

# La physique des ions lourds ultra-relativistes

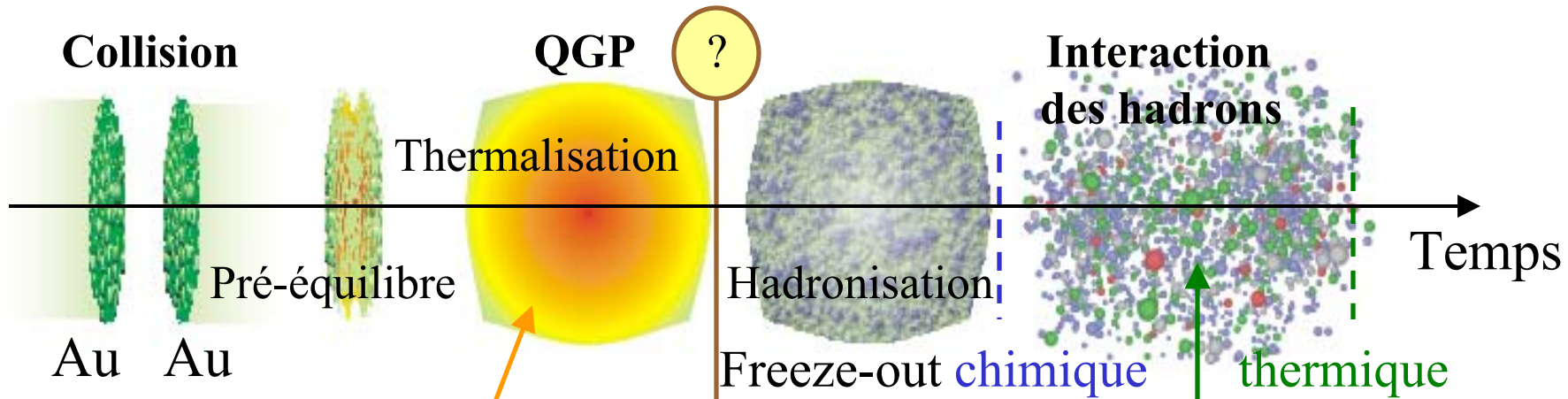
Mesure des particules doublement  
étranges  $\Xi$  dans l'expérience STAR  
auprès du collisionneur RHIC  
à  $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$

Magali Estienne

**SUBATECH**



# Ions lourds relativistes : le scénario



## Sondes dures : les 1<sup>ers</sup> instants

- Sondes directes de la phase partonique  
⇒ sensibles au milieu dense, déconfiné :  
perte d'énergie des partons (**jet quenching**),  
suppression des saveurs lourdes ( $J/\Psi$ ,  $Y$ ...),  
photons directs

## Sondes indirectes : évolution du système

- **Etrangeté** (taux augmentés dus aux densités et fusions initiales gluon-gluon élevées)
- **Effets collectifs** (flow) : directions d'émission privilégiées

Démarche expérimentale : comparaisons Au+Au avec les résultats en pp et dA (absence de plasma) et avec la centralité de la collision.

# La motivation à l'origine

## Première signature proposée : augmentation d'étrangeté

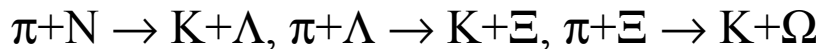
- J. Rafelski and B. Müller (1982)

### Gaz de hadrons

➤ Production d'étrangeté par :  
collisions binaires

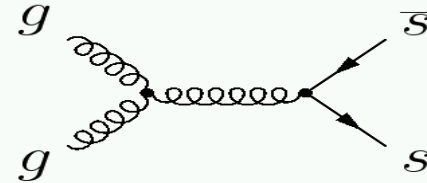
- ❑  $\pi + \pi \rightarrow K + K$
- ❑  $\pi + N \rightarrow K + \Lambda(uds)$

- énergie réclamée plus élevée ( $\sim 1$  GeV)
- temps long  $\sim 100$  fm/c
- suite de réactions :



### QGP

➤ Production d'étrangeté par :  
création de paires



- Milieu très dense en q et g :  $\nearrow s\bar{s}$
- court temps  $\sim 5$  fm/c

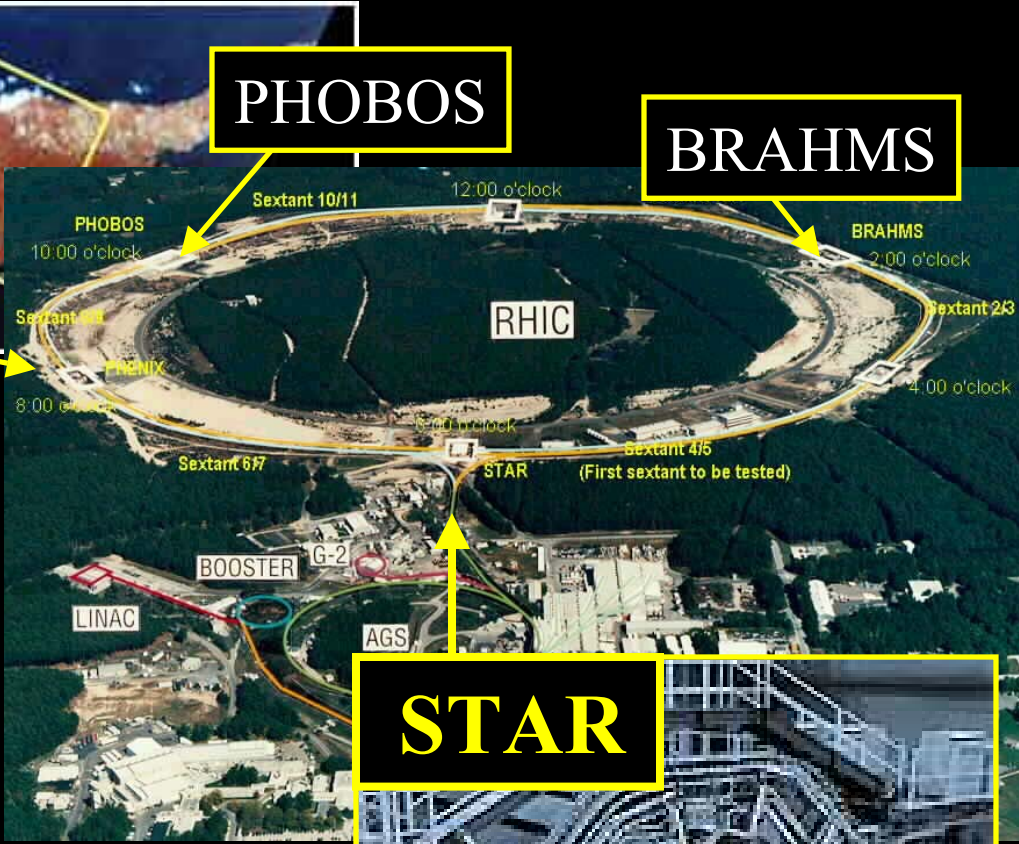
Les baryons multi-étranges sont plus sensibles à l'augmentation de l'étrangeté

Mesure production de  $\Xi^-$  (ssd) et  $\Xi^+$  ( $\bar{s}\bar{s}d$ )

# Le collisionneur RHIC



**PHENIX**



**STAR**

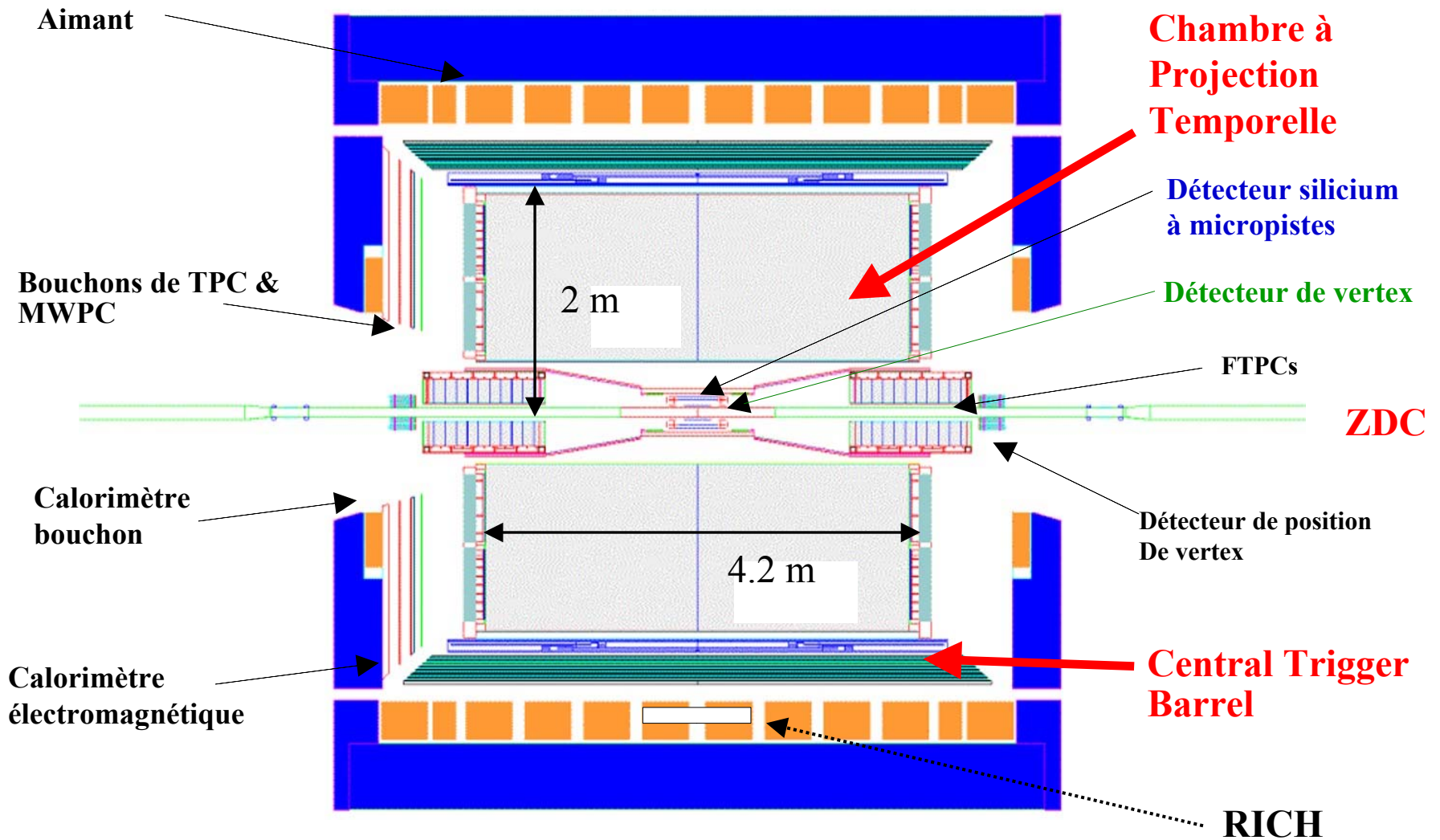
Relativistic Heavy-Ions Collider (BNL)

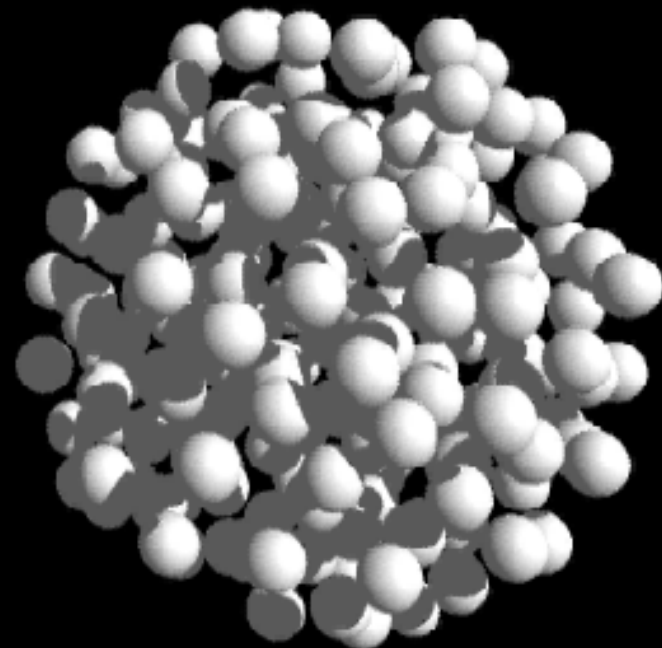
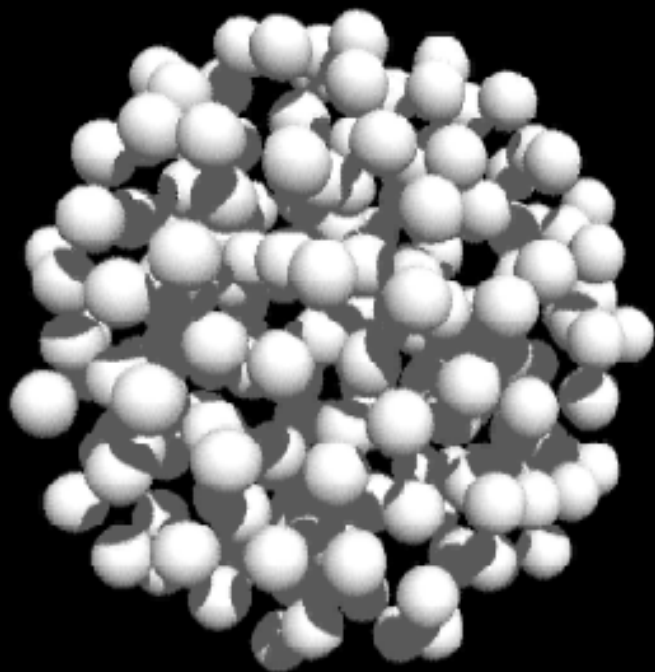
- 3.83 km de circonférence
- 2 noyaux indépendants
- Accélération de p, noyaux d et Au
- $\sim 10 \times E_{cm}$  CERN – SPS @ 17 GeV

Run	Ions	$s^{1/2}(\text{GeV})$
I (2000)	Au-Au	130
II (2001/02)	Au-Au	200
	p-p	200
III (2002/03)	d-Au	200
	p-p	200

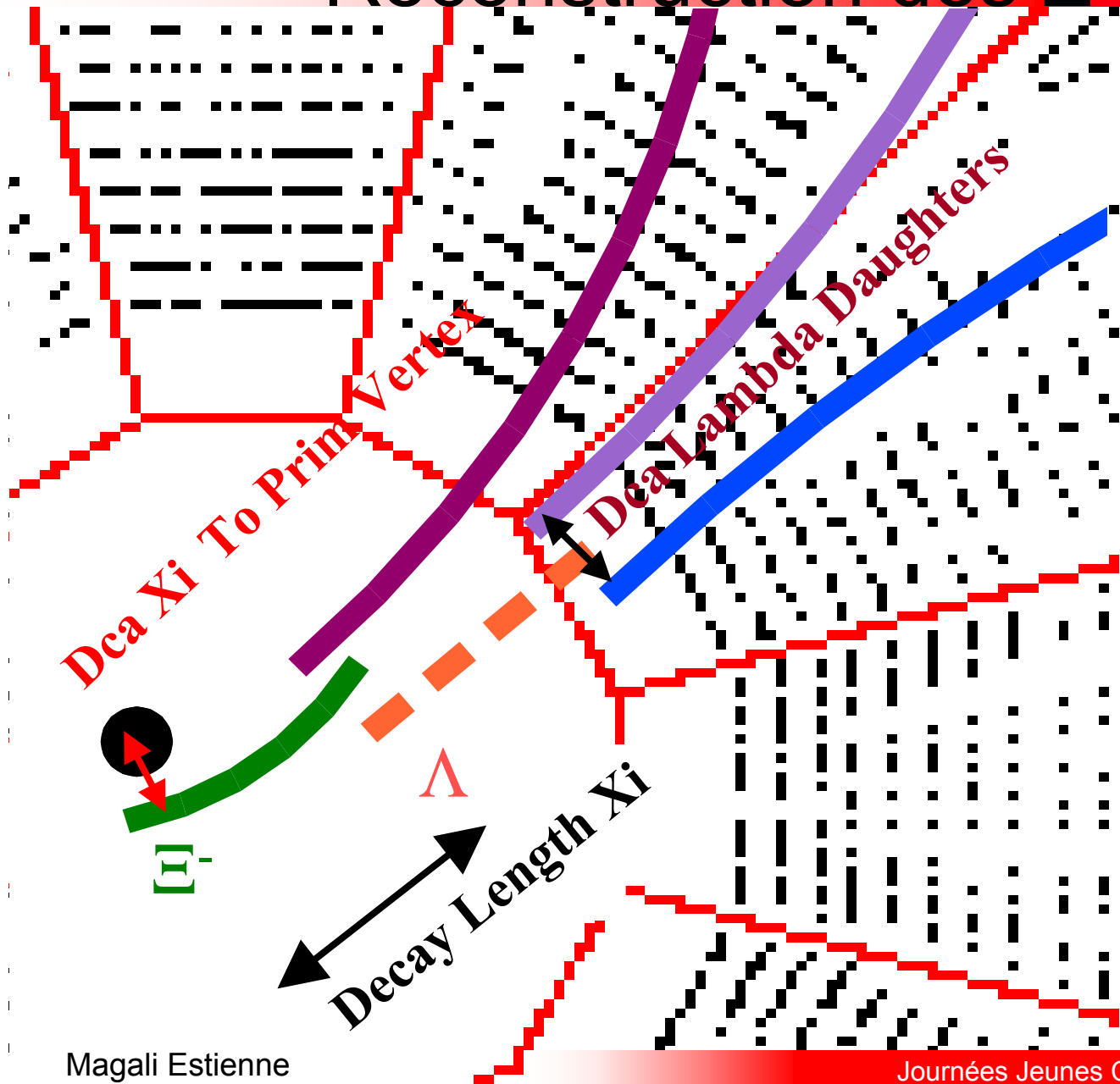


# L'expérience STAR

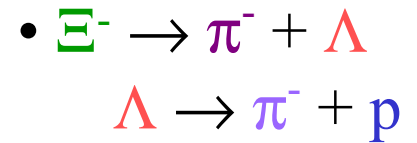




# Reconstruction des $\Xi$ (ssd)



➤ Reconstruction selon la topologie de la décroissance :



➤ Selection par :

- identification par perte d'énergie  $dE/dx$
- coupures géométriques

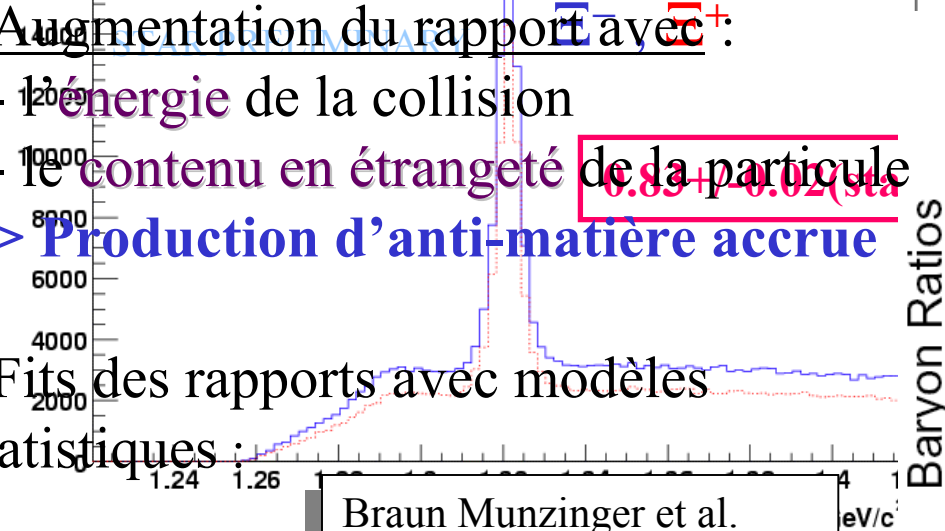
➤ Masse invariante

# Masse invariante et Rapport $\bar{\Xi}^+/\Xi^-$

Masse invariante :

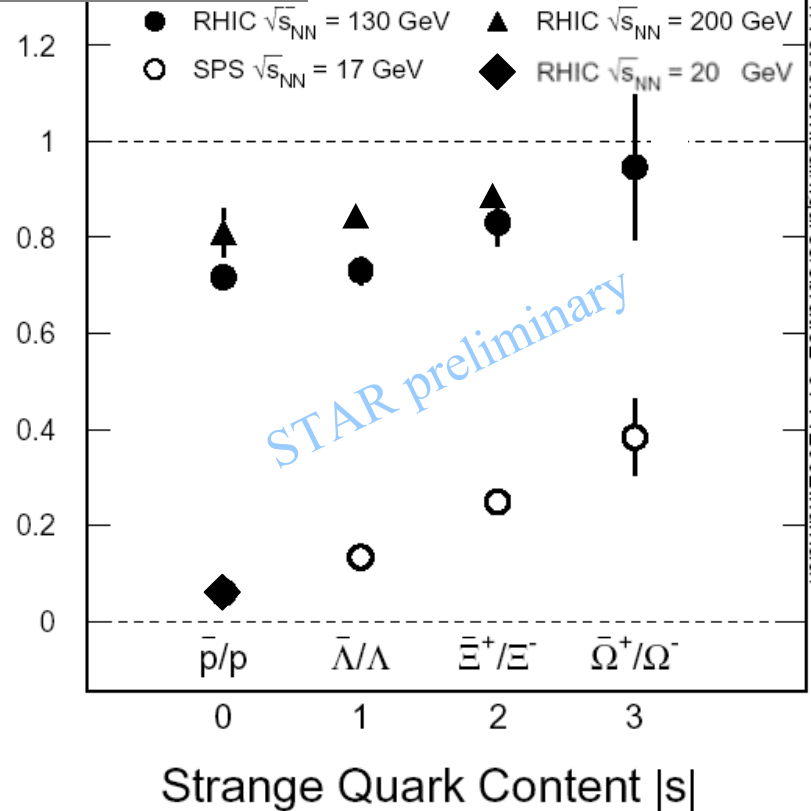
0-10% Central @200GeV

- Augmentation du rapport  $\bar{\Xi}^+/\Xi^-$  avec  $\sqrt{s}$  :
  - l'énergie de la collision
  - le contenu en étrangeté de la particule
- ⇒ Production d'anti-matière accrue
- Fits des rapports avec modèles statistiques :



Braun Munzinger et al.  
Phys. Lett. B 518 (2001) 41

Rapport  $\bar{B}/B$



$T_{fo\text{ chimique}} \sim 178\text{MeV}$   
 $\mu_B \sim 41\text{MeV} \neq 0$

Etat « baryon free » non atteint

→ rapports anti-baryon/baryon  
sont extraits sans correction  
d'efficacité et d'acceptance



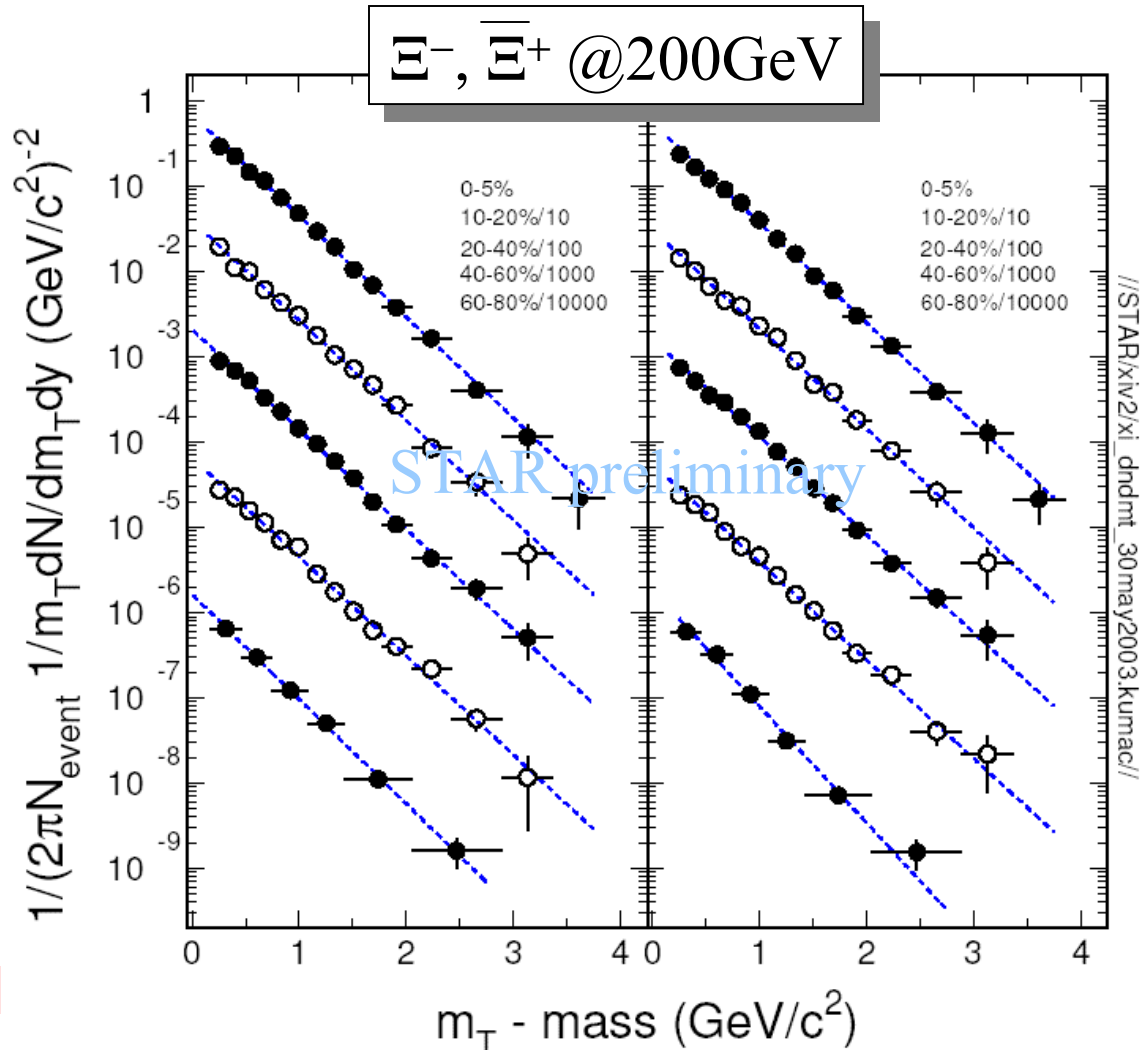
# Correction des données

□ Nécessité de corriger les données de :

- ▶ l'acceptance du détecteur
- ▶ l'efficacité de reconstruction (coupures incluses)

Double information par fit de Boltzmann des spectres :

- **taux de production**
- **température freeze-out thermique**



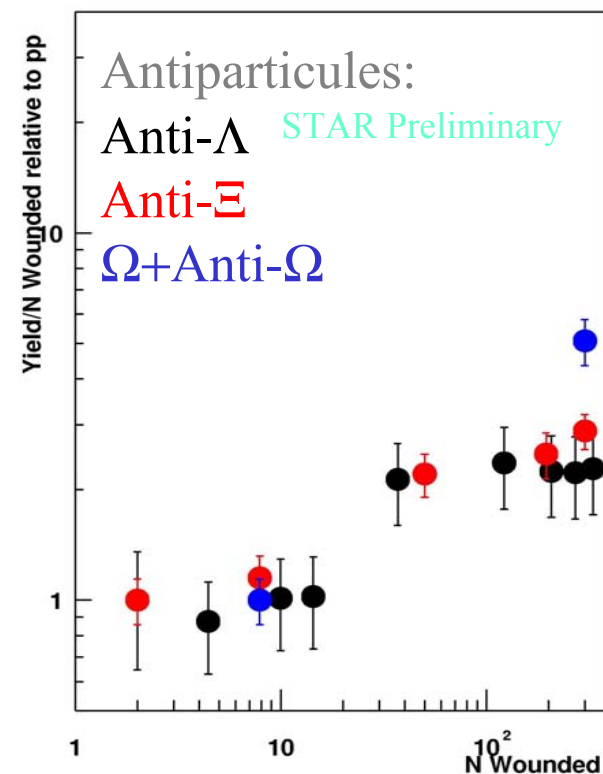
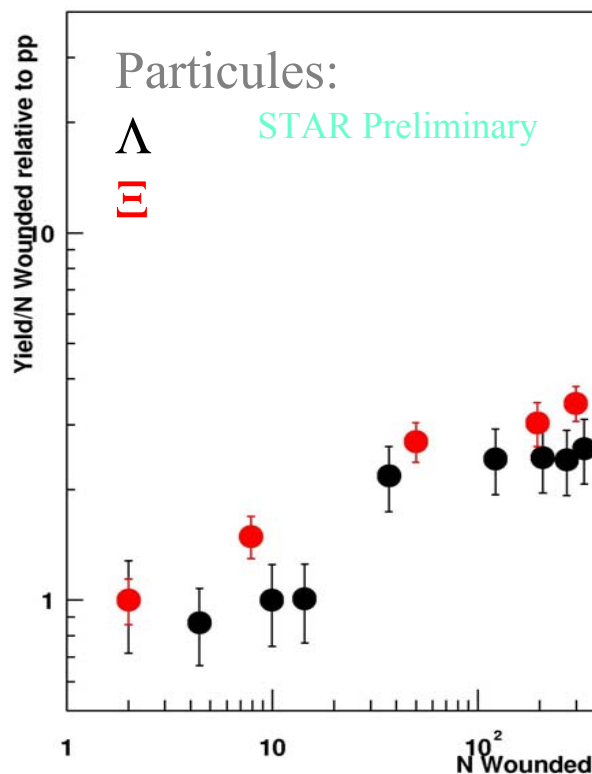
# Augmentation de l'étrangeté

## Prédictions :

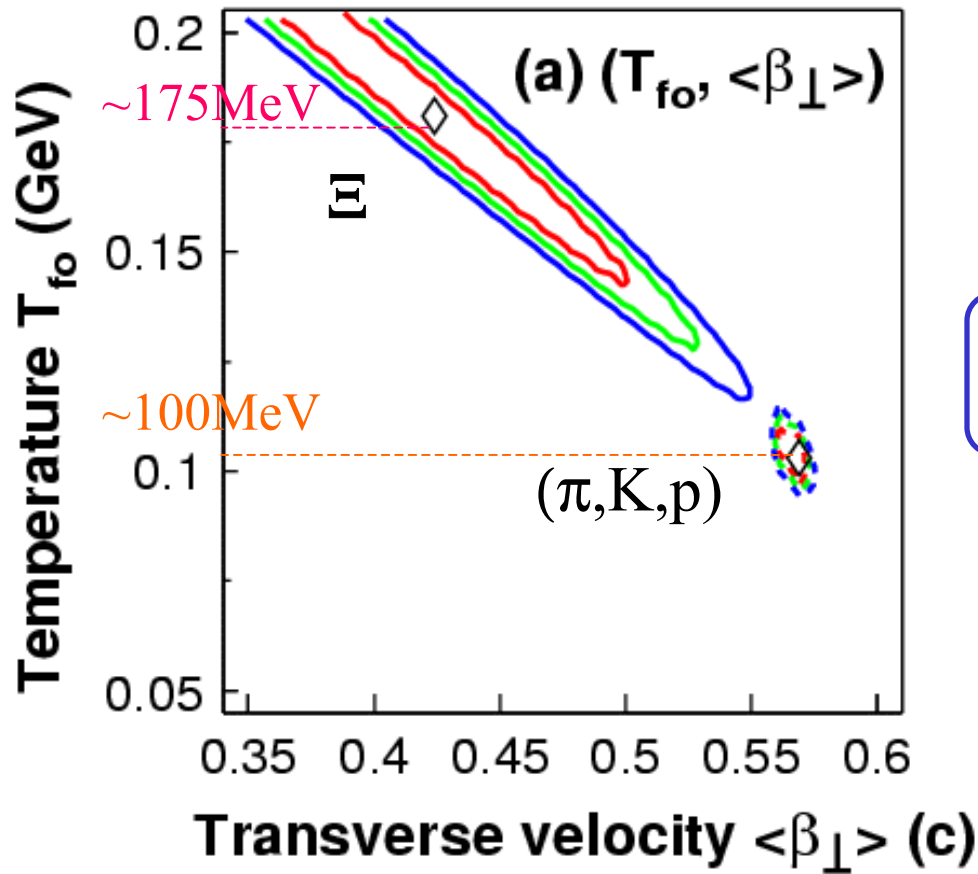
- augmentation des taux de particules étranges si plasma
- mode de production sensible à la nature du milieu
- sensibilité d'autant plus grande que la particule est étrange

On observe cette **augmentation** depuis pp à Au+Au.

Augmentation d'autant **plus marquée** pour les **anti-particules** par rapport au SPS  $\Rightarrow \mu_B$  diminue



# Comportement collectif - Flow transverse



Modèle hydro : émission par une source thermique - **flow transverse collectif**

Schnedermann, Sollfrank, Heinz  
Nucl-th/9307020

$\Xi$  et  $\Omega$  dévient d'un schéma classique de flow radial collectif

- $T_{fo_{th}}(\Xi) > T_{fo_{th}}(p, K, p)$
- $T_{fo_{thermique}}(\Xi) \sim T_{fo_{chimique}}$
- Les  $\Xi$  se **découplent plus tôt** du système : en accord avec leur faible section efficace d'interaction

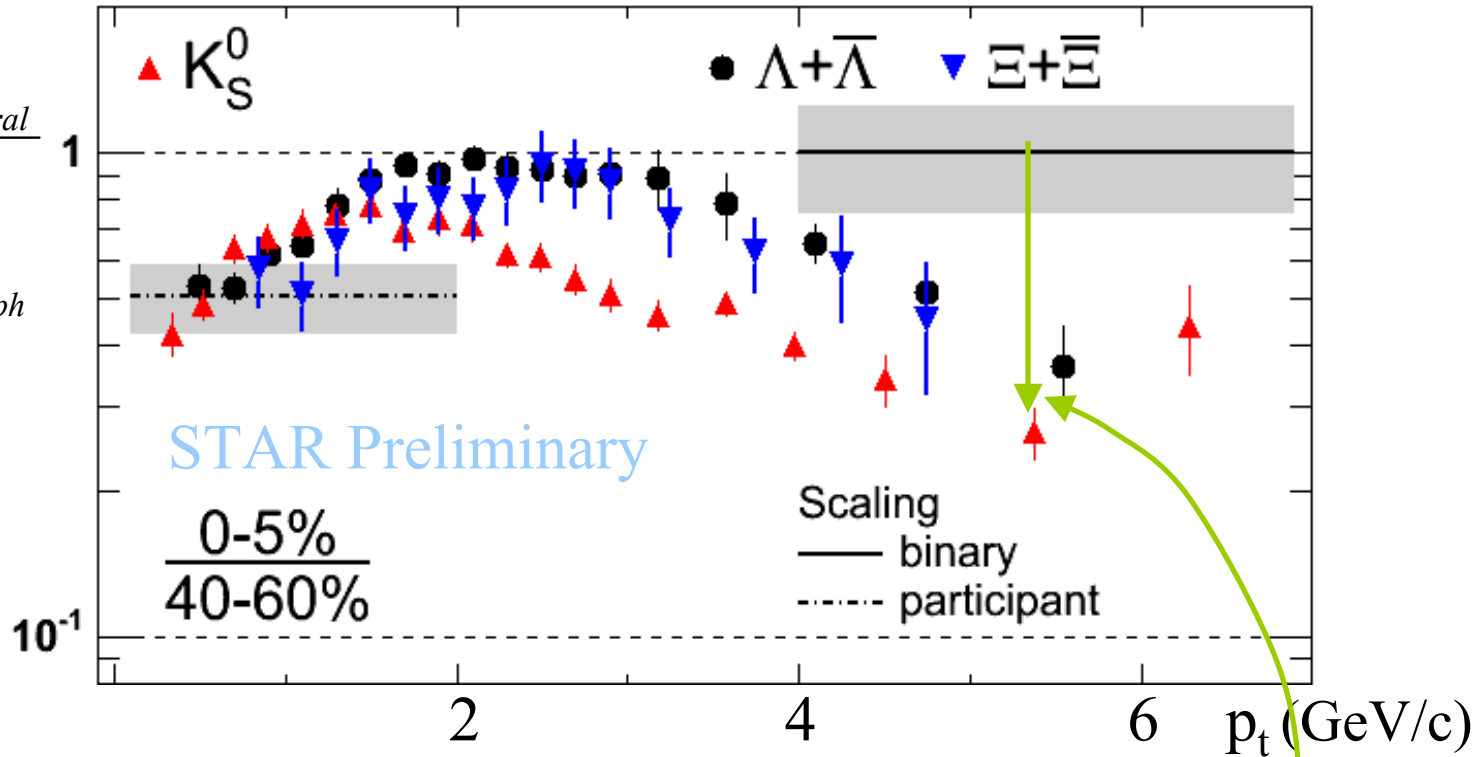
$$\sigma_{\Xi\Xi} \ll \sigma_{\pi\Xi} \ll \sigma_{\pi\pi}$$

Peut-on parler de flow partonique ?

# Rapport Central/Periphérique

STAR Preliminary (Au+Au; 200 GeV;  $|y| < 1.0$ )

$$\frac{\left( \frac{1}{\langle N_{bin} \rangle} \frac{dN}{dp_T} \right)_{Central}}{\left( \frac{1}{\langle N_{bin} \rangle} \frac{dN}{dp_T} \right)_{Periph}}$$



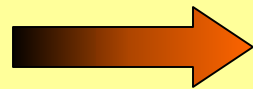
- Comportement qui semble être **dépendant du type de particules** : mésons/baryons

- **Une signature ?**  
**Jet quenching à haut  $p_t$**

Perte d'énergie des partons par radiations de gluons essentiellement en Au+Au => suppression hadronique à haut  $p_t$   
A fait l'objet d'une publication réunissant les quatre expériences au RHIC

# Conclusion

- **Augmentation d'étrangeté** : au delà de la constatation, comprendre quels phénomènes physiques peuvent en être la cause.
- Informations sur les **freeze-out chimique** et **thermique**
- Importance du **degré partonique** au rhic (flow + jet quenching)



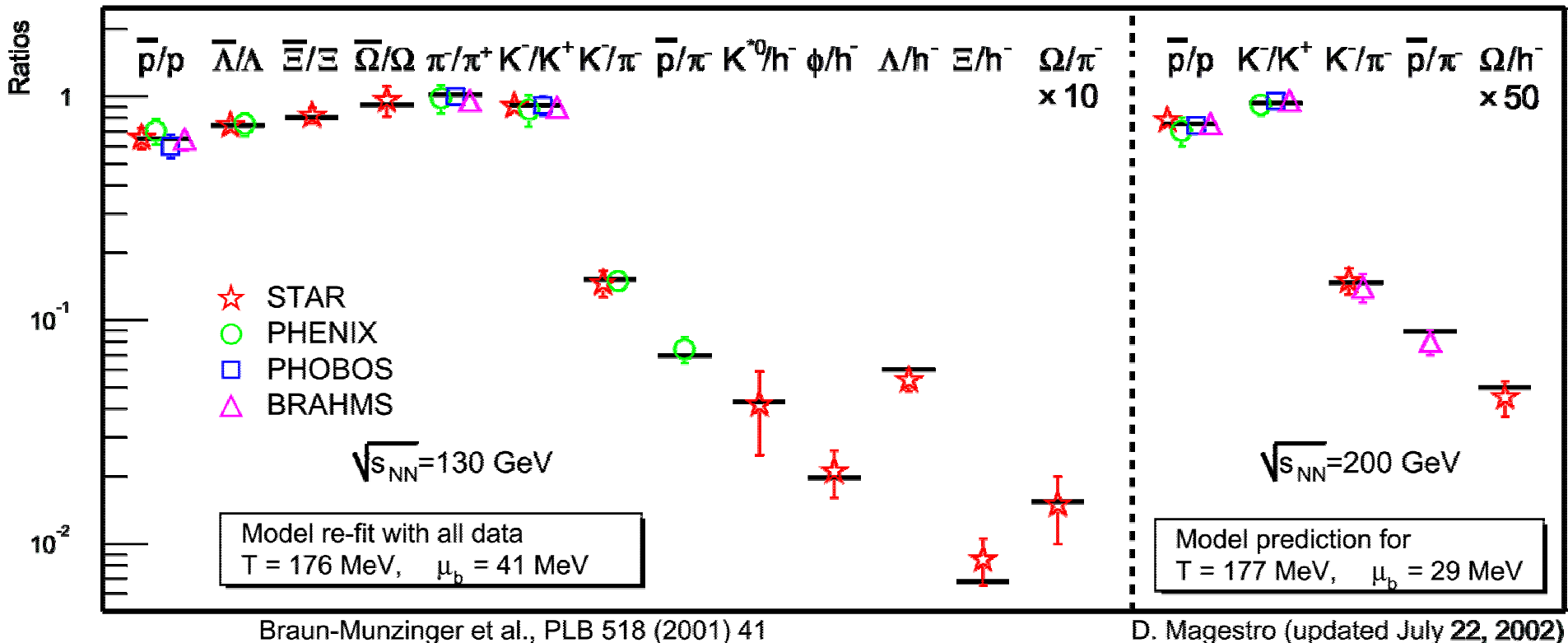
À poursuivre ...

**On observe des phénomènes compatibles avec le plasma mais la certitude passe par la mesure d'autres observables.  
Trouver une cohérence et une convergence des résultats**

Extra slides



# Modèles statistiques et rapports de particules



# Modèle de freeze-out chimique

Gaz idéal de résonances de hadrons

Densité d'une particule  $i$  :

$$\rho_i = g_i / (2\pi^2) T_{\text{ch}}^3 (m_i / T_{\text{ch}})^2 K_2(m_i / T_{\text{ch}}) \lambda_q^{Q_i} \lambda_s^{s_i}$$

avec  $\lambda_q = \exp(\mu_q / T_{\text{ch}})$ ,  $\lambda_s = \exp(\mu_s / T_{\text{ch}})$

$Q_i$  : 1 pour u et d, -1 pour  $\bar{u}$  et  $\bar{d}$

$s_i$  : 1 pour s, -1 pour  $\bar{s}$

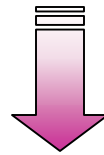
$g_i$  : d° liberté spin-isospin

$m_i$  : masse de la particule

$T_{\text{ch}}$  : température de FO chimique

$\mu_q$  : potentiel chim. des quarks légers

$\mu_s$  : potentiel chim. des quarks étranges



Décroissance de toutes les particules instables

Comparaison des rapports de particules expérimentaux et prédits

# Production d'étrangeté au SPS

