

# Mesure de la polarisation du gluon par l'intermédiaire de $A_{LL}(p_T)$ à COMPASS

Maxime Levillain

Superviseurs: Claude Marchand et Yann Bedfer

CEA Saclay - DSM/IRFU/SPhN

2 juillet 2014



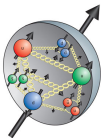
- Cursus:
  - École Centrale Paris (2009-2012)
  - En parallèle:
    - L3 de physique fondamentale à Orsay
    - M2 ...
- Contact:  
Offre de stage et de thèse à COMPASS par l'intermédiaire de  
Alain Magnon
- Motivations:  
C'est cool la physique de particules!!!

## 1 Contexte

- Le Spin des Gluons
- La Nouvelle Méthode
- L'Expérience

## 2 Analyse

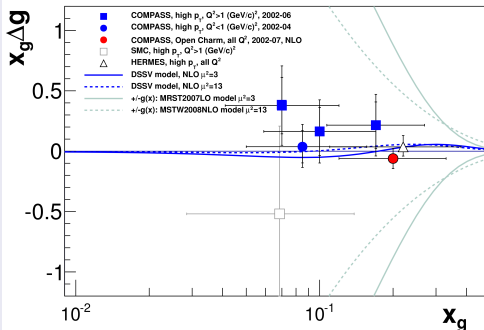
## 3 Comparaison avec la théorie



$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta G + L_q + L_g$$

$$\Delta\Sigma \approx 0.3 \rightarrow \Delta G?$$

## Mesures Directes de $\Delta G = \int_0^1 \Delta g(x) dx$



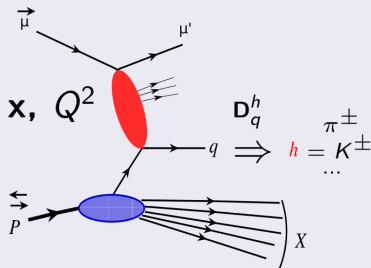
- faisceau de leptons polarisés à haute énergie (Hermes, SMC, COMPASS)

- $x_g \approx 0.1$
- exemples de distributions de  $g(x)$  et  $\Delta g(x)$

→ **besoin d'une mesure plus précise**

## SIDIS

$$\overleftarrow{\mu} \overleftrightarrow{p} \rightarrow \mu' h^\pm X$$



## Variables Usuelles

- $P, k, k'$  impulsion du nucléon et des muons
- $Q^2 = -(k - k')^2$  virtualité du photon  $\rightarrow$  échelle dure
- $x_{Bj} = Q^2/2\nu M_p$  fraction de l'impulsion portée par le parton
- $z = E_h/E_\mu$  fraction de l'énergie portée par le hadron

## Variables pour le Nouvelle Méthode

- $p_T$  impulsion transverse d'un hadron  $\rightarrow$  échelle dure
- $\eta_{cms} = -\log(\tan \theta/2) - 1/2 \log(2E/M)$  pseudo-rapacité d'un hadron

# Nouvelle et Anciennes Méthodes

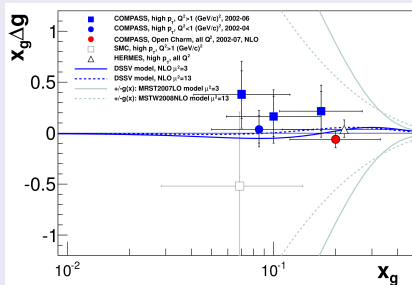
## Anciennes Méthodes

- principalement LO
- *charme ouvert ou grand  $p_T$*
- *leading pairs de hadrons*

## Nouvelle Méthode

- pQCD colinéaire à **NLO**
- *grands  $p_T$*
- tous les hadrons

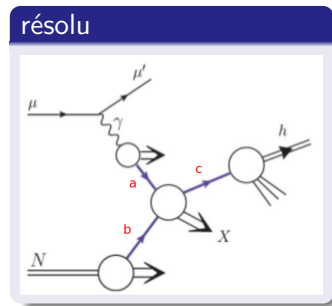
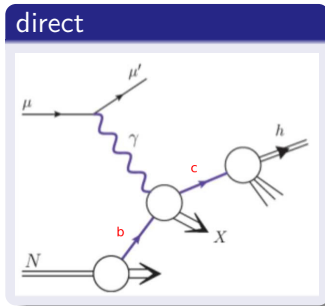
## Ensemble des Mesures Directes de $\Delta G$



- Sections efficaces partoniques NLO calculables:

$$\frac{d\Delta\sigma^h}{d\sigma^h}(p_T, \eta) = \frac{\sum_{a,b,c} \Delta f_a^\mu \otimes \Delta f_b^N \otimes d\Delta\hat{\sigma}_{a,b \rightarrow c, X} \otimes D_c^h}{\sum_{a,b,c} f_a^\mu \otimes f_b^N \otimes d\hat{\sigma}_{a,b \rightarrow c, X} \otimes D_c^h} = \frac{d\Delta\sigma_{dir} + d\Delta\sigma_{res}}{d\sigma_{dir} + d\sigma_{res}}$$

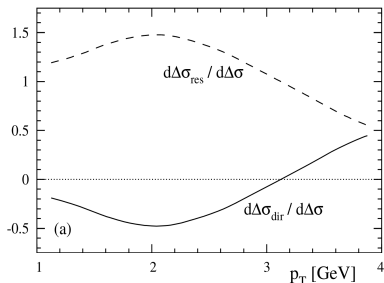
- Processus en jeu:



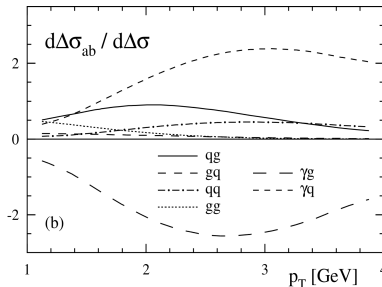
- Sections efficaces dépendants des **gluons** et des **quarks**

# Contribution des différents processus

## processus directs et résolus



## sous-processus



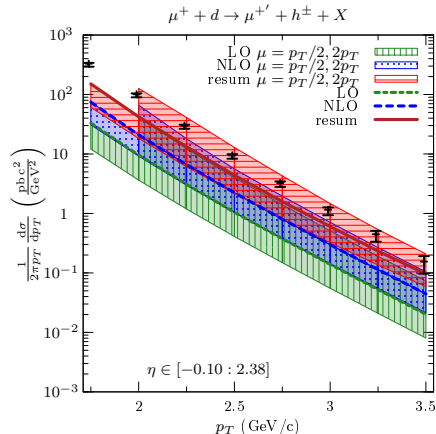
- Compensation du QCD Compton ( $\gamma q$ ) processus et du PGF ( $\gamma g$ ) processus

→ ce qui rend les asymétries plus sensibles aux processus résolus (en particulier à bas  $p_T$ )



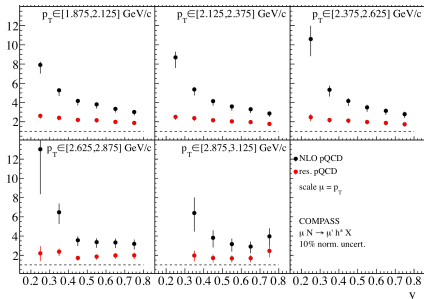
# Section Efficace Non-Polarisée

- Test d'applicabilité de la théorie au domaine cinématique de COMPASS:  $\sqrt{s} \approx 18 \text{ GeV}$

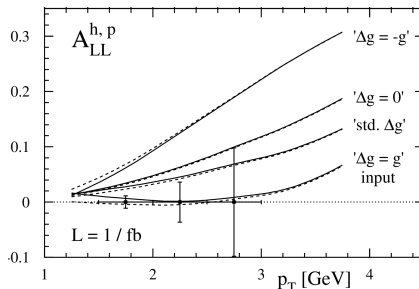
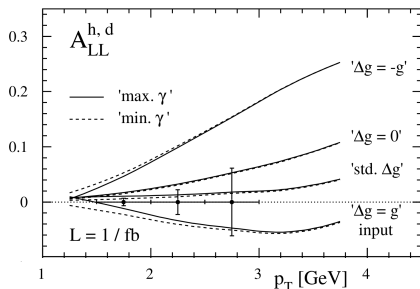


⇒ Compatibilité après resommation des gluons  
(*leading logarithm order*)

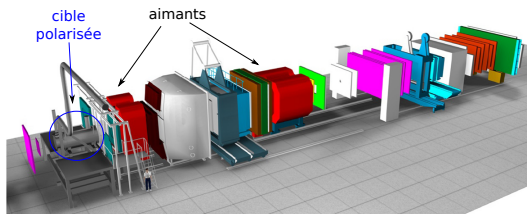
- Résultats expérimentaux et théoriques incompatible, en particulier à bas  $y$  ( $= \frac{E-E'}{E}$ )



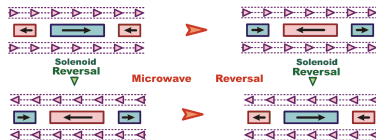
- Mesure de l'Asymétrie de Spin en bin de  $p_T$  (et de  $\eta$ )
- Fit des courbes théoriques de sections efficaces polarisées paramétrées par la valeur de  $\Delta G$
- $A_{LL}^d$  and  $A_{LL}^p$  pour différents  $\Delta G$ :  
calcul avec une projection d'erreur pour  $1fb^{-1}$



→ Un pouvoir de **discrimination** sur la valeur de  $\Delta G$



- faisceau polarisé de  $\mu^+$  du SPS à 160 ou 200 GeV
- spectromètre à 2 étages et grande acceptance
- cible polarisée à 2 (2002-2004) ou 3 (2006-2011) cellules
- 2 types de renversement de polarisation
- cible de:
  - **deutons** ( ${}^6\text{LiD}$ ) de 2002 à 2006
  - **protons** ( $\text{NH}_3$ ) de 2007 à 2011



- 1 Contexte
- 2 Analyse
  - Méthode
  - Data Grouping
  - Erreurs systématiques
  - Résultats
- 3 Comparaison avec la théorie



# Extraction de l'Asymétrie de Spin

- Les asymétries de spin reposent sur le comptage des hadrons par cellule captés par le spectromètre:

$$N_x = \phi a_x n_x \sigma_0 (1 + (\mathbf{f} \cdot \mathbf{P}_\mu \cdot \mathbf{P}_x) A_{LL}) \rightarrow A_{raw} = \frac{N_u - N_d}{N_u + N_d}$$

- Pour supprimer au mieux les défauts d'acceptances, une méthode au 2ème ordre est utilisée:

$$\delta = \frac{N_u \cdot N_{d'}}{N_d \cdot N_{u'}} \approx \frac{(1 + \langle \beta_u \rangle A_{LL})(1 + \langle \beta_{d'} \rangle A_{LL})}{(1 + \langle \beta_d \rangle A_{LL})(1 + \langle \beta_{u'} \rangle A_{LL})} \quad \begin{aligned} \beta_x &= \mathbf{w} \cdot \mathbf{P}_{target,x} \\ &= \mathbf{f} \cdot \mathbf{P}_\mu \cdot \mathbf{P}_{target,x} \end{aligned}$$

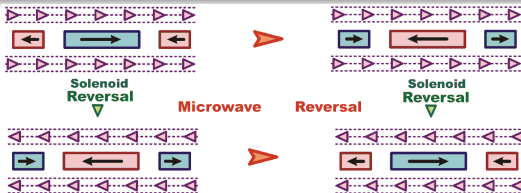
→ ce qui amène à une équation du second degré.

- En prenant le poids  $\mathbf{w}$ , on peut optimiser statistiquement  $\langle A_{LL} \rangle$ :

$$\delta = \frac{\sum \mathbf{w}_u \cdot \sum \mathbf{w}_{d'}}{\sum \mathbf{w}_d \cdot \sum \mathbf{w}_{u'}} \approx \frac{(1 + \langle \beta_u \rangle_{\mathbf{w}} \cdot A_{LL})(1 + \langle \beta_{d'} \rangle_{\mathbf{w}} \cdot A_{LL})}{(1 + \langle \beta_d \rangle_{\mathbf{w}} \cdot A_{LL})(1 + \langle \beta_{u'} \rangle_{\mathbf{w}} \cdot A_{LL})}$$

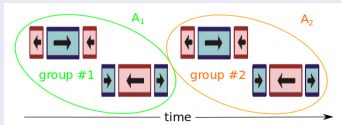
$$\rightarrow \frac{\sigma_{A_{\mathbf{w}}}}{\sigma_{A_{st}}} \approx \sqrt{\frac{\langle \mathbf{w} \rangle^2}{\langle \mathbf{w}^2 \rangle}}$$

# Data Grouping et Défauts d'acceptance



## Rotation du champ magnétique

- $\sim$  une fois par jour
- enlève les défauts d'acceptances entre les états de spin
- asymétries calculées avec 2 groupes consécutifs ( $A_i$ )  
→ Annule certaines instabilités de long terme



## Renversement micro-onde

- $\sim$  une fois par an
- enlève les corrélations entre le champ magnétique et les états de spin
- $A_+$ ,  $A_-$  calculées pour chaque année ( $\langle A_{i+} \rangle$  and  $\langle A_{i-} \rangle$ )

$$A_{LL} = \frac{A_+ + A_-}{2}$$

# Asymétries non physiques

- Asymétries de fausse configuration  
→ asymétrie de l'appareillage

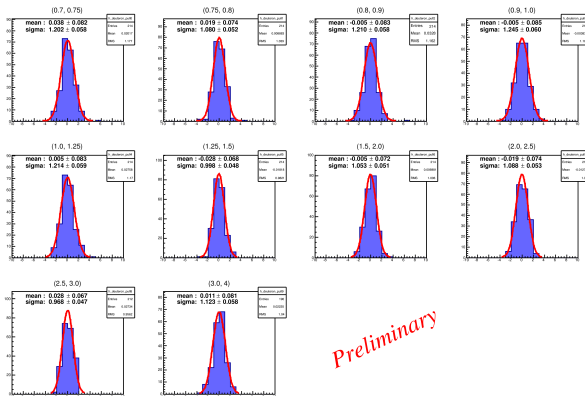


- Asymétries Gauche-Droite & Haut-Bas  
→ anisotropie d'efficacité du spectromètre
- Asymétries Cellule Amont - Cellule Aval  
→ défauts d'acceptance et inhomogénéité de polarisation de la cible
- Asymétries Jour-Nuit  
→ dilatation thermique and fluctuation du bruit électronique

⇒ Pas de fausses asymétries détectées

Étude de la déviation entre la distribution d'asymétrie normée et centrée avec une distribution normale  $\Delta r = \frac{A_i - \bar{A}}{\sigma_A^{stat}}$

$\Delta r$  pour 10  
 $p_T$ -bin



$\Rightarrow$  Systematiques du même ordre de grandeur que les erreurs statistiques

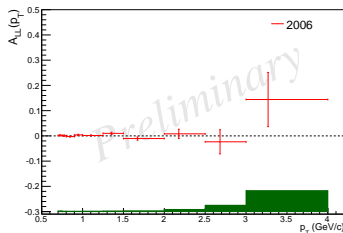
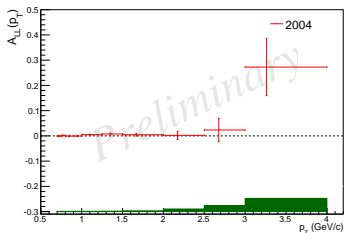
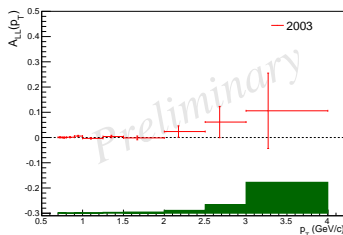
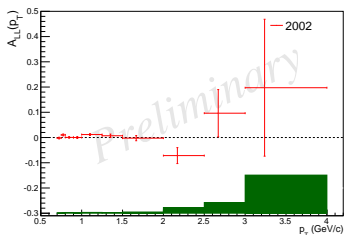


$$A_{LL} = \frac{1}{\langle f P_\mu \rangle P_t} A_{raw}$$
$$\Delta A_{LL}^{mult} = A_{LL} \sqrt{\left(\frac{dP_\mu}{P_\mu}\right)^2 + \left(\frac{dP_t}{P_t}\right)^2 + \left(\frac{df}{f}\right)^2}$$

Polarisation du faisceau	$dP_b/P_b$	5%
Polarisation de la cible	$dP_t/P_t$	5%
Facteur de dilution	$df/f$	2%
Total	$\Delta A^{mult}$	$\approx 0.07 A_{LL}$

⇒ Les erreurs multiplicatives restent très faibles ( $A_{LL} < 0.2$ )

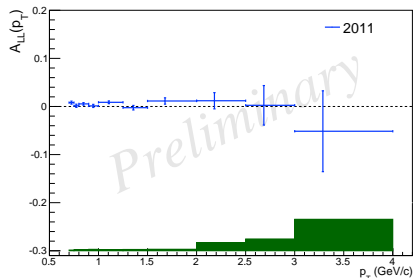
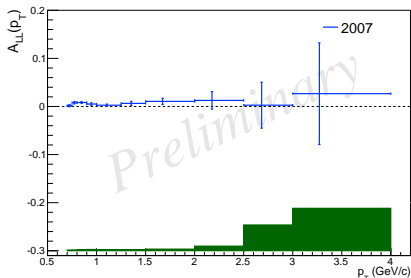
# Résultats par année pour le Deuterium: 2002-2006



$p_T$	0.7 – 0.75	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0 – 4.0	total	
$\chi^2/3$ (ndf)	1.34	6.12	1.62	4.30	13.7	0.85	3.13	6.53	1.78	1.02	40.36/30

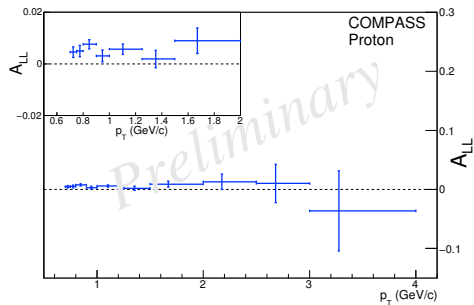
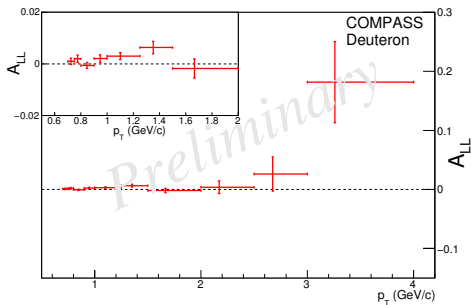
Table :  $\chi^2$  de compatibilité entre les années

# Résultats par année pour le Proton: 2007 et 2011



$p_T$	0.7 – 0.75	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0 – 4.0	total	
$\chi^2/1$ (ndf)	2.20	2.38	0.74	0.89	2.67	2.02	0.01	0.01	0.00	0.34	11.74/10

Table :  $\chi^2$  de compatibilité entre les années



- Asymétries compatibles avec 0 dans l'ensemble, à l'exception de:
  - haut  $p_T$  pour  $A_{LL}^d$
  - bas  $p_T$  pour  $A_{LL}^p \rightarrow$  asymétrie attendue et présente dans d'autres analyses

- 3 paramétrisations avec différents  $\Delta G$ :

$$d\Delta\sigma^h = \sum_{a,b,c} \Delta q_a^H \otimes \Delta q_b^N \otimes d\hat{\Delta}\sigma_{a,b \rightarrow c, X} \otimes D_c^h$$



GRSV min

$\Delta G = -4.5$



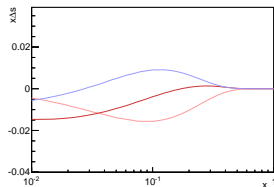
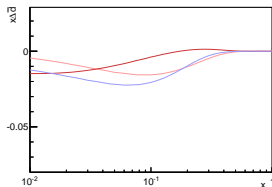
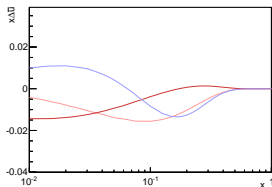
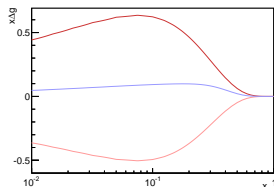
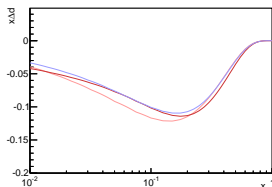
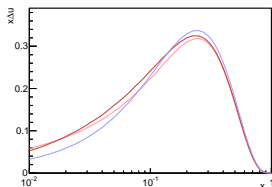
GRSV max

$\Delta G = 5.1$

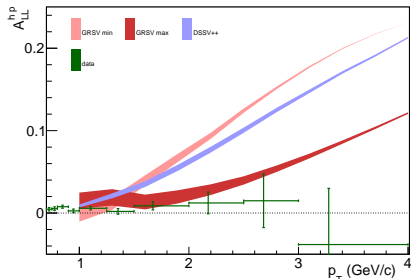
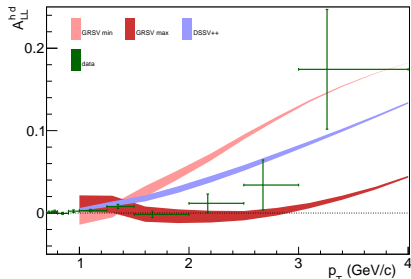


DSSV++

$\Delta G = 0.2$



# Comparaison des résultats avec la théorie



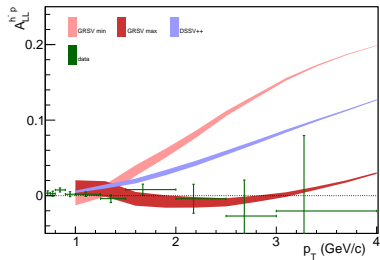
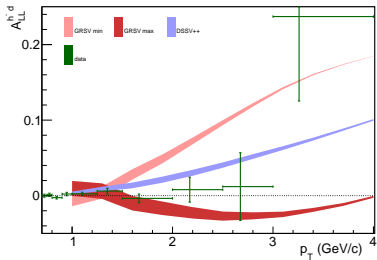
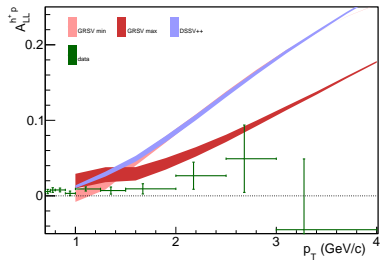
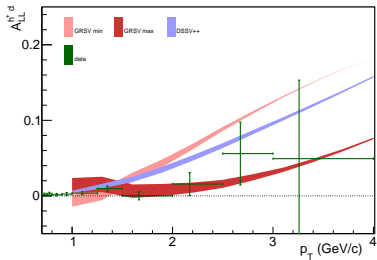
- Calculs incomplets fait à NLO sans resommation des gluons
- Indication potentielle d'un  $\Delta G$  positif pour  $A_{LL}^d$
- Pas encore d'explication d'incompatibilité entre proton et deuterium

- Extraction de  $A_{LL}$  pour toutes les données de COMPASS 2002-2006 pour  $A_{LL}^d$  et 2007 et 2011 pour  $A_{LL}^p$
- $A_{LL}^{\pi^+}$ ,  $A_{LL}^{\pi^-}$ ,  $A_{LL}^{k^+}$  et  $A_{LL}^{k^-}$  en attente de vérification
- Calculs théoriques des sections efficaces polarisées avec resommation des gluons en cours

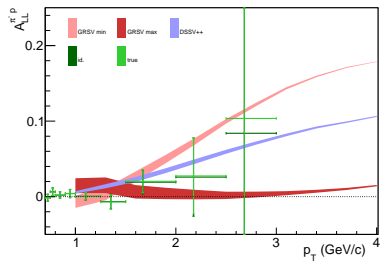
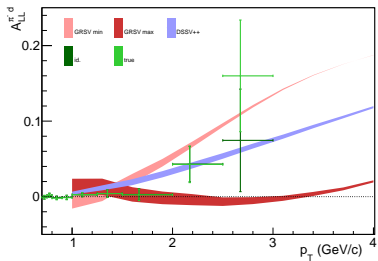
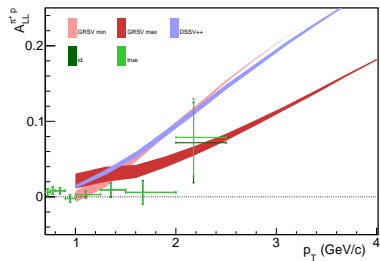
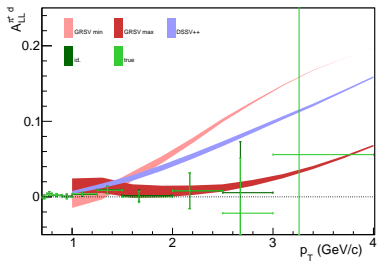
Merci pour votre attention!



# Asymétries avec séparation des charges



# Asymétries $\pi^+$ et $\pi^-$



# Asymétries $k^+$ et $k^-$

