



Résultats de STAR pour les collisions Au+Au à $\sqrt{s_{NN}} = 62.4 \text{ GeV}$ (non exhaustif)

Jeff Speltz

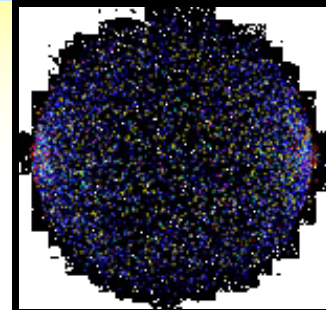
Institut de Recherches Subatomiques



Journées RHIC-France

Étretat

27-29 juin 2005



- Physique du « bulk » ($p_T < 2 \text{ GeV}/c$) :

- Mesures :
 - taux de production
 - spectre
 - Flot elliptique
- Modèles :
 - statistique
 - hydro

} thermalisation ?

- Physique à p_T intermédiaire :

- Mesures :
 - flot elliptique
 - R_{CP}
- Modèle :
 - coalescence / recombinaison

} mécanisme de production

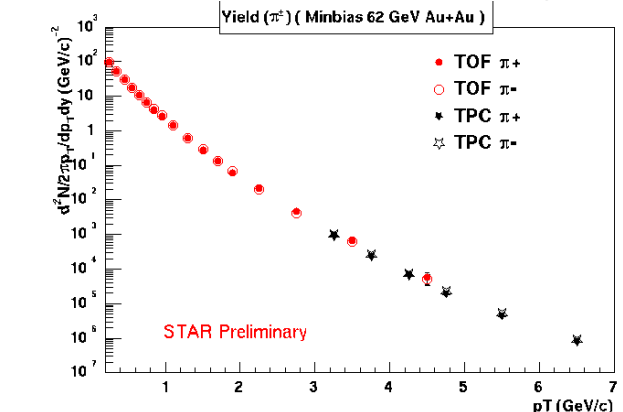
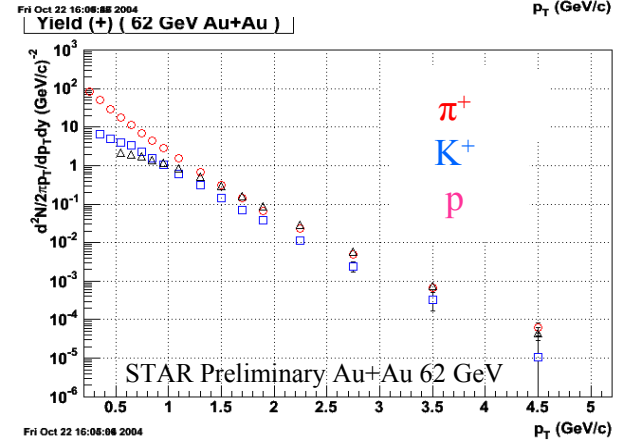
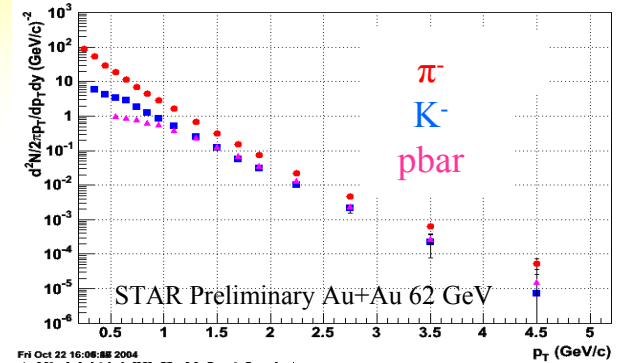
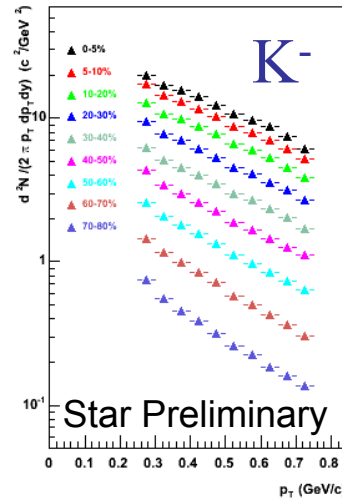
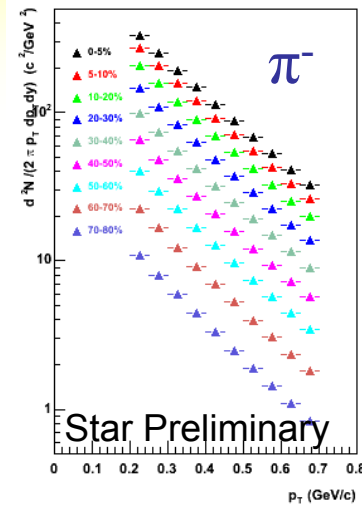
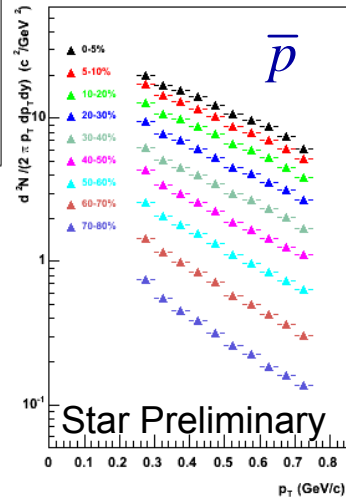
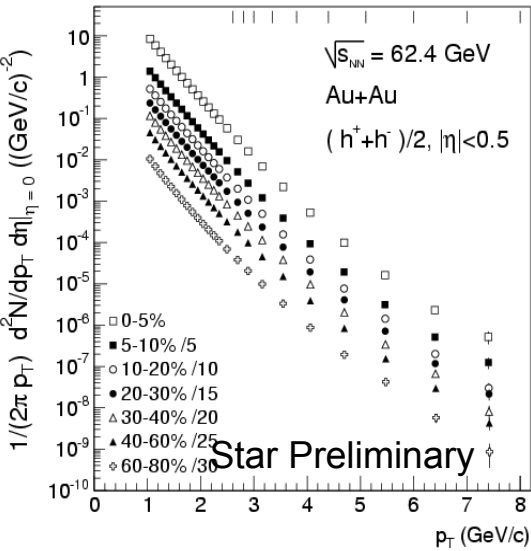
- Physique à haut p_T :

- Corrélations : « jet-quenching »

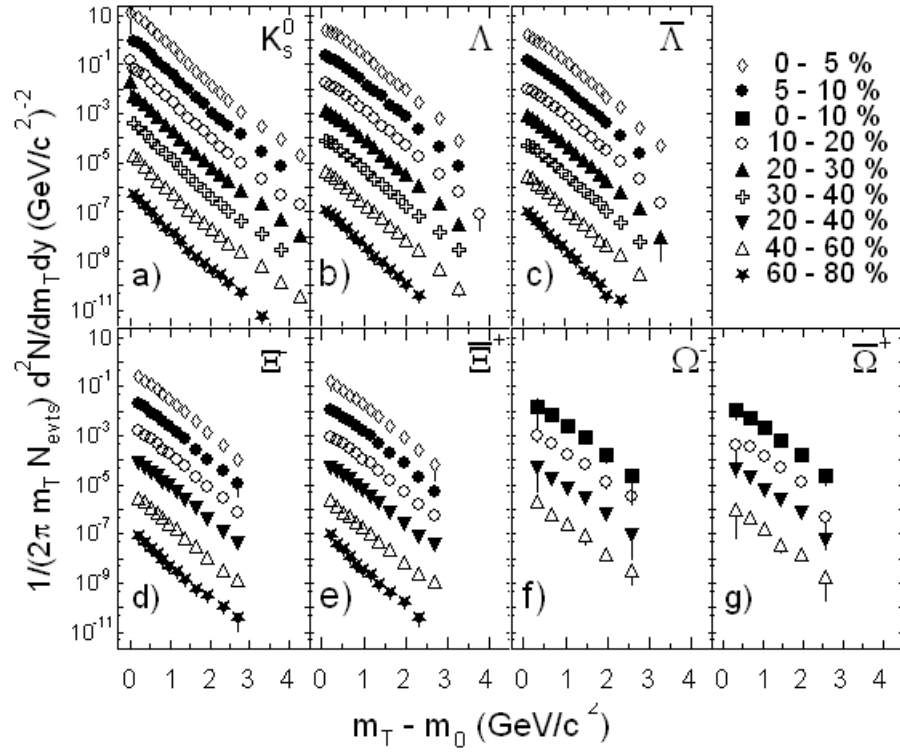
} densité

Statistique : Au+Au 62 GeV

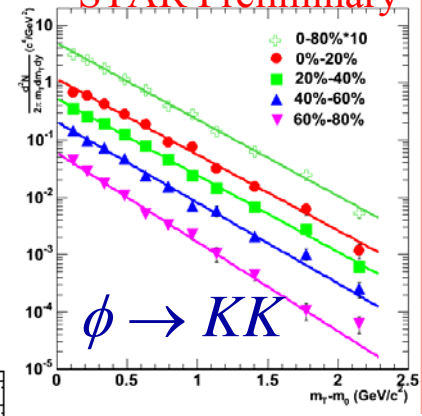
- Central (0-10 %) :
 - ~ 0.6M événements « bons »
- MinBias (10-80 %) :
 - ~5.4M événements « bons »



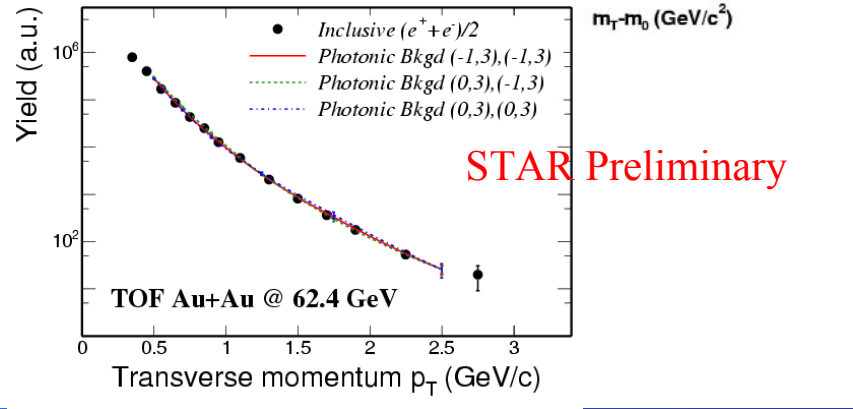
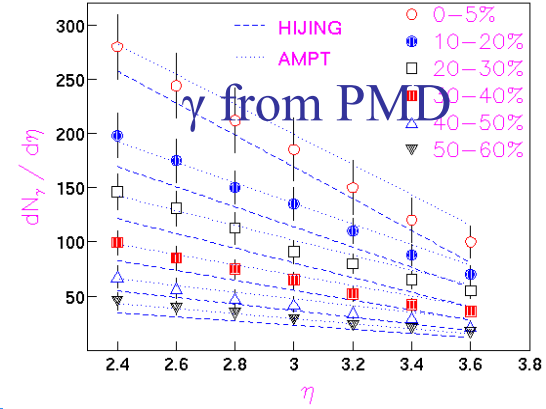
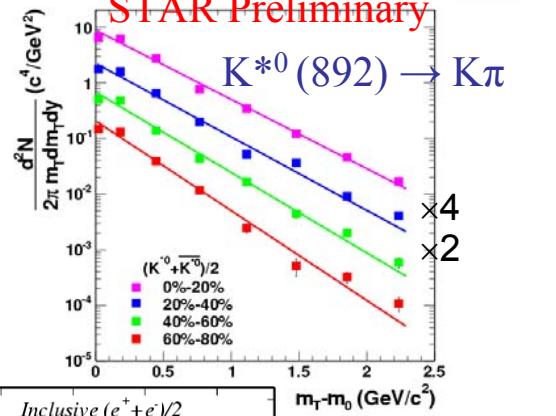
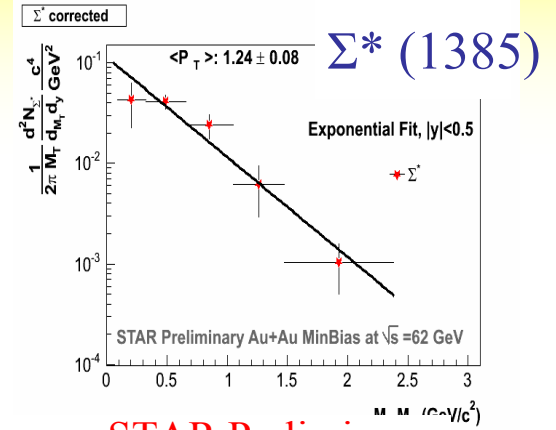
STAR Preliminary Au+Au@62GeV



STAR Preliminary

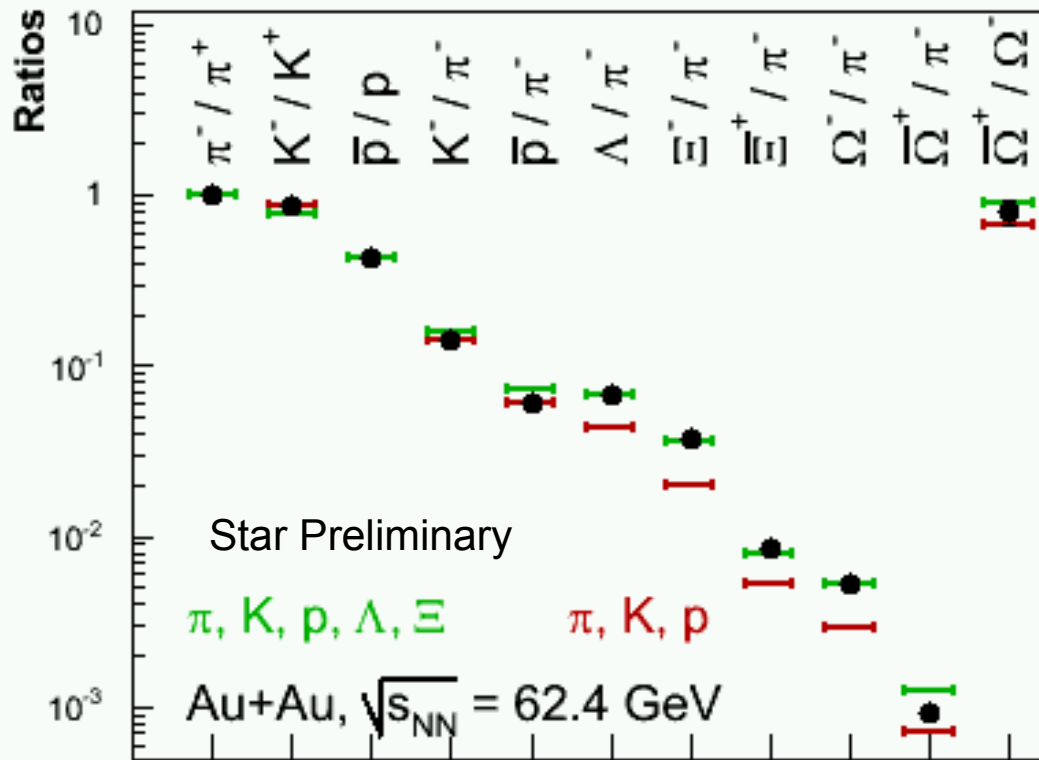


Des spectres de nombreuses particules



- Paramétrisation:

$$n_i = \frac{T_{ch}^3}{2\pi^2} g_i \gamma_s^{n_s} e^{\frac{n_q \mu_q}{T_{ch}}} e^{\frac{n_s \mu_s}{T_{ch}}} \left(\frac{m_i}{T_{ch}} \right)^2 K_2 \left(\frac{m_i}{T_{ch}} \right)$$

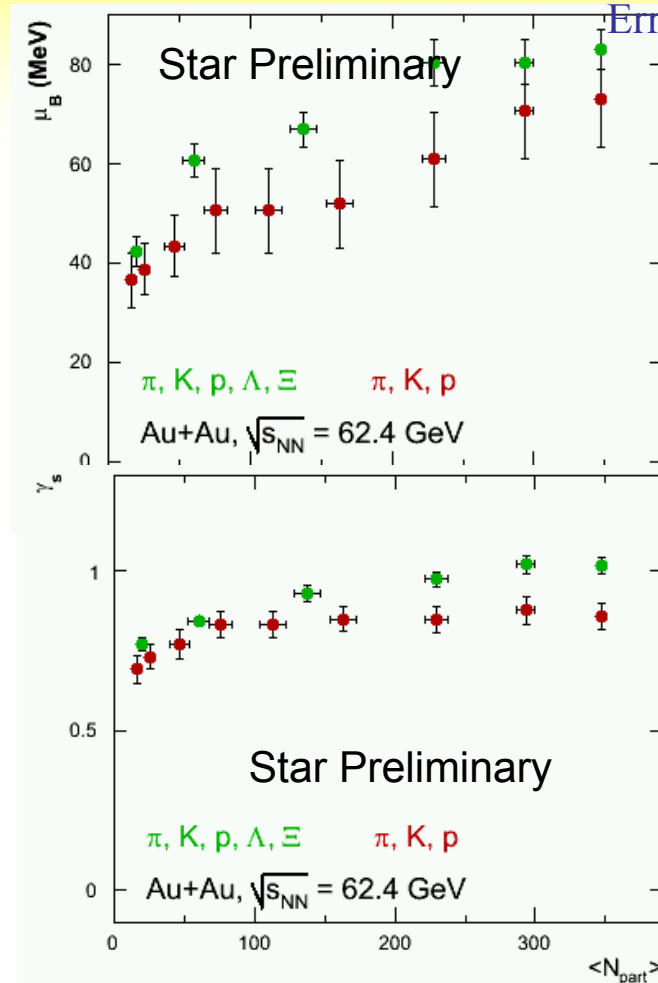
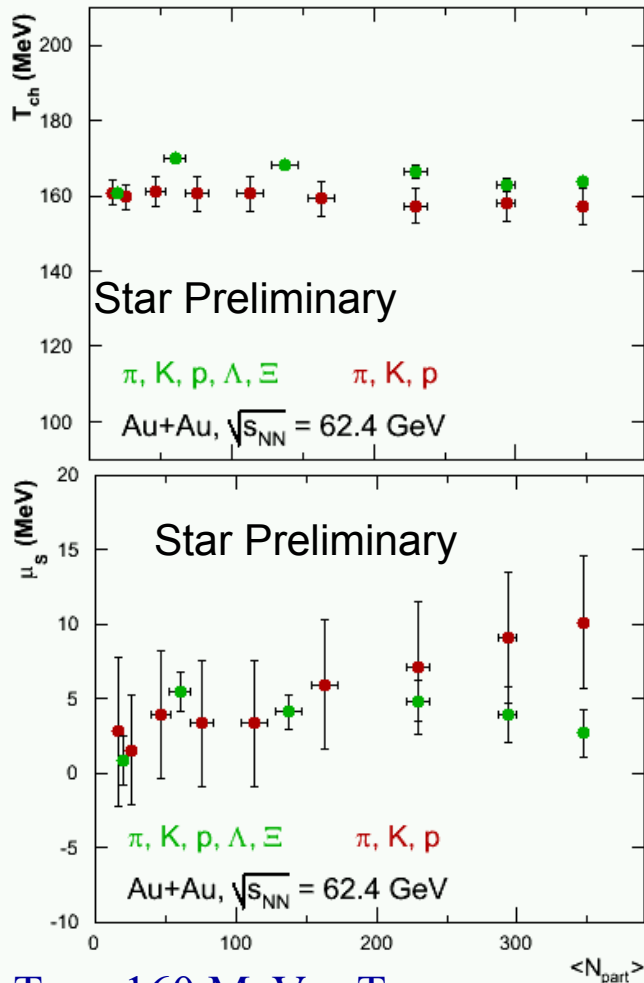


Pas de correction en « feeddown » pour les Λ

Becattini, Braun-Munzinger, Kaneta

- Modèle statistique arrive à reproduire les ratios des particules « stables ».
- Marche : mais ne reflète pas nécessairement un équilibre thermodynamique (marche aussi pour pp)

Modèle statistique : paramétrisation



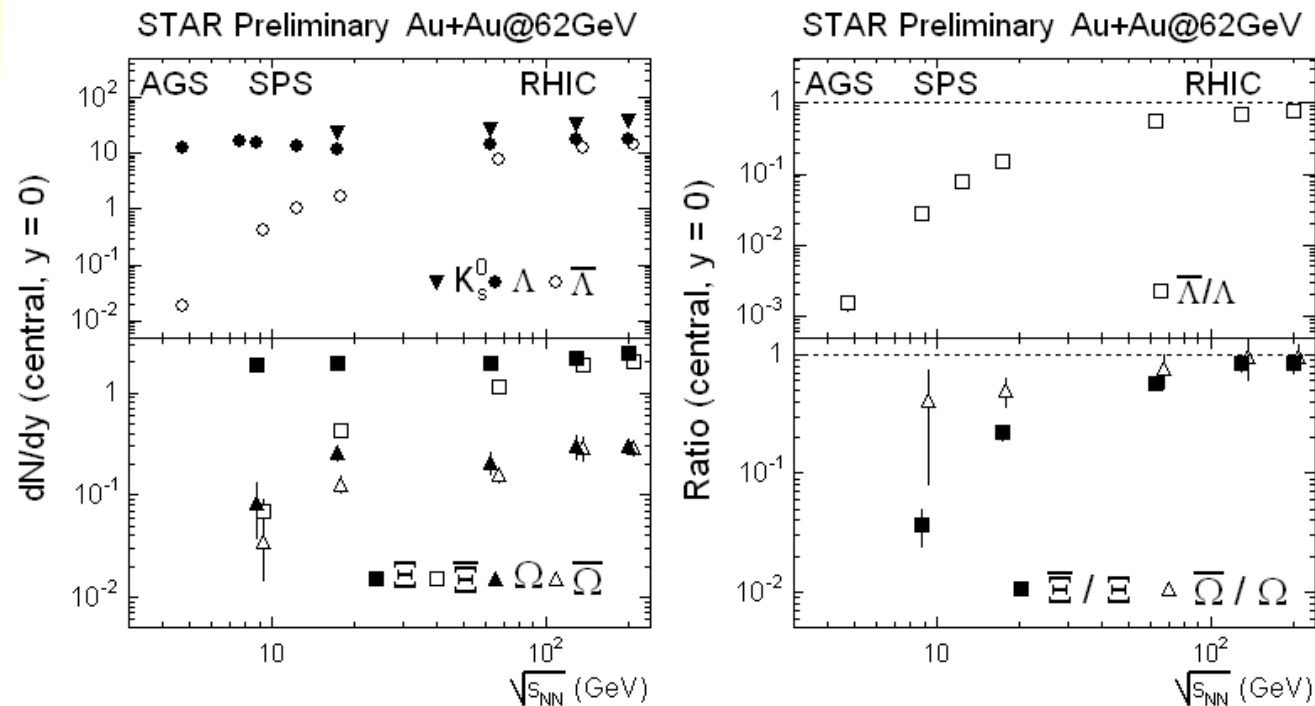
Erreurs statistiques seules

- $T_{ch} \approx 160$ MeV $\approx T_{LQCD}$
- $\mu_B \neq 0$ (Au+Au 200 GeV: $\mu_B \approx 20$ MeV)
- μ_s reste proche de 0
- γ_s sature et proche de 1 : équilibre chimique pour l'étrangeté

Modèle supposant:

$$\gamma_u = \gamma_d = 1$$

Fonctions d'excitations: dépendance en énergie



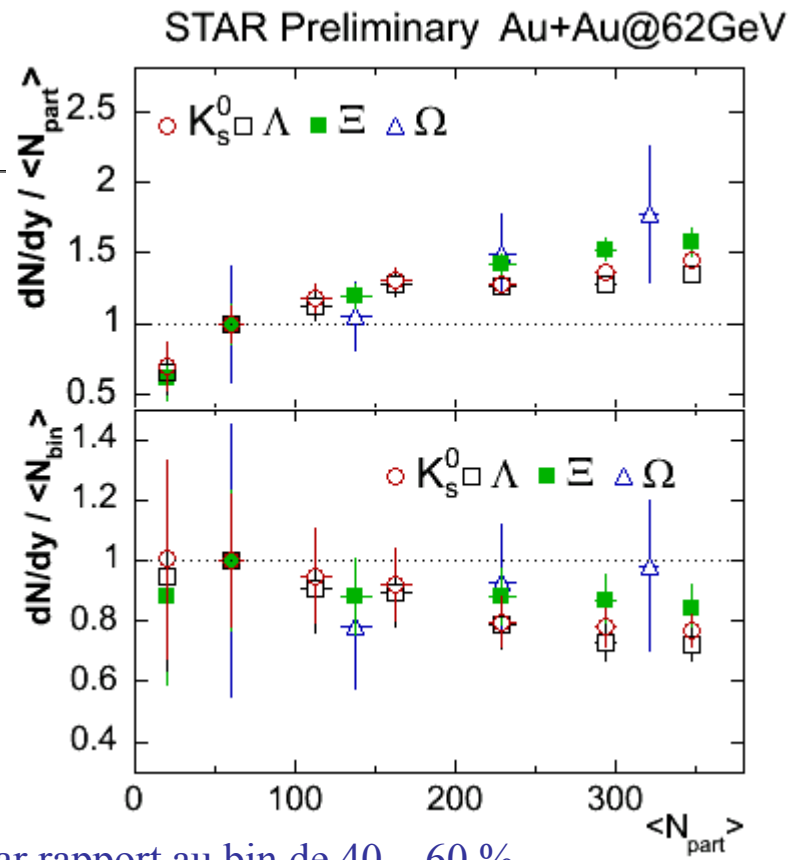
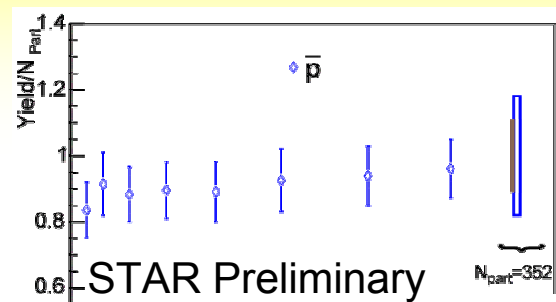
- Variation douce des taux de production et des ratios de l'AGS passant par le SPS jusqu'au RHIC
- Les derniers résultats à 62 GeV confirment cette observation
 - Ratios montrent évolution dans le « stopping » des baryons avec l'énergie:

$$\left(\frac{\bar{B}}{B}\right)_{62\text{GeV}} \approx 0.55 : \text{transport} + \text{production de paires } q\bar{q}$$

$$\left(\frac{\bar{B}}{B}\right)_{200\text{GeV}} \approx 0.8 : \text{production de pair } q\bar{q}$$

Les particules étranges : une « échelle » ?

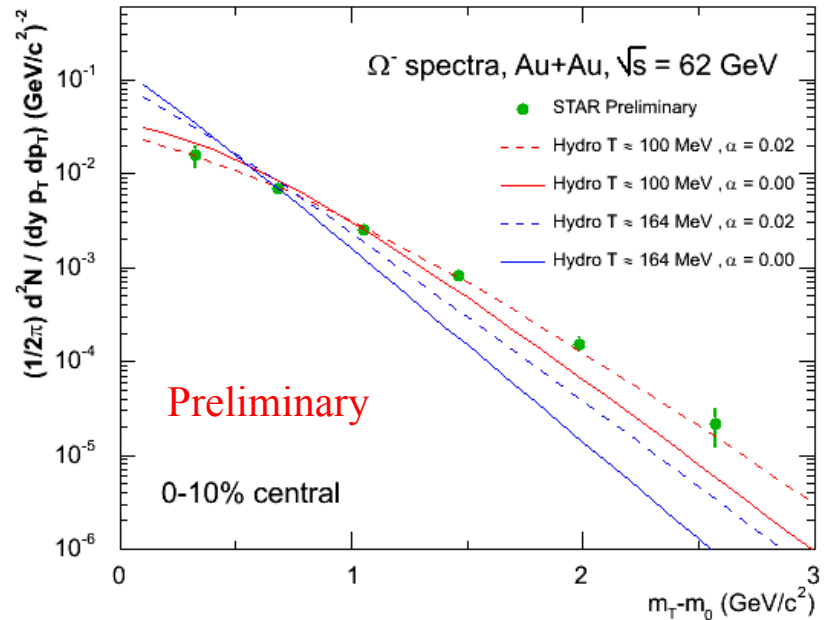
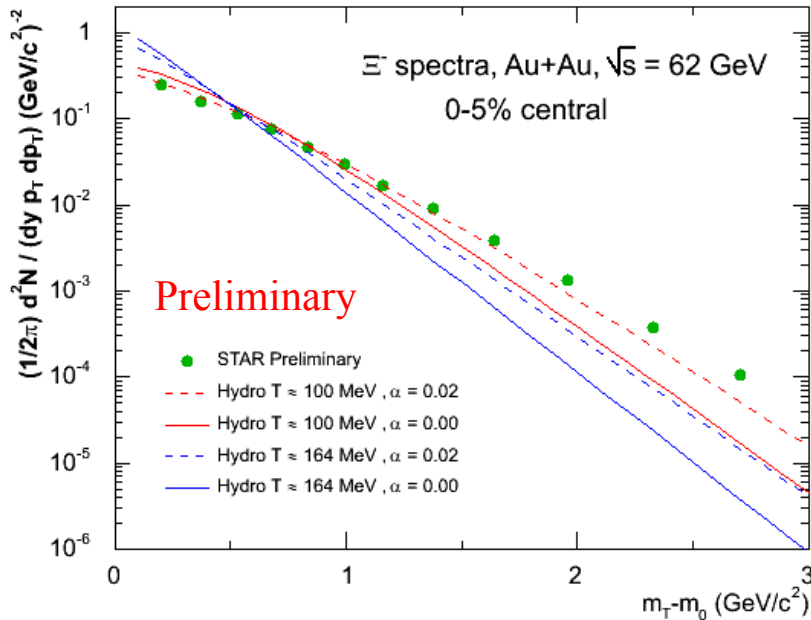
- Particules majoritairement produites à bas p_T
 \Rightarrow variation suivant $\langle N_{part} \rangle$ espéré (cf. protons)
- Les particules **étranges ne suivent pas** cette mise à l'échelle avec $\langle N_{part} \rangle$
- Pas de saturation claire pour les collisions centrales
- La mise à l'échelle avec le nombre de **collisions binaires** marche mieux pour les particules étranges: processus durs ?



Normalisé par rapport au bin de 40 – 60 %

- Description des spectres dans l'état final au découplage cinétique modélisé par une expansion hydrodynamique idéale

Fait en adaptant le modèle de P. Kolb, U. Heinz à 62 GeV



- Il faut du **boost initial** dans l'hydro pour reproduire les spectres des particules étranges
- $T_{dec} \approx 100$ MeV ($\alpha \neq 0$) favorisée par les données

- α : « boost » initial au moment de la thermalisation: $v_T(r) = \tanh(\alpha r)$
- $T = T_{dec}$: température moyenne sur la surface de découplage cinétique

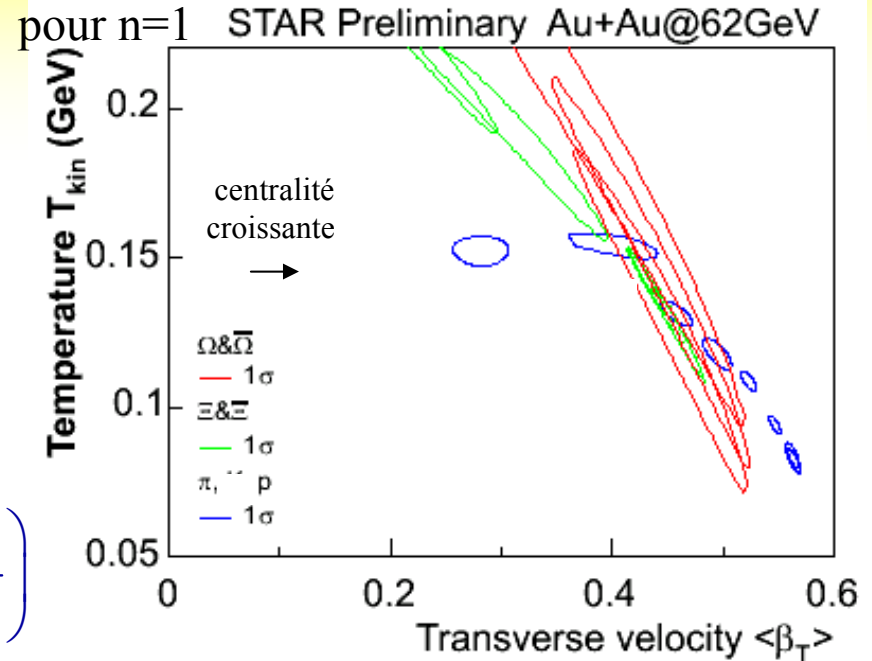
- Motivée par l'hydro, paramétrisée par:
- La température de découplage cinétique : T_{kin}
- La vitesse transverse moyenne : $\langle \beta_T \rangle$
- Le profil de vitesse : n

$$\frac{dN}{m_T dm_T} \propto \int_0^R r dr m_T K_1 \left(\frac{m_T \cosh \rho}{T_{kin}} \right) I_0 \left(\frac{p_T \sinh \rho}{T_{kin}} \right)$$

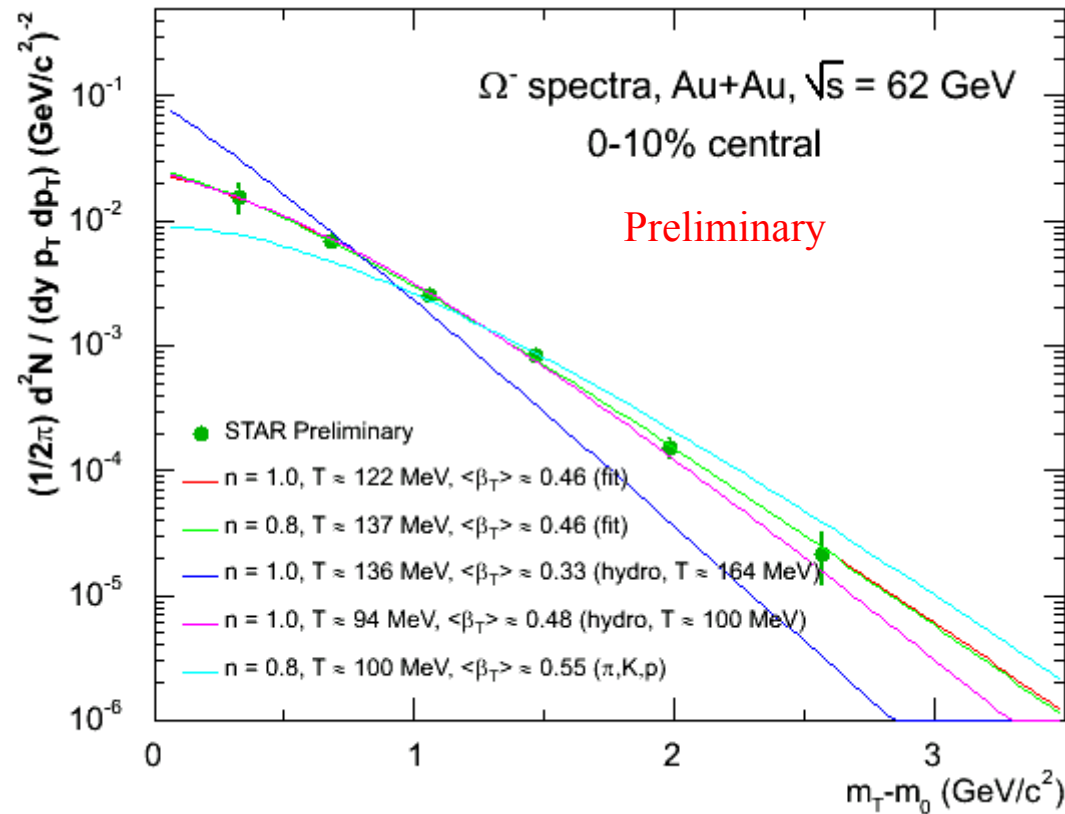
$$\rho(r) = \tanh^{-1} (\beta_T(r))$$

$$\beta_T(r) = \langle \beta_T \rangle \left(\frac{r}{R} \right)^n$$

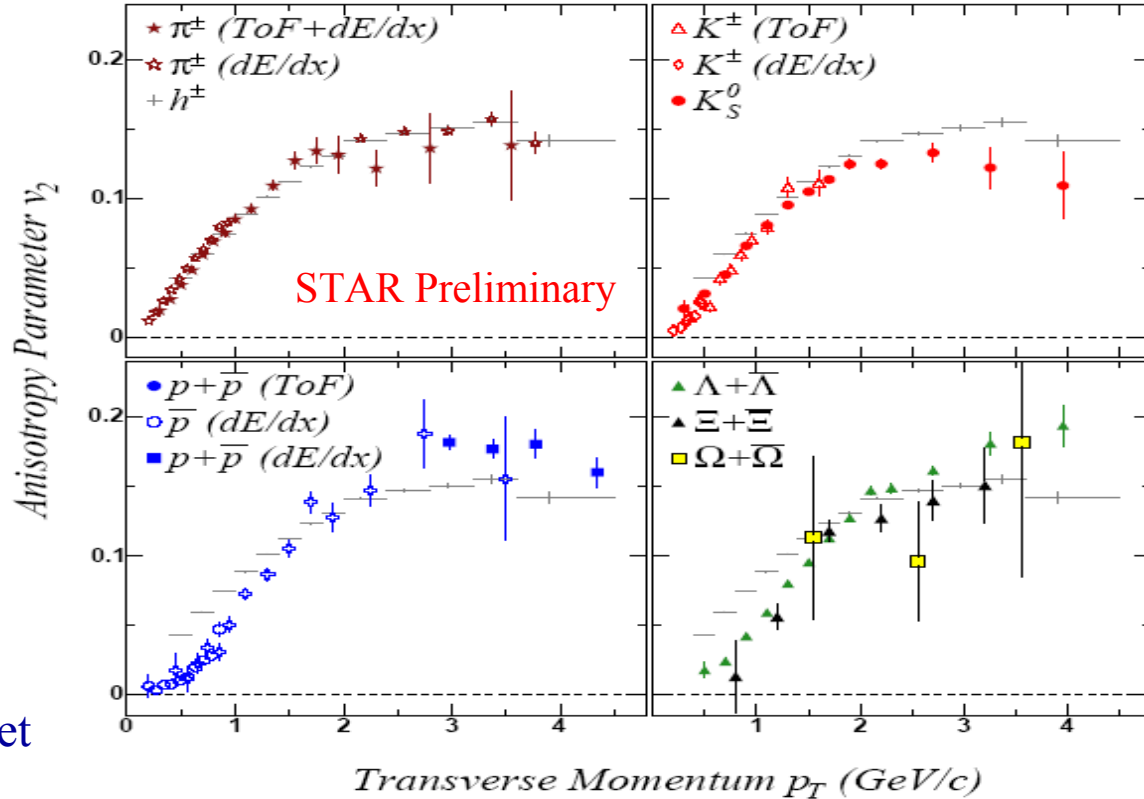
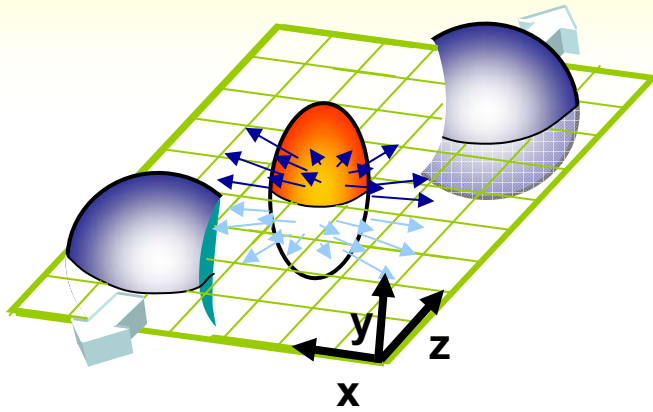
- Ajustement BW sur les spectres:
 - Différence entre particules « légères » et Ξ et Ω (comme vu aussi à 200 GeV):
 - $\langle \beta_T \rangle$ plus faible (0.55 \rightarrow \sim 0.47)
 - T_{kin} plus élevé (90 MeV \rightarrow \sim 130 MeV)
- Découplage précoce des baryons étranges?
 Contradiction avec l'hydro?



- Ajustement des prédictions hydro avec un modèle de BW :

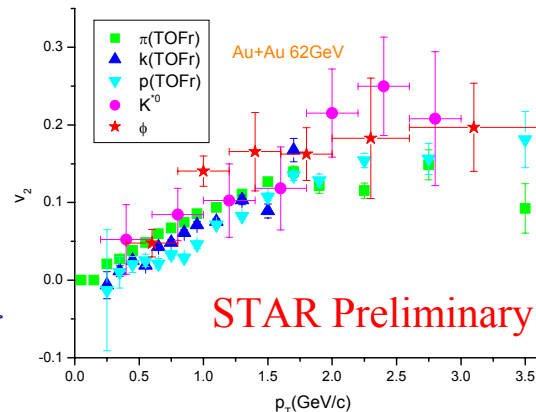


- Diminution de n ($1 \rightarrow 0.8$) fait augmenter la T_{kin} de l'ajustement
- L'hydro ($T_{dec} \approx 164$ MeV) flot insuffisant pour reproduire le spectre
- Fixer les paramètres BW:
 - Possibilité de reproduire le spectre aussi avec $T_{kin} \approx 100$ MeV
- **Délicat** de tirer des conclusions de découplage précoce des particules étranges



- Collisions périphériques : anisotropie spatiale → **anisotropie** dans l'espace des phases → v_2
- Sensible aux gradients de pression et de densité
- Saturation du flot elliptique à $p_T \sim 2$ GeV/c
- L'étrangeté participe au mouvement collectif

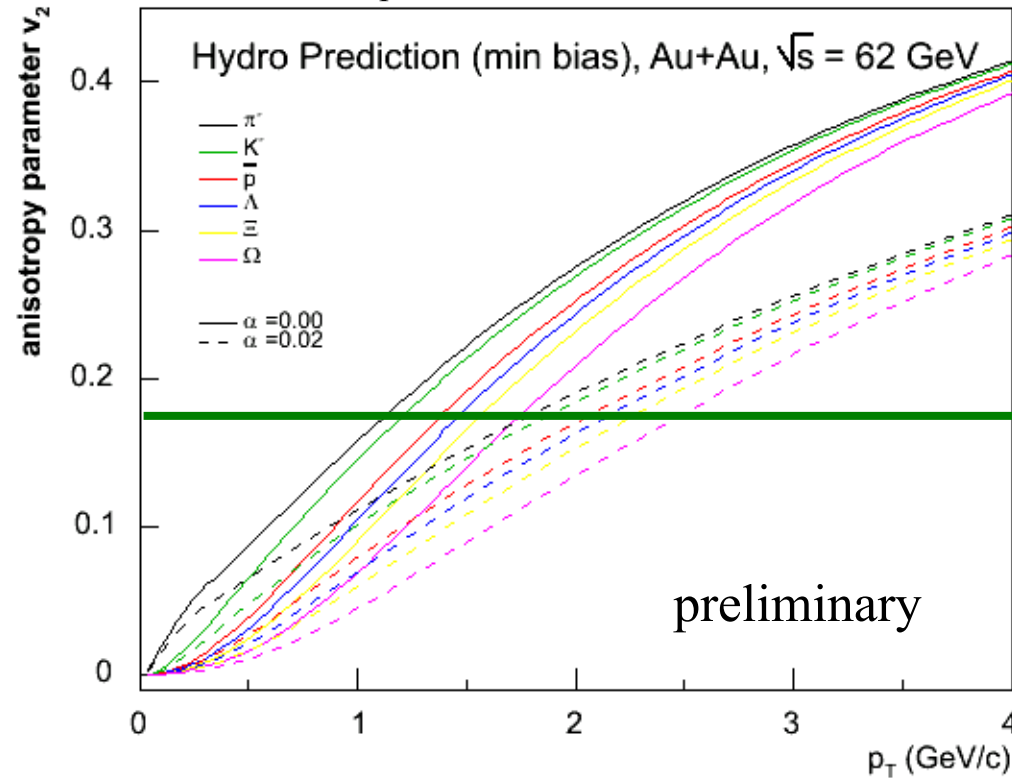
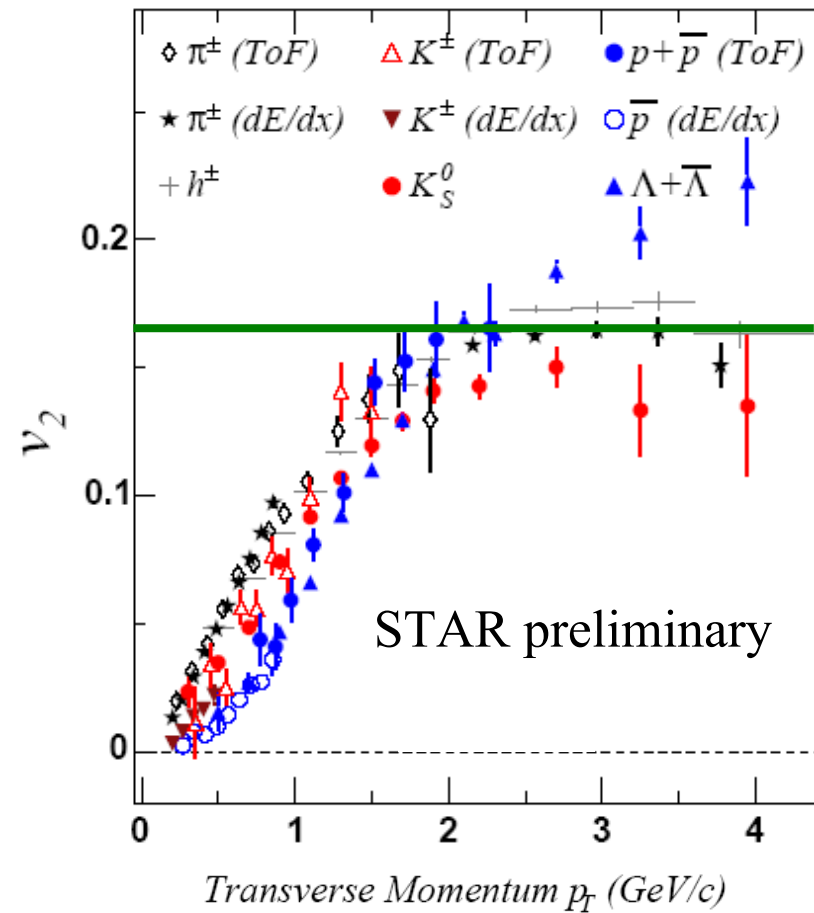
$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_T dp_T dy} \left\{ 1 + \sum_{m=1}^{\infty} 2v_m \cos[m(\phi - \psi_r)] \right\}$$



- Flot non nul pour Ω (sss) et ϕ ($s\bar{s}$) + découplage précoce = flot partonique ?

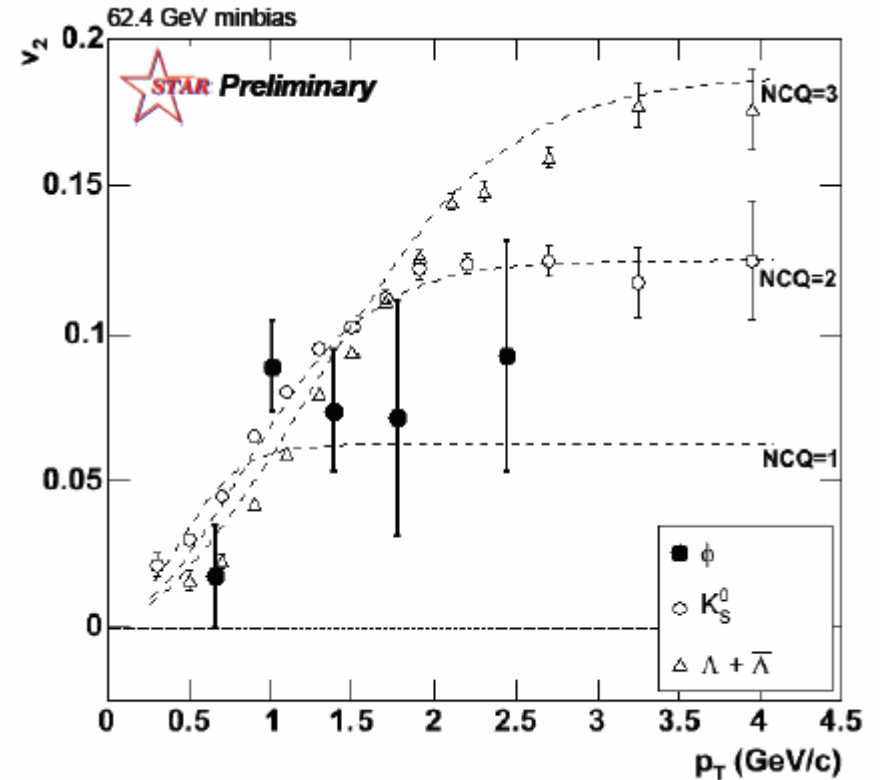
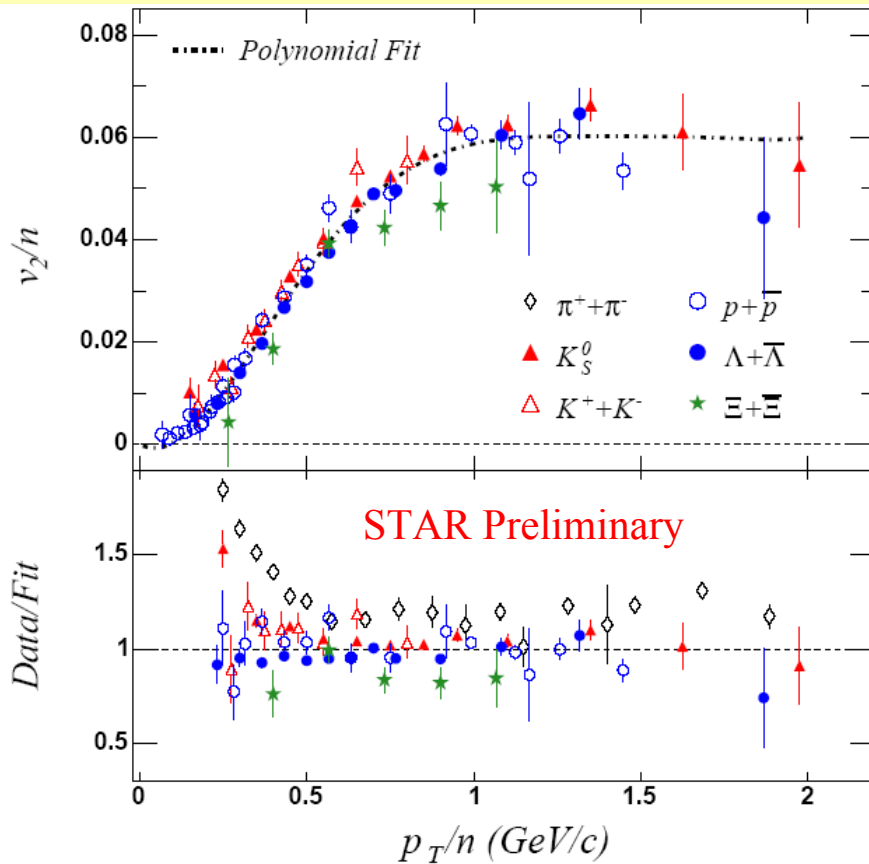
v_2 : hiérarchie en fonction de la masse

Fait en adaptant le modèle de P. Kolb, U. Heinz



- Hiérarchie en fonction de la masse comme prédit par les modèles hydrodynamiques

- Les modèles hydrodynamiques ne prédisent pas la saturation du v_2
- Hydro valable que jusqu'à $p_T \approx 2$ GeV



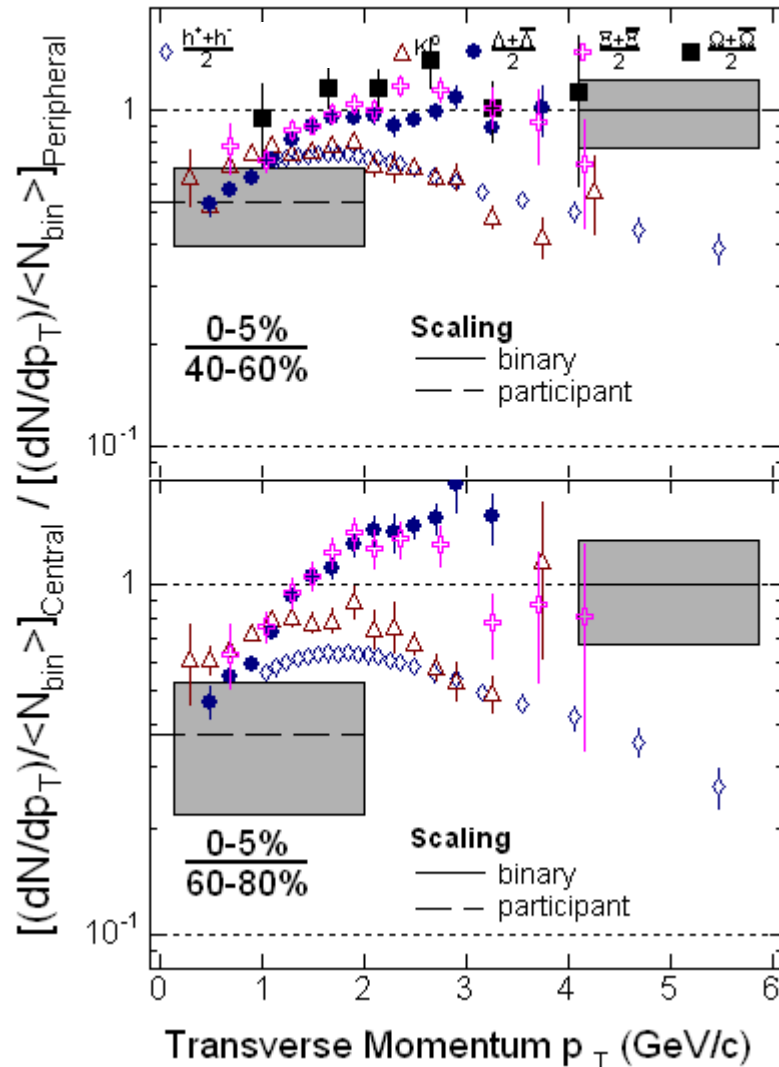
- n : nombre de quarks constituants

- Si **coalescence/recombinaison** domine la hadronisation : universalité (voir aussi suite)

$$v_2^p(p_T) \approx \frac{v_2^h(n \cdot p_T)}{n}$$

- Valable à p_T moyen

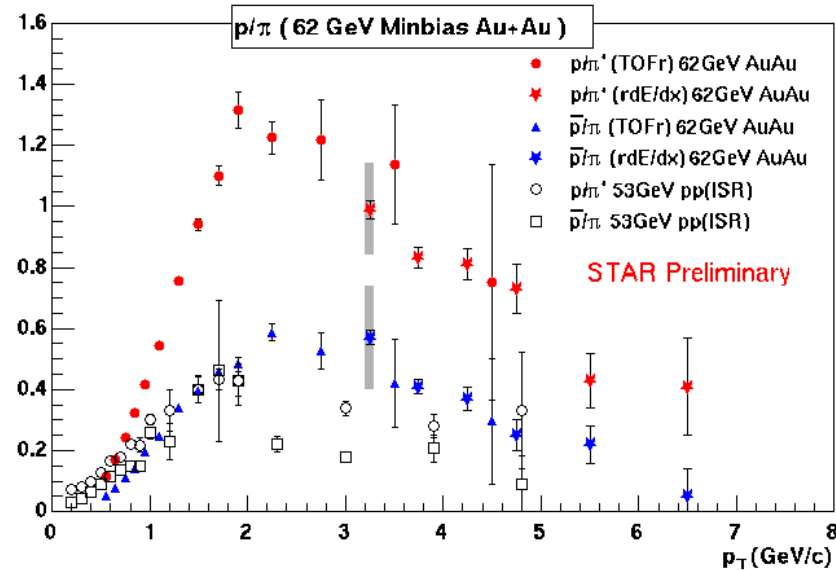
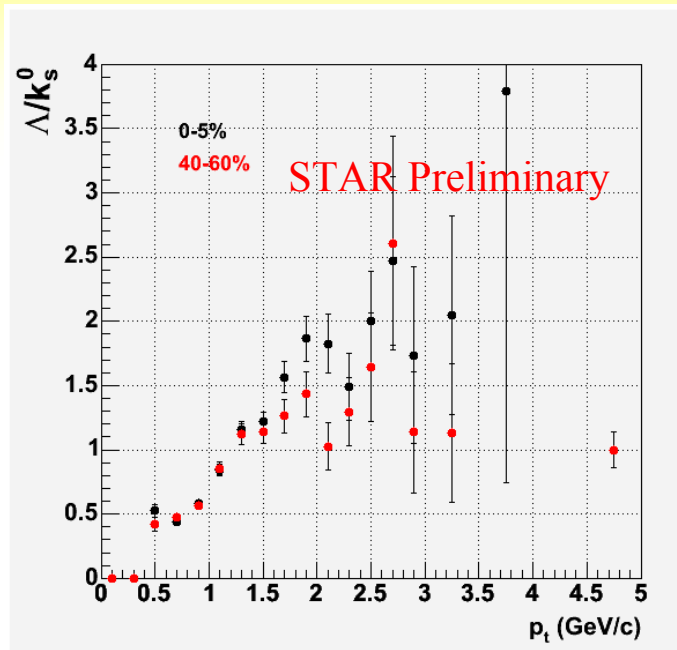
STAR Preliminary Au+Au@62GeV



- Perte d'énergie peu prononcé pour les baryons (mais bien observée à 200 GeV):
 - Milieu moins dense à 62 GeV
 - Couverture en p_T limitée à 62 GeV
- Bon accord entre le R_{CP} des Ξ et des Λ :
 - Sensibilité négligeable des saveurs par rapport au milieu
- À p_T intermédiaire : différence baryon / méson attribuée à la recombinaison/coalescence

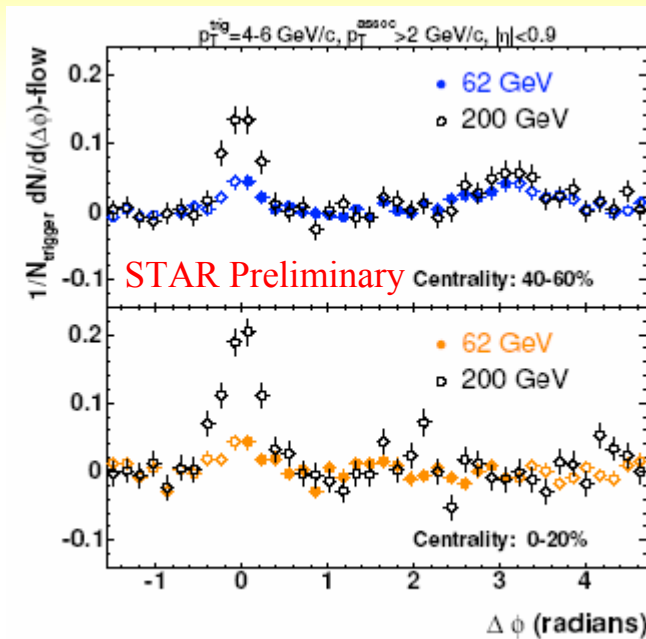
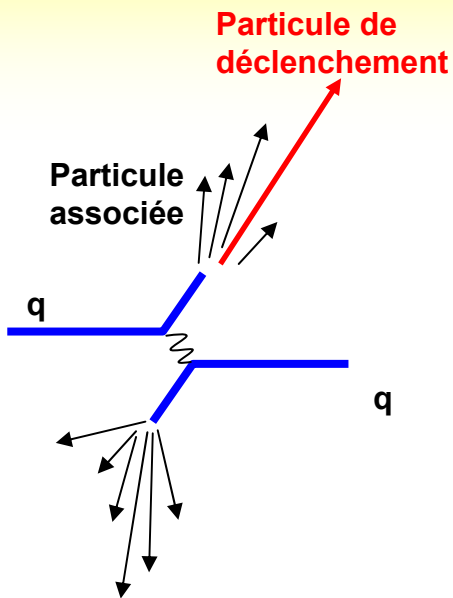
$$R_{CP}(p_T) = \frac{d^2 N_{centrale} / (N_{binaire}^{centrale} dp_T dy)}{d^2 N_{périphérique} / (N_{binaire}^{périphérique} dp_T dy)}$$

enrichissement de baryons: un autre indice



- Λ/K_s^0 et p/π : comparaison baryon/méson
- Large enrichissement de baryons par rapport aux mésons à p_T intermédiaire
- « disparaît » à haut p_T (comme on le voit aussi pour le R_{CP})
- Prédit par Coalescence / recombinaison

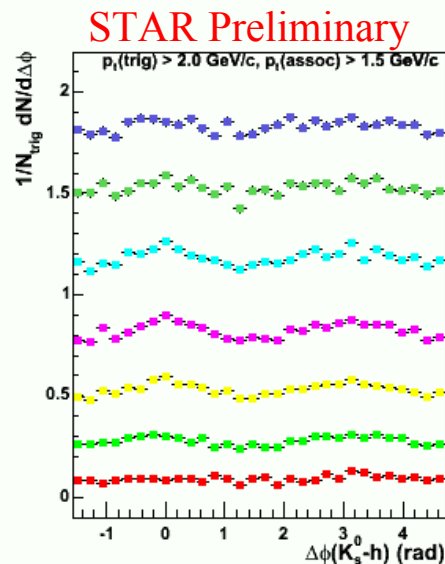
Corrélations $h^\pm - h^\pm$: « jet quenching »



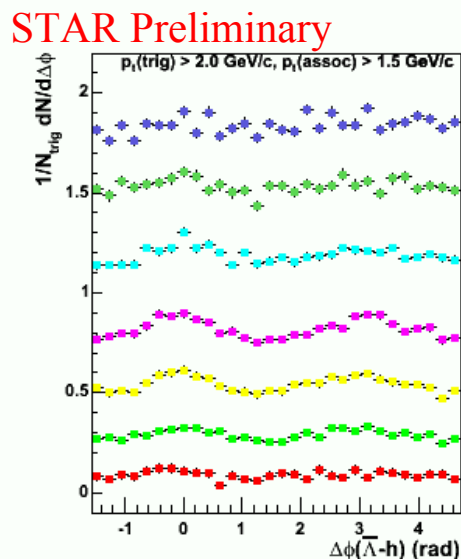
- Soustraction contribution du flot
- Côté direct :
 - Taux associé dans 62 GeV beaucoup plus faible que dans 200 GeV
- Côté opposé:
 - Forte suppression pour les événements centraux
 - Taux semblable à 62 GeV et 200 GeV
- Apparition du pic du côté opposé pour les collisions périphériques (dépendance sur la distance parcourue dans la région d'interaction)
- Dans les collisions périphériques (d-Au et p-p) : pas de quenching
 - Milieu transparent
 - Pas un effet initial
- Dans les collisions Au+Au centrales: quenching
 - Milieu opaque et dense
 - Perte d'énergie partonique

Corrélations de particules identifiées

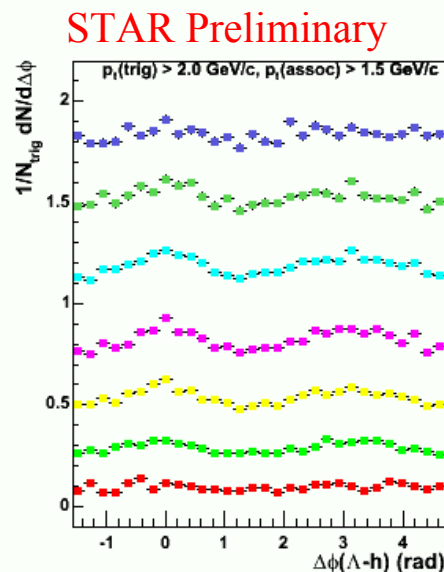
- Très préliminaire
- Permet d'étudier les proportions de processus durs dans la production de particules étranges



Λ -h



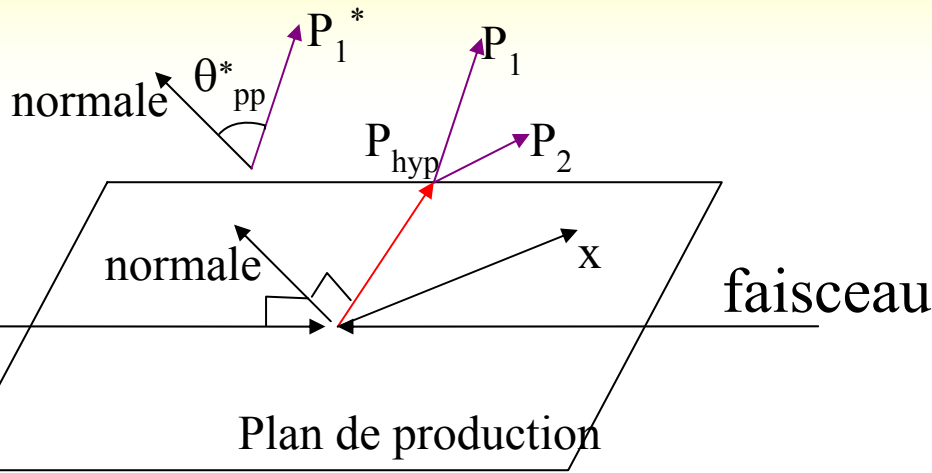
$\bar{\Lambda}$ -h



K_s^0 -h

Centrality bins:

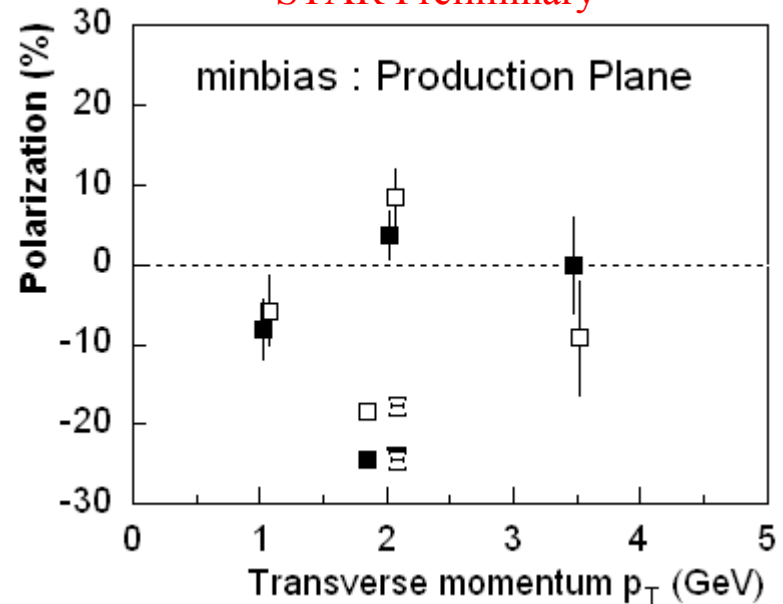
- (0 - 5)%
- (5 - 10)%
- (10 - 20)%
- (20 - 30)%
- (30 - 40)%
- (40 - 60)%
- (60 - 80)%



- Méthode:

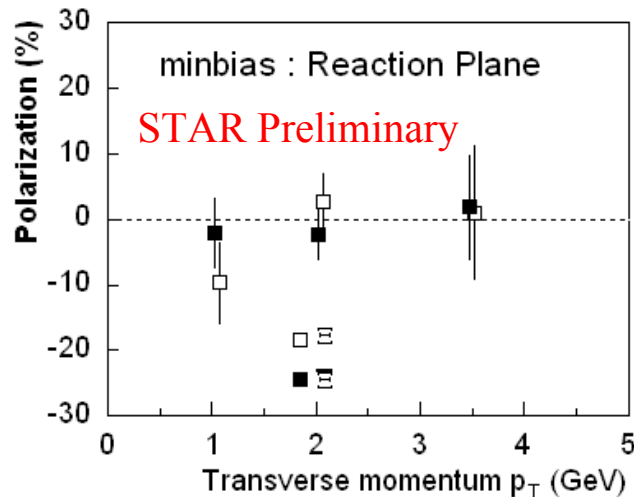
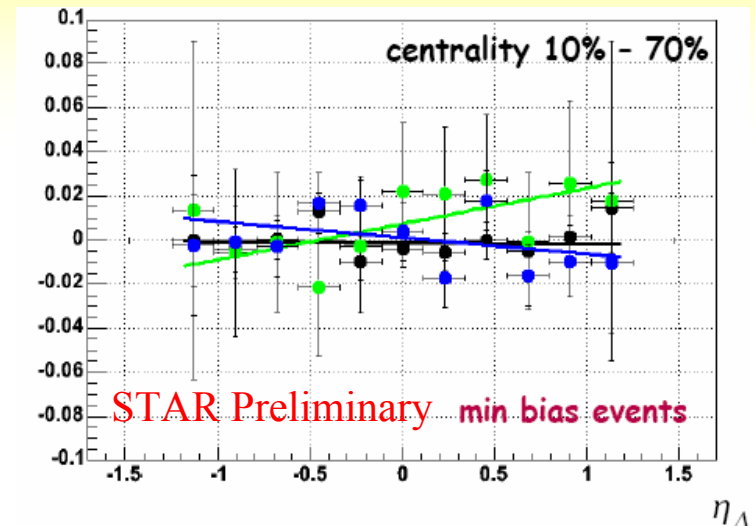
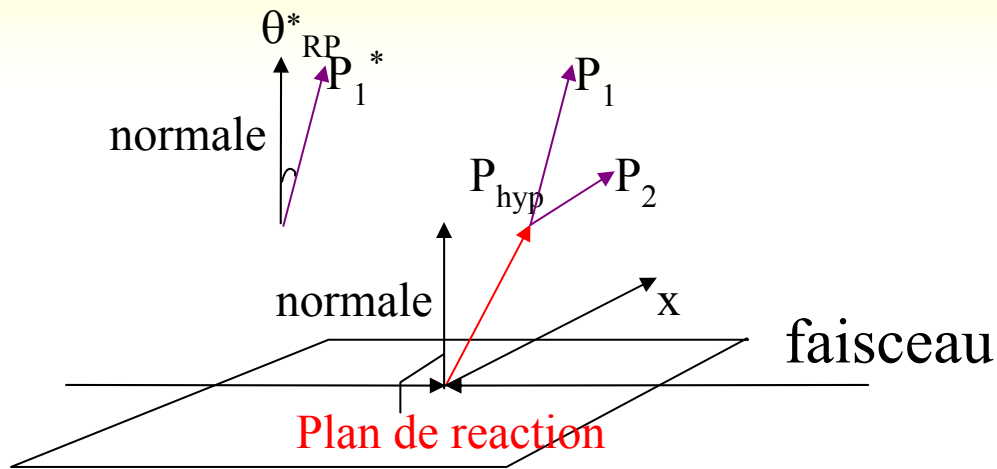
- Distribution $\cos(\theta_{pp}^*)$
- Corrections
- $\frac{dN}{d \cos \theta_{pp}^*} = A(1 + \alpha P \cos \theta_{pp}^*)$
- ($\alpha = -0.458 \pm 0.012$ (PDG))

STAR Preliminary



- P concorde avec zéro pour Ξ et $\bar{\Xi}$ sur toute la gamme en p_T

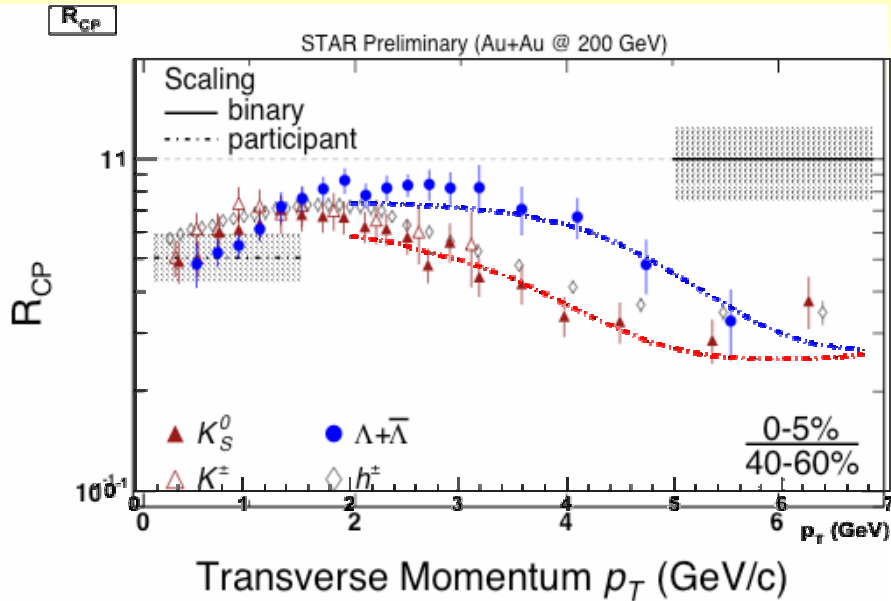
Ξ et Λ Polarisation: plan de réaction



- Méthode :
 - Estimation du plan de réaction de premier ordre avec le ZDC-SMD
 - Distribution en $\cos(\theta_{RP}^*)$
 - Polarisation
- Résultat:
 - En accord avec **zéro** pour Λ et Ξ (avec les deux méthodes)

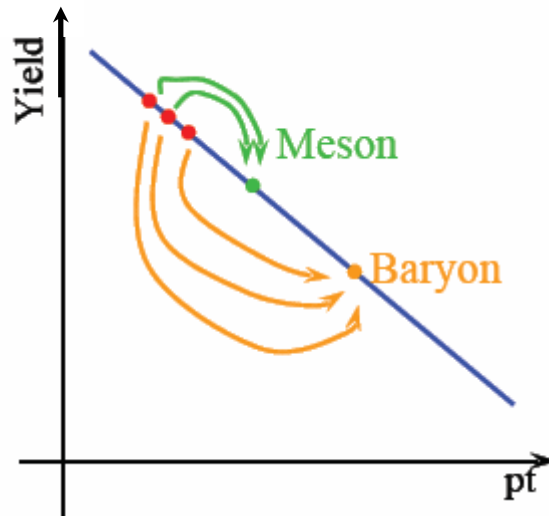
- Grande quantité et qualité de résultats physiques dans les collisions Au+Au 62 GeV
 - Pas de différence significative avec Au+Au 200 GeV
- Systématique sur des thèmes de physiques:
 - Quelle échelle pour l'étrangeté
 - Densité:
 - Systématique énergétique supplémentaire pour les modèles
 - Mécanisme de production :
 - Flot partonique:
 - Interprétation de la paramétrisation Blast-Wave?
 - Coalescence
 - Thermalisation:
 - Statistique marche (pas surprise)
 - Hydro marche
 - Flot elliptique
 - Spectres
 - Nouvelles idées (J.-Y. Ollitrault, N. Borghini)

Backup

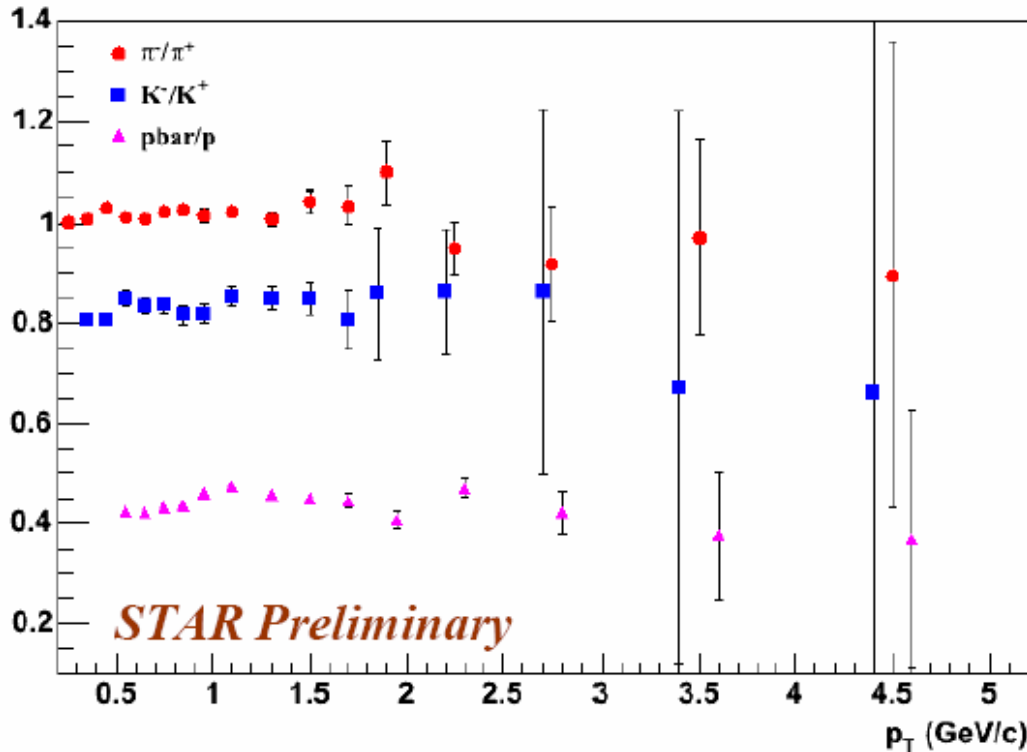


Fries, Müller, Bass, Nonaka Phys. Rev. C 68 (2003) 044902

- Suppose la recombinaison de 2 ou 3 partons à bas p_T pour former des hadrons d'un spectre exponentielle en p_T
- R_{CP} différent pour M et B, car fragmentation domine plus tard pour les baryons que pour les mésons

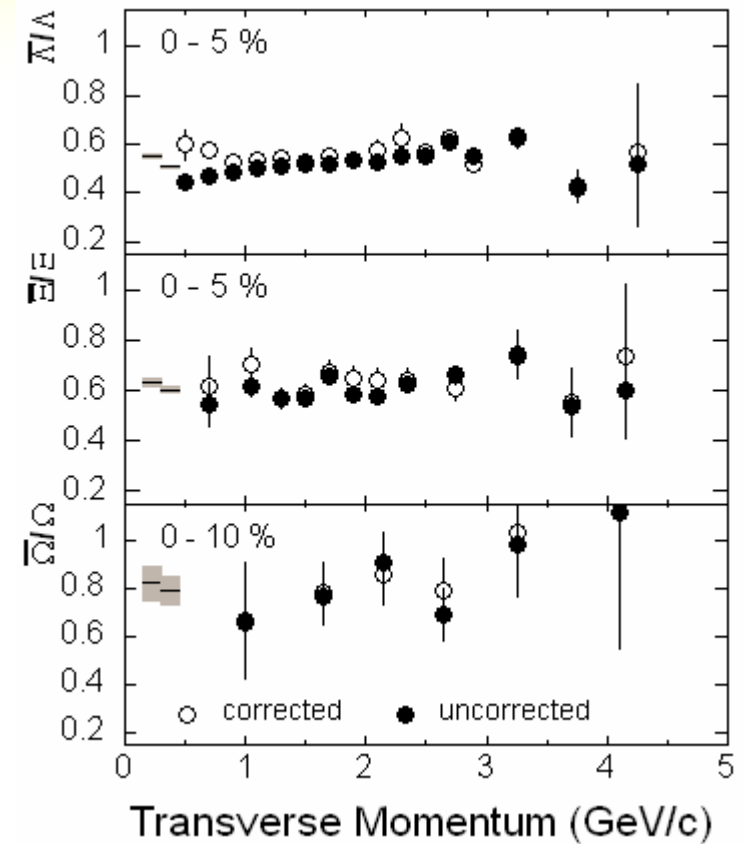


charge hadron ratio (62 GeV Au+Au)

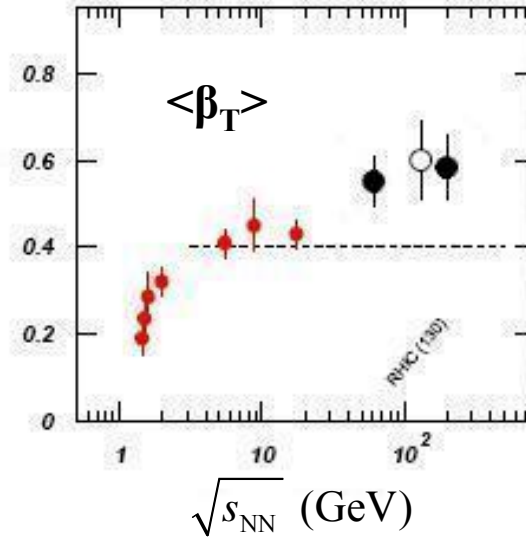
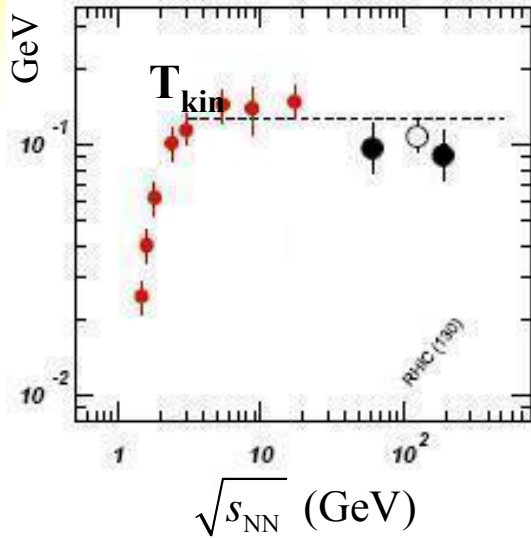


- Les rapports \bar{B}/B sont plats pour toutes les particules
- $\pi^-/\pi^+ \approx 1.017$
- $\bar{p}/p \approx 0.458$ (Au+Au 200 GeV ≈ 0.77)
- Diminution $\bar{p}/p \leftrightarrow$ augmentation du μ_B

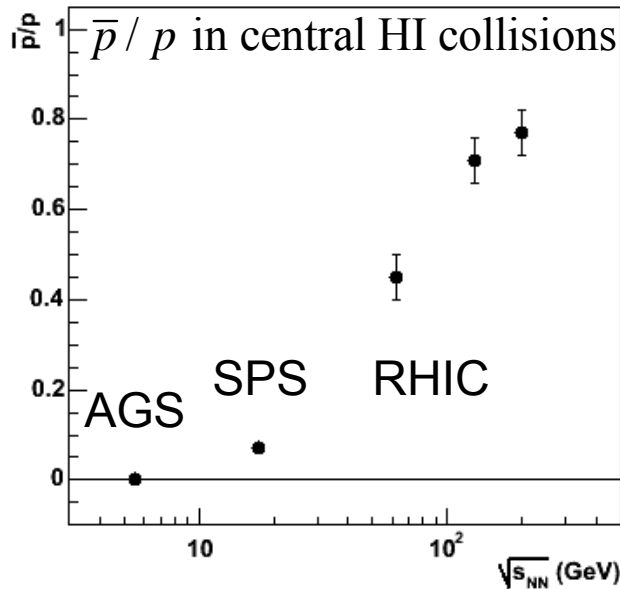
STAR Preliminary Au+Au@62GeV



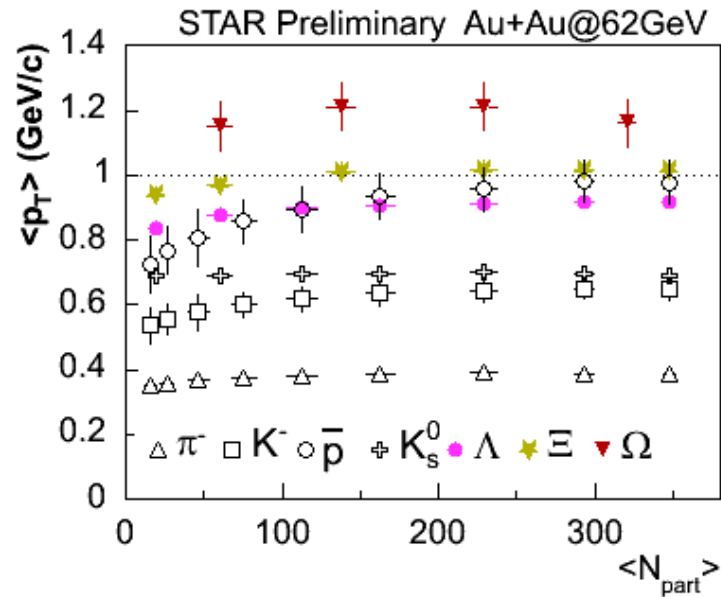
- $\bar{\Lambda}/\Lambda \approx 0.55$
- $\bar{\Xi}/\Xi \approx 0.63$
- $\bar{\Omega}/\Omega \approx 0.81$



- T_{kin} et $\langle \beta_T \rangle$ (pour les particules légères) dans les collisions d'ions lourds centrales

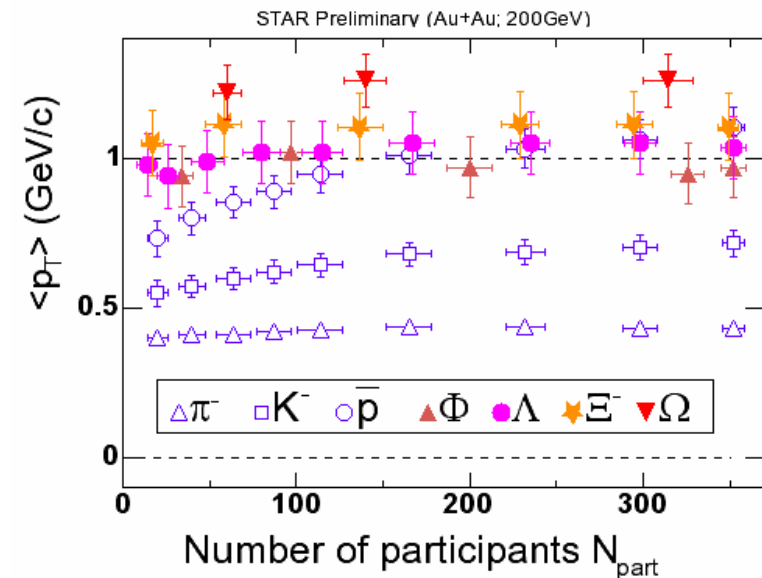


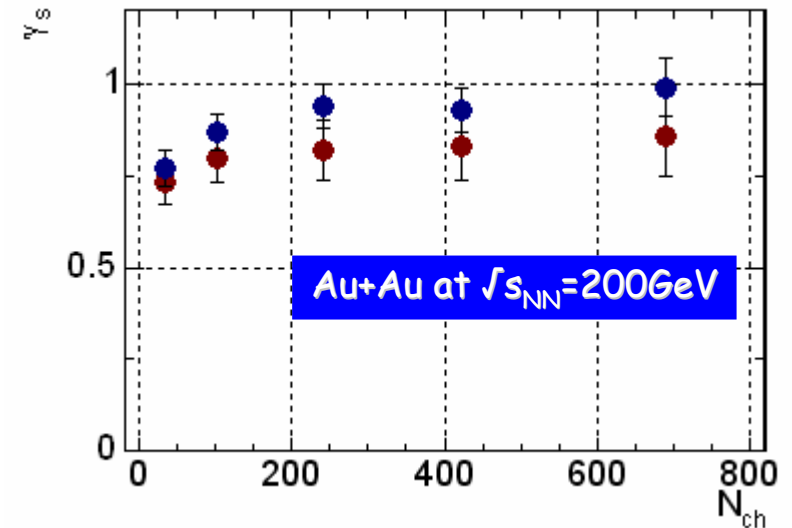
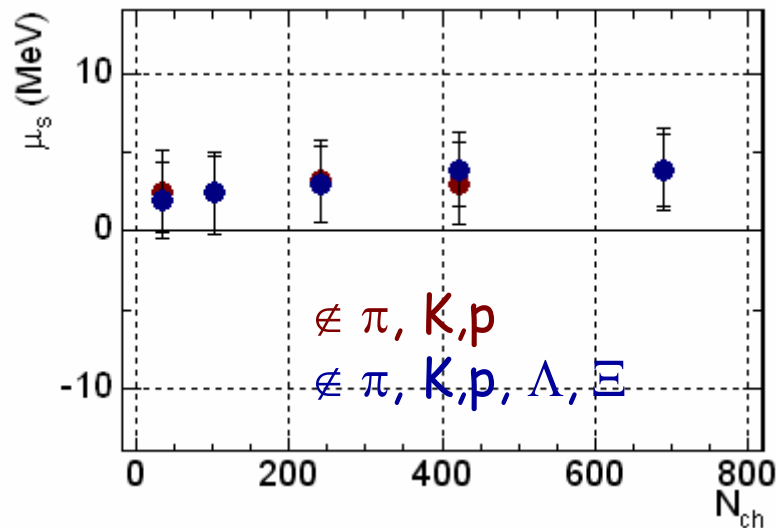
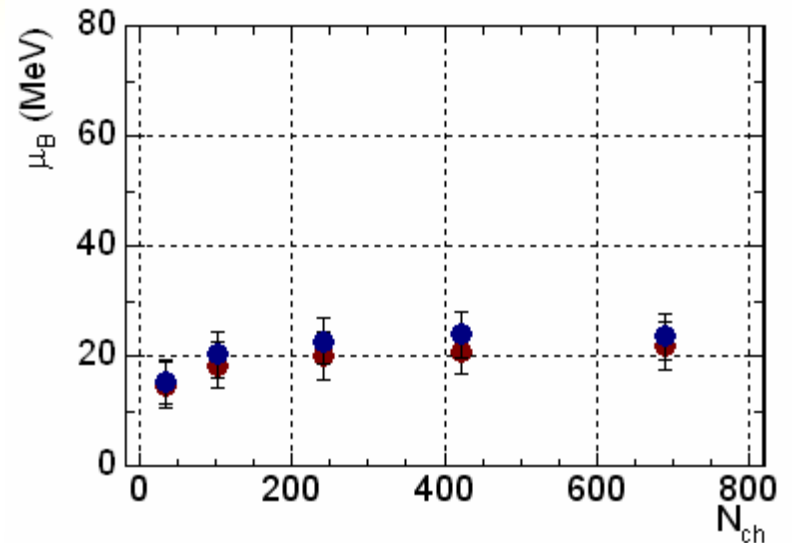
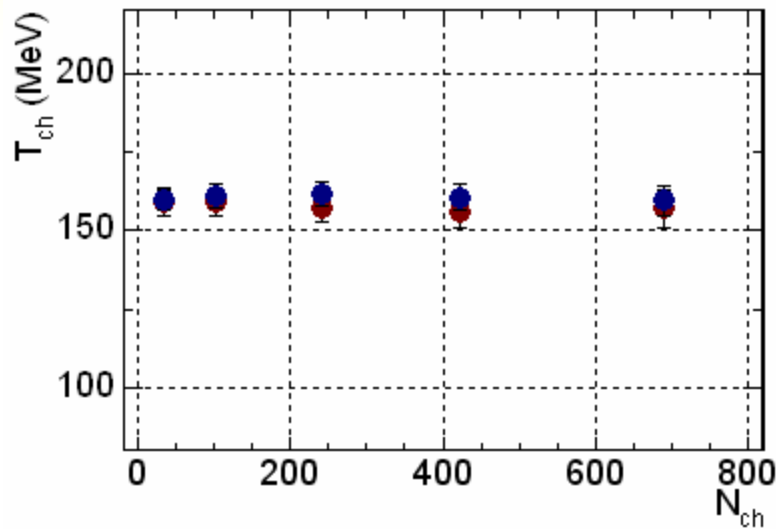
- Indication d'une baisse de T_{kin} avec $\sqrt{s_{\text{NN}}}$
- T_{kin} semble saturer à basse énergie
- $\langle \beta_T \rangle$ croissance monotone avec $\sqrt{s_{\text{NN}}}$
- \bar{p}/p montre une croissance importante avec $\sqrt{s_{\text{NN}}}$



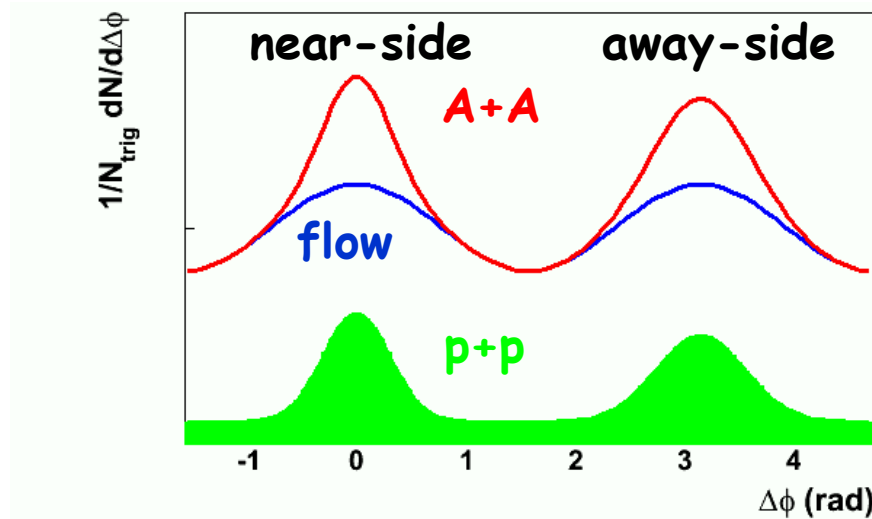
- Résultats semblables pour les deux énergies 62 GeV et 200 GeV:

- π , K , p montrent une dépendance en $\langle p_T \rangle$ suivant la centralité plus grande pour les masses plus élevées \Rightarrow compatible avec flot collectif
- Particules étranges: dépendance négligeable \Rightarrow comportement différent?





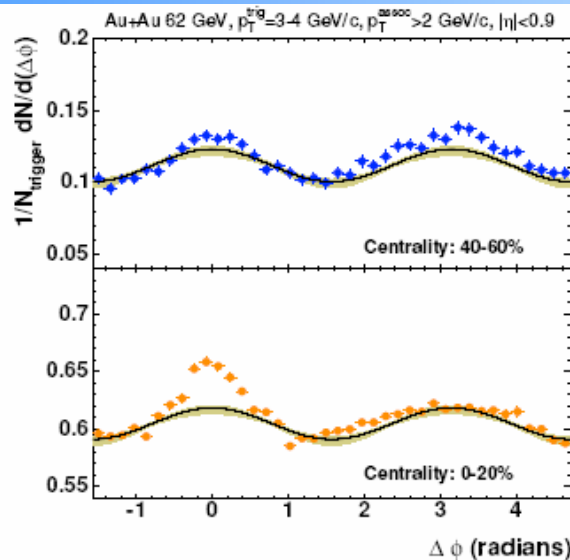
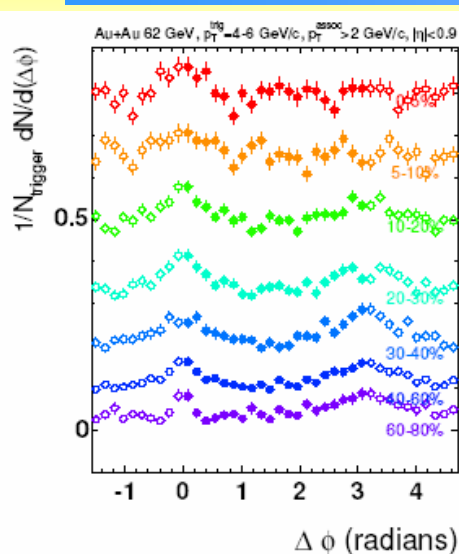
• p+p, d+Au:
$$C(\Delta\phi) = A_0 \exp\left(-\frac{\Delta\phi^2}{2\sigma_0^2}\right) + A_\pi \exp\left(-\frac{(\Delta\phi - \pi)^2}{2\sigma_\pi^2}\right) + B$$



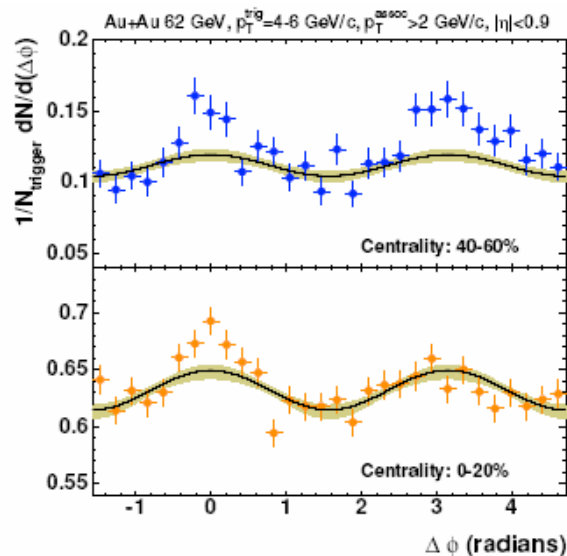
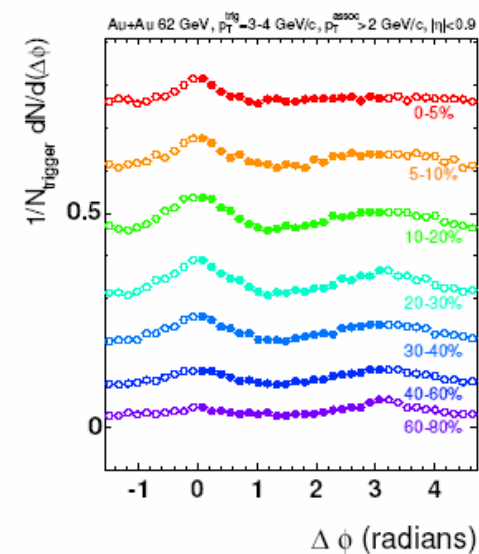
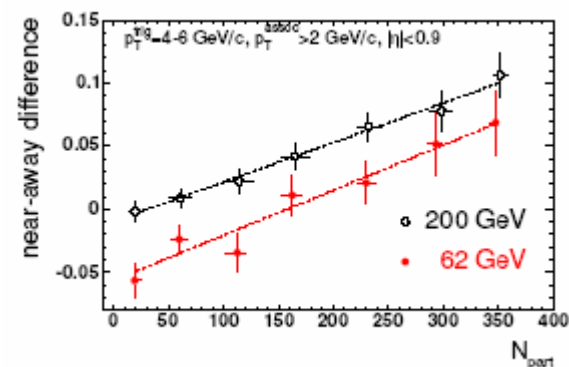
• Au+Au (contribution du **flot** elliptique)

$$C(\Delta\phi) = A_0 \exp\left(-\frac{\Delta\phi^2}{2\sigma_0^2}\right) + A_\pi \exp\left(-\frac{(\Delta\phi - \pi)^2}{2\sigma_\pi^2}\right) + B \left(1 + \frac{2v_{2trig} v_{2ass} \cos(2\Delta\phi)}{2\sigma_\pi^2}\right)$$

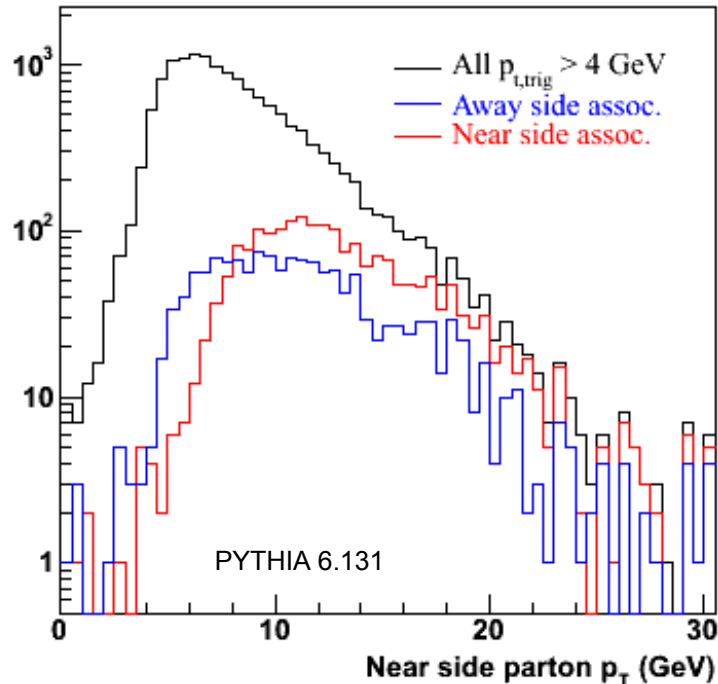
Détails sur les corrélations



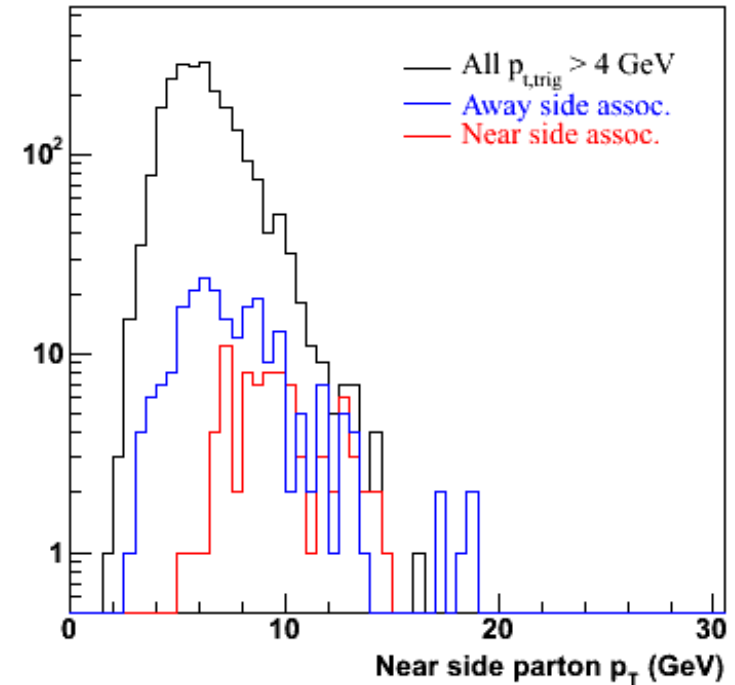
Near: $|\Delta\phi| < 0.8$
Away: $|\Delta\phi - \pi| < 0.8$



200 GeV



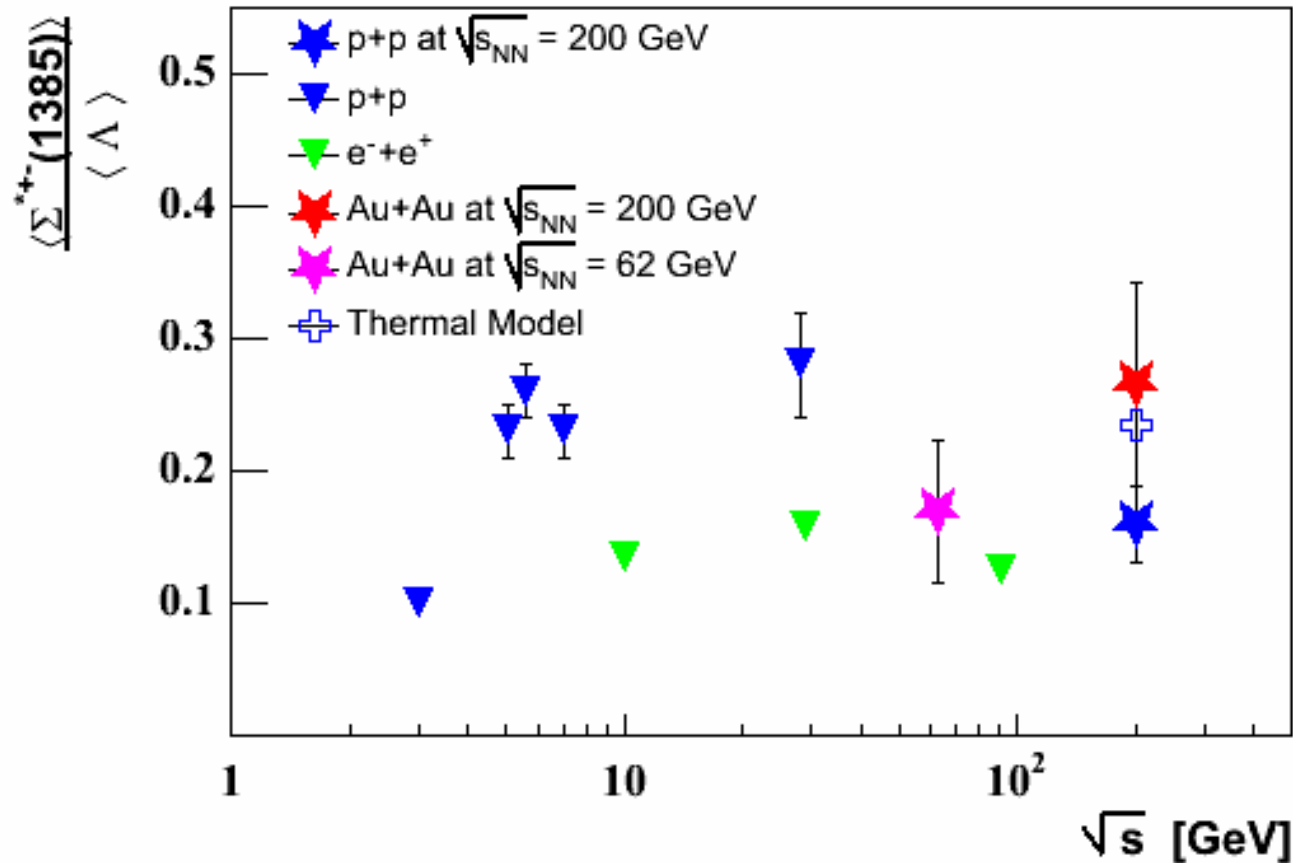
62 GeV

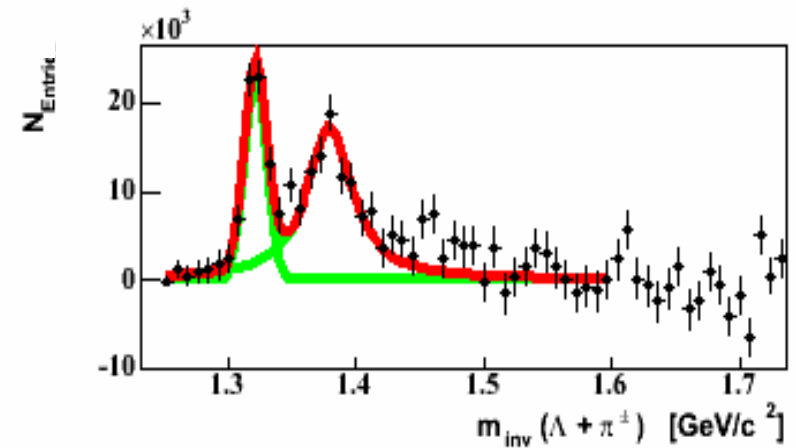
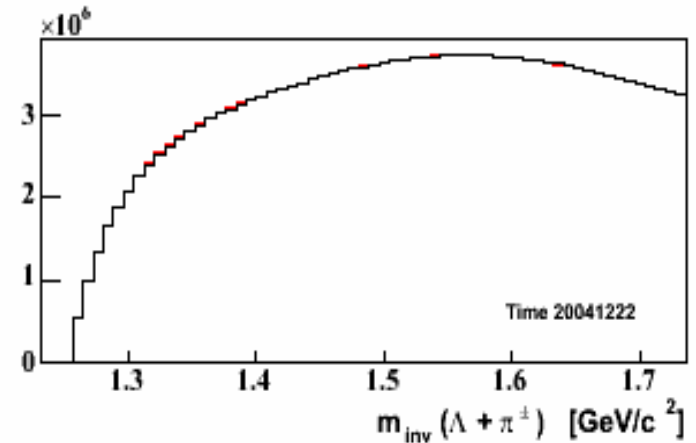
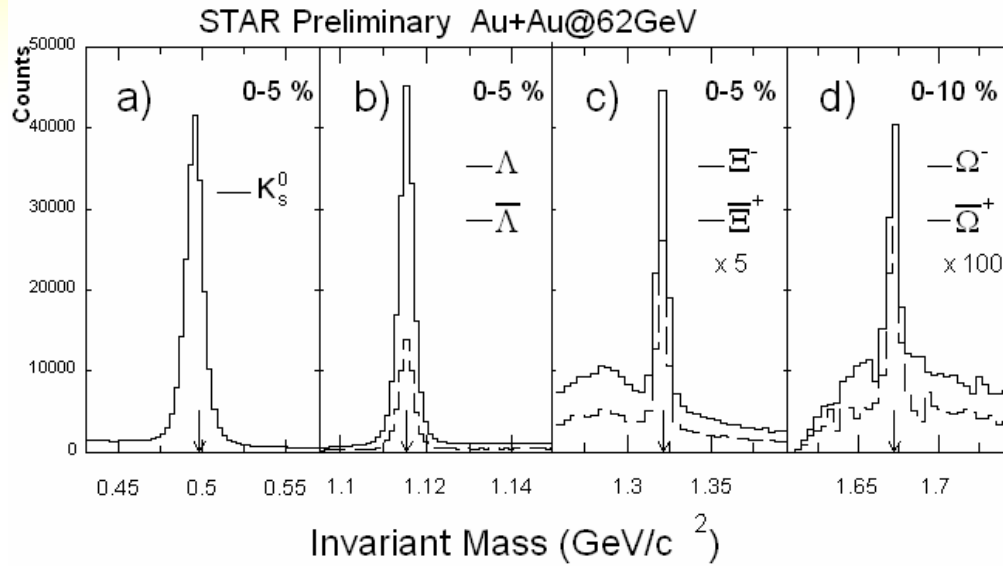


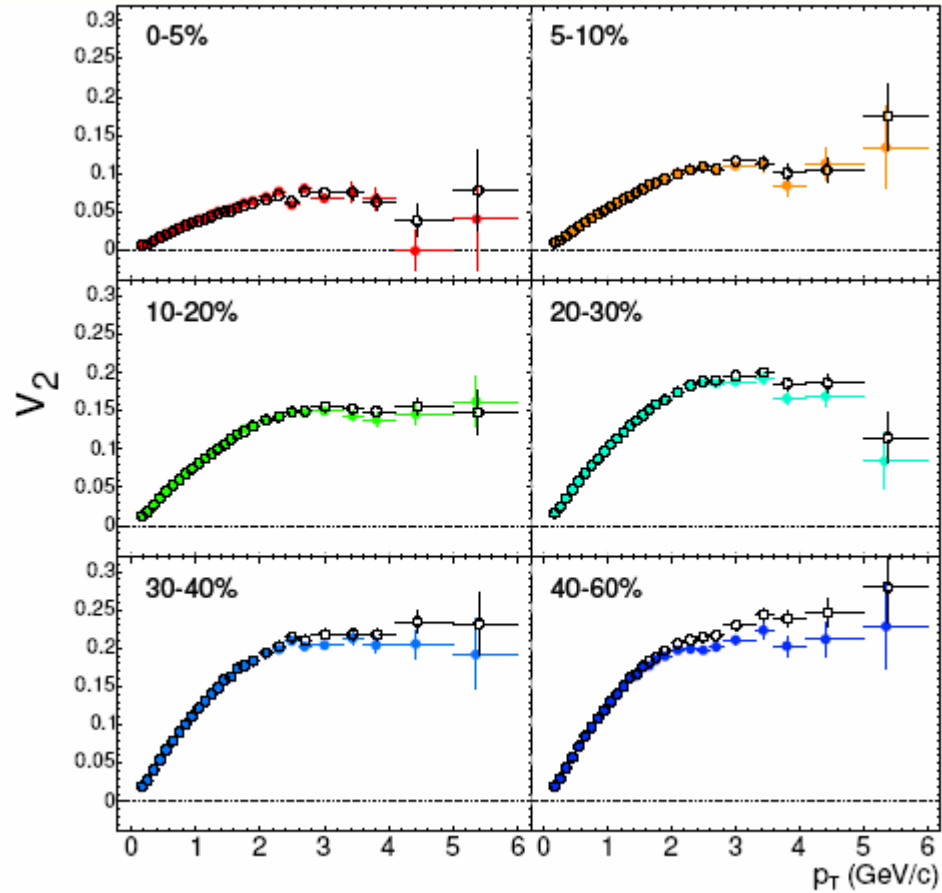
Taux associé côté direct est produit par des partons de p_T plus élevé que le taux associé côté opposé.

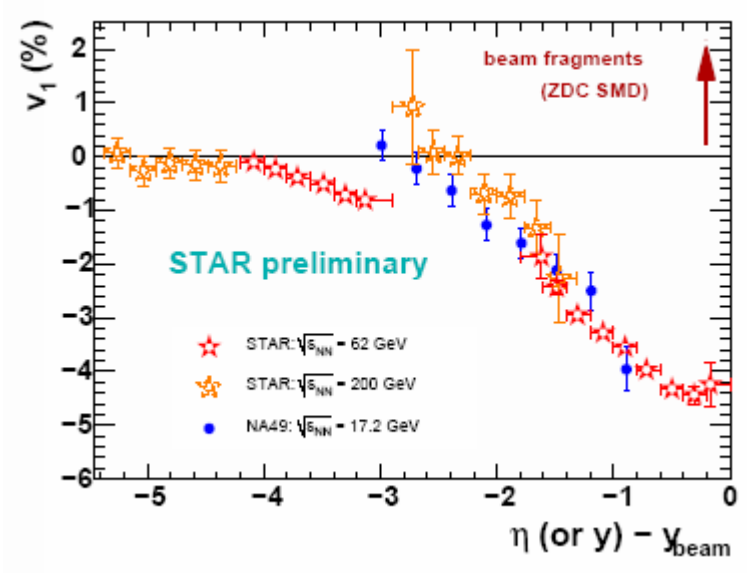
Relation directe entre le spectre plus dur à 62 GeV et le taux côté direct plus faible

Preliminary STAR



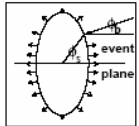






- elliptic source (R_x, R_y) with diffuse edge (α_S)
- thermal emission at temperature T , modulated by...

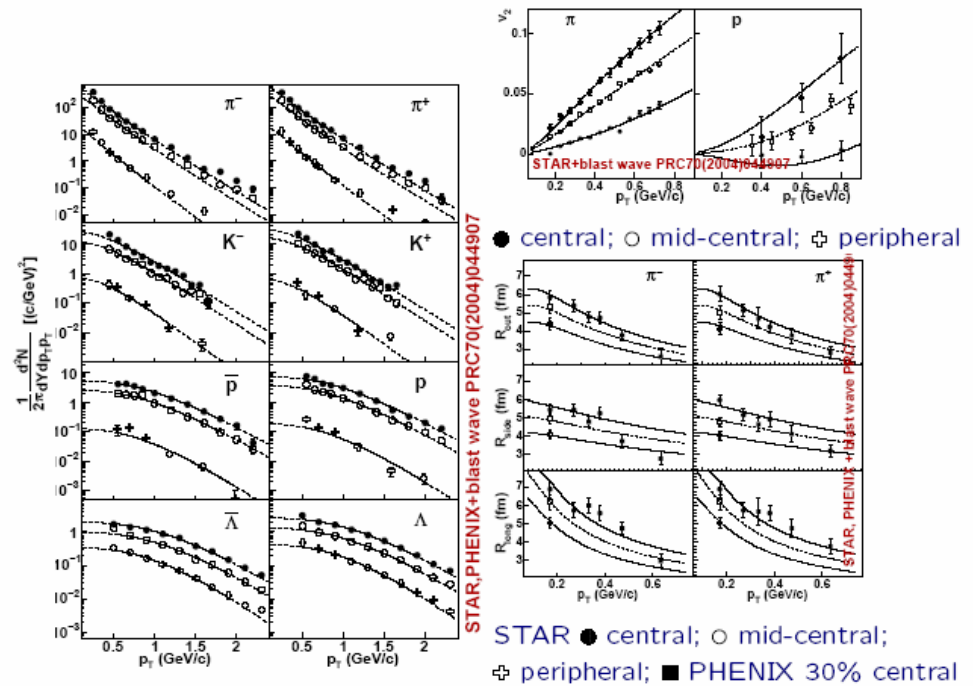
x, y -dependent transverse blast (y_t of the source): ρ – ρ_0 and ρ_2 :



$$\rho(r, \phi_s) = \left(\sqrt{\frac{x^2}{R_x^2} + \frac{y^2}{R_y^2}} \right) (\rho_0 + \rho_2 \cos(2\phi_b)) \quad (8)$$

- ^aRetiere, Lisa PRC70 (2004) 044907
- Gaussian freeze-out proper-time distribution ($\tau_0, \Delta\tau$)

8 Combined fits with Blast Wave: spectra, v_2 , HBT

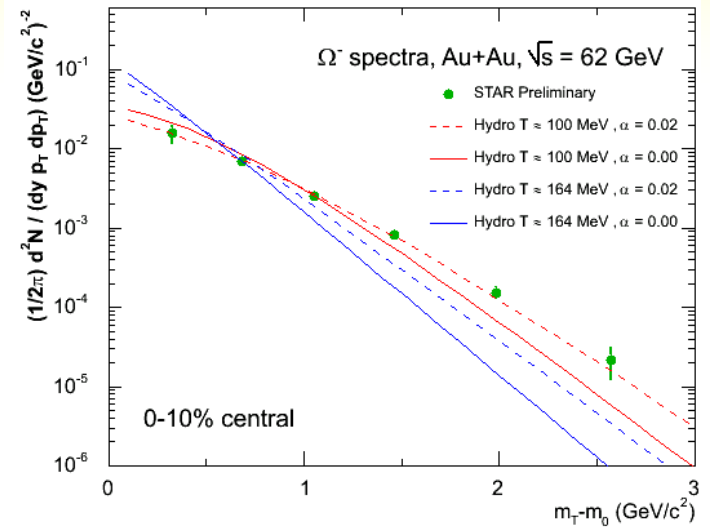
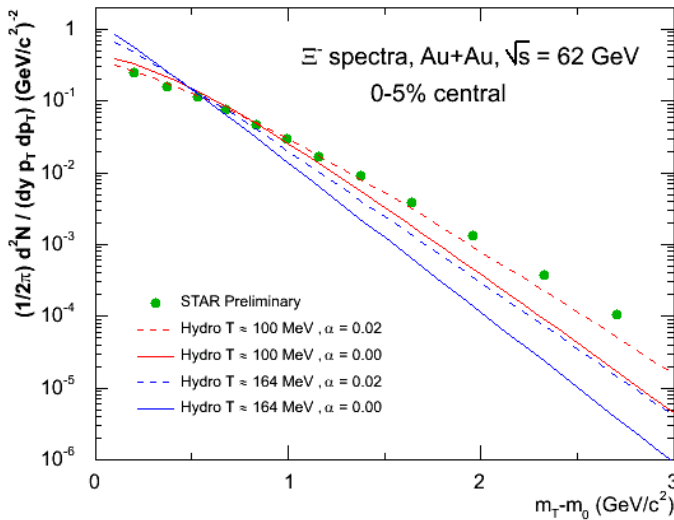


	$T(\text{MeV})$	ρ_0	ρ_2	$R_x(\text{fm})$	$R_y(\text{fm})$	$\tau(\text{fm}/c)$	$\Delta\tau(\text{fm}/c)$
centr	106	0.89	0.060	13.2	13.0	9.2	0.003
mid-c	107	0.85	0.058	10.4	11.8	7.7	0.06
periph	100	0.79	0.47	8.0	10.1	6.5	0.6

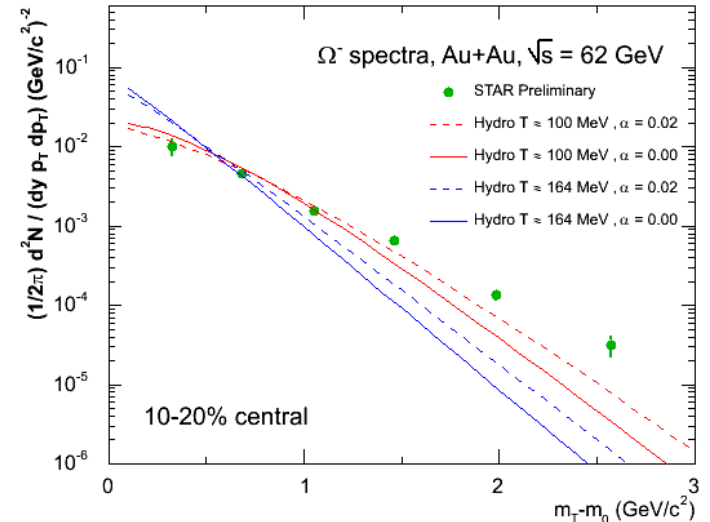
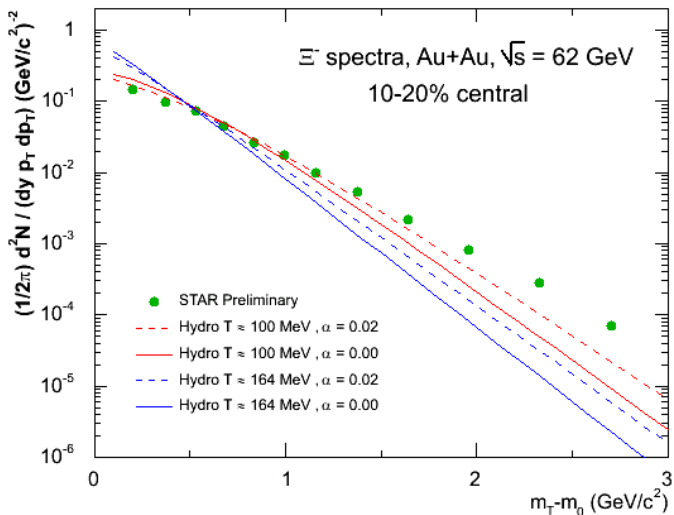
Emission duration $\approx 0...$

$T_{\text{dec}} \approx 100 \text{ MeV}, \alpha = 0.02$ (hydro)	$T_{\text{kin}} \approx 94 \text{ MeV}, \langle \beta_T \rangle \approx 0.48$ pour $n = 1$ $T_{\text{kin}} \approx 112 \text{ MeV}, \langle \beta_T \rangle \approx 0.48$ pour $n = 0.8$
$T_{\text{dec}} \approx 164 \text{ MeV}, \alpha = 0.02$ (hydro)	$T_{\text{kin}} \approx 136 \text{ MeV}, \langle \beta_T \rangle \approx 0.33$ pour $n = 1$ $T_{\text{kin}} \approx 145 \text{ MeV}, \langle \beta_T \rangle \approx 0.33$ pour $n = 0.8$
Ajustement BW direct	$T_{\text{kin}} \approx 122 \text{ MeV}, \langle \beta_T \rangle \approx 0.45$ pour $n = 1$ $T_{\text{kin}} \approx 137 \text{ MeV}, \langle \beta_T \rangle \approx 0.46$ pour $n = 0.8$

• Dépendance en centralité de l'hydro...

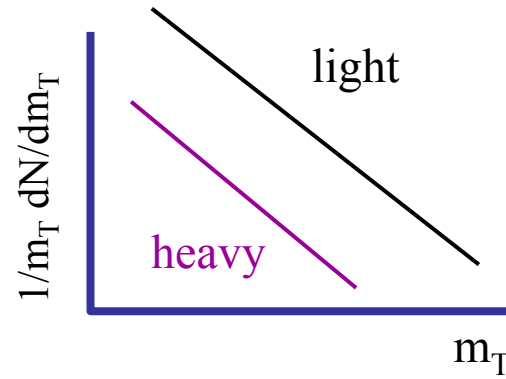
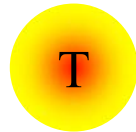


Augmentation du paramètre d'impact

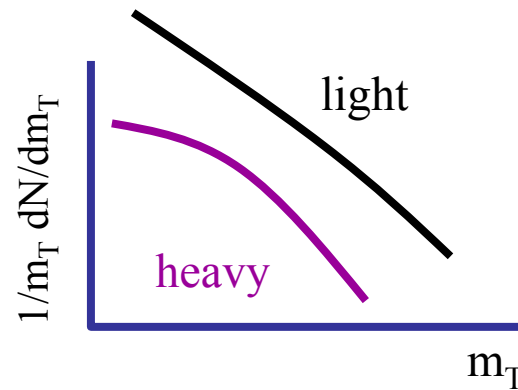
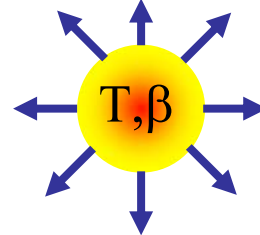


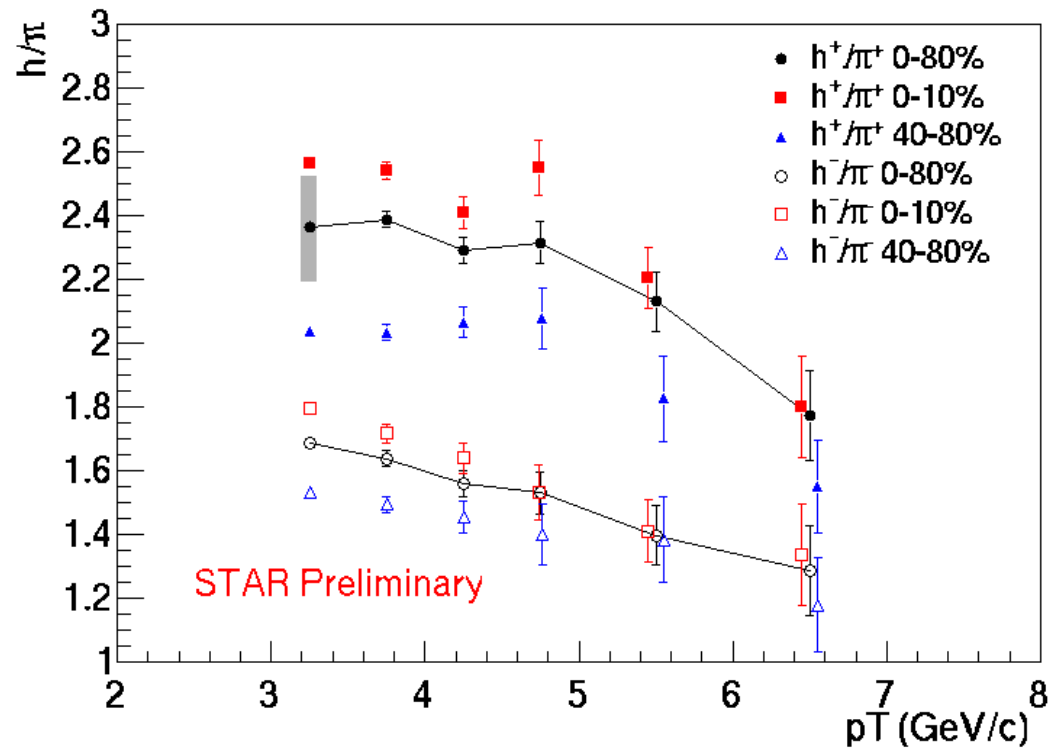
Les autres?

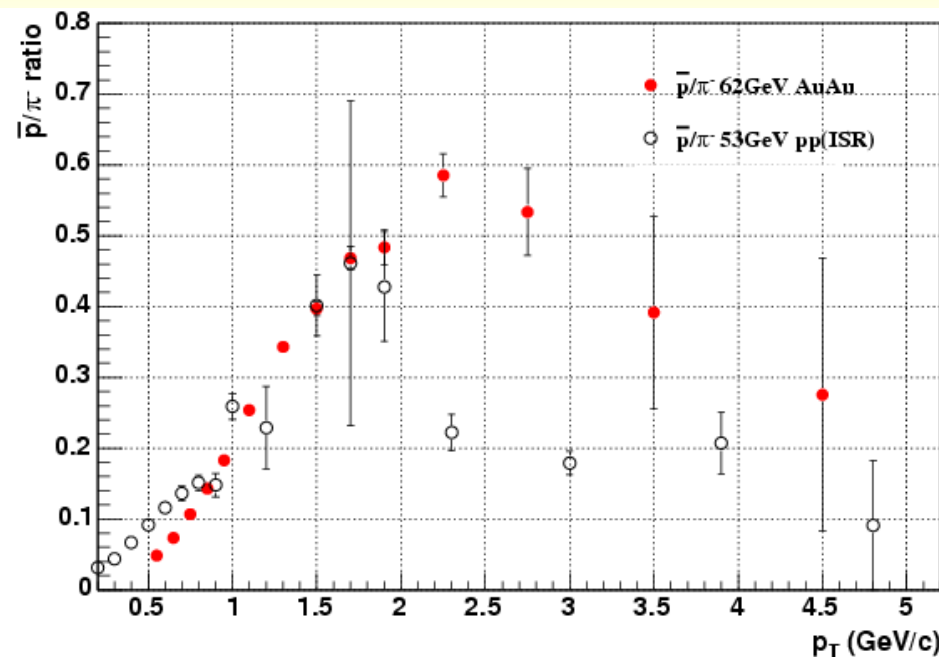
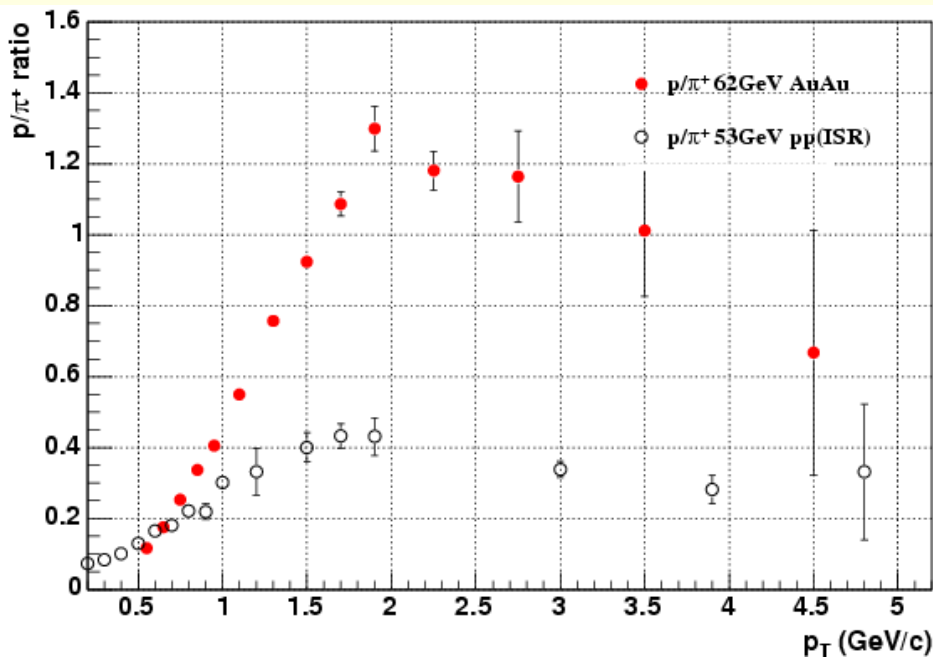
purely thermal
source



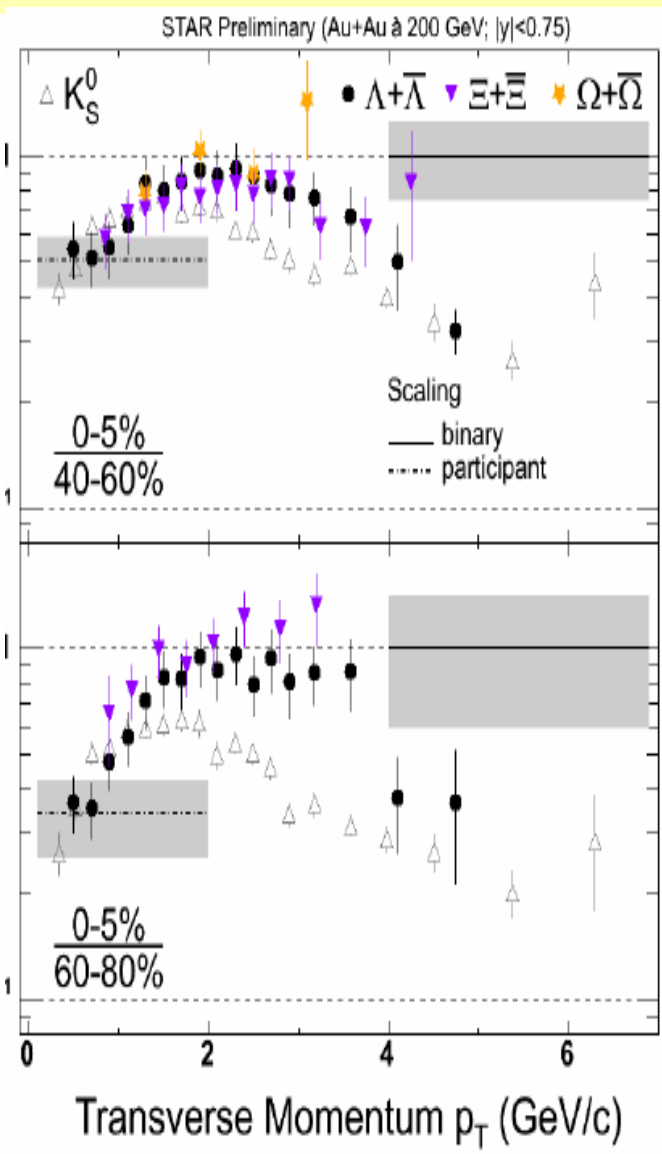
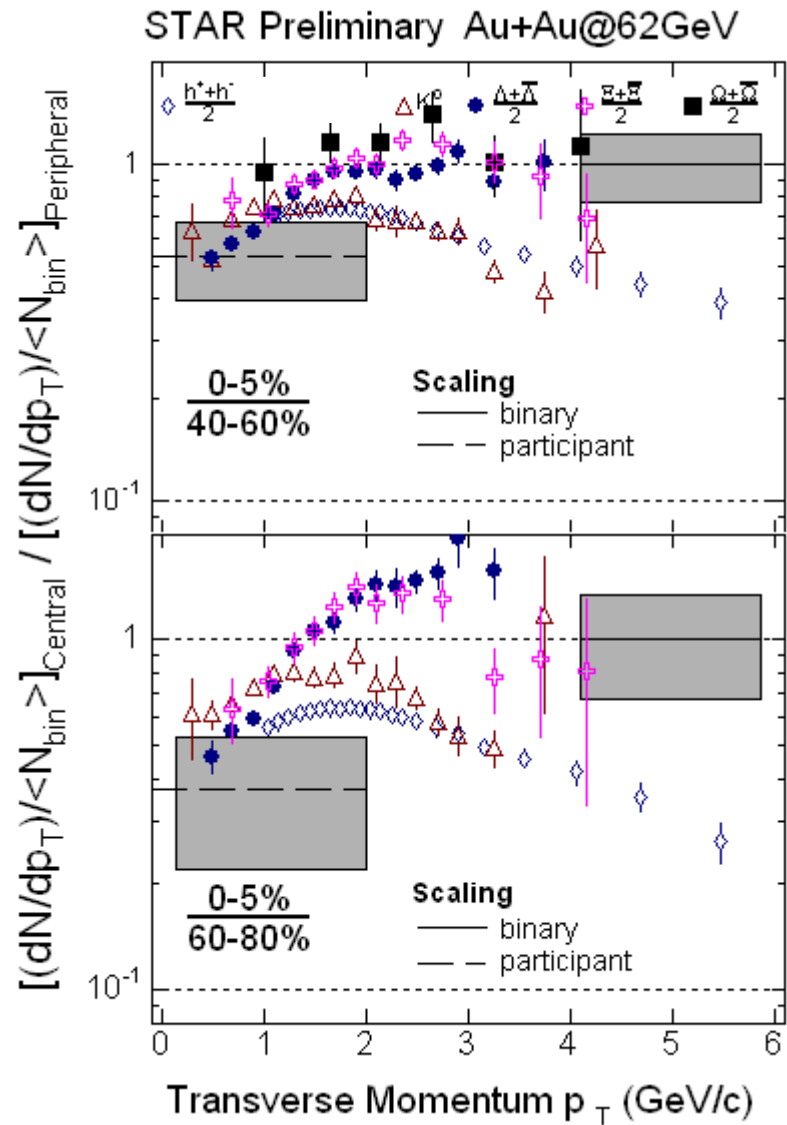
explosive
source



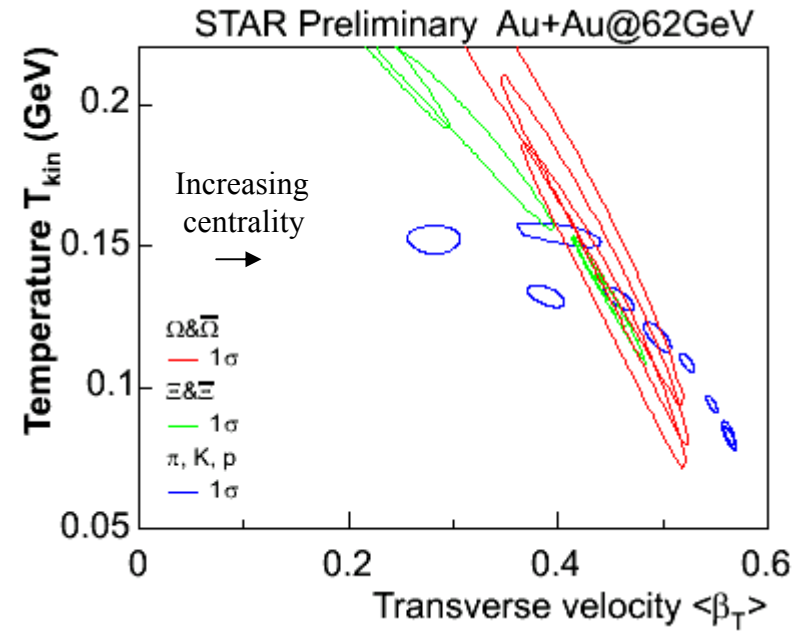
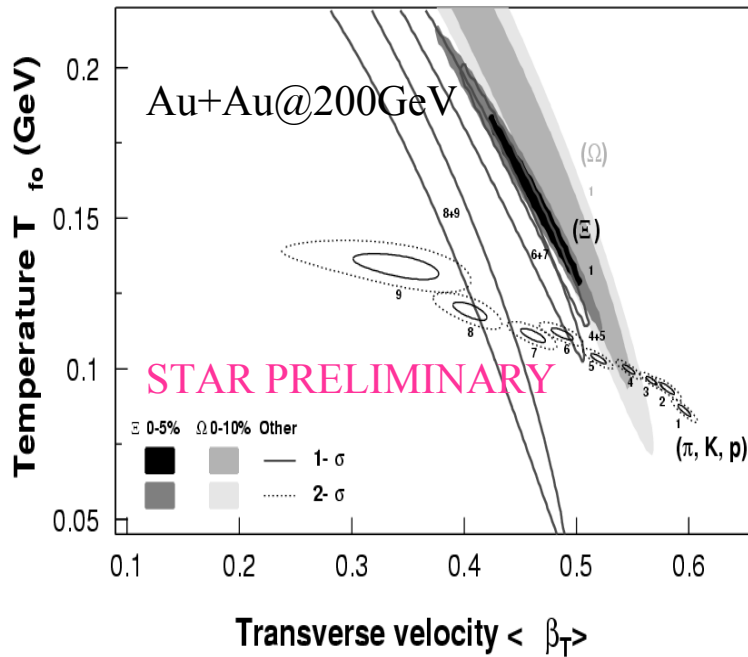


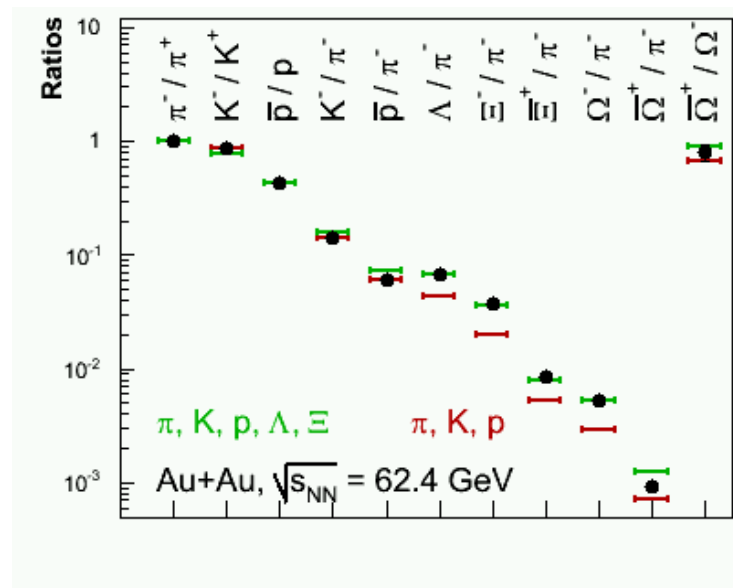
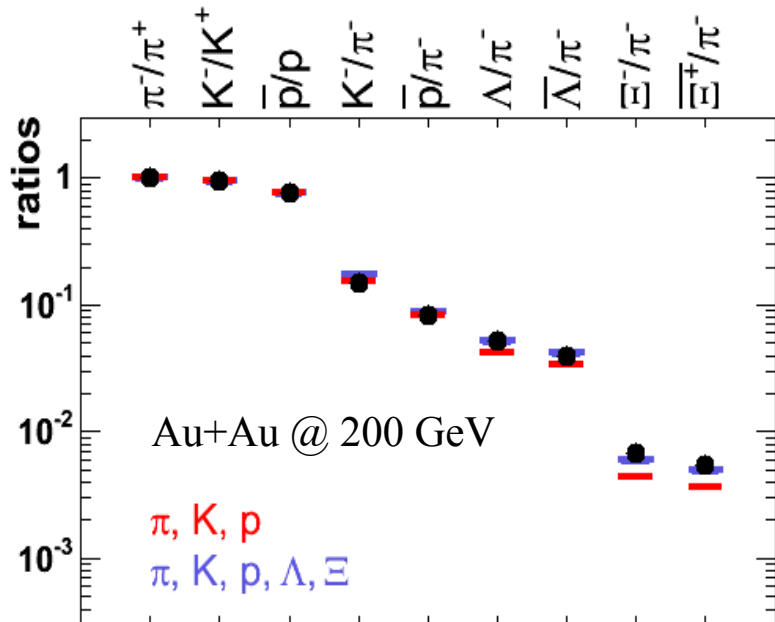


- In 62 GeV Au+Au collisions, p/π^+ and \bar{p}/π^- ratios are a factor of 2~3 higher than those in p+p collisions at p_T 2~4 GeV/c.
- p/π^+ ratios reach maximum at around 2 GeV/c and seem to decrease with increasing p_T at higher p_T , consistent with the trends of $R_{CP}(h)$ and $R_{CP}(\pi)$.
- At $p_T \sim 5$ GeV/c, p/π^+ and \bar{p}/π^- ratios in 62 GeV Au+Au collisions are close to those in p+p collisions.

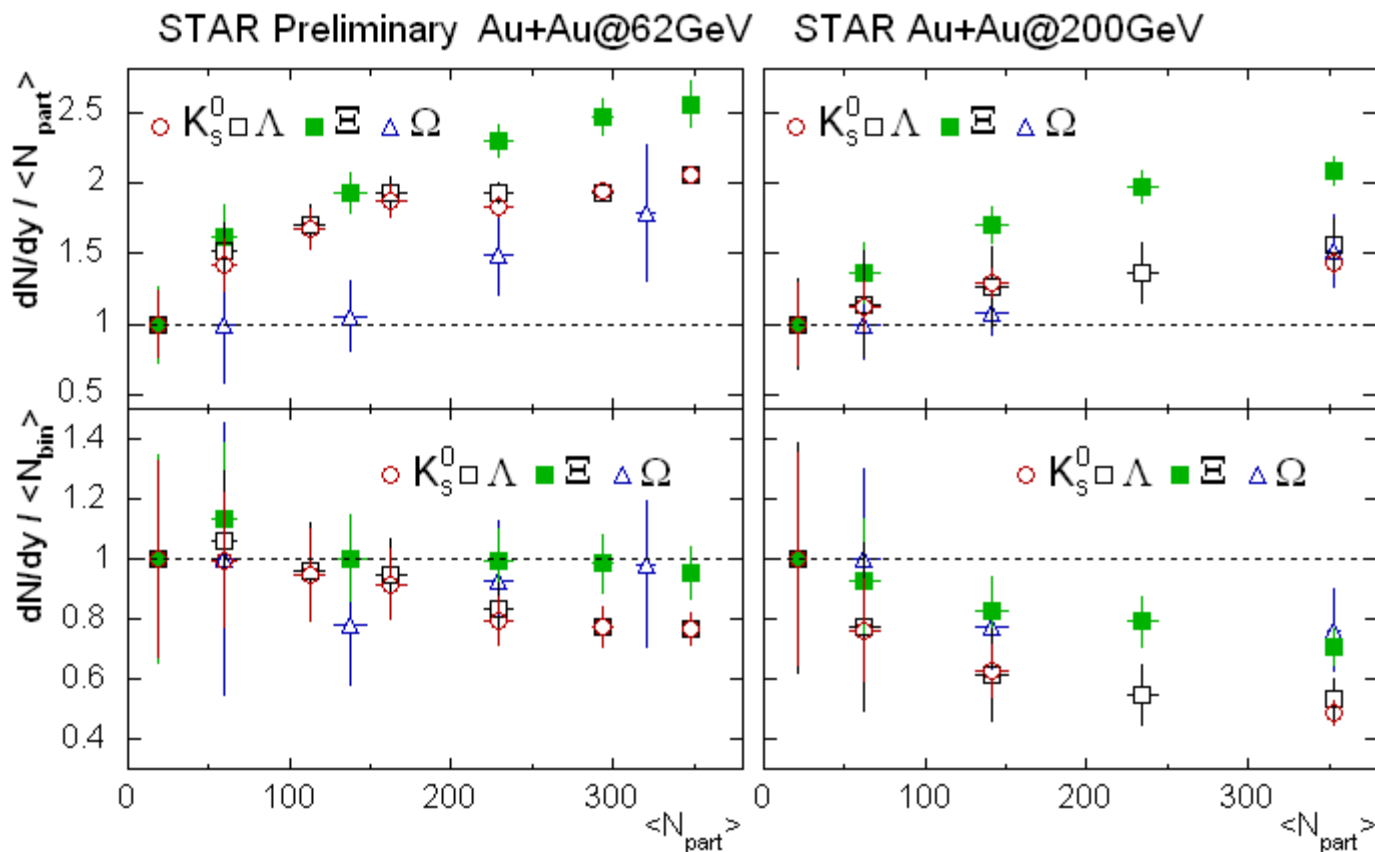


Ajustement Blast-Wave : dépendance en énergie

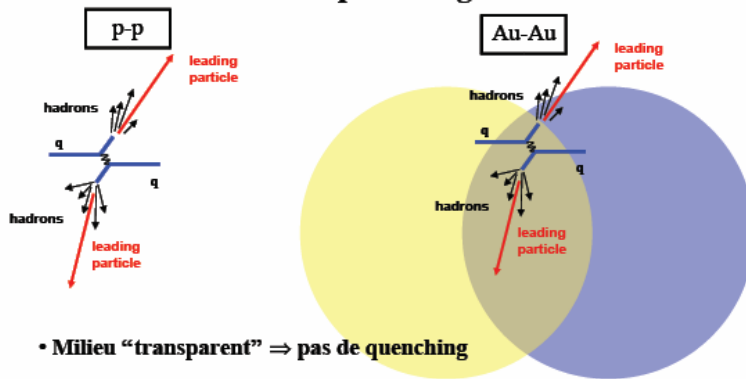




Mise à échelle : 62 GeV vs. 200 GeV



Jet-quenching :



- Milieu “transparent” \Rightarrow pas de quenching
- Milieu opaque \Rightarrow quenching dependant de la distance traversee
- Particule-trigger : $4,0 < pt < 6,5$ GeV, particules associees : $2,0 < pt < pt_{wigg}$ 8/21

Etat du milieu produit :

- Suppression a haut-pt (R_{CP} , R_{AA}) : hypothese = perte d’energie dans le milieu
- dAu central : away-side jets visibles \Rightarrow suppression des jets est liee a l’etat final
- AuAu central : suppression des away-side jets
- AuAu mid-peripheral : suppression depend de la distance parcourue
- Donc AuAu central (et mid-peripheral) = **milieu dense**

- identified azimuthal correlations at high- p_{\perp} can provide an additional information about the jet quenching, particle production mechanisms etc.

coalescence/recombination models

or

fragmentation of high- p_{\perp} partons ?

- particle composition of fragmentation products at near-side and away-side
 - > possible modification of fragmentation in A+A ?
- p_{\perp} dependence of trigger particle species
 - > Λ , $\bar{\Lambda}$ – quark, gluon jets ?