

Statut ALICE

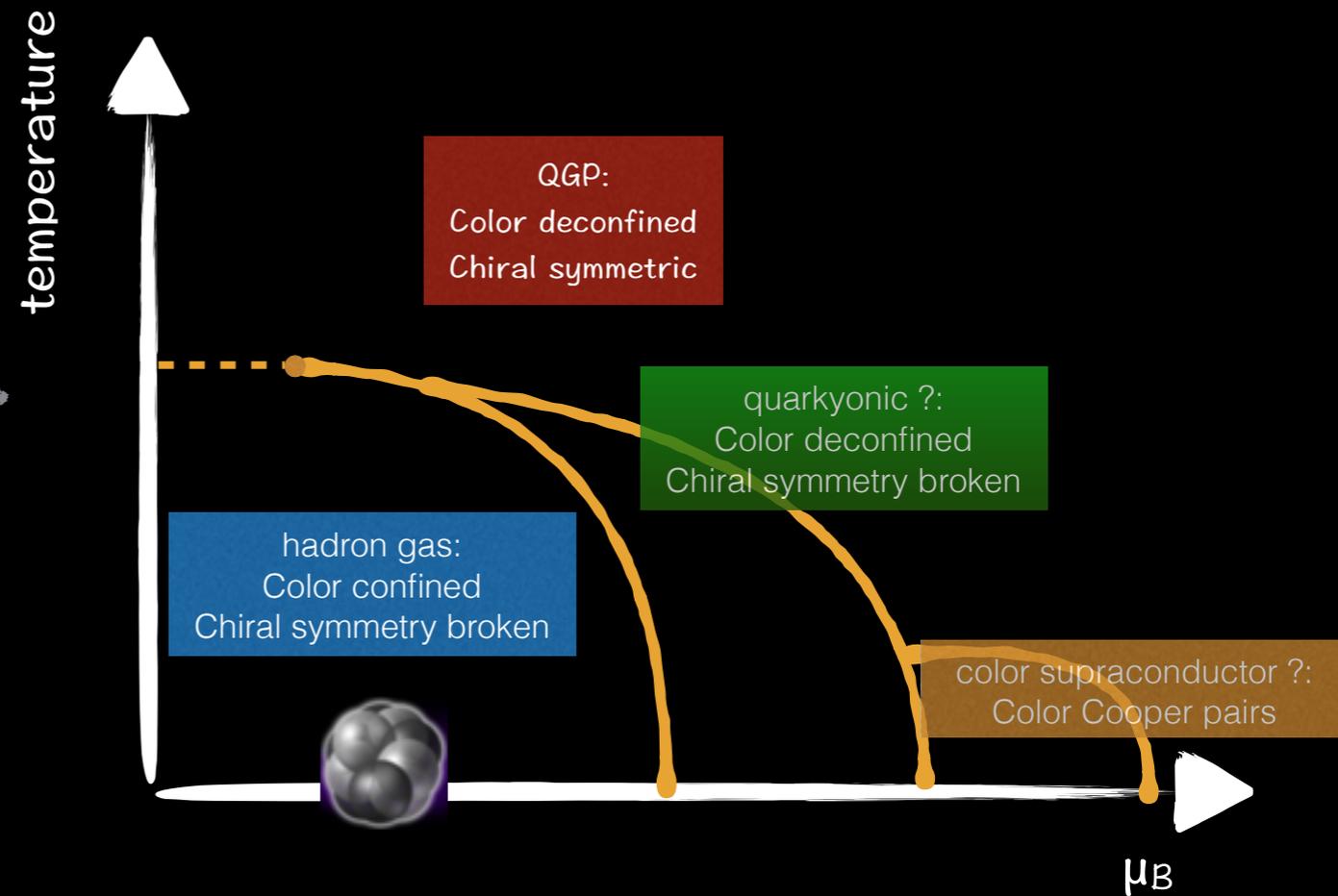
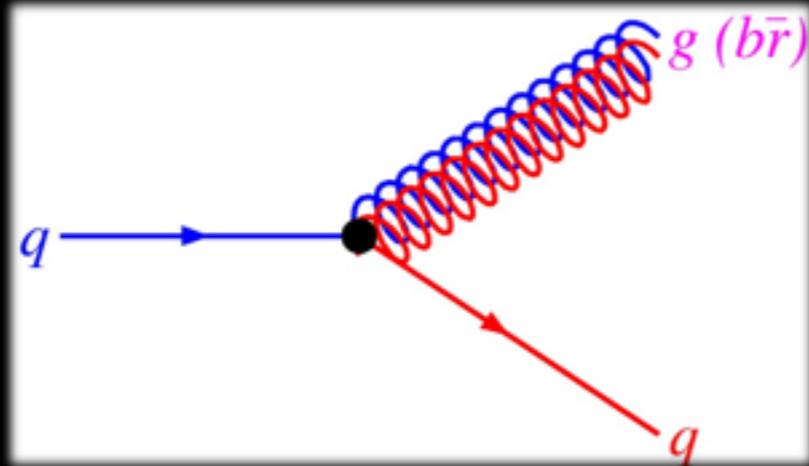


Questions ouvertes

Rappel

Les objectifs scientifiques du programme ions lourds au
LHC

Thermodynamique de la matière en interaction forte



Comment la complexité de la matière émerge de la dynamique de l'interaction forte

Le mandat de ALICE

Etablir les propriétés fondamentales de la matière en interaction forte et à haute température au travers de mesures de **precision, complètes***

* $p_t \sim T \oplus PID \oplus p_t \gg \Lambda_{\text{QCD}}$

Les faits établis: exp

- Aux températures du LHC la matière a les propriétés d'un liquide* parfait**

The Quark-Gluon Plasma, a nearly perfect fluid

■ L. Cifarelli¹, L.P. Csernai² and H. Stöcker³ - DOI: 10.1051/epn/2012206

■ ¹ Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, 40126 Bologna, Italy;

■ ² Department of Physics and Technology, University of Bergen, 5007 Bergen, Norway;

■ ³ GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, 64291 Darmstadt, Germany

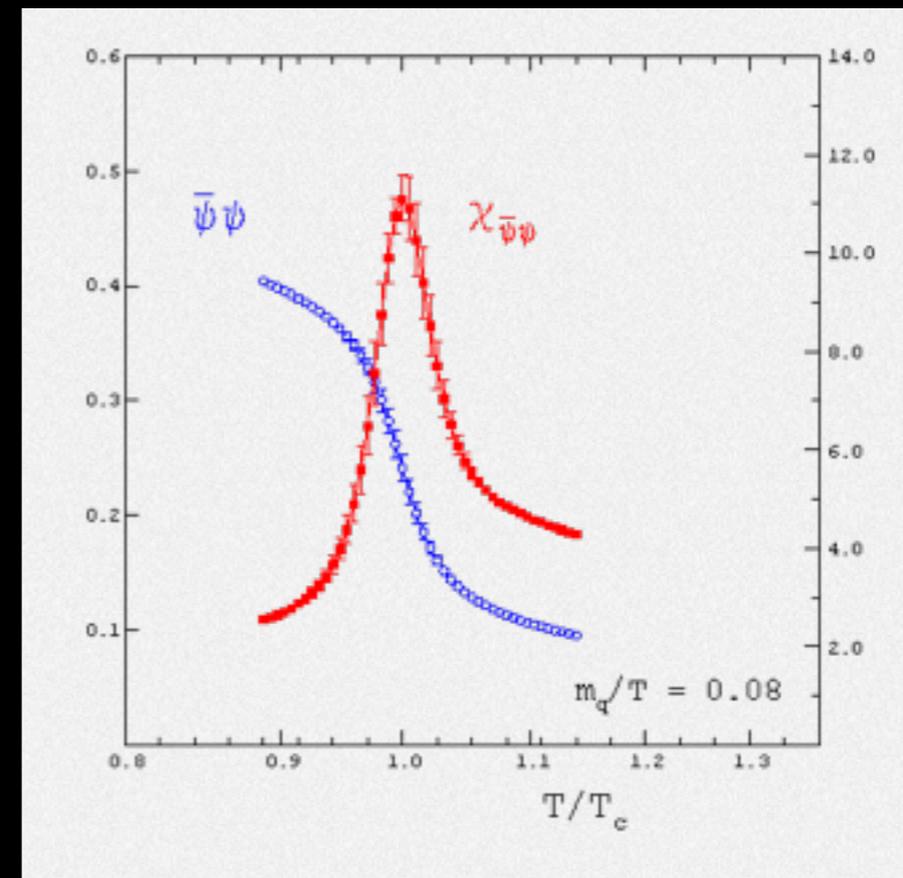
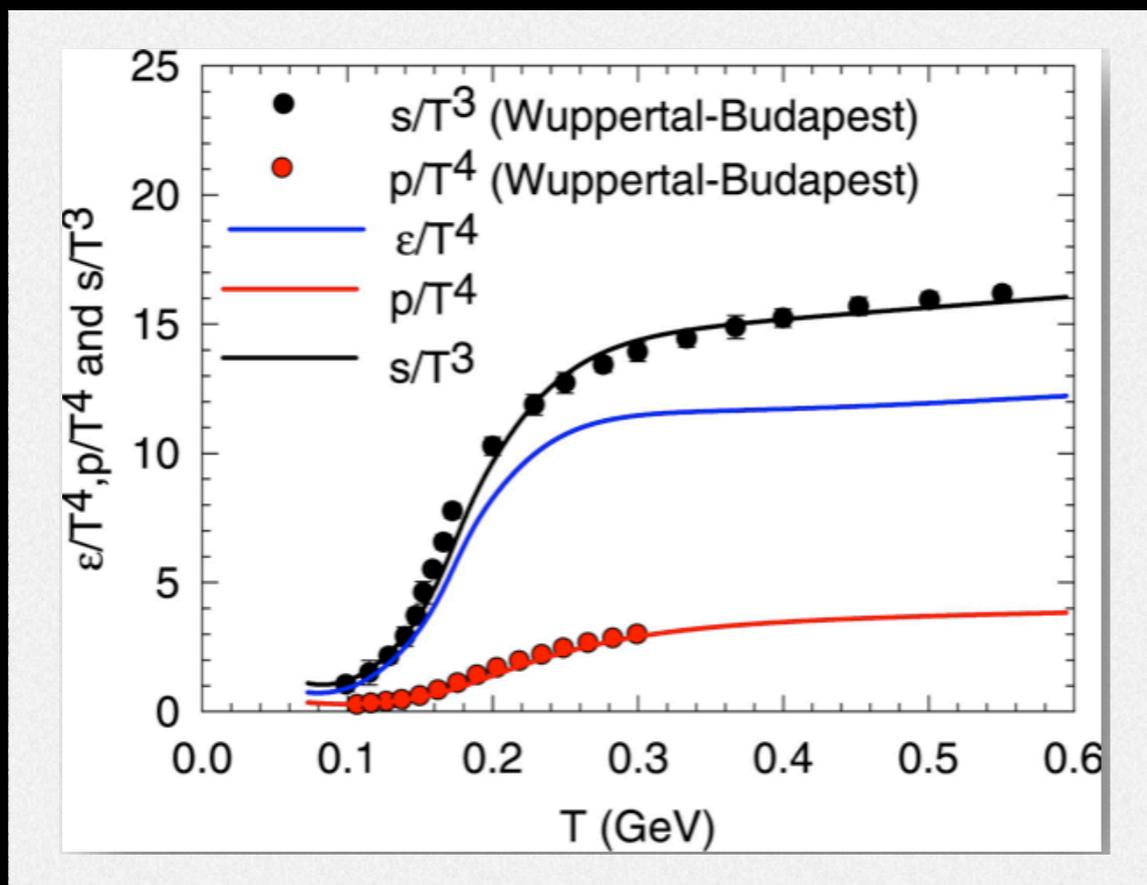
We are living in interesting times, where the World's largest accelerator, the Large Hadron Collider, has its most dominant successes in Nuclear Physics: collective matter properties of the Quark-Gluon Plasma (QGP) are studied at a detail which is not even possible for conventional, macro scale materials.

* en interaction forte

** non-dissipatif

Les faits établis: théorie

- transition **douce*** d'un gas de hadrons vers QGP (Z_3 symétrie); symétrie chirale **restaurée****



* pas une transition de phase, pas SB

** les quarks retrouvent leur masse intrinsèque (Higgs)

Stratégie standard

- Grand et dense: physique des ions lourds
- Petit et dilué: mesures de référence

Stratégie standard

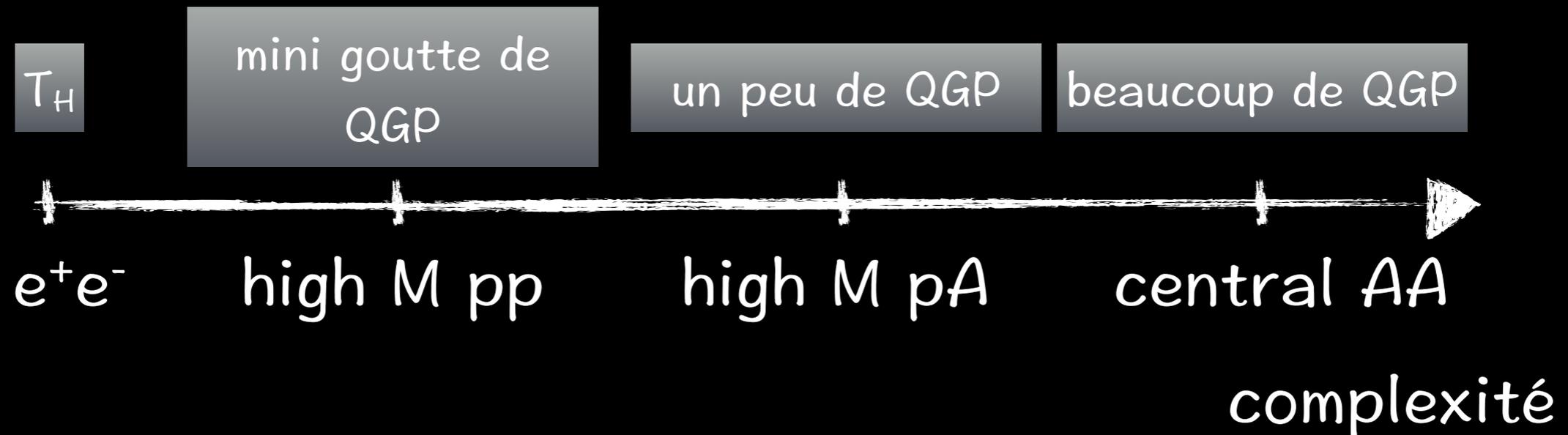
- Grand et dense: physique des ions lourds
 - ▶ $AA \rightarrow p\text{QCD} + N\text{pdf} + FF + \text{collectivité}$
- Petit et dilué: mesures de référence
 - ▶ $pp \rightarrow p\text{QCD} + \text{pdf} + FF$
 - ▶ $pA \rightarrow p\text{QCD} + N\text{pdf} + FF$

Mais ... High M pp/pA

- production des particules
- spectres
- rayons HBT
- Ridges
- suppression des quarkonia

Vers un nouveau paradigme

- Collectivité partout !



Une approche expérimentale et théorique cohérente de QCD statistique de e^+e^- à AA

Questions ouvertes

un jugement personnel

questions à la théorie

- IS à LHC: champs classiques de gluons ?
faiblement ou fortement couplés ?
- dynamiques: de IS vers un liquide hydro en 0.5 fm/c
- DoF: un milieu sans quasi-particules ? tout près de T_H ? hadronisation ?

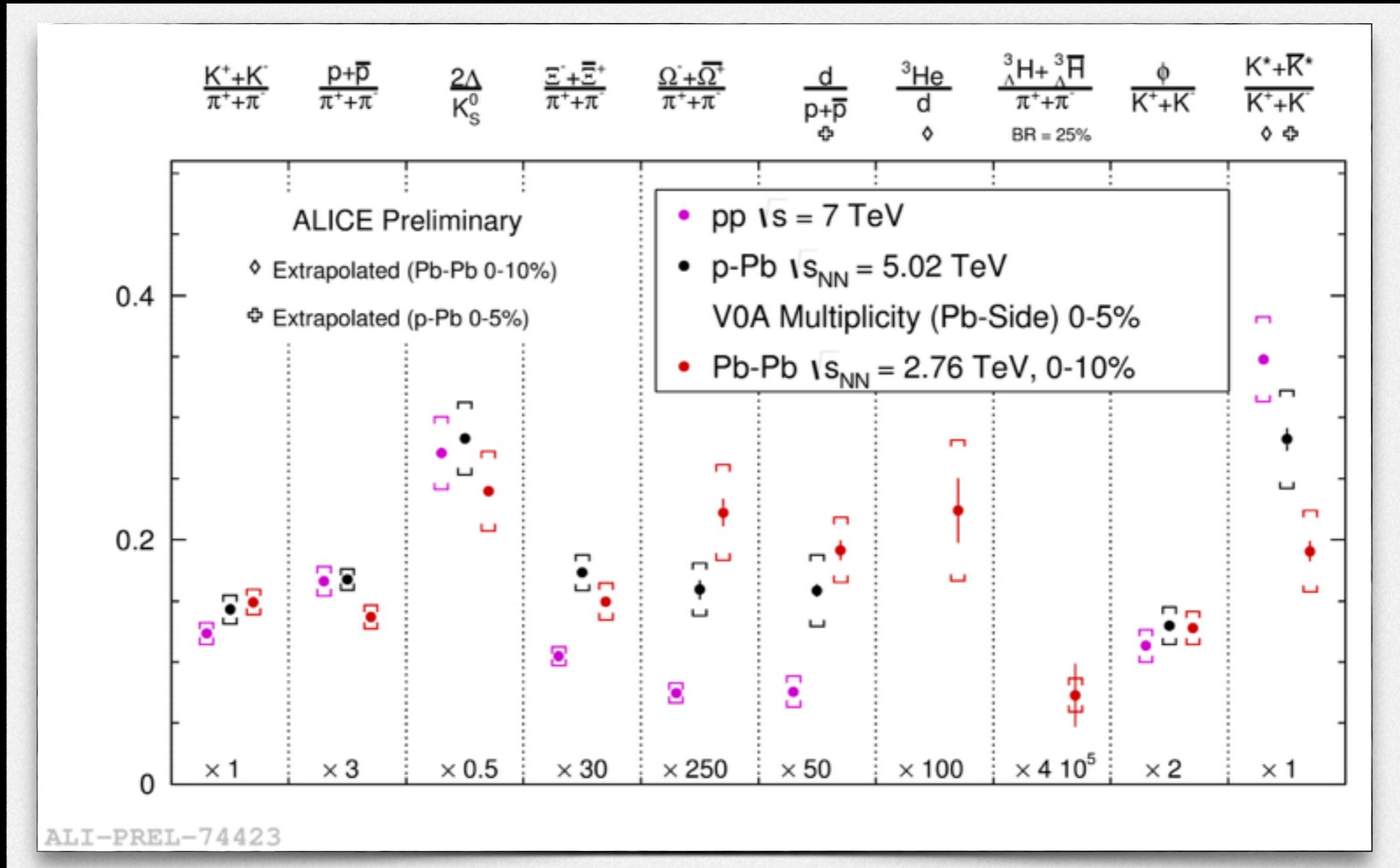
questions à la théorie

- IS à LHC: champs classiques de gluons ? faiblement ou fortement couplés ?
- dynamiques: de IS vers un liquide hydro en 0.5 fm/c
- DoF: un milieu sans quasi-particules ? tout près de T_H ? hadronisation ?
- ▶ Comment contraindre expérimentalement la physique de l'équilibration dans QCD ?
- ▶ LHC offre les conditions les plus favorables
 - ✓ très petit x
 - ✓ milieu non dissipatif

soft: $p_T \sim T, \Lambda_{\text{QCD}}$

teste le milieu

production de hadrons



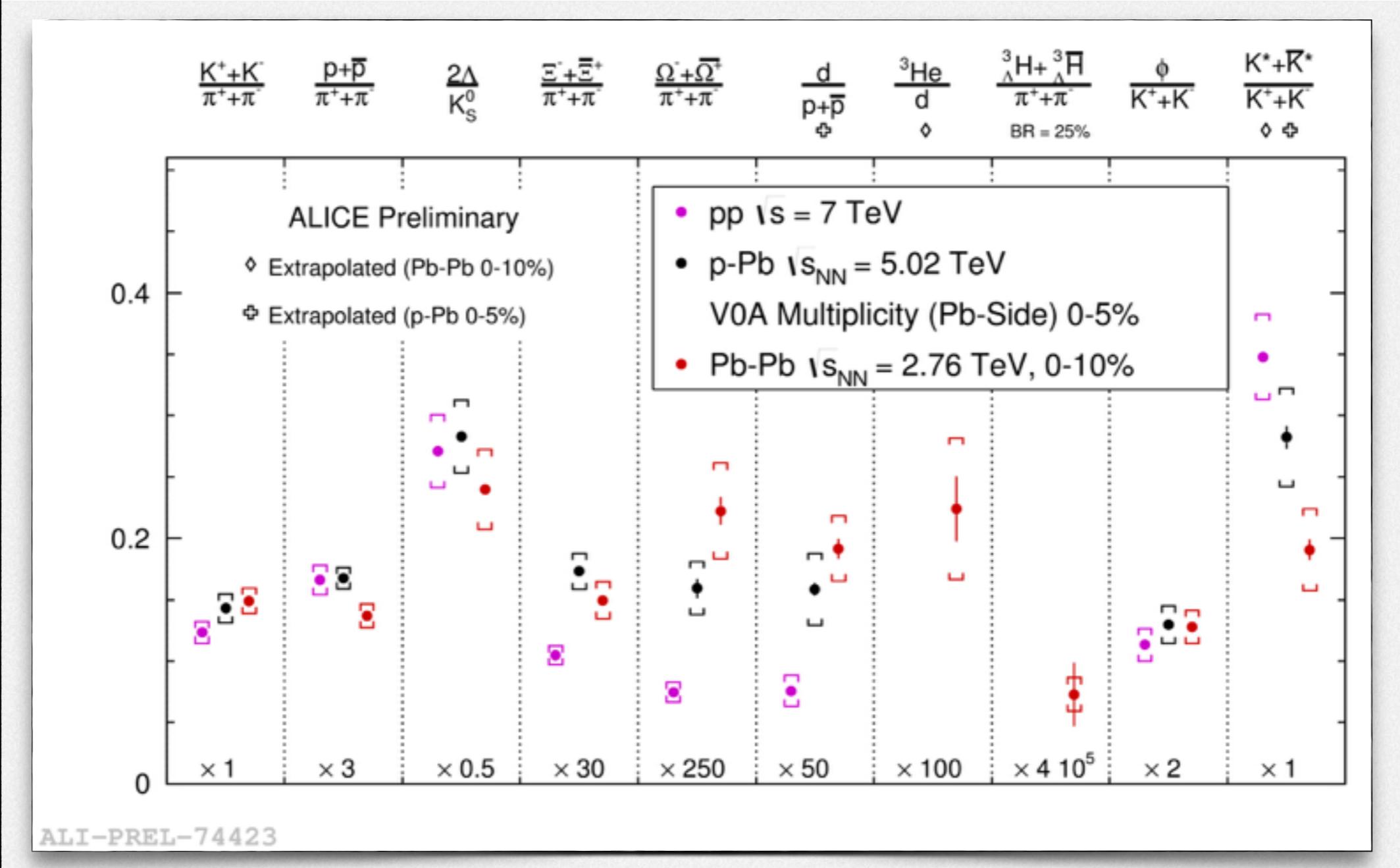
augmentation S,
 suppression K^*

OK

suppression p
 augmentation d

???

production de hadrons



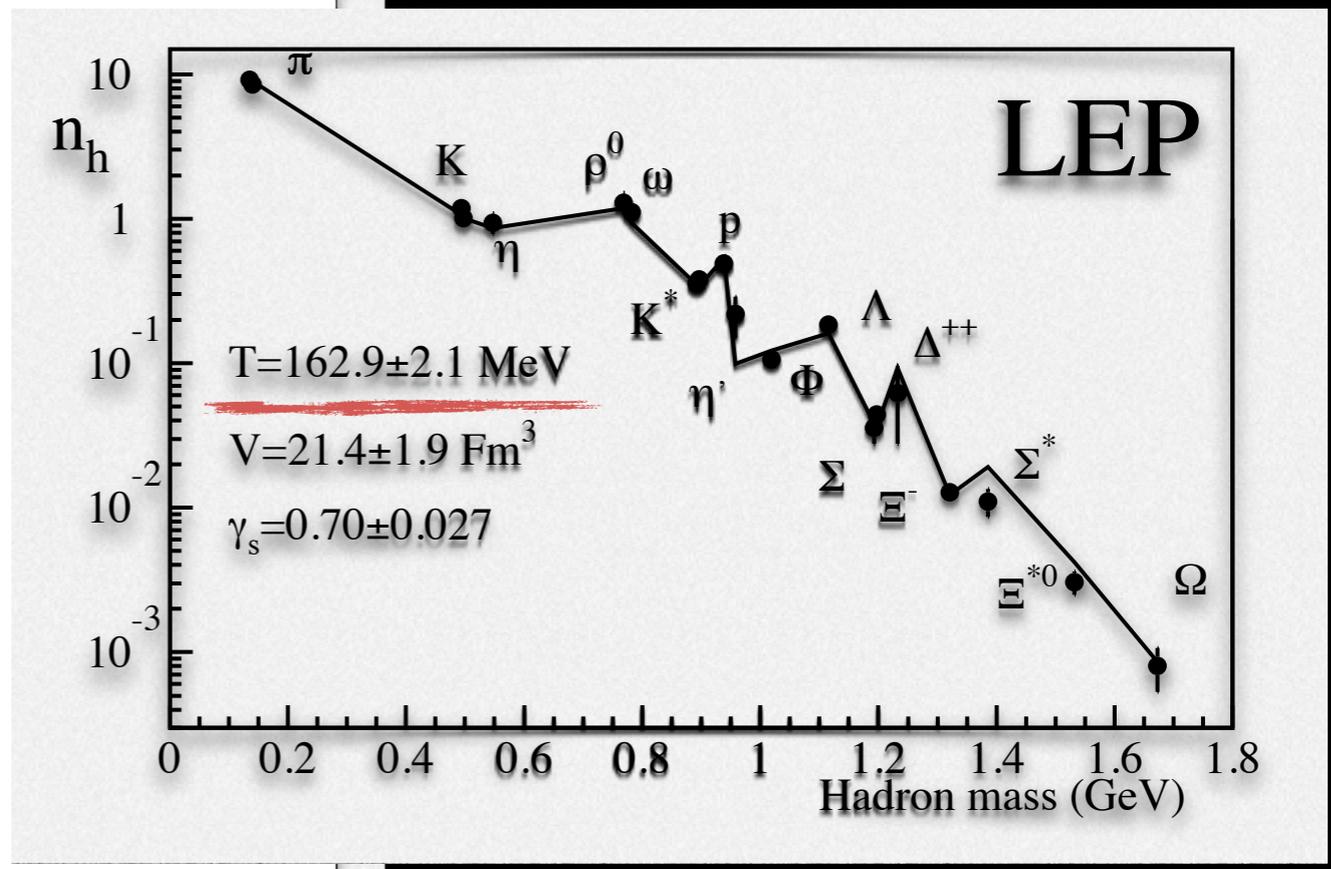
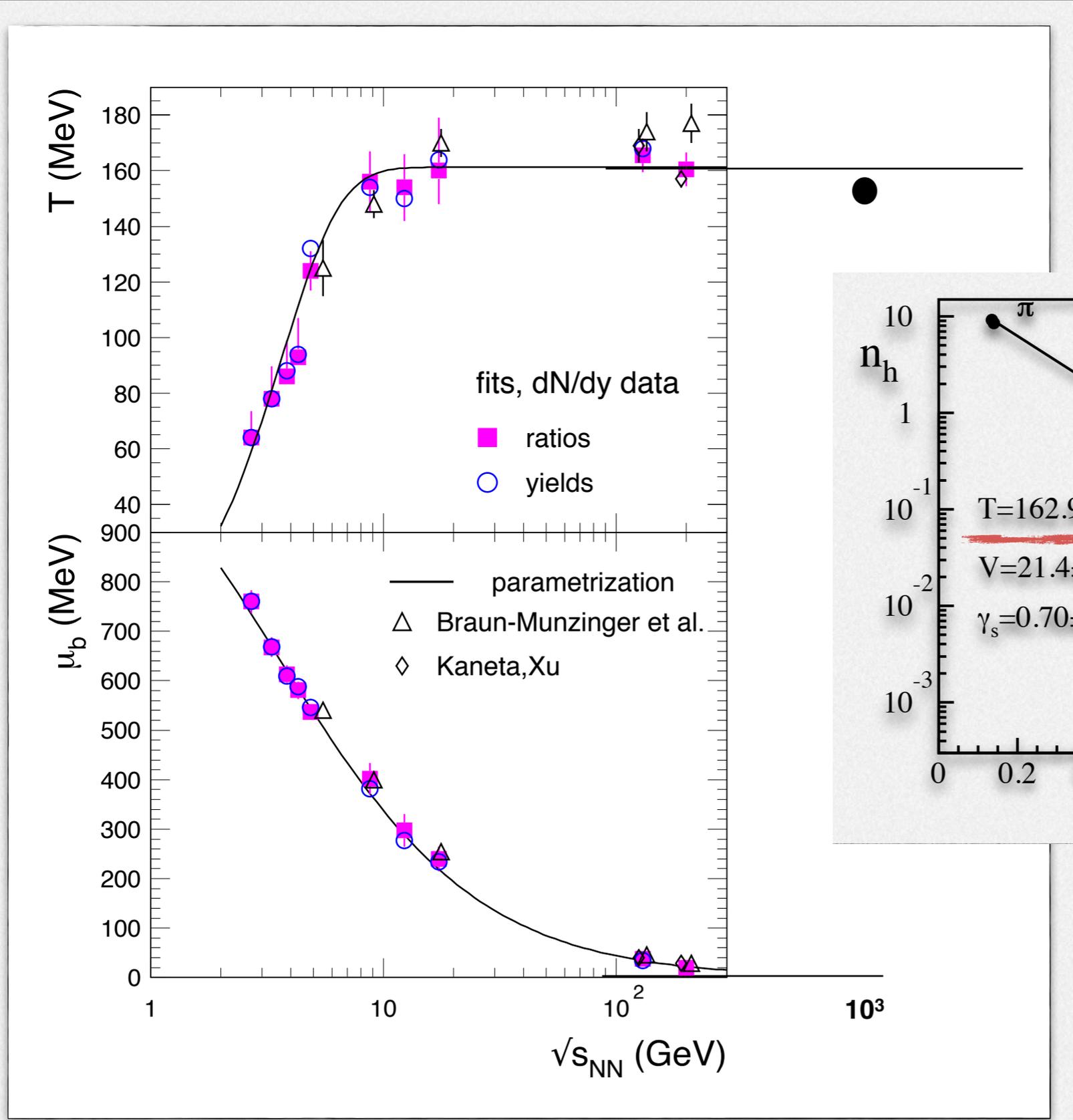
7 ordres de grandeur !

p, d, noyaux !!

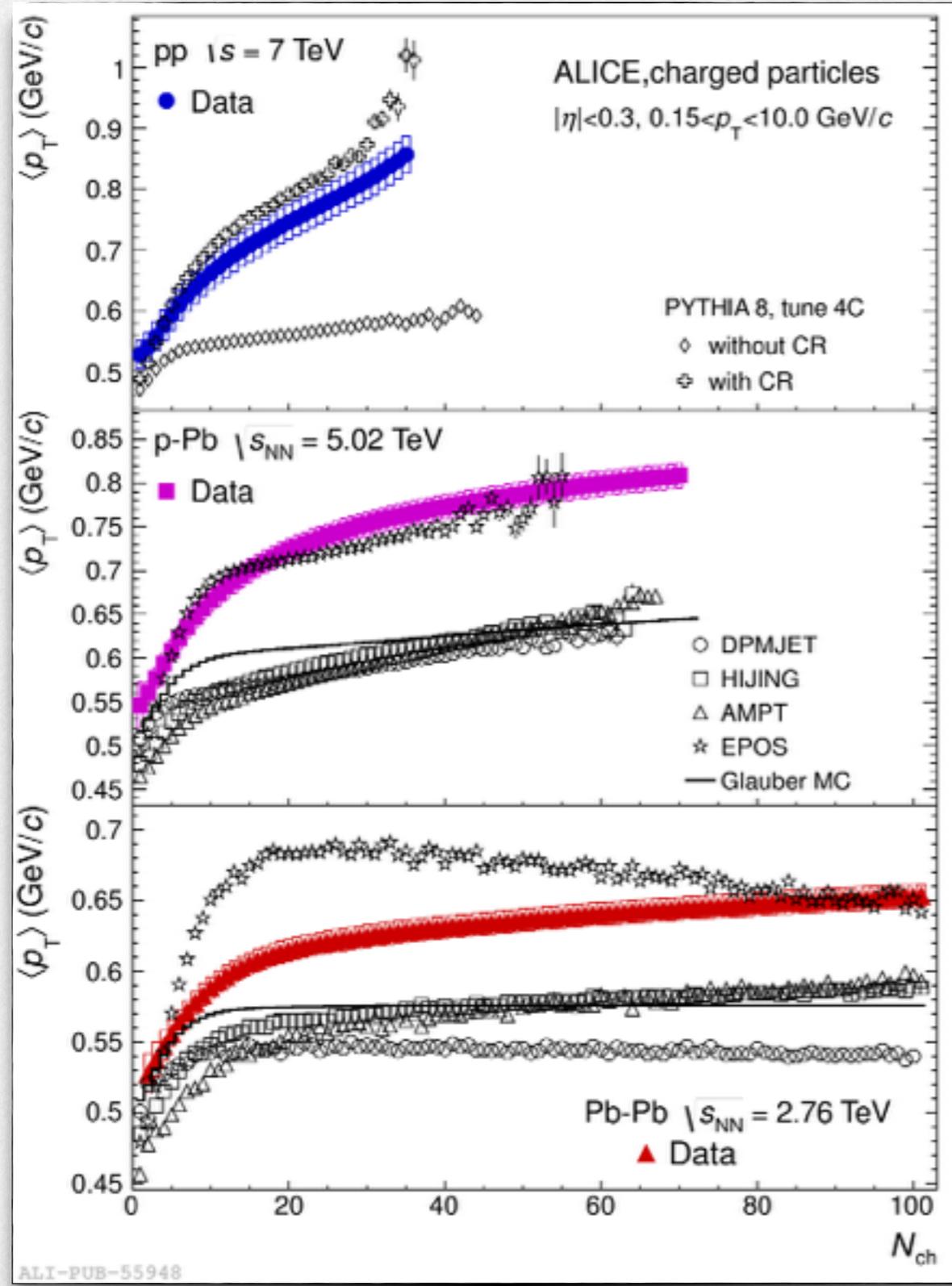
$T_H = 155$ MeV !!!

production de hadrons

$T_H = 155 \text{ MeV} !!! !!!!!$
hadrons invisibles ?



$\langle p_t \rangle$ vs M

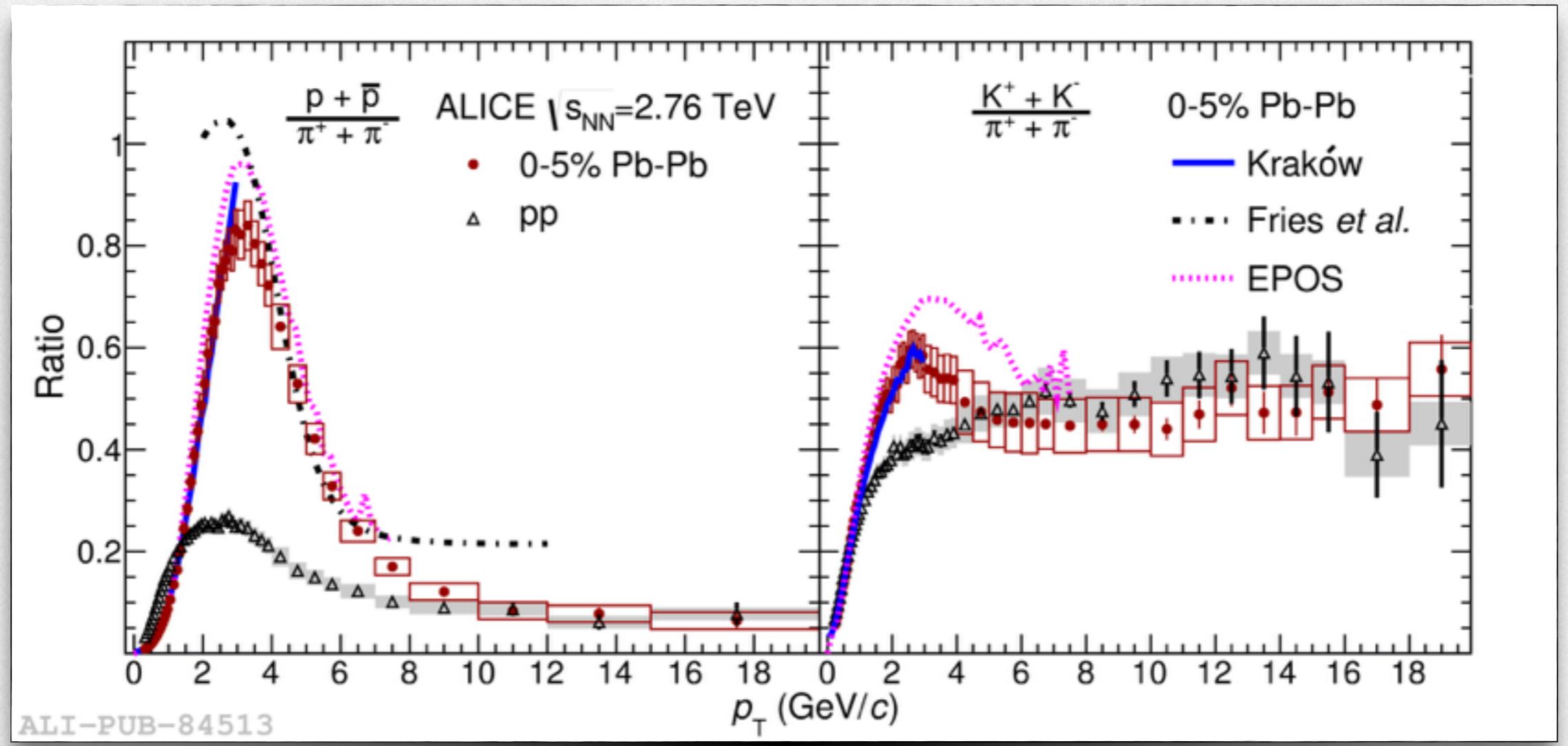


pp: \neq superposition incohérente d'interactions multiples de partons (CR)

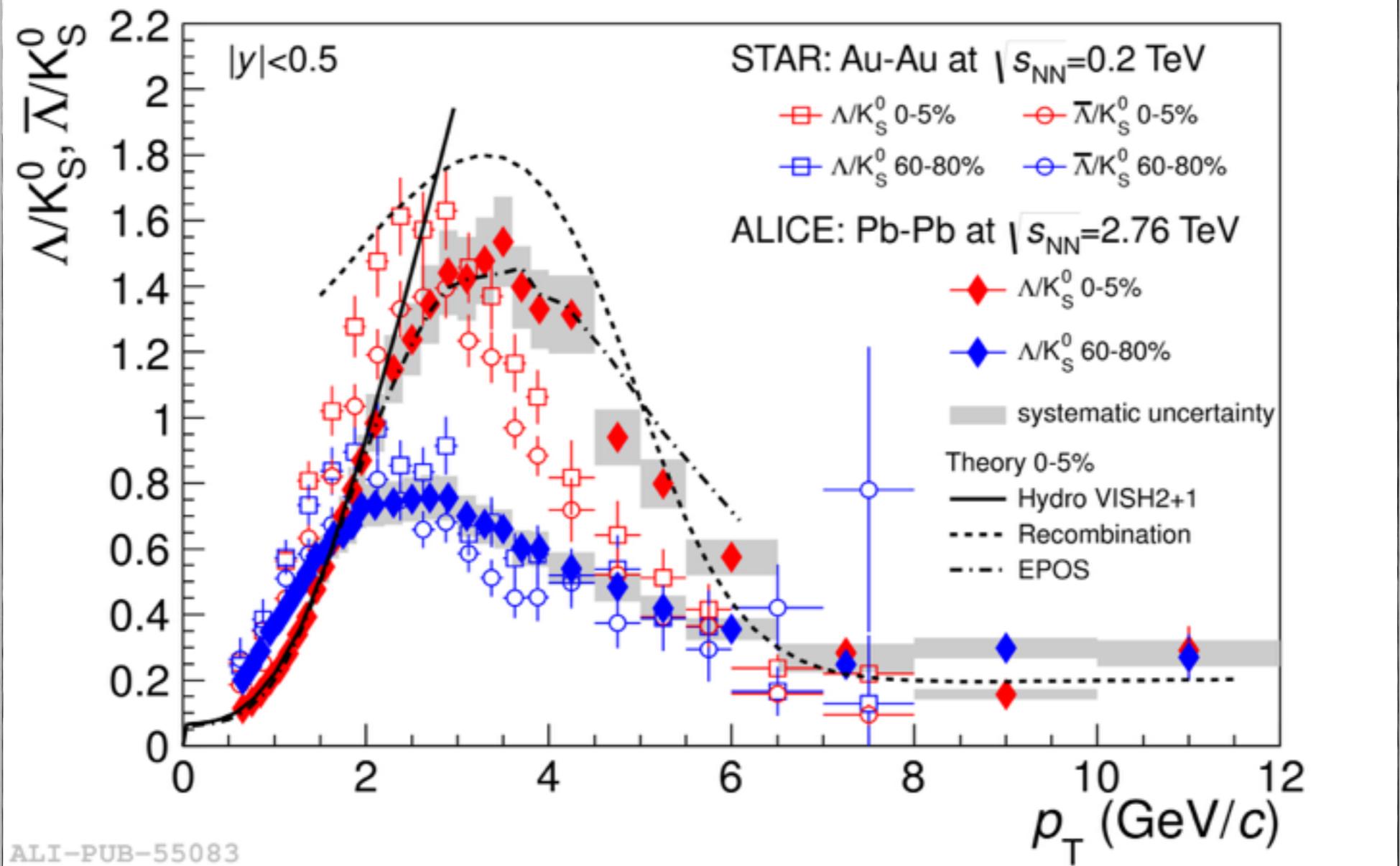
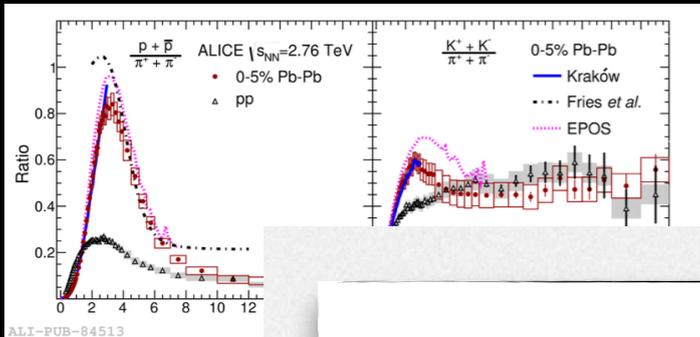
pA: \neq superposition incohérente de collisions pp (EPOS + hydro)

collectivité partout ?
Modèles !

Baryon & Meson léger



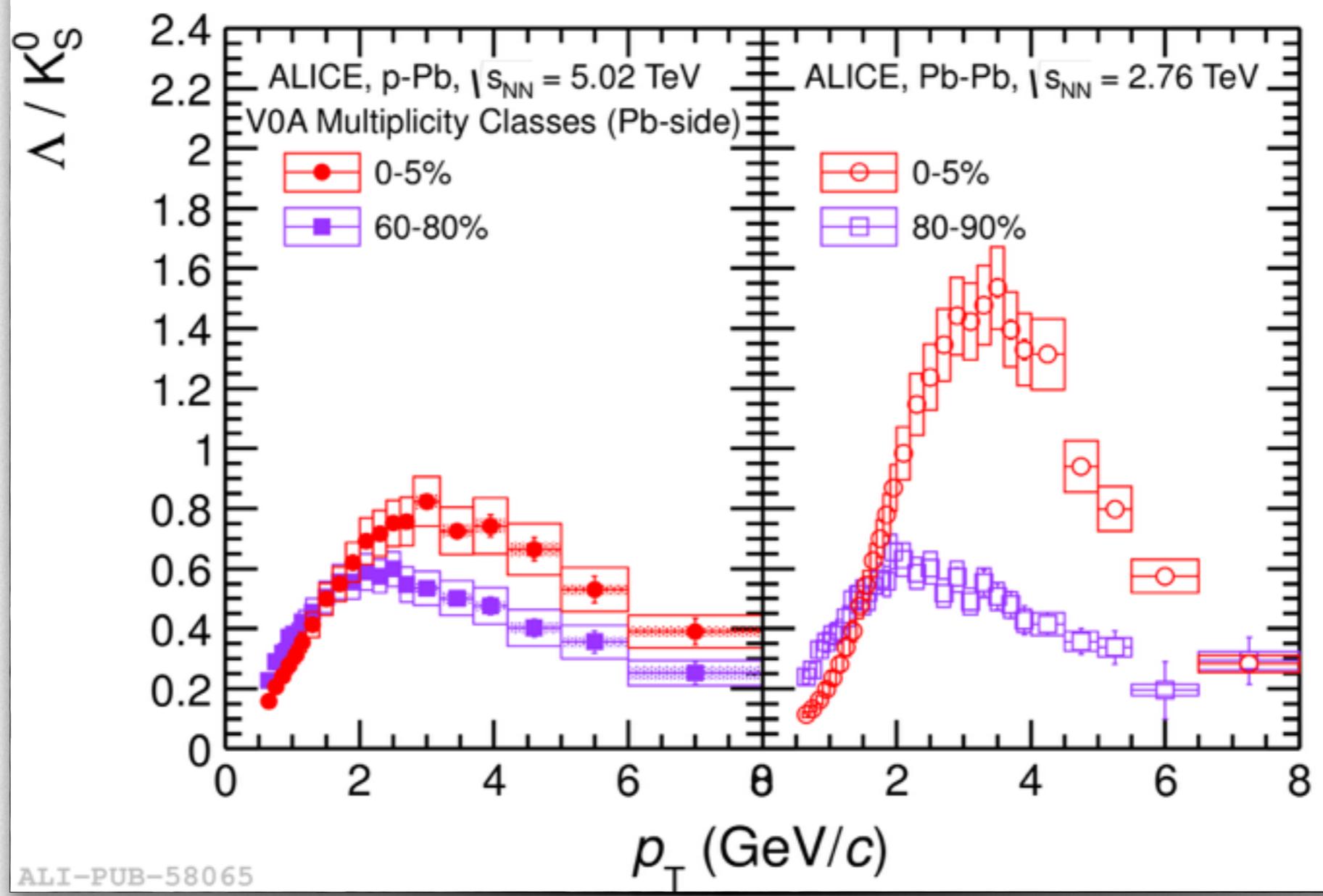
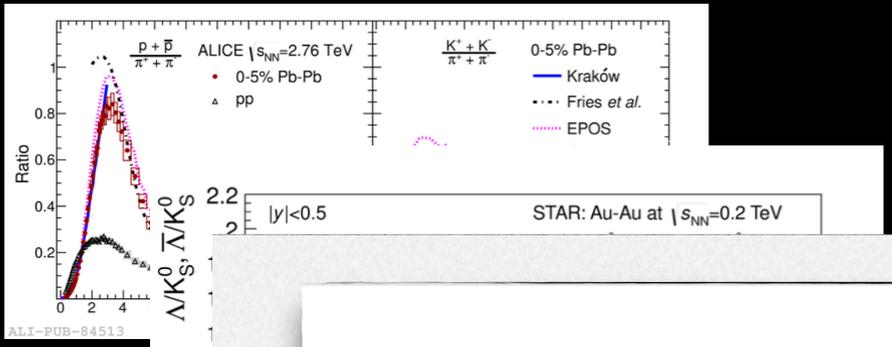
Baryon & Meson étrange



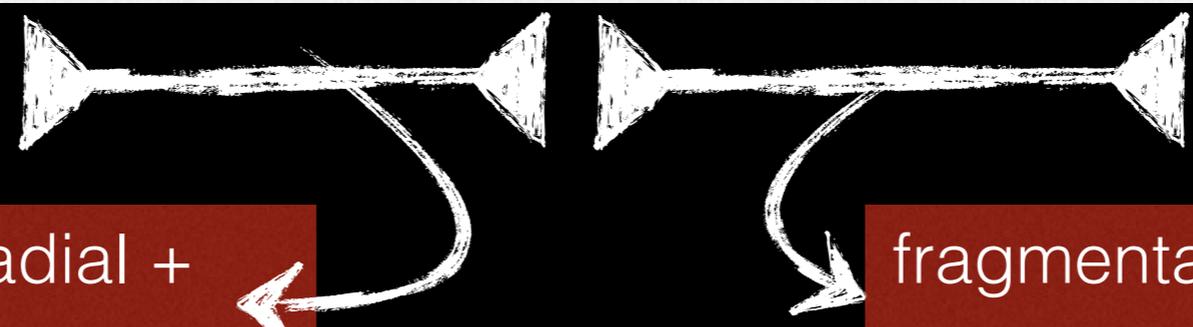
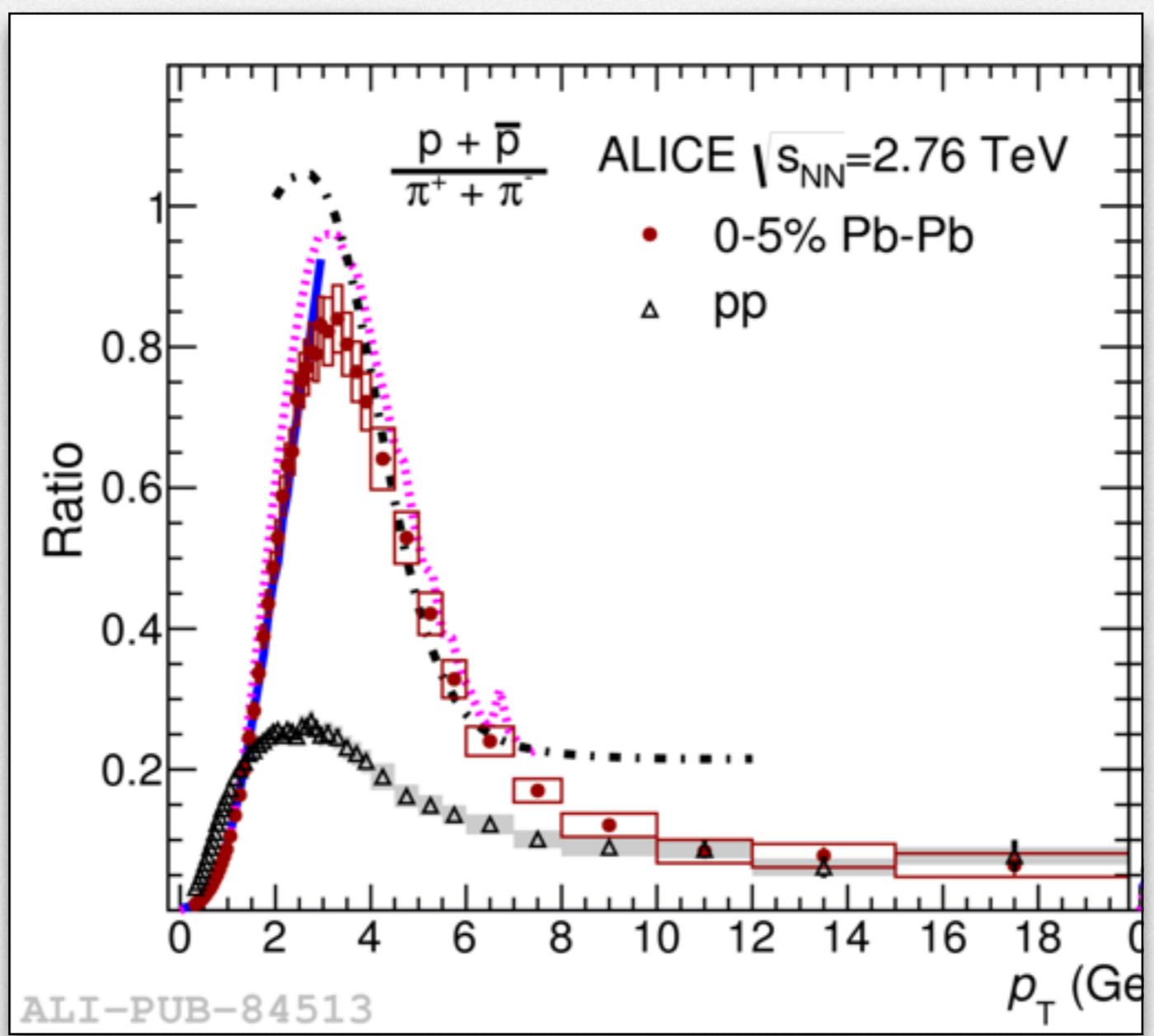
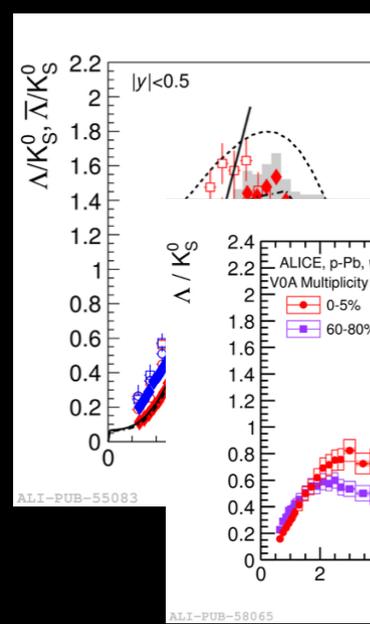
ALI-PUB-55083

Baryon & Meson

pPb pareil !



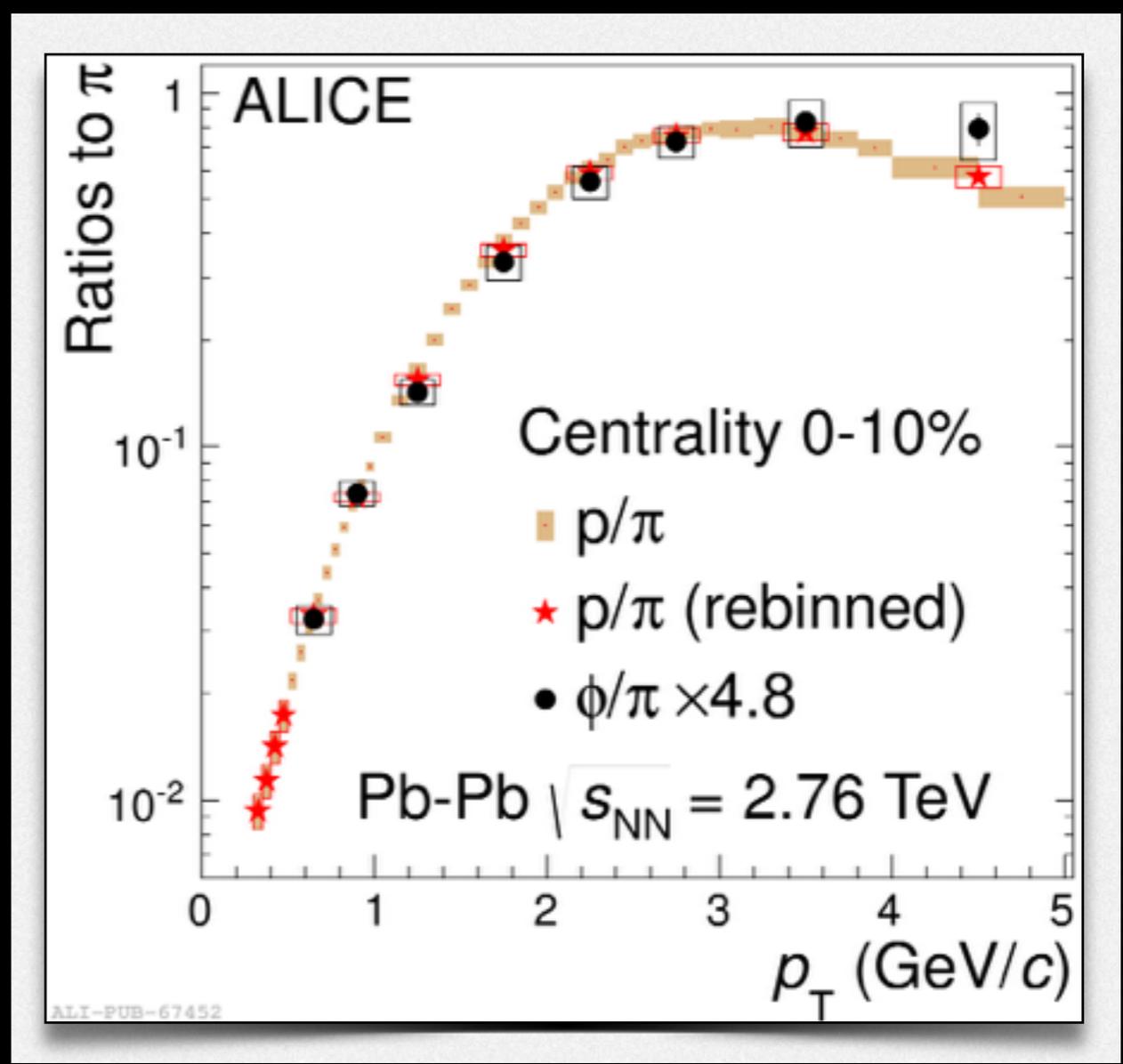
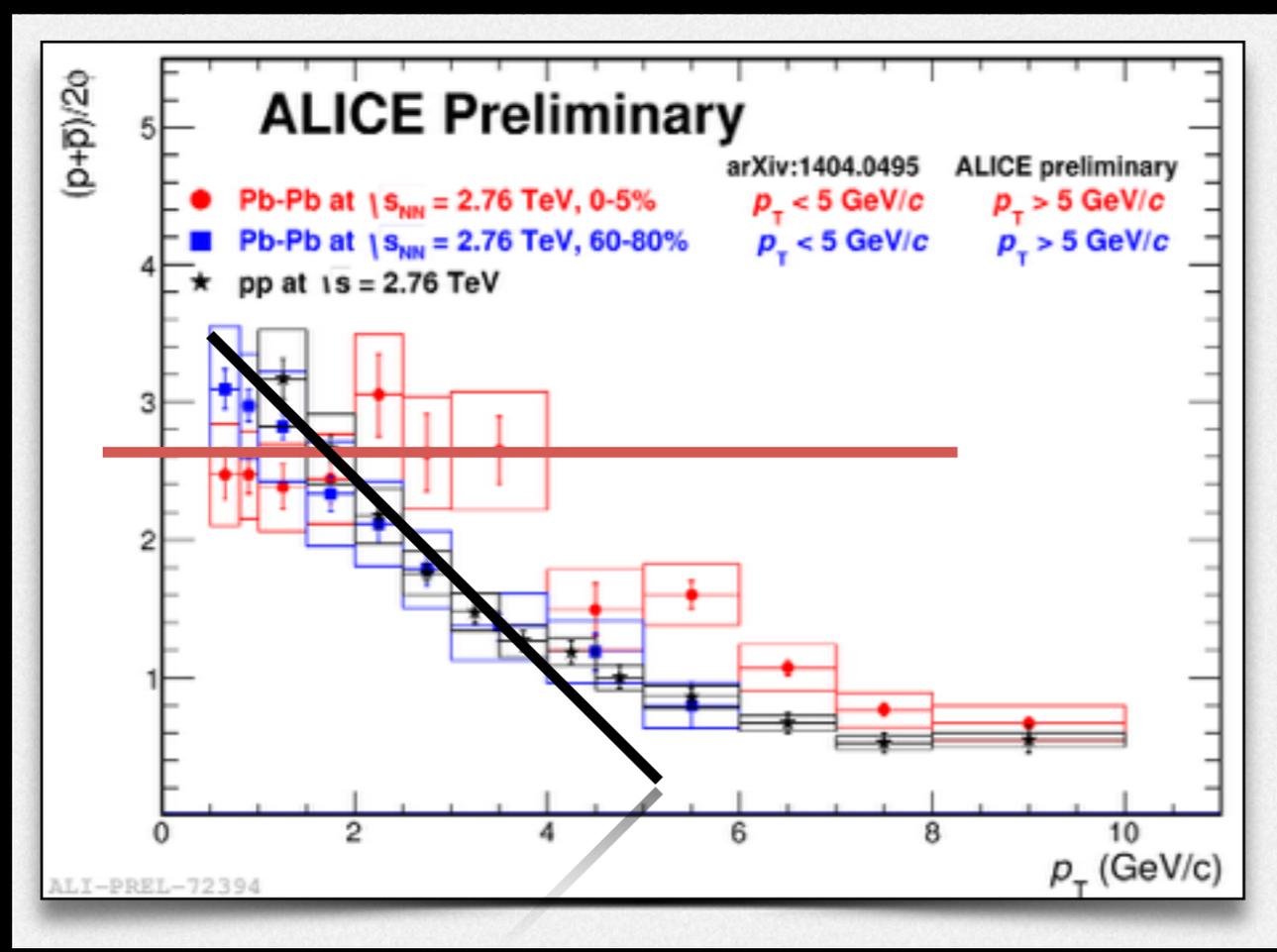
ALI-PUB-58065



effets collectifs: flow radial + coalescence ?

fragmentation jet dans le vide: pQCD

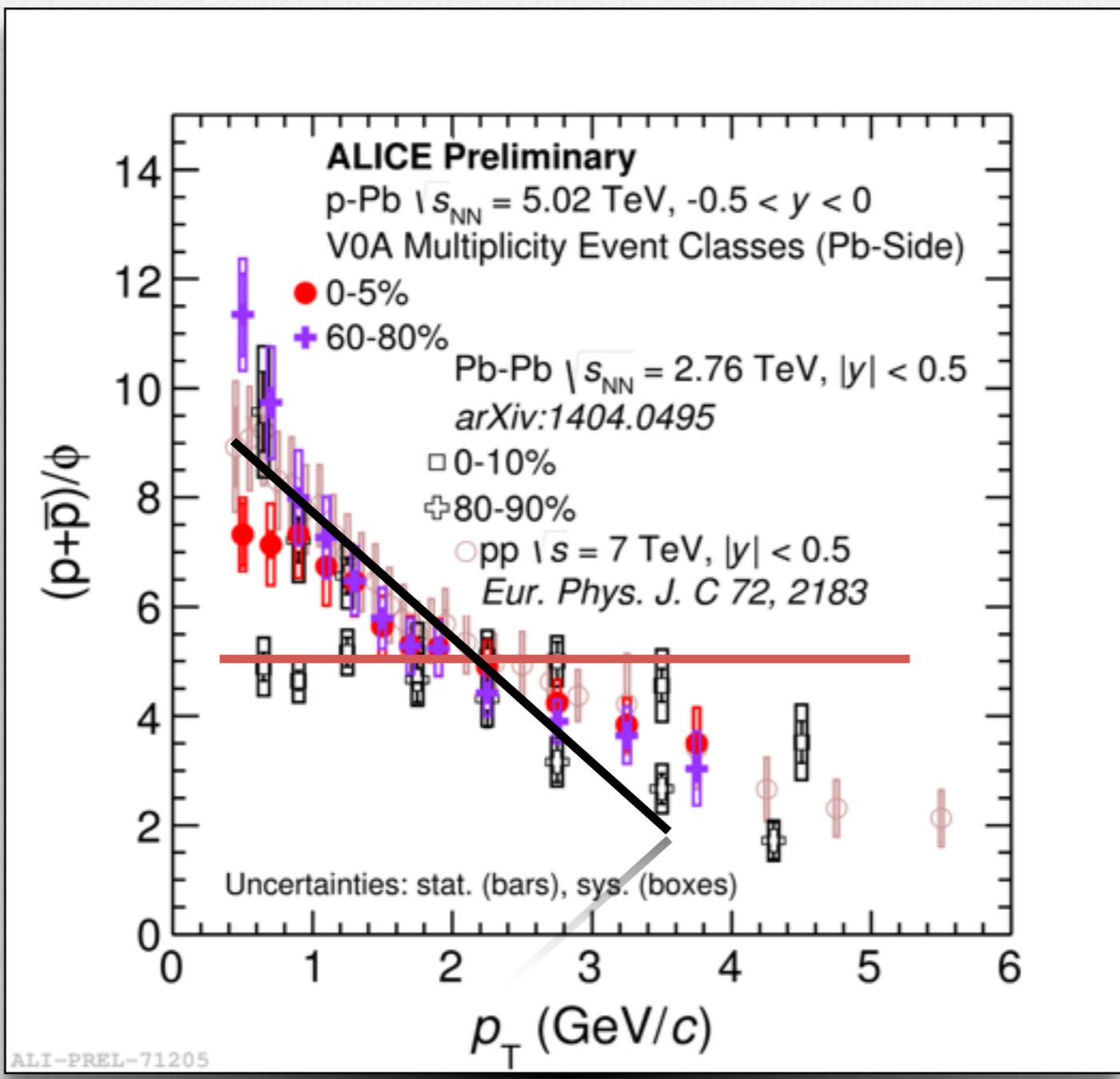
Baryon & Meson



effets collectifs: flow radial + ~~coalescence~~ ?

Masse plutôt que # quark

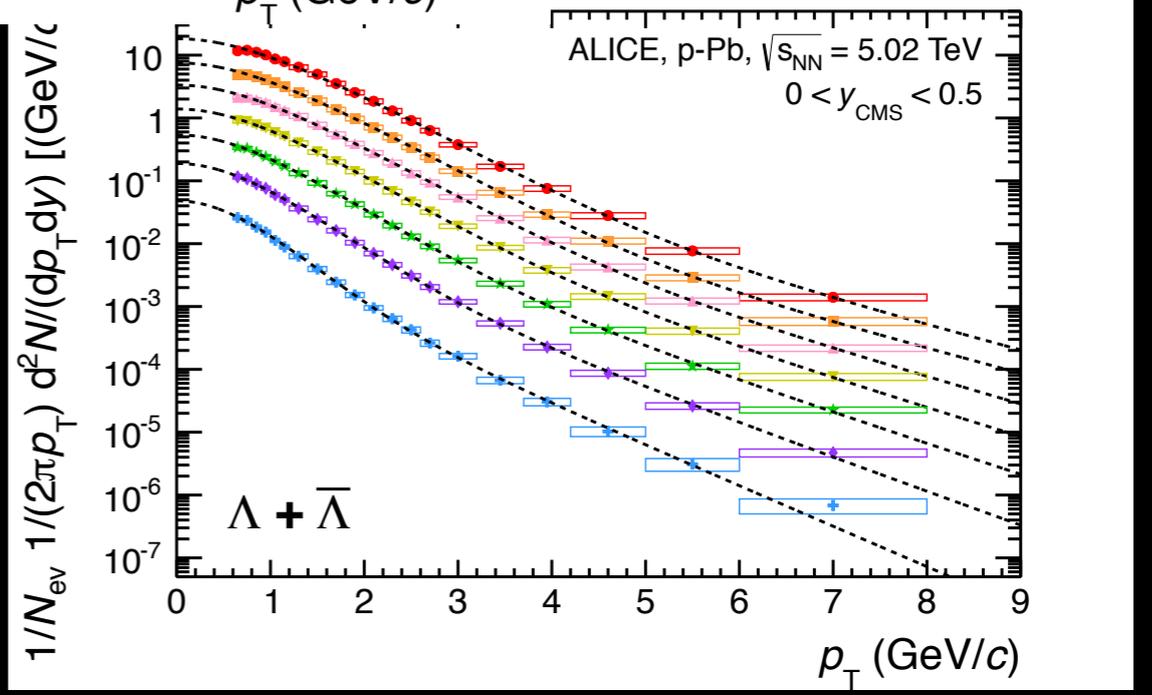
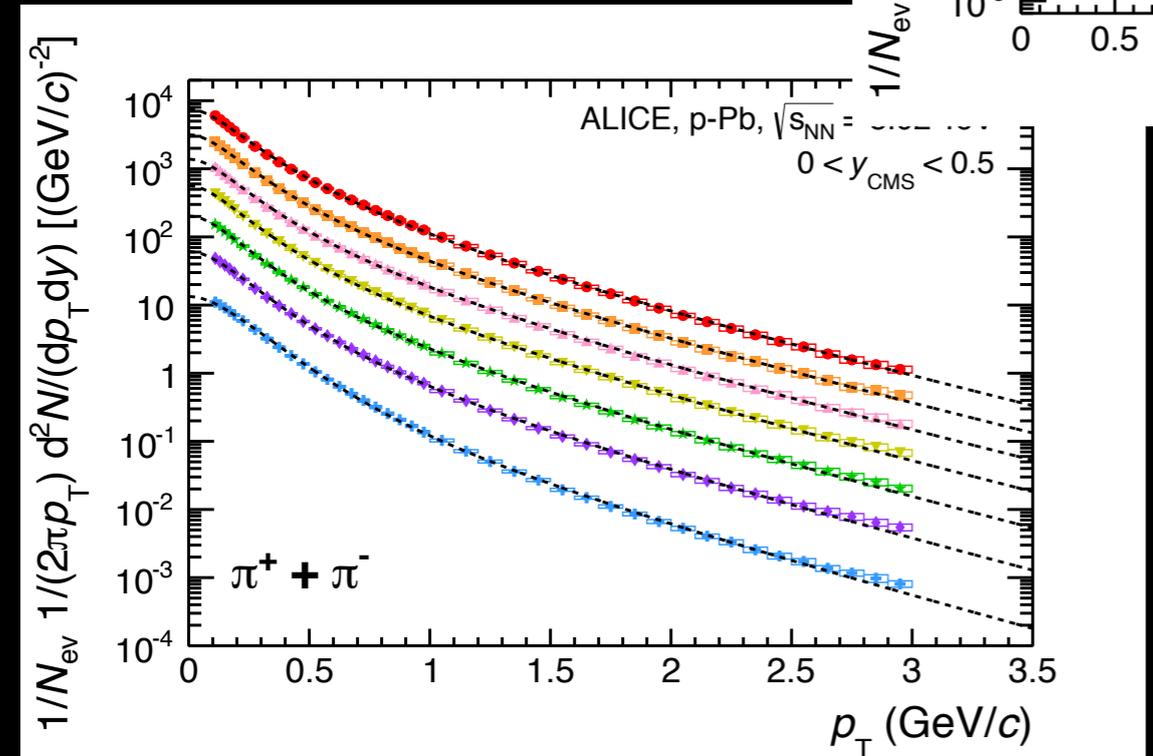
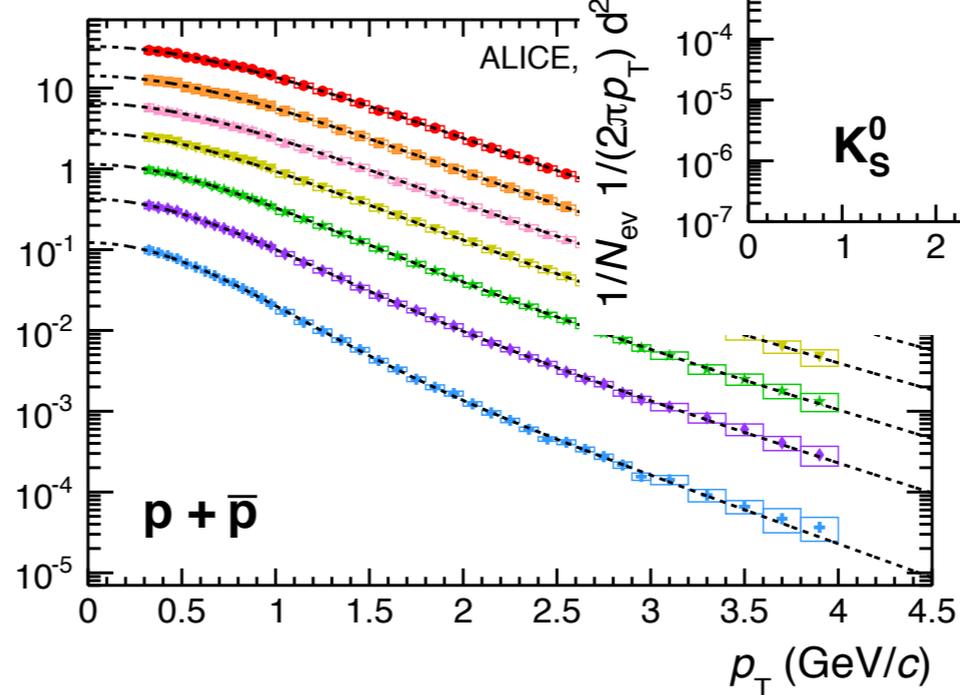
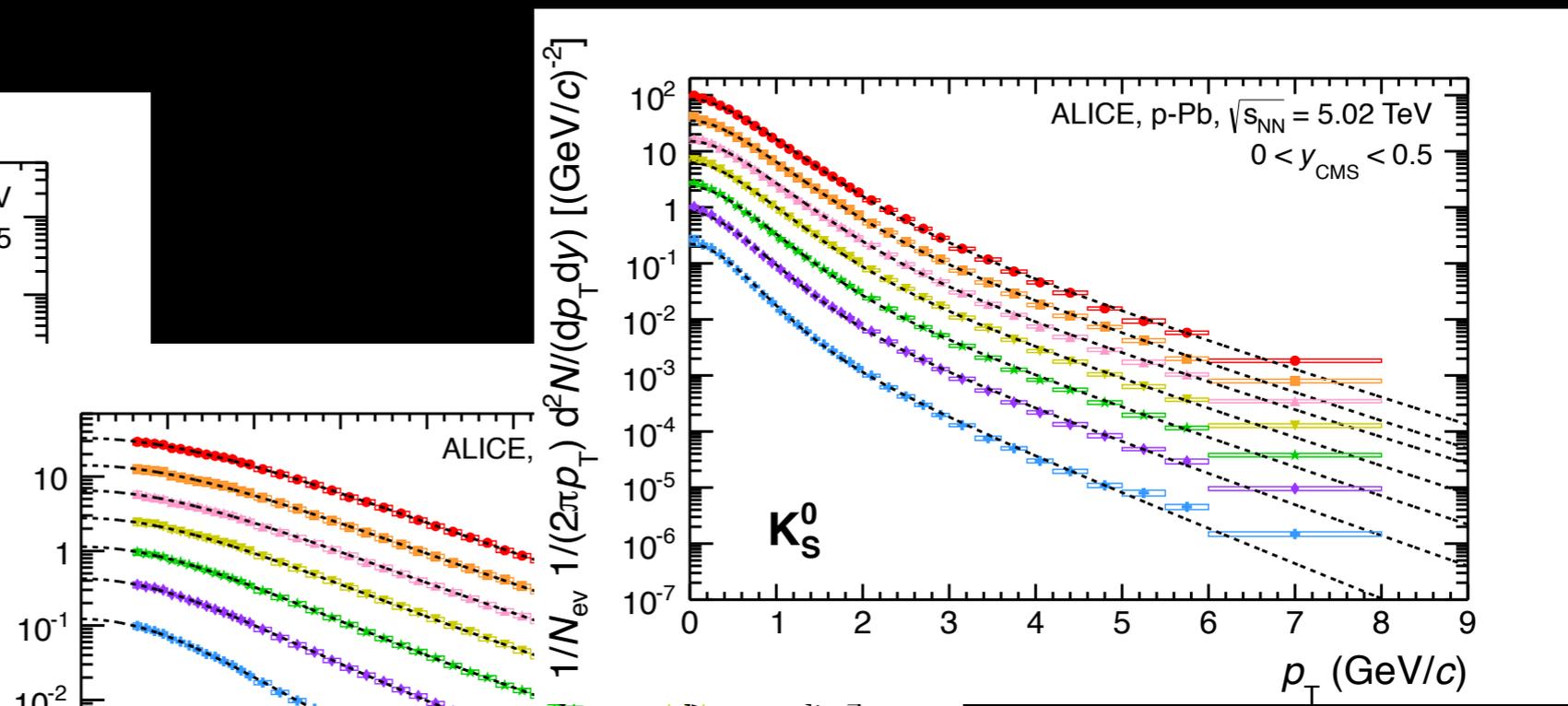
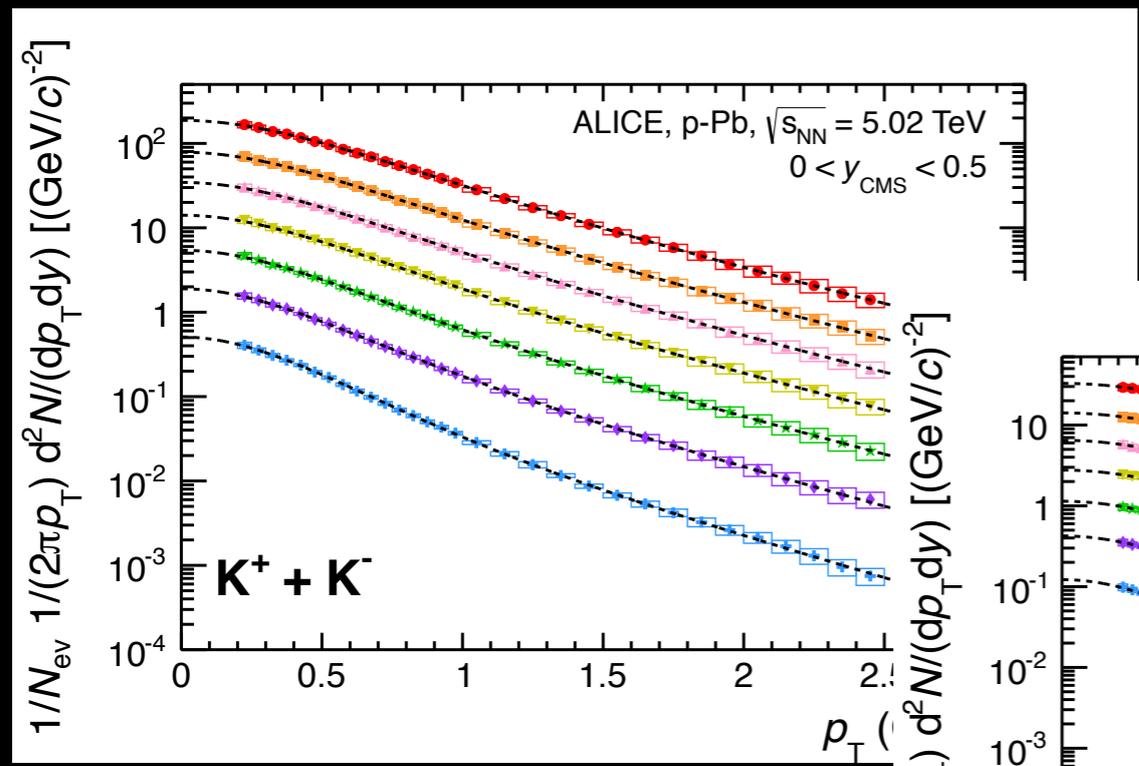
Baryon & Meson



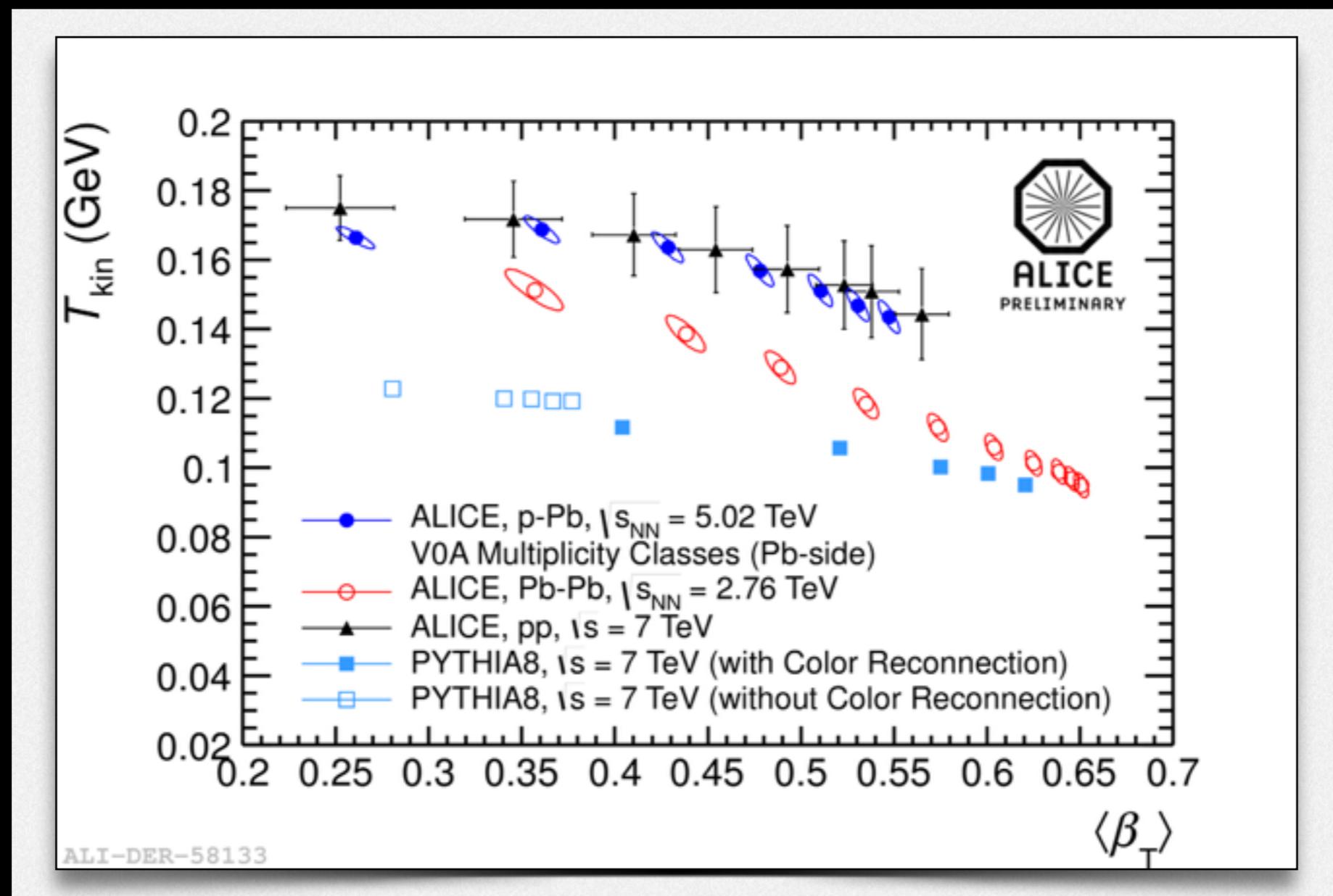
effets collectifs: flow radial + ~~coalescence~~ ?

Masse plutôt que # quark
PbPb périphérique et pPb ??

Blue shift: flow radial



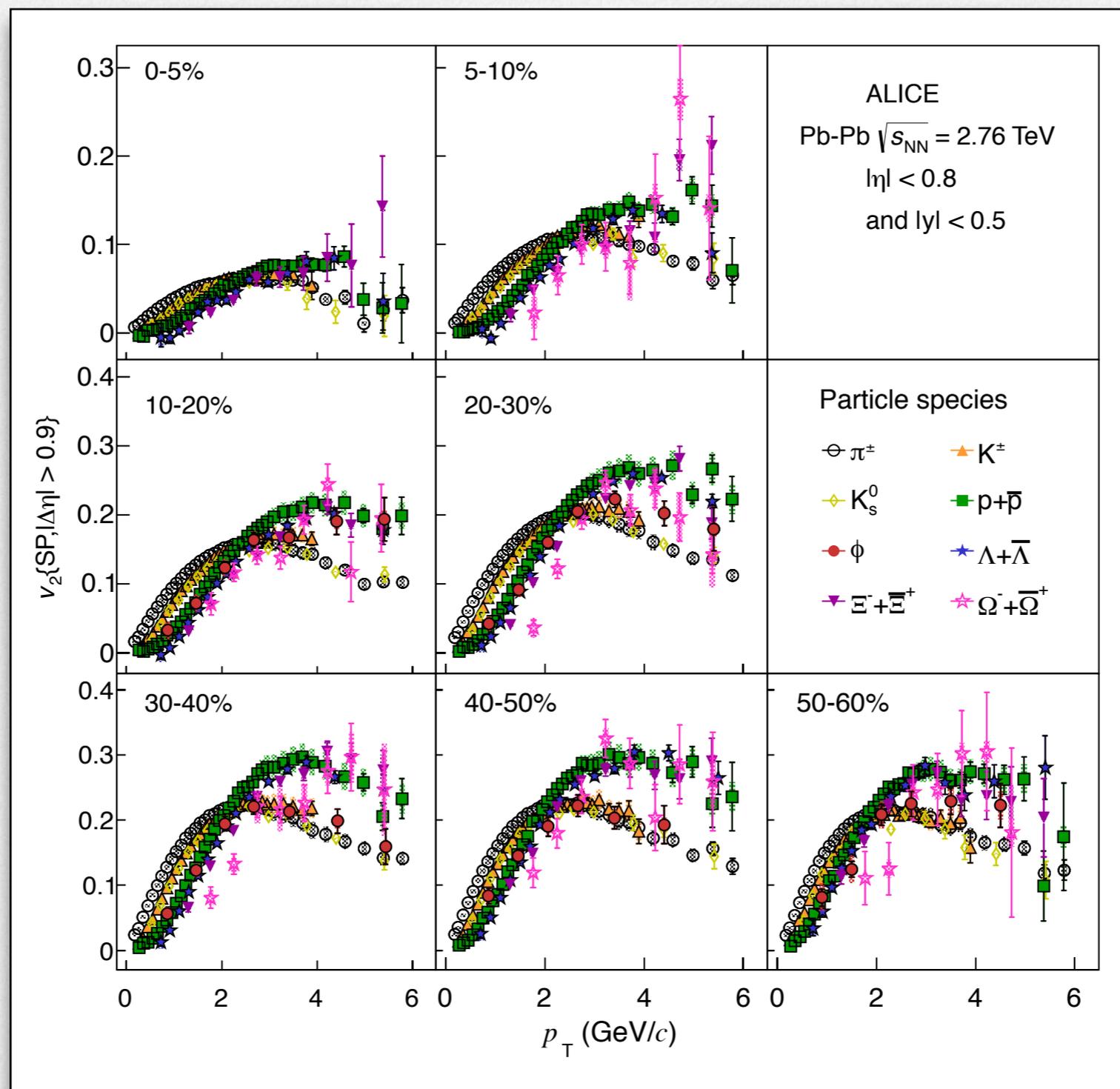
Flow radial



p-Pb and pp: gradient radial (plus fort)!

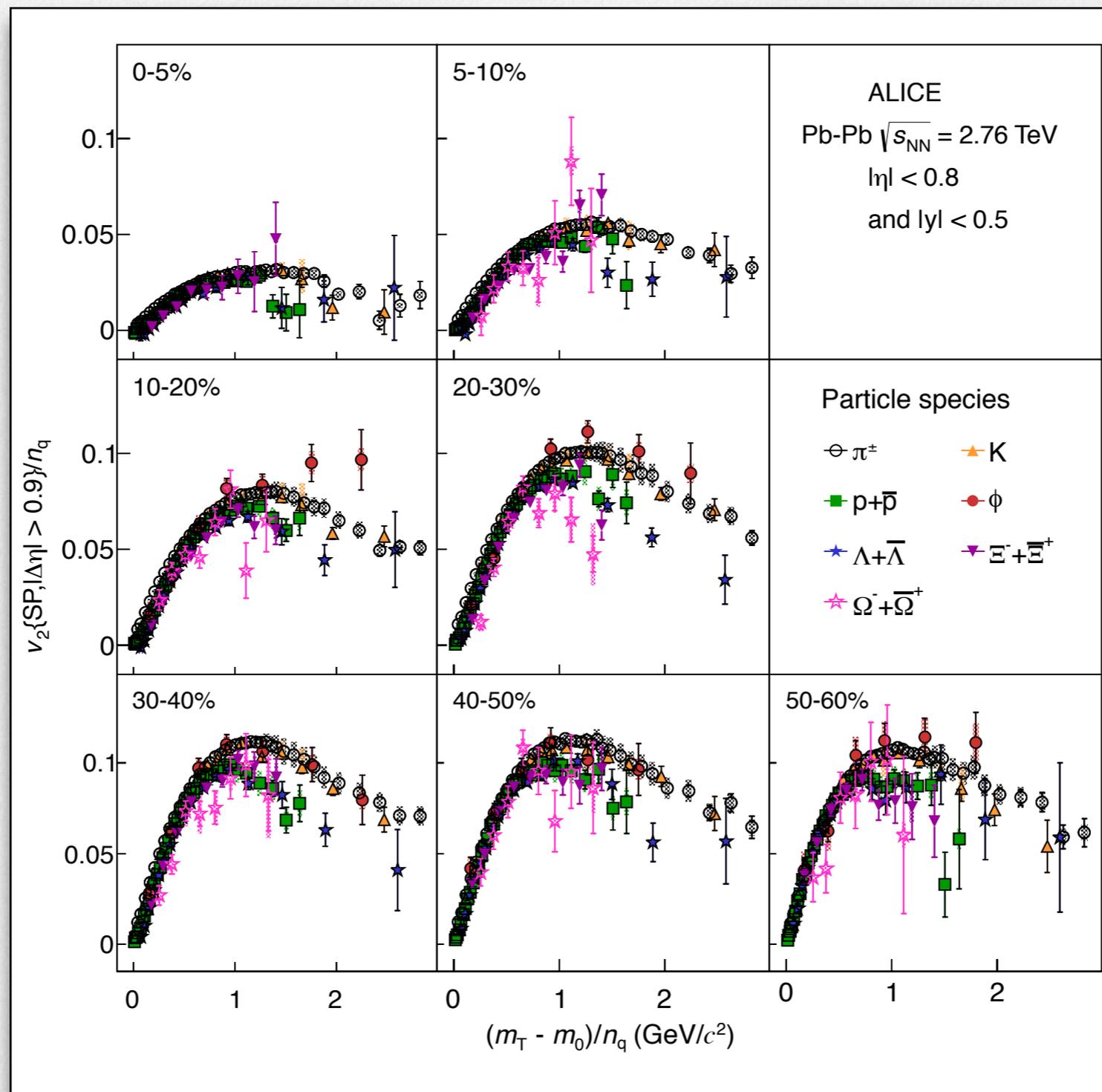
p-p: mécanisme FS singe flow radial !!

Flow elliptique



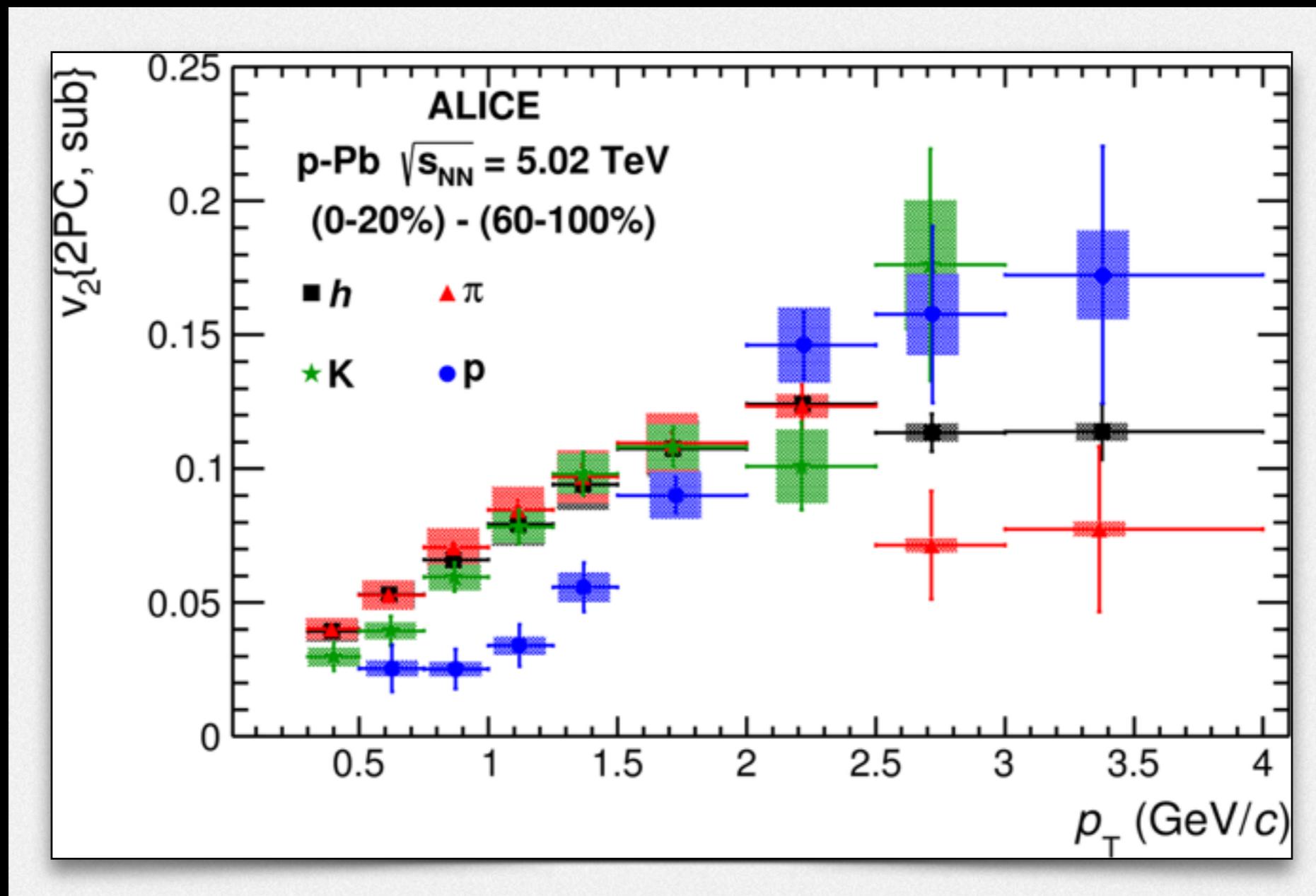
hadronization par coalescence de $q \rightarrow q$ DoF à $T > T_H$?

Flow elliptique



~~hadronization par coalescence de $q \rightarrow q$ DoF à $T > T_H$?~~

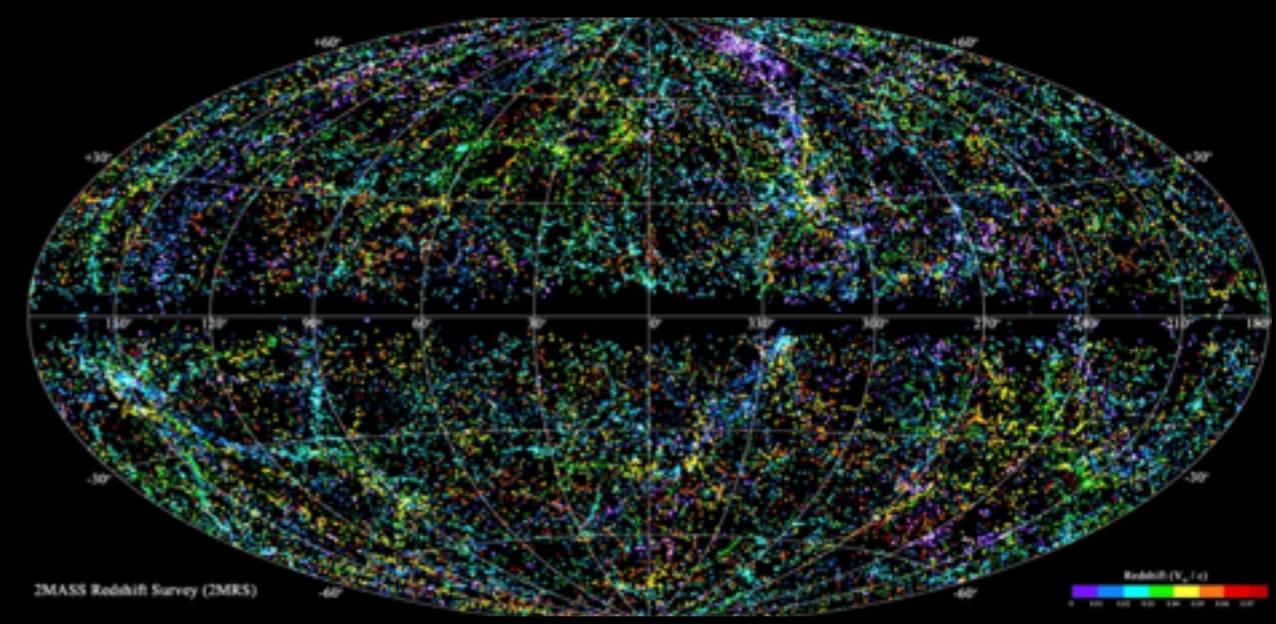
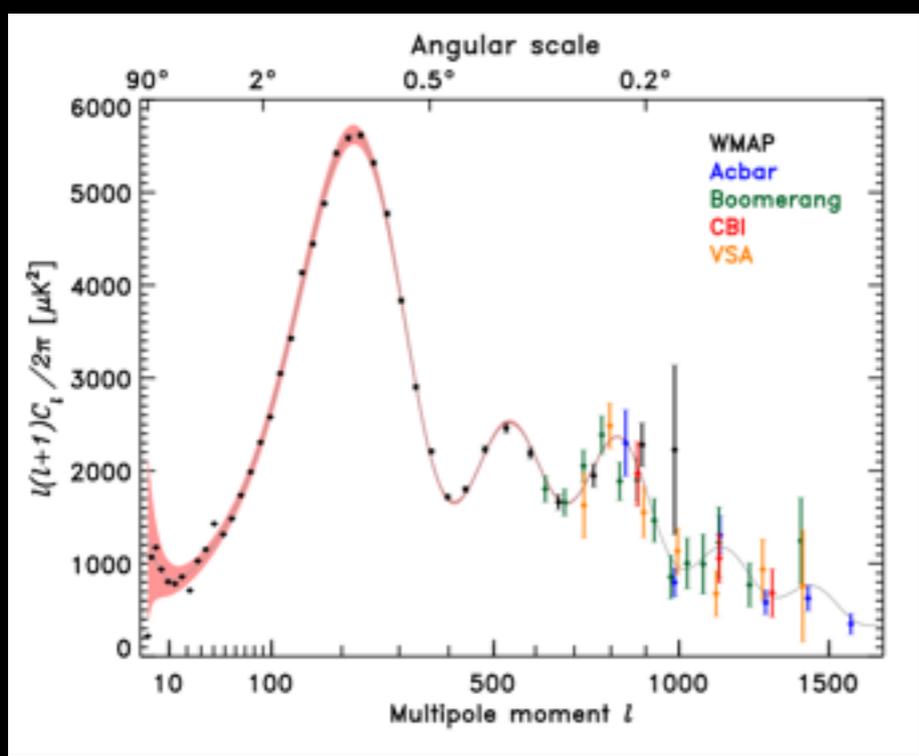
Flow elliptique



pPb: flow hydro, pareil ! le succès gênant de hydro

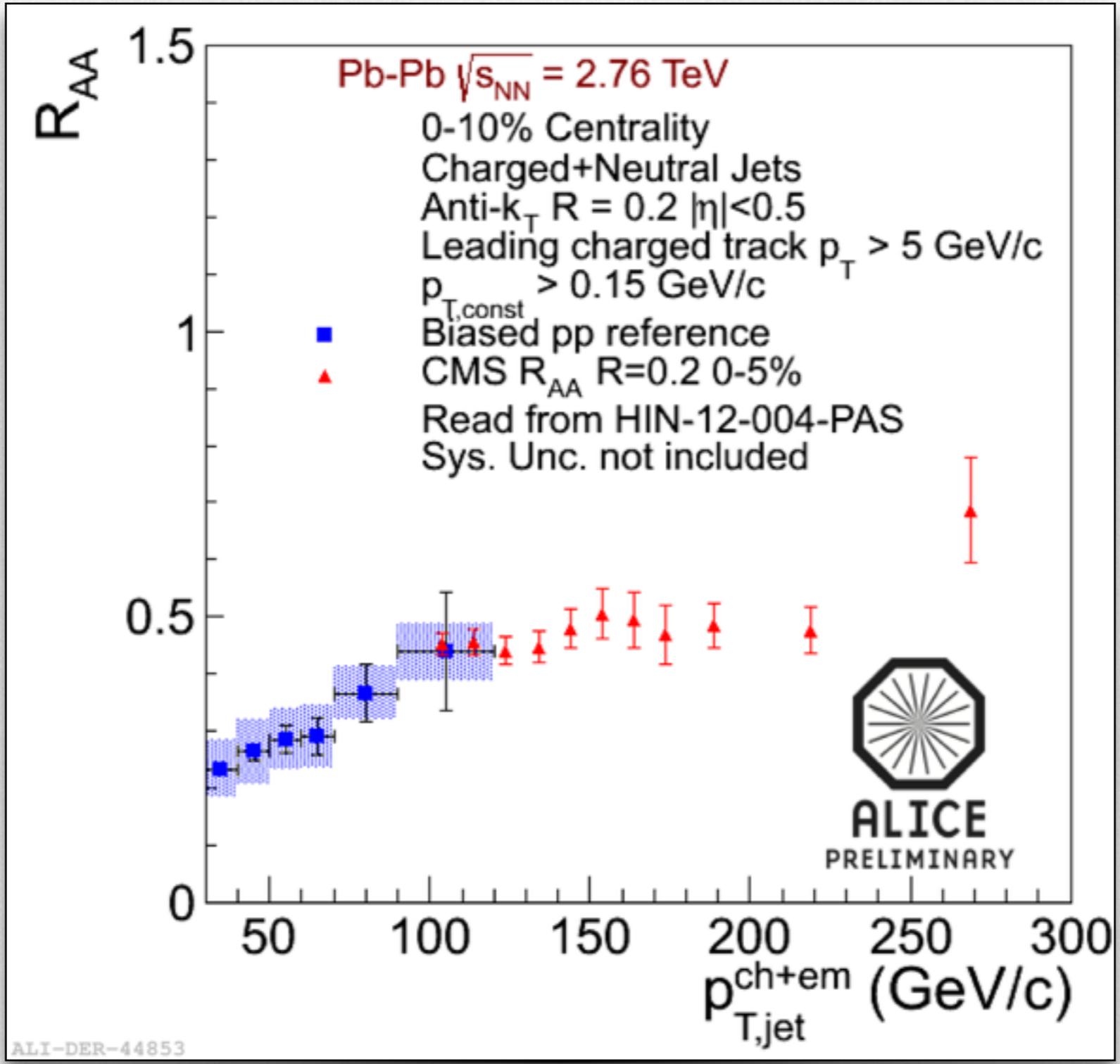
La dissipation dans le liquide parfait est minimale:

QGP est transparent aux fluctuations quantiques dans IS

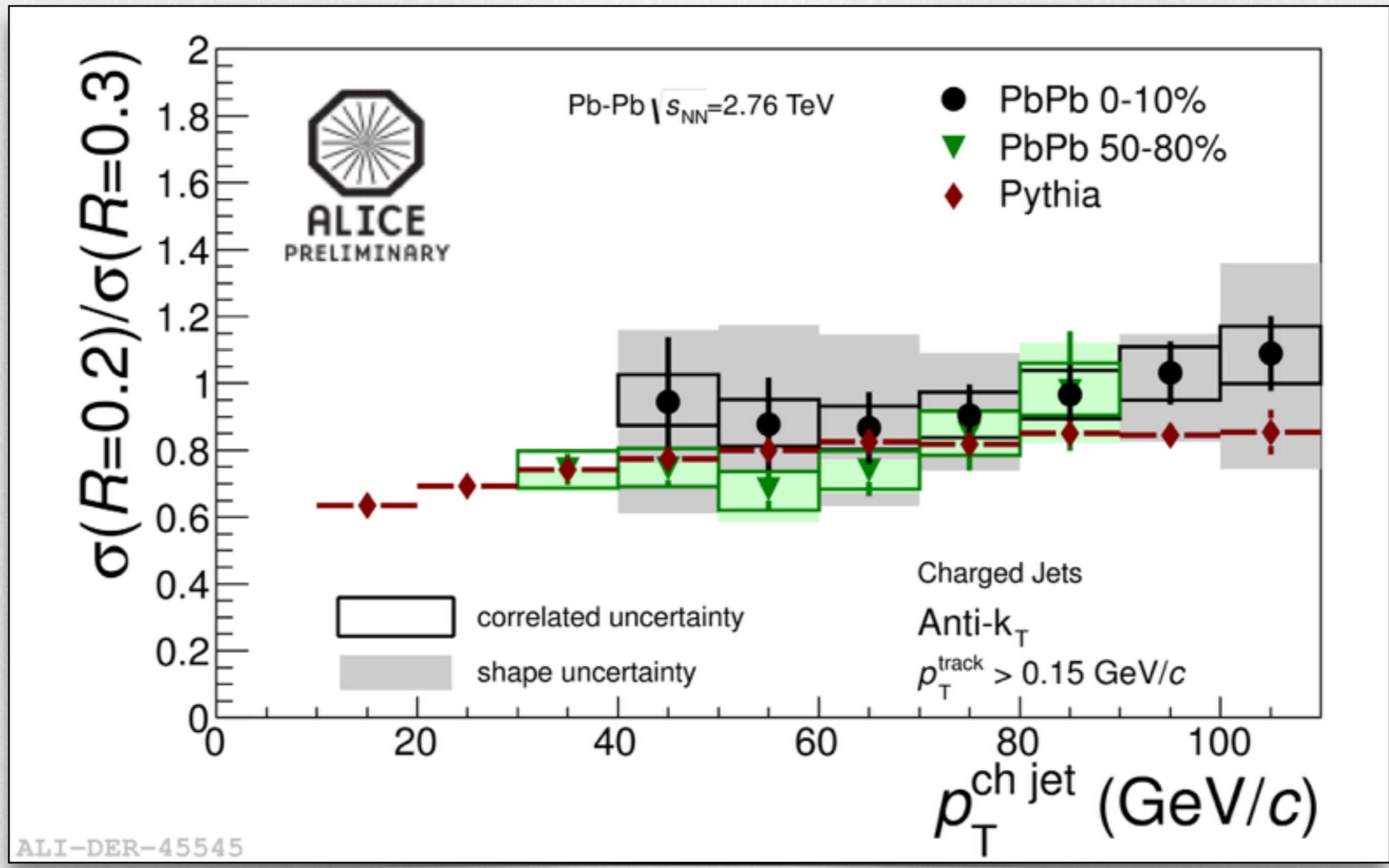


hard: $p_T, m_T \gg T, \Lambda_{\text{QCD}}$

sonde QGP à grande résolution (DoF)



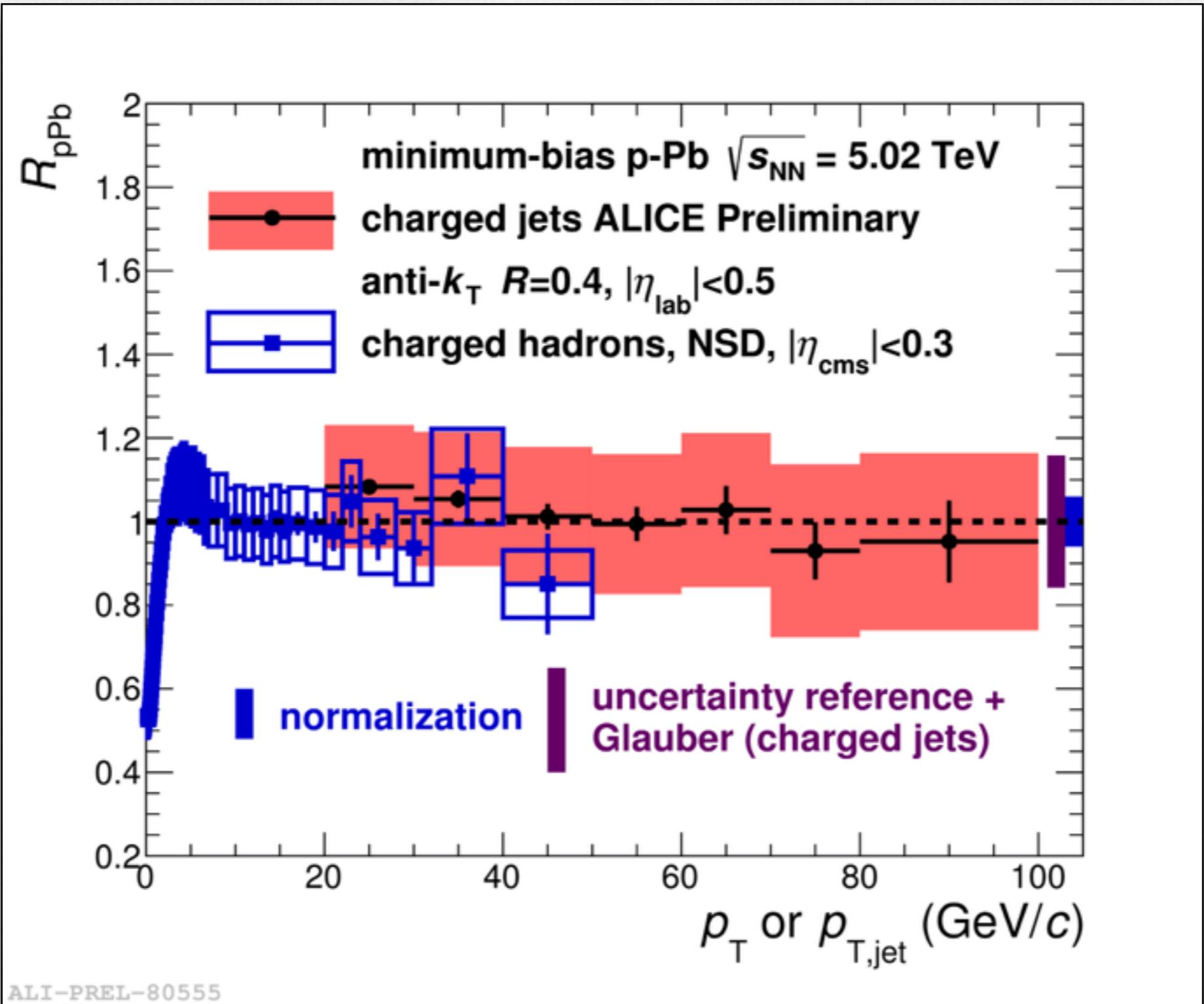
jets comme les hadrons dominants



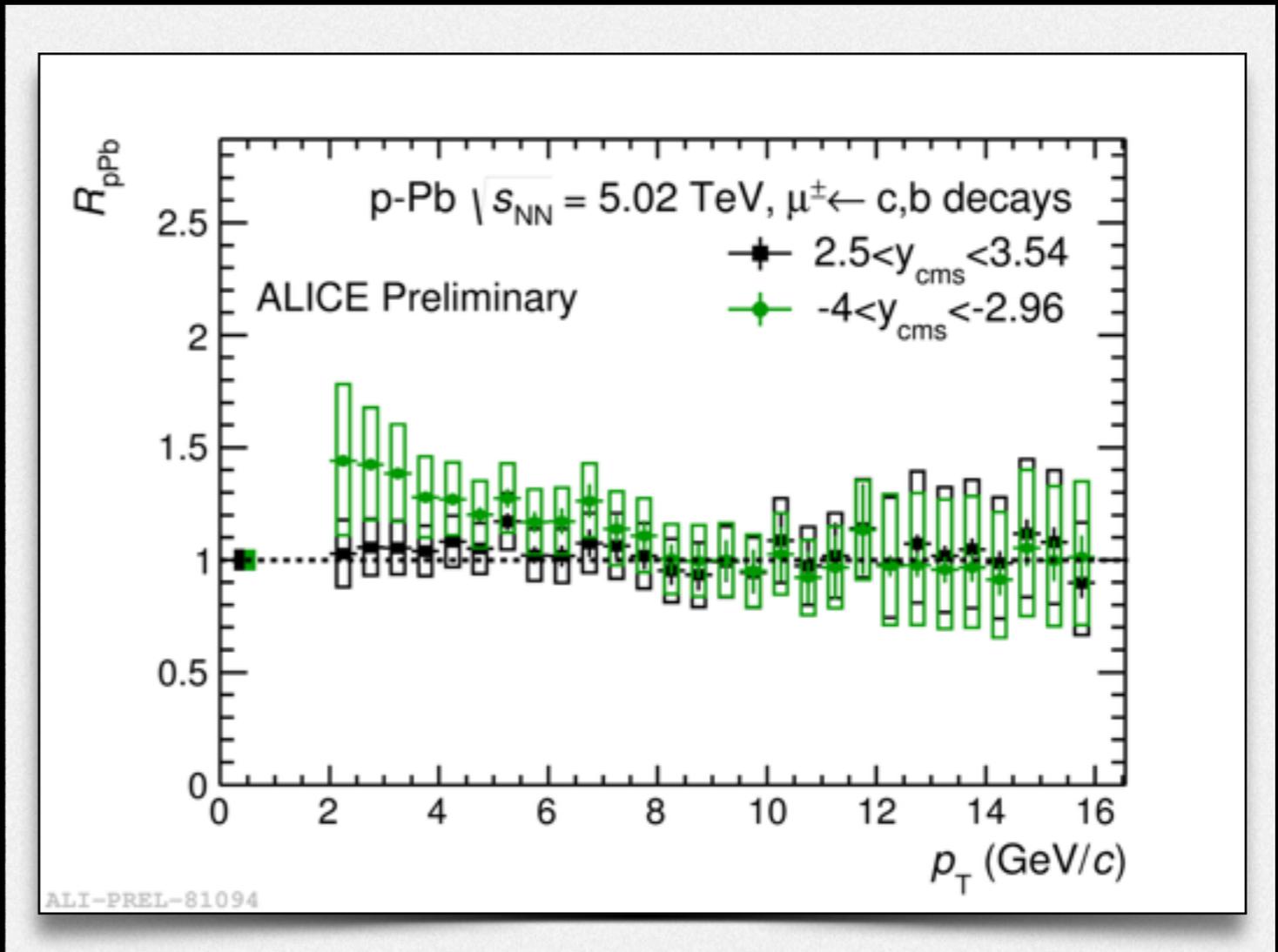
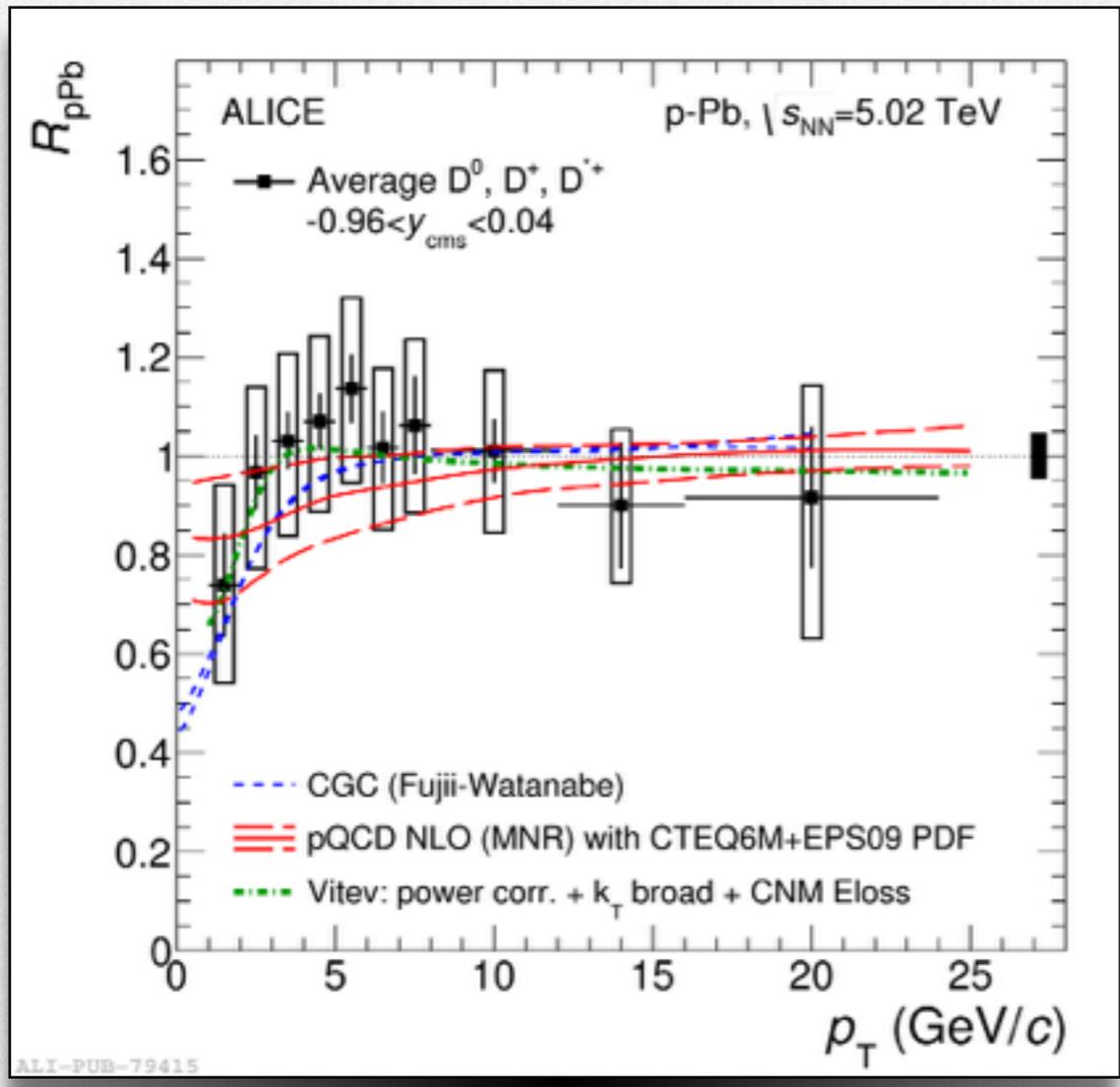
Où est rayonnée l'énergie perdue ?

$$\hat{q} = f(\sqrt{s}, T, E_{\text{jet}}, L_{\text{milieu}})$$

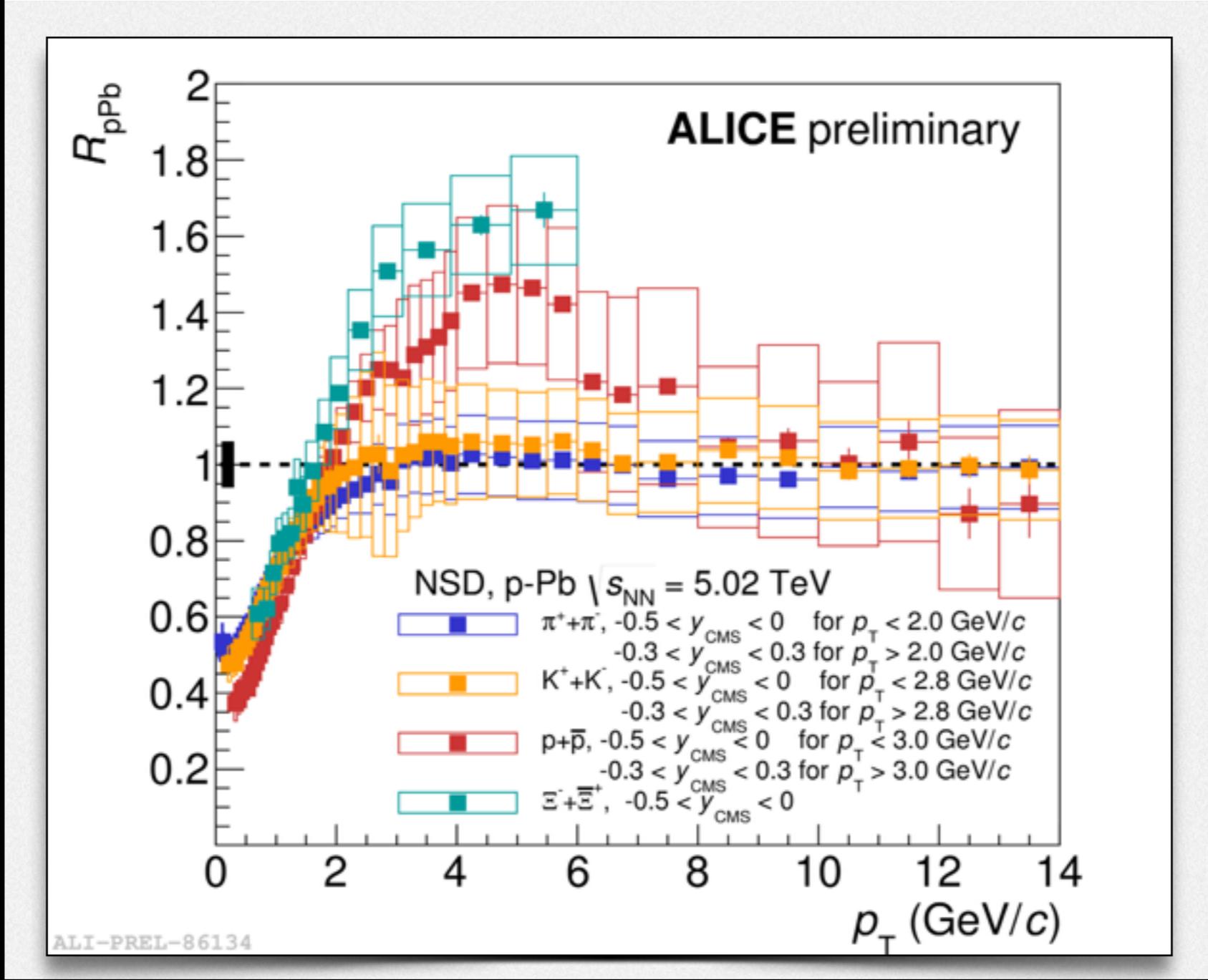
- ▶ Quelles contraintes quantitatives sur les propriétés du milieu ?
- ▶ Théorie et expérience: même langage ?
- ▶ Existe-t-il une approche expérimentale pour discriminer aspect perturbatif et couplage fort ?



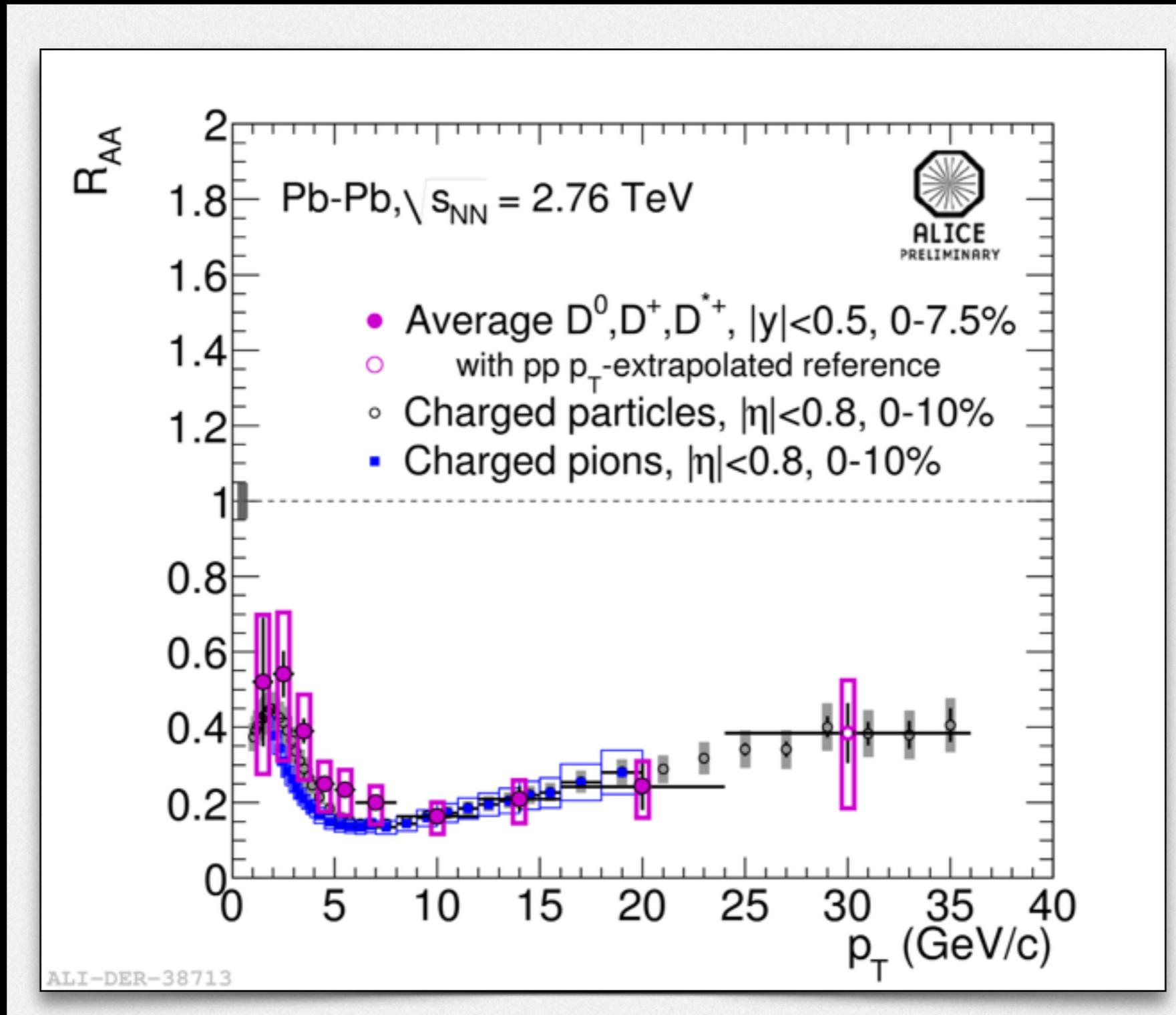
Pas d'effet de milieu FS dans pPb ??



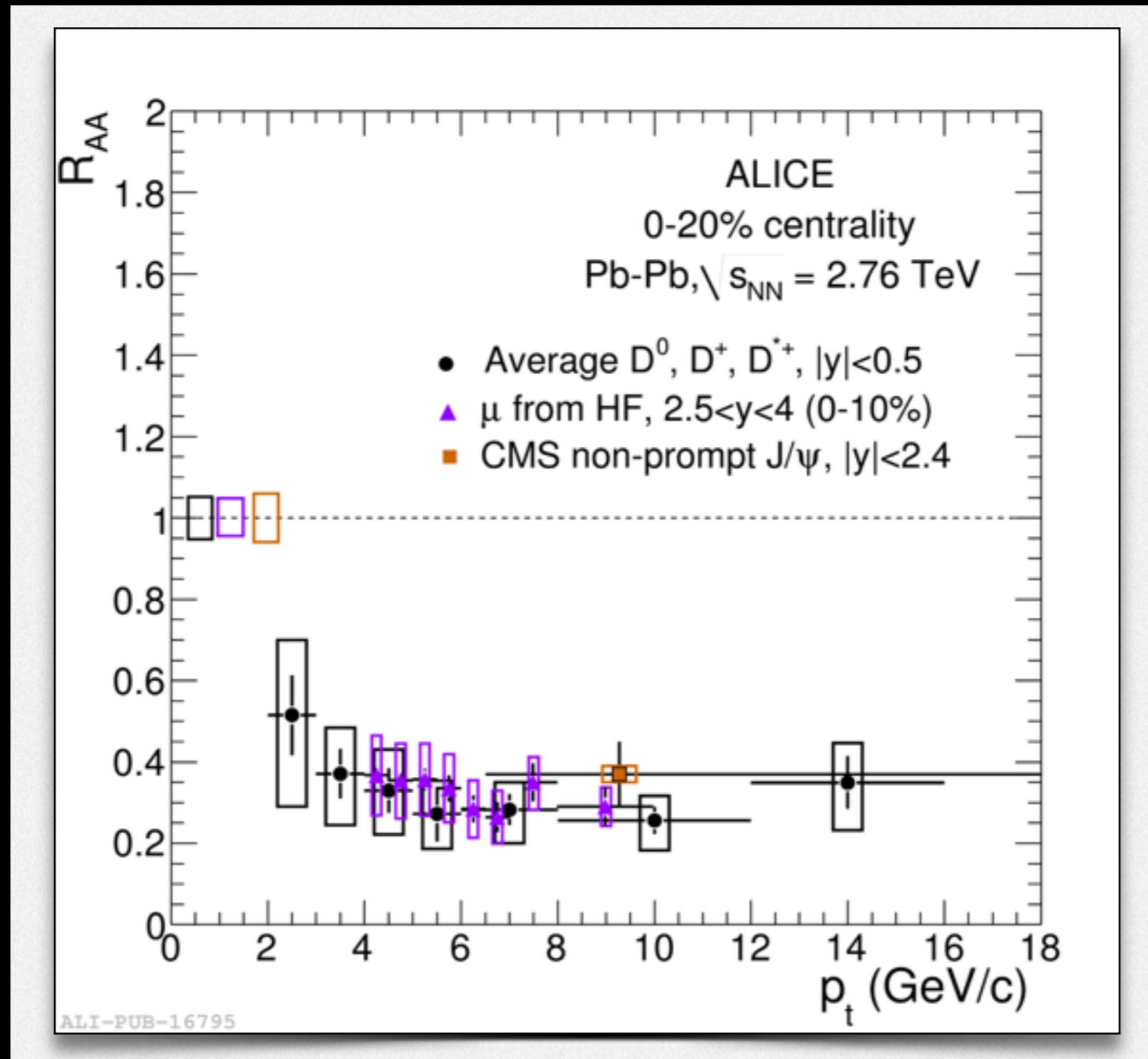
Pas d'effet de milieu FS dans pPb ??



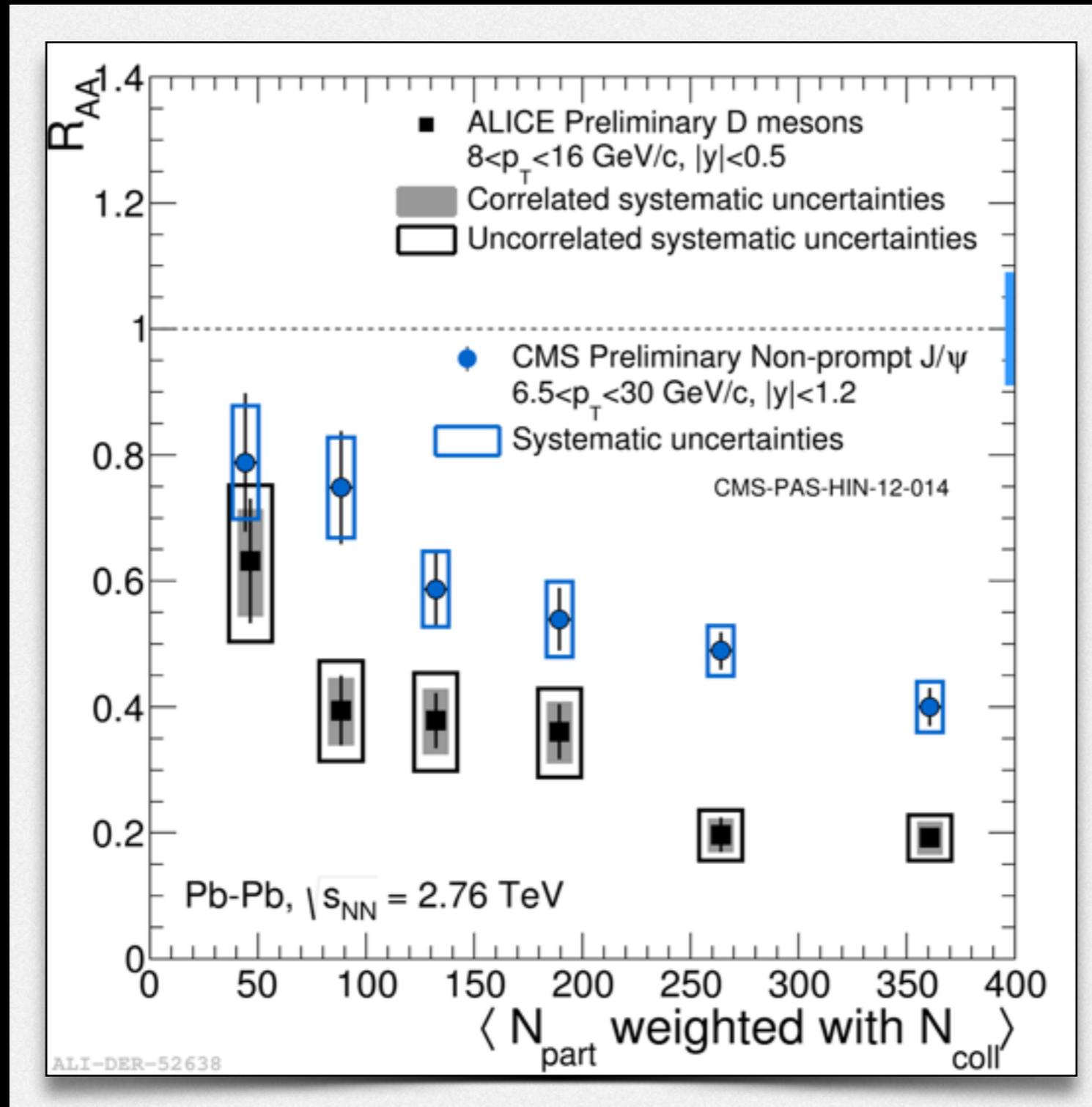
Une autre manifestation du flow transverse ?



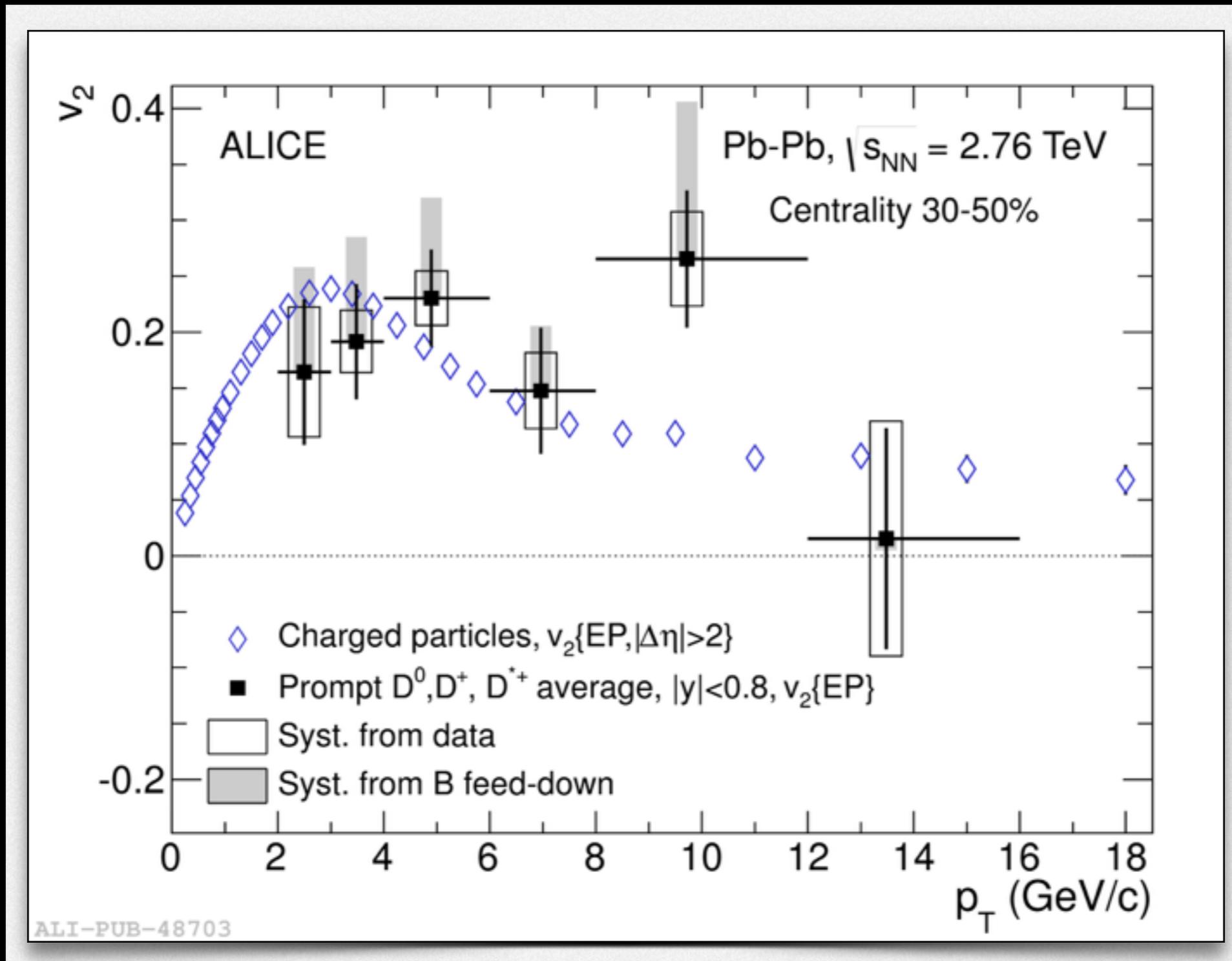
Effet charge de couleur (g vs q) ?



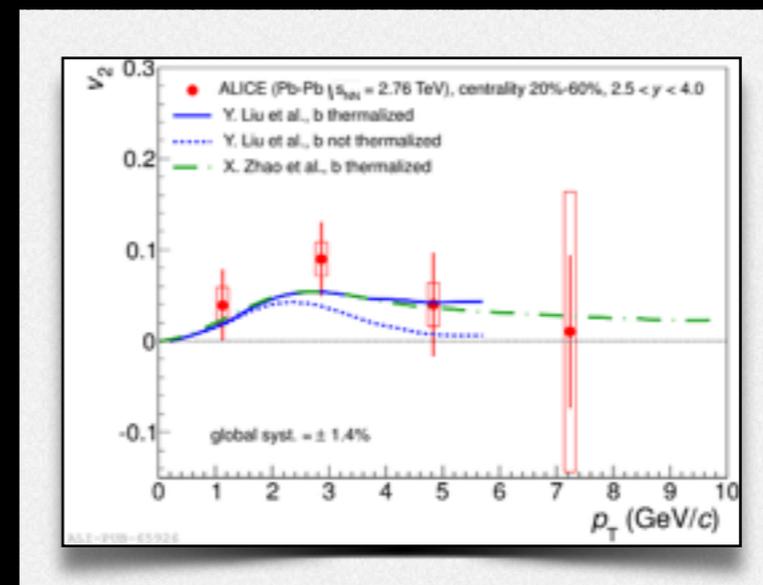
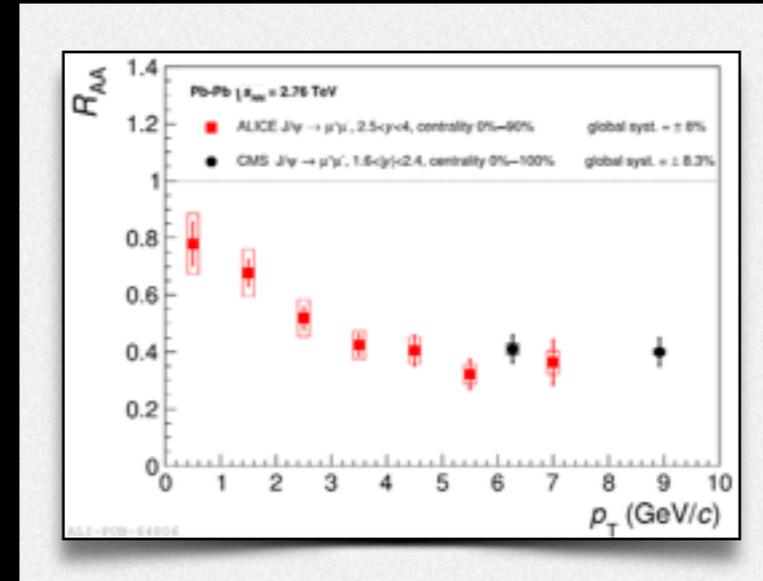
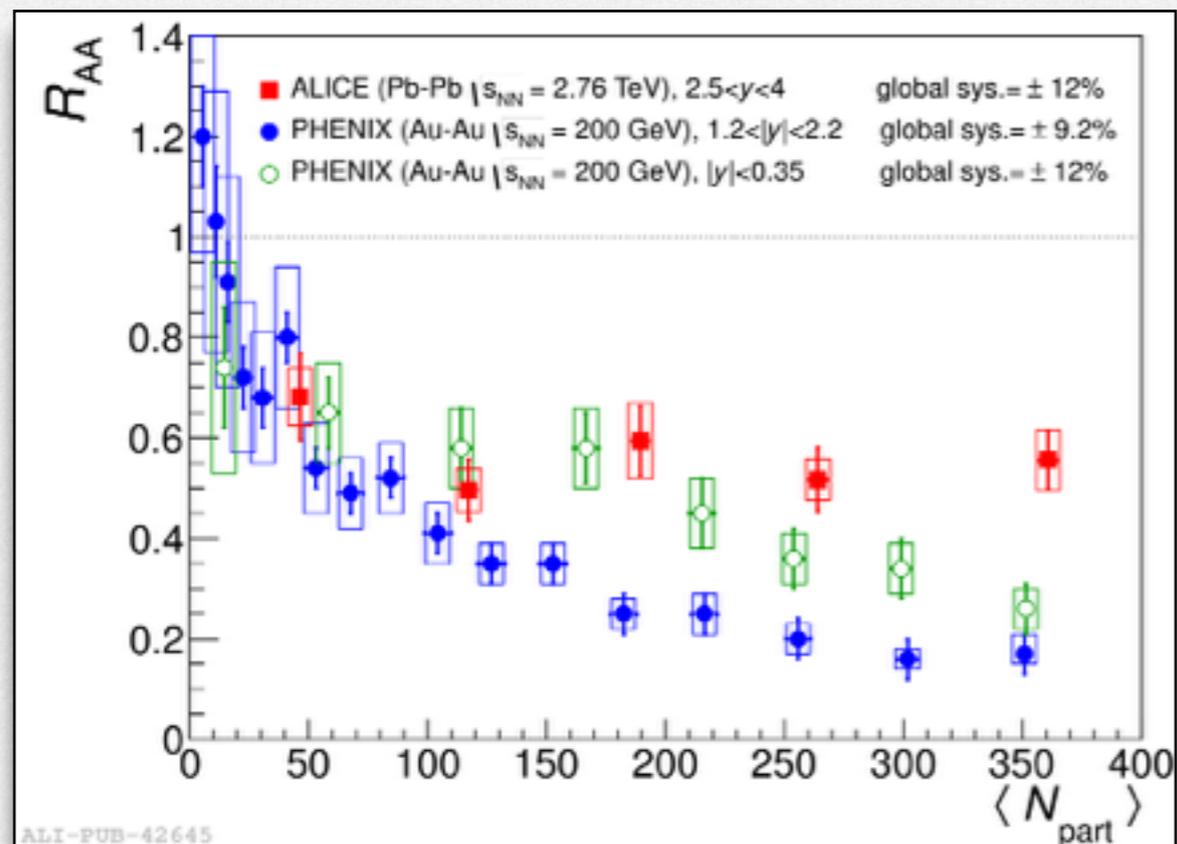
Effet de masse (c vs b) ?



Radiatif ou collisions ?



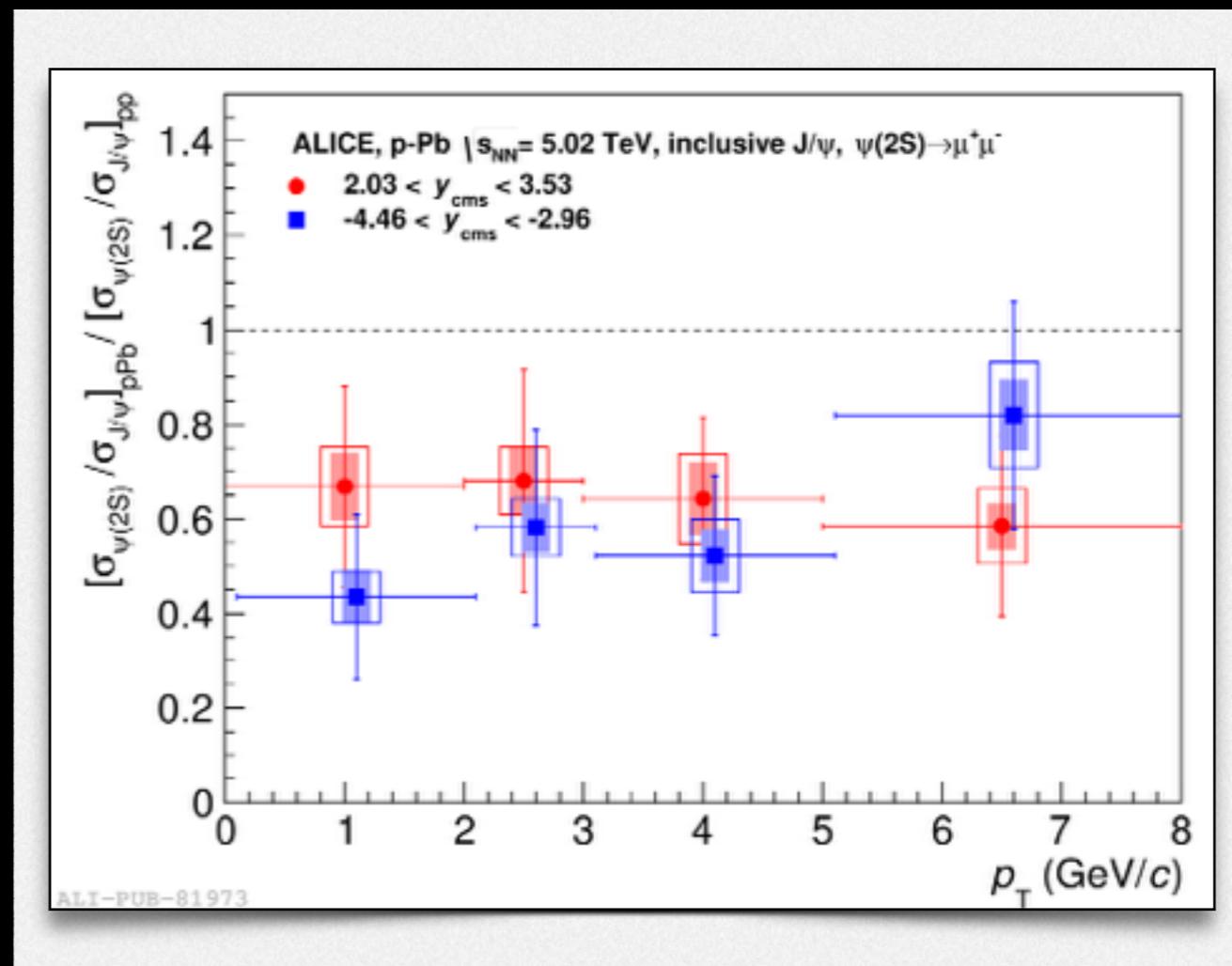
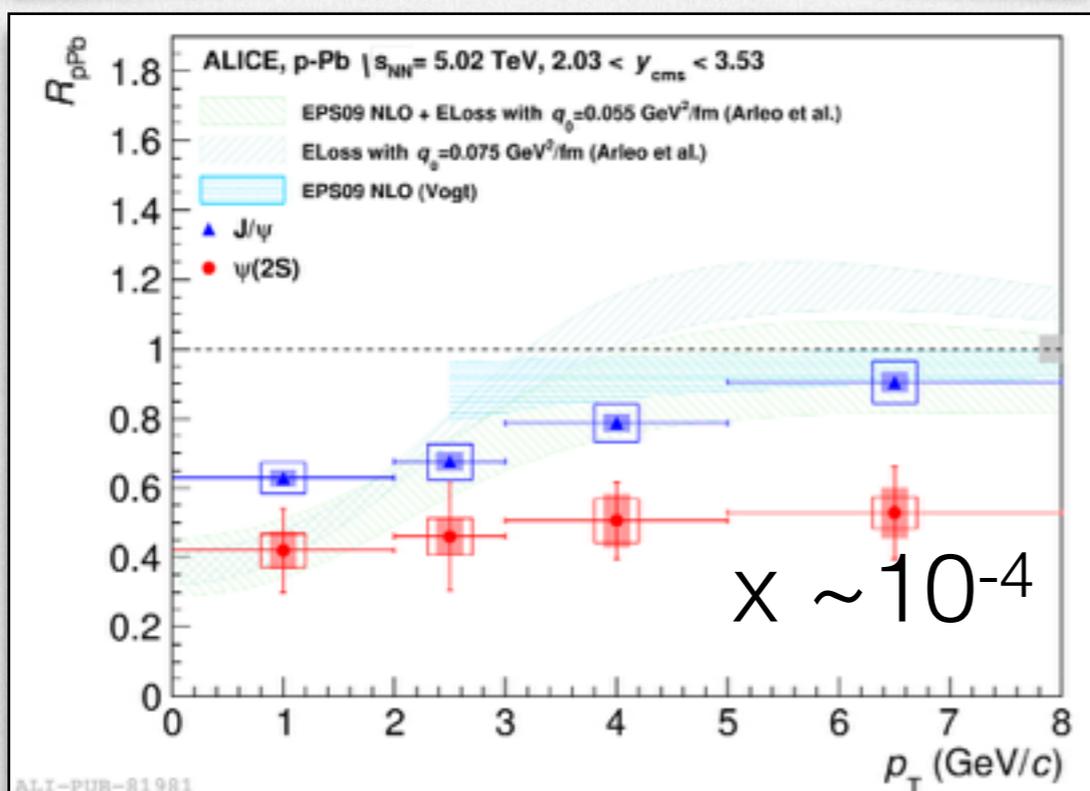
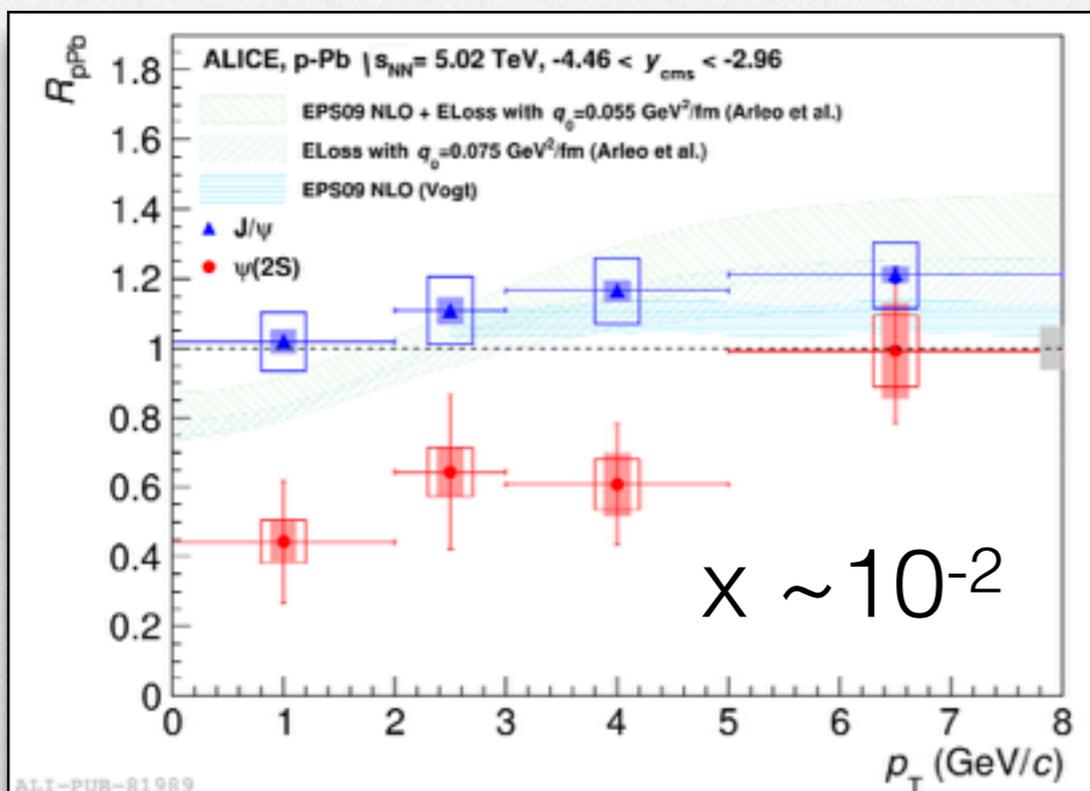
Flow ? coalescence ?



processus dur ⊕ écrantage de couleur ⊕ coalescence

▶ c déconfinés dans **QGP** → hadronisation statistique ?

▶ destruction/création continues dans **QGP** → gel ?



(anti-)shadowing et plus pour ψ(2S) ??

... et pour conclure

Un nouveau chapitre du manuel de référence QCD

- ▣ La physique de l'équilibre dans QCD
- ▣ Comment est réalisée une dissipation minimale ?
- ▣ De quoi est fait le QGP ?

« It is made of quarks and gluons »

- *Frank Wilczek, QM2014* -