

- Plasma de Quarks et de Gluons
- Collisions d'ions lourds (ultra-)relativistes
- ALICE au LHC
- Saveurs lourdes
- Quarkonia
- Conclusion et perspectives

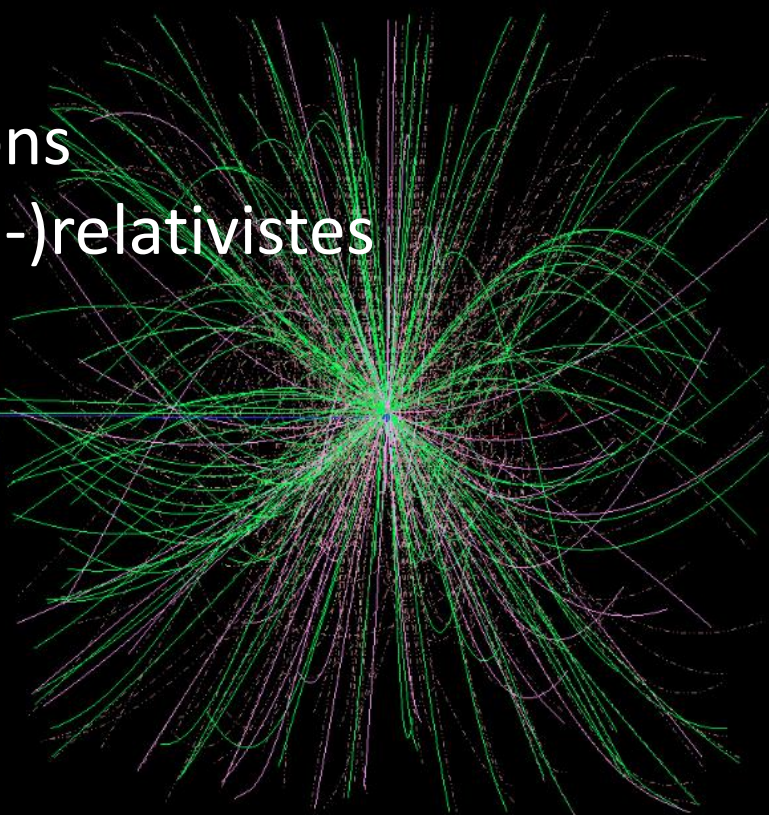
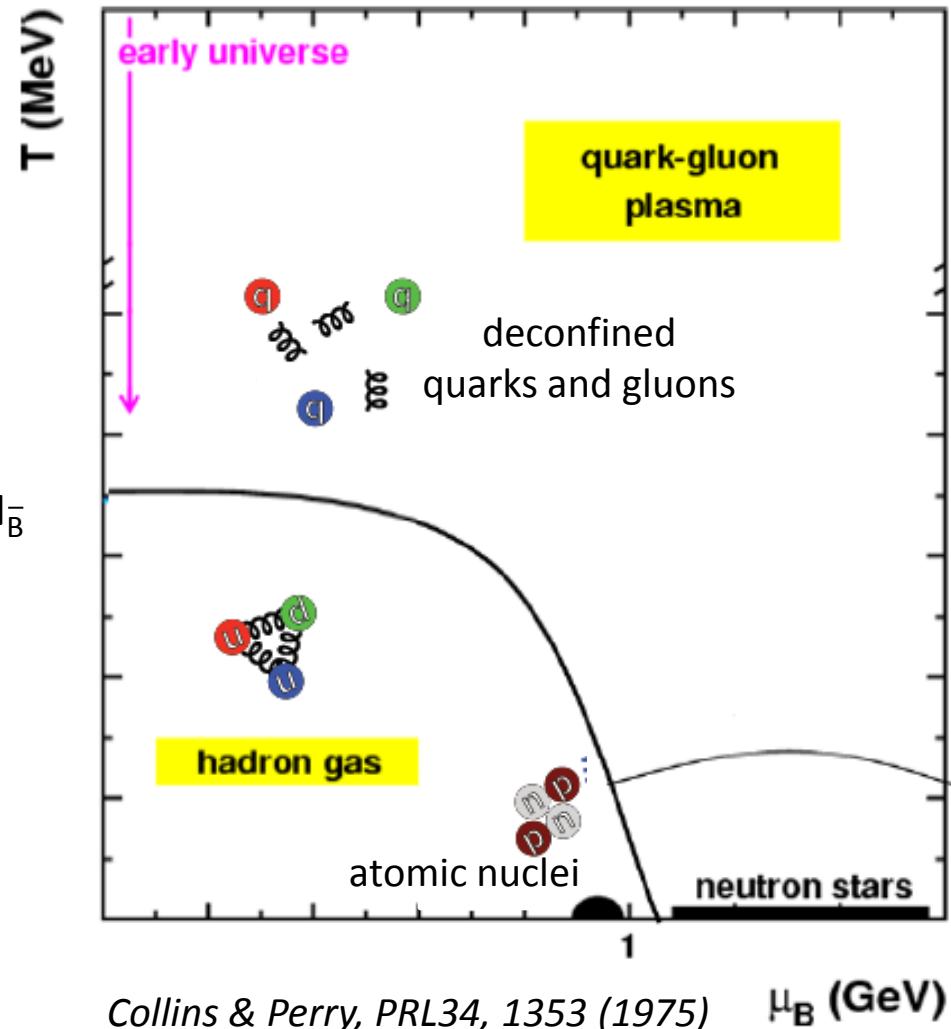


Diagramme de phase de la matière nucléaire

- Etudier les propriétés d'un corps composé d'un grand nombre de particules interagissant par interaction forte
- Variables thermodynamiques:
 - Température: T
 - Potentiel chimique baryonique: $\mu_B \sim N_B - N_{\bar{B}}$
- 4 phases:
 - Liquide: noyaux ($T \approx 0$, $\mu_B \approx 0.97$ GeV)
 - Solide: étoiles à neutrons ($T \approx 0$, $\mu_B \geq 1.3$ GeV)
 - Gaz de hadrons (low T , low μ_B)
 - Plasma de Quarks et de Gluons (PQG) (high T , high μ_B)



Collins & Perry, PRL34, 1353 (1975)

Cabibbo & Parisi, PLB59, 67 (1975)

μ_B (GeV)

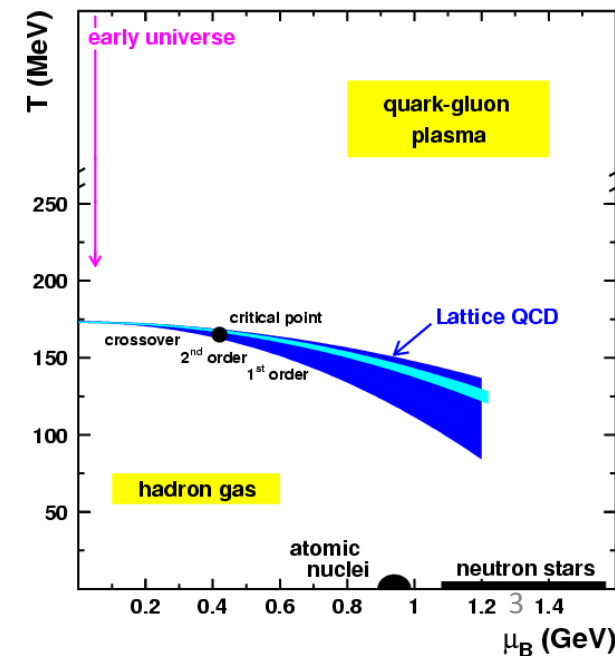
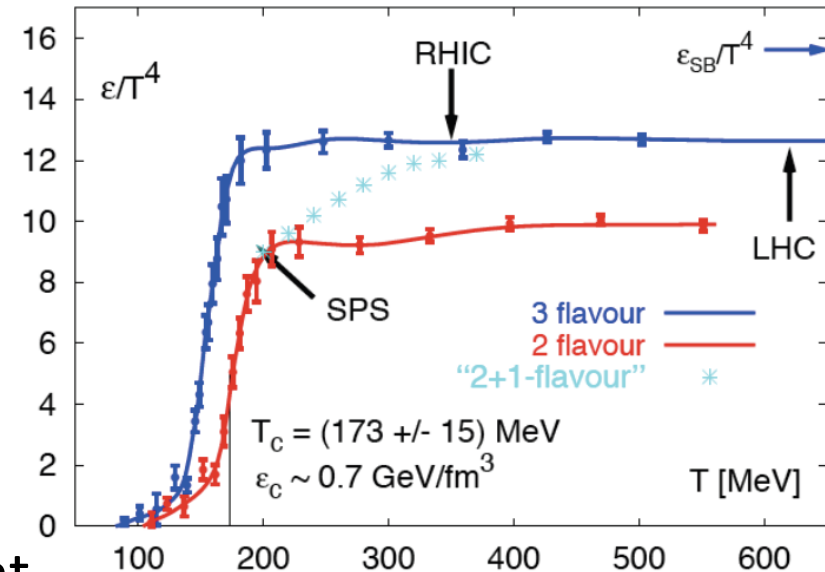
Prédiction du déconfinement par la QCD sur réseaux

- QCD sur réseaux (lattice QCD):
Discrétisation de l'espace-temps
→ résolution numérique des équations QCD
- Paramètre d'ordre: ϵ/T^4
(ϵ densité d'énergie du système)
- Le paramètre d'ordre en fonction de la température augmente jusqu'à la température critique de changement de phase puis devient constant

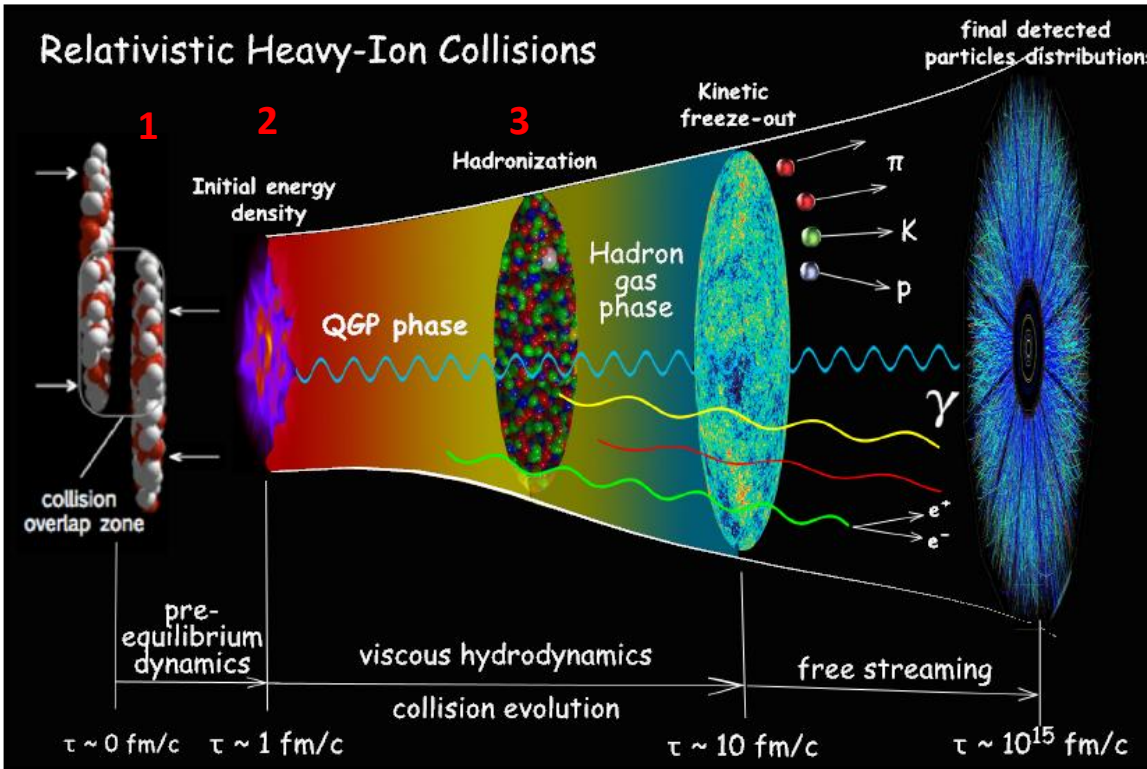
F. Karsch, Lect. Notes Phys. 583 (2002) 209

F. Karsch, Nucl. Phys. A 698 (2002) 199

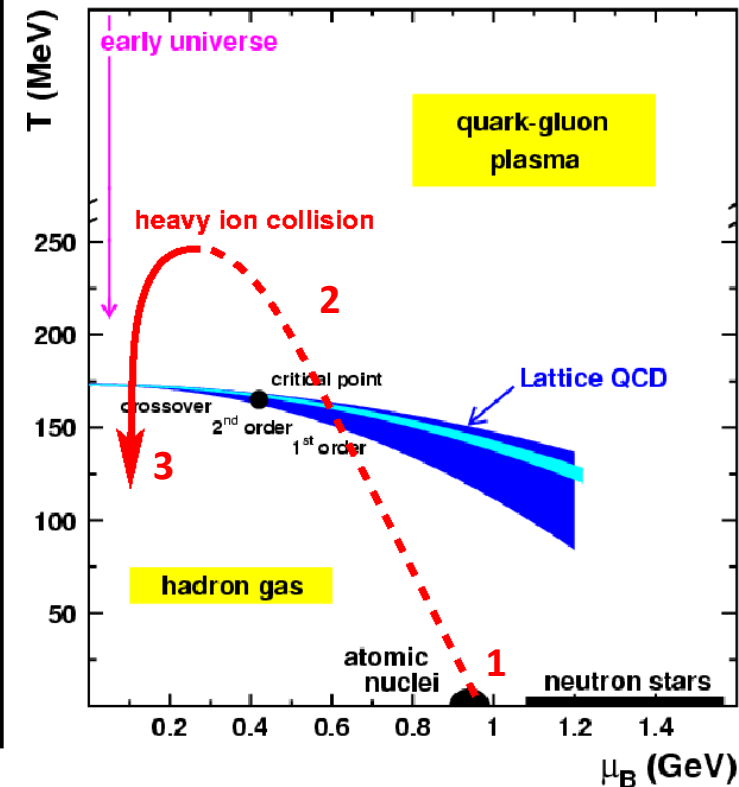
- Prédictions de la QCD sur réseaux:
 - $\mu_B = 0$ GeV , $T_c \approx 175$ MeV (crossover)
 - $\mu_B \geq 0$ GeV , incertitudes importantes, point critique, ordre de la transition non connu



Le PQG dans les collisions d'ions lourds



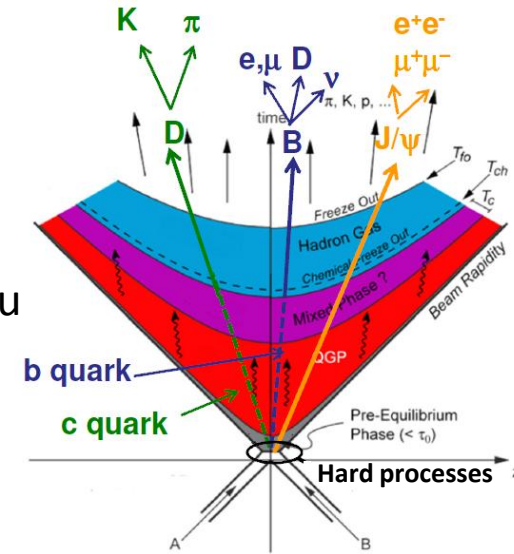
J. D Bjorken, PRD27, 140 (1983)



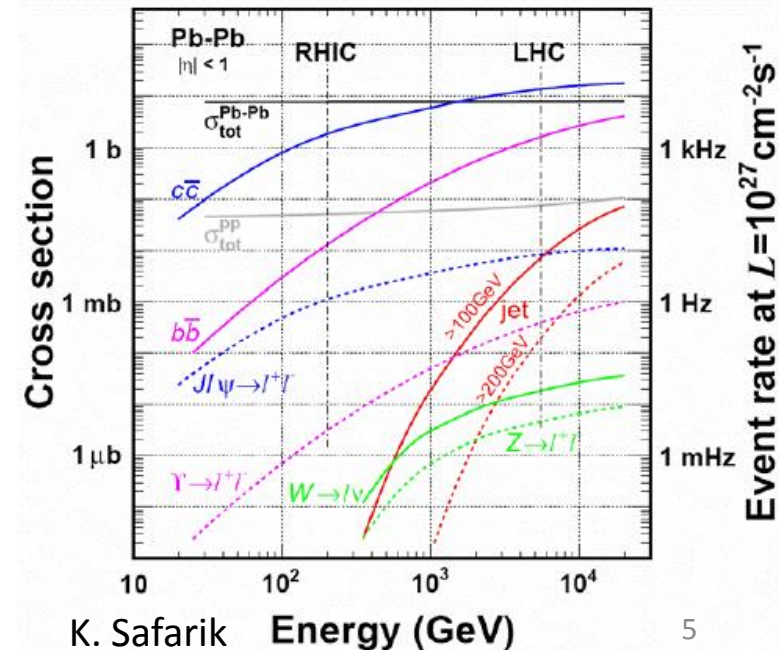
- Les faisceaux d'ions lourds permettent de concentrer une grande quantité d'énergie dans un volume important de matière nucléaire
- Paramètres clés:
 - Energie dans le centre de masse nucléon-nucléon $\rightarrow \sqrt{s_{NN}}$
 - Centralité de la collisions (centrales, périphériques)
 - $\rightarrow$ étendue de la zone de « contact » entre les noyaux lors de la collision
- Plus l'énergie et la centralité sont importantes plus il est probable de créer le PQG⁴

Sonder le PQG avec les saveurs lourdes

- Quarks lourds → produits dans les premiers instants de la collision
($\tau_{\text{production}} \sim 1/m_Q \sim 0.05\text{-}0.15 \text{ fm}/c$)
- Les quarks lourds interagissent avec le milieu créé lors de la collision
→ Mesurer les saveurs lourdes (b,c, B,D) → informations sur le milieu
- Etats liés de quarks lourds → produits avant le PQG ou dans les PQG
→ Les quarkonia (J/ψ , Υ ...) devraient interagir avec le milieu
→ Mesurer les quarkonia devrait apporter des informations



- LHC → production importante de saveurs lourdes:
 - $\sigma_c(\text{LHC}) \sim \sigma_c(\text{RHIC}) \times 10$
 - $\sigma_b(\text{LHC}) \sim \sigma_b(\text{RHIC}) \times 100$
 - $\sigma_{J/\psi}(\text{LHC}) \sim \sigma_{J/\psi}(\text{RHIC}) \times 10$
 - $\sigma_\Upsilon(\text{LHC}) \sim \sigma_\Upsilon(\text{RHIC}) \times 100$



Les accélérateurs pour produire le PQG

➤ Super Proton Synchrotron (CERN):

- 1994-2003: NA44, NA45, NA49, NA50/60, NA52, WA97/NA57, WA98
- Différents systèmes sur cible fixe
- Energie maximum $\rightarrow \sqrt{s_{NN}} = 17 \text{ GeV} / c$
- $T_{\text{PQG}}/T_c \leq 1.1$

➤ Relativistic Heavy Ion Collider (BNL):

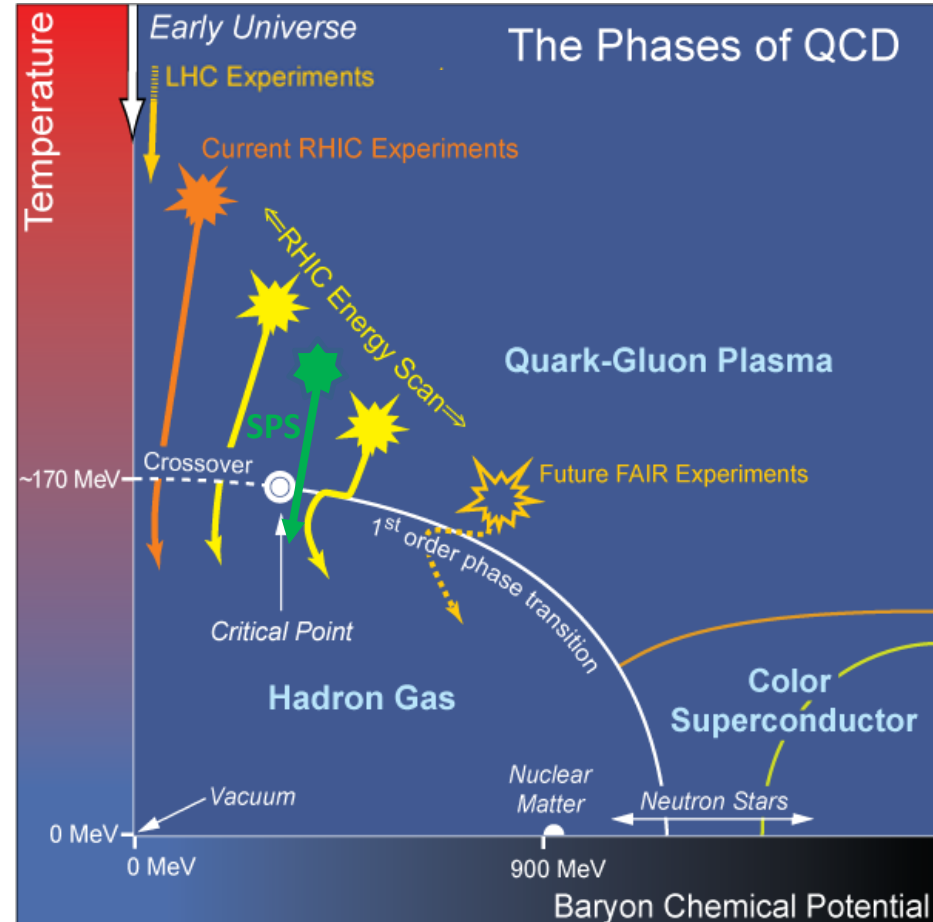
- STAR, PHENIX, BRAHMS, PHOBOS
- Collisions Au-Au: $\sqrt{s_{NN}}$ en GeV

	200	130	62.4	39	27	19.6	11.5	7.7
2001-2007	x	x	x			x		
2010-2011	x		x	x	x	x	x	x

- $T_{\text{PQG}}/T_c \leq 1.9$

➤ Large Hadron Collider (CERN):

- ALICE, CMS, ATLAS
- PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$
- $T_{\text{PQG}}/T_c \sim 3-5$



Collisions hadroniques au LHC

Année	Système	Energie $\sqrt{s_{NN}}$ (TeV)
2009	pp	0.9
2009	pp	2.36
2010	pp	7
2010	PbPb	2.76
2011	pp	7
2011	PbPb	2.76
2012	pp	8
Jan. 2013	pPb	5.02
2013-2014	Long Shut down (LS1)	

→20 Nov. premières collisions

→30 Nov. record mondial d'énergie

→8 Nov.-7 Dec. premières collisions PbPb

→21 Avril record mondial de luminosité

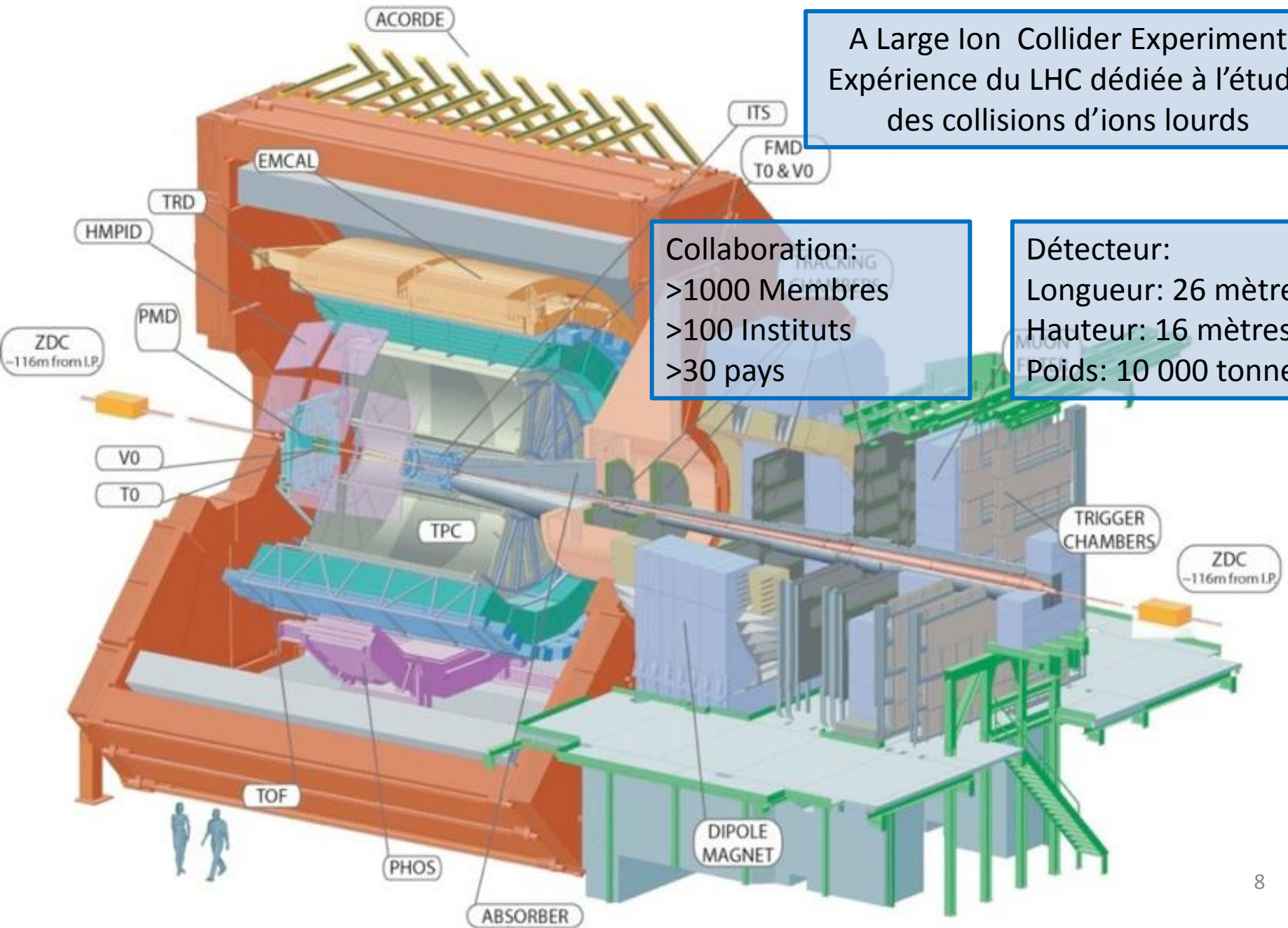
→12 Nov.-8 Dec. PbPb haute luminosité

La collaboration et le détecteur ALICE

A Large Ion Collider Experiment
Expérience du LHC dédiée à l'étude
des collisions d'ions lourds

Collaboration:
>1000 Membres
>100 Instituts
>30 pays

Détecteur:
Longueur: 26 mètres
Hauteur: 16 mètres
Poids: 10 000 tonnes



Le détecteur ALICE

Partie centrale

ITS: reconstruction des vertex d'interaction

ITS, TPC, TRD: trajectographie

TPC, TOF, HMPID: particules chargées ID

TRD: électrons ID et trajectographie

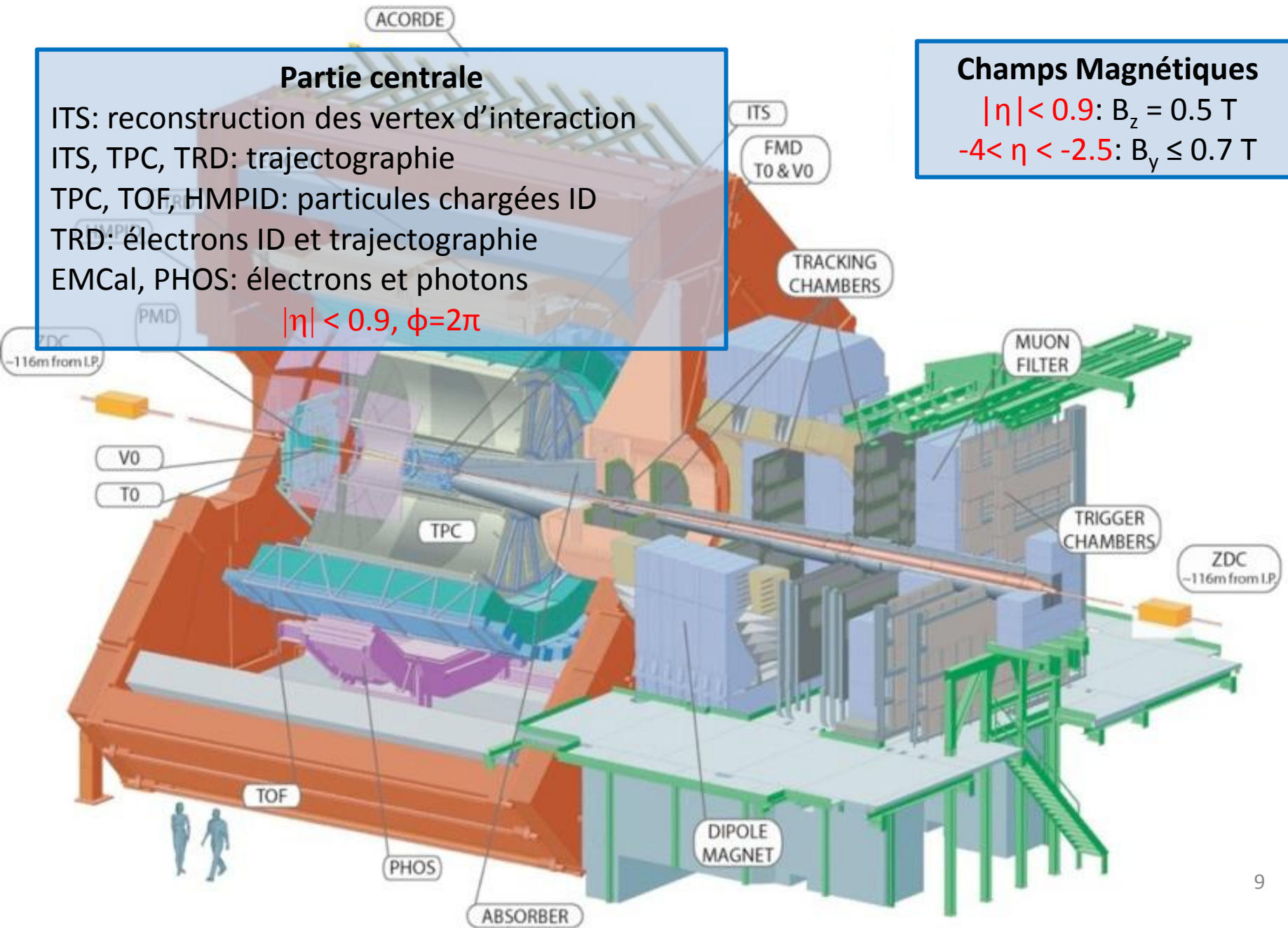
EMCal, PHOS: électrons et photons

$$|\eta| < 0.9, \phi = 2\pi$$

Champs Magnétiques

$$|\eta| < 0.9: B_z = 0.5 \text{ T}$$

$$-4 < \eta < -2.5: B_y \leq 0.7 \text{ T}$$



Le détecteur ALICE

Partie centrale

ITS: reconstruction des vertex d'interaction

ITS, TPC, TRD: trajectographie

TPC, TOF, HMPID: particules chargées ID

TRD: électrons ID et trajectographie

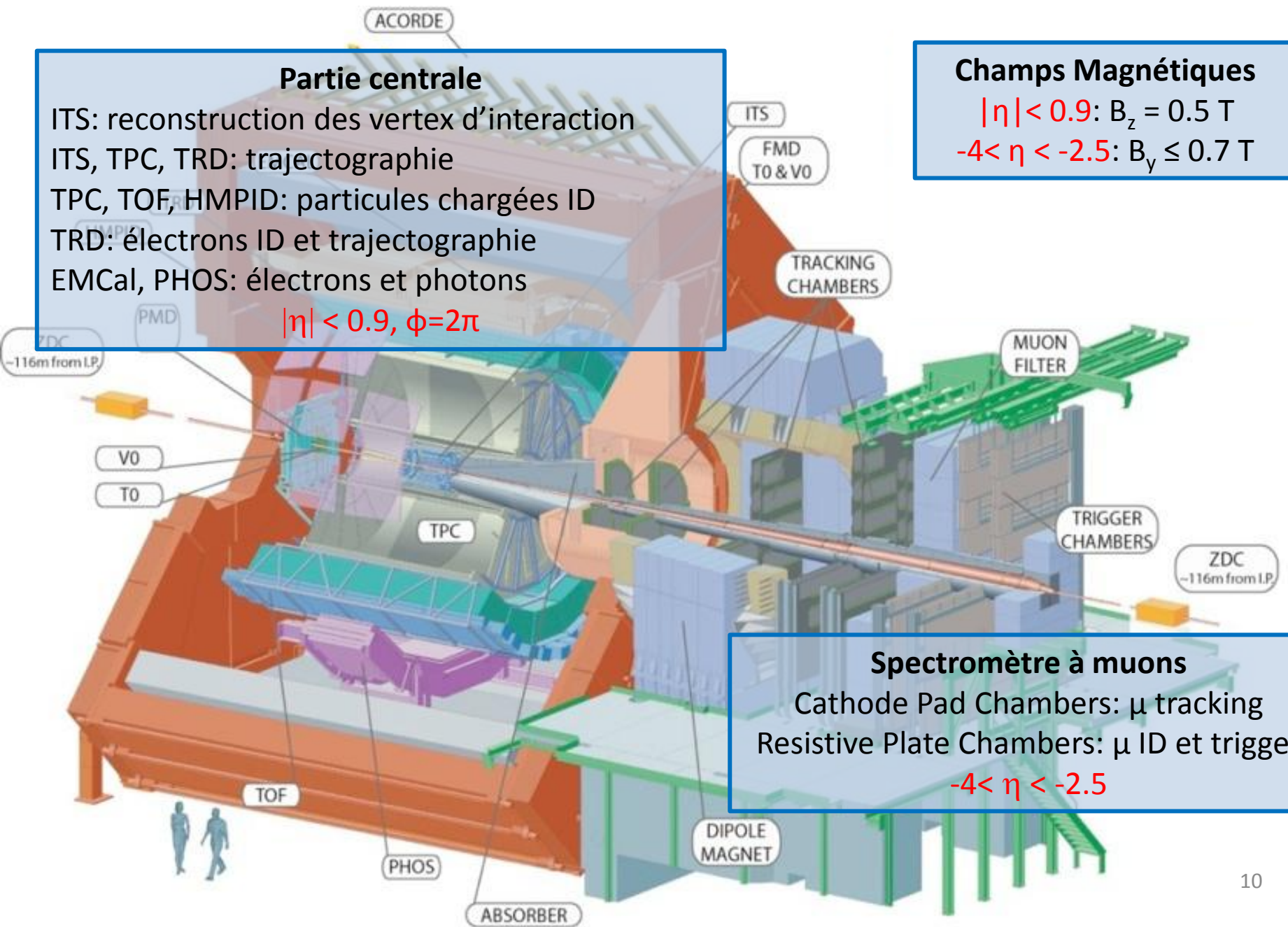
EMCal, PHOS: électrons et photons

$$|\eta| < 0.9, \phi = 2\pi$$

Champs Magnétiques

$$|\eta| < 0.9: B_z = 0.5 \text{ T}$$

$$-4 < \eta < -2.5: B_y \leq 0.7 \text{ T}$$



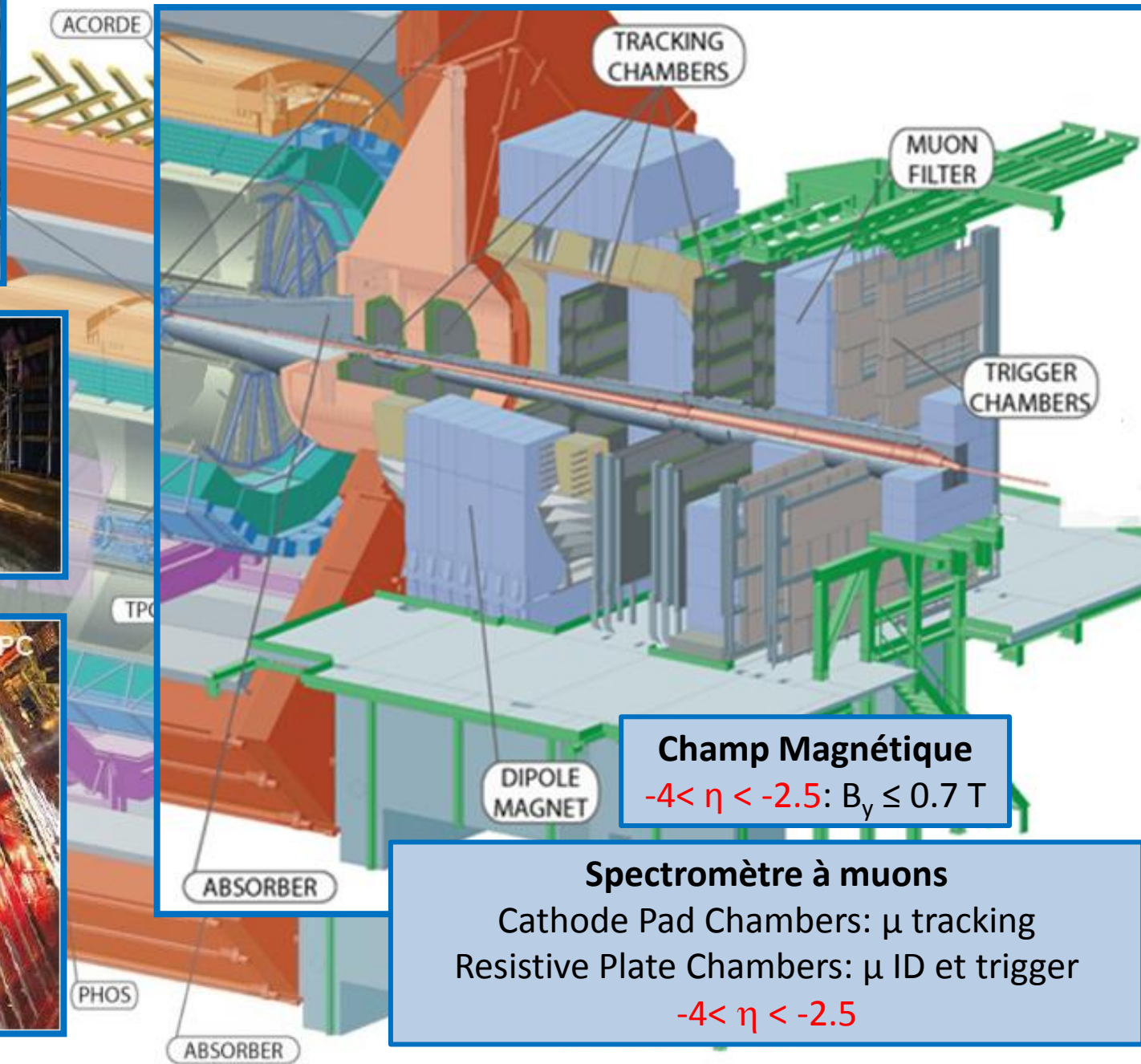
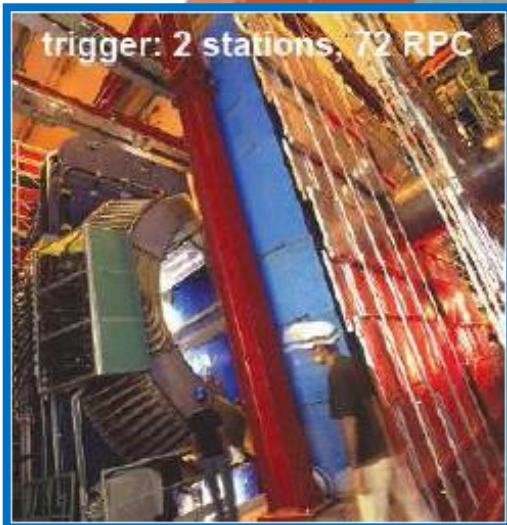
Spectromètre à muons

Cathode Pad Chambers: μ tracking

Resistive Plate Chambers: μ ID et trigger

$$-4 < \eta < -2.5$$

Le détecteur ALICE



Champ Magnétique

$$-4 < \eta < -2.5: B_y \leq 0.7 \text{ T}$$

Spectromètre à muons

Cathode Pad Chambers: μ tracking

Resistive Plate Chambers: μ ID et trigger

$$-4 < \eta < -2.5$$

Le détecteur ALICE

Partie centrale

ITS: reconstruction des vertex d'interaction

ITS, TPC, TRD: trajectographie

TPC, TOF, HMPID: particules chargées ID

TRD: électrons ID et trajectographie

EMCal, PHOS: électrons et photons

$$|\eta| < 0.9, \phi = 2\pi$$

Champs Magnétiques

$$|\eta| < 0.9: B_z = 0.5 \text{ T}$$

$$-4 < \eta < -2.5: B_y \leq 0.7 \text{ T}$$

Détecteurs de petite acceptance

Déclenchement et tâches spécifiques

T0 (timing), V0, ZDC (centrality),

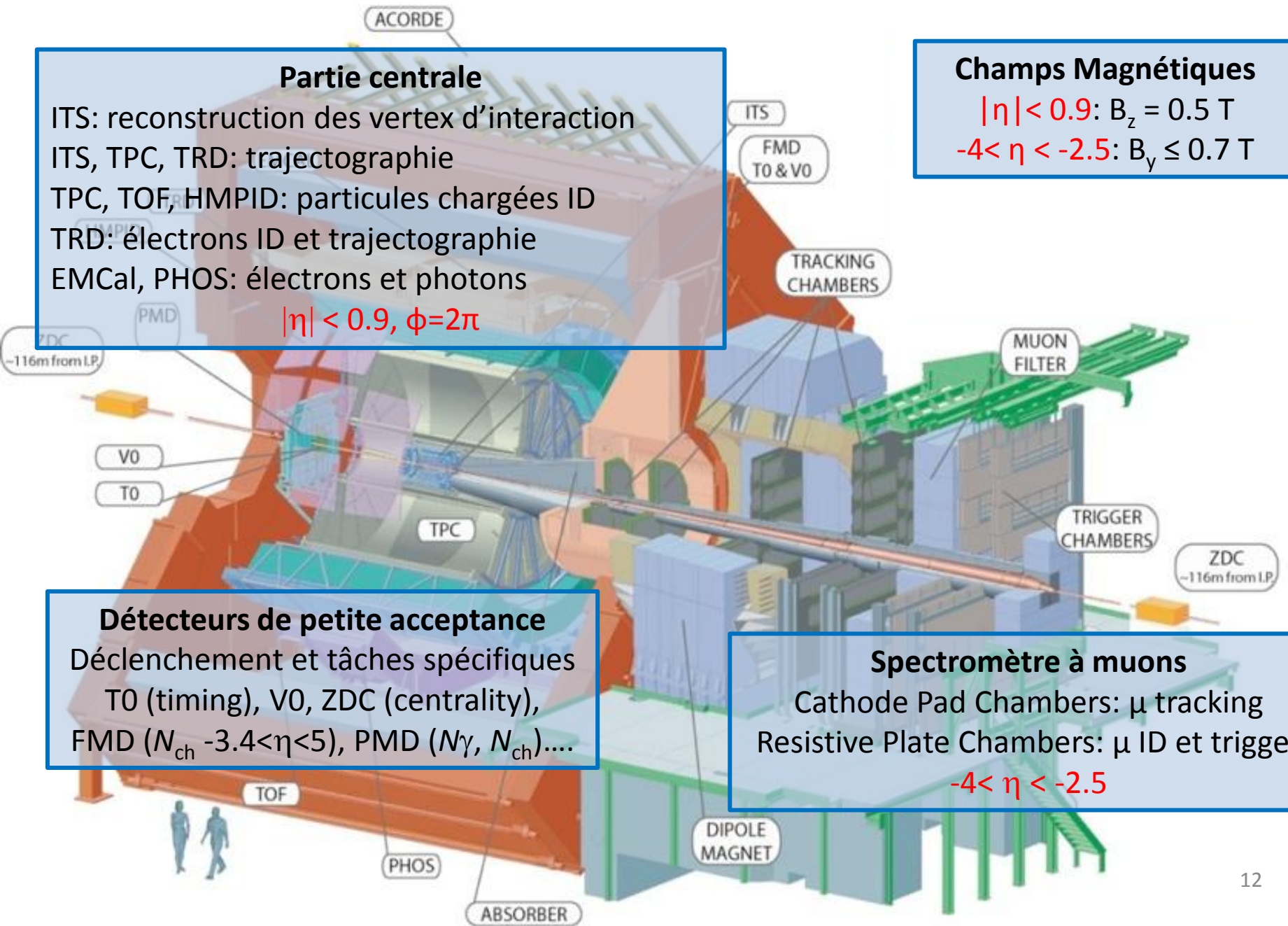
FMD (N_{ch} $-3.4 < \eta < 5$), PMD (N_γ , N_{ch})....

Spectromètre à muons

Cathode Pad Chambers: μ tracking

Resistive Plate Chambers: μ ID et trigger

$$-4 < \eta < -2.5$$



Le détecteur ALICE

V0 scintillator hodoscopes

Centralité dans les collisions PbPb

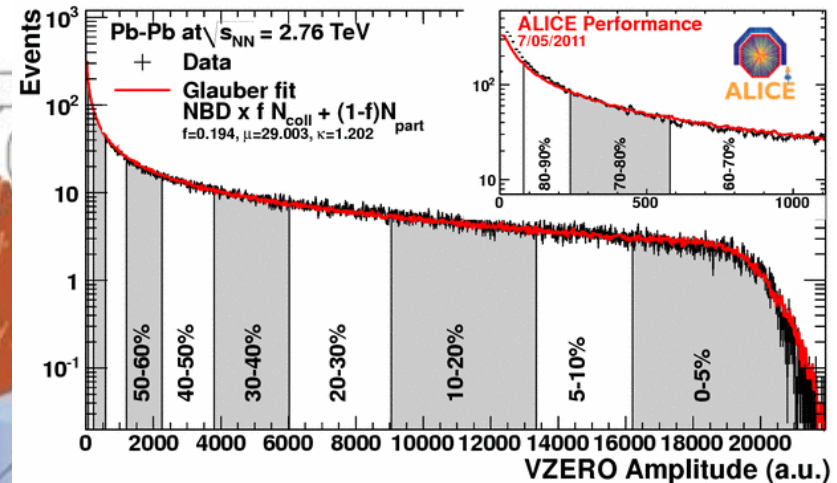
Plan de réaction dans les événements PbPb

Participe au déclenchement (MB, centralité)

Participe à la selection des événements
(élimination des événements faisceau-gaz)

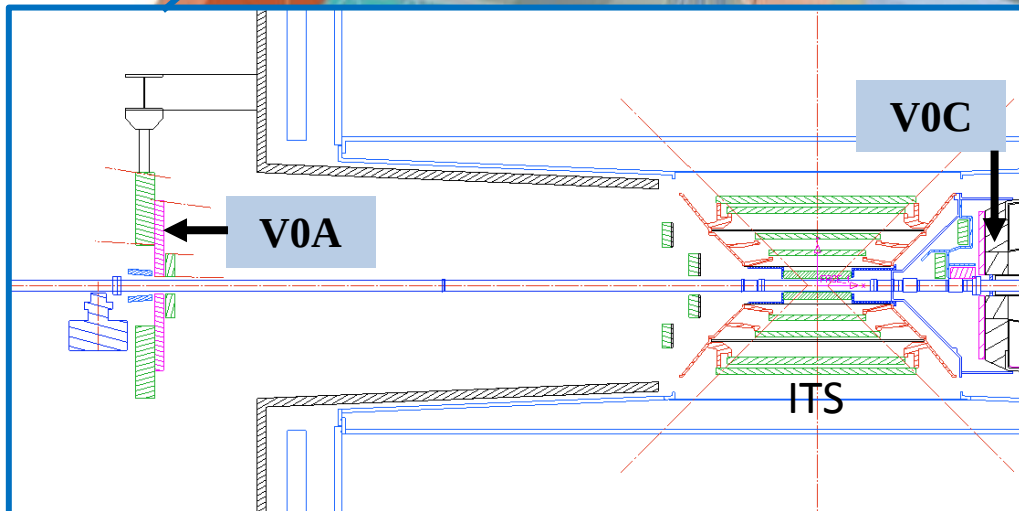
V0C: $-3.7 < \eta < -1.7$

V0A: $2.8 < \eta < 5.1$



périphériques

centrales



Détermination de la centralité des collisions PbPb

- Mesure de la multiplicité des particules
- Ajustement avec un modèle de Glauber
→ conversion en Intervalles en centralités
(% de la section efficace nucléaire)
→ conversion en nombre moyen de
nucléons participant à la collision $\langle N_{part} \rangle$

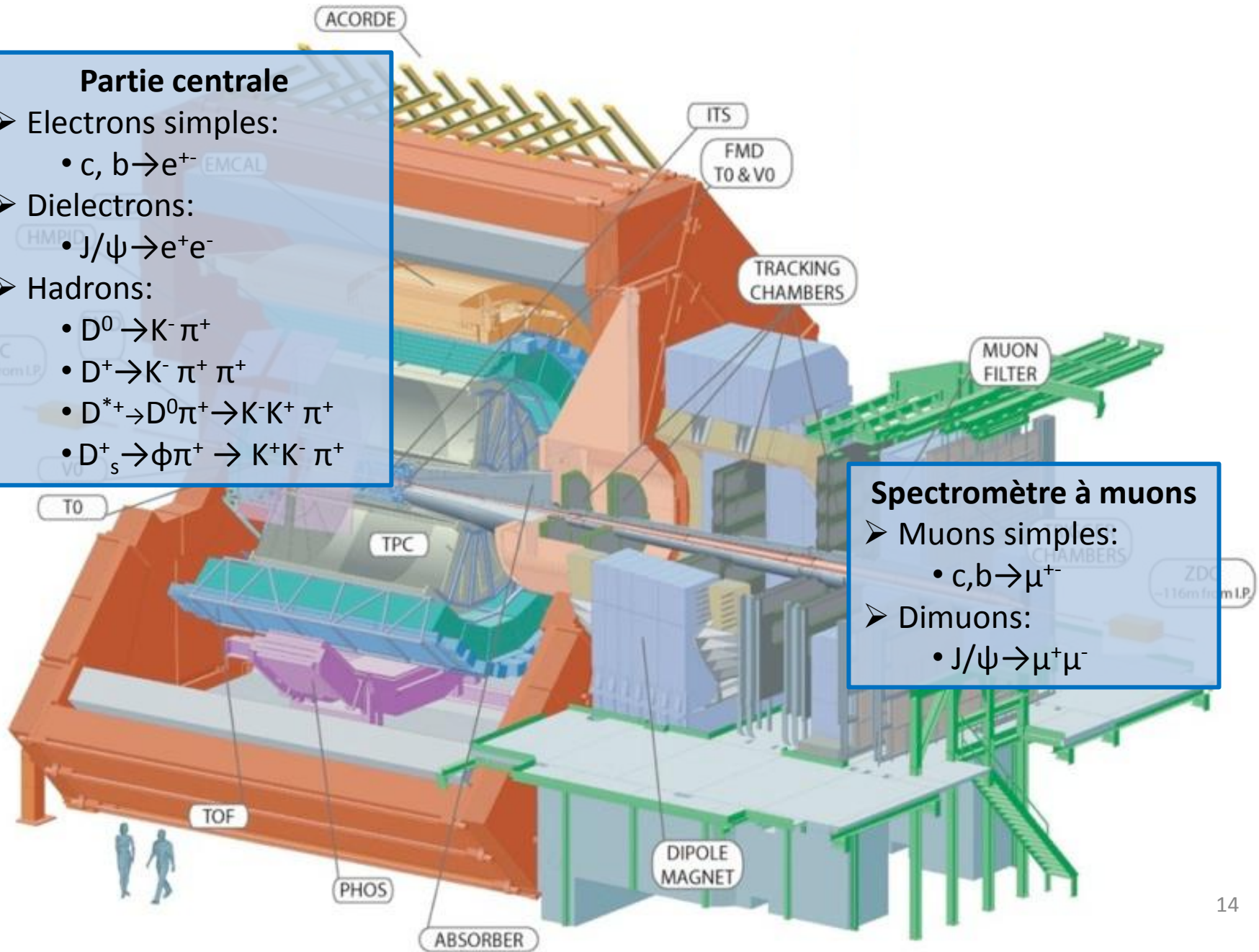
Mesure des saveurs lourdes avec ALICE

Partie centrale

- Electrons simples:
 - $c, b \rightarrow e^+$
- Dielectrons:
 - $J/\psi \rightarrow e^+e^-$
- Hadrons:
 - $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
 - $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$
 - $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow K^- K^+ \pi^+$
 - $D_s^+ \rightarrow \phi \pi^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$

Spectromètre à muons

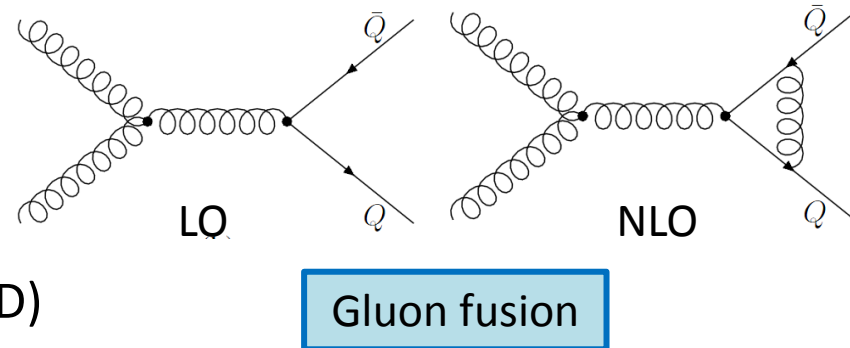
- Muons simples:
 - $c, b \rightarrow \mu^+$
- Dimuons:
 - $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$



Mesure des saveurs lourdes dans les collisions pp, pA

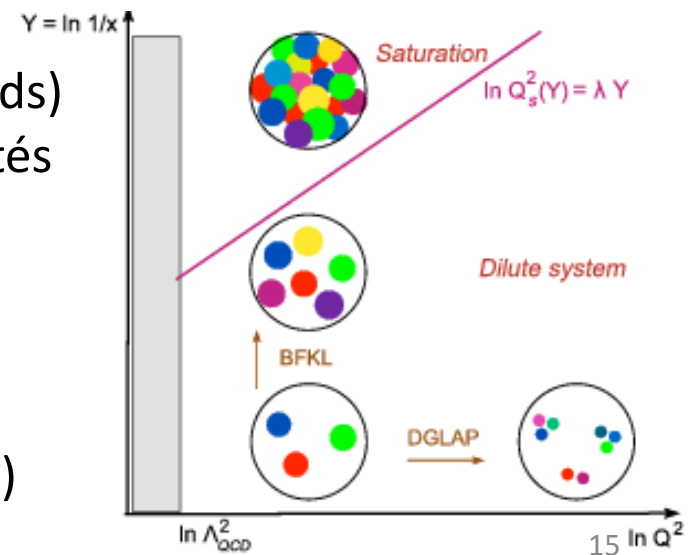
➤ Les collisions proton-proton:

- Test de la QCD perturbative (NLO pQCD) dans un nouveau régime d'énergie
- Les erreurs sur les prédictions de la pQCD restent importantes (facteur ~ 2 : NLO pQCD)
- Référence pour les mesures dans les collisions proton-Noyau (pA) et Noyau-Noyau (AA)



➤ Les collisions proton-Noyau:

- Etudier l'influence du milieu nucléaire (effets froids)
→ Les collisions pA permettent d'étudier les densités importantes de gluons de petit x-Bjorken
- Modification des PDF dans le noyau (shadowing, anti-shadowing)
- Saturation de gluons
(Color Glass Condensate McLerran PRD 49 (1994) 3352)



Mesure des saveurs lourdes dans les collisions AA

- Les saveurs lourdes dans les collisions AA
→ sonde tomographique pour le PQG (effets chauds)

- La perte d'énergie des quarks lourds dans le PQG:

- Gluonstrahlung (perte d'énergie radiative):

$$\langle \Delta E \rangle \propto \alpha_s C_R \hat{q} L^2$$

- α_s : constante de couplage de l'interaction forte
- C_R : Facteur de Casimir
- $\hat{q}$: opacité ou coefficient de transport du milieu

$$\hat{q} = \frac{\langle k_t^2 \rangle}{\lambda}$$

Impulsion transférée (DBMPS)
Libre parcours moyen

$$\hat{q} \propto \frac{dN_g}{dy}$$

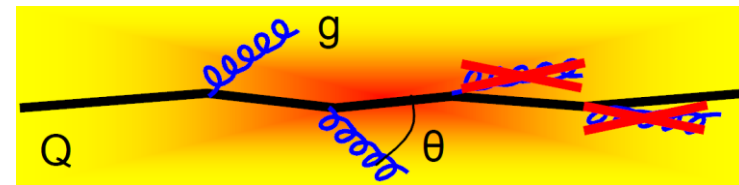
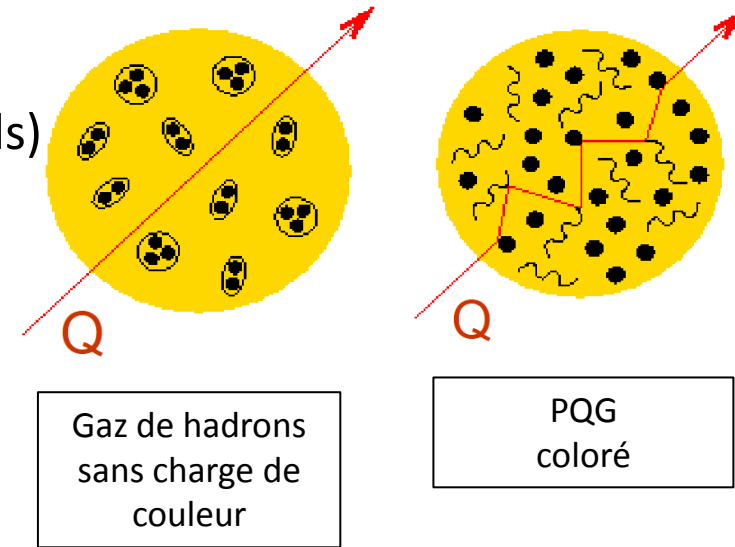
Densité de gluon (DGLV)

- L: Longueur du chemin parcouru dans le milieu
BDMPS NPB 483 (1997) 291, DGLV NPA 733 (2004) 265

- Dead cone effect

→ gluonstrahlung supprimé pour $\theta < m_Q/E_Q$

Dokshitzer and Kharzeev, PLB 519 (2001) 199



	couleurs	C_R	masse
g	Octet	3	0
q (u,d,s)	Triplet	4/3	~0
Q (c/b)	Triplet	4/3	~1.5/~5

Les observables pertinentes: R_{AA}

➤ Le Rapport de modification nucléaire:

$$R_{AA}^i = \frac{Y_{AA}^i(\Delta p_t, \Delta y)}{\langle N_{coll} \rangle Y_{pp}^i(\Delta p_t, \Delta y)}$$

i : centralité de la collision

Y : nombre de particules produites par événements

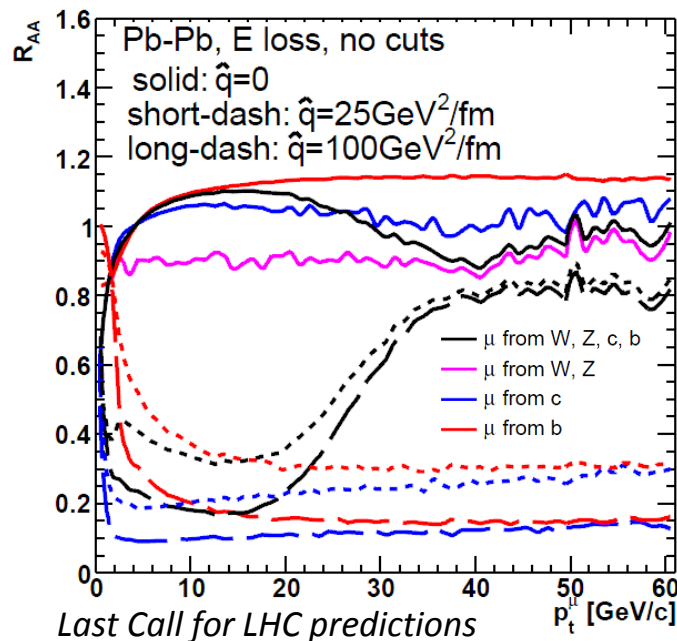
$\langle N_{coll} \rangle$: Nombre moyen de collisions nucléon-nucléon dans la collision AA

➤ Pas d'effet nucléaire $\rightarrow R_{AA}=1$

➤ Effets nucléaires froids (e.g. shadowing) ou chauds (PQG) $\rightarrow R_{AA} \neq 1$

➤ Perte d'énergie des quarks lourds dans le PQG:

- Diminution de la production de hadrons B/D de grand p_t par rapport aux collisions pp



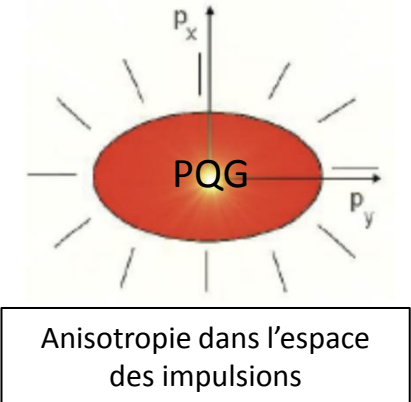
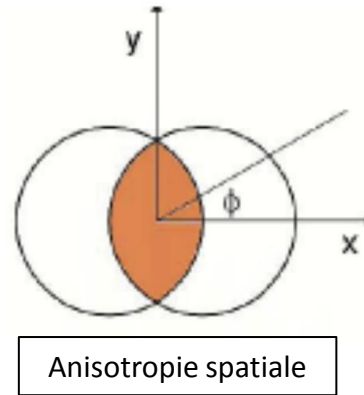
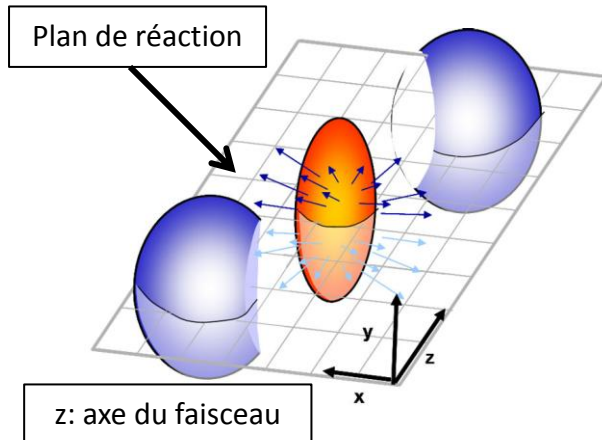
$$\Delta E_g > \Delta E_{q \approx c} > \Delta E_b \Rightarrow R_{AA}^h < R_{AA}^D < R_{AA}^B \leq 1$$

Couplage des gluons avec le PQG plus fort que celui des quarks lourds (facteur de casimir)

Dead cone effect
 $m_c < m_b$

Hadrons légers principalement créés par fusion de gluons

Les observables pertinentes: v_2



- Collisions périphériques → mouvements collectifs attendus dans le PQG
→ L'anisotropie spatiale est convertie en anisotropie dans l'espace des impulsions

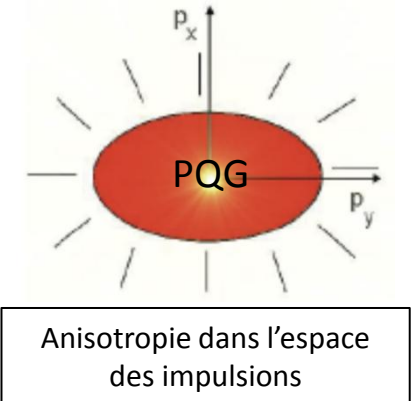
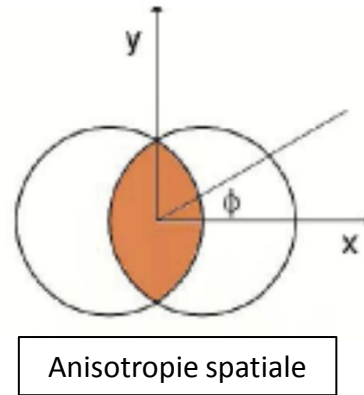
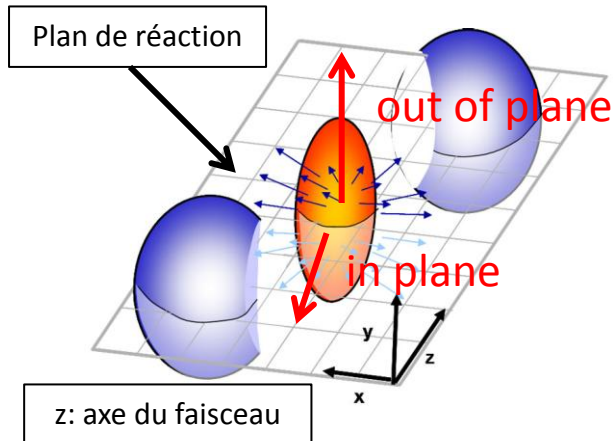
- Quantifier → Dépendance azimutale du nombre de particules développée en série de Fourier:

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos[n(\phi - \Psi_{Plan\ de\ Réaction})] \right) \quad v_2 = \langle \cos[2(\phi - \Psi_{PR})] \rangle$$

Elliptic flow

- v_2 non nul → quarks lourds participant aux mouvements collectifs → fort couplage au milieu

Les observables pertinentes: v_2



- Collisions périphériques → mouvements collectifs attendus dans le PQG
→ L'anisotropie spatiale est convertie en anisotropie dans l'espace des impulsions

- Quantifier → Dépendance azimutale du nombre de particules développée en série de Fourier:

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos[n(\phi - \Psi_{Plan\ de\ Réaction})] \right) \quad v_2 = \langle \cos[2(\phi - \Psi_{PR})] \rangle$$

Elliptic flow

- v_2 non nul → quarks lourds participant aux mouvements collectifs → fort couplage au milieu
- La dépendance de la perte d'énergie des quarks lourds au chemin parcouru (L) dans le milieu entraîne également une anisotropie dans l'espace des impulsions:
 - Chemin parcouru plus long à l'extérieur du plan de réaction
 - Perte d'énergie plus importante → impulsion plus faible

Les Résultats de RHIC

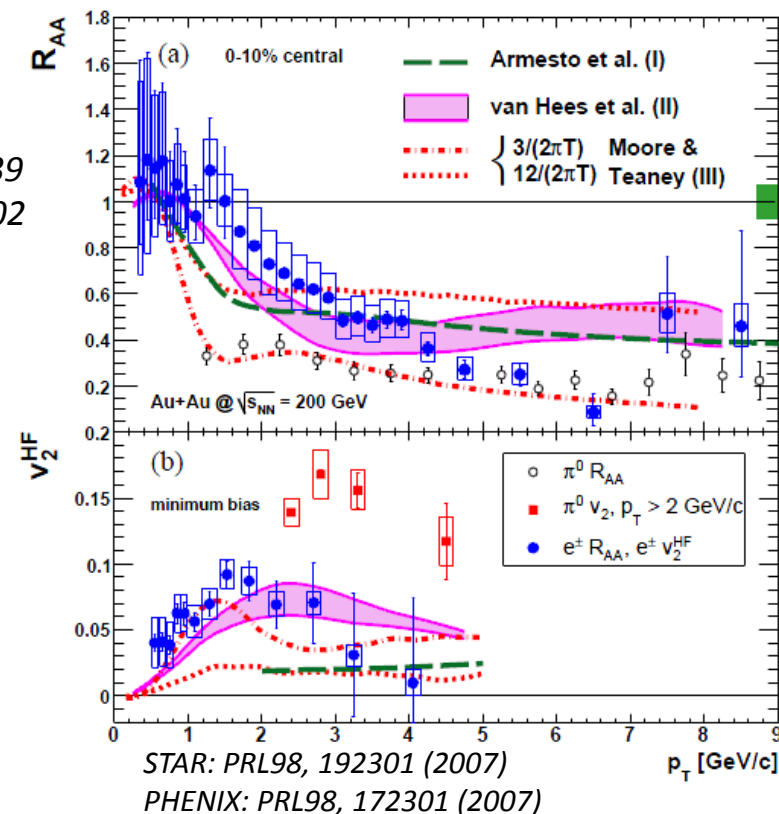
➤ Rapport de modification nucléaire:

- Suppression des $e \leftarrow c, b$ de grande impulsion transverse
- Perte d'énergie des quarks lourds dans le milieu déconfiné
- La relation $R^h < R^{B,D}$ prévue par la théorie n'est pas vérifiée
- Explications proposées:
 - Opacité du milieu très grande, *PLB 637 (2006) 362*
 - Perte d'énergie par collisions, *PRC 73 (2006) 034913*
 - Dissociation précoce des hadrons lourds, *PLB 649 (2007) 139*
 - Augmentation du nombre de baryons, *PRC 74 (2006) 024902*
 - AdS/CFT, *PLB 666 (2008) 320*
- Résultats présentés → PHENIX, confirmés par STAR

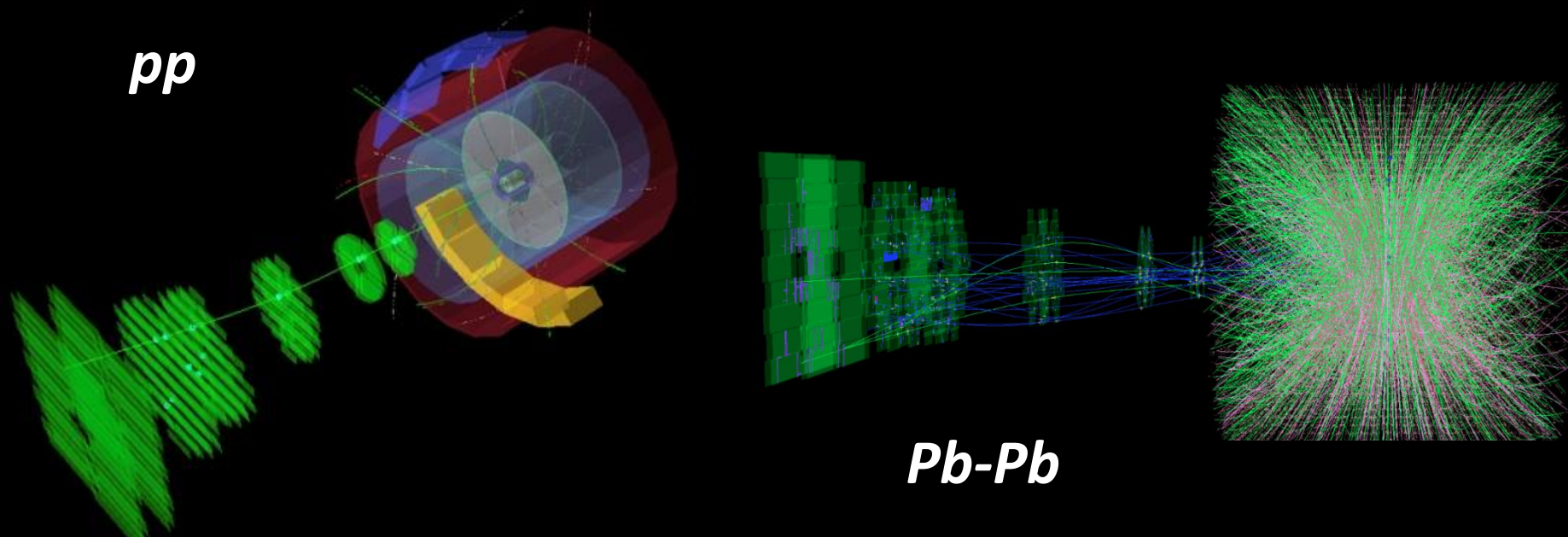
➤ Elliptic flow des $e \leftarrow c, b$:

- Non nul à basse impulsion transverse
- Les quarks lourds participent aux mouvements collectifs

➤ Les quarks lourds sont fortement couplés au milieu

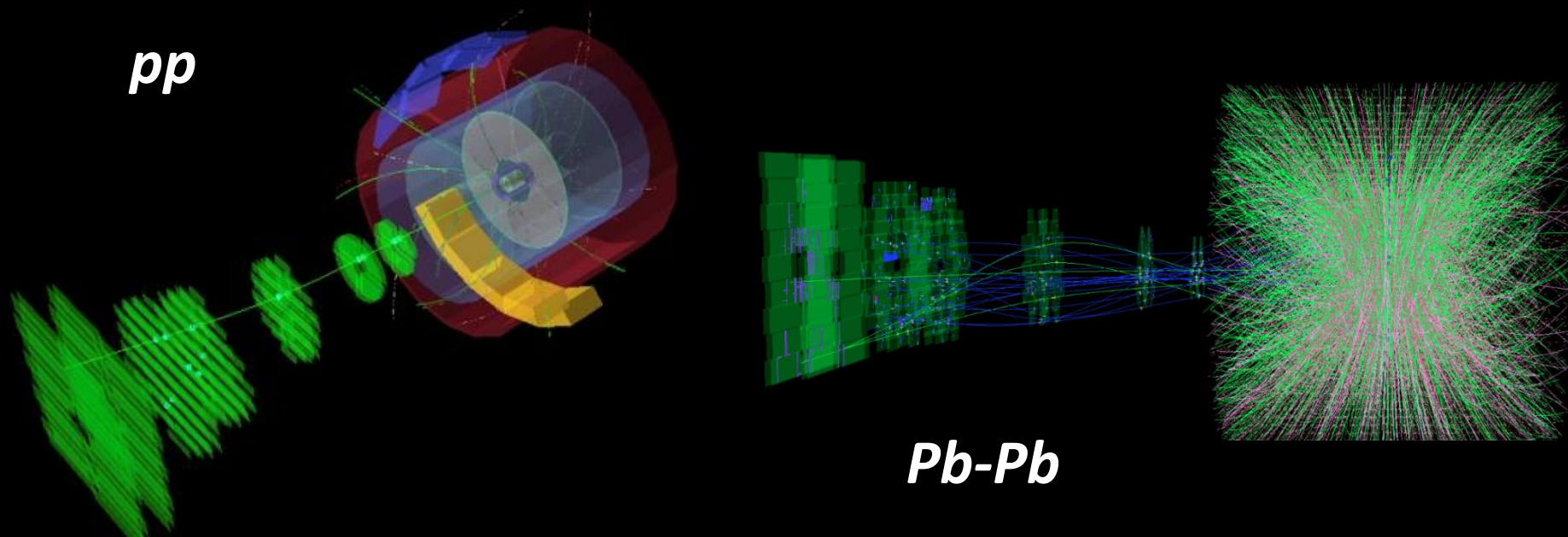


Résultats et conditions de prises de données



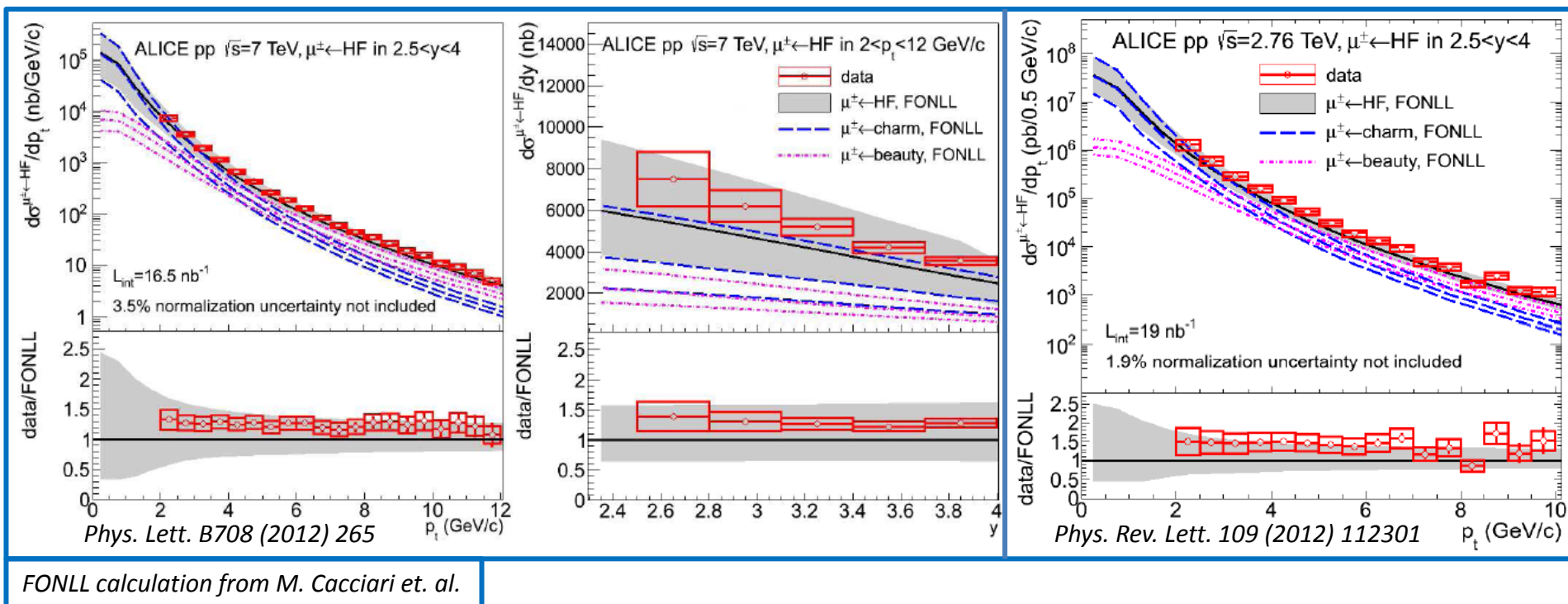
$\mu \leftarrow b, c$	Données	Publications	L_{int}
2010	pp à 7 TeV	<i>PLB 708 (2012) 265</i>	16.5 nb ⁻¹
2010	PbPb à 2.76 TeV	<i>PRL 109 (2012) 112301</i>	2.7 μ b ⁻¹
2011	pp à 2.76 TeV	<i>PRL 109 (2012) 112301</i>	19 nb ⁻¹

Résultats et conditions de prises de données



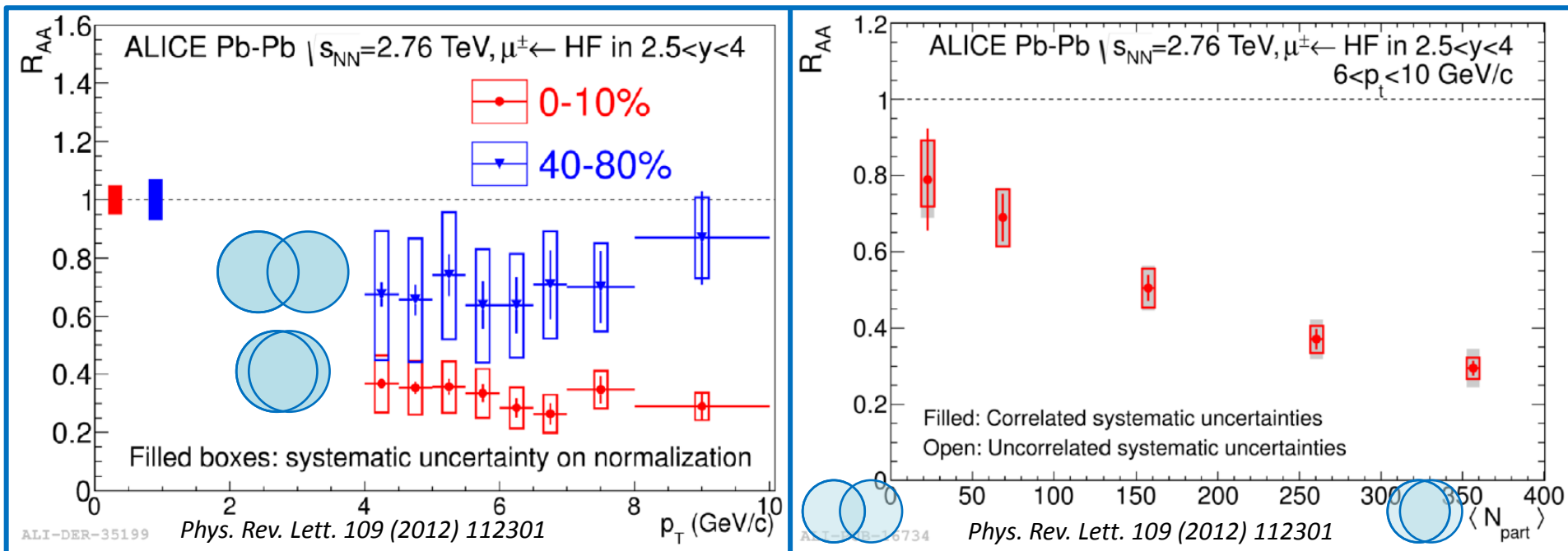
$\mu \leftarrow b, c / e \leftarrow b, c / D$	Données	Publications	L_{int}
2010	pp à 7 TeV	<i>PLB 708 (2012) 265</i> <i>arXiv:1205.5423</i> <i>JHEP 01 (2012) 128</i>	16.5/ 2.6 / 5 nb ⁻¹
2010	PbPb à 2.76 TeV	<i>PRL 109 (2012) 112301</i> <i>JHEP 09 (2012) 112</i>	2.7/ 2.2 μb ⁻¹
2011	pp à 2.76 TeV	<i>PRL 109 (2012) 112301</i> <i>JHEP 07 (2012) 191</i>	19/ 11.9 / 1.1 nb ⁻¹
2011	PbPb à 2.76 TeV	Travail en cours ($R_{AA}, v_2 / R_{AA}, v_2$)	

Résultats dans les collisions pp: $\mu \leftarrow b, c$



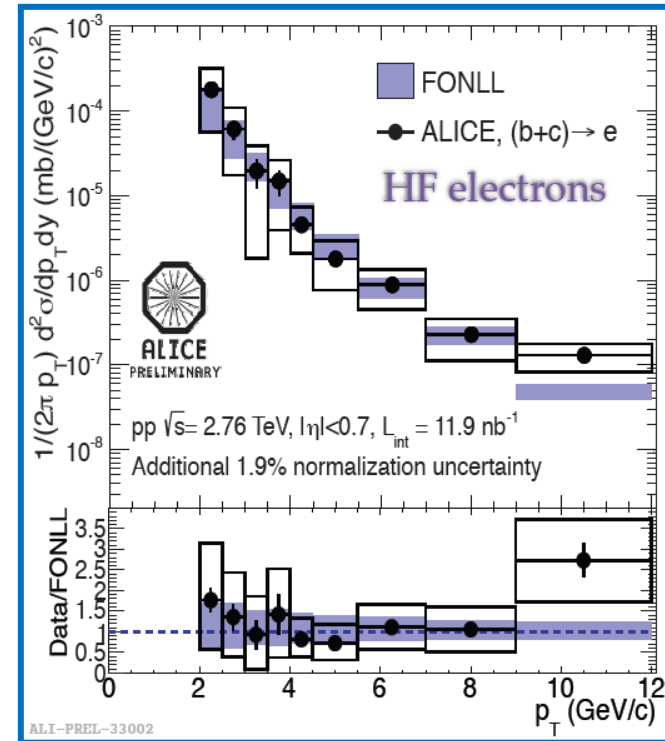
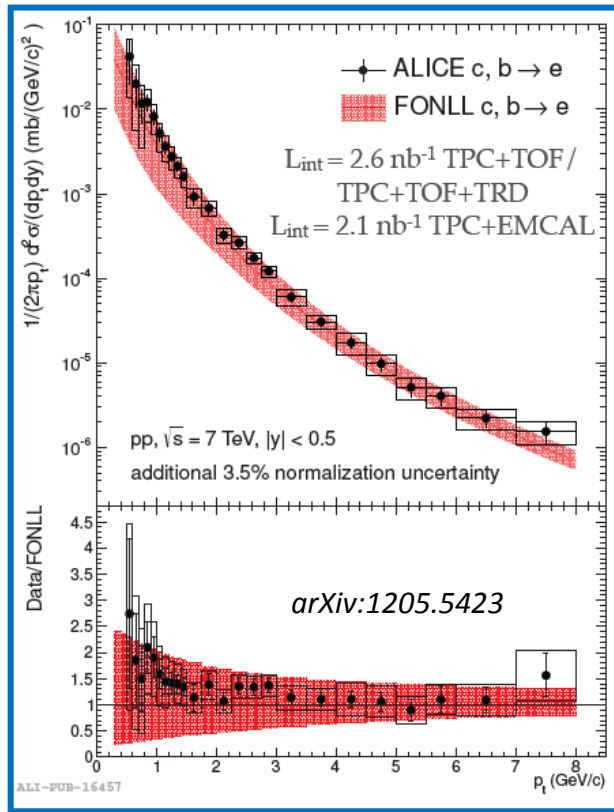
- La production des $\mu \leftarrow b, c$ peut être mesurée jusqu'à 10 GeV/c
- A $\sqrt{s}=7$ TeV et $\sqrt{s}=2.76$ TeV, les données sont reproduites par les calculs FONLL (pQCD)
- Prédiction théorique: $\mu \leftarrow b$ devient plus important que $\mu \leftarrow c$ pour $p_t > 6$ GeV/c
- La section efficace de production dans les collisions pp à $\sqrt{s}=2.76$ TeV sert de référence pour la mesure du R_{AA} dans les collisions PbPb à $\sqrt{s}_{NN}=2.76$ TeV

R_{AA} PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: $\mu \leftarrow b, c$



- R_{AA} en fonction du p_T des muons:
 - Mesuré jusqu'à $p_T=10$ GeV/c
 - Une suppression est observée
 - Elle ne dépend pas du p_T
 - Elle est plus importante dans les collisions centrales que périphériques
- R_{AA} en fonction de la centralité ($p_T > 6$ GeV/c):
 - $6 < p_T < 10$ GeV/c: contribution des quarks beaux importante d'après les calculs pQCD
 - Forte augmentation de la suppression avec la centralité (facteur maximum 3-4)

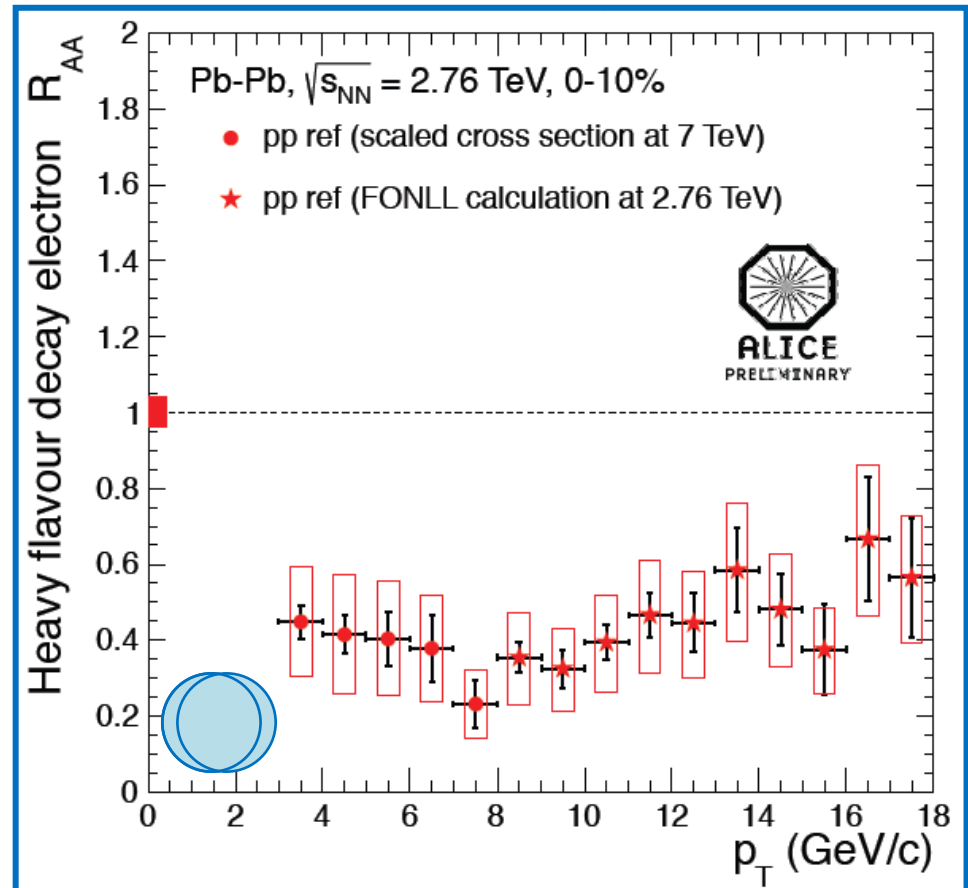
Résultats dans les collisions pp: $e \leftarrow b, c$



- La production d' $e \leftarrow b, c$ a été mesurée dans les collisions pp à 7 TeV et 2.76 TeV
- Les prédictions de la pQCD (FONLL) reproduisent les données
- Un p_T maximal de 8 GeV/c peut être étudié pour les collisions pp à 7 TeV
- Références pp pour le calcul du R_{AA} :
 - $p_T < 8$ GeV/c: pp 7 TeV normalisé à pp 2.76 TeV d'après pQCD (FONLL)
 - $p_T > 8$ GeV/c: extrapolation pQCD (FONLL) pour pp à 2.76 TeV

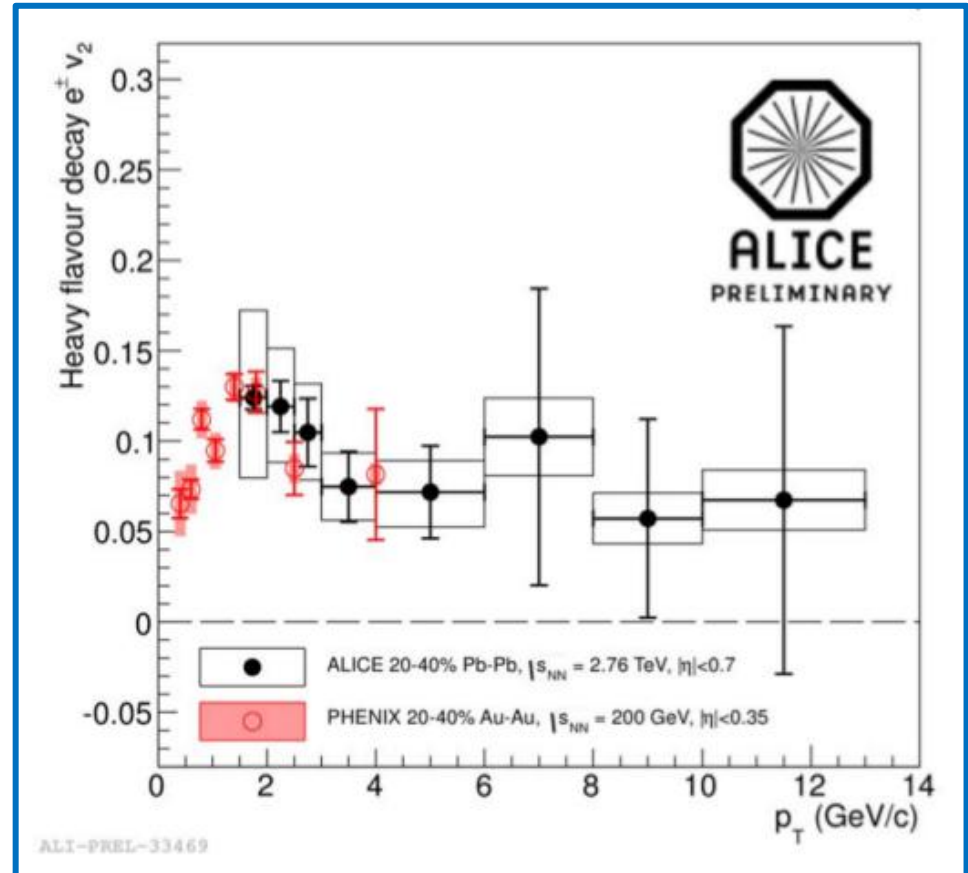
R_{AA} PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: $e \leftarrow b, c$

- Mesuré pour des électrons d'impulsion $p_t < 18$ GeV/c
- Suppression évidente des $e \leftarrow b, c$ (facteur 1.5-3)

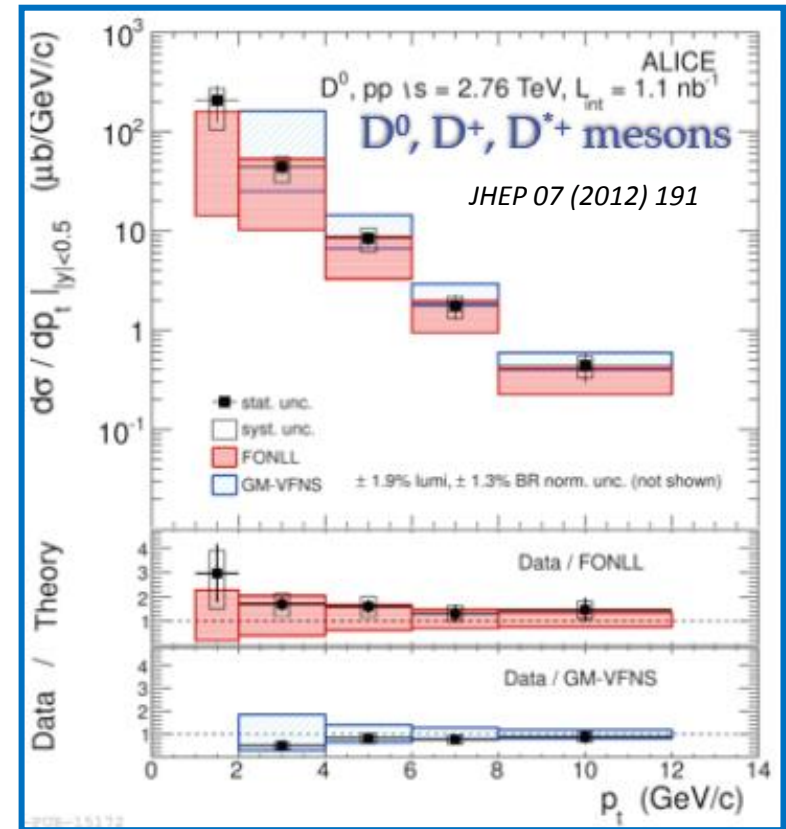
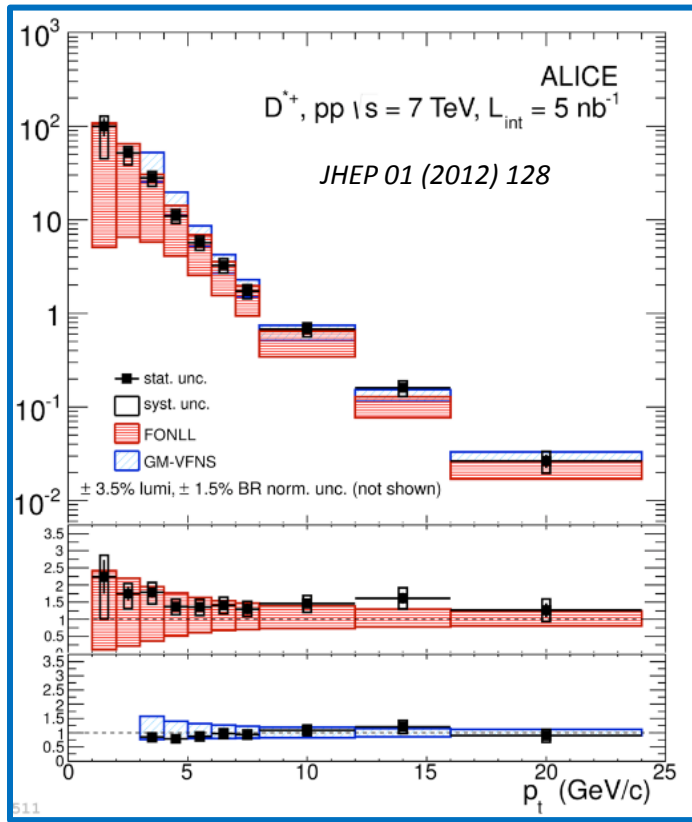


v_2 PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: $e \leftarrow b, c$

- v_2 non nul à bas p_t
- Compatible avec le v_2 de PHENIX



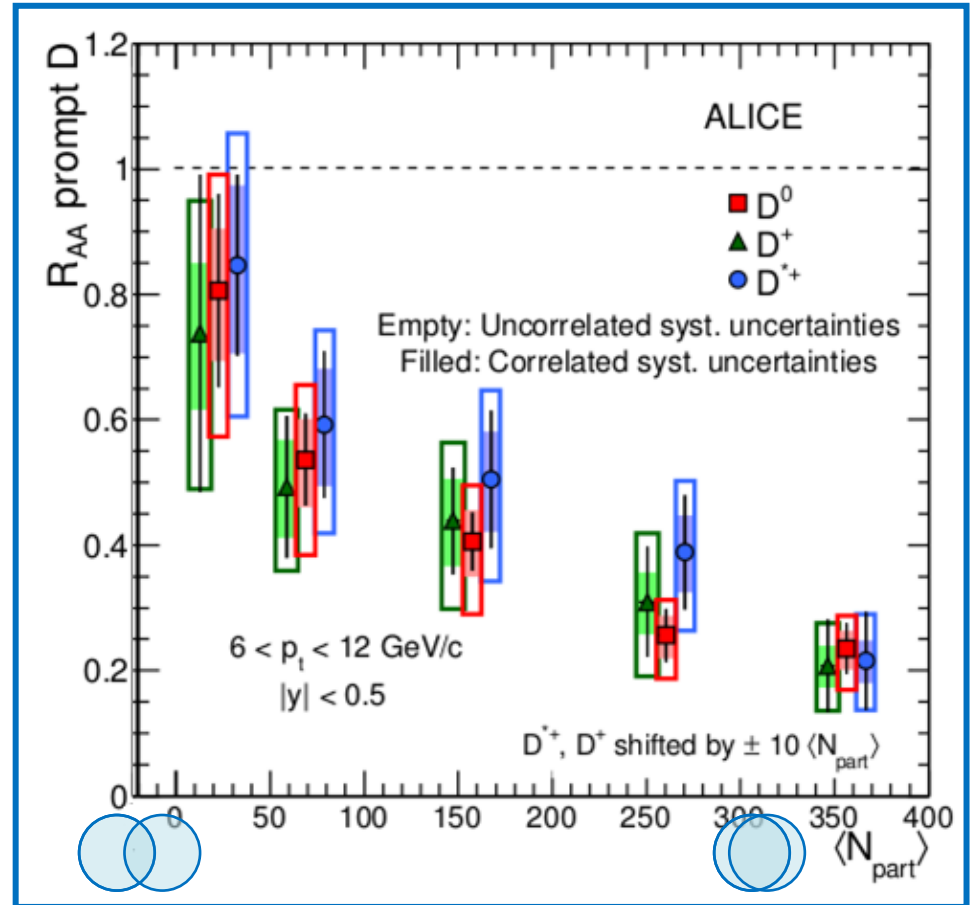
Résultats dans les collisions pp: D^0, D^+, D^{*+}



- La production de D^0, D^+, D^{*+} a été mesurée dans les collisions pp à 7 TeV et 2.76 TeV
- Les prédictions de la pQCD (FONLL) reproduisent les données
- La production peut être mesurée jusqu'à un p_T de 24 GeV/c en pp 7 TeV
- Références pp pour le calcul du R_{AA} :
 - $p_T < 24$ GeV : pp 7 TeV normalisé à 2.76 TeV d'après pQCD (FONLL)
 - $p_T > 24$ GeV/c : extrapolation pQCD (FONLL)

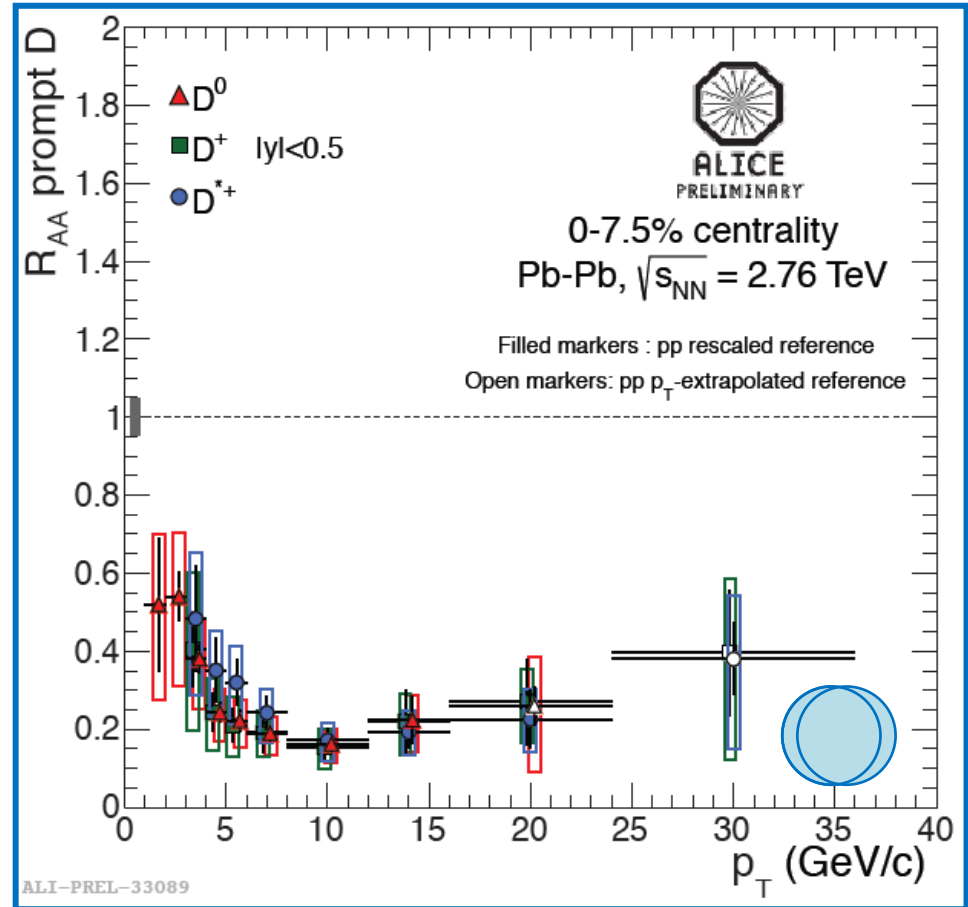
R_{AA} PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: D^0, D^+, D^{*+}

- Données 2010:
 - R_{AA} en fonction de la centralité
 - Intervalles en p_t larges
- Suppression observée (facteur 4) pour les trois espèces de hadrons charmés



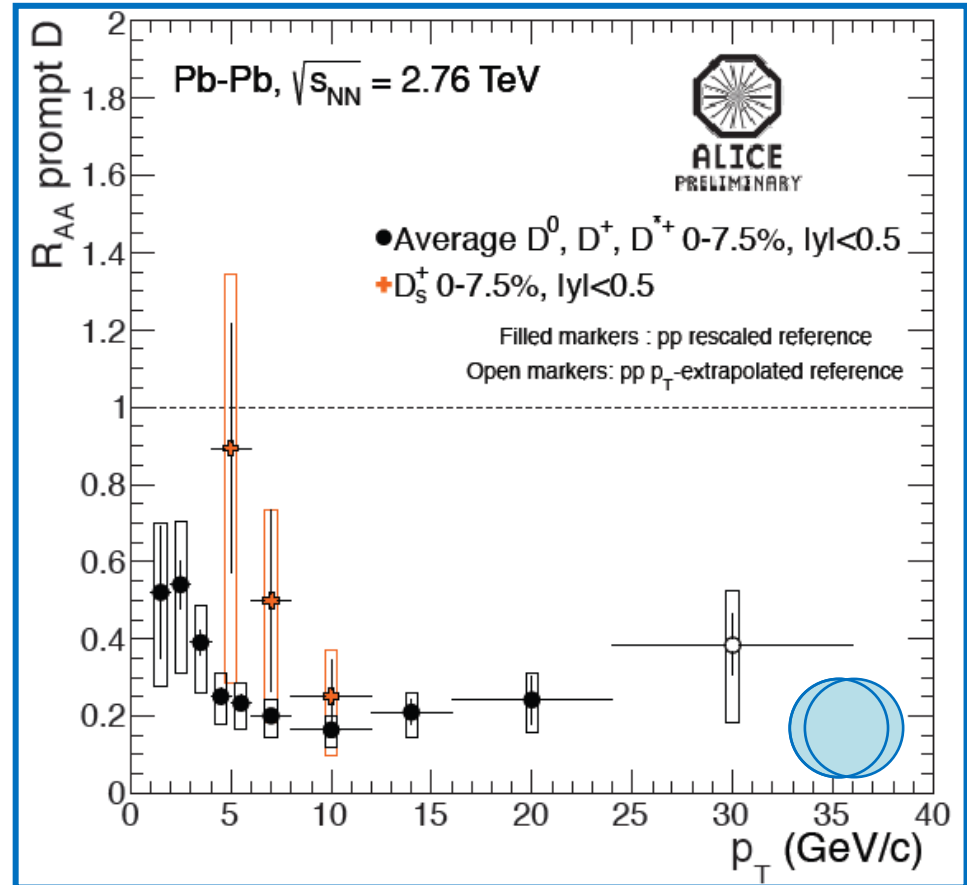
R_{AA} PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: D^0, D^+, D^{*+}

- Données 2011:
 - Centralité 0-7.5%
 - Intervalles étroits en p_t
- R_{AA} mesuré pour des impulsions allant jusqu'à 36 GeV/c
- Suppression compatible pour les trois espèces de hadron
- Suppression allant jusqu'à un facteur 5 à $p_t = 10$ GeV/c



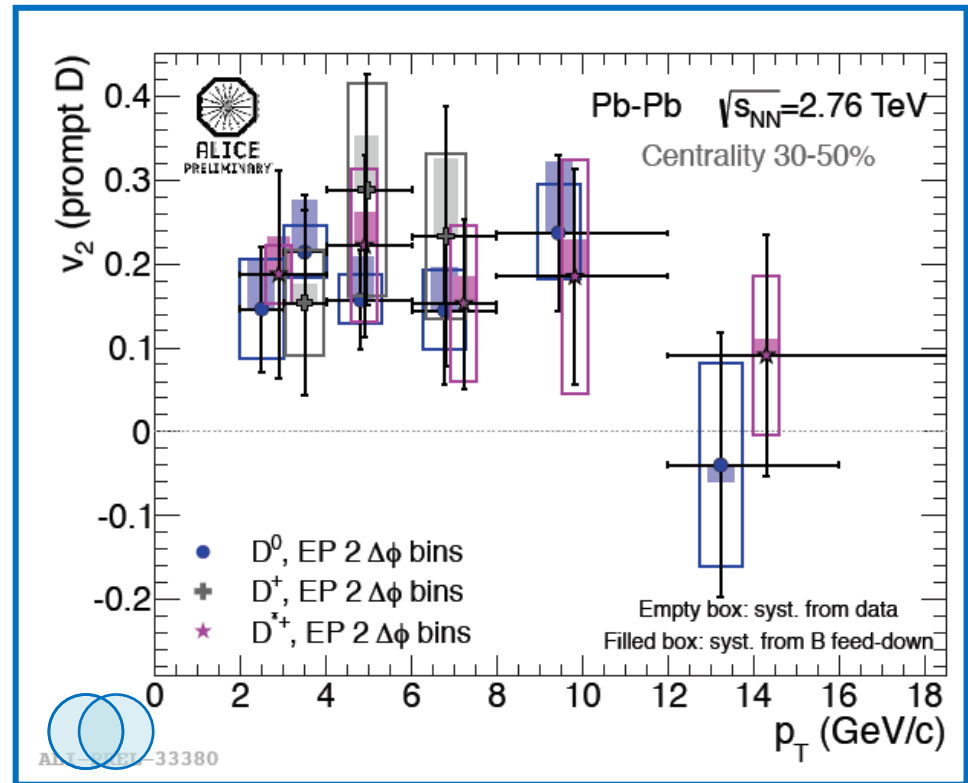
Première mesure du R_{AA} des D_s^+

- Données 2011
- On s'attend à une augmentation du nombre de D_s dans les régions de p_t intermédiaires si les quarks charmés s'hadronisent par recombinaisons dans le PQG
- Suppression d'un facteur 3-5 pour $8 < p_t < 12$ GeV/c
- Suppression similaire aux D^0, D^+, D^{+*}



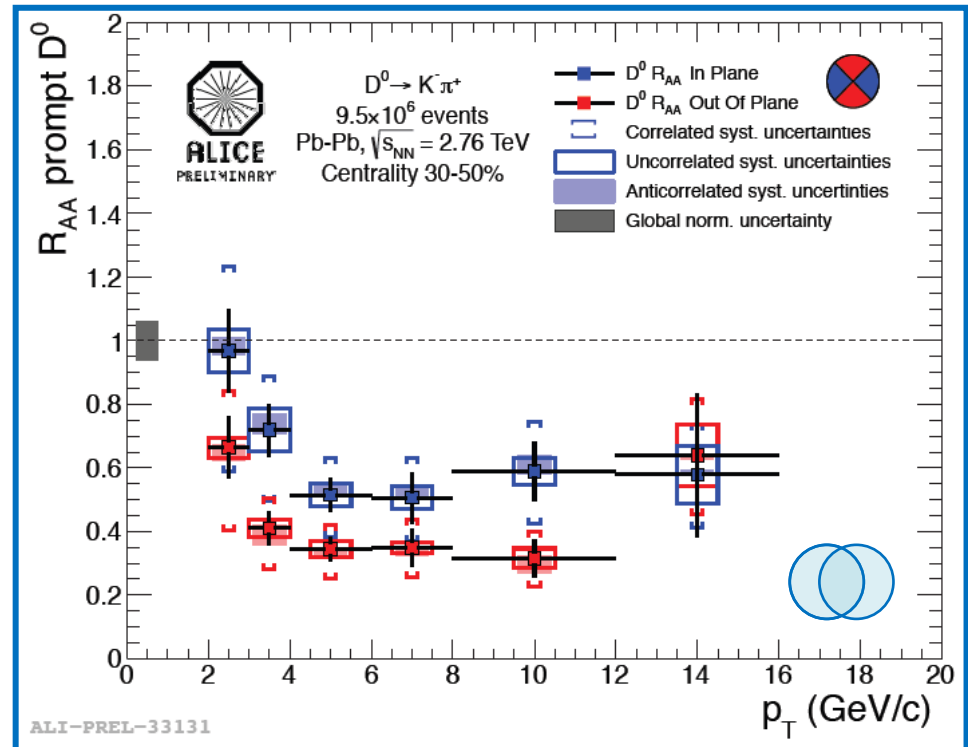
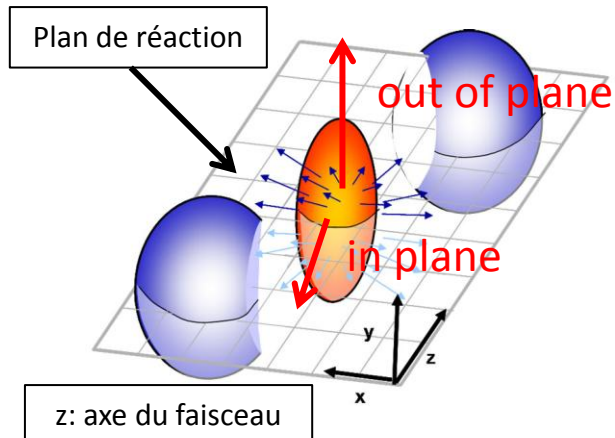
v_2 PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: D^0, D^+, D^{+*}

- Données 2011
- v_2 compatible pour D^0, D^+, D^{+*}
- Indication d'un flow elliptique non nul



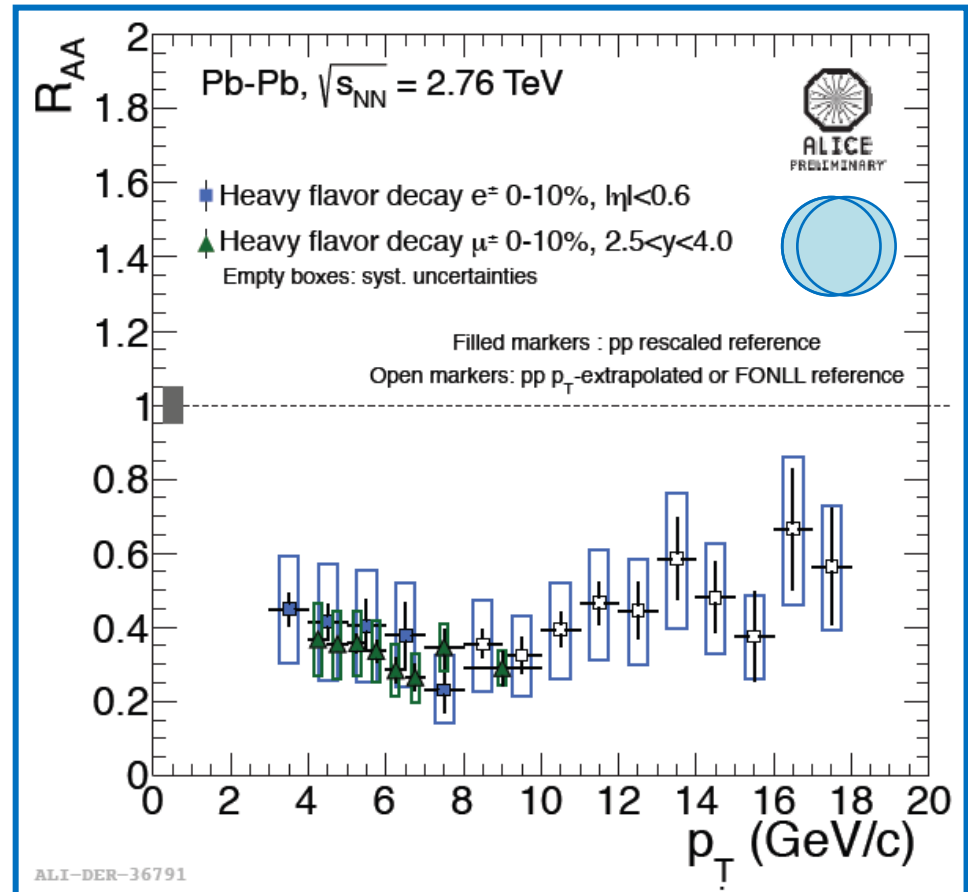
R_{AA} des hadrons D^0 en fonction du plan de réaction

- Données 2011
- Suppression plus grande à l'extérieur du plan de réaction:
 - Peut indiquer un v_2 non nul à bas p_t
 - Peut indiquer une dépendance de la perte d'énergie partonique au chemin parcouru dans le milieu



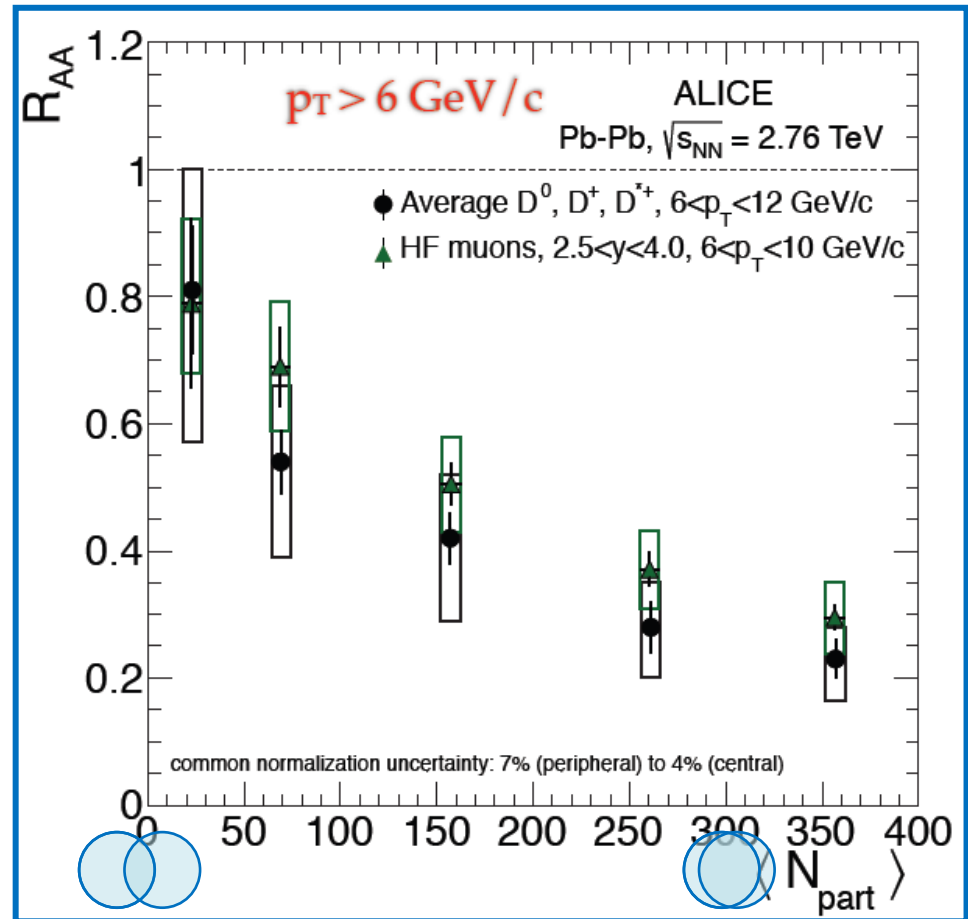
Suppression en fonction de la rapidité: $\mu \leftarrow b, c$ / $e \leftarrow b, c$

- Partie centrale: $e \leftarrow c, b$ ($|\eta| < 0.6$)
- Spectromètre: $\mu \leftarrow c, b$ ($-4 < \eta < -2.5$)
- Dans les collisions centrales (0-10%) la suppression des saveurs lourdes mesurée dans $|\eta| < 0.6$ est la même que celle mesurée dans $2.5 < \eta < 4$.



Hiérarchie de la suppression: $\mu \leftarrow b, c / D^0, D^+, D^{+*}$

- pQCD: $p_t > 6$ GeV/c, $\mu \leftarrow b$ important
- Même évolution du R_{AA} en fonction de la centralité pour les $\mu \leftarrow c, b$ et les hadrons D de grand p_t

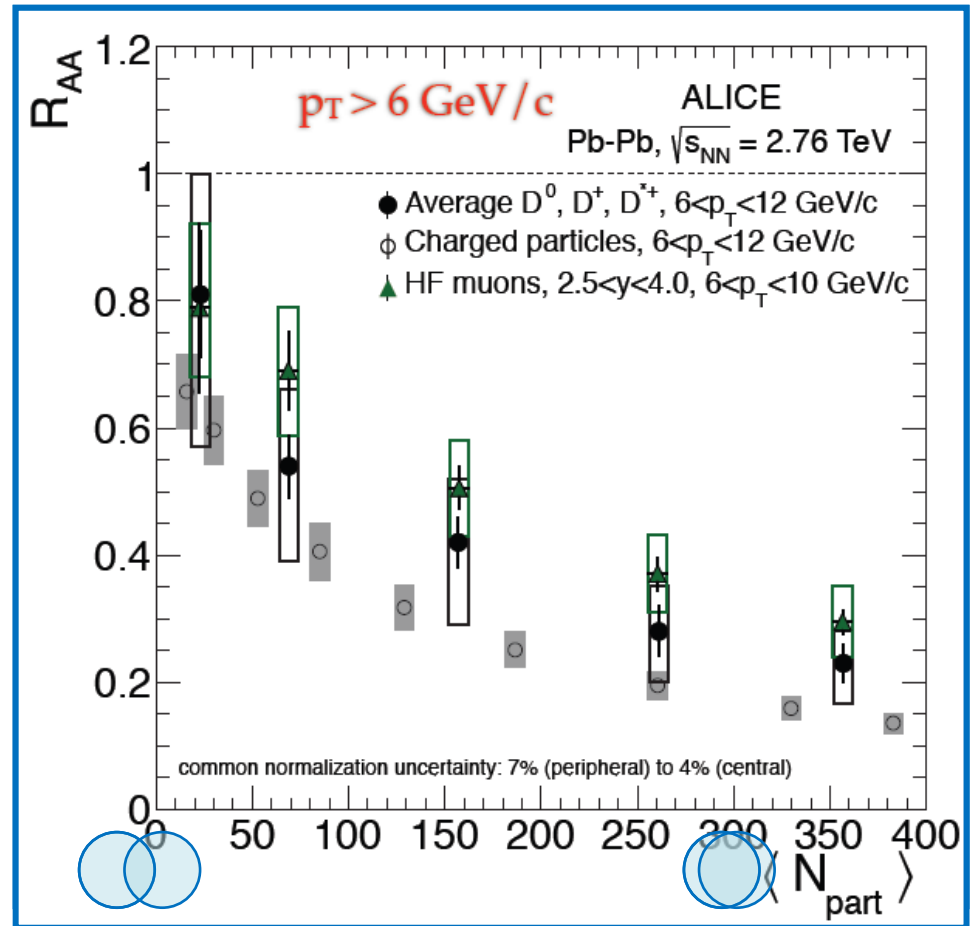


ALICE Coll. *arXiv:1203.2160* (2012)

ALICE Coll. *arXiv:1205.6443* (2012)

Hiérarchie de la suppression: $\mu \leftarrow b, c / D^0, D^+, D^{+*}$

- pQCD: $p_t > 6$ GeV/c, $\mu \leftarrow b$ important
- Même évolution du R_{AA} en fonction de la centralité pour les $\mu \leftarrow c, b$ et les hadrons D de grand p_t
- Les données ne permettent pas de conclure quant à une suppression différente pour les hadrons légers et charmés

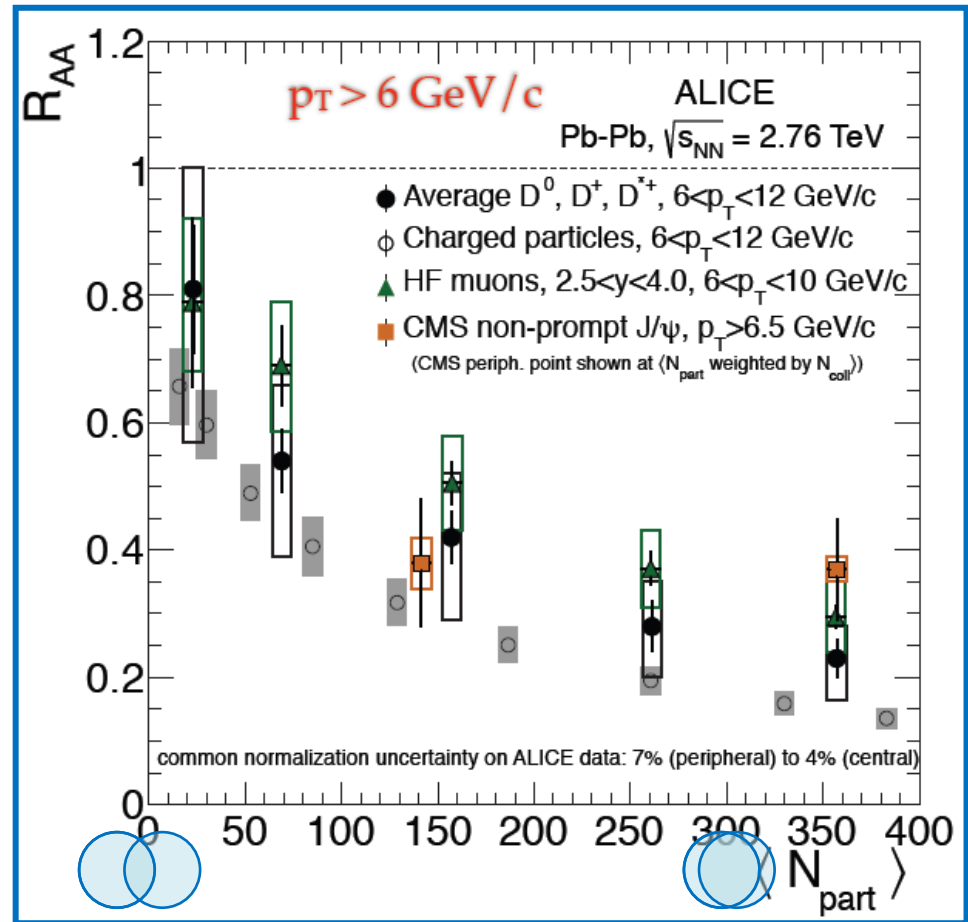


ALICE Coll. *arXiv:1203.2160* (2012)

ALICE Coll. *arXiv:1205.6443* (2012)

Hiérarchie de la suppression: $\mu \leftarrow b, c / D^0, D^+, D^{+*}$

- pQCD: $p_t > 6$ GeV/c, $\mu \leftarrow b$ important
- Même évolution du R_{AA} en fonction de la centralité pour les $\mu \leftarrow c, b$ et les hadrons D de grand p_t
- Les données ne permettent pas de conclure quand à une suppression différente pour les hadrons légers et charmés
- La suppression des J/ ψ de décroissance des hadrons B est compatible avec la suppression des $\mu \leftarrow c, b$

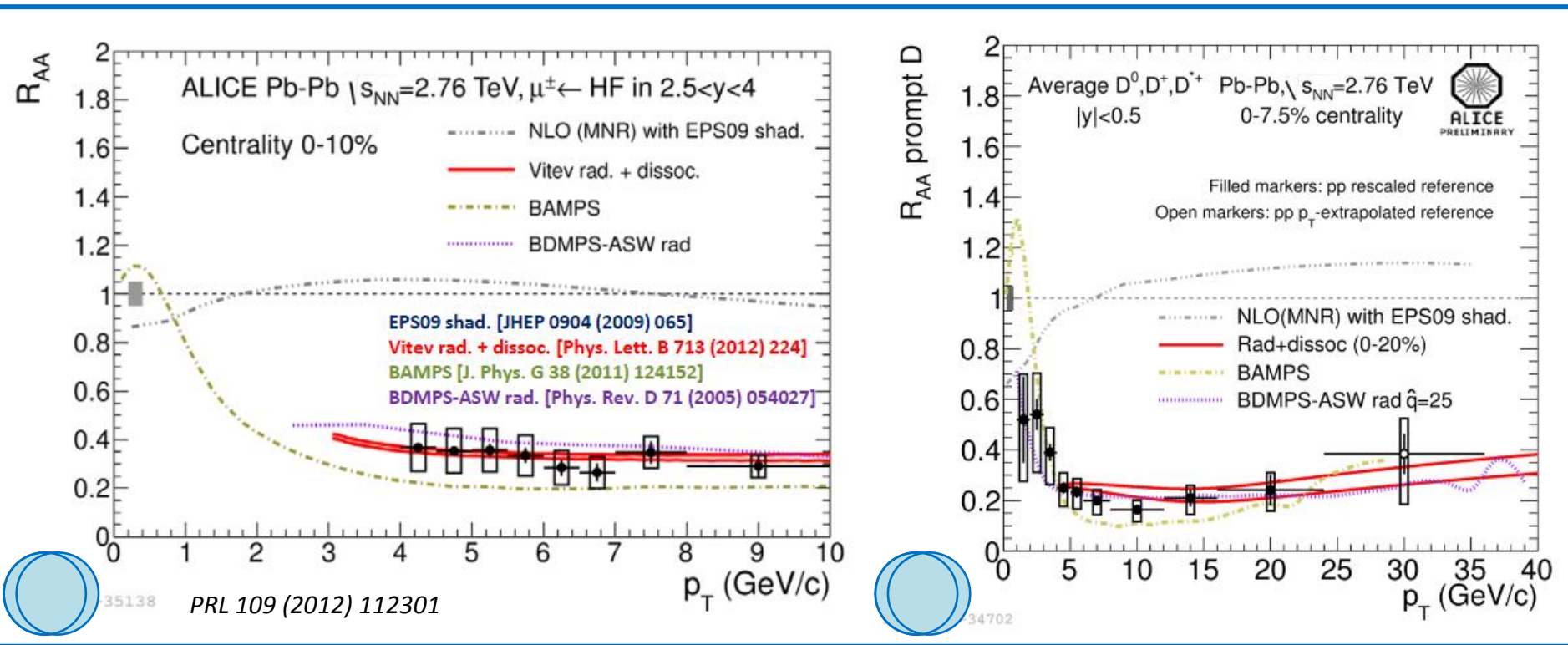


ALICE Coll. arXiv:1203.2160 (2012)

ALICE Coll. arXiv:1205.6443 (2012)

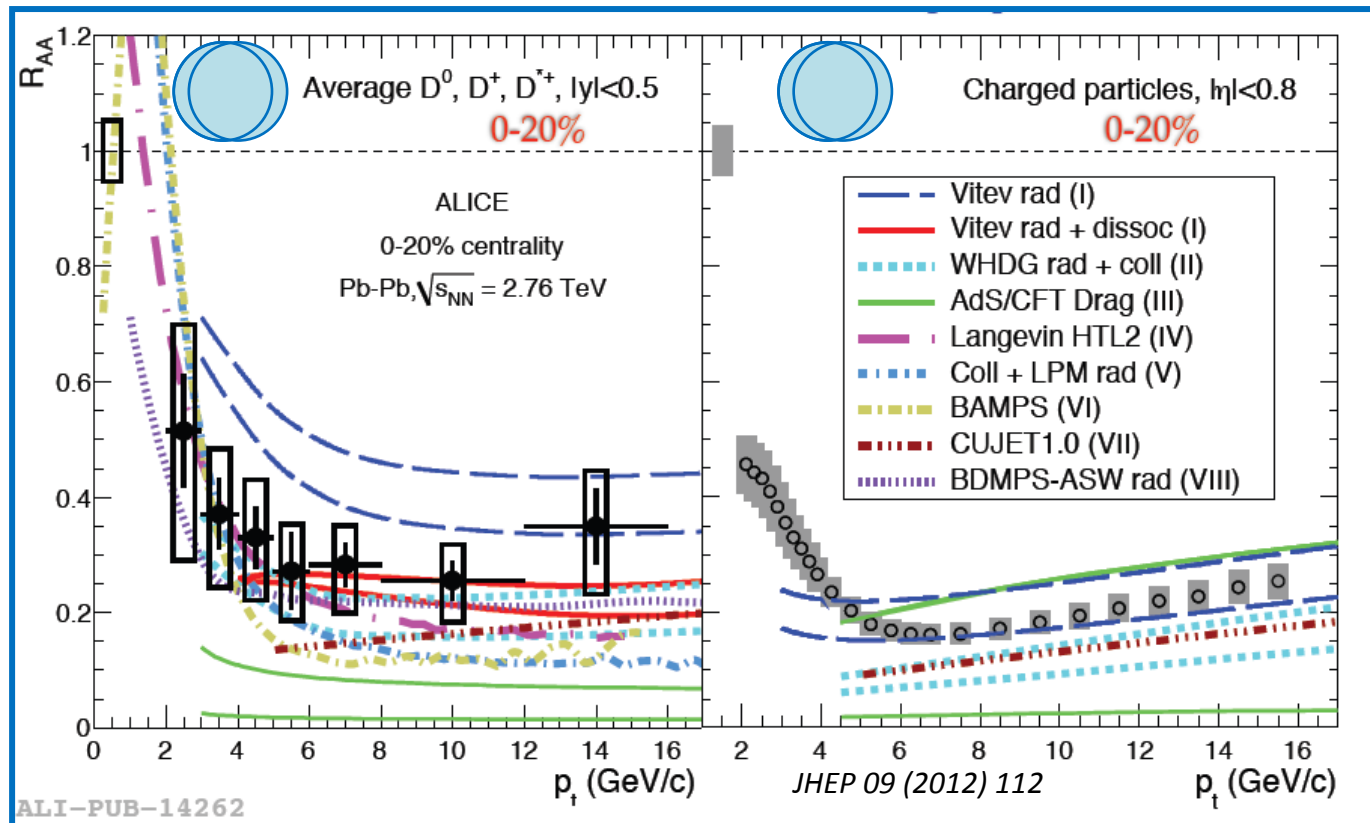
CMS Coll., JHEP 05 (2012) 063

Comparaison avec les modèles: $\mu \leftarrow b, c/D$



- Le shadowing (effet froid) ne peut pas expliquer la suppression pour des $p_T > 4$ GeV/c
- Le modèles prenant en compte la perte d'énergie radiative uniquement (BDMPS-ASW) et les modèles prenant en compte la perte d'énergie radiative associée à la perte d'énergie par collisions (Vitev, BAMPS) décrivent les données, à la fois pour les $\mu \leftarrow c, b$ et les hadrons D

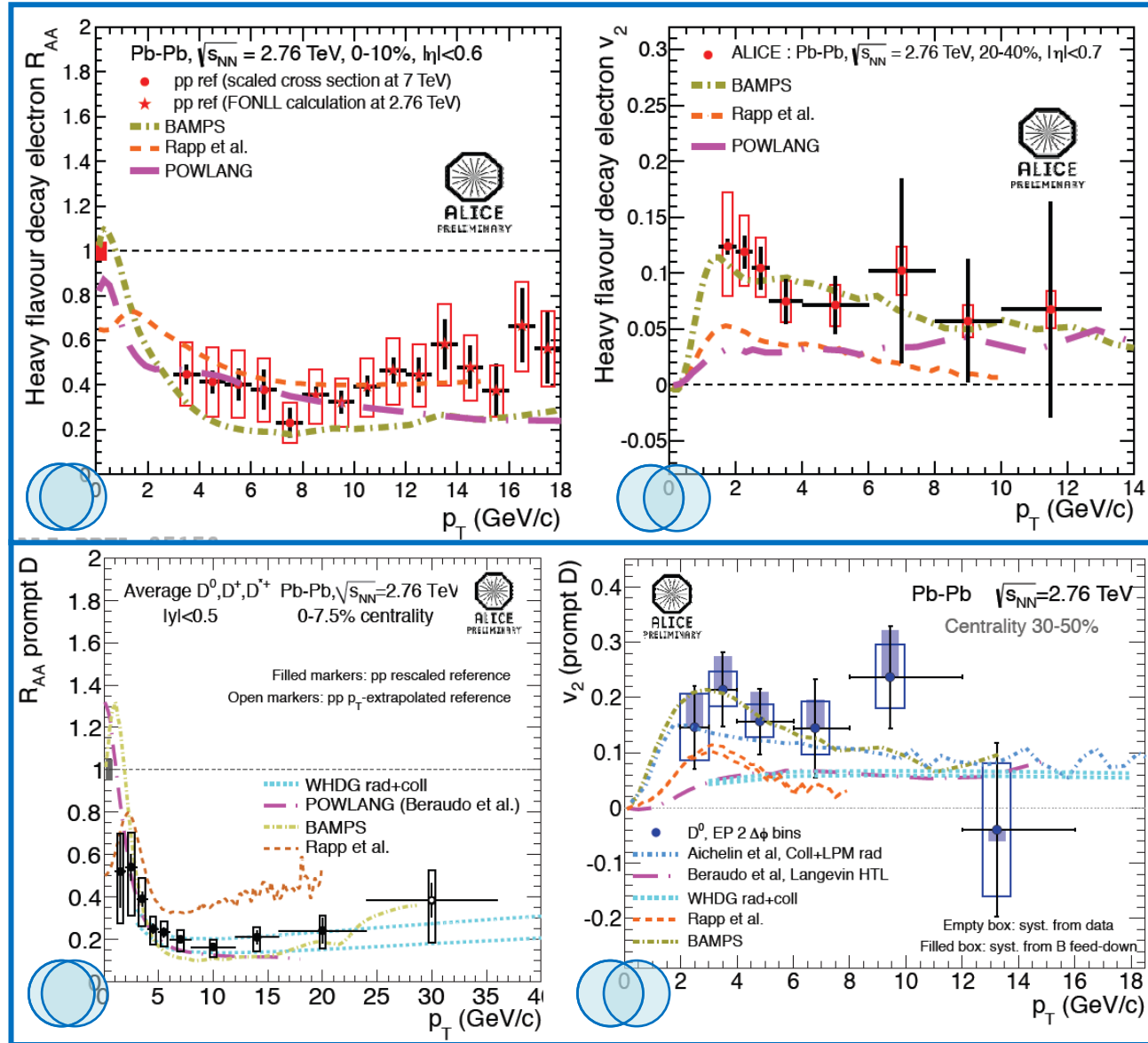
Comparaison avec les modèles: D/hadrons légers



- Les modèles de perte d'énergie (radiative+collisions) décrivent raisonnablement les données pour les hadrons charmés et les particules chargés

Contraindre les modèles: v_2, R_{AA} ($e \leftarrow b, c/D^0, D^+, D^{+*}$)

- Les modèles de perte d'énergie ont des difficultés à décrire simultanément le R_{AA} et le v_2



Mesure des quarkonia dans les collisions pp, pA

➤ Collisions proton-proton:

▪ Tester les modèles de productions:

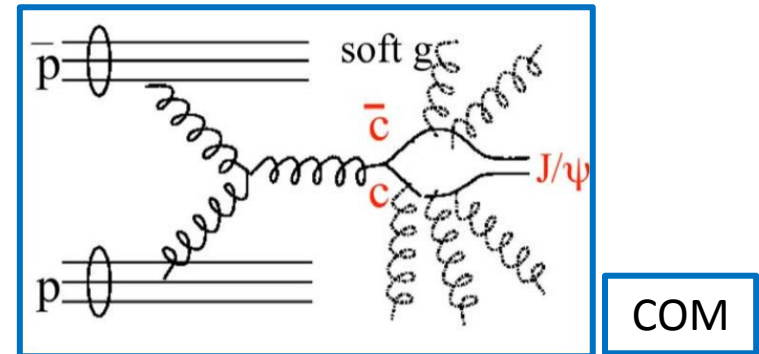
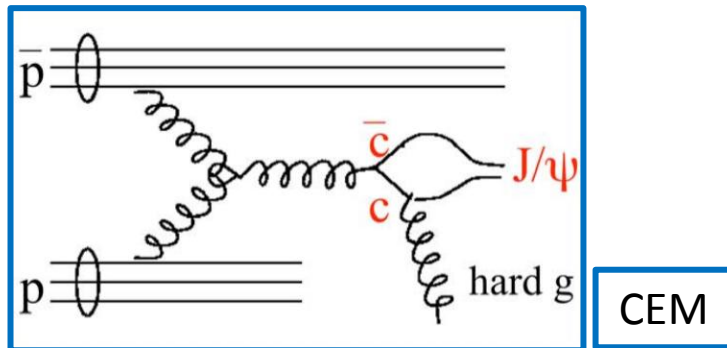
- Color Evaporation Modèle (CEM): phénoménologique, ne prédit pas la polarisation
- Modèle de QCD non relativiste (NRQCD) → Color Octet Model (COM), Color Singlet Model (CSM)

Q produits dans des processus durs (pérturbatif), états liés processus de basse énergie (non perturbatif)

Reproduit mal les données au premier ordre (LO), résultats meilleurs à l'ordre supérieur (NLO)

→ Comparaison avec les données du Tevatron: *PRL 99 (2007) 132001*

→ Comparaison avec les données du RHIC: *PRL 98 (2007) 232002, PRL 100 (2008) 032996*



- Référence pour l'étude des collisions pA et AA

➤ Collisions proton-Noyau:

- Mesurer l'influence du milieu nucléaire sur la production de quarkonia
- Effets nucléaires froids: (anti-)shadowing, perte d'énergie, absorption nucléaire

Mesure des quarkonia dans les collisions AA

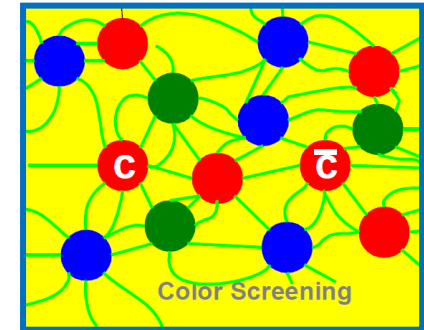
➤ Signature du déconfinement:

▪ Suppression des quarkonia par écrantage de couleur:

- masse importante des quarks lourds
→ théorie des potentiels non relativistes

- Potentiel des états liés dans le vide QCD: $V(r) = \underbrace{\sigma r}_{\text{confinement}} - \underbrace{\frac{\alpha}{r}}_{\text{potentiel de couleur (Coulombien)}}$
→ r distance entre le quark et l'anti-quark

$$V(r) = \underbrace{\sigma r}_{\text{confinement}} - \underbrace{\frac{\alpha}{r}}_{\text{potentiel de couleur (Coulombien)}}$$



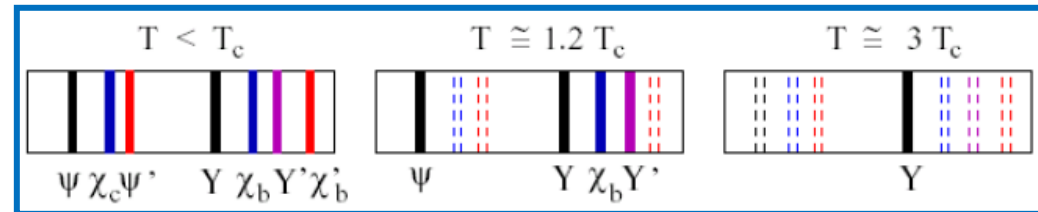
Matsui and Satz,
PLB 178 (1986) 416

- Potentiel des états liés dans le PQG: $V(r, T > T_c) = -\frac{\alpha}{r} e^{-\frac{r}{r_D} T}$
→ r_D rayon de debye: portée de l'interaction forte
→ $r_D \sim 1/T$: $r_D < r$ dissociation

➤ Sonde de température:

▪ Suppression séquentielle:

- ≠ espèces de quarkonia, ≠ r
- ≠ températures de dissociation

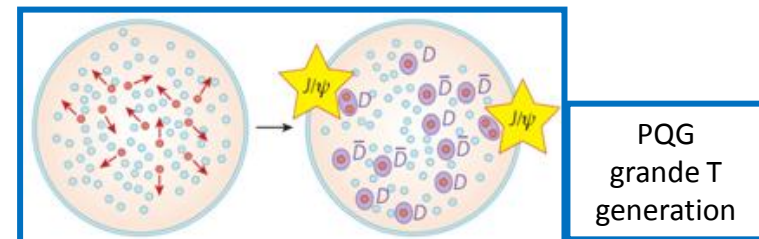
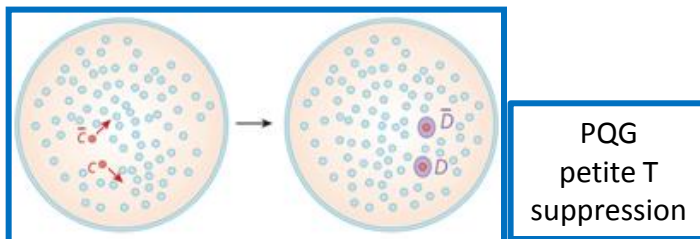


Digal, Petreczky, Satz, PRD 64 (2001) 0940150

▪ Augmentation du nombre de quarkonia par (ré-)génération:

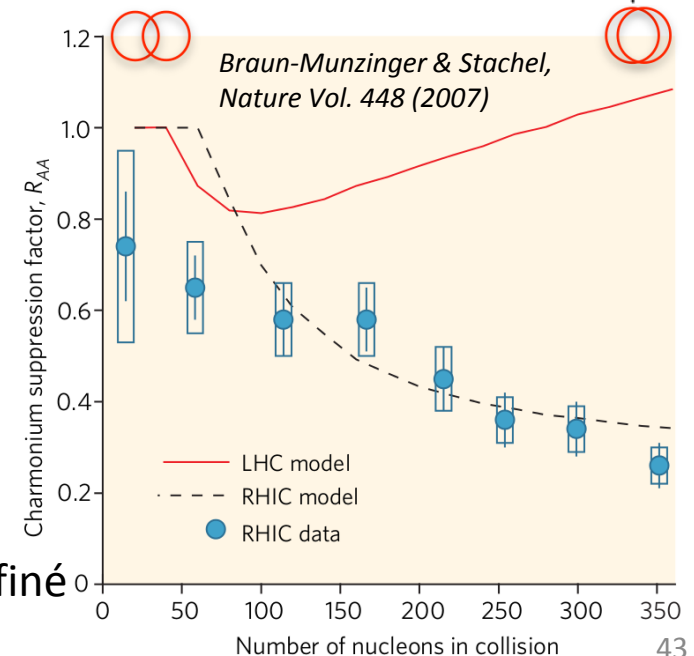
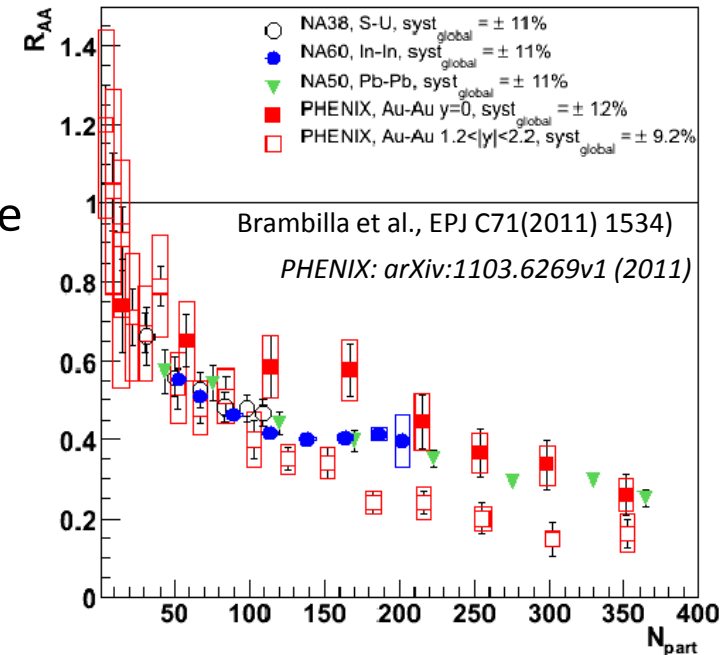
- grand nombre de quarks lourds évoluant librement
- (re-)combinaison des quarks lourds

Andronic, Braun-Munzinger, Redlich, Stachel,
PLB 571(2003) 36



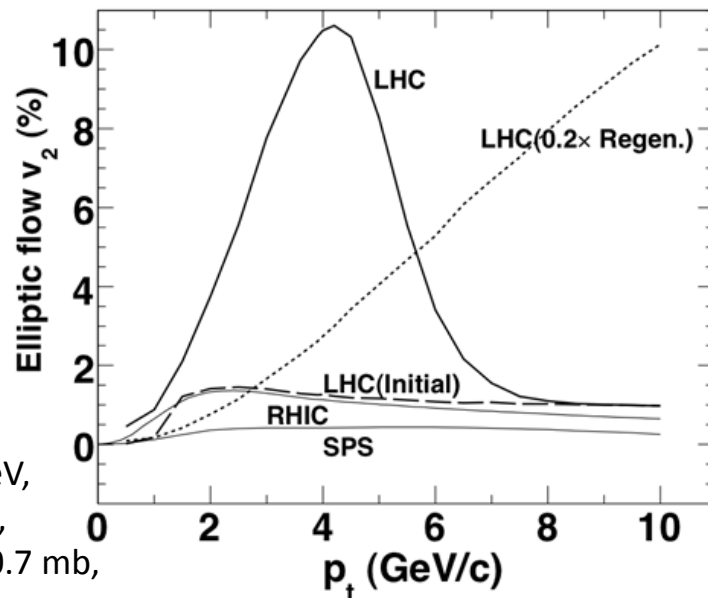
Le J/ψ au SPS, au RHIC et au LHC: R_{AA}

- Le R_{AA} est une observable clé
- Au SPS, une suppression ne pouvant être expliquée par les effets froids uniquement a été observée
- Le puzzle de RHIC:
 - Plus grande suppression à l'avant où la densité d'énergie devrait être moins importante
 - Suppression comparable à celle observée au SPS malgré une $\sqrt{s}_{NN}$ environ 10 fois plus importante
→ Non prédit par le modèle d'écrantage de couleur
- Les modèles de (ré-)génération ont été introduits pour décrire les données récoltées au RHIC
- Aux LHC, on s'attend à ce que le PQG soit beaucoup plus chaud:
 - $\sigma_c(\text{LHC}) \sim \sigma_c(\text{RHIC}) \times 10$
 - (ré-)génération importante attendue
 - Les mesures du R_{AA} devraient être décisives pour comprendre l'interaction du J/ψ avec le milieu déconfiné



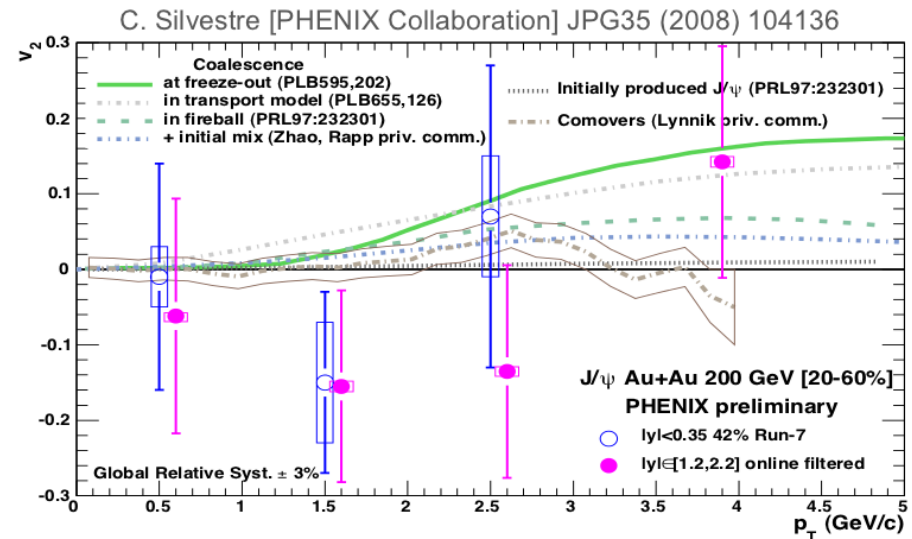
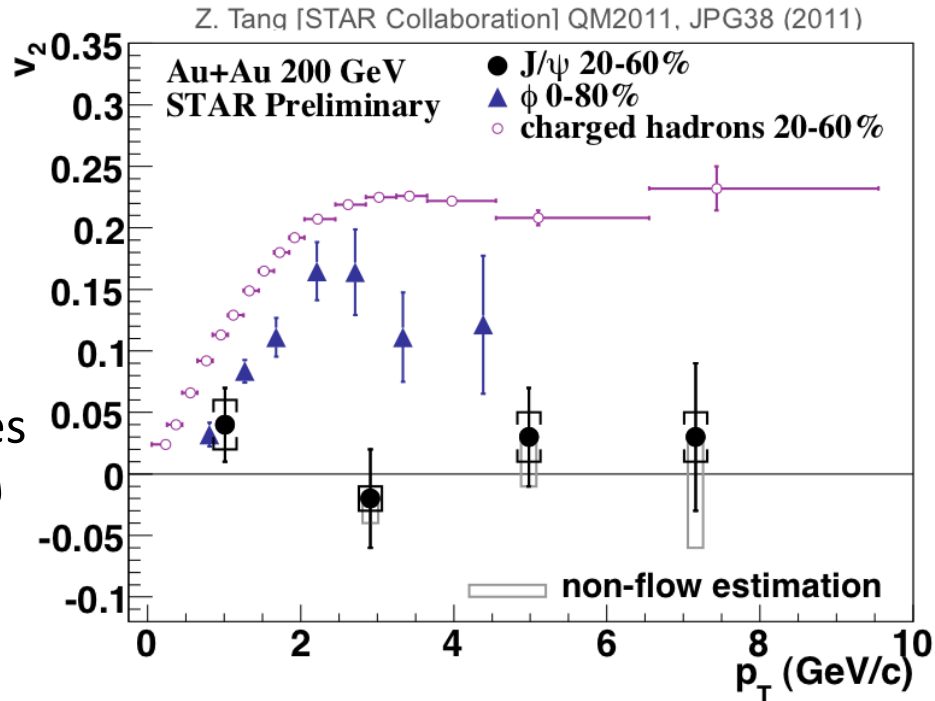
Le J/ψ au RHIC et au LHC: v_2

- Le v_2 est une observable clé
- Si les quarks charmés participent aux mouvements collectifs, leur v_2 devrait être transférés aux J/ψ issus de la recombinaison
- Aux énergies du RHIC, $v_2 \sim 0$
- Aux énergies du LHC, le v_2 devrait être très supérieur à zéro si la contribution des J/ψ créés par recombinaison est importante



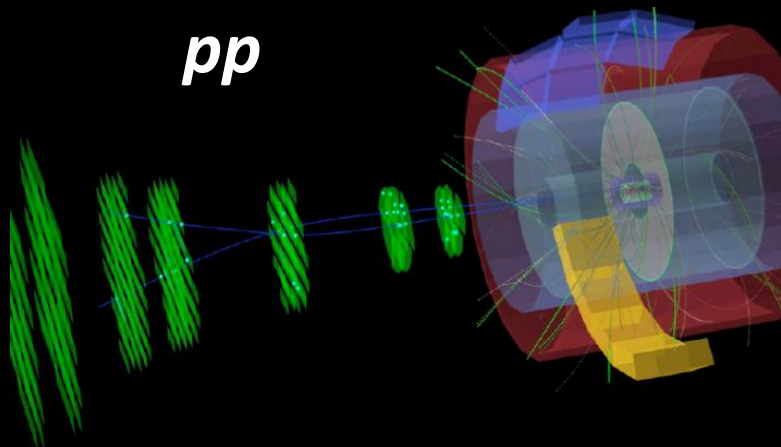
PbP@5.5 TeV,
mid-rapidity,
 $d\sigma_{c\bar{c}}/dy=0.7$ mb,
no B feed down

Y. Liu, N. Xu, P. Zhuang, Nucl.Phys.A834 (2010) 317c

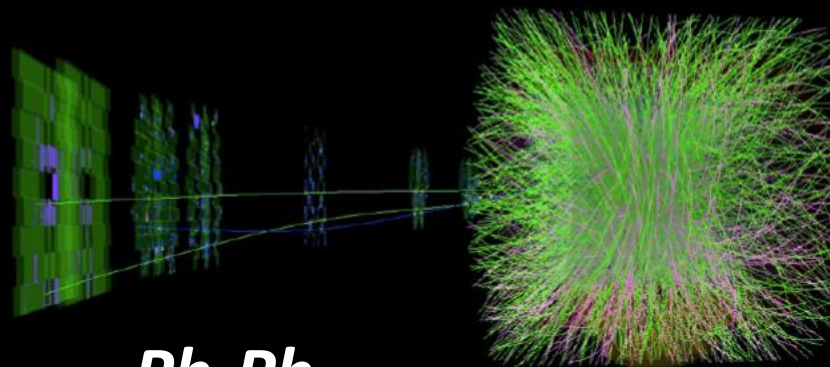


Résultats et conditions de prise de données

pp



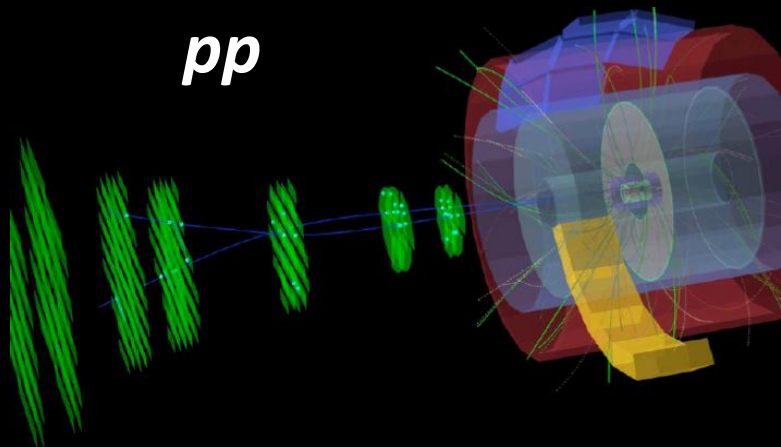
Pb-Pb



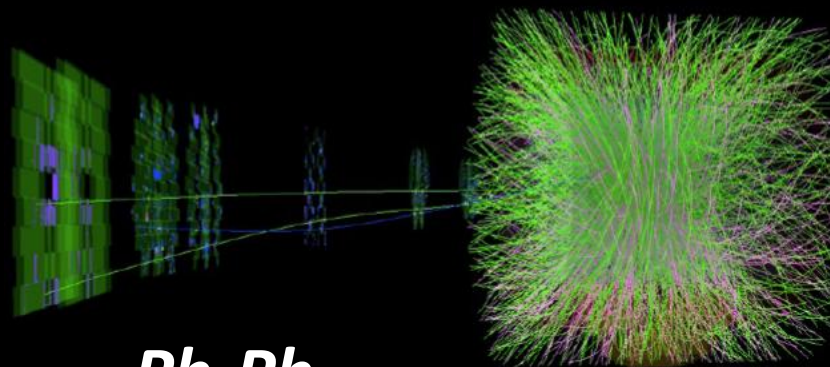
$\mu^+\mu^-$	Résultats	Publications	L_{int}
2010	Production du J/ψ pp@7 TeV	<i>PLB 704 (2011) 442</i>	15.6 nb ⁻¹
2011	Production du J/ψ pp@2.76 TeV	<i>PLB 718 (2012) 295-306</i>	19.9nb ⁻¹
2010	Polarization du J/ψ pp@7 TeV	<i>PRL 108 (2011) 082001</i>	~100 nb ⁻¹
2010	Production du J/ψ v.s. multiplicité dans les collisions pp@7 TeV	<i>PLB 712 (2012) 165</i>	7.7nb ⁻¹
2010	Production du J/ψ PbPb@2.76 TeV	<i>PRL 109 (2012) 072301</i>	2.88 μb^{-1}
2011	Production du J/ψ PbPb@2.76 TeV	Travail en cours	70 μb^{-1}

Résultats et conditions de prise de données

pp

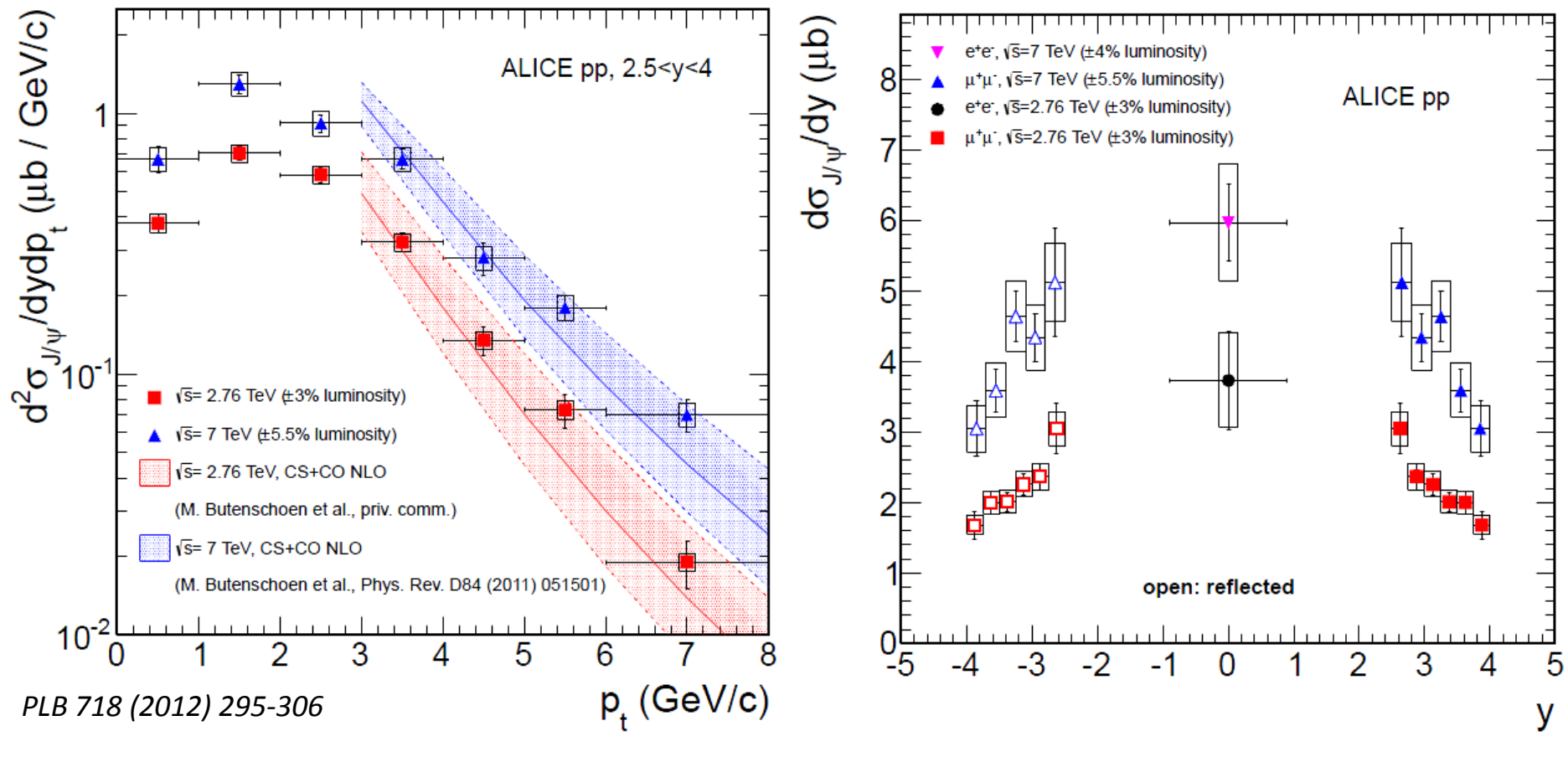


Pb-Pb



$\mu^+\mu^-/e^+e^-$	Résultats	Publications	L_{int}
2010	Production du J/ψ pp@7 TeV	<i>PLB 704 (2011) 442</i>	15.6/5.6 nb ⁻¹
2011	Production du J/ψ pp@2.76 TeV	<i>PLB 718 (2012) 295-306</i>	19.9/1.1 nb ⁻¹
2010	Polarization du J/ψ pp@7 TeV	<i>PRL 108 (2011) 082001</i>	~100 nb ⁻¹
2010	Faction de $B \rightarrow J/\psi$ pp@7 TeV	<i>JHEP 1211 (2012) 067</i>	5.6 nb ⁻¹
2010	Production du J/ψ v.s. multiplicité dans les collisions pp@7 TeV	<i>PLB 712 (2012) 165</i>	7.7/4.5 nb ⁻¹
2010	Production du J/ψ PbPb@2.76 TeV	<i>PRL 109 (2012) 072301</i> Travail en cours	2.88 μb^{-1} 1.7 μb^{-1}
2011	Production du J/ψ PbPb@2.76 TeV	Travail en cours	70 μb^{-1}

Résultats collisions pp: section efficace



- ALICE est unique par sa large couverture en acceptence jusqu'à $p_t = 0$ GeV/c
- Les calculs de QCD non relativiste reproduisent les données
- Collisions proton-proton à $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV → références pour les collisions PbPb

Résultats collisions pp à 7 TeV: polarisation

➤ Polarisation du J/ψ (*Eur. Phys. J. C*69 (2010) 657):

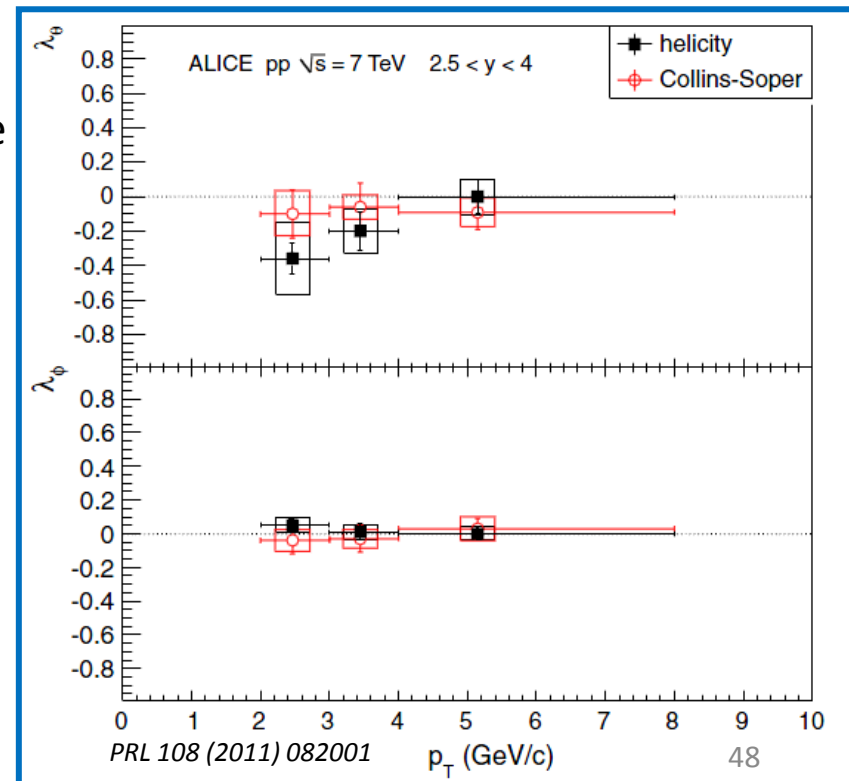
- Basées sur l'analyse angulaire des particules filles
- Distributions angulaires (1,2) exprimées dans 2 référentiels:
 - Collins-Soper (CS), Héliicité (HE)
- Extraction des paramètres de polarisation (λ_θ , λ_ϕ):
 - λ_θ et λ_ϕ quantifient la polarisation (e.g. . $\lambda_\theta > 0$ pol. transverse, $\lambda_\theta < 0$ pol. longitudinale)

$$(1) W(\cos \theta) \propto \frac{1}{3 + \lambda_\theta} (1 + \lambda_\theta \cos^2 \theta)$$

$$(2) W(\phi) \propto 1 + \frac{2\lambda_\phi}{3 + \lambda_\theta} \cos 2\phi$$

➤ Résultats:

- Les paramètres de polarisation sont compatibles avec zéro dans les deux référentiels



Résultats in pp collisions: polarisation

➤ Polarisation du J/ψ (*Eur. Phys. J. C69 (2010) 657*):

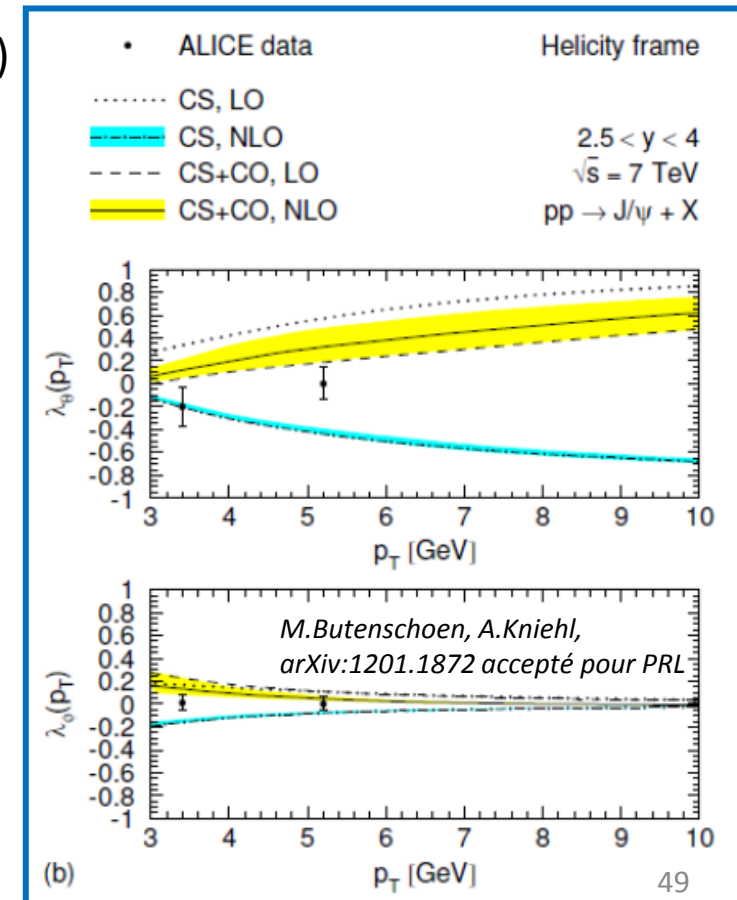
- Basées sur l'analyse angulaire des particules filles
- Distributions angulaires (1,2) exprimées dans 2 référentiels:
 - Collins-Soper (CS), Hélicité (HE)
- Extraction des paramètres de polarisation ($\lambda_\theta, \lambda_\phi$):
 - λ_θ et λ_ϕ quantifient la polarisation
(e.g. . $\lambda_\theta > 0$ pol. transverse, $\lambda_\theta < 0$ pol. longitudinale)

$$(1) W(\cos \theta) \propto \frac{1}{3 + \lambda_\theta} (1 + \lambda_\theta \cos^2 \theta)$$

$$(2) W(\phi) \propto 1 + \frac{2\lambda_\phi}{3 + \lambda_\theta} \cos 2\phi$$

➤ Résultats:

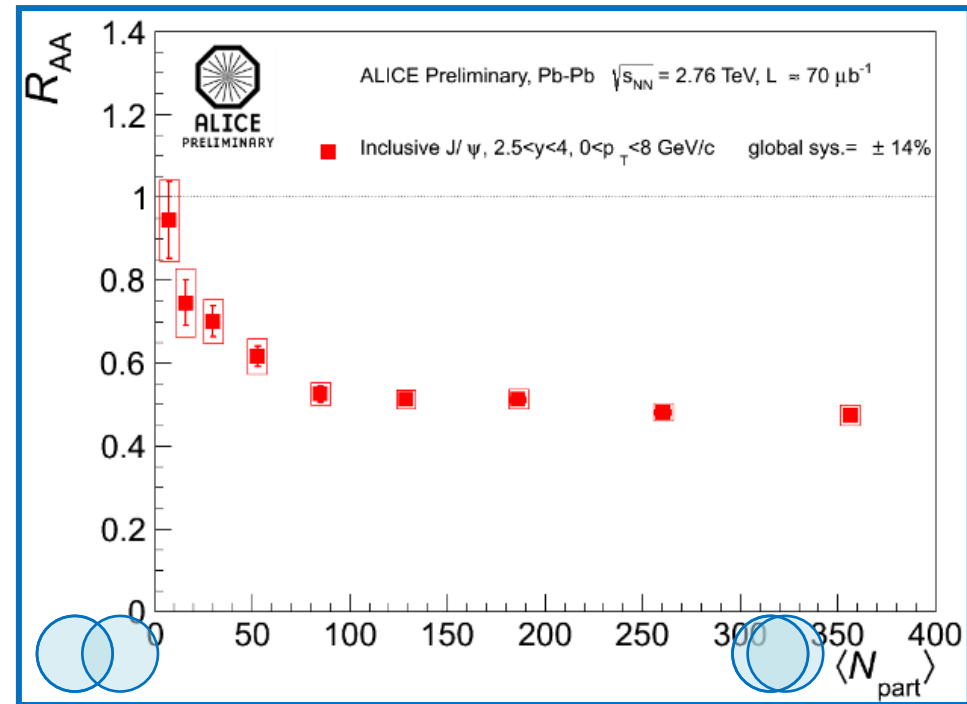
- Les paramètres de polarisation sont compatibles avec zéro dans les deux référentiels
- Premières prédictions théoriques (NRQCD) données/théorie → accord raisonnable



Evolution du R_{AA} avec la centralité

➤ Résultats:

- Suppression clairement observée
- Suppression dépendant très peu de la centralité pour un nombre de nucléons participants > 100



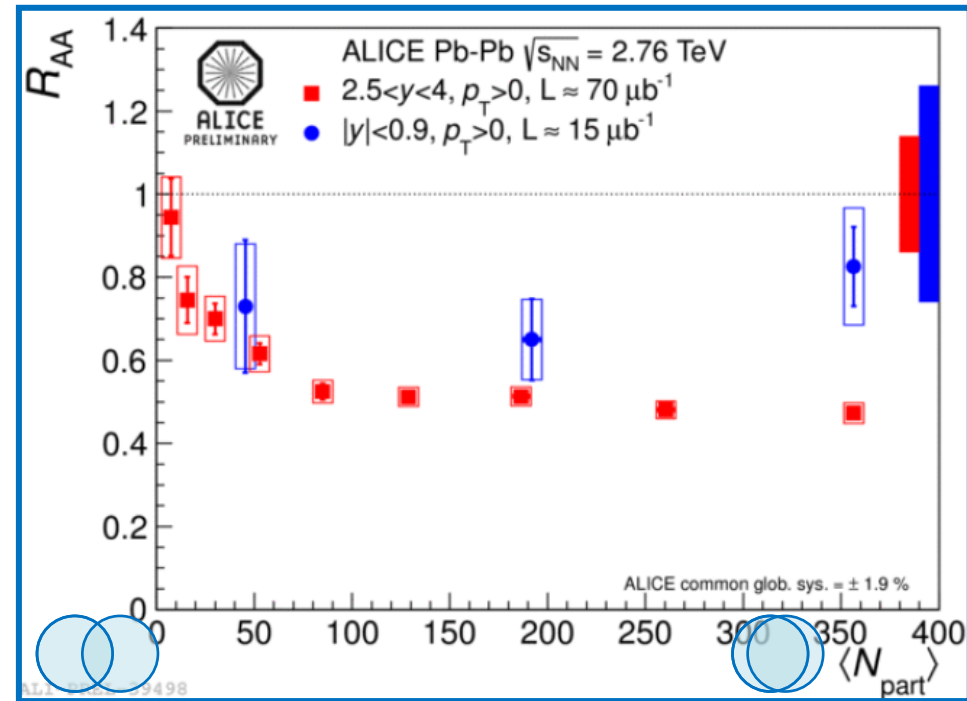
Evolution du R_{AA} avec la centralité

➤ Résultats:

- Suppression clairement observée
- Suppression dépendant très peu de la centralité pour un nombre de nucléons participants > 100

➤ Comparaison avec les résultats de la partie centrale ($J/\psi \rightarrow e^+e^-$):

- Suppression observée par la partie centrale
- Les incertitudes importantes ne permettent pas de conclure quant à un comportement différent suivant la rapidité



Evolution du R_{AA} avec la centralité

➤ Résultats:

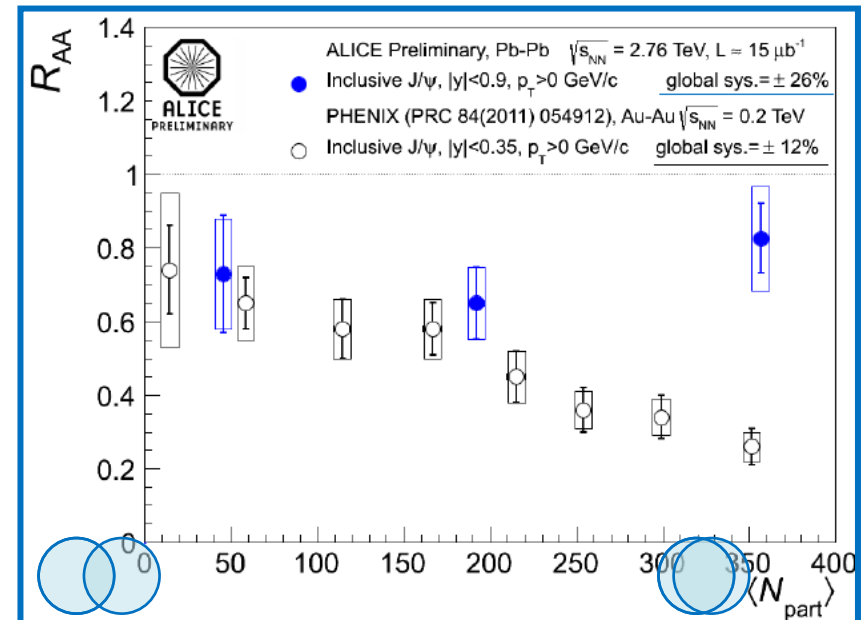
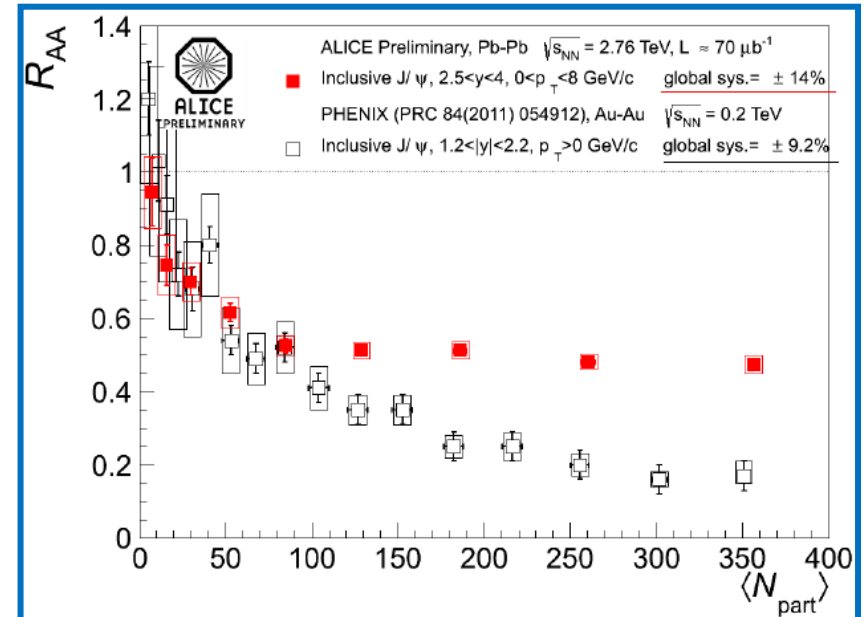
- Suppression clairement observée
- Suppression dépendant très peu de la centralité pour un nombre de nucléons participants > 100

➤ Comparaison avec les résultats de la partie centrale ($J/\psi \rightarrow e^+e^-$):

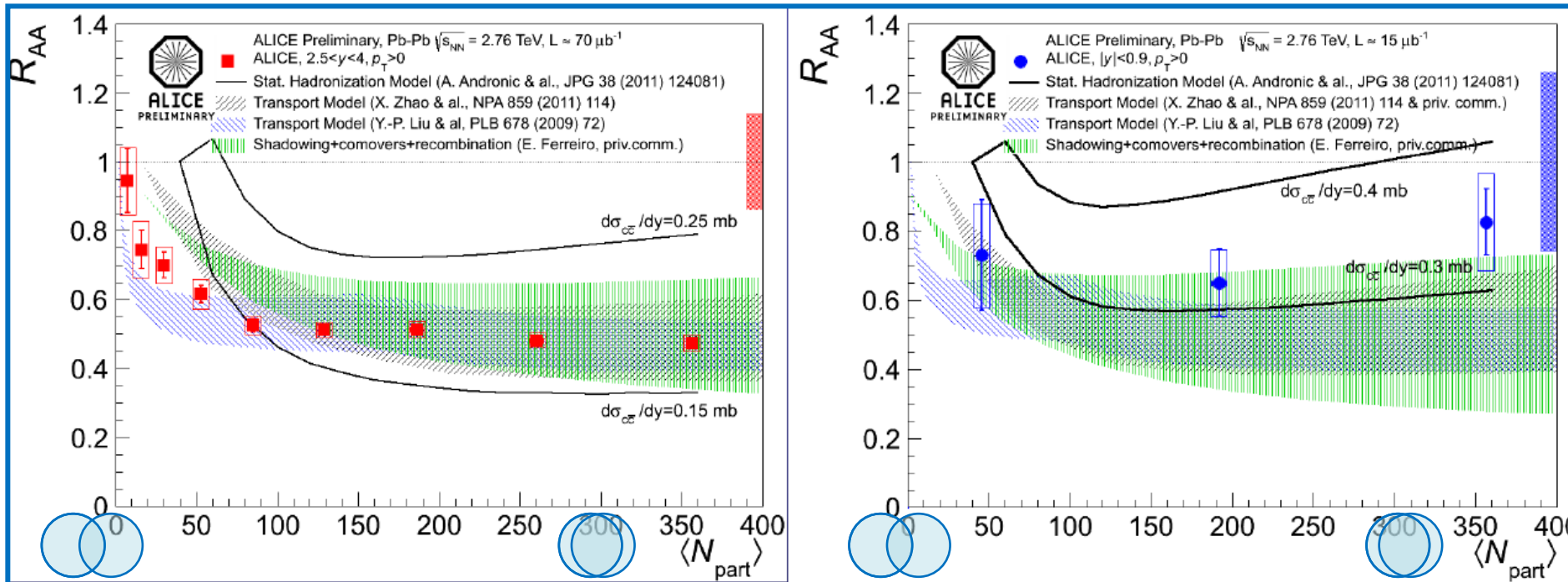
- Suppression observée par la partie centrale
- Les incertitudes importantes ne permettent pas de conclure qu'en à un comportement différent suivant la rapidité

➤ Comparaison avec les données du RHIC:

- Suppression moins importante observée à l'énergie du LHC
- Dépendance à la centralité moins importante au LHC
- Comportement attendu en considérant des processus de (ré-)génération



R_{AA} en fonction de la centralité: comparaison avec les modèles

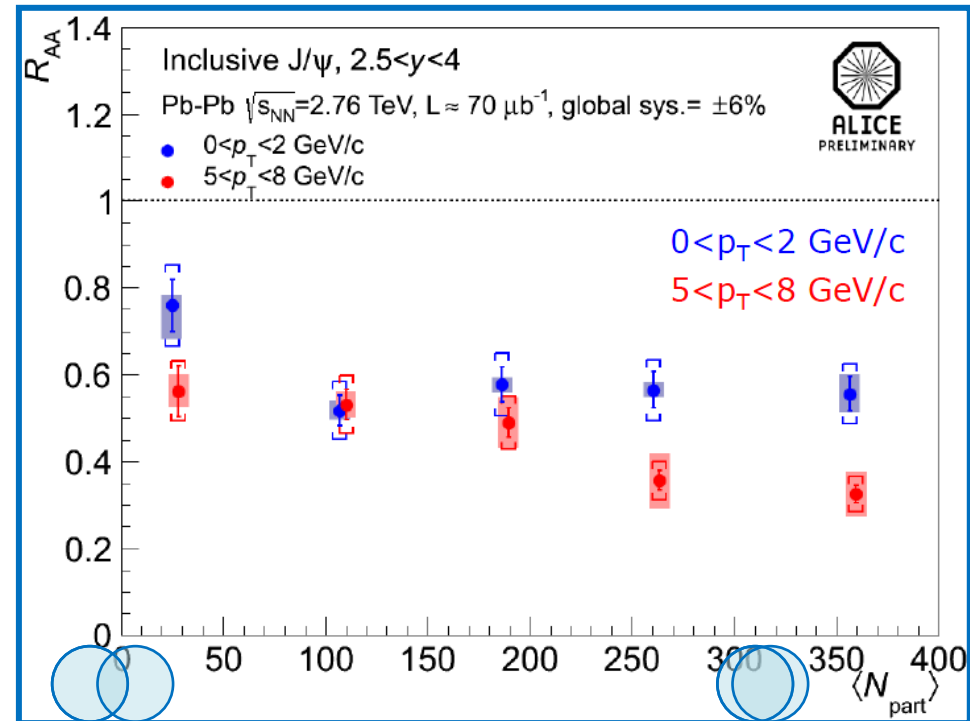


- Transport models+Ferreiro: fraction importante de J/ψ produits par (re-)combinaison des quarks charmés (>50% dans les collisions centrales)
- Statistical hadronization model: tous les J/ψ sont produits au moment de l'hadronisation par des processus purement statistiques
- Les deux types de modèle décrivent les résultats d'ALICE pour les collisions (semi-)centrales et dans les deux intervalles en rapidité

Evolution du R_{AA} avec l'impulsion transverse

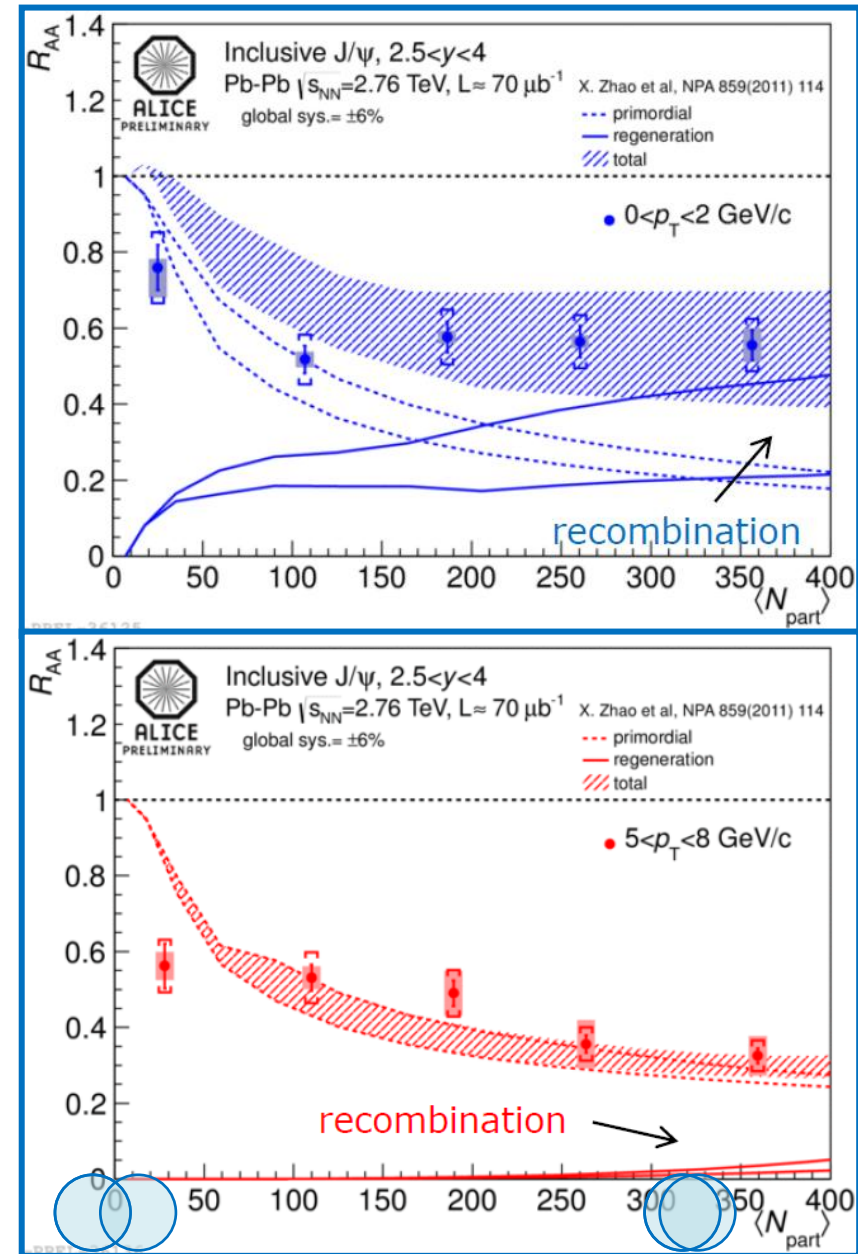
➤ Comparaison du R_{AA} pour les J/ψ de bas p_t ($0 < p_t < 2$ GeV/c) et de grand p_t ($5 < p_t < 8$ GeV/c):

- Suppression différente
- Suppression plus importante pour les J/ψ grand p_t



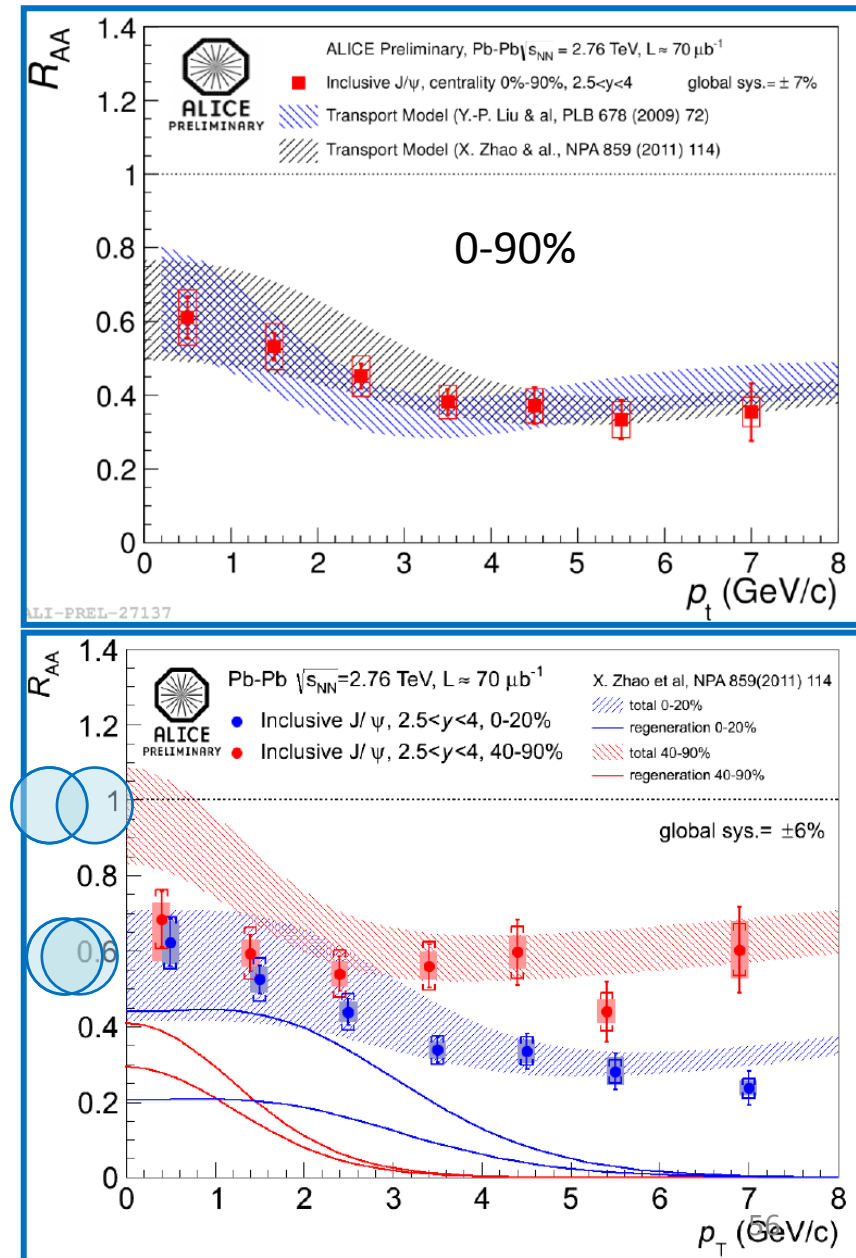
Evolution du R_{AA} avec l'impulsion transverse

- La production de J/ψ par (ré-)génération devrait être plus importante à bas p_t
- Comparaison du R_{AA} pour les J/ψ de bas p_t ($0 < p_t < 2$ GeV/c) et de grand p_t ($5 < p_t < 8$ GeV/c):
 - Suppression différente
 - Suppression plus importante pour les J/ψ grand p_t
- Comparaison avec les modèles:
 - Dans ce modèle de transport, ~50% des J/ψ de bas p_t sont produits par recombinaison de quarks charmés
 - Aux p_t importants la recombinaison est négligeable
 - Accord assez bon pour un nombre de nucléon participant plus grand que 100

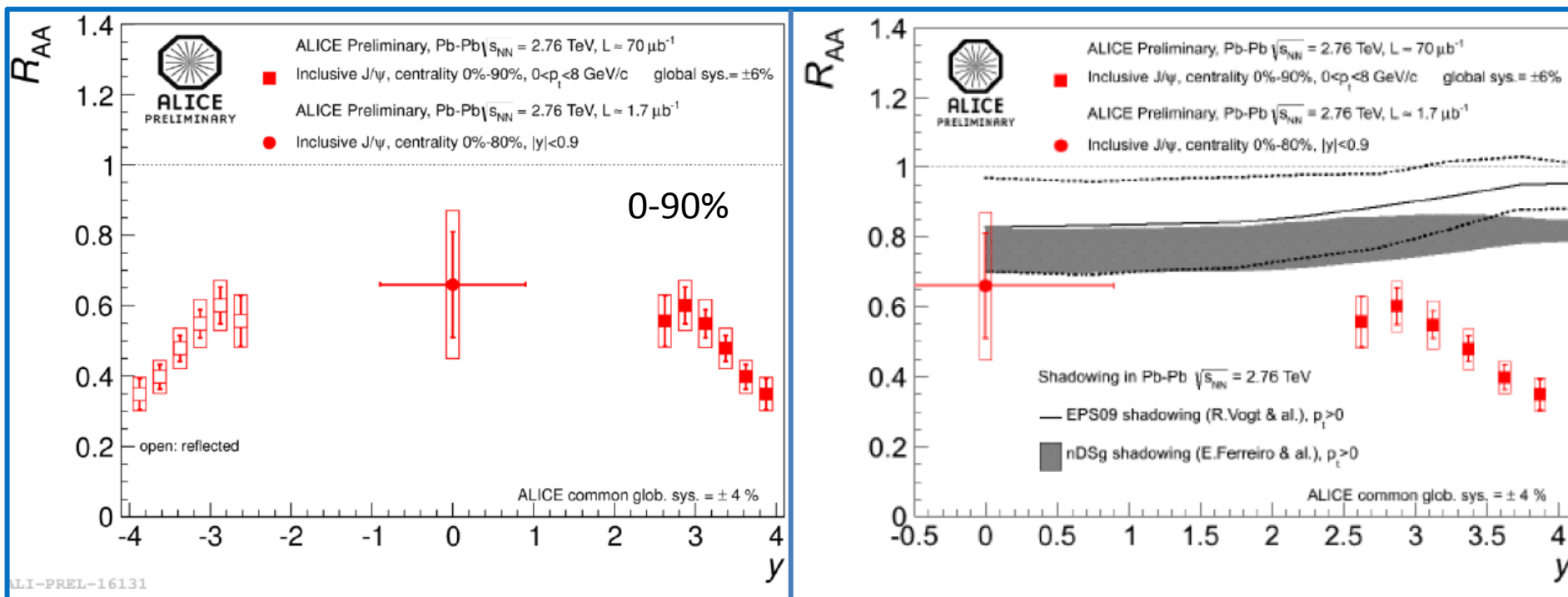


Evolution du R_{AA} avec l'impulsion transverse

- La production de J/ψ par recombinaison devrait être plus importante à bas p_t
- Données:
 - Suppression plus importante pour les J/ψ de haut p_t
 - La différence de suppression pour les hauts et les bas p_t est plus importante dans les collisions les plus centrales
- Comparaisons avec les modèles:
 - Dans les modèles de transport considérés, ~50% des J/ψ de bas p_t sont produits par recombinaison de quarks charmés
 - Assez bon accord entre les données et les modèles



Evolution du R_{AA} avec la rapidité

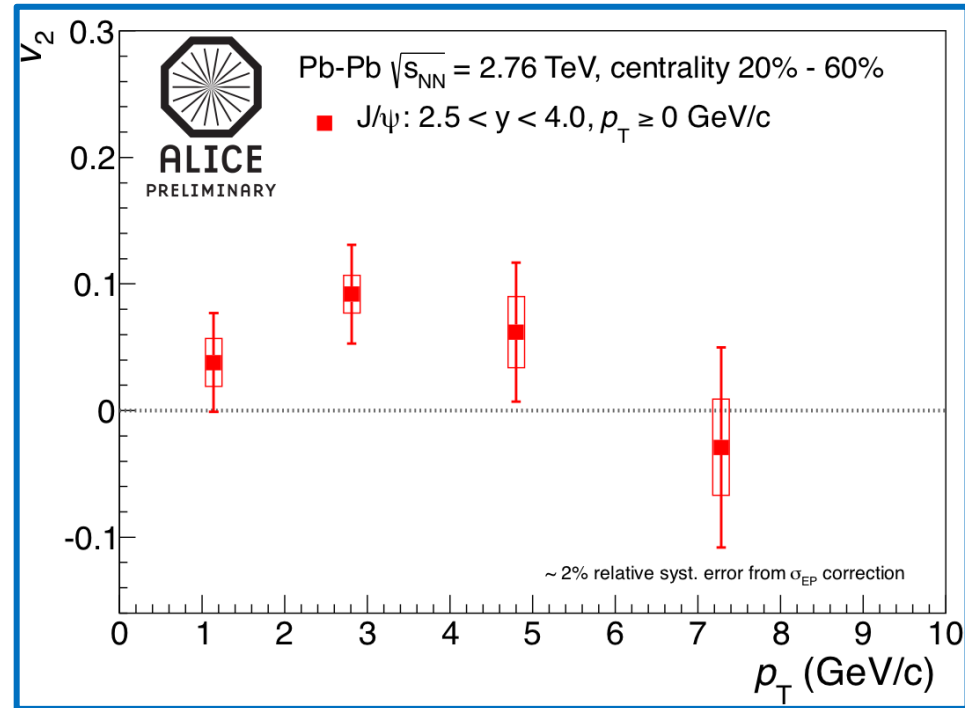


- Le R_{AA} diminue de $\sim 40\%$ entre $y=2.5$ et $y=4$
- Une suppression à l'avant ne pouvant être expliquée seule par les calculs actuels des effets nucléaires froids est observée
- Prochaines collisions pA (Janvier) → évaluation des effets nucléaires froids

v_2 en fonction de l'impulsion transverse

➤ Résultats:

- Une indication de v_2 différent de zéro pour $2 < p_T < 4$ GeV/c



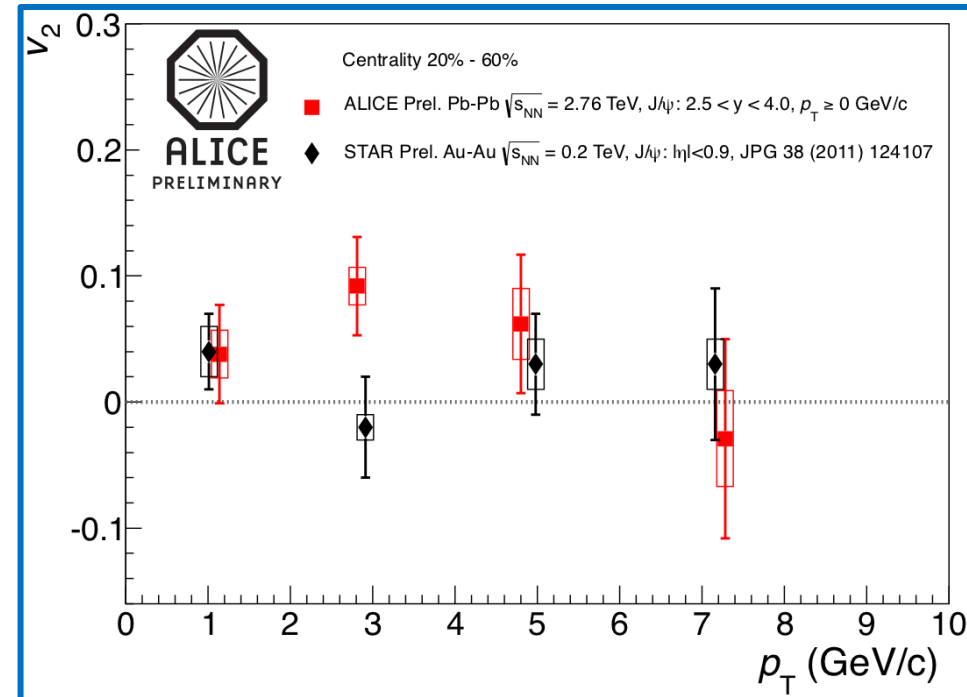
v_2 en fonction de l'impulsion transverse

➤ Résultats:

- Une indication de v_2 différent de zéro pour $2 < p_t < 4$ GeV/c

➤ Comparaison avec les données de STAR (RHIC):

- Une indication de v_2 différent de zéro pour $2 < p_t < 4$ GeV/c contrairement au v_2 observé à RHIC



v_2 en fonction de l'impulsion transverse

➤ Résultats:

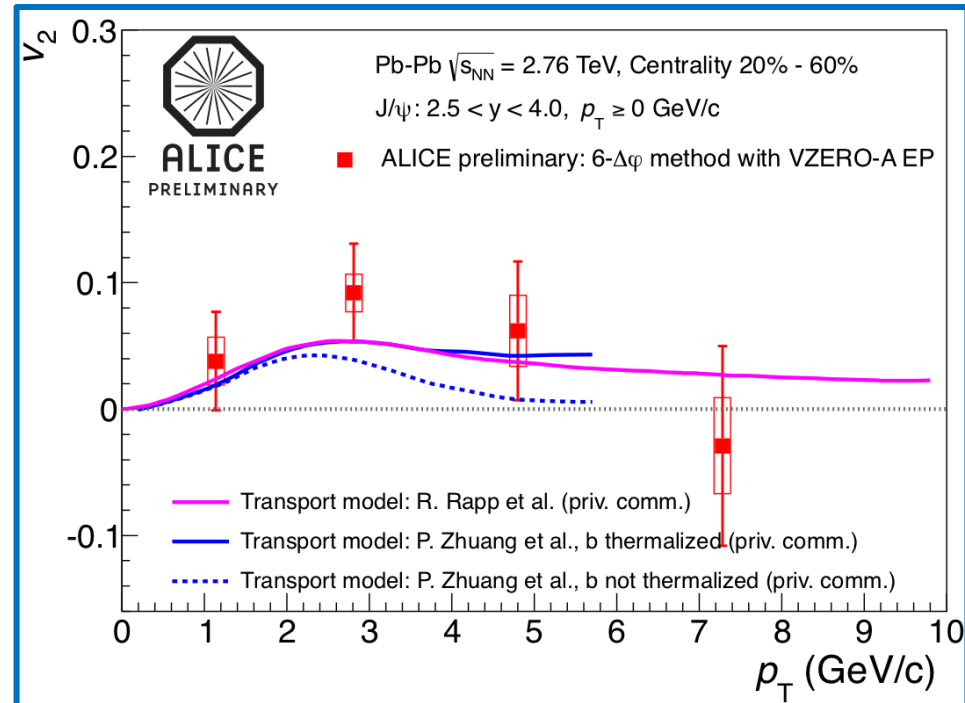
- Une indication de v_2 différent de zéro pour $2 < p_t < 4$ GeV/c

➤ Comparaison avec les données de STAR (RHIC):

- Une indication de v_2 différent de zéro pour $2 < p_t < 4$ GeV/c contrairement au v_2 observé à RHIC

➤ Comparaison avec les modèles:

- Les modèles de transports incluant la (ré-)génération du J/ψ décrivent qualitativement l'évolution du v_2 avec le p_t



Conclusion

- ALICE permet de sonder le PQG créé au LHC dans les collisions AA à $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV
- Les saveurs lourdes et les quarkonia sont des outils privilégiés
- Les saveurs lourdes:
 - La QCD perturbative reproduit la production des saveurs lourdes dans les collisions pp à $\sqrt{s} = 7$ TeV et à $\sqrt{s} = 2.76$ TeV
 - Une preuve de l'interaction importante des quarks lourds avec le milieu créé dans les collisions PbPb a été fournie
 - Les modèles intégrant la perte d'énergie radiative des partons dans le milieu et les modèles ajoutant une composante de perte d'énergie par collisions reproduisent la suppression observée pour les $\mu \leftarrow b, c$, les $e \leftarrow b, c$, et les hadrons D
 - Les modèles ont du mal à reproduire simultanément le v_2 et le R_{AA} des hadrons charmés ou des électrons de décroissance des saveurs lourdes
- Les quarkonia:
 - L'accord entre les prédictions de la NRQCD avec la section efficace de production du J/ψ à l'avant et à mi-rapacité et sa polarisation mesurées à l'avant dans les collisions pp est prometteur
 - La comparaison entre données et théorie suggère l'implication importante de processus de (ré-)génération du J/ψ dans les collisions PbPb au LHC

Mesure du J/ψ avec le spectromètre

➤ Extraction du signal:

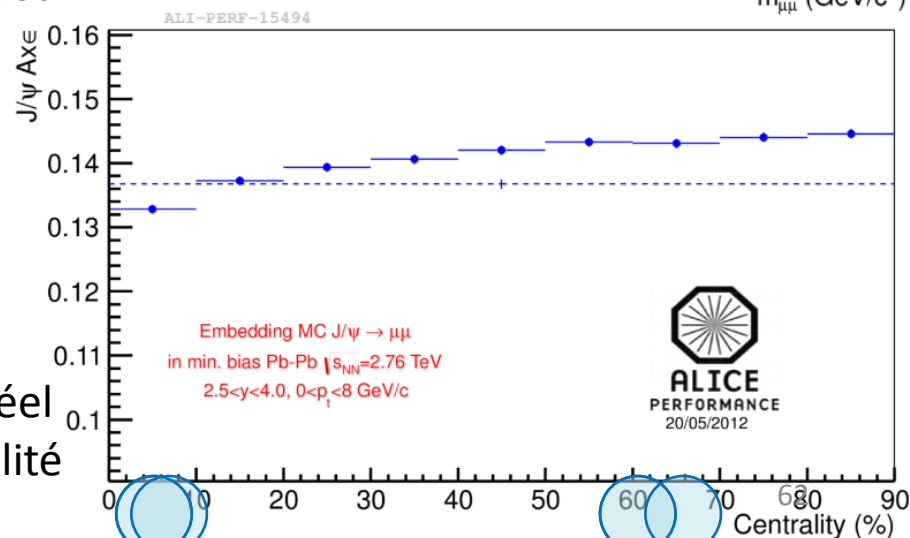
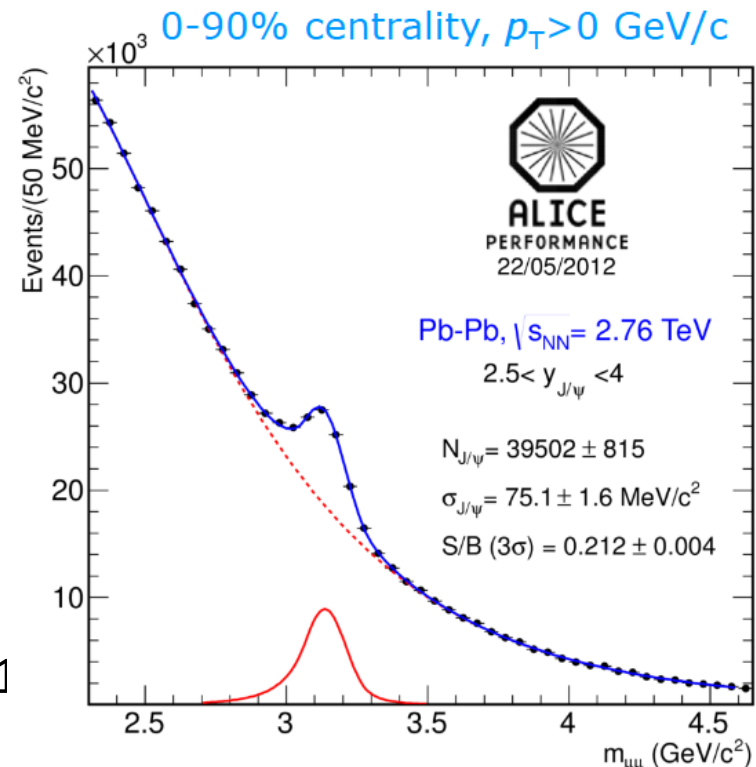
- Fit de la distribution en masse invariante des dimuons de signes opposés
- Signal: Double Crystal Ball
(gaussienne+queue de distribution à droite/gauche)
- Bruit de fond: différentes fonctions testées
(e.g. somme de 2 exponentielles/lois de puissance)
- Différentes techniques pour évaluer le nombre moyen de J/ψ et l'erreur systématique
(e.g. soustraction du bruit de fond évalué par une technique d' event mixing)

➤ Grace à la statistique importante collectée en 2011 le signal peut être extrait dans des intervalles

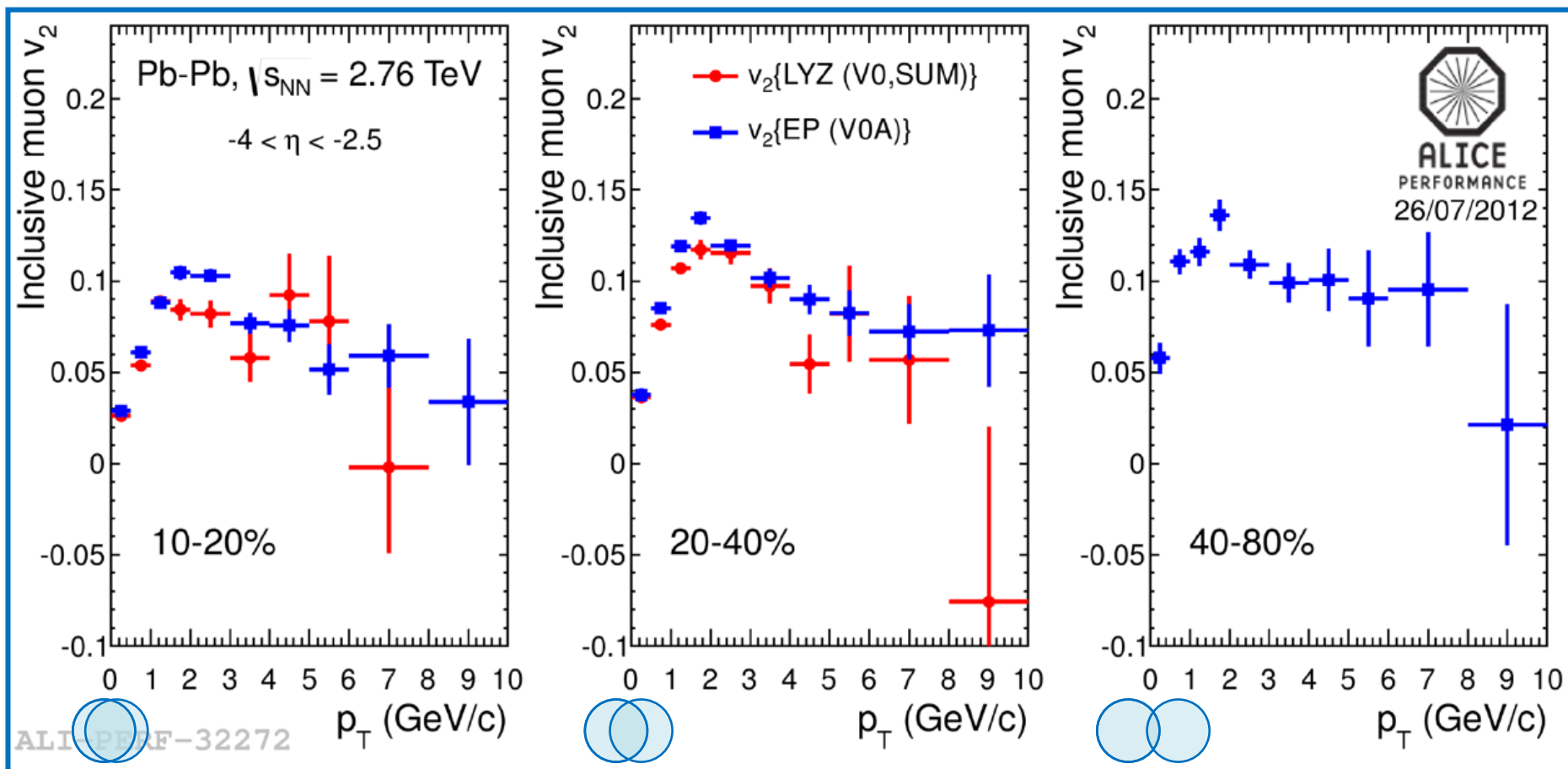
étroits en p_t en rapidité et en centralité

➤ Corrections d'acceptance et d'efficacité:

- Signal généré par une méthode MC
+transport dans une modélisation réaliste du détecteur
- PbPb → Eff. dépendante de la multiplicité
→ signal intégré dans un événement réel
→ évaluation dépendante de la centralité



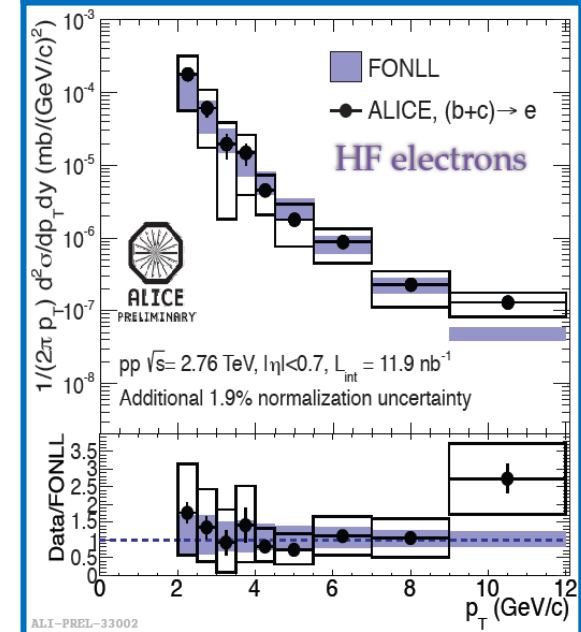
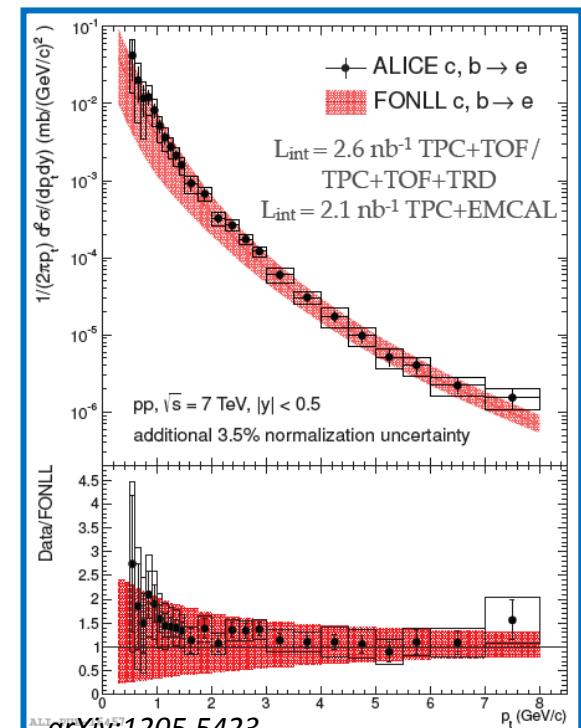
v_2 PbPb à $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV: $\mu \leftarrow b, c$



- Le v_2 peut être mesurer jusqu'à une impulsion transverse de 10 GeV/c
- Le bruit de fond n'est pas soustrait
- Le v_2 est plus important dans les collisions semi-centrales que dans les collisions centrales
- Des progrès très importants ont été faits depuis la validation de la figure
- L'analyse est plus avancée pour la partie centrale

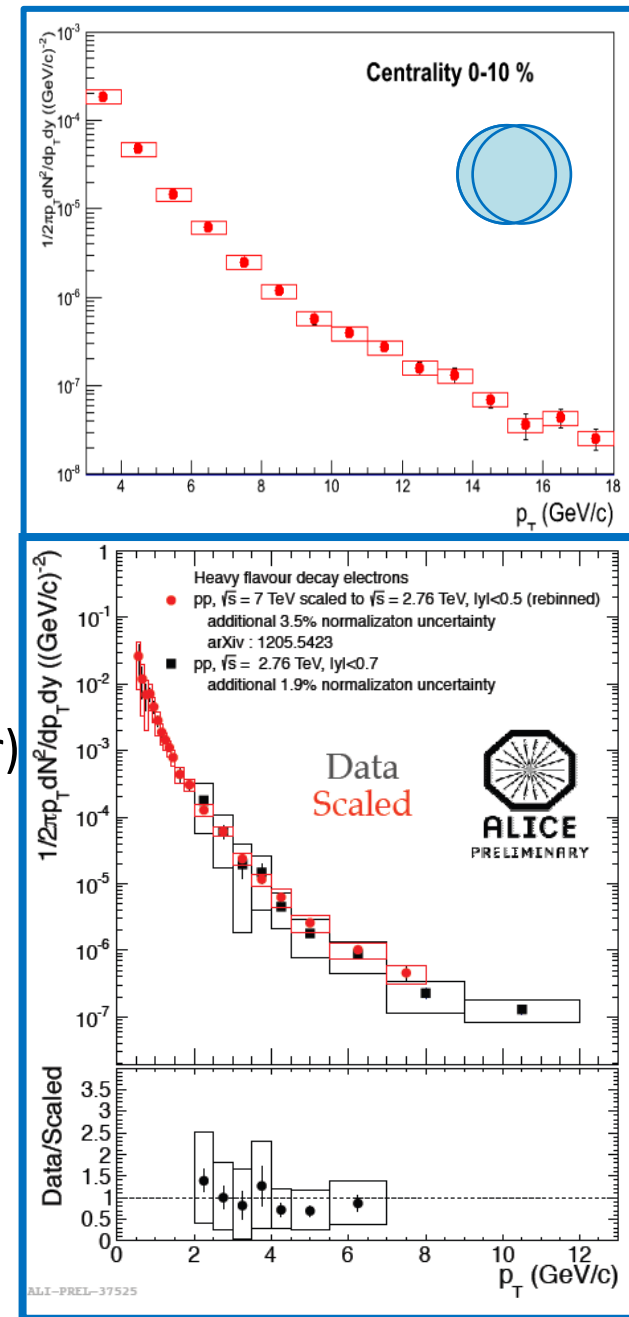
Référence pp: $e \leftarrow b, c$

- La production d' $e \leftarrow b, c$ a été mesurée dans les collisions pp à 7 TeV et 2.76 TeV
- Un impulsion transverse maximal de 8 GeV/c peut être étudié pour les collisions pp à 7 TeV
- Les prédictions de la pQCD (FONLL) reproduisent les données



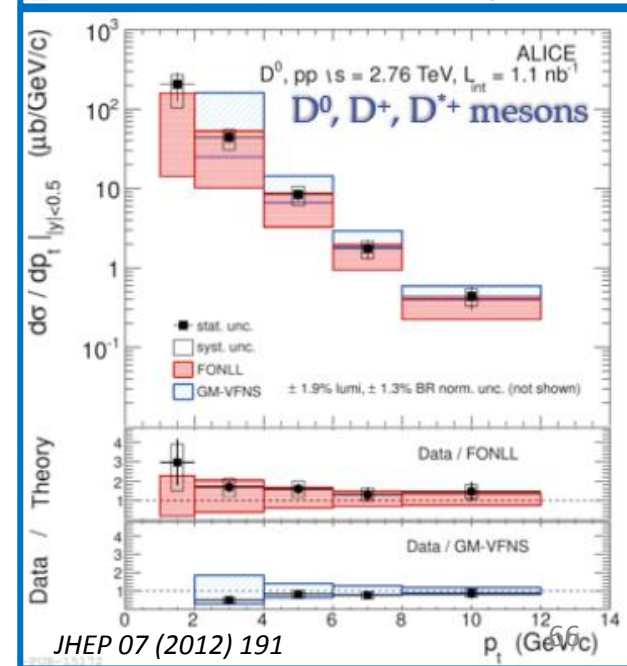
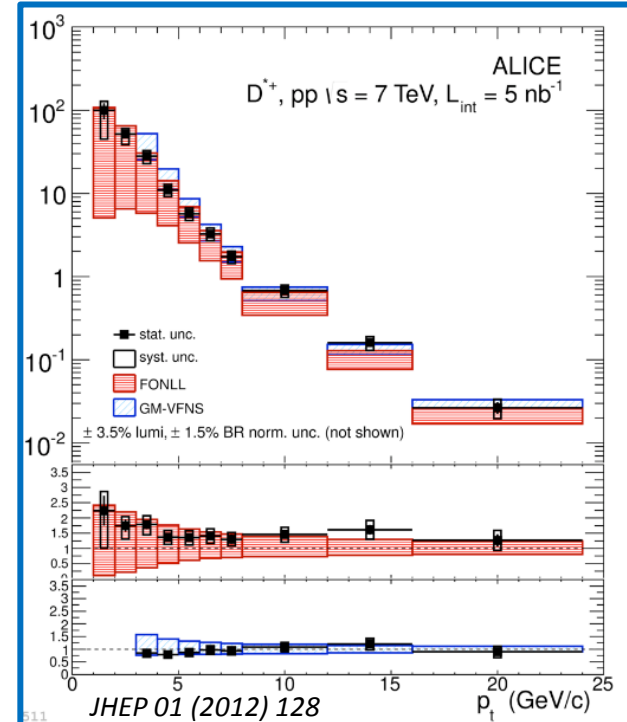
Référence pp: $e \leftarrow b, c$

- La production d' $e \leftarrow b, c$ a été mesurée dans les collisions pp à 7 TeV et 2.76 TeV
- Un impulsion transverse maximal de 8 GeV/c peut être étudié pour les collisions pp à 7 TeV
- Les prédictions de la pQCD (FONLL) reproduisent les données
- Dans les collisions PbPb centrales à 2.76 TeV, il est possible de mesurer les $e \leftarrow b, c$ jusqu'à des impulsions transverses de 18 GeV/c² (centrality trigger)
- Références pp pour le calcul du R_{AA} :
 - $p_t < 8$ GeV/c: pp 7 TeV normalisé à pp 2.76 TeV d'après FONLL pQCD
 - $p_t > 8$ GeV/c: prédiction FONLL pour pp à 2.76 TeV



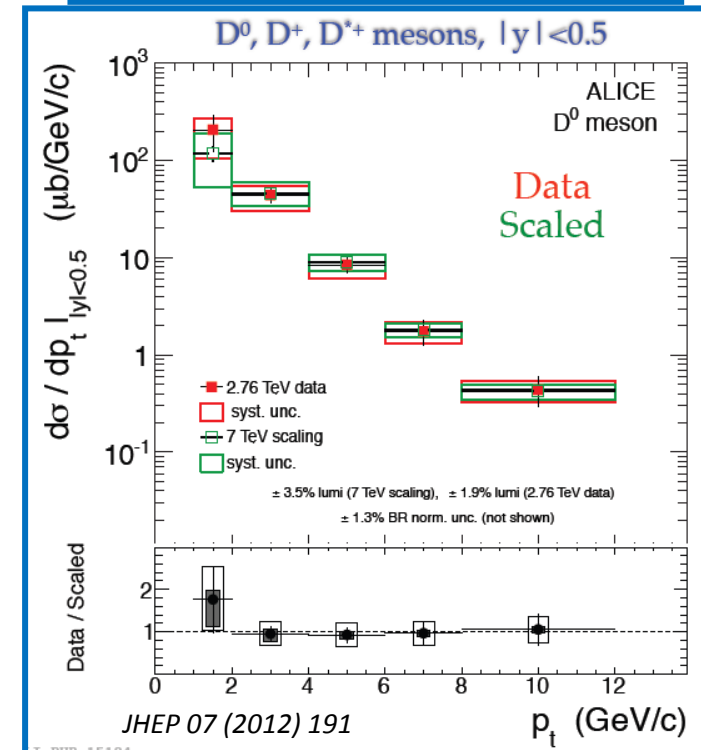
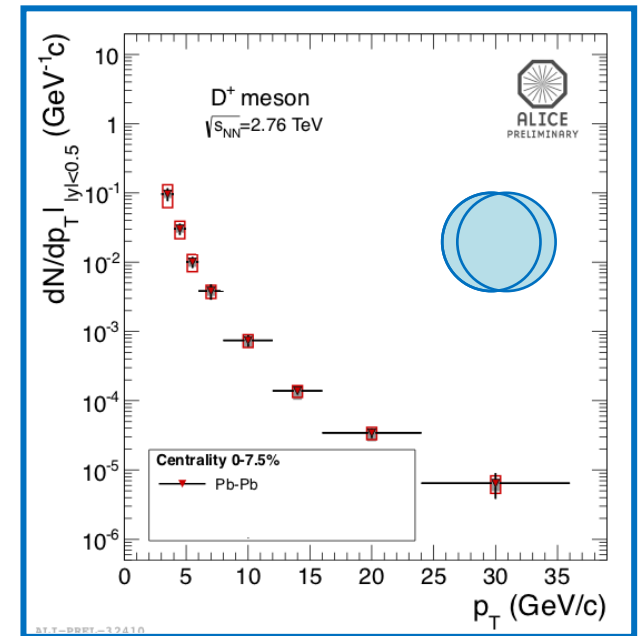
Référence pp: D^0, D^+, D^{+*}

- La production de D^0, D^+, D^{+*} a été mesurée dans les collisions pp à 7 TeV et 2.76 TeV
- Un impulsion transverse maximal de 24 GeV/c peut être étudié pour les collisions pp à 7 TeV
- Les prédictions de la pQCD (FONLL) reproduisent les données



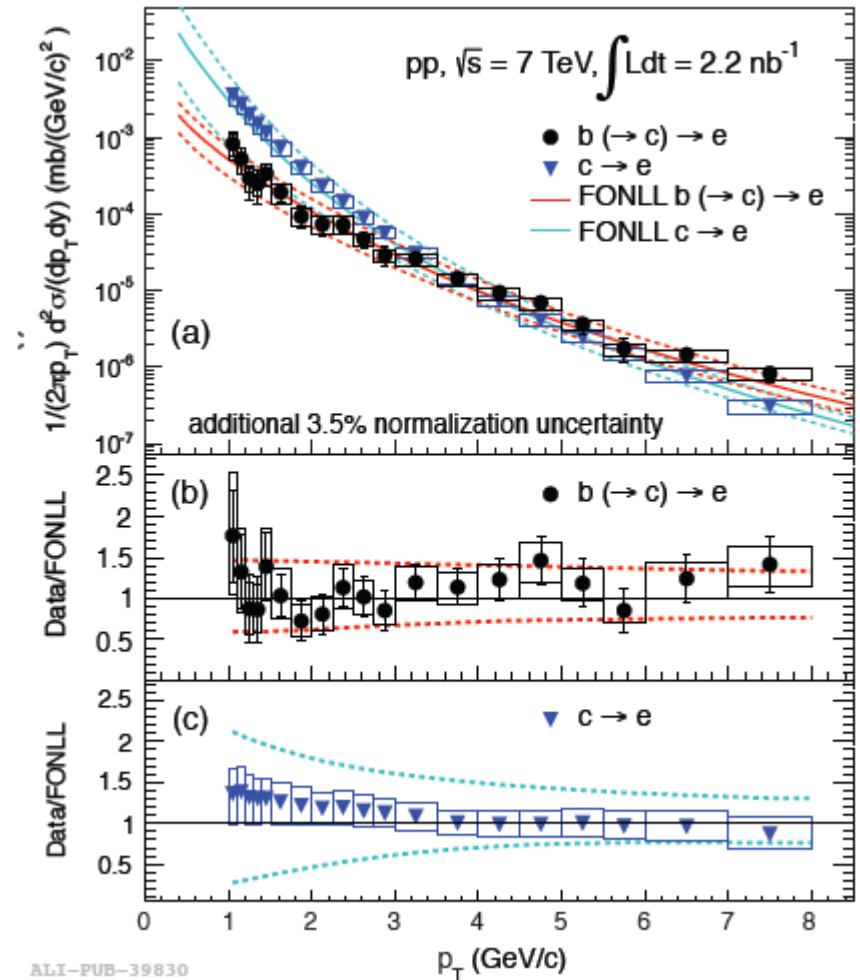
Référence pp: D^0, D^+, D^{+*}

- La production de D^0, D^+, D^{+*} a été mesurée dans les collisions pp à 7 TeV et 2.76 TeV
- Un impulsion transverse maximal de 24 GeV/c peut être étudié pour les collisions pp à 7 TeV
- Les prédictions de la pQCD (FONLL) reproduisent les données
- Dans les collisions PbPb centrales à 2.76 TeV, il est possible de mesurer les $e \leftarrow b, c$ jusqu'à des impulsions transverses de 36 GeV/c² (centrality trigger)
- Références pp pour le calcul du R_{AA} :
 - pp 7 TeV normalisé à pp 2.76 TeV d'après pQCD
 - Extrapolation FONLL pQCD à haut p_t



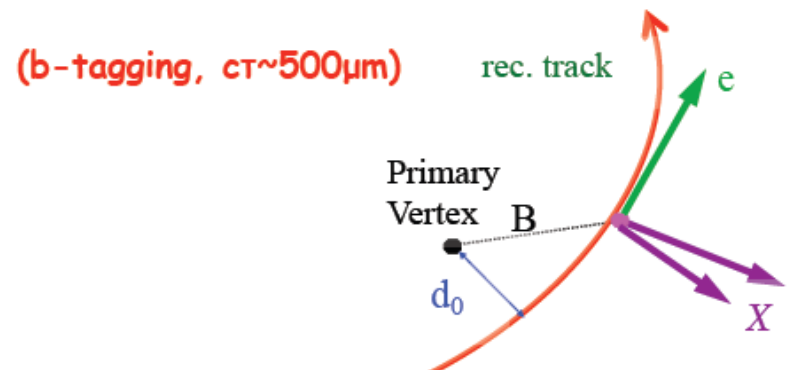
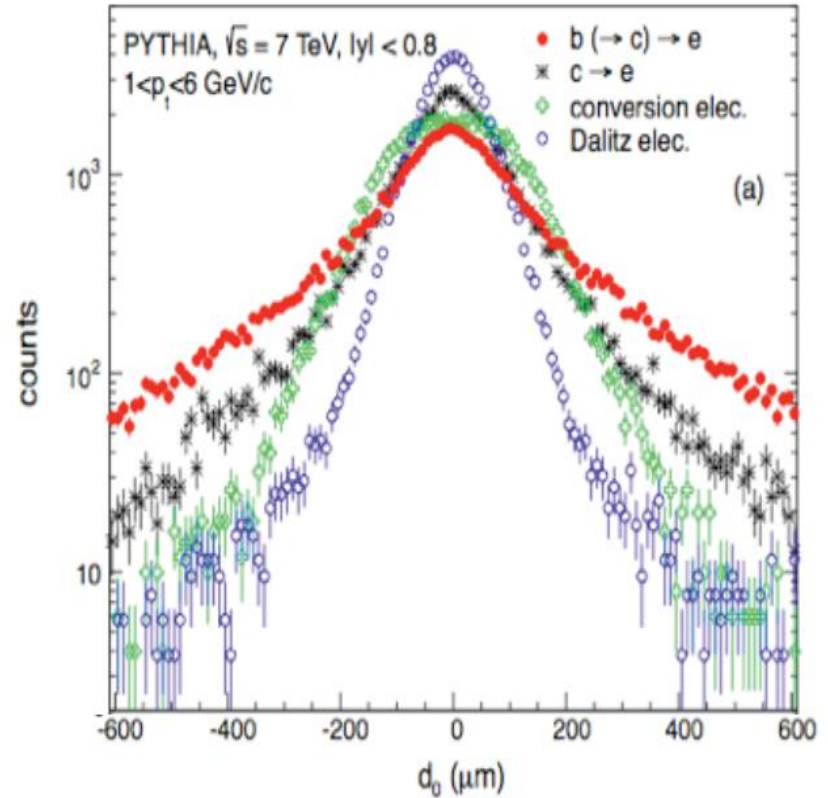
Mesure des $e \leftarrow b$ dans les collisions pp à 7 TeV

- cut topologique
- Cocktail pour soustraire le bruit de fond résiduel
- Evaluation des $e \leftarrow c$ par soustraction
- En accord avec la QCD (FONLL)



Mesure des $e \leftarrow b$

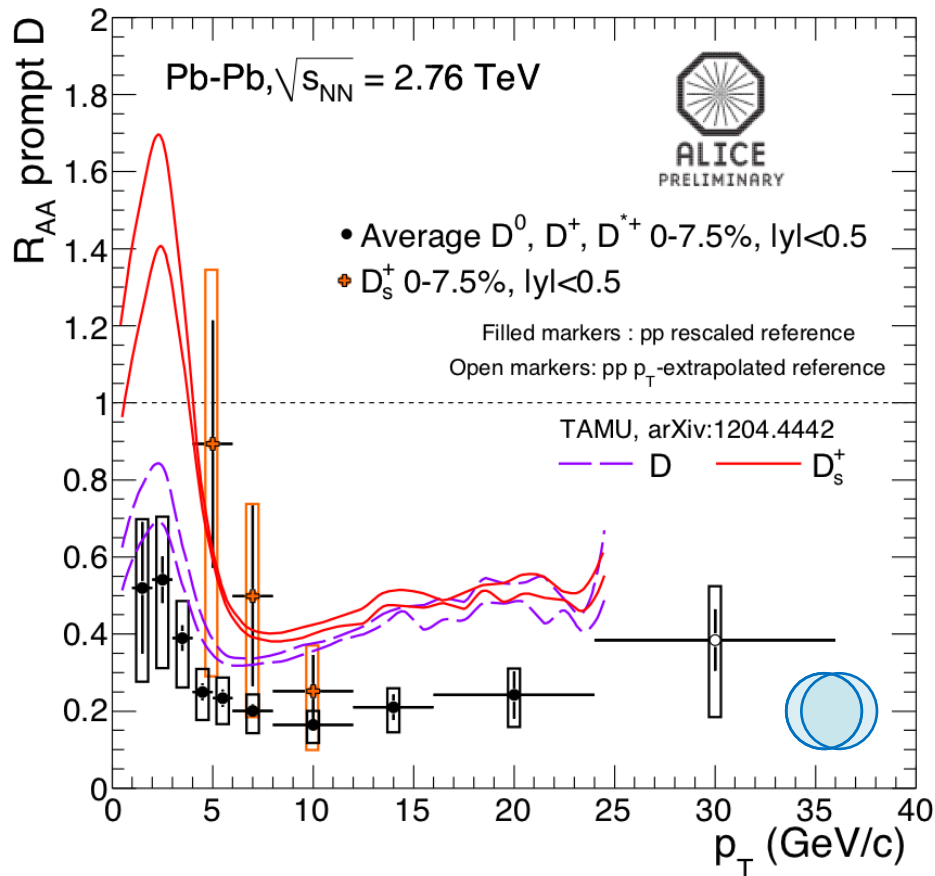
- Sélection avec le paramètre d'impact d_0 (ITS)
- Identification des électrons TOF, TPC
- Soustraction du bruit de fond résiduel:
Cocktail : π^0 , η , J/ψ , Υ , D^0 , D^+ , D^{*+} mesurés
+ simulations hadrons légers...



Première mesure du R_{AA} des D_s^+

- $D_s^+ \rightarrow \phi \pi^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$
- On s'attend à une augmentation du nombre de D_s dans les régions de p_t intermédiaires du fait du nombre important de quarks strange attendu dans le milieu déconfiné
- Suppression d'un facteur 3-5 pour $8 < p_t < 12$ GeV/c
- Suppression similaire que les D^0, D^+, D^{+*}
- TAMU $\rightarrow$ diffusion des quarks et hadronisation dans le PQG:
 - Couplage fort avec le milieu
 - Evolution hydrodynamique
- + coalescence des quarks charmés dans le milieu

(arXiv:1204.4442)



Fraction of $B \rightarrow J/\psi$ in $pp@7$ TeV

➤ Measurement ($J/\psi \rightarrow e^+e^-$): :

- Fraction of $B \rightarrow J/\psi$ measurement relies on the discrimination of J/ψ produced far from the interaction vertex
→ specific observable: “pseudo proper decay length” of the J/ψ
- 2D log-likelihood: Invariant mass + pseudo proper decay length

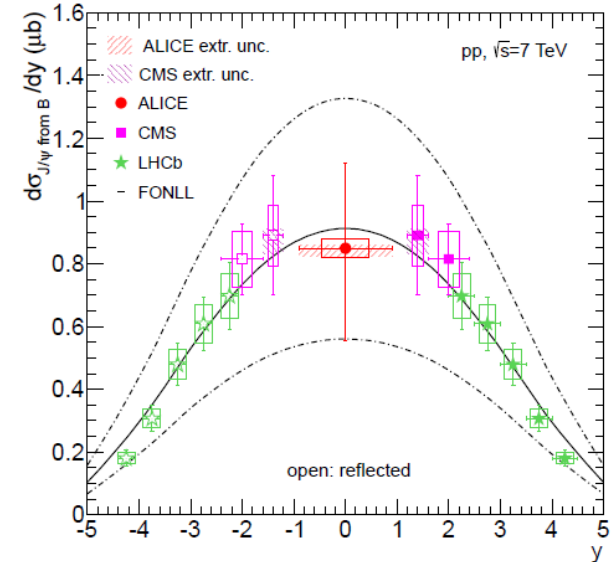
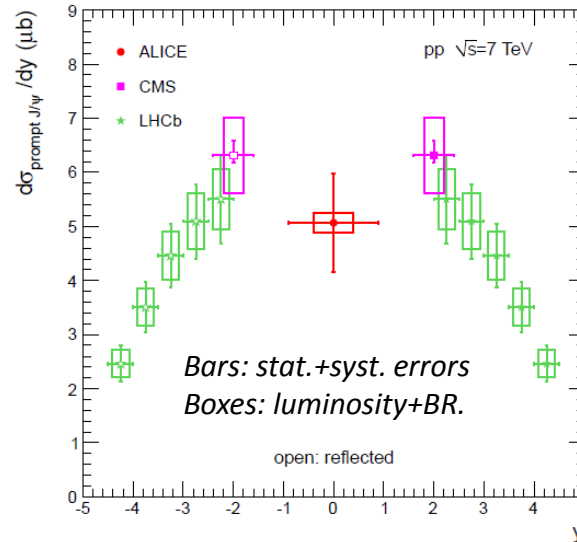
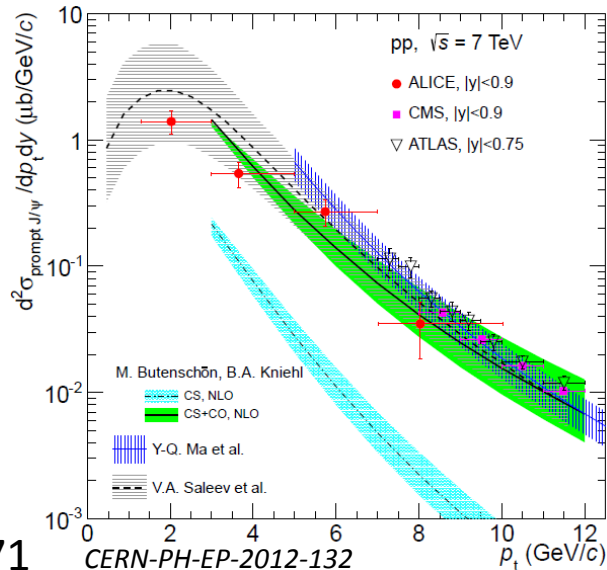
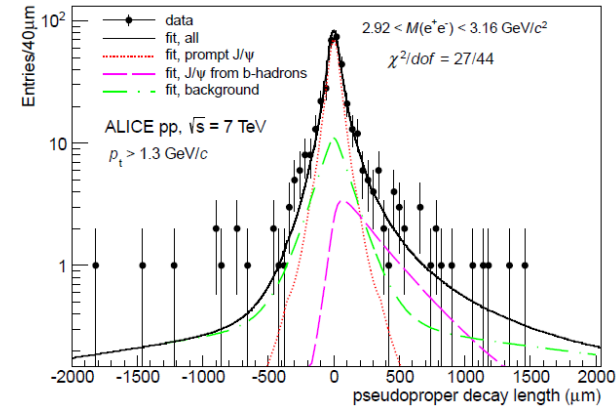
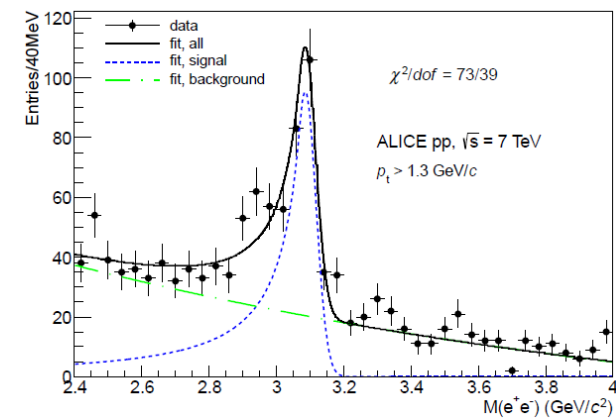
➤ Results:

- Fraction of $B \rightarrow J/\psi$ + inclusive x-section
→ x-section for prompt and non-prompt J/ψ

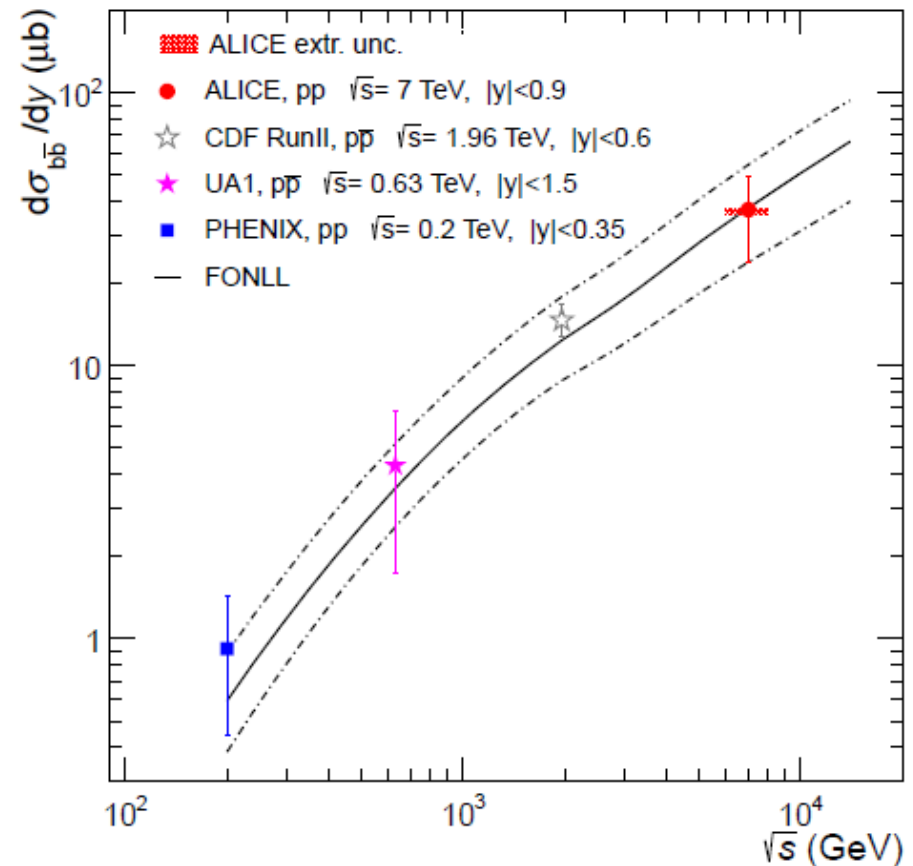
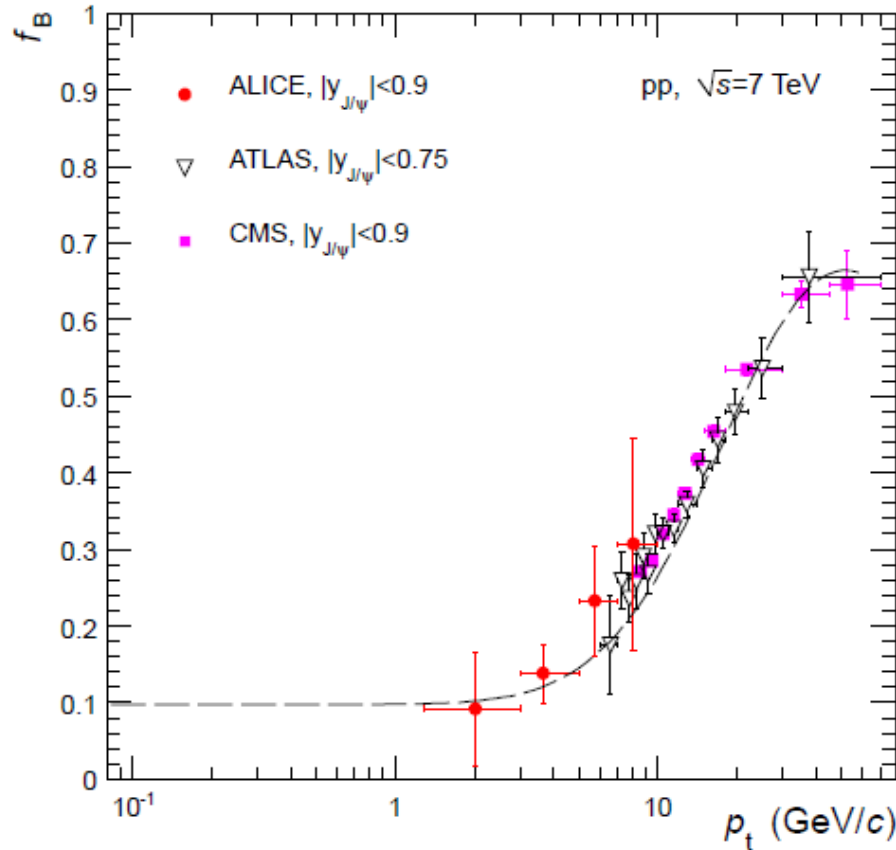
$$\sigma_{\text{prompt } J/\psi} (p_t > 1.3, |y| < 0.9) = 7.2 \pm 0.7(\text{stat}) \pm 1.0(\text{syst}) + 1.3 - 1.2 (\text{pol.}) \mu\text{b}$$

$$\sigma_{J/\psi \leftarrow B} (p_t > 1.3, |y| < 0.9) = 1.26 \pm 0.33(\text{stat}) + 0.23 - 0.28 (\text{syst}) \mu\text{b}.$$

- p_t and y differential x-sections reproduced by FONLL pQCD calculations within large uncertainties



Fraction of $B \rightarrow J/\psi$ in pp collisions at 7 TeV



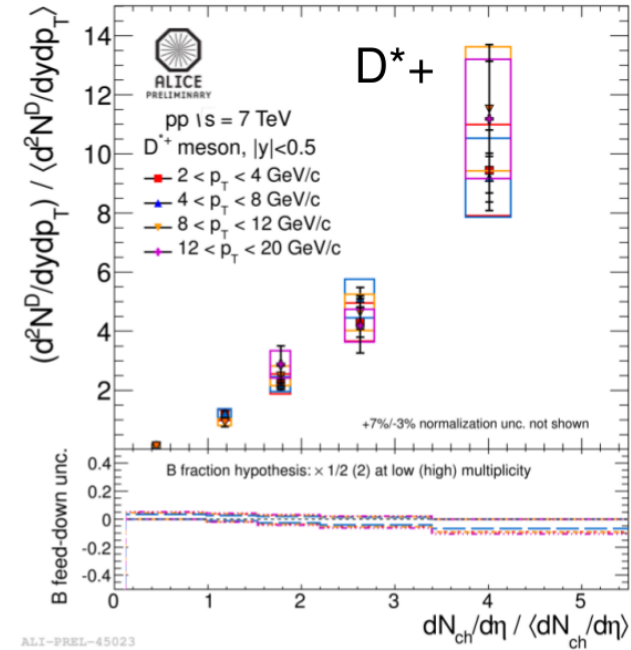
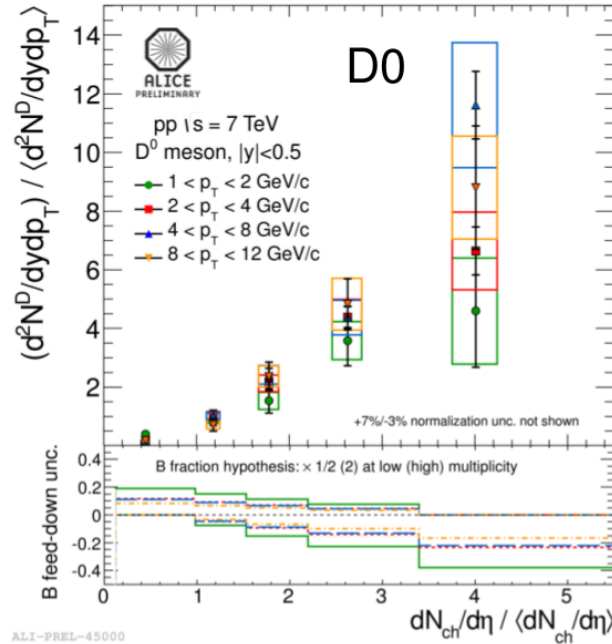
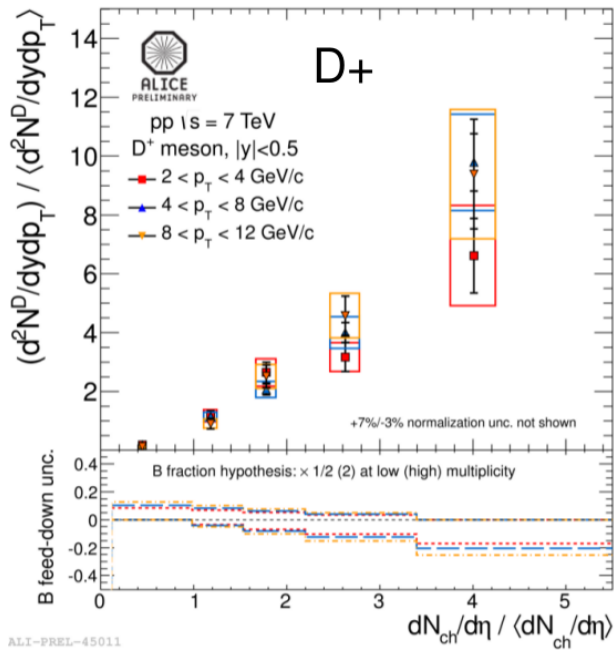
➤ To separate prompt and secondary J/ψ ($\leftarrow B$) the “pseudo-proper decay length” x is used:

$$x = L_{xy}(J/\psi) \cdot \frac{M_{J/\psi}}{p_T(J/\psi)}$$

$$L_{xy}(J/\psi) = \frac{\vec{L} \cdot \vec{p}_T(J/\psi)}{|\vec{p}_T(J/\psi)|} = \frac{(\vec{r}_{\text{vtx}}^{\text{sec}} - \vec{r}_{\text{vtx}}^{\text{prim}}) \cdot \vec{p}_T(J/\psi)}{|\vec{p}_T(J/\psi)|}$$

“Vectorial distance” between secondary vertex ($J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$) and primary vertex (pp collision) projected on J/ψ p_t

Production des D en fonction de la multiplicité dans les collisions pp



➤ Même observation que pour le J/ψ

The polarization of the J/ψ can be measured through the angular analysis of its daughter particles. Taking as a reference the μ^+ , its angular distribution can be expressed as:

$$W(\cos\theta, \varphi) \propto 1 + \lambda_\theta \cos^2\theta + \lambda_\varphi \sin^2\theta \cos 2\varphi + \lambda_{\theta\varphi} \sin 2\theta \cos\varphi$$

The reference frame can be chosen in different ways and is defined on a event-by-event basis

All the three parameters can be extracted in a 1D approach

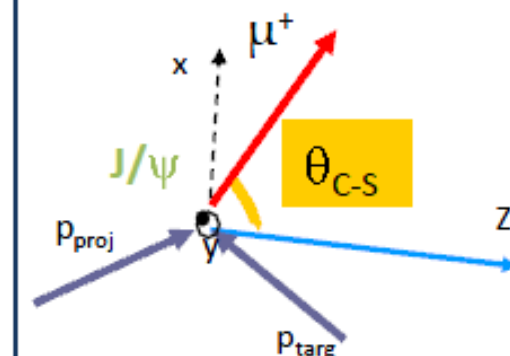
$$W(\cos\vartheta) \propto \frac{1}{3 + \lambda_\theta} (1 + \lambda_\theta \cos^2\vartheta) \quad \text{Integrating over } \phi$$

$$W(\varphi) \propto 1 + \frac{2\lambda_\varphi}{3 + \lambda_\theta} \cos 2\varphi \quad \text{Integrating over } \cos\theta$$

$$W(\tilde{\varphi}) \propto 1 + \frac{\sqrt{2}\lambda_{\theta\varphi}}{3 + \lambda_\theta} \cos \tilde{\varphi}.$$

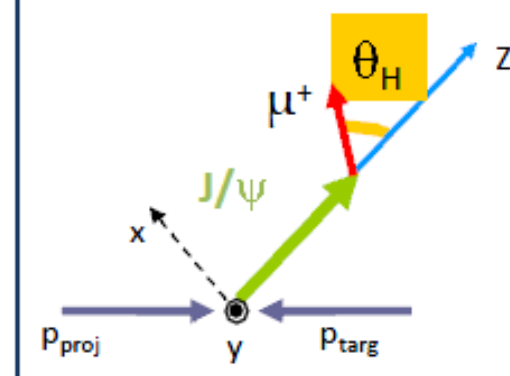
Defining $\tilde{\varphi} = \begin{cases} \varphi - \frac{3}{4}\pi & \text{for } \cos\vartheta < 0 \\ \varphi - \frac{\pi}{4} & \text{for } \cos\vartheta > 0 \end{cases}$ and integrating over $\cos\theta$

Collins-Soper



bisector of the angle between proj. and (-) target in the quarkonium C.M. frame.

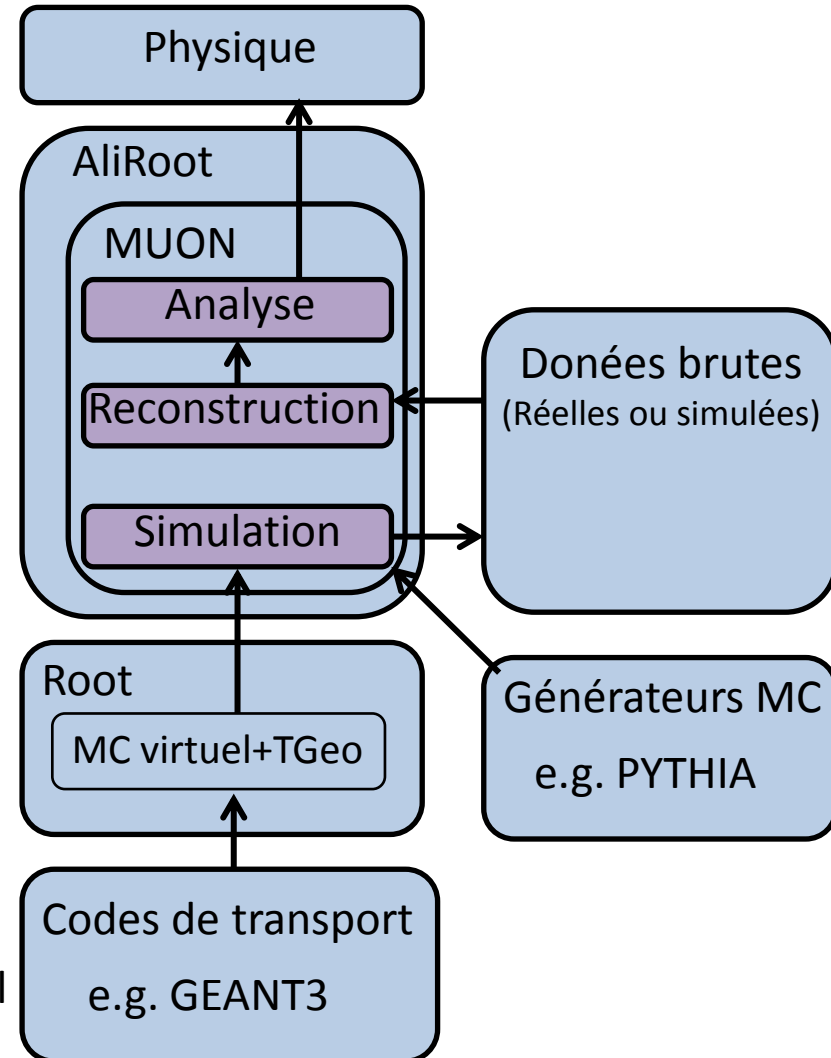
Helicity



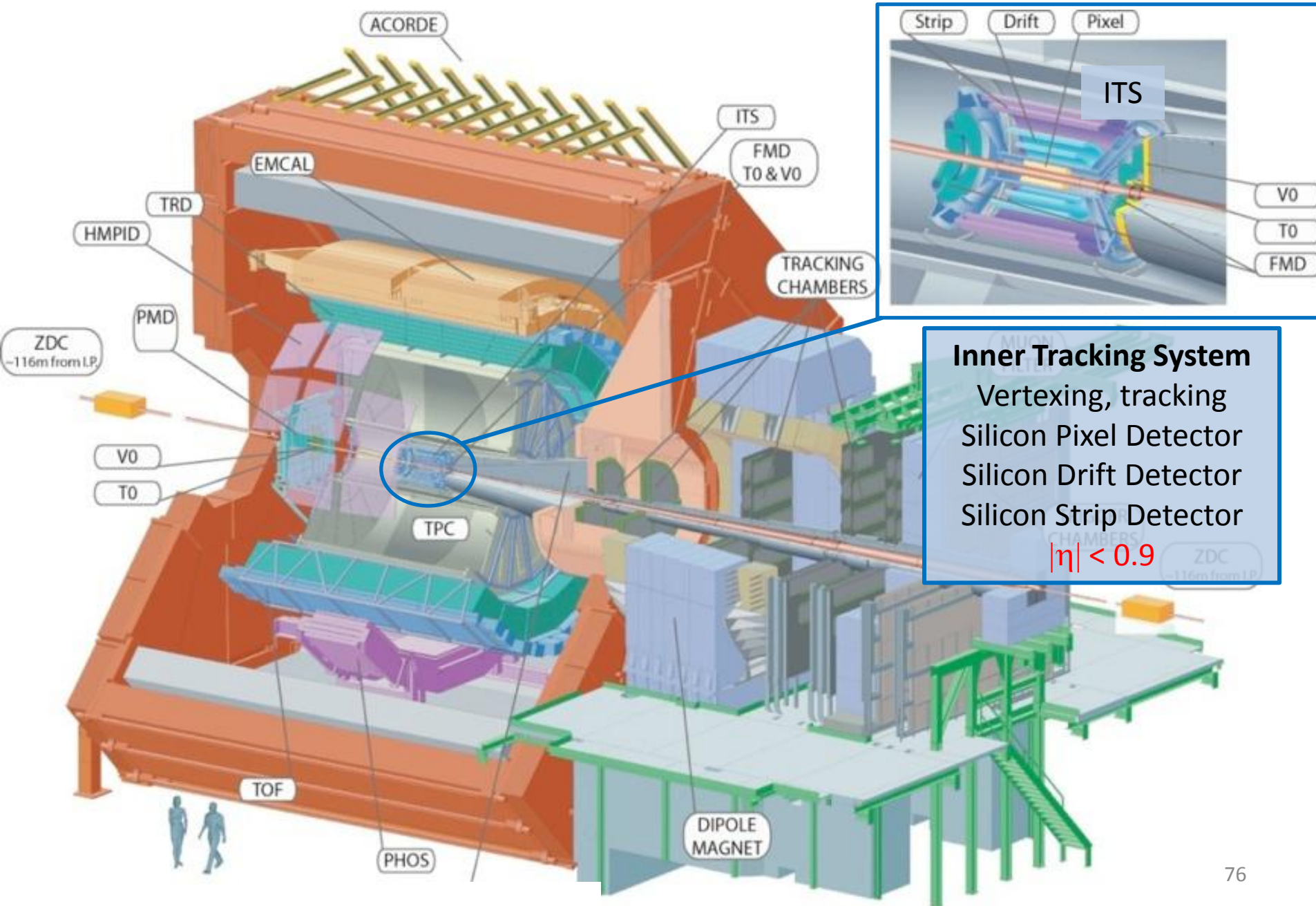
Direction of the quarkonium in the C.M. frame of the collision.

Le software du spectromètre dans AliRoot

- La géométrie du spectromètre et les canaux de collecte de la charge déposée au passage des muons sont totalement décrits dans le software
- Le software permet de simuler la réponse du détecteur dans différents cas physiques:
 - Simulation des particules → interface AliRoot/gén. MC
 - Transport des particules générées → interface Root
 - Digitalisation → adresse de la charge + corrections
 - Création des données brutes (format particulier)
- Le software permet de reconstruire les données cinématiques des muons ($x, y, z, p, \dots$):
 - Digitalisation des données brutes
 - Clusterisation
 - Reconstruction des traces
- Le software permet de mener des analyses sur des quantités de données importantes
- Le software fonctionne en local ou sur Grille de Calcul



Le détecteur ALICE



Perspectives

➤ Fin de l'analyse des données de 2011:

▪ Saveurs lourdes:

- Soustraction du bruit de fond pour obtenir le v_2 des $\mu \leftarrow b, c$ (PbPb)
- Production des muons de décroissances des bosons W (PbPb)
 - On s'attend à ce que les W n'interagissent pas avec le PQG

▪ Quarkonia:

- Production du $\psi(2S)$ (PbPb/pp)
 - CMS a observé un comportement différent pour la production de $\psi(2S)$ et de J/ψ dans les collisions PbPb. Les résultats préliminaires du spectromètre n'ont pas confirmé cette observation
- Production du $\Upsilon(1S)$ (2S,3S?) dans collisions pp
 - modèles de production des quarkonia
- Production du $\Upsilon(1S)$ dans les collisions PbPb
 - On s'attend à ce que l' $\Upsilon(1S)$ soit supprimé à des températures de PQG beaucoup plus importantes que le J/ψ et qu'il soit peu affecté par les processus de (ré-)génération (quarks beaux moins nombreux et moins thermalisés)

➤ Analyse des données pp à $\sqrt{s} = 8$ TeV (grande luminosité → grande statistique)

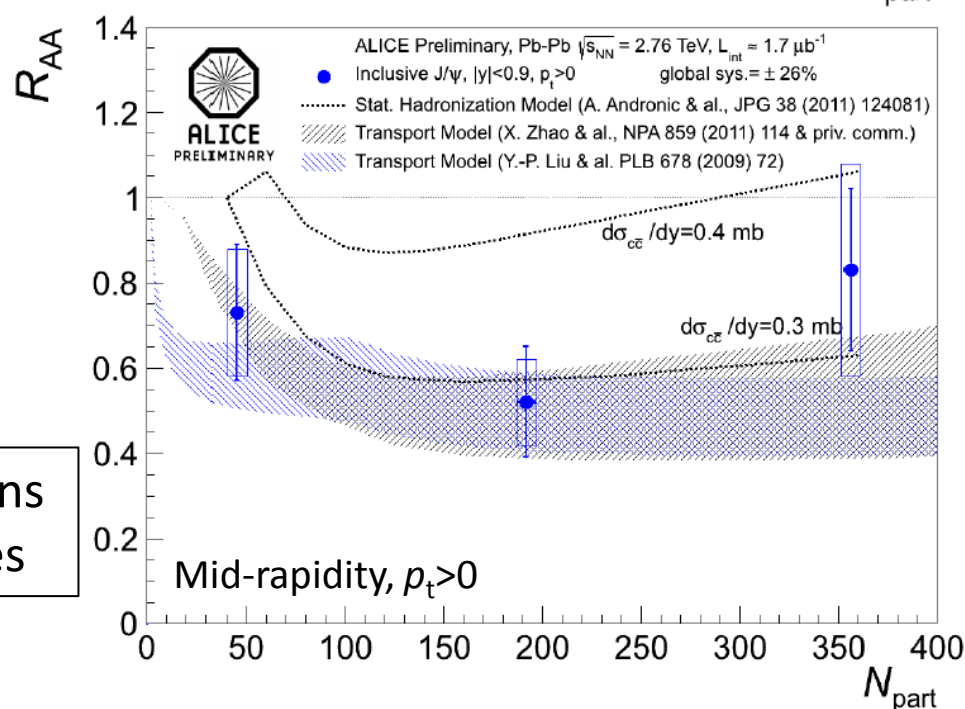
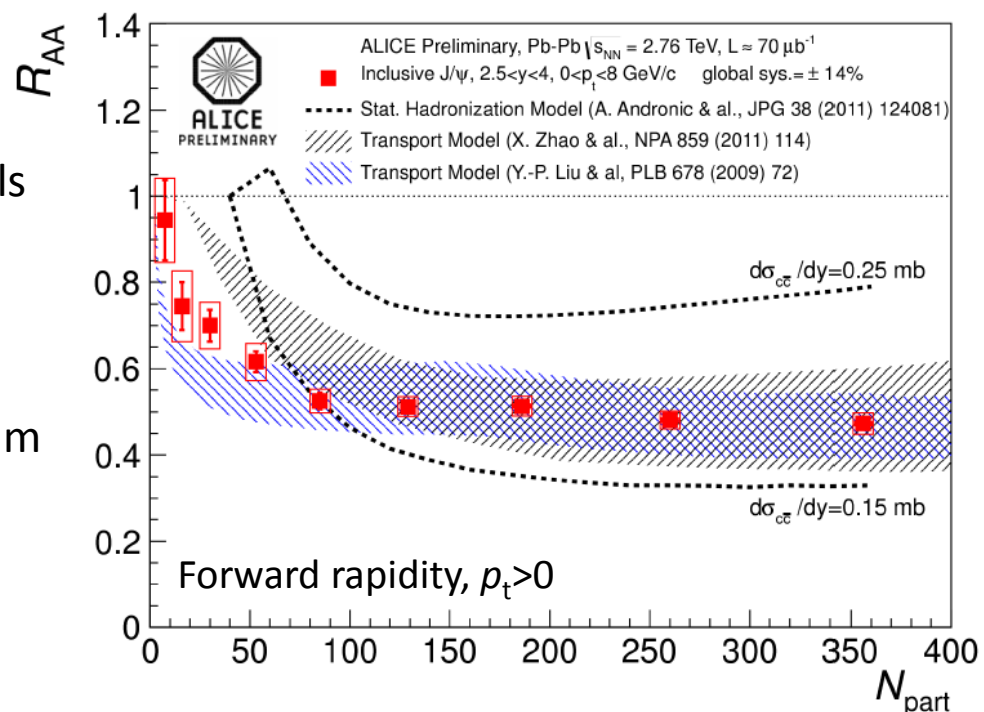
➤ Prises de données pPb (Jan. 2013) → cruciale pour la quantification des effets froids



Comparison with models

- CNM effects + $B \rightarrow J/\psi$ considered in all models
- Statistical hadronization:
 - Deconfinement
 - Thermal equilibration
 - statistical production of J/ψ in medium
 - Uncertainty: charm pair cross section
- Transport models:
 - J/ψ dissociation
 - J/ψ regeneration
 - ($\geq 50\%$ reg. J/ψ in most central collisions)
 - Main differences between the 2 models:
 - Charm quark cross-section
 - Shadowing
 - Quenching

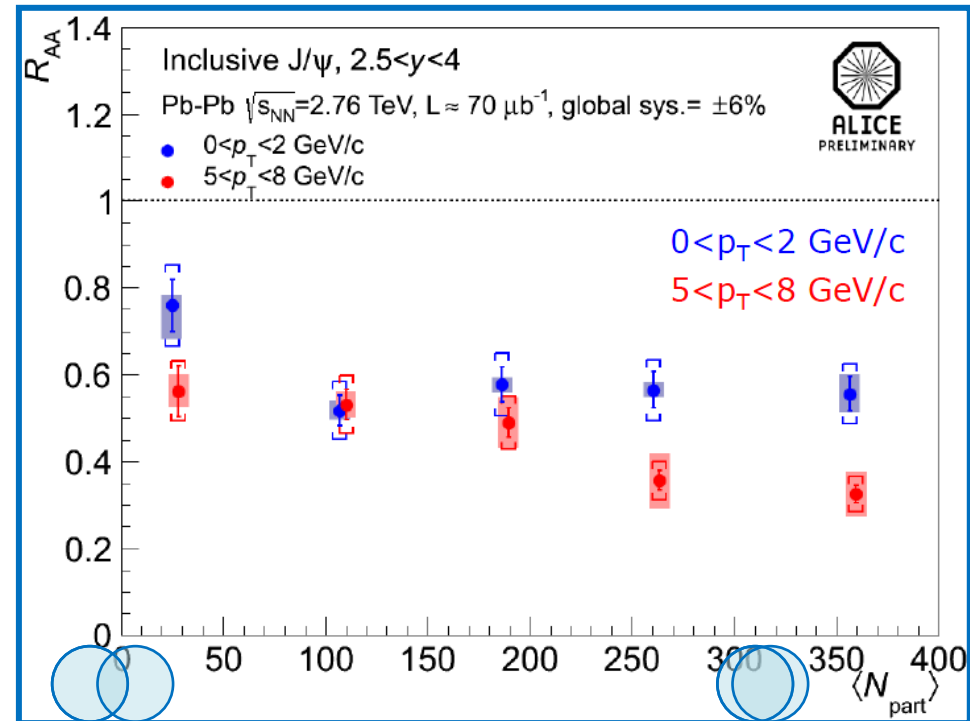
All models describe (semi-)central collisions
Transport seem better for peripheral ones



Evolution du R_{AA} avec l'impulsion transverse

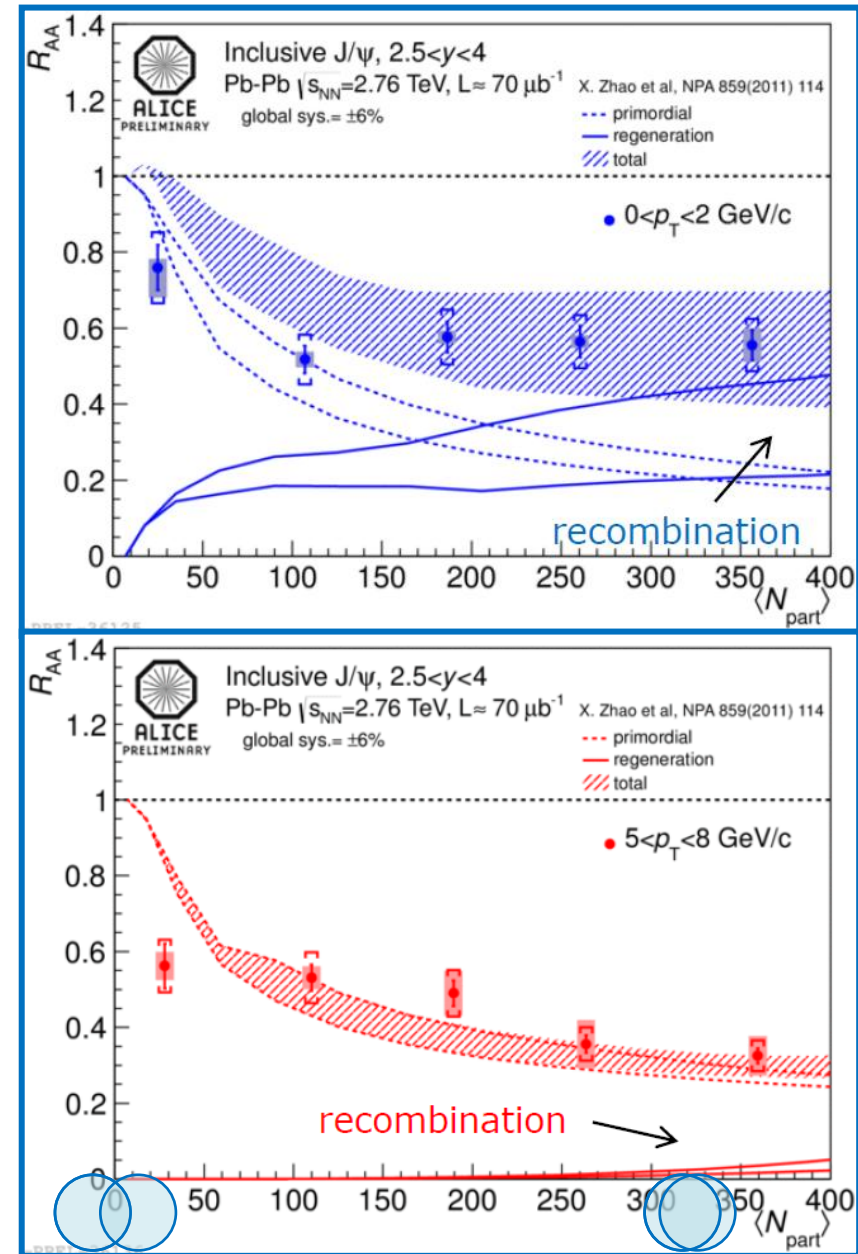
➤ Comparaison du R_{AA} pour les J/ψ de bas p_t ($0 < p_t < 2$ GeV/c) et de grand p_t ($5 < p_t < 8$ GeV/c):

- Suppression différente
- Suppression plus importante pour les J/ψ grand p_t

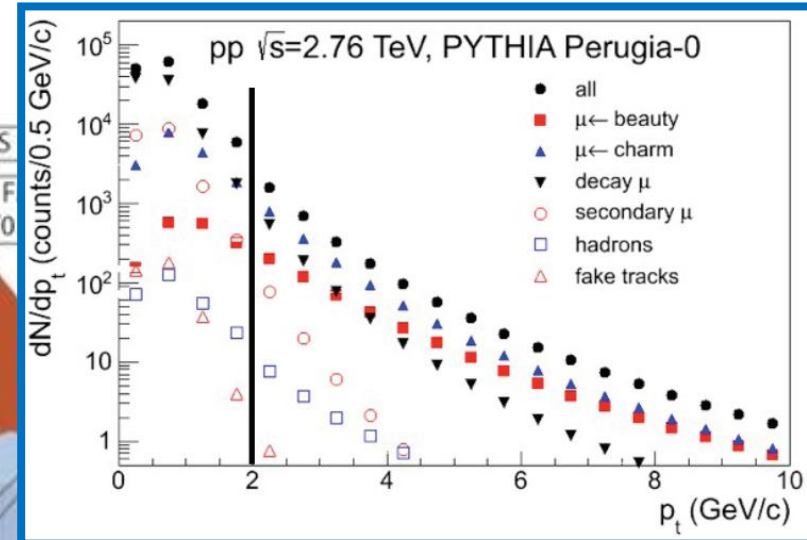
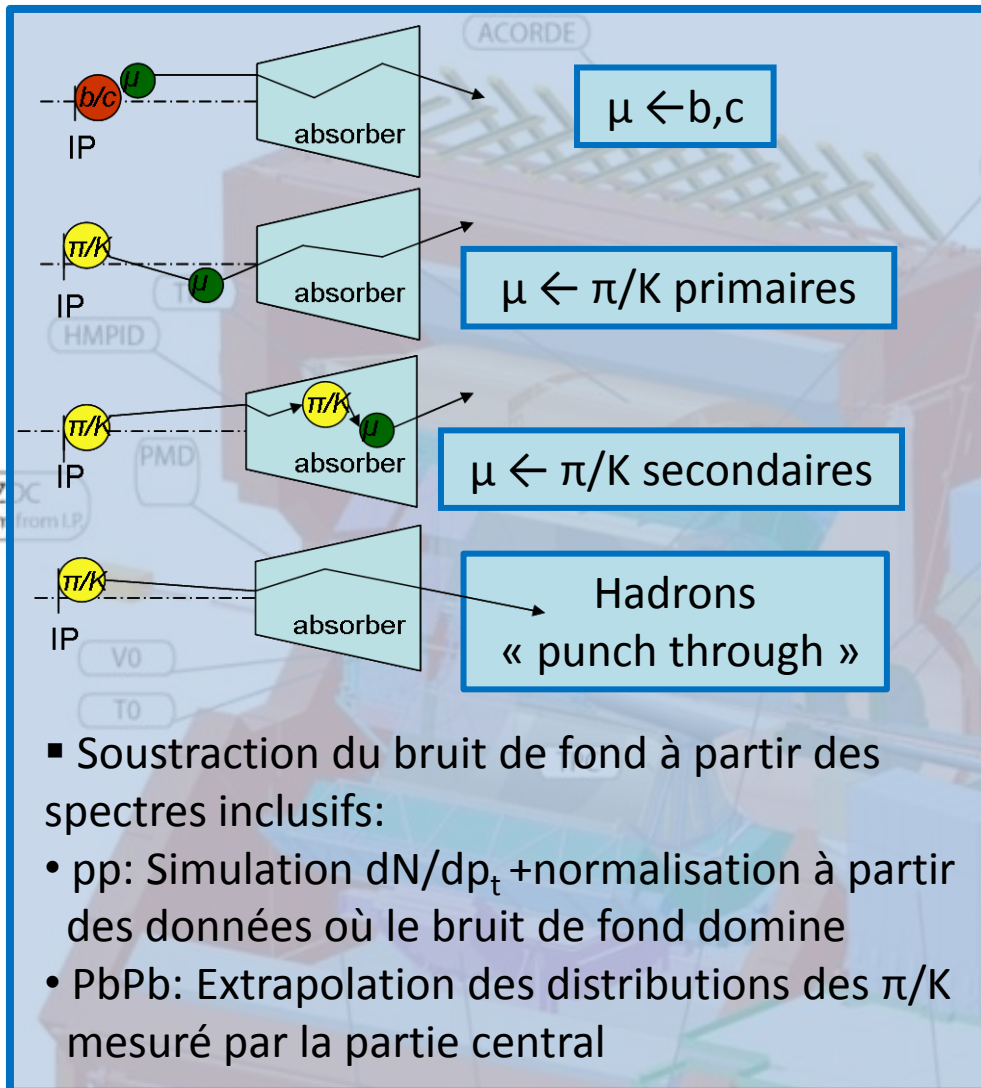


Evolution du R_{AA} avec l'impulsion transverse

- La production de J/ψ par (ré-)génération devrait être plus importante à bas p_t
- Comparaison du R_{AA} pour les J/ψ de bas p_t ($0 < p_t < 2$ GeV/c) et de grand p_t ($5 < p_t < 8$ GeV/c):
 - Suppression différente
 - Suppression plus importante pour les J/ψ grand p_t
- Comparaison avec les modèles:
 - Dans ce modèle de transport, ~50% des J/ψ de bas p_t sont produits par recombinaison de quarks charmés
 - Aux p_t importants la recombinaison est négligeable
 - Accord assez bon pour un nombre de nucléon participant plus grand que 100



Mesure des saveurs lourdes avec ALICE

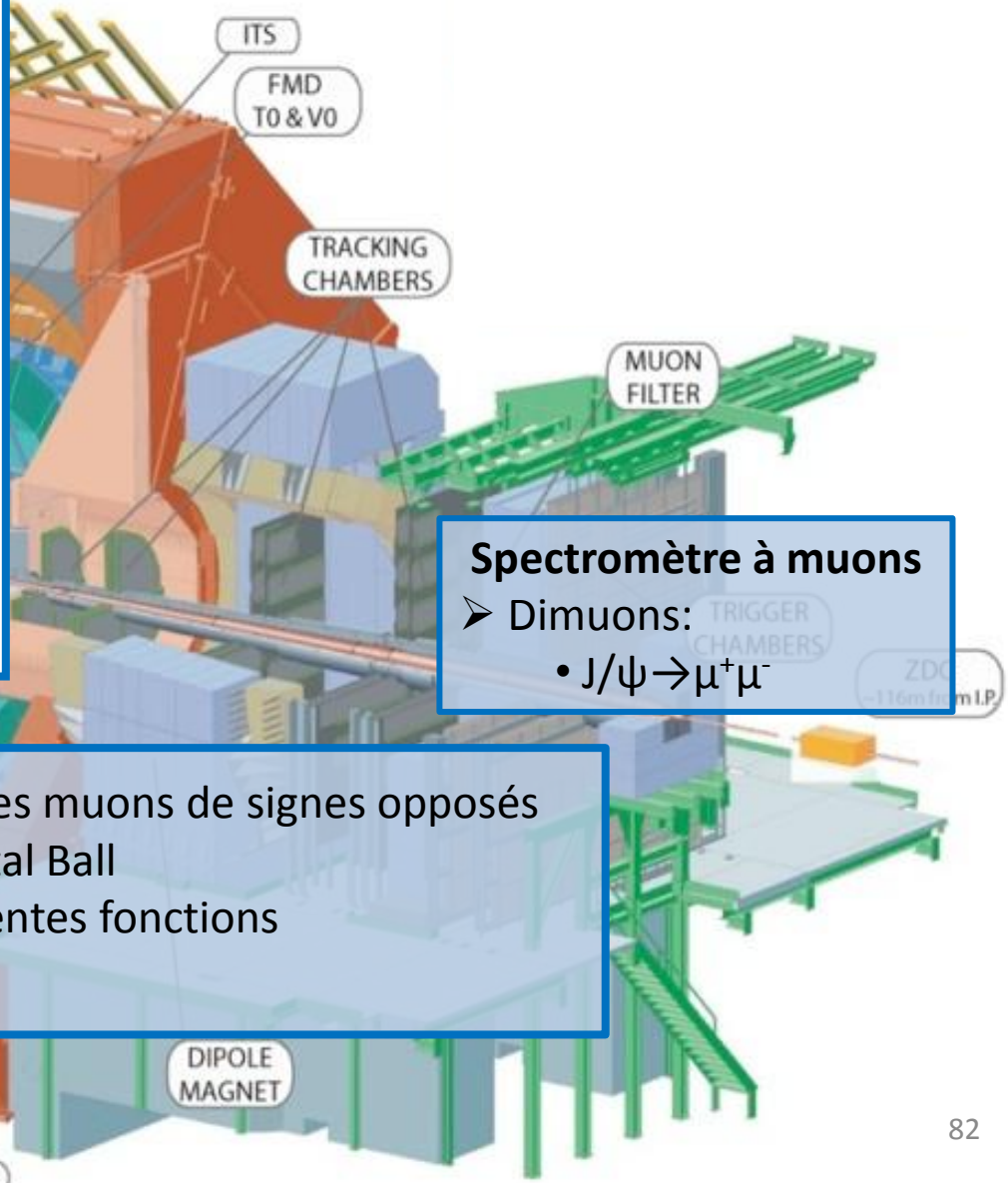
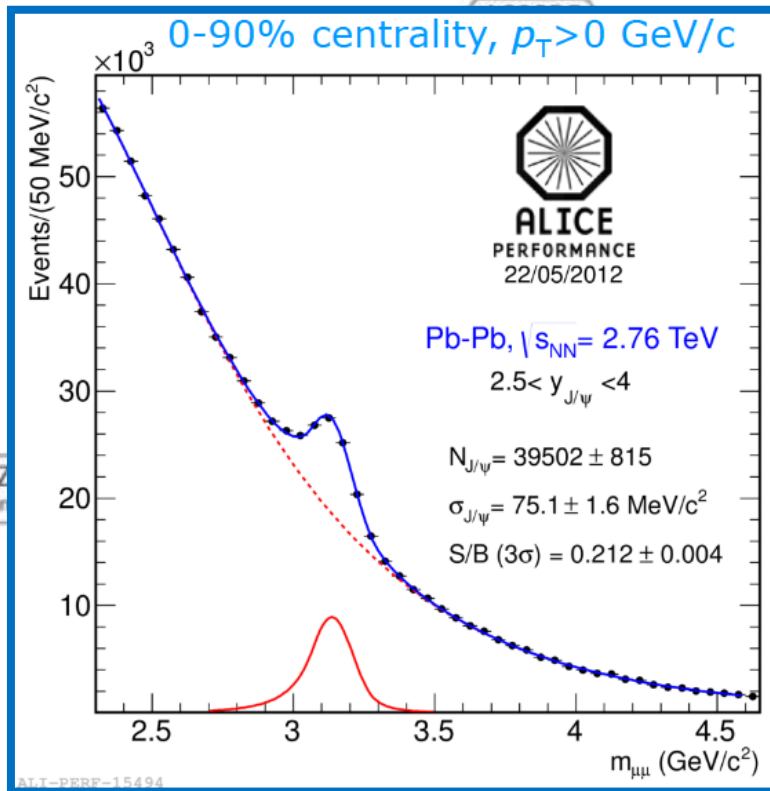


Spectromètre à muons

➤ Muons simples:

• $c, b \rightarrow \mu^\pm$

Mesure des saveurs lourdes avec ALICE



Spectromètre à muons

- Dimuons:
 - $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$

- Distribution en masse invariante des muons de signes opposés
- Ajustement: Signal $\rightarrow$ Double Crystal Ball
Background $\rightarrow$ différentes fonctions
- Intégrale de la double Crystal Ball

Mesure des saveurs lourdes avec ALICE

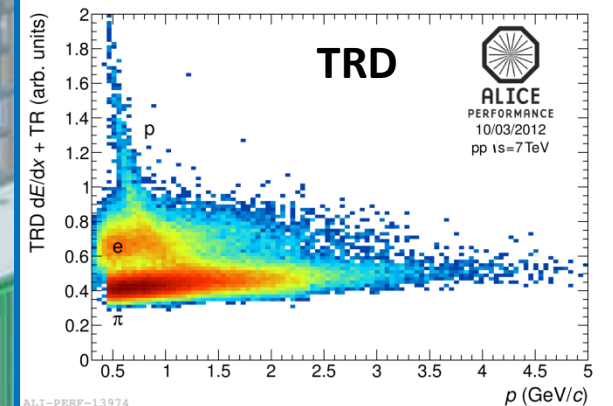
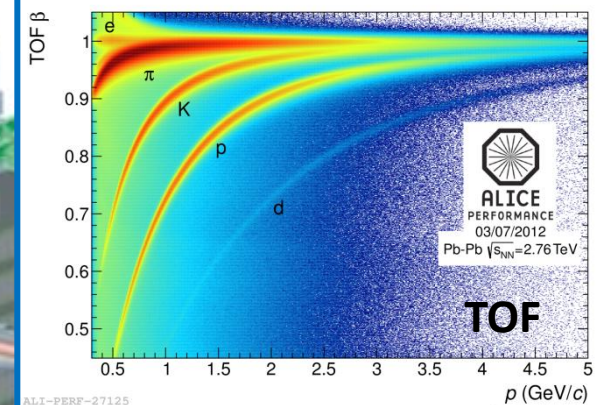
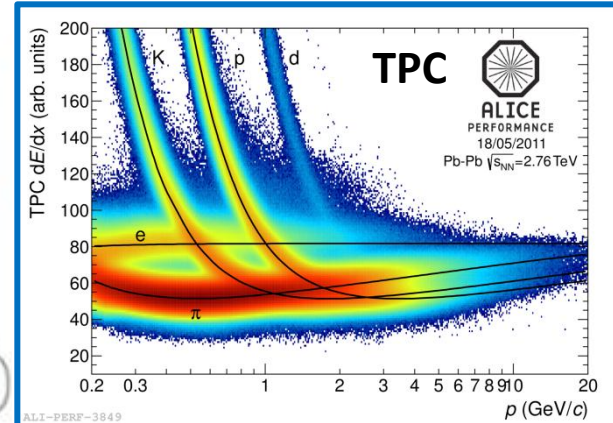
Partie centrale

➤ Electrons simples:

- $c, b \rightarrow e^+$

■ Identification des électrons:

- TPC: mesure dE/dx
- TOF: mesure le temps de vol
- TRD: mesure les radiations de transition
- EMCal: mesure l'énergie
(déclenchement gerbe simple)



Mesure des saveurs lourdes avec ALICE

Partie centrale

➤ Electrons simples:

- $c, b \rightarrow e^{+-}$

■ Identification des électrons:

- TPC: mesure dE/dx
- TOF: mesure le temps de vol
- TRD: mesure les radiations de transition
- EMCal: mesure l'énergie
(déclenchement gerbe simple)

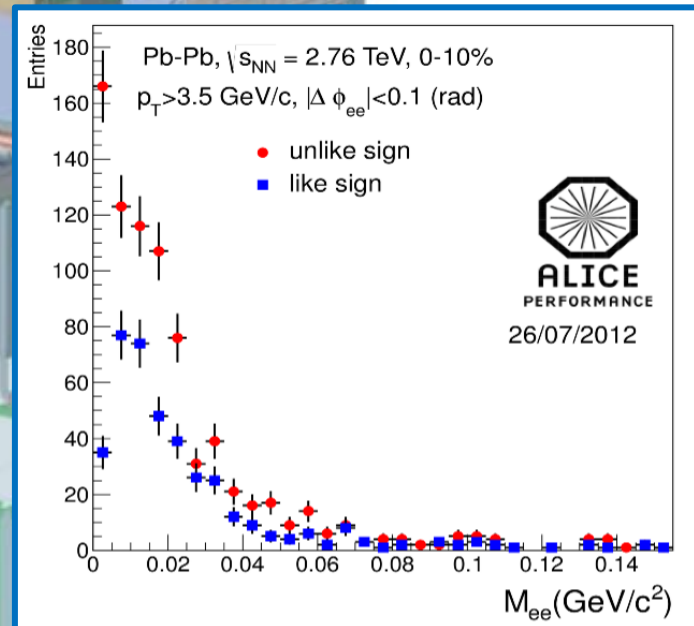
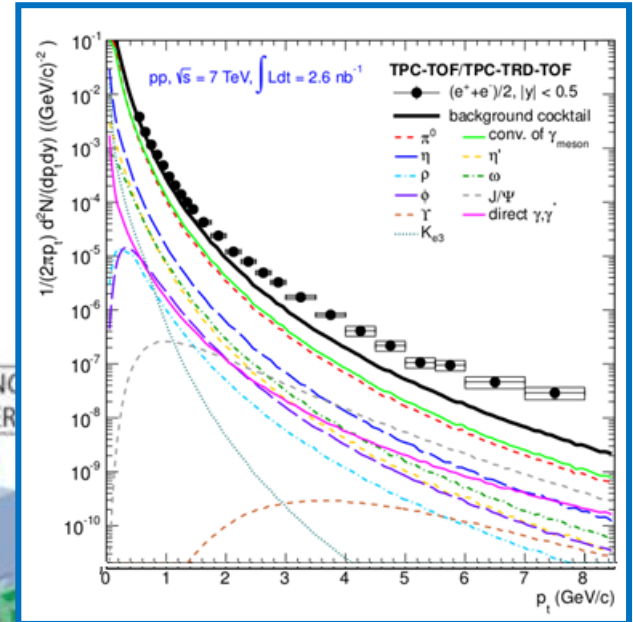
■ Source de bruit de fond principales:

- Photons de conversion ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$)
- Décroissance Dalitz des pions neutres
- Décroissance des quarkonia

■ Soustraction du bruit de fond sur spectres inclusifs:

- Simulation+ section efficace de production mesurée pour les hadrons
- Mass invariante des électrons de signe opposés + $J/\psi \rightarrow e$ extrapolation CMS pp 7 TeV

(EPJ C71 1575)



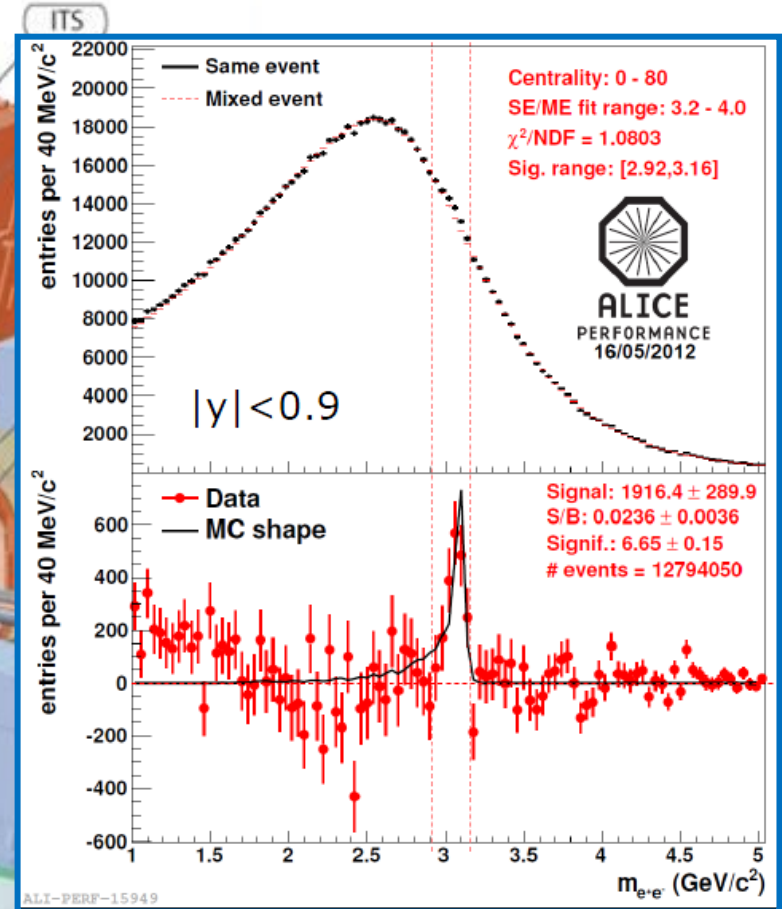
Mesure des saveurs lourdes avec ALICE

Partie centrale

➤ Dielectrons:

- $J/\psi \rightarrow e^+e^-$

- Identification des électrons
- Distribution en masse invariante des électrons de signes opposés:
 - Soustraction du bruit de fond avec une technique d' « event mixing »
 - Simple comptage des événements



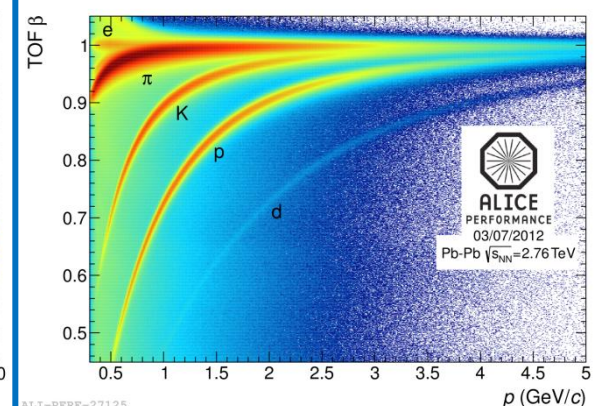
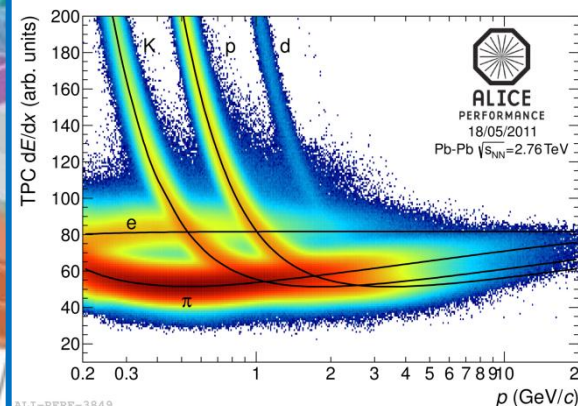
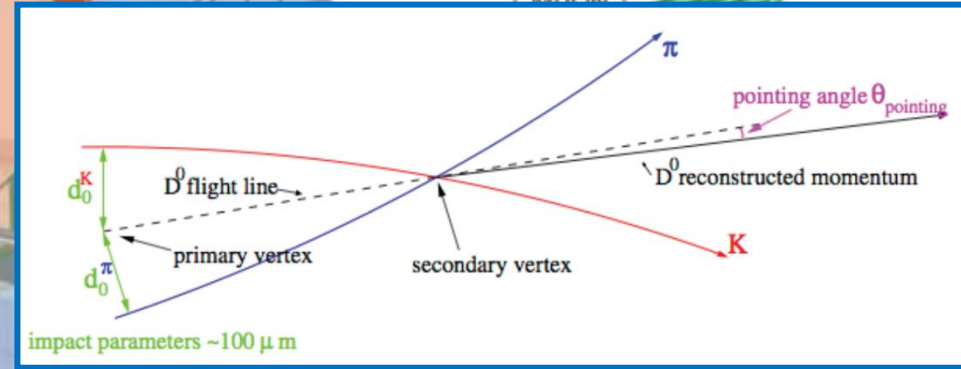
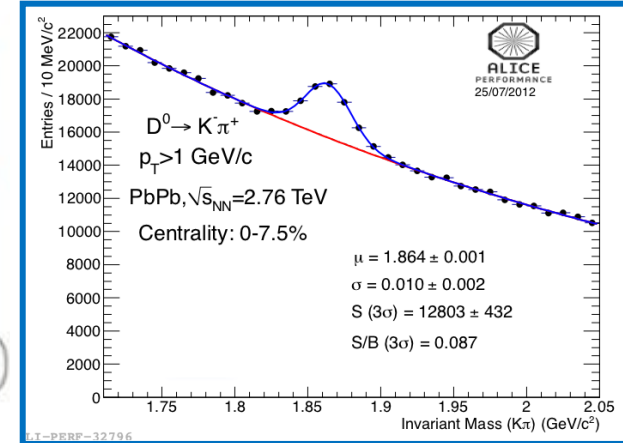
Mesure des saveurs lourdes avec ALICE

Partie centrale

➤ Hadrons:

- $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
- $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$
- $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow K^- K^+ \pi^+$
- $D_s^+ \rightarrow \phi \pi^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$

- Masse invariante des hadrons D totalement reconstruite grâce à la mesure de leurs produits de désintégration
- Sélection topologique:
→ réduction du bruit de fond combinatorial (ITS: vertexing)
- Identification des hadrons
TPC, TOF pour supprimer le bruit résiduel
- Fit: Gaussienne (signal)
+ Exponentielle (bruit de fond)
- Soustraction des $D \leftarrow B$
(pQCD FONLL)



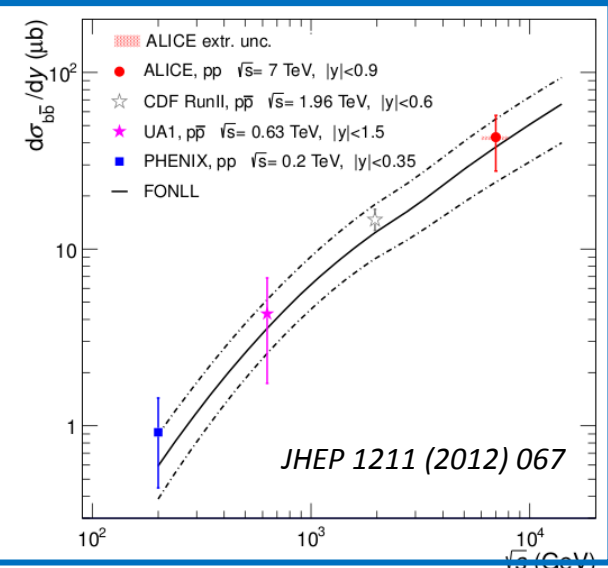
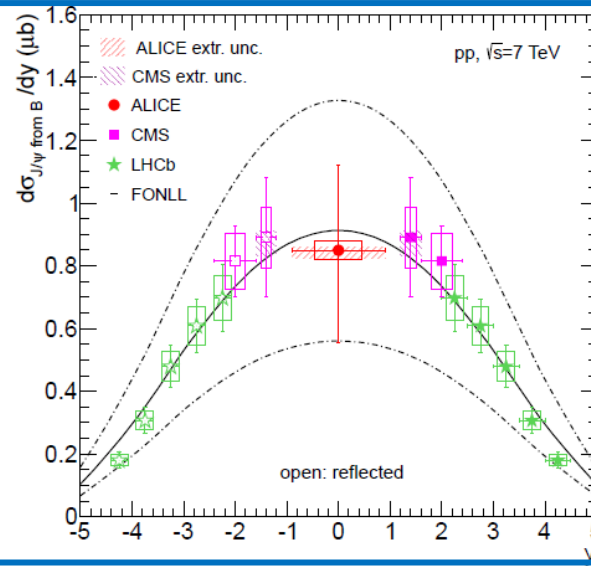
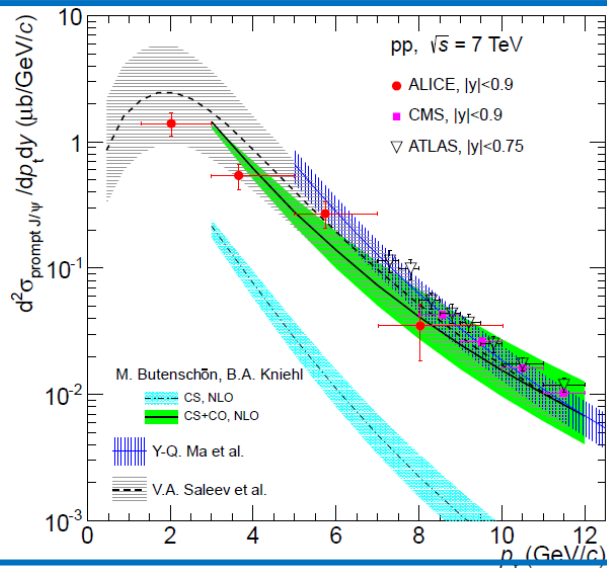
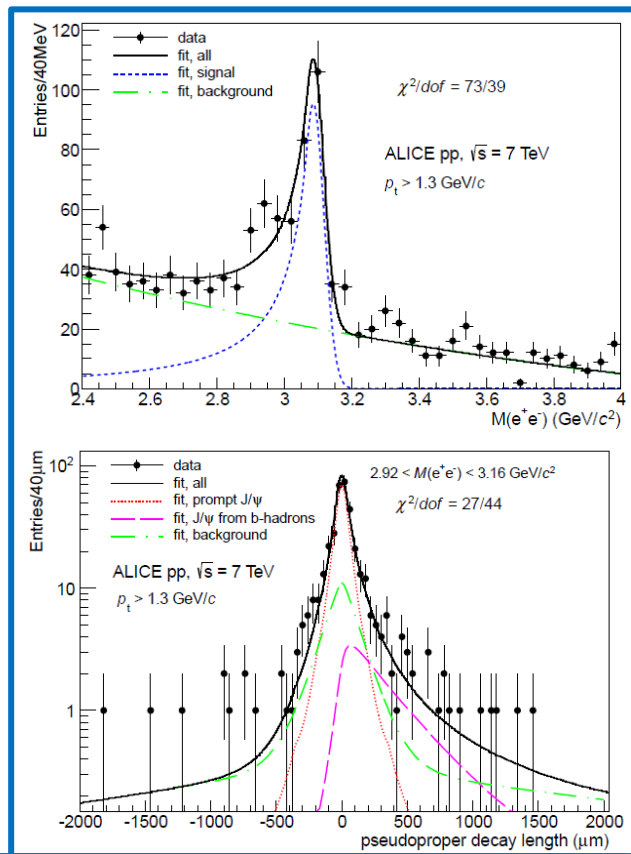
Fraction de $B \rightarrow J/\psi$, $pp@7$ TeV

➤ Mesure ($J/\psi \rightarrow e^+e^-$):

- La mesure repose sur la discrimination des J/ψ produits loin du point d'interaction
→ observable spécifique: “pseudo proper decay length”
- 2D log-likelihood: Masse invariante
+ pseudo proper decay length

➤ Results:

- Fraction de $B \rightarrow J/\psi$ + section efficace inclusive
→ section efficace des J/ψ prompts and non-prompts
- Sections efficaces différentielles reproduites par la théorie
- Mesure de la section efficace de production des quarks beaux (extrapolation pQCD FONLL)



Production des J/ψ en fonction de la multiplicité dans les collisions pp

➤ Motivations:

- Collisions pp au LHC $\rightarrow dN_{ch}/d\eta \sim 30$
(*Eur. Phys. J. C68 345 (2010)*)
- Similaire aux collisions CuCu centrales à 45-50%
à RHIC (*PHOBOS: Phys. Rev. C83 024913 (2011)*)

➤ Mesure de la multiplicité $\rightarrow$ ITS

➤ Augmentation linéaire avec la multiplicité

➤ Aide à comprendre l'interaction entre les processus durs et les processus de basse énergie dans le contexte des interactions partoniques multiples (MPI) et/ou de l'événements sous-jacent

➤ PYTHIA 6 ne reproduit pas les données (explication possible: quarks lourds produits seulement dans le premier événement (le plus dur) des interactions multiples)

