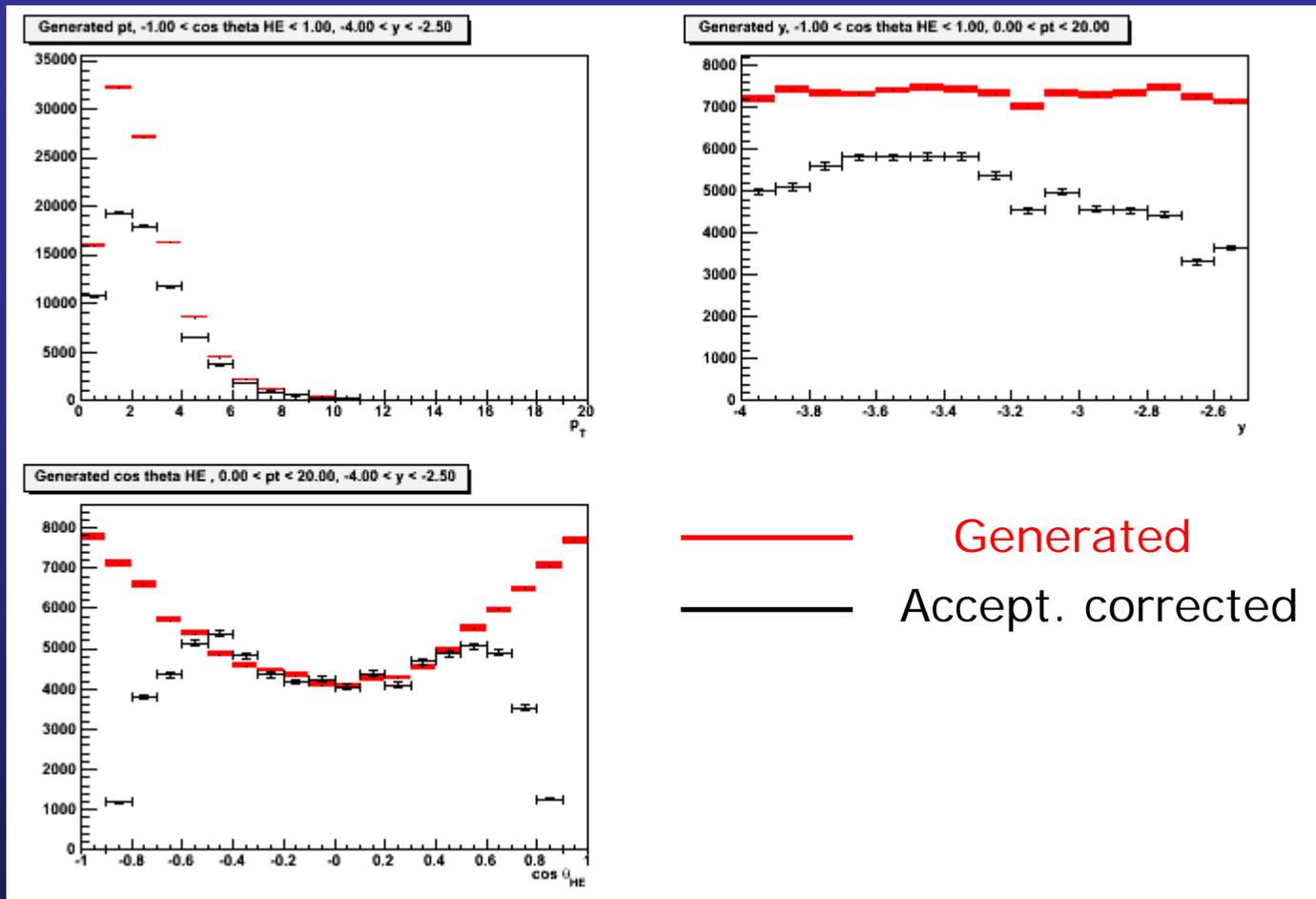
Requirement: significant statistics in each $(p_{\text{T}}, x_{\text{F}}$ and $\cos \theta)$ bin or negligible background

Inclusive acceptance correction (used in Phenix)

- In the case of low statistics polarization is measured inclusively in a wide kinematical range, where quarkonium cross-section changes significantly.
- Inclusive acceptance is calculated in this kinematical range with realistic kinematical distributions as an input.
- Acceptance-corrected $\cos \theta$ distributions are fitted with the function:
 $f(\cos \theta) = N(1 + \alpha \cos^2 \theta)$

Disadvantage: is sensitive to J/ψ kinematics. Non-negligible systematic error

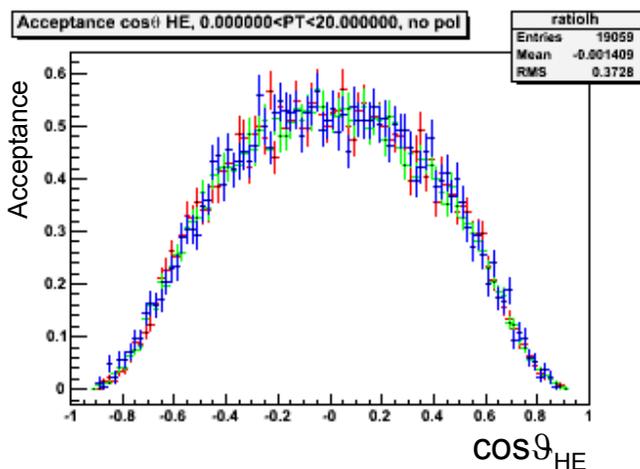
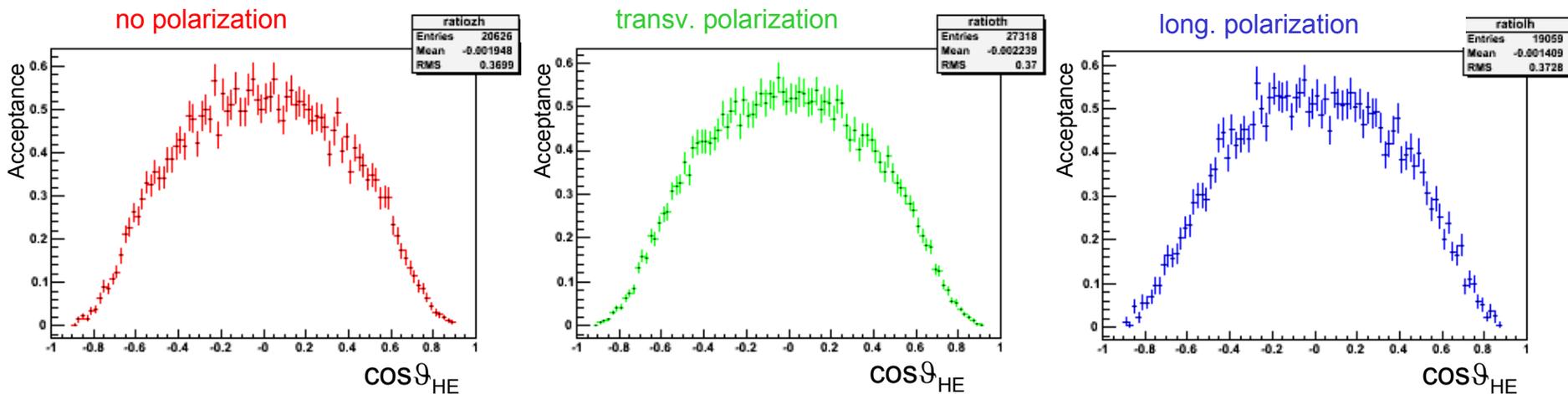
Acceptance corrected distributions (1)



- **Discrepancy** between generated and acceptance-corrected spectra
- Due to phase space regions with **zero acceptance**
- Define a **fiducial region**, cutting the zones where the acceptance is small

Acceptance vs. $\cos\vartheta$

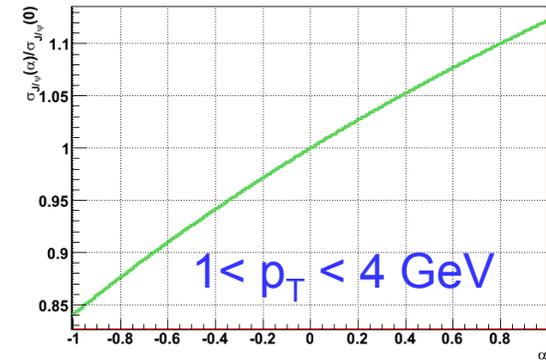
- J/Ψ generation with reasonable y and p_T distributions
- Polarization generated with respect to the helicity reference frame
- Tracking and reconstruction
- The $\cos\vartheta$ acceptance distribution is obtained from the ratio reconstructed / generated



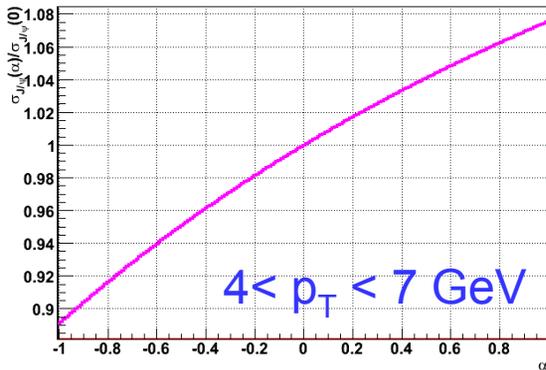
For a given y and p_T distribution of the J/ψ , the acceptance shape in the $\cos\theta$ variable should be independent of polarization if

- $\cos\theta$ bins are small enough
- smearing effects are not important

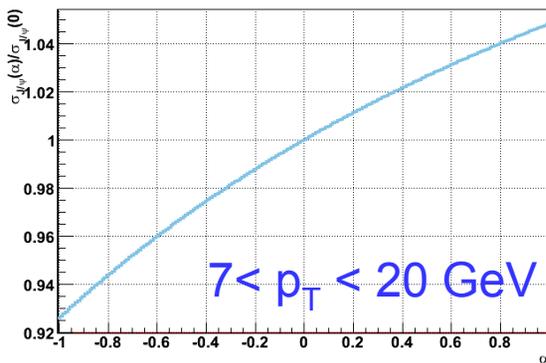
Systematic effect vs. p_T



$$\sigma_{J/\psi} = \sigma_0 \begin{matrix} +0.08\sigma_0 \\ -0.09\sigma_0 \end{matrix}$$

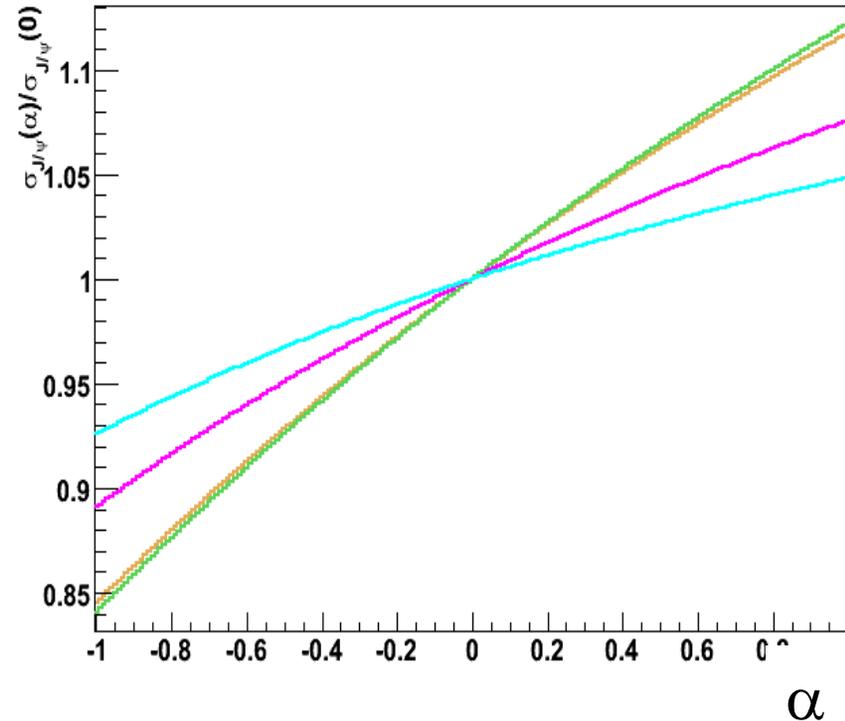


$$\sigma_{J/\psi} = \sigma_0 \begin{matrix} +0.05\sigma_0 \\ -0.06\sigma_0 \end{matrix}$$



$$\sigma_{J/\psi} = \sigma_0 \begin{matrix} +0.03\sigma_0 \\ -0.04\sigma_0 \end{matrix}$$

acceptance vs alpha



The systematic error due to the unknown degree of polarization decreases for high p_T values
 \rightarrow for high p_T the acceptance distribution does not show a strong dependence on $\cos\vartheta$