



Qu'avons-nous vu à RHIC ?

Séminaire au LAL – le 2 février 2004

Raphaël Granier de Cassagnac

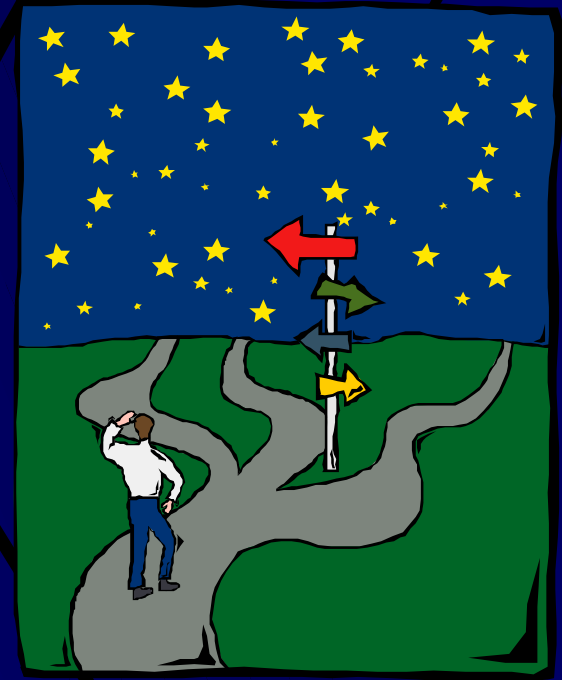
Laboratoire Leprince-Ringuet

Expérience PHENIX

Sur les traces du plasma de quarks et de gluons

● Le contexte

- La prédiction théorique
- Quelques jalons historiques
- RHIC et ses expériences



● Les collisions Or+Or et d+Or à 200 GeV/nucléon

- I. Les conditions initiales - Sont-elles réunies ?
- II. Les premiers instants - Plasma or not plasma ?
- III. L'explosion finale - Que dire de toutes ces particules ?

La prédiction QCD

Les quarks et les gluons sont confinés dans les hadrons...

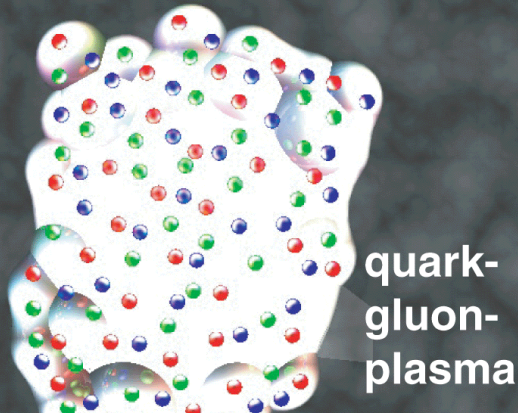
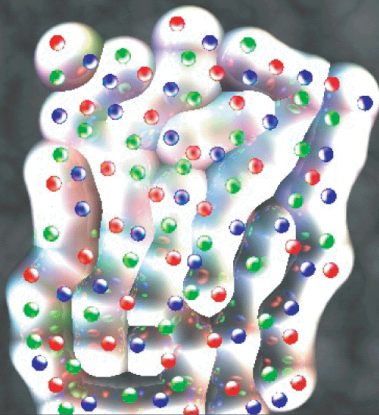
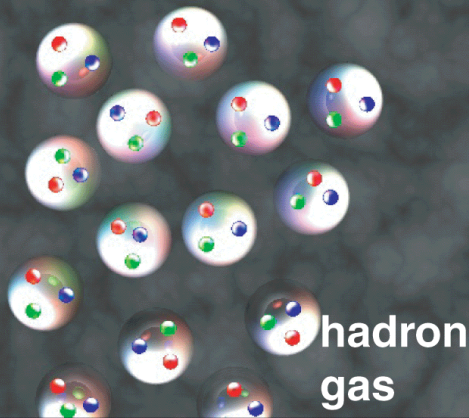
Mais ils paraissent libres à haute énergie...

« liberté asymptotique »

- Découverte des partons 1968
- Renormalisation de a_s

Ils doivent se libérer dans un milieu de haute densité d'énergie...

« déconfinement »



Gaz de hadrons $\xrightarrow{T > T_c}$ Plasma de quarks et de gluons

Soyons quantitatifs...

● Calcul de chromodynamique quantique

- Sur réseau
- À $n_{\text{Baryon}} = 0$!

● Transition de phase

- Confinement
- Déconfinement

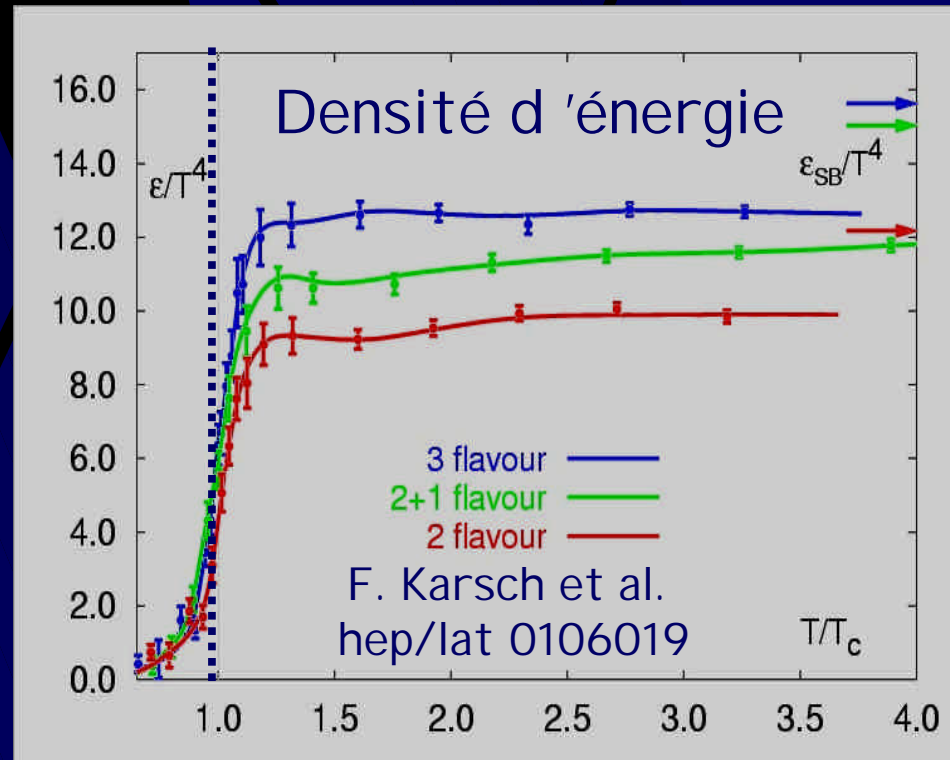
● @ $T_c = 154 \pm 8 \text{ MeV}$

● @ $T_c = 173 \pm 8 \text{ MeV}$

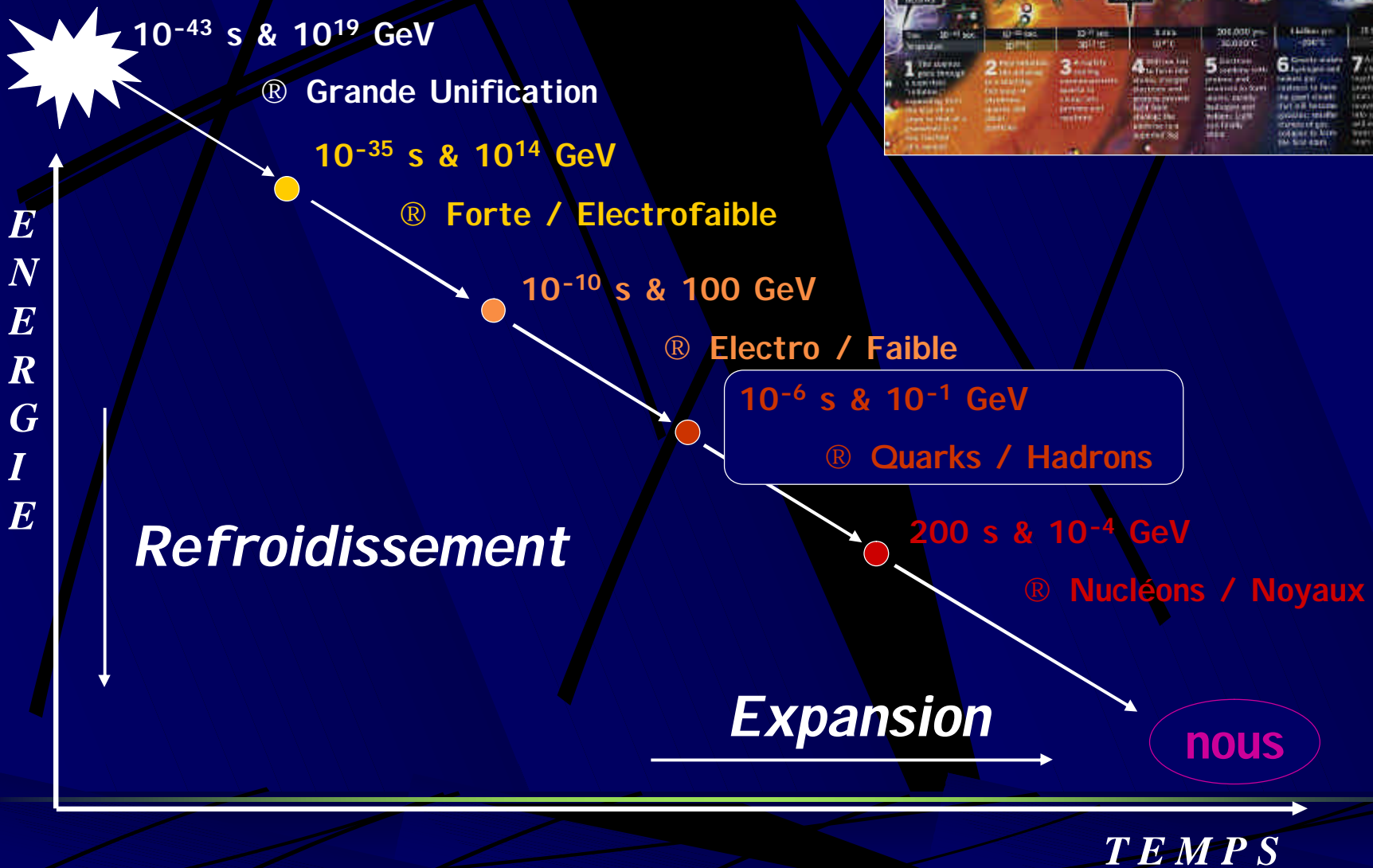
- $T_c \sim 10^{13} \text{ K}$

- ($T_{\text{soleil}} \sim 10^8 \text{ K}$)

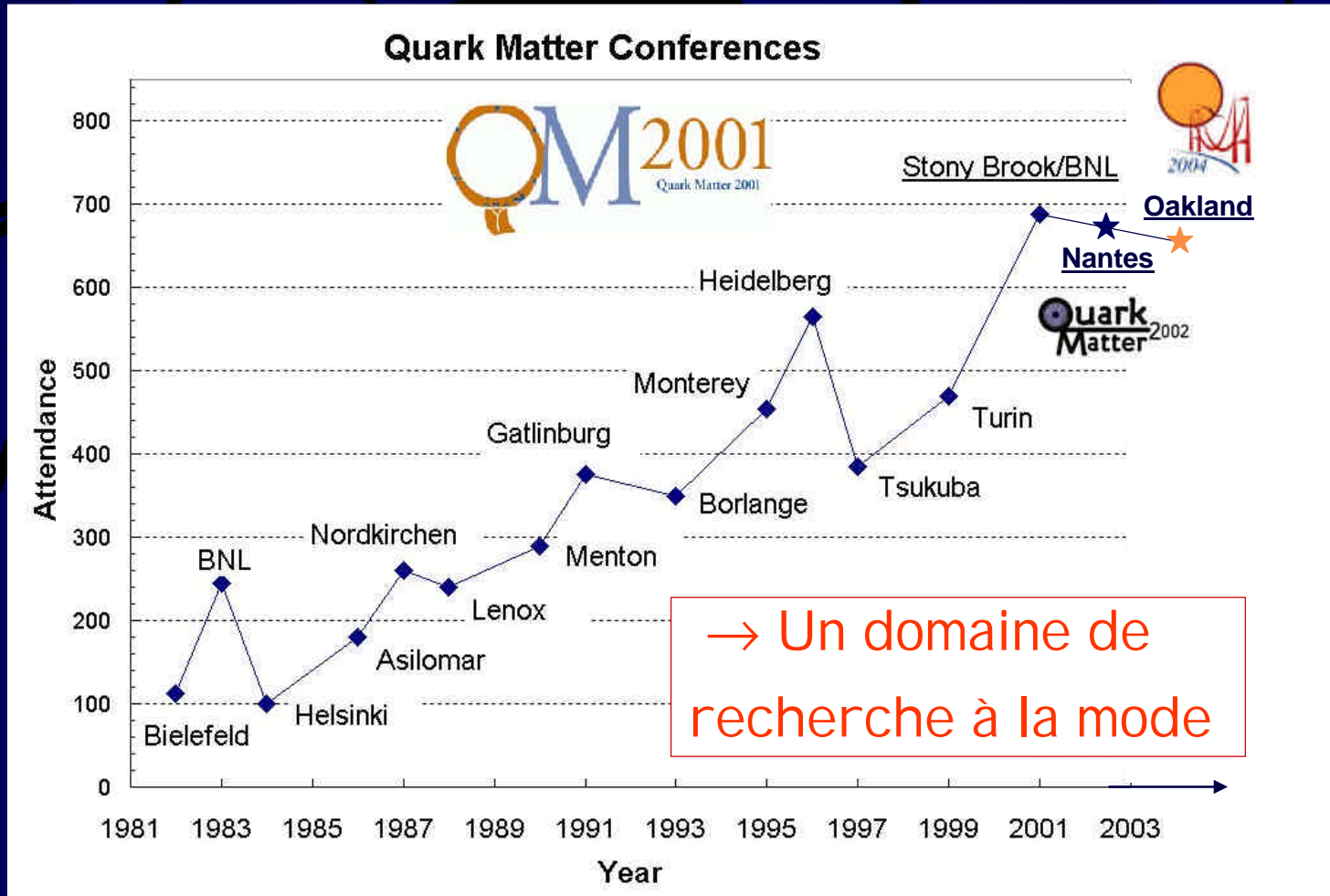
● @ $\varepsilon_c = (6 \pm 2)T^4 = 0,7 \pm 0,3 \text{ GeV} / \text{fm}^3$



Jalons historiques (I)



Jalons historiques (II)



QM2002 = <http://alice-france.in2p3.fr/qm2002/>

QM2004 = <http://www.lbl.gov/nsd/qm2004/>

Jalons historiques (III)

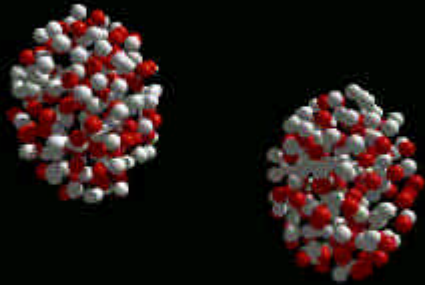
© RQMD

1986 BNL - AGS 4 GeV

1994 CERN - SPS 20 GeV

C
I
B
L
E

F
I
X
E



épisode 1



épisode 2

C
I
B
L
E

F
I
X
E

2000 BNL - RHIC 200 GeV

2007 ? CERN - LHC 5 TeV

C
O
L
L
I
S
I
O
N
S



épisode 3



épisode 4

C
O
L
L
I
S
I
O
N
S

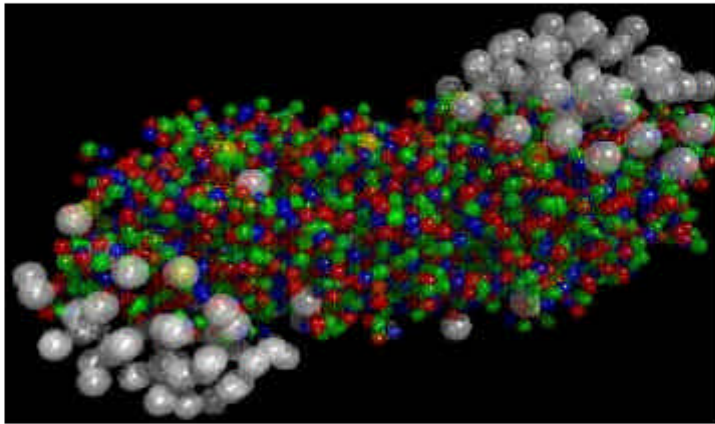
Résumé de l'épisode 2



Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
Europäische Organisation für Kernforschung
Laboratoire Européen pour l'Accélération de Particules
European Laboratory for Particle Physics
Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik
Laboratorio Europeo per l'Accelerazione di particelle

PRESS RELEASE

New State of Matter created at CERN



At a special seminar on 10 February, spokespersons from the experiments on CERN's Heavy Ion programme presented compelling evidence for the existence of a new state of matter in which quarks, instead of being bound up into more complex particles such as protons and neutrons, are liberated to roam freely.

Theory predicts that this state must have existed at about 10 microseconds after the Big Bang, before the formation of matter as we know it today, but until now it had not been confirmed experimentally. Our understanding of how the universe was created, which was previously unverified theory for any point in time before the formation of ordinary atomic nuclei, about three minutes after the Big Bang, has with these results now been experimentally tested back to a point only a few microseconds after the Big Bang.

- Annonce faite le 10 février 2000
- Résultats combinés de plusieurs expériences...
- Mais le consensus n'est pas général...

Paire charm / $\overline{\text{charm}}$

Température nulle

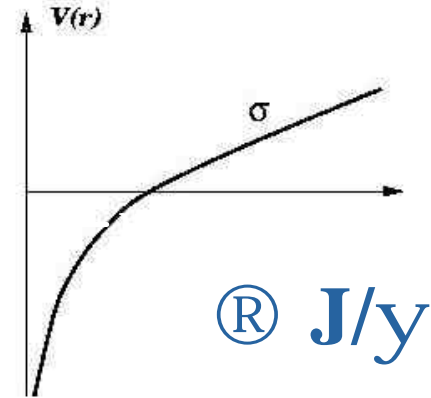
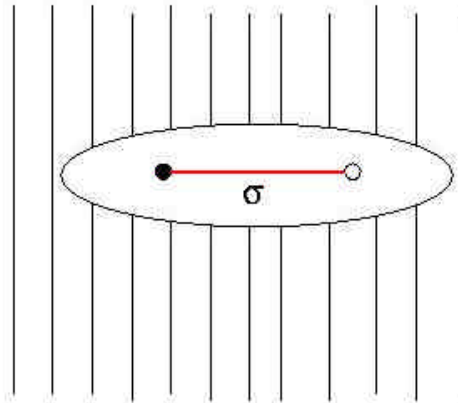


Température de déconfinement : T_c

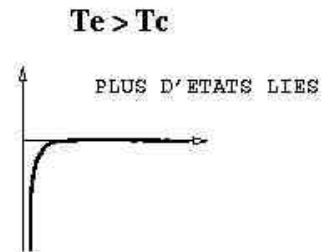
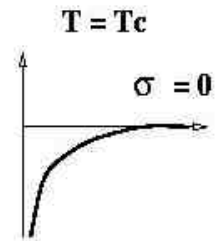
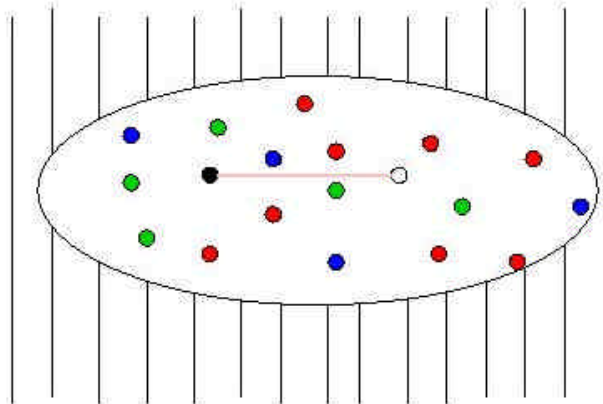


Température «d'écrantage» : T_e

CHARMONIUM



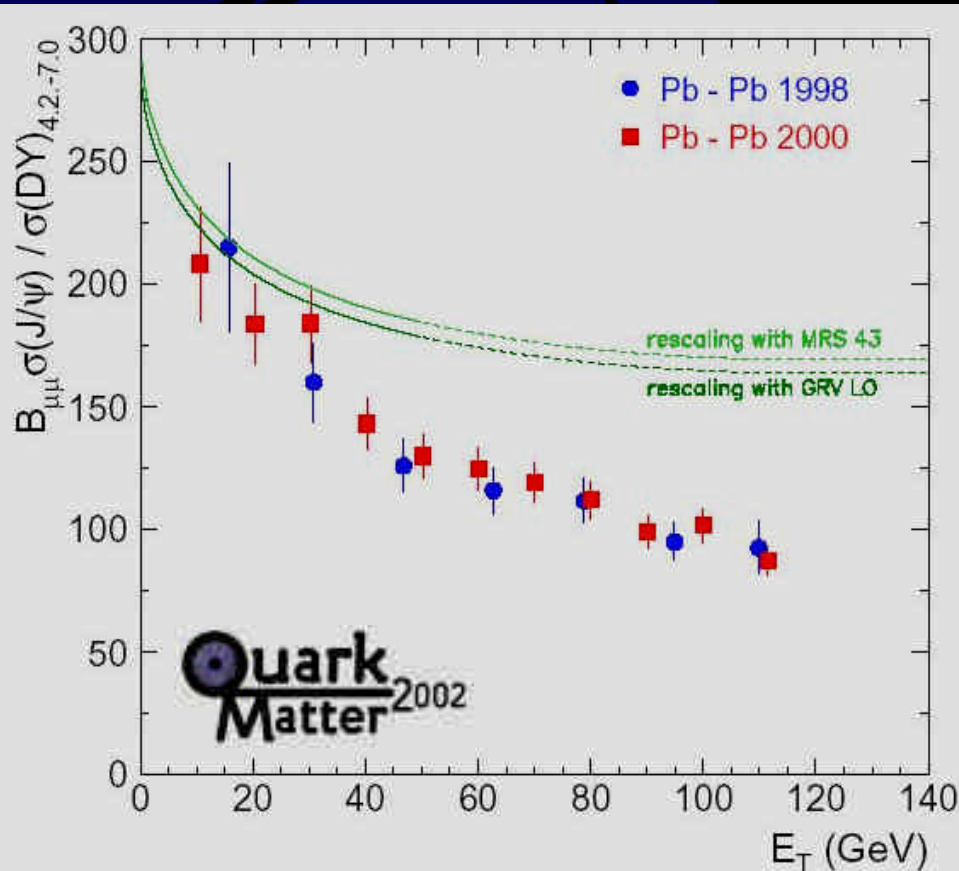
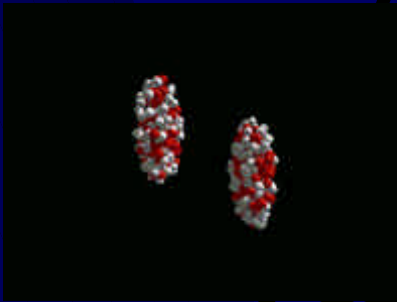
DECONFINEMENT --> ECRANTAGE



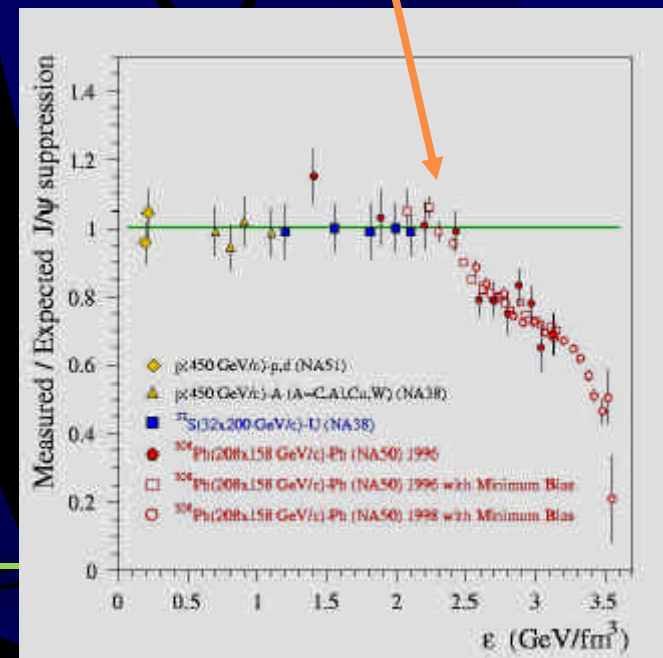
$T_e(\Psi') < T_e(\chi) < T_e(\Psi) < T_e(Y)$

Suppression du J/ψ

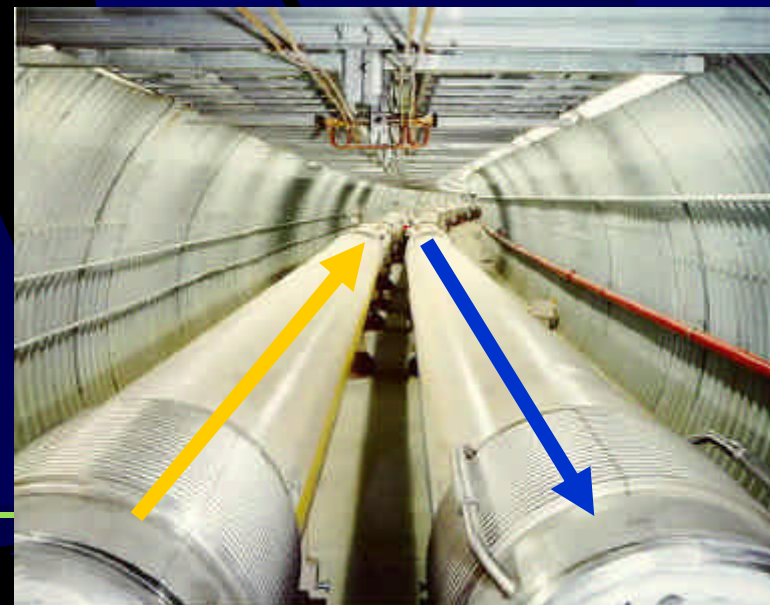
Suppression du J/ψ dans NA50



- Paires $c\bar{c}$ se dissocient dans le PQG
- J/ψ supprimés @ $e > 2,5 \text{ GeV}/\text{fm}^3$



Épisode 3 : RHI C



- Relativistic Heavy Ion Collider
- 3,9 km de circonférence
- de p + p (polarisés)
 - $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - 500 GeV
- jusqu'à Or + Or
 - $2 \times 10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - 200 GeV/nucleon



Quatre expériences

PHOBOS

BRAHMS

STAR

PHENIX

BOOSTER

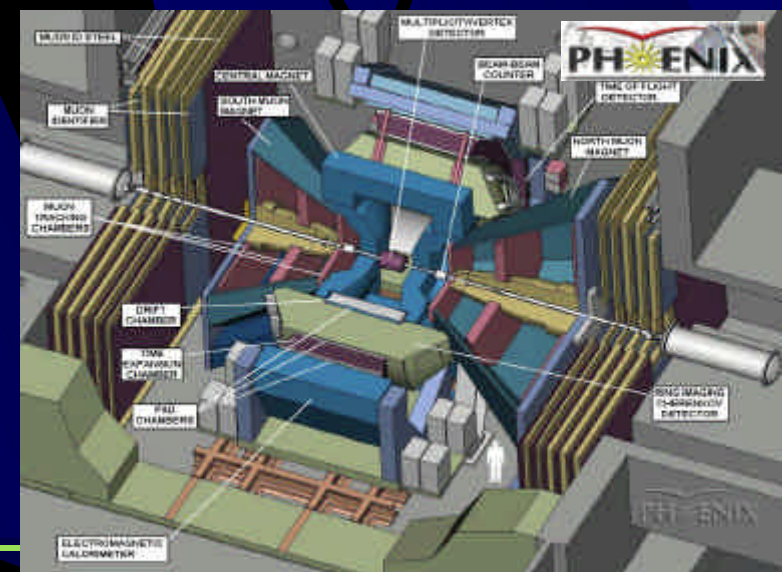
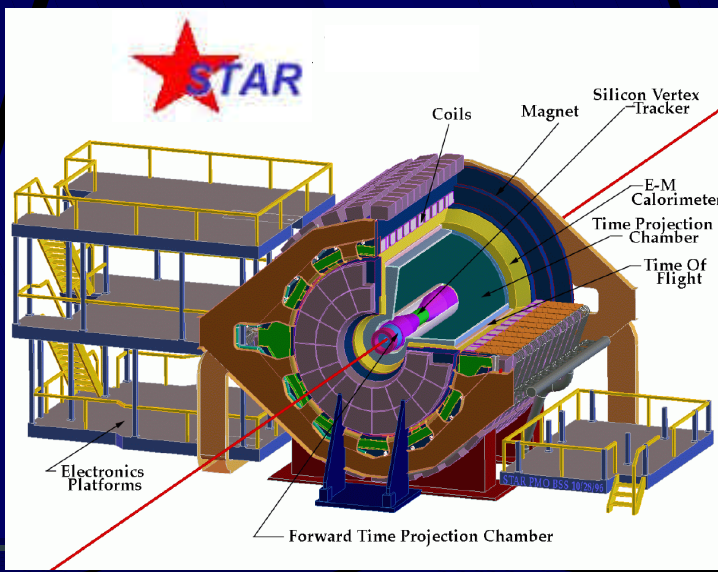
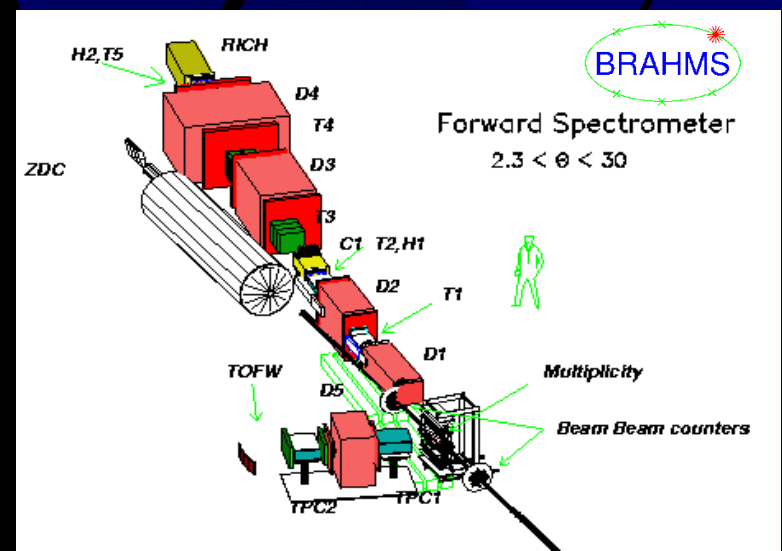
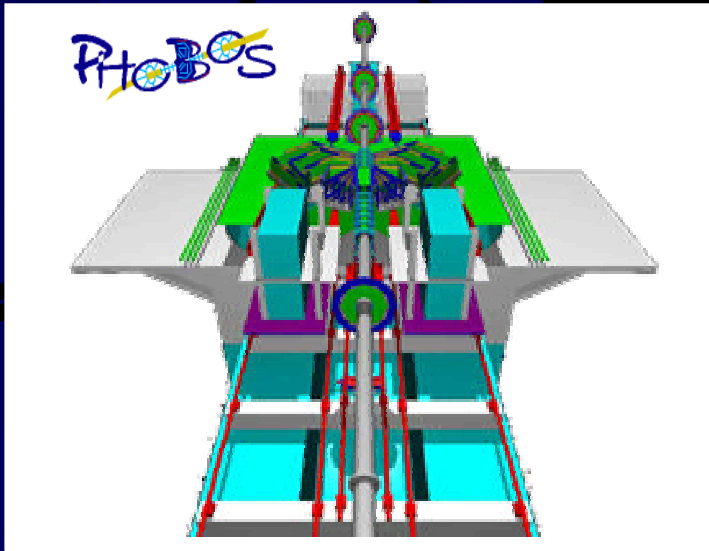
G-2

LINAC

AGS



Quatre expériences



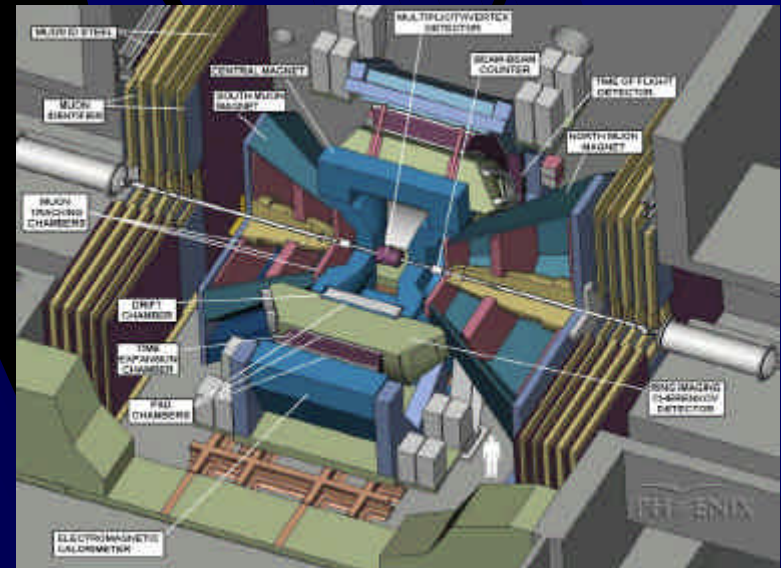
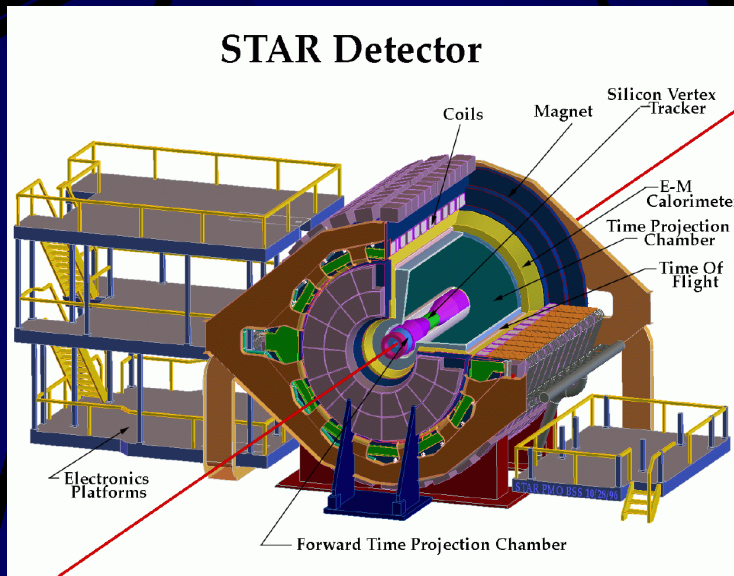
Deux grosses expériences



Une grande TPC
Si-Vertex Tracker
RICH, EM Cal, TOF



Hautes résolutions et taux
2 bras avant (m) + 2 bras centraux
(TEC, RICH, EM Cal, TOF)



- Observables hadroniques
- Grande acceptance, jets
- Analyse "event-by-event"

- Muons, électrons, photons...
- Détection simultanée des sondes durs (PQG)

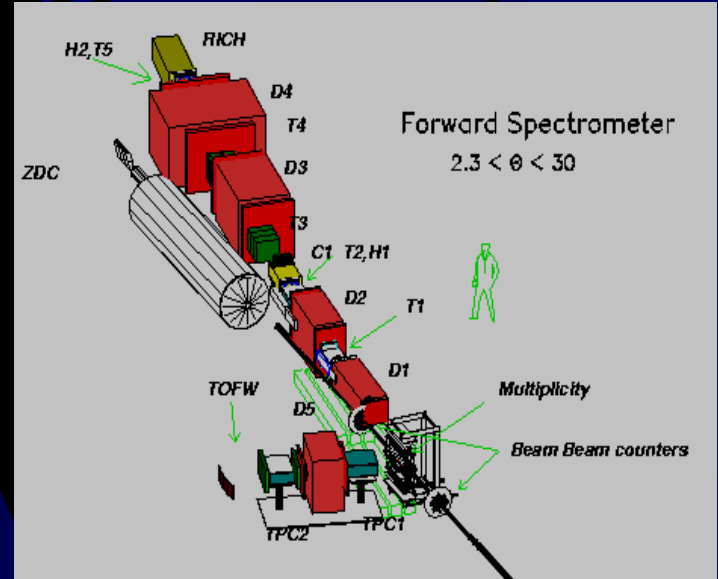
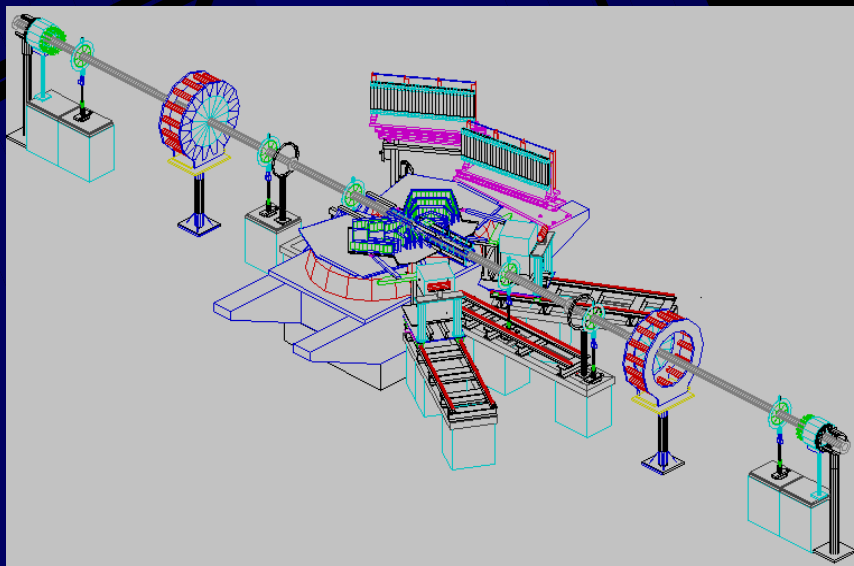
Deux plus petites...



Silicium : sur « 4p »

+ spectromètre « de table »

2 spectromètres
ajustables

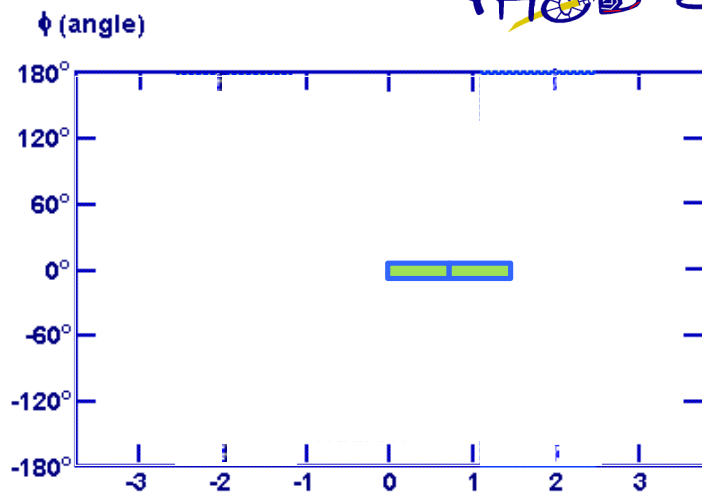


- Correlations de particules
- Multiplicité sur h $[-5,4;5,4]$

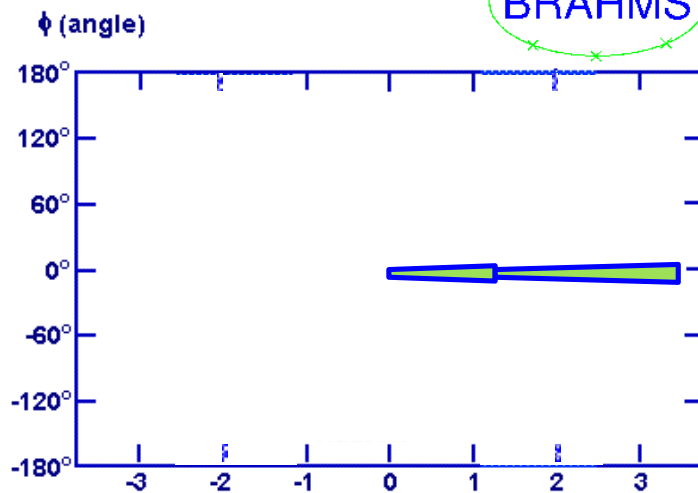
- Bonne identification sur couverture rapidité $[0,4]$

Acceptances des particules identifiées

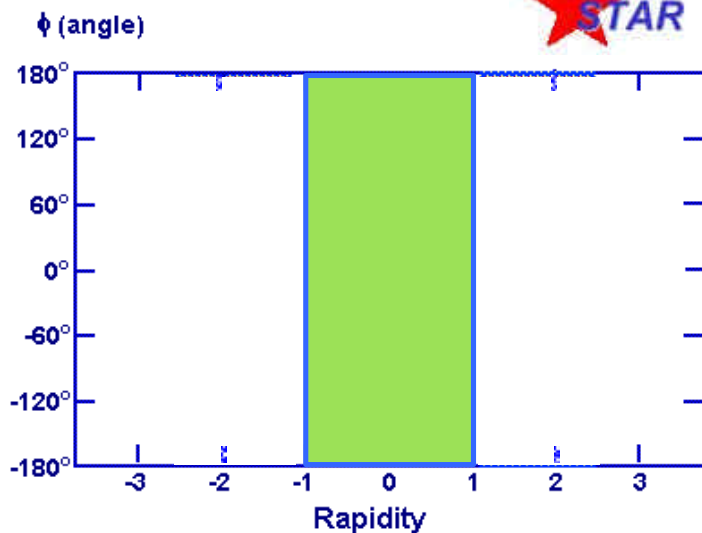
PHOBOS



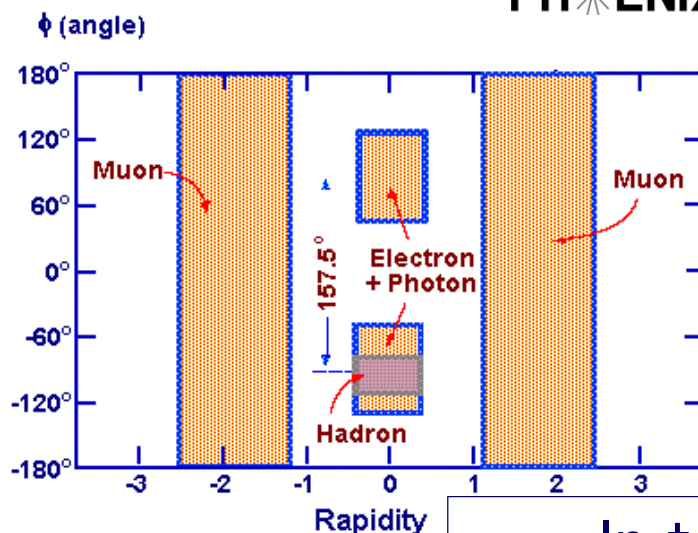
BRAHMS



STAR



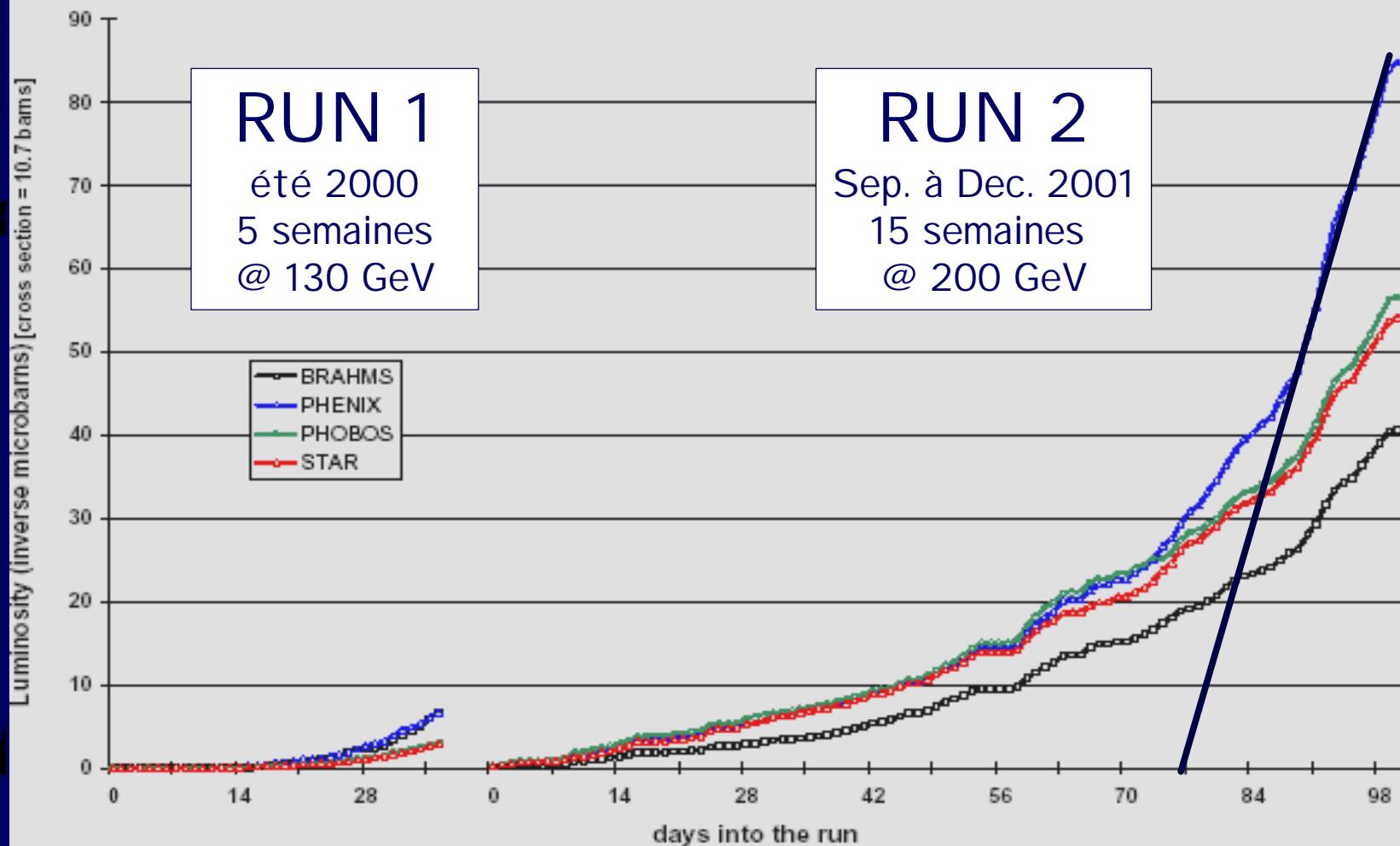
PHENIX



$$\eta = -\ln \tan \theta/2$$

Luminosité Or + Or

RHIC Experiment Integrated Luminosity – Gold Ion Operations
fy'00, & fy01-02

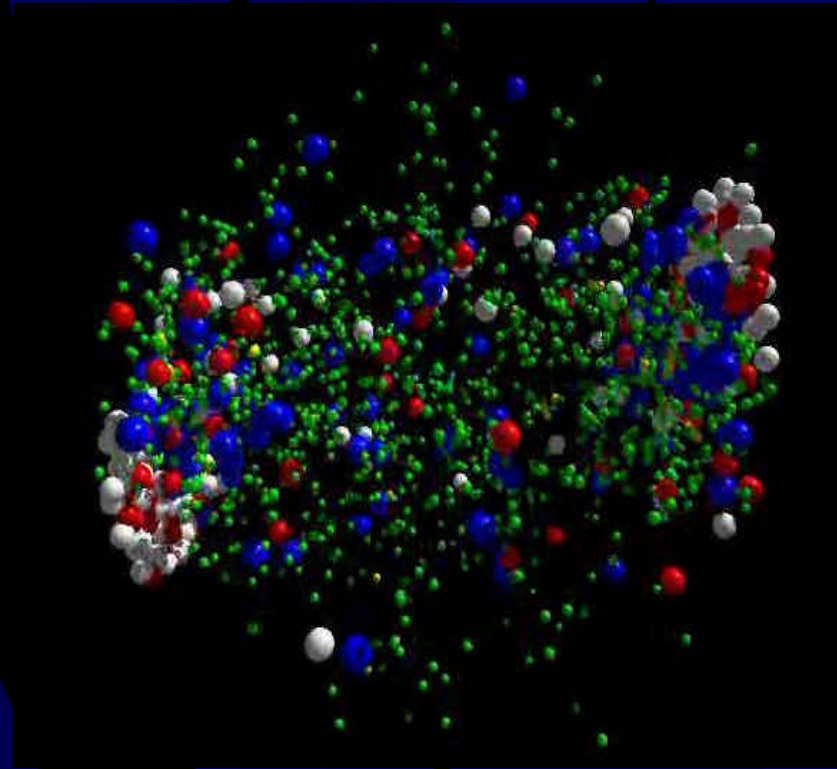
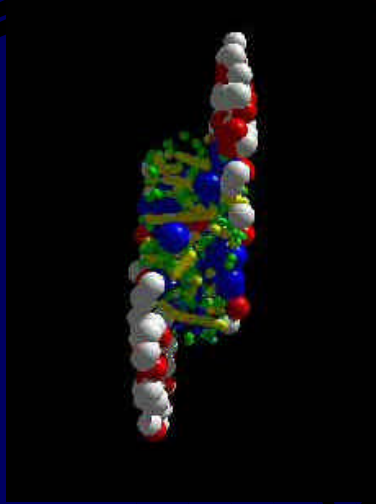
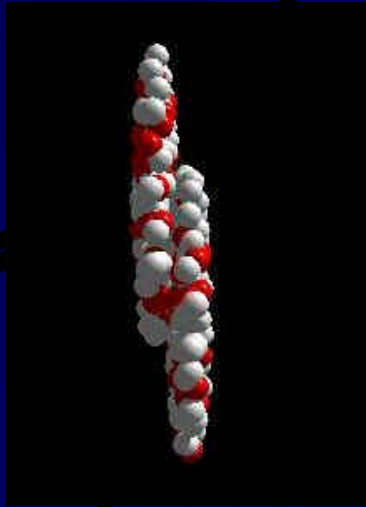


+1 jour @ 19,6 GeV

Collisions or+or @ 200 GeV/nucléon



Le petit bang...



I. Conditions initiales

- Transparence baryonique
- Densité d'énergie



II. Premiers instants

- Jet quenching !
- Photons ?
- J/ψ ?



III. Hadronisation & refroidissement

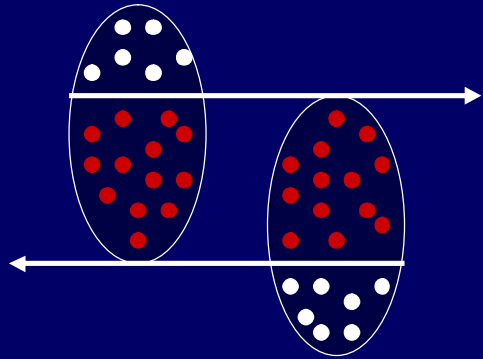
Avertissements

- **Enormément d'observables !**
 - Une (petite) sélection de résultats...
- **Certains résultats sont préliminaires !**
 - La plupart de ceux signalés par le logo :
- **Votre séminariste est biaisé !**
 - Biais personnels (je ne comprends pas tout...)
 - d'expérimentateur (surtout pas la théorie)
 - de rhicard et de phenixien...
- **Mais j'ai essayé de faire de mon mieux...**
 - Insister sur les indices du PQG...

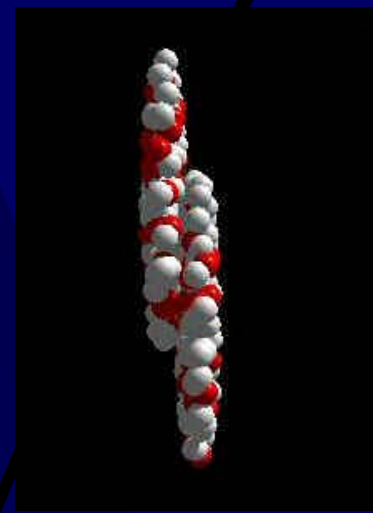
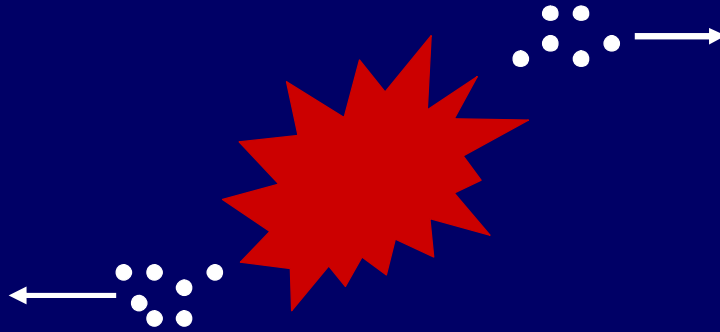


0. Déterminer la centralité

Avant

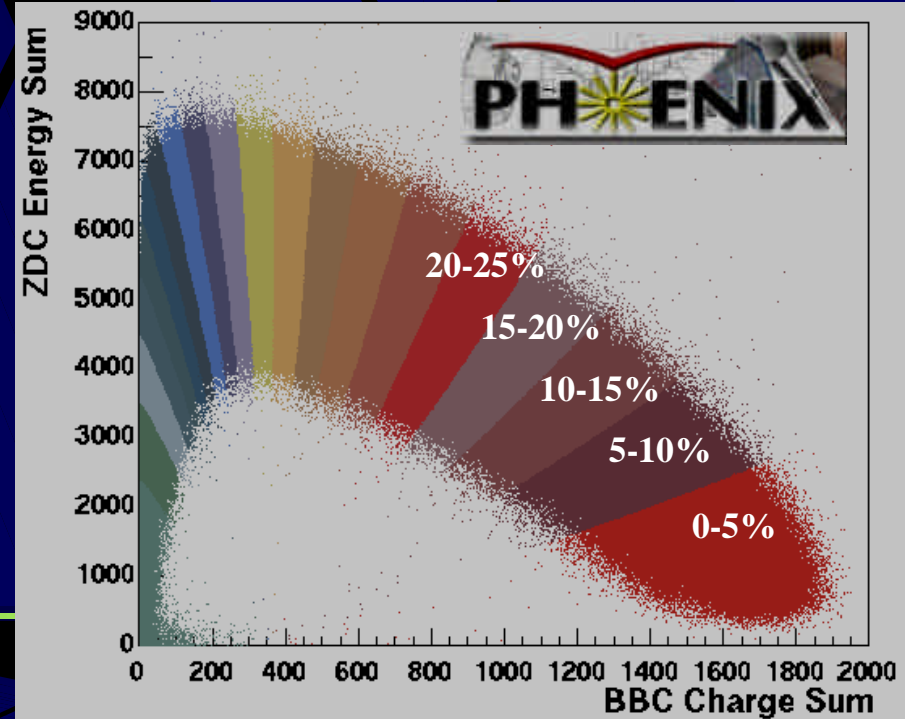


Après

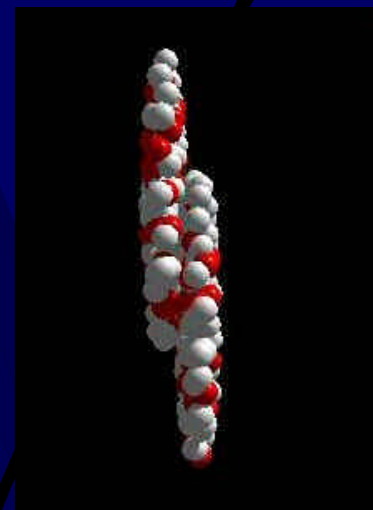


- Les spectateurs (neutres) sont mesurés par 2 calorimètres à zéro degré (communs aux 4 exp.)
- Les participants redistribuent leur énergie dans tous les autres détecteurs, par exemple les Beam-Beam Counters (PHENIX)

➤ Classes de centralités



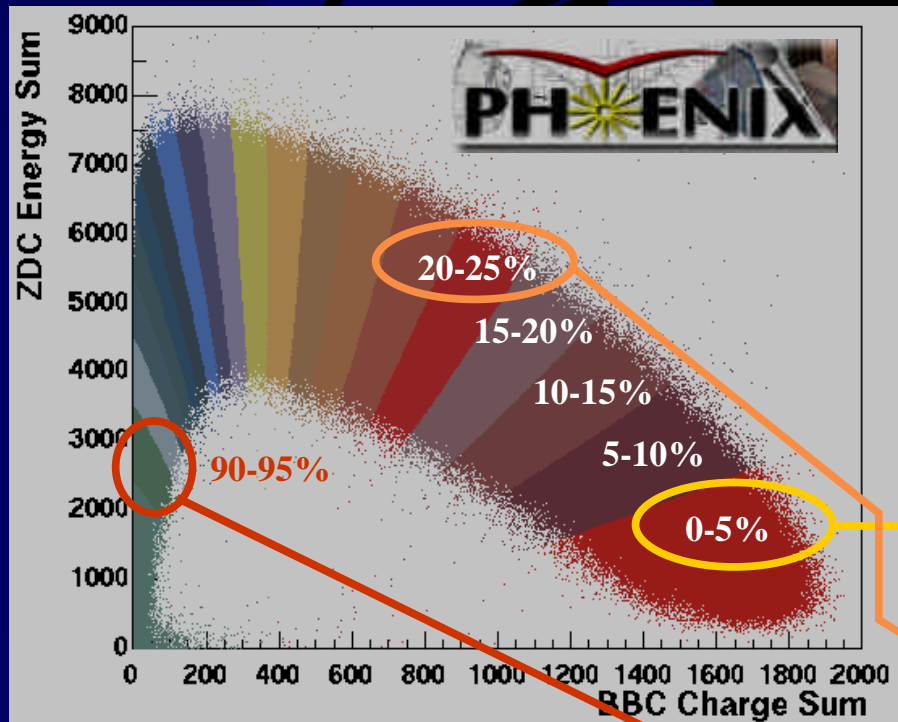
Déterminer les nombres de participants et de collisions



Paramètre d'impact



B (fm)	N_{part}	N_{coll}
2,3 $\pm 0,9$	353 ± 19	1091 ± 102
7,1 $\pm 0,5$	181 ± 16	422 ± 65
14,5 $\pm 0,3$	4.1 ± 2.5	2.8 ± 2.2



+ Modèle de Glauber (géométrie, densité nucléaire, s_{NN} ...)

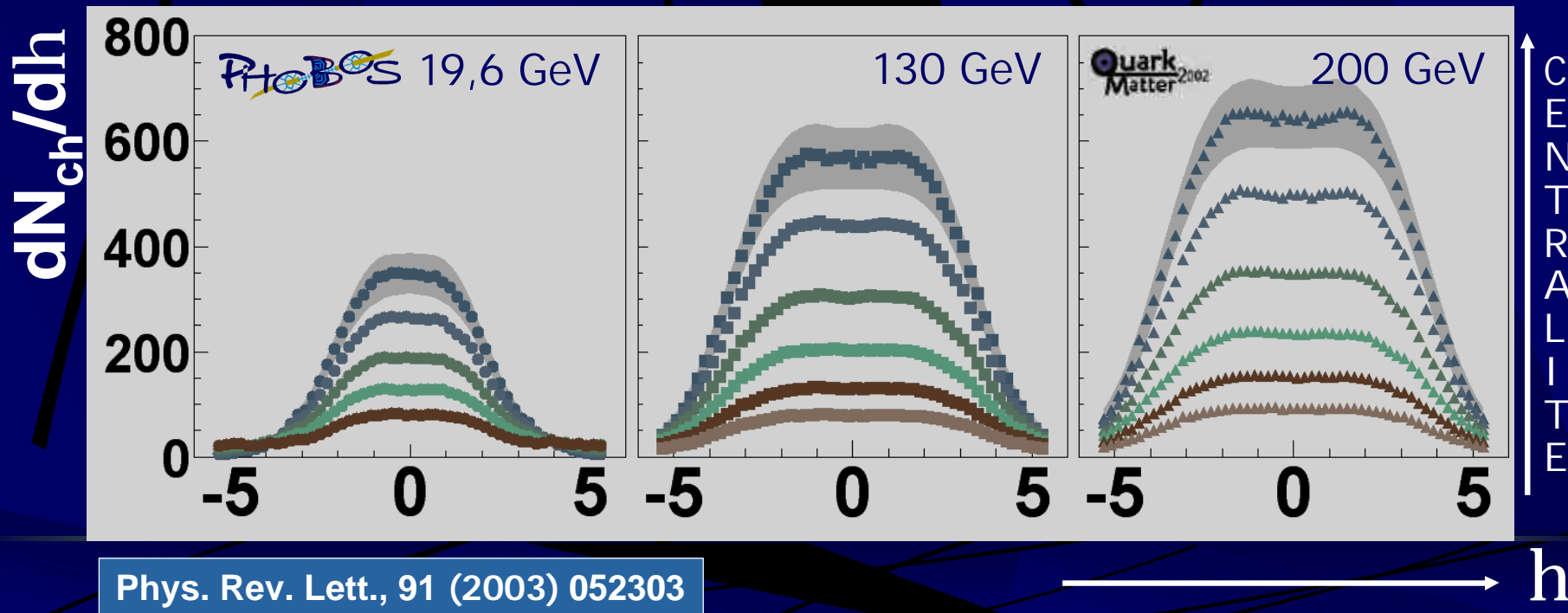
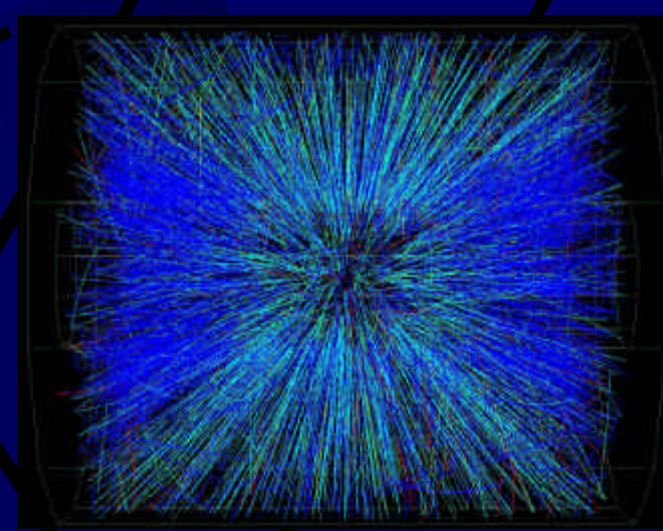
- Paramètre d'impact
- Nombre de participants
- Nombre de collisions...

I. Conditions initiales

La multiplicité

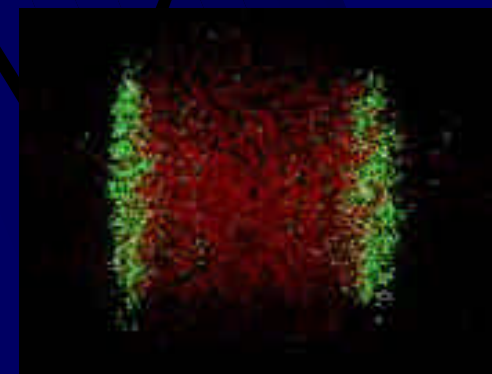
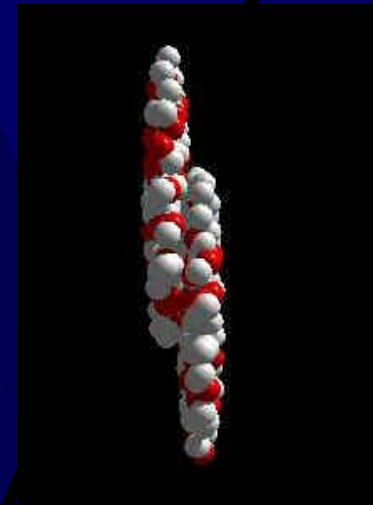
● $dn_{ch}/dh|_{h=0} \text{ (R)} \text{ } 670$
(mesures dans 4 expériences)

● $N_{total} \sim 6000$ particules !

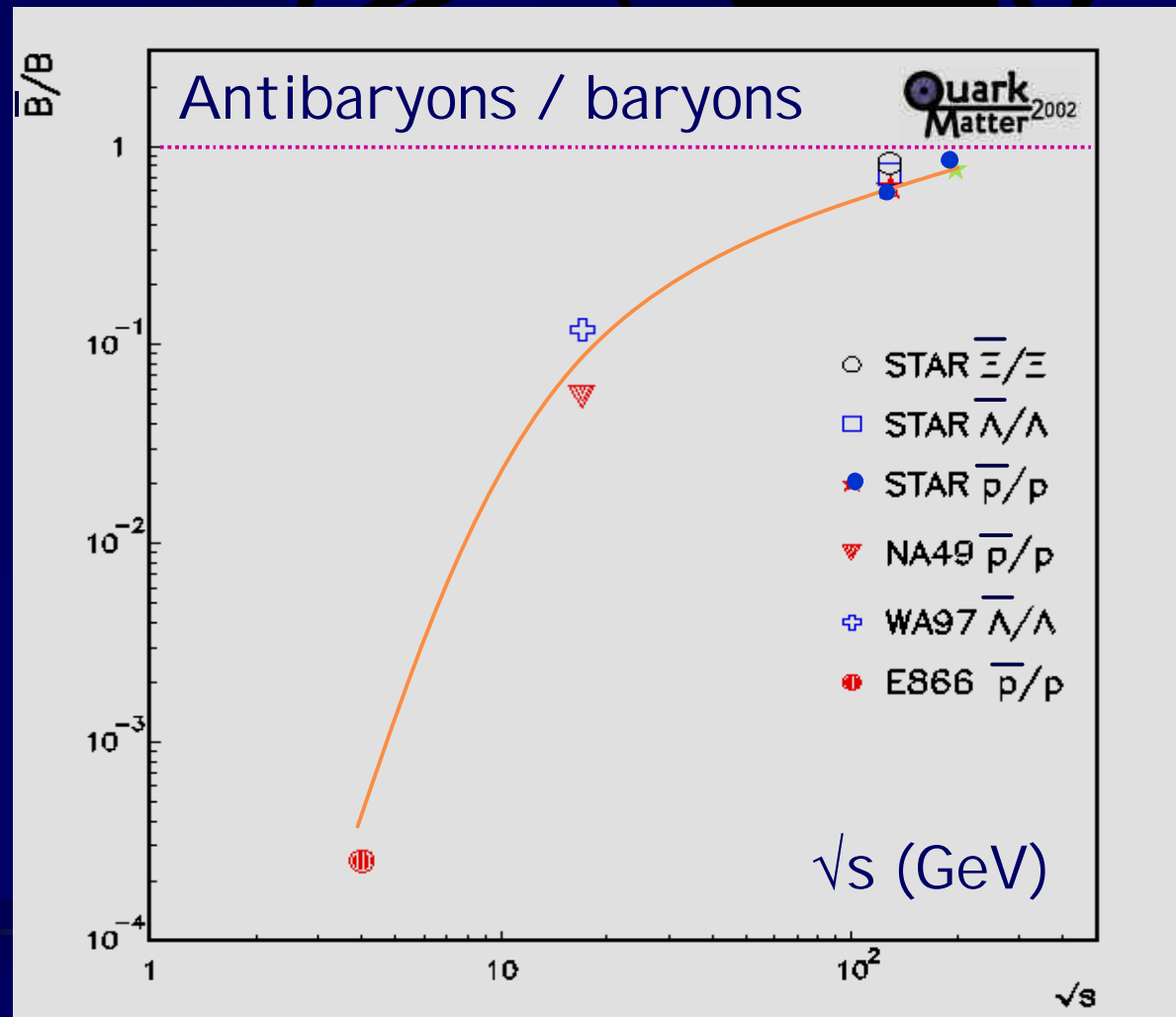


Le nombre baryonique

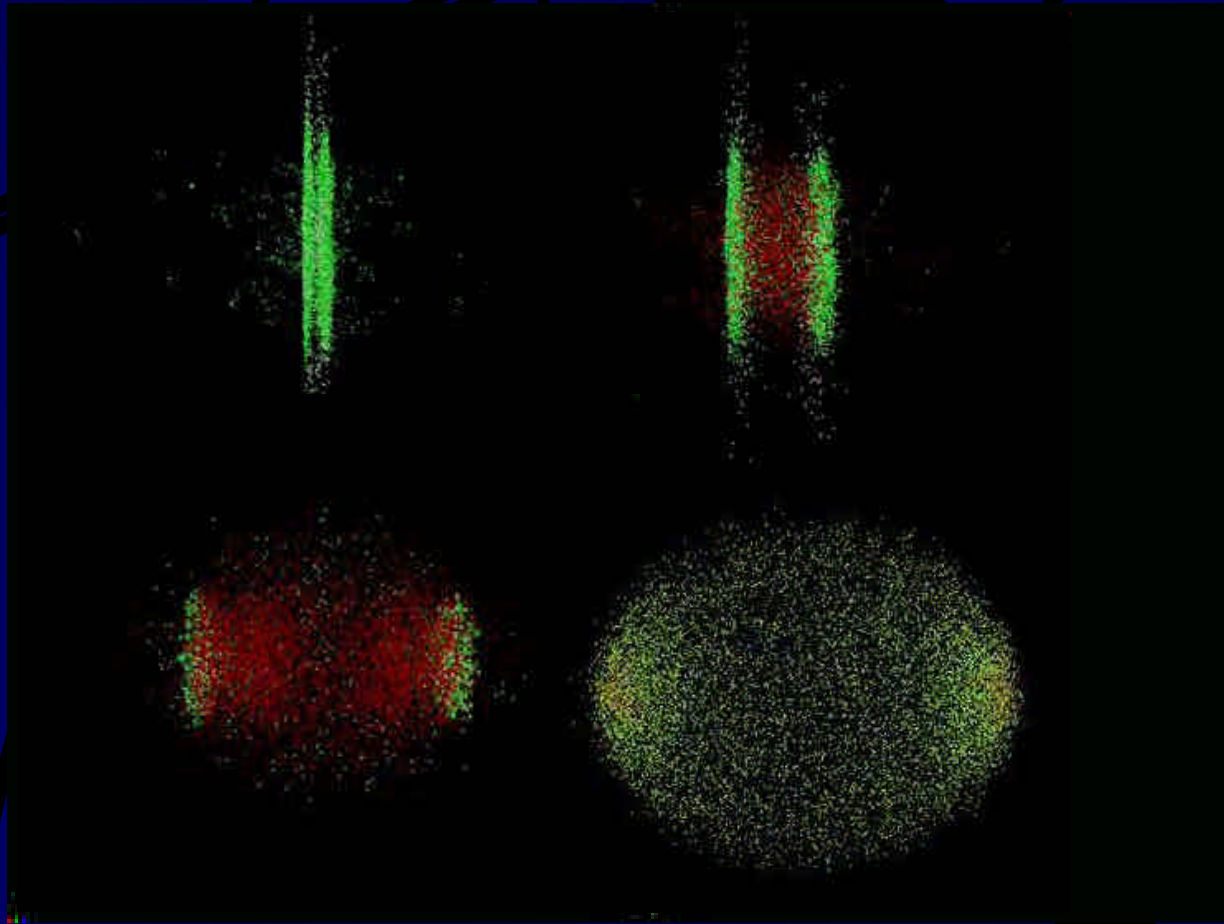
80 % des protons proviennent de paires $p+\bar{p}$
(dans le plan transverse de la réaction)



« Transparence »
baryonique $n_B \rightarrow 0$
Bons pour les
calculs théoriques !



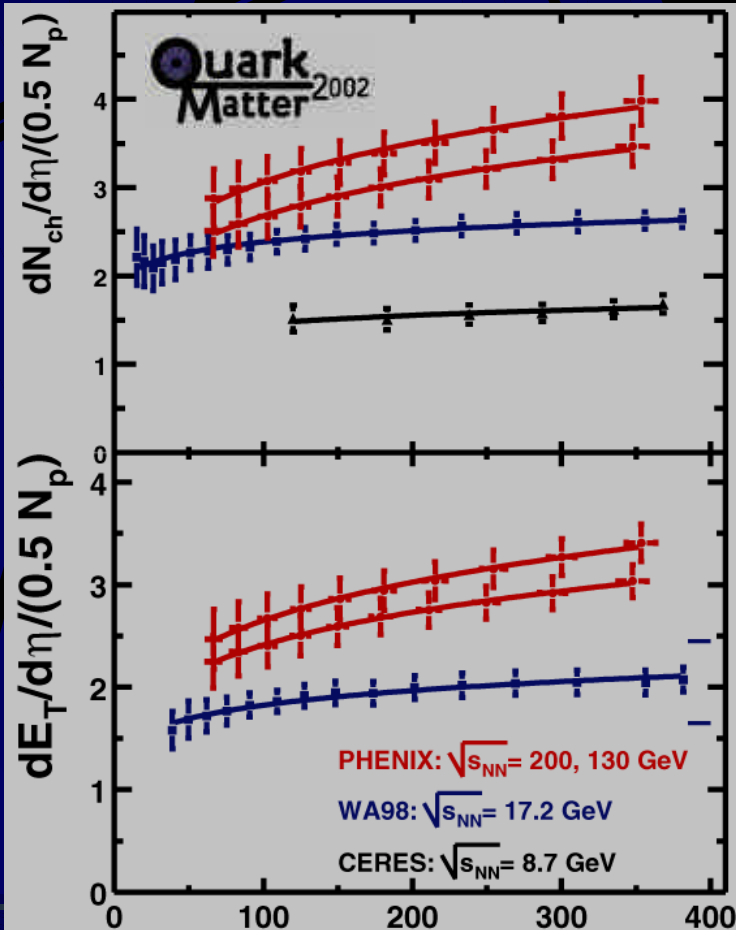
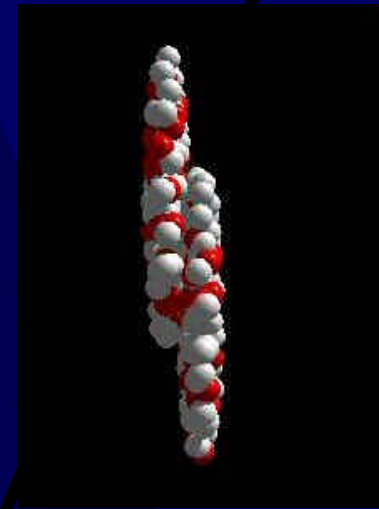
La transparence baryonique



Les baryons initiaux se retrouvent majoritairement à l'avant

La densité d'énergie

~ Énergie transverse émise
lors de la collision @ $h=0$



Nombre de participants

Formule de Bjorken

$$\varepsilon = \frac{1}{pR^2\tau_0} \times \left. \frac{dE_T}{dy} \right|_{y=0}$$

τ_0 temps de formation
de 0,1 à 1 fm/c

R = rayon nucléaire
 $1,18 A^{1/3}$ fm

$\varepsilon > 6$ GeV/fm³

11. Les premiers instants

● Conditions initiales réunies !

- n_{Baryon} proche de zéro
- $\varepsilon > 6 \text{ GeV} / \text{fm}^3 > \varepsilon_{\text{Critique}}$

● Alors, plasma or not plasma ?

● 3 sondes durs :

1. Jet quenching ?

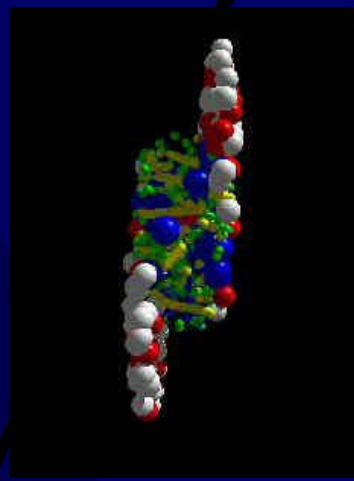
- Pas assez d'énergie au SPS, vu à RHIC !

2. Photons directs ?

- Aperçu au SPS ? Bientôt à RHIC ?

3. Suppression des quarkonia ?

- Vu au SPS ! Bientôt à RHIC ?

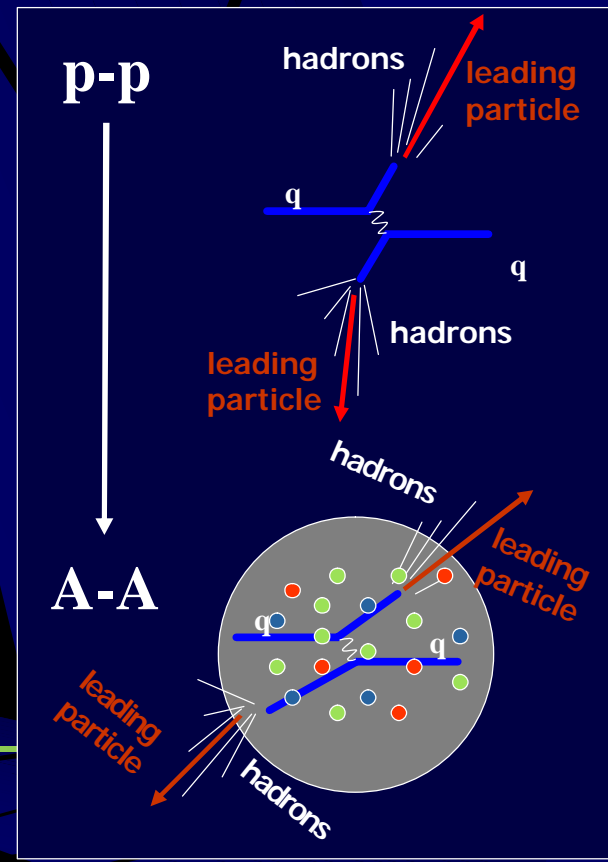
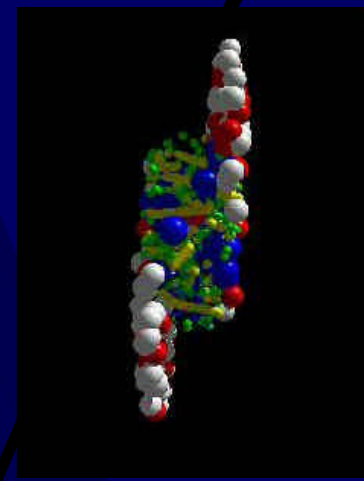


1. Le « Jet quenching »

● Grandes impulsions transverses

- Particules produites dans des processus durs (calculables) sensibles au milieu traversé
- $p_T > 2$ GeV de fragmentation « leading particles »
- En traversant un milieu dense, le parton perd de l'énergie
- Le p_T est affaibli !
- Comparer (or+or) avec (p+p)

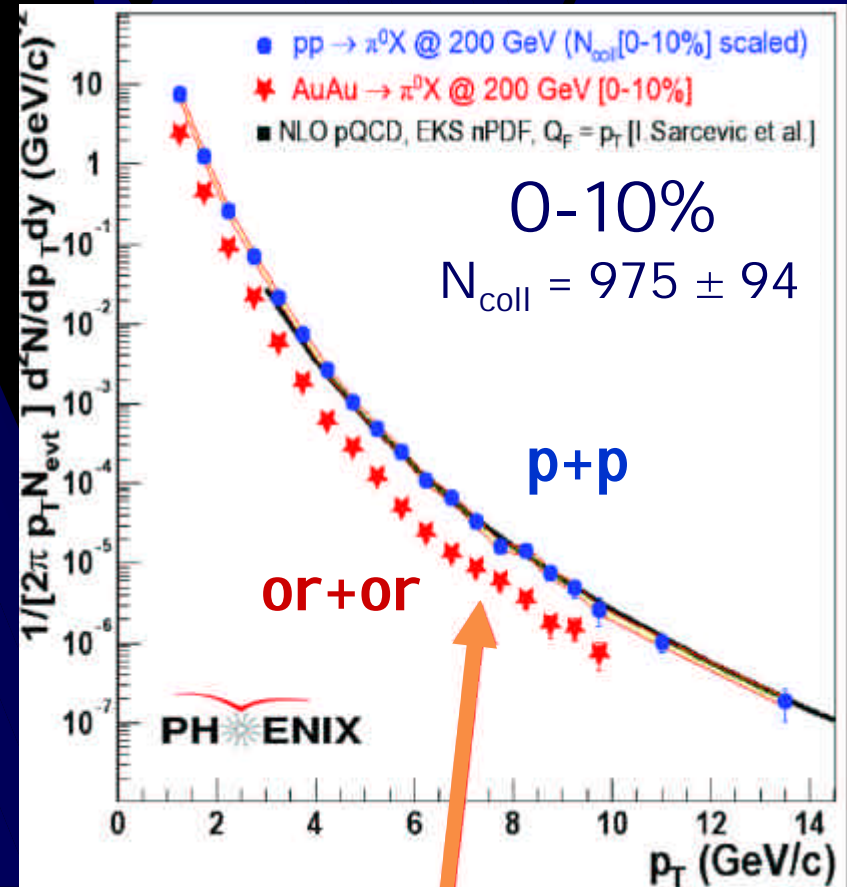
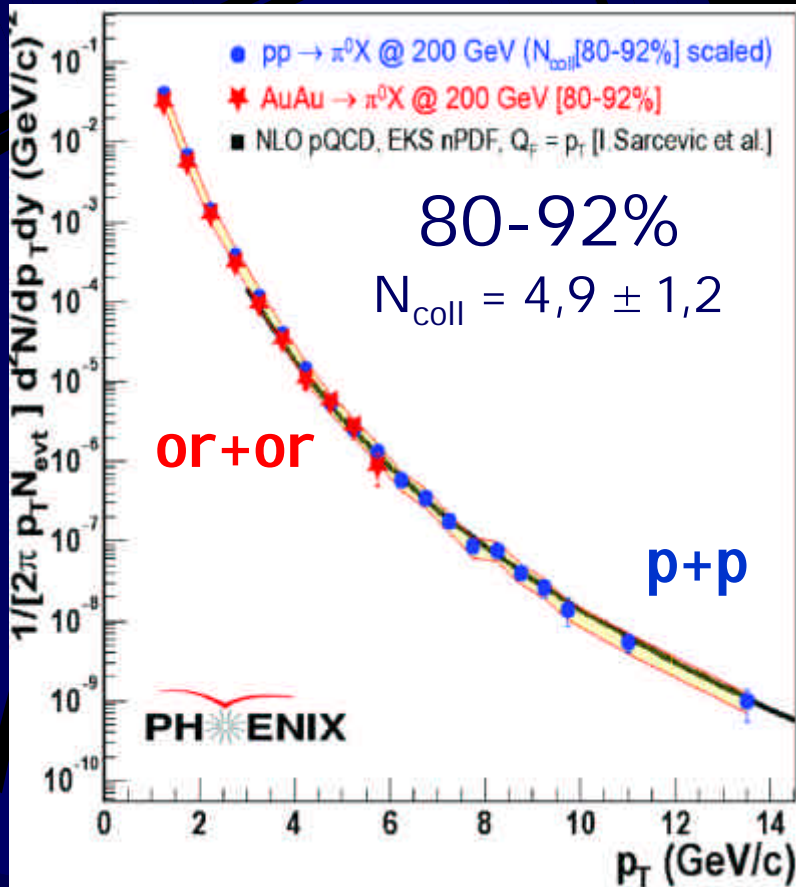
x nombre de collisions (Glauber)



Spectre de p° dans PHENIX

$(or+or) = (p+p) \times N_{coll}$
en collisions périphériques

Fortement supprimés
en collisions centrales !



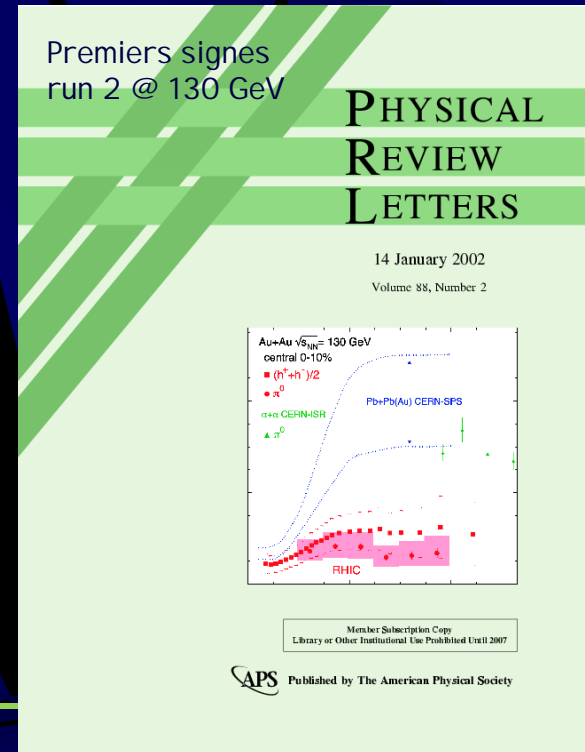
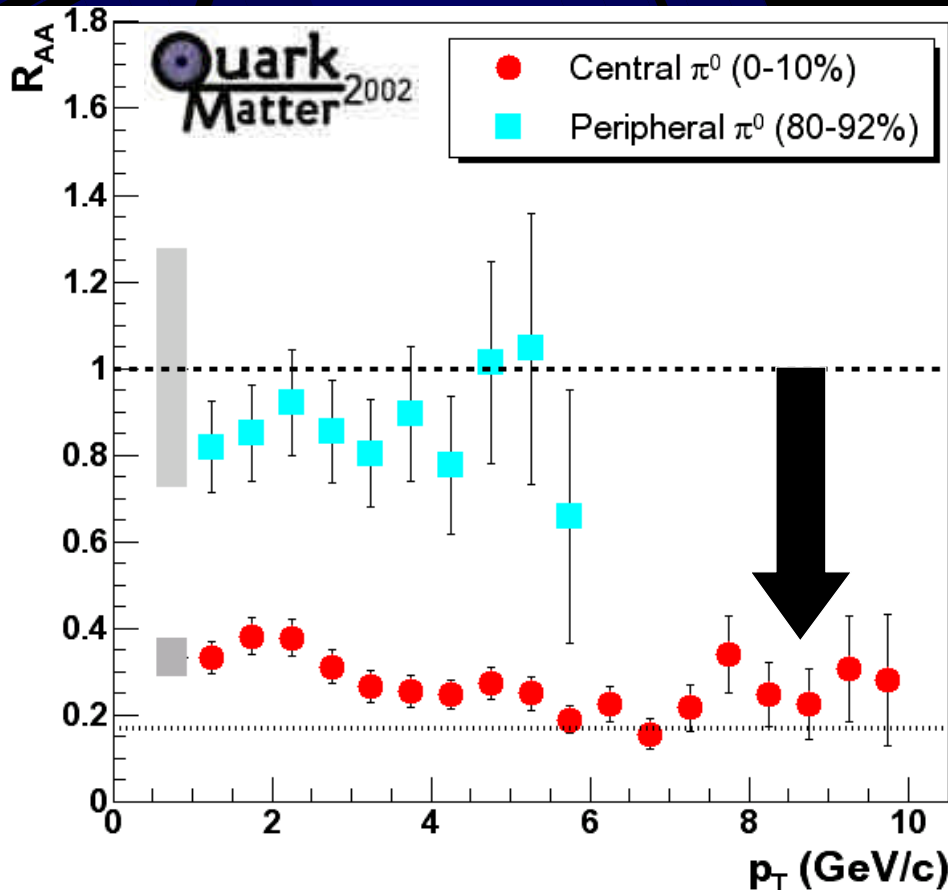
(conforme à NLO pQCD)

Suppression !

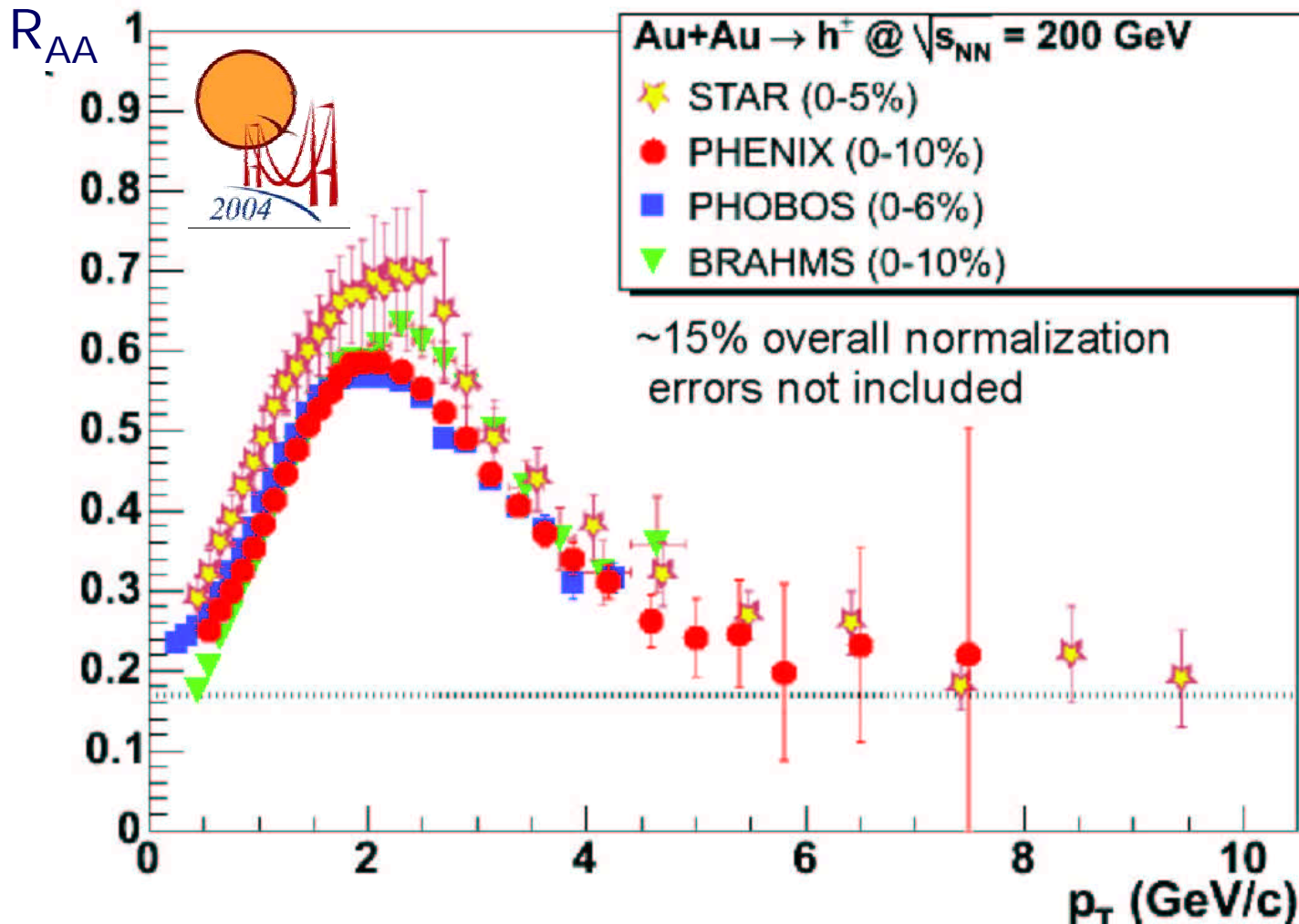
Rapport or+or / p+p

$$R_{AA} = \frac{d^2N^{AuAu}/dydp_T}{d^2N^{PP}/dydp_T \times \langle N_{coll} \rangle}$$

Suppression d'un facteur
3 à 5 quelque soit p_T !

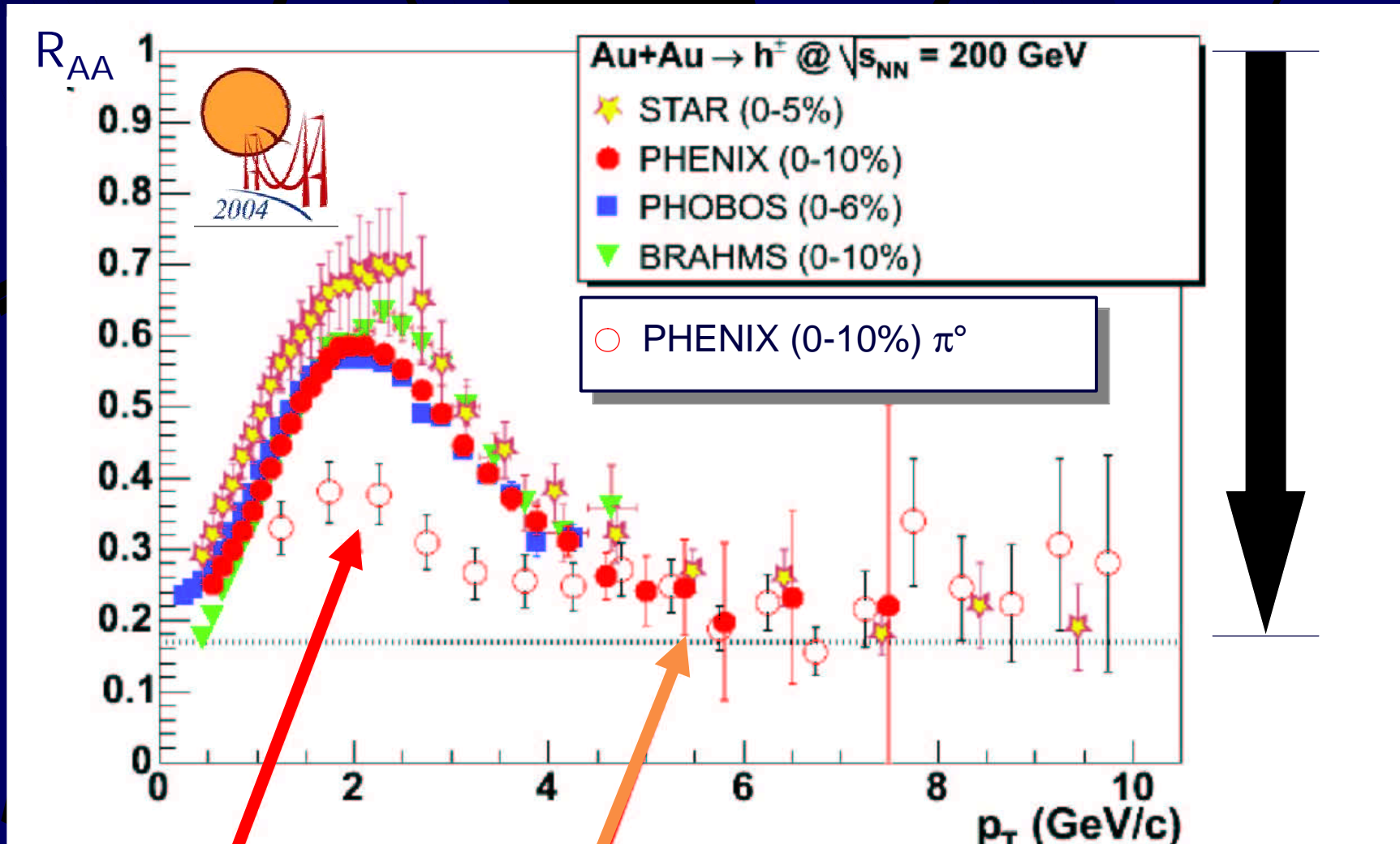


Spectre de hadrons chargés



- Accord quantitatif des 4 expériences ! (pas gagné à QM02)
- Suppression d'un facteur 4 ou 5 pour $p_T > 6$ GeV

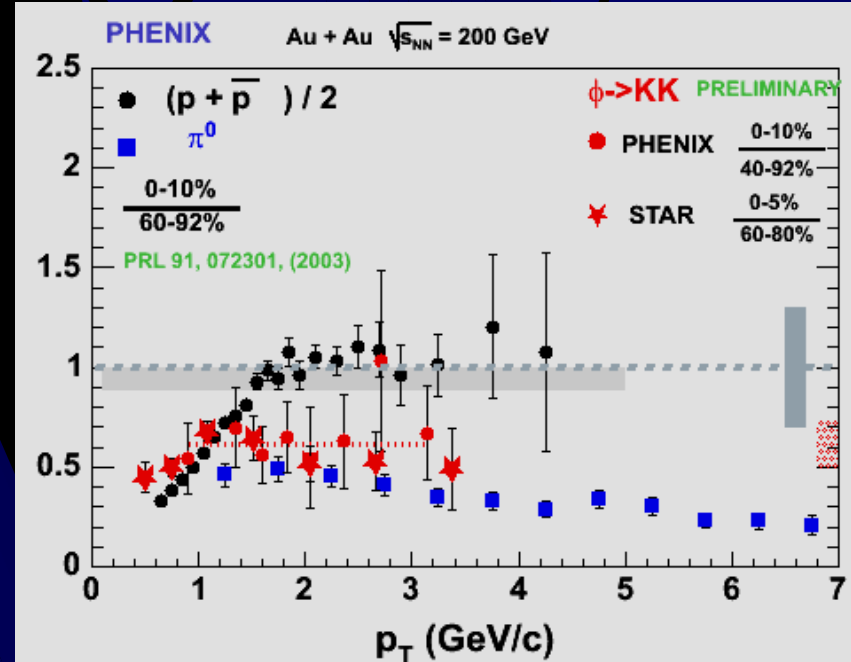
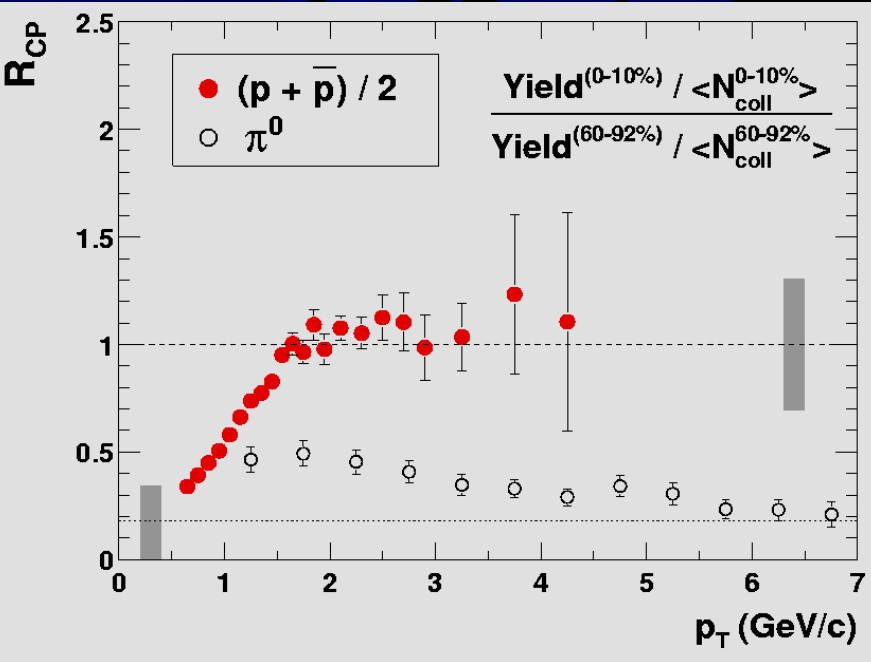
Comparaison π^0 / hadrons chargés



- Accord quantitatif à grand p_T (> 5 GeV)
- Facteur 2 de différence à petit p_T (~ 2 GeV) ???

Hadrons chargés différent de π^0 ?

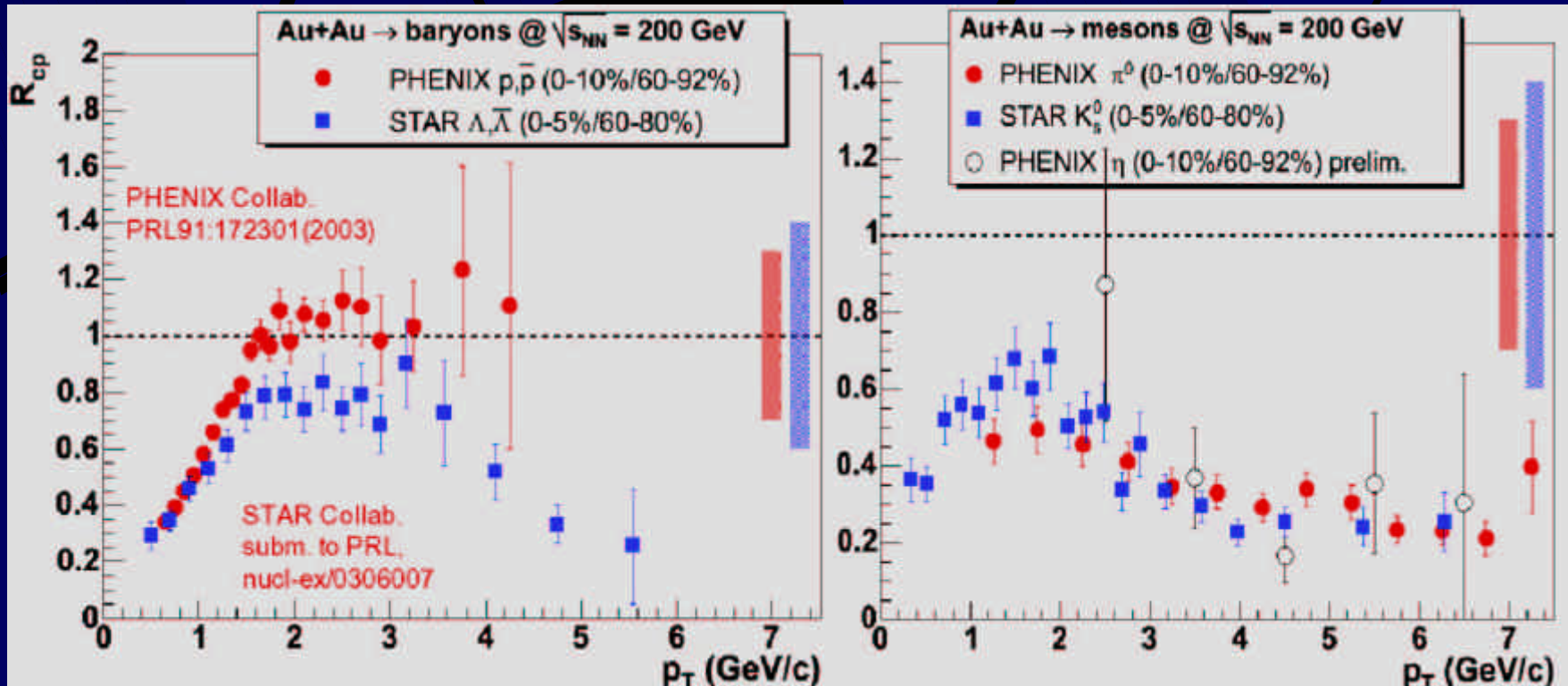
R_{CP} = Rapport collisions centrales / périphériques



- Protons différents des pions neutres !
- Quelque chose d'autre que la fragmentation !
 - Effet de masse ?
 - Contenu en quarks ?

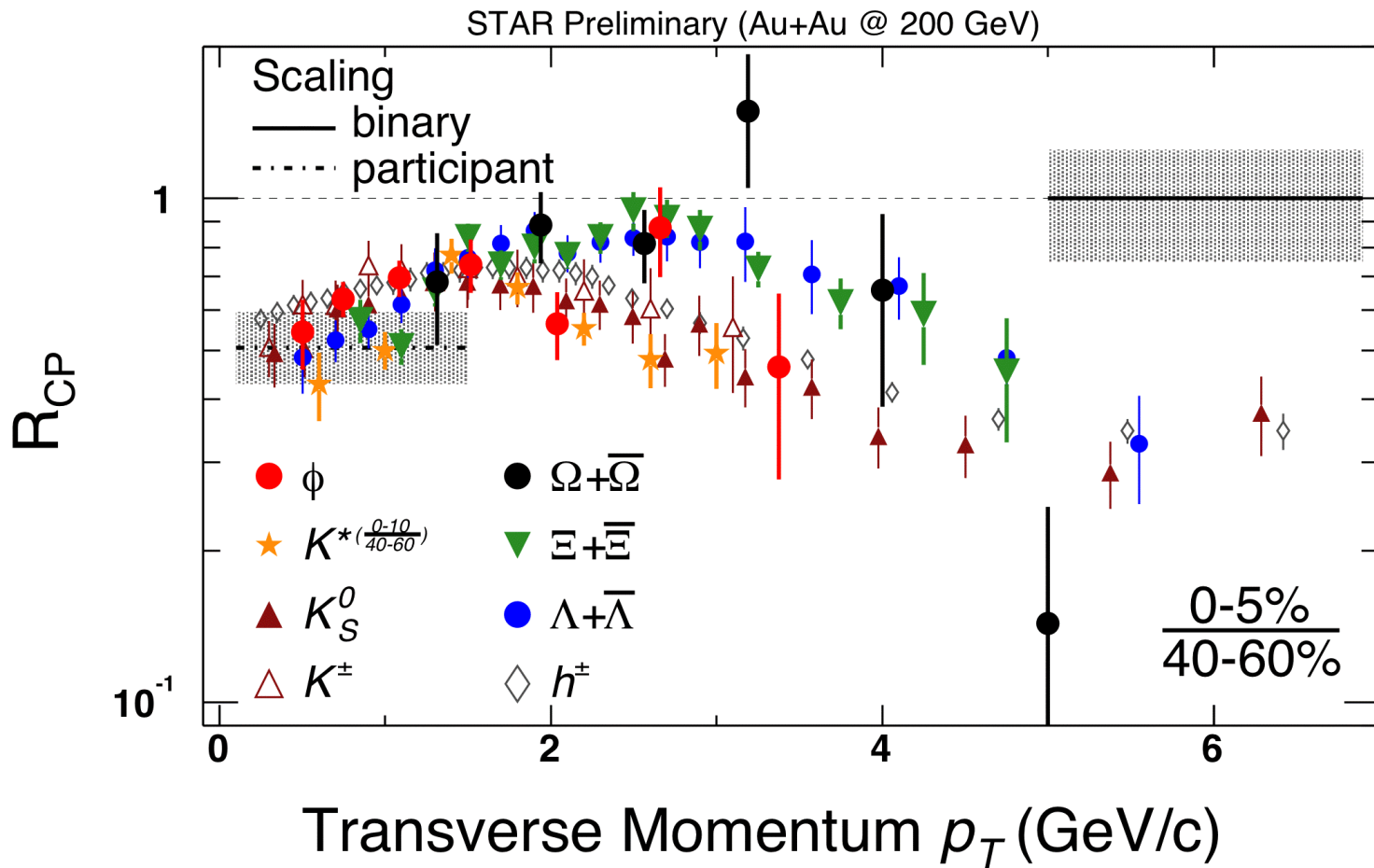
Le ϕ est un méson de masse protonique

Baryons \neq Mésons

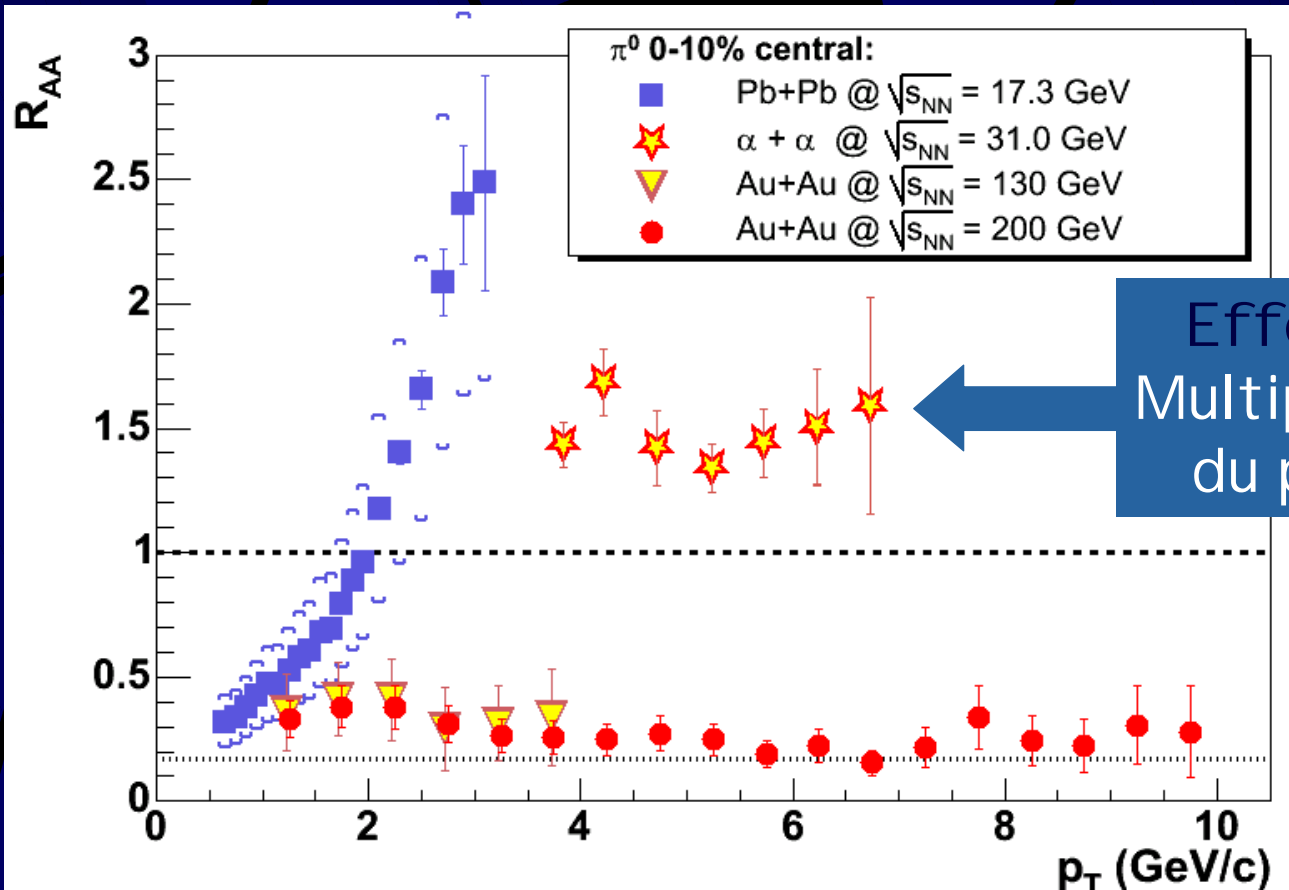
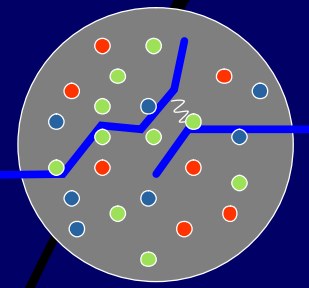


- Mais aussi... $\Xi, \Omega / K^\pm, K^*, \phi$...
- Baryons et mésons sont différents ☺
- Coalescence / recombinaison des quarks !

Autres mésons, autres baryons



Comparaisons avec CERN



Effet « Cronin »
Multiples diffusions
du parton initial

L'effet Cronin devrait être négligeable à $p_T > 6$ GeV
Le vérifier dans des collisions p+Au !

Attention aux effets pervers !...

Initial-state effects:

p_T broadening:
("Cronin enhancement")
Soft & semi-hard extra k_T

[Experimental handle: $p, d+A$]

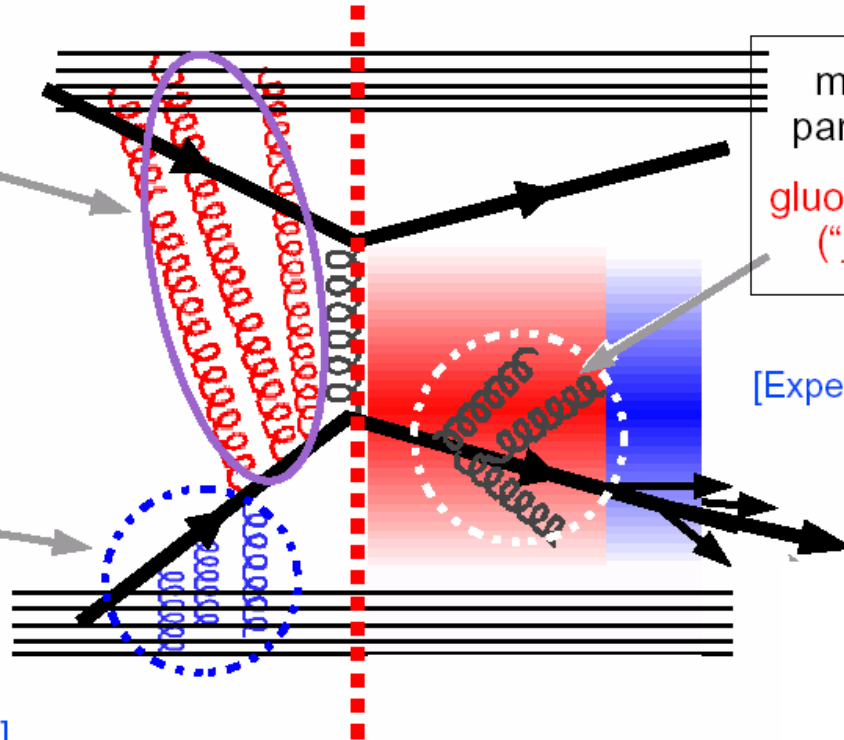
Leading-twist shadowing
(modified nuclear PDF)
OR
Gluon saturation in the
highly non-linear regime
of small- x

[Experimental handle: $e+A, p, d+A$]

Final-state effects:

medium-induced
parton energy loss:
gluon bremsstrahlung
("jet quenching")

[Experimental handle: $A+A$]



Indispensable d'observer des collisions $p+A$ (ou $d+A$)
pour mesurer les effets nucléaires froids
➤ "Gluon shadowing" qui peut réduire la production !

Intermède

● Avant le SPS (et même l'AGS) :

« There was a general feeling that if the quark-gluon plasma was indeed produced, it would manifest itself in a variety of unknown but dramatic ways, including... the end of the world »

H. Satz @ Lattice 2000 hep-ph/0009099

● De nombreuses phénomènes prédits pour le PQG furent observés... (augmentation de l'étrangeté...)

● Y compris en p+A !

● Règle d'or ions lourds :

- Référence p+p
- Référence p+A
- Physique A+A !



Cf. histoire du J/ψ au CERN

- Mesure de la section efficace
- Mesure de l'absorption nucl.
- Suppression anormale

July 18 1999

BRITAI



Ready for blastoff: a Brookhaven engineer puts finishing touches to the ion collider

Big Bang machine could destroy Earth

by Jonathan Leake
Science Editor

A NUCLEAR accelerator designed to replicate the Big Bang is under investigation by international physicists because of fears that it might cause "perturbations of the universe" that could destroy the Earth. One theory even suggests that it could create a black hole.

Petite histoire du RHIC



Année	Ions	$\sqrt{s_{NN}}$	Luminosity
2000	Au-Au	130 GeV	1 mb ⁻¹
2001	Au-Au	200 GeV	24 mb ⁻¹
2002	p-p	200 GeV	0.15 pb ⁻¹
2002	d-Au	200 GeV	2.74 nb ⁻¹
2003	p-p	200 GeV	0.35 pb ⁻¹
2004	Au-Au	200 GeV	300 mb ⁻¹ ?



Premiers indices
jet quenching...



Confirmation
Systématique !



Indispensable
contrôle !



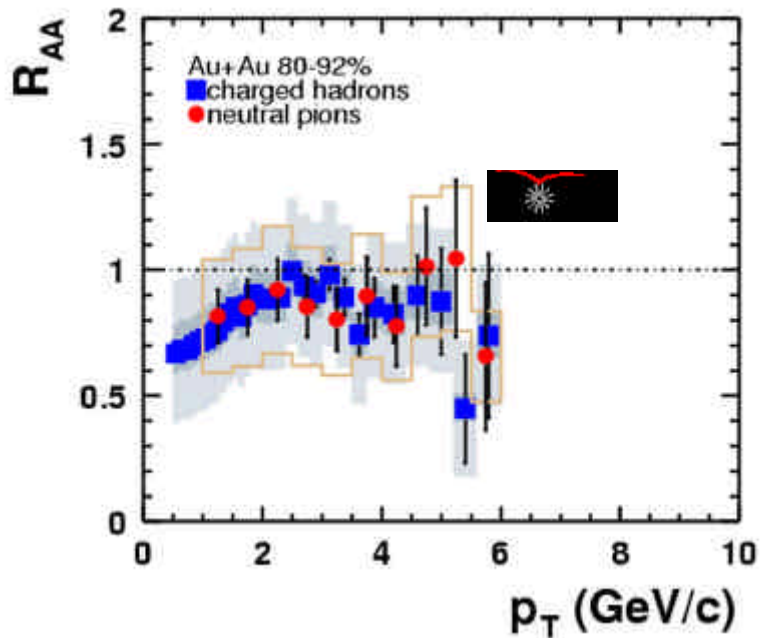
Autres effets ?
Suppression $J\psi$?

or+or versus d+or

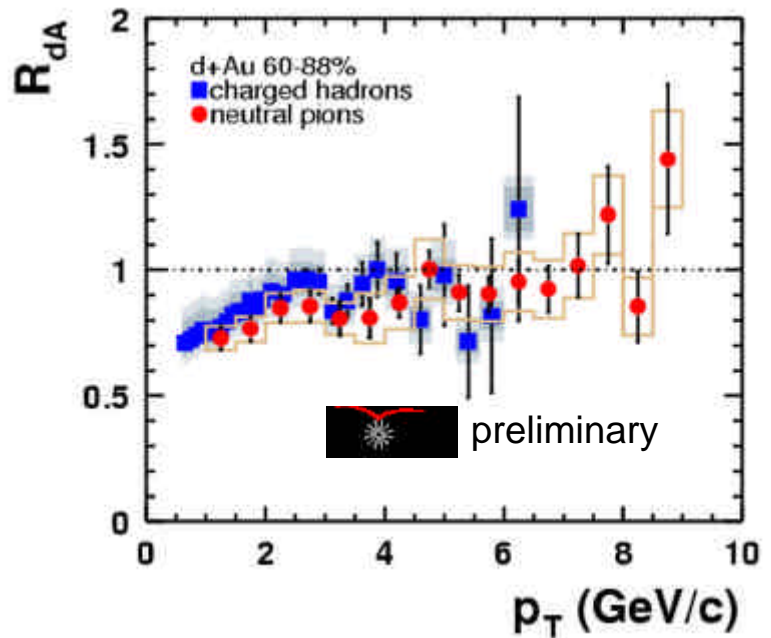


Collisions les plus périphériques (60-88% dAu)

Au+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV



d+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

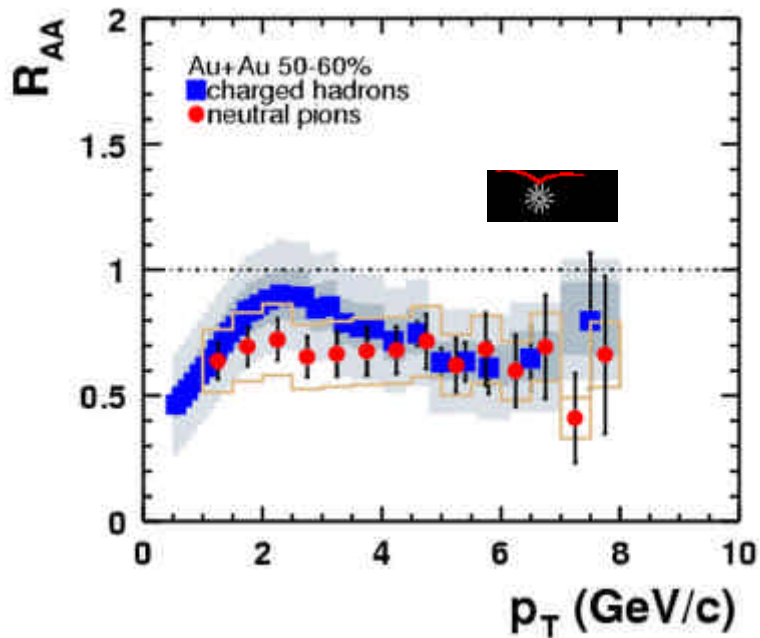


or+or versus d+or

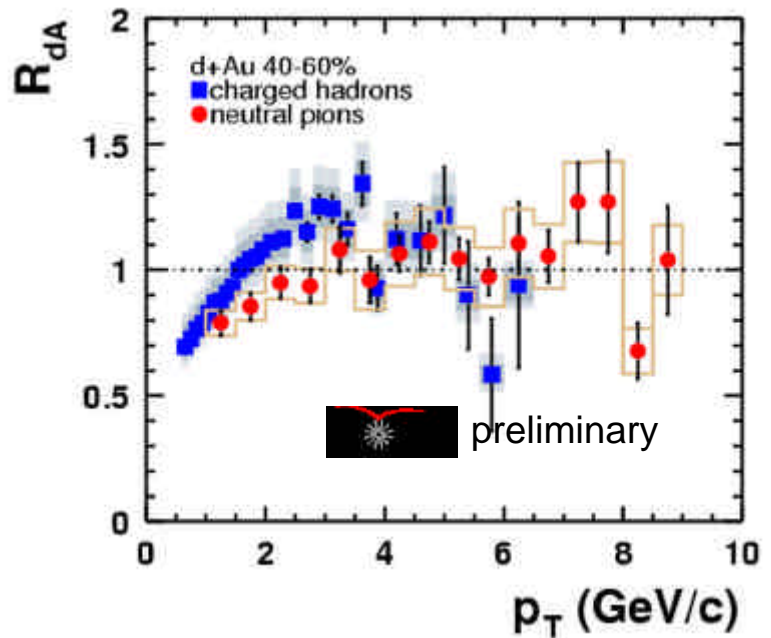


Collisions moins périphériques (40-60% dAu)

Au+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV



d+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

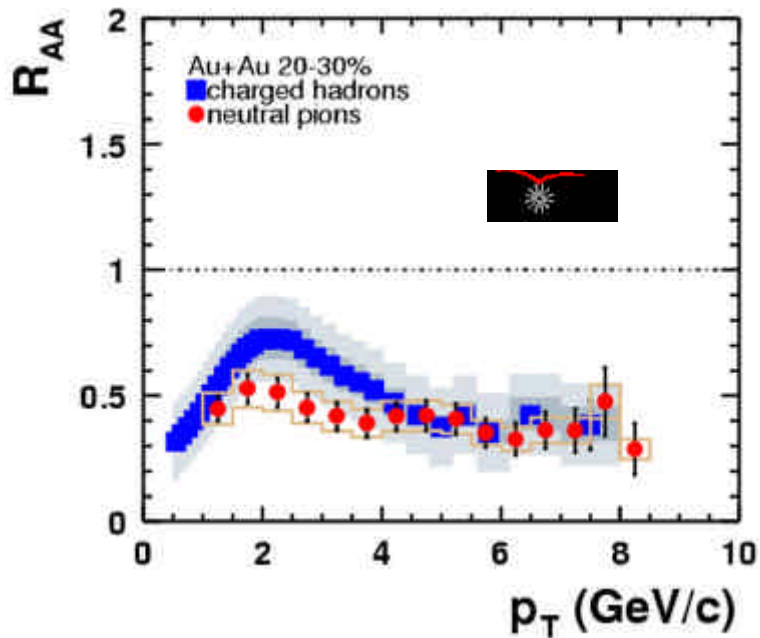


or+or versus d+or

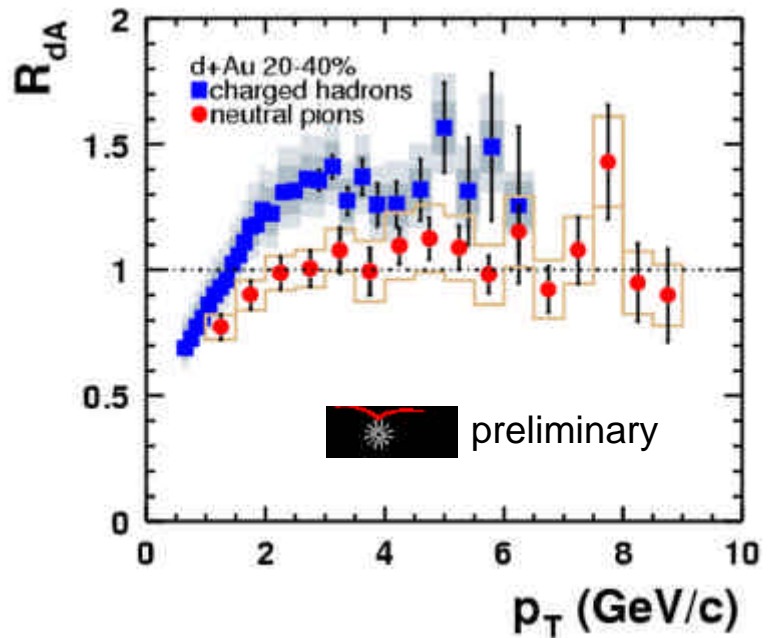


Collisions plus centrales (20-40% dAu)

Au+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV



d+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

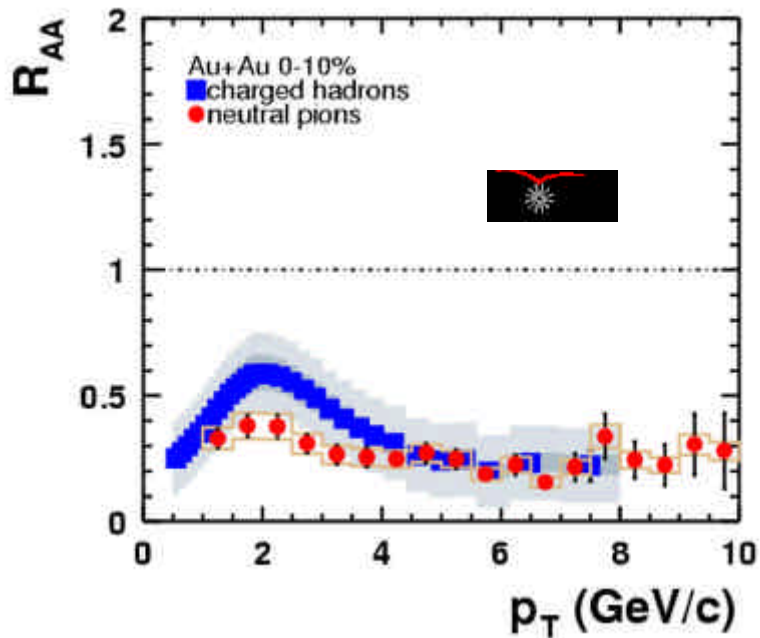


or+or versus d+or

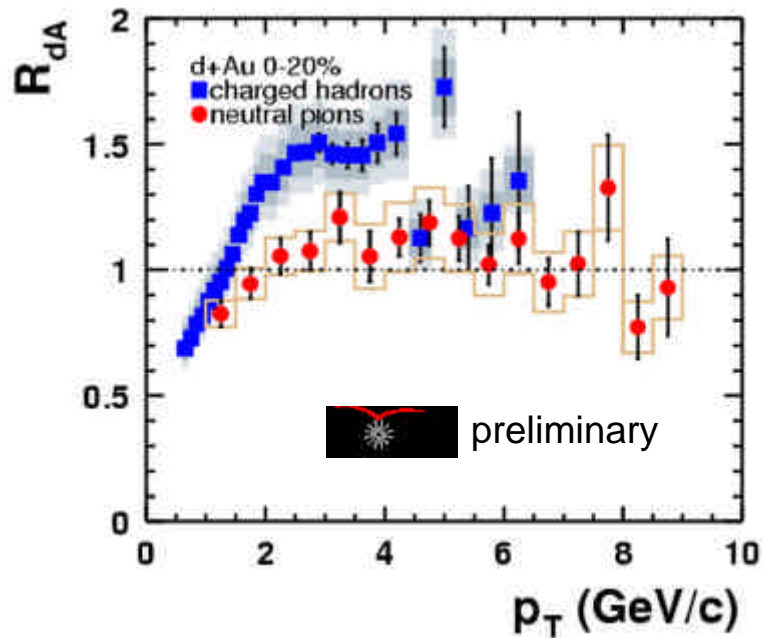


Collisions les plus centrales (0-20% dAu)

Au+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV



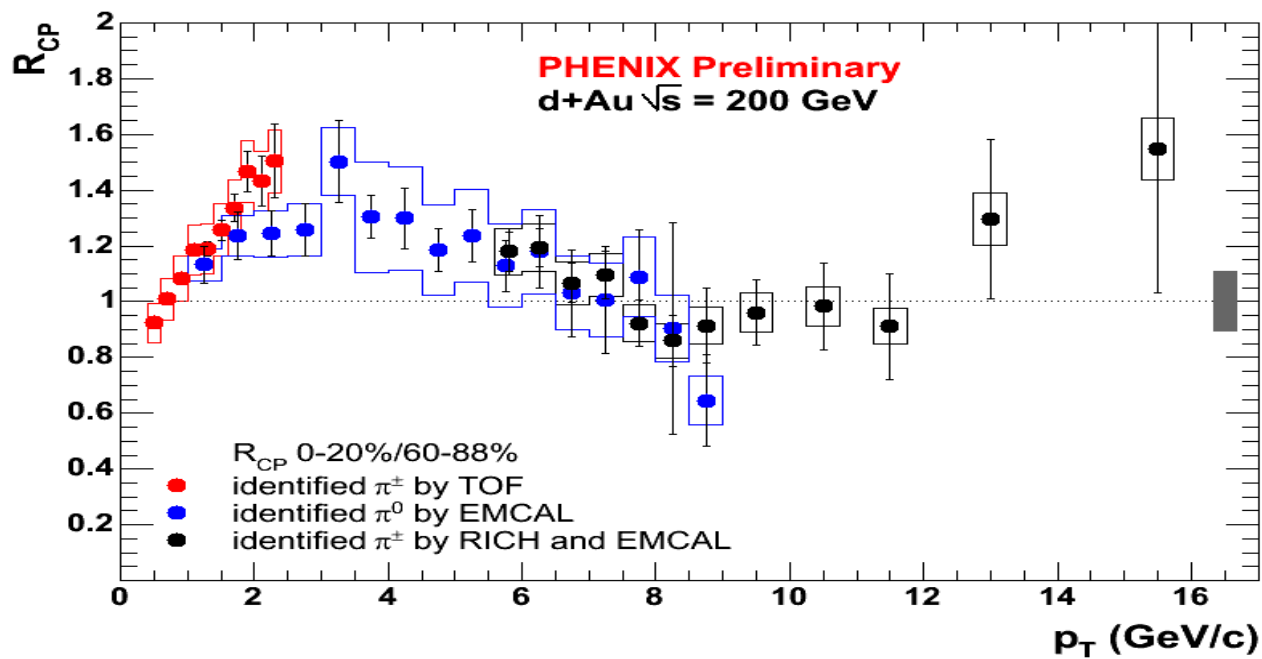
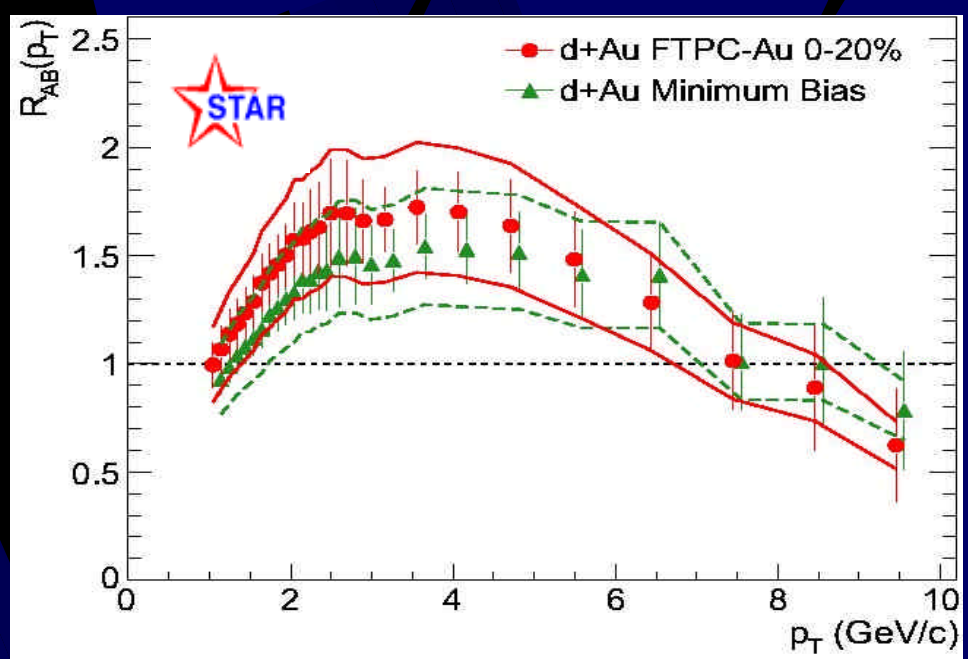
d+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV



La suppression est due à l'état final ! PQG ?

Maxi p_T

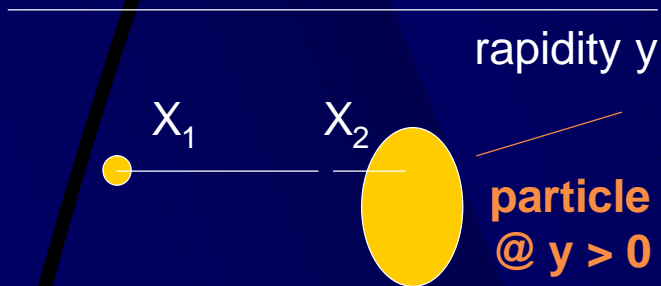
● Cronin disparait
@ $p_T \sim 8$ GeV



d+or à grande rapidité

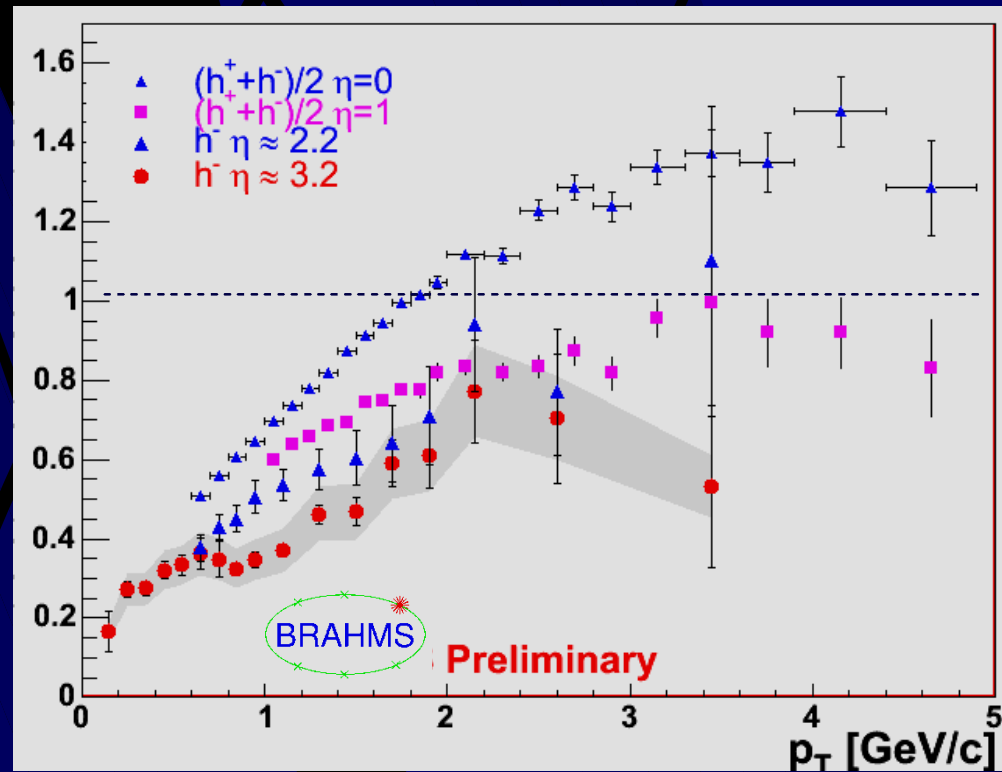


- Jets aussi supprimés à grande rapidité ?



- Non, mais saturation de gluons ?...

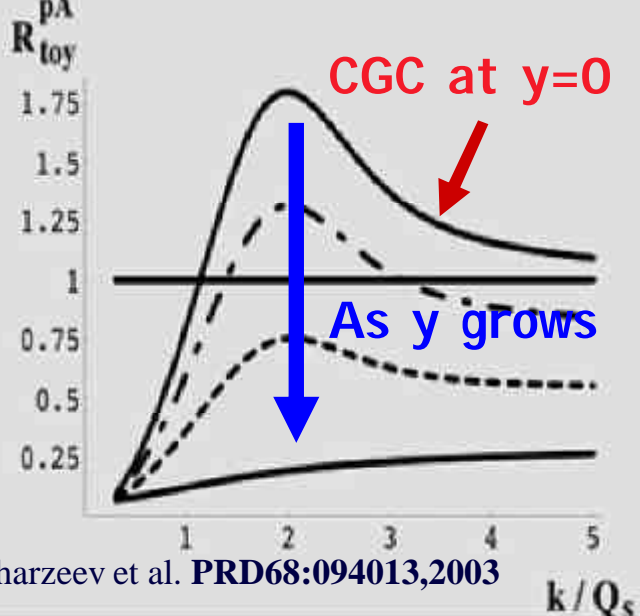
R_{dAu}



L'explication ?

N'exagérons rien, mais des signes qu'on atteint un régime de saturation sont là...

Shadowing \approx gluon saturation \approx color glass condensate - **A suivre !**



The New York Times

OAKLAND, Calif., Jan 12

A fleeting, **ultradense state of matter**, comparable in some respects to a bizarre kind of **subatomic pudding**, has been discovered deep within the core of ordinary gold atoms [...]

A **breakthrough** in understanding the powerful, immensely complex forces that hold together the building blocks of atomic nuclei: protons and neutrons. [...]

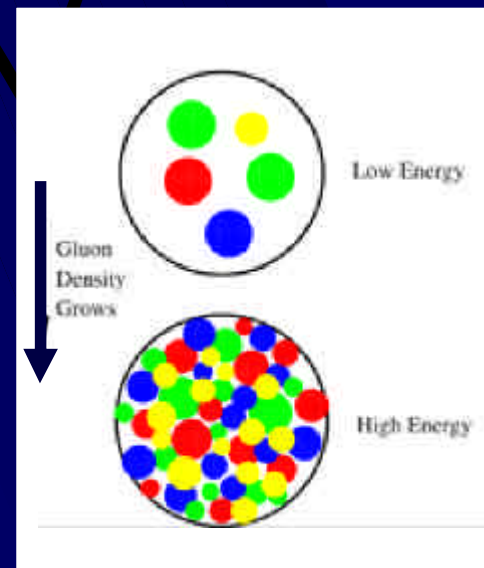
The scientists slammed heavy hydrogen, or deuterons, into the gold at nearly the speed of light and observed the spray of particles that flew out. [...]

The tiny, hard, pointlike building blocks of the nucleus had briefly merged into a smeared-out pudding. [...]

"I think it's going to trigger a **real revolution** in nuclear physics." [...]

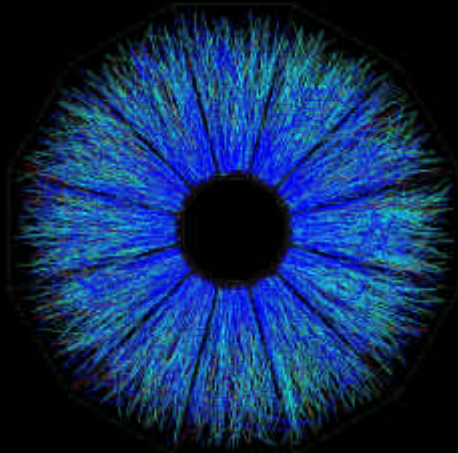
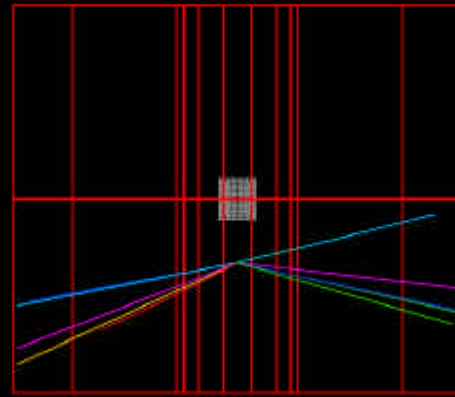
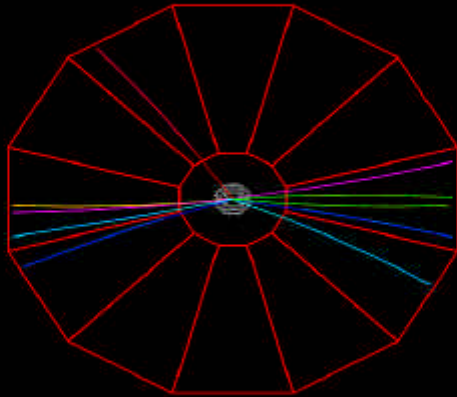
The newly discovered state could let physicists cut through those complexities and find basic laws of nature. [...]

In that state, [...] there would be so many gluons that they would in some sense merge, creating the pudding that is known technically as a **color glass condensate**.

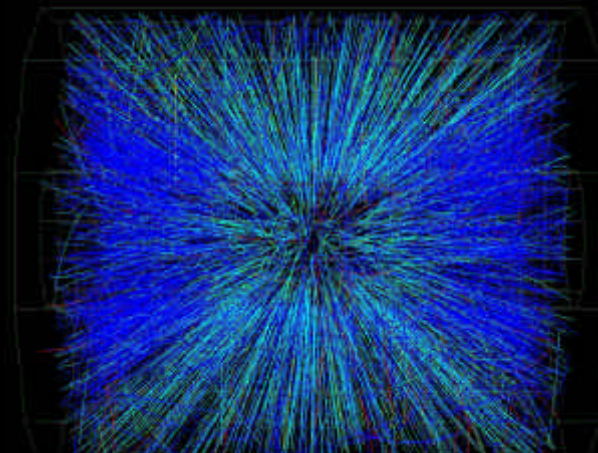


Voir des jets...

Facile en proton + proton @ 200 GeV



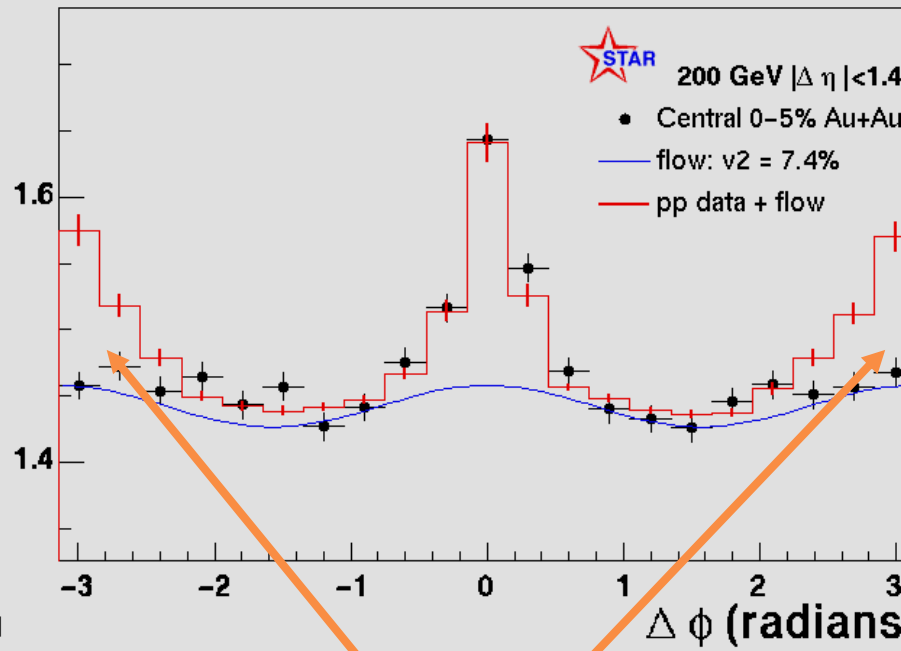
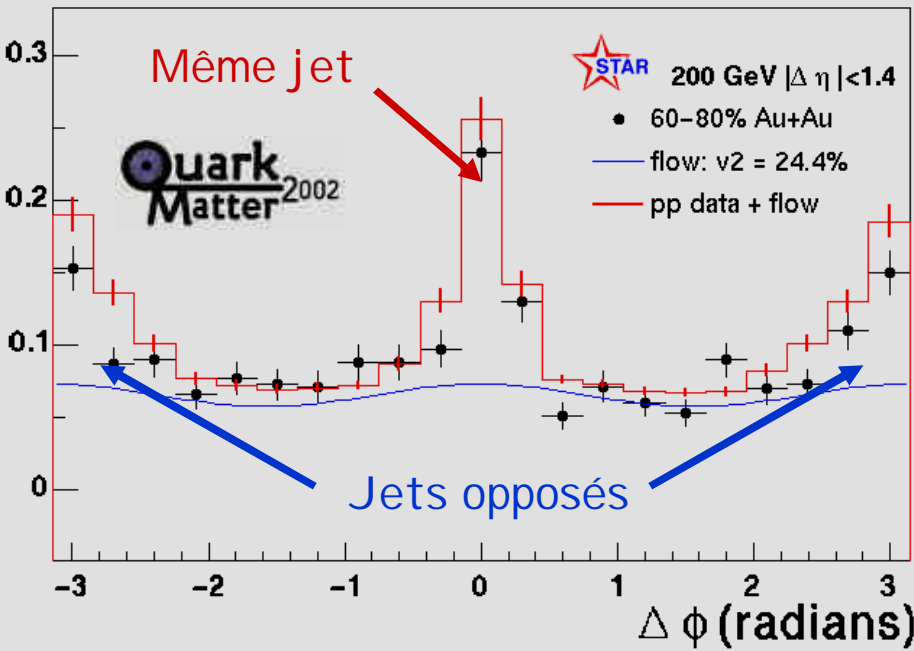
?



Moins en collisions centrales or + or @ 200 GeV...

... mourir

$1/N \frac{dN}{d(\Delta\phi)}$



Corrélation angulaire entre une particule de $p_T > 4$ GeV et les autres ($p_T > 2$ GeV)

Accord or+or avec p+p (+ flow) en collisions périphériques...

En collisions centrales, les jets ne sont plus opposés !

Jet quenching !

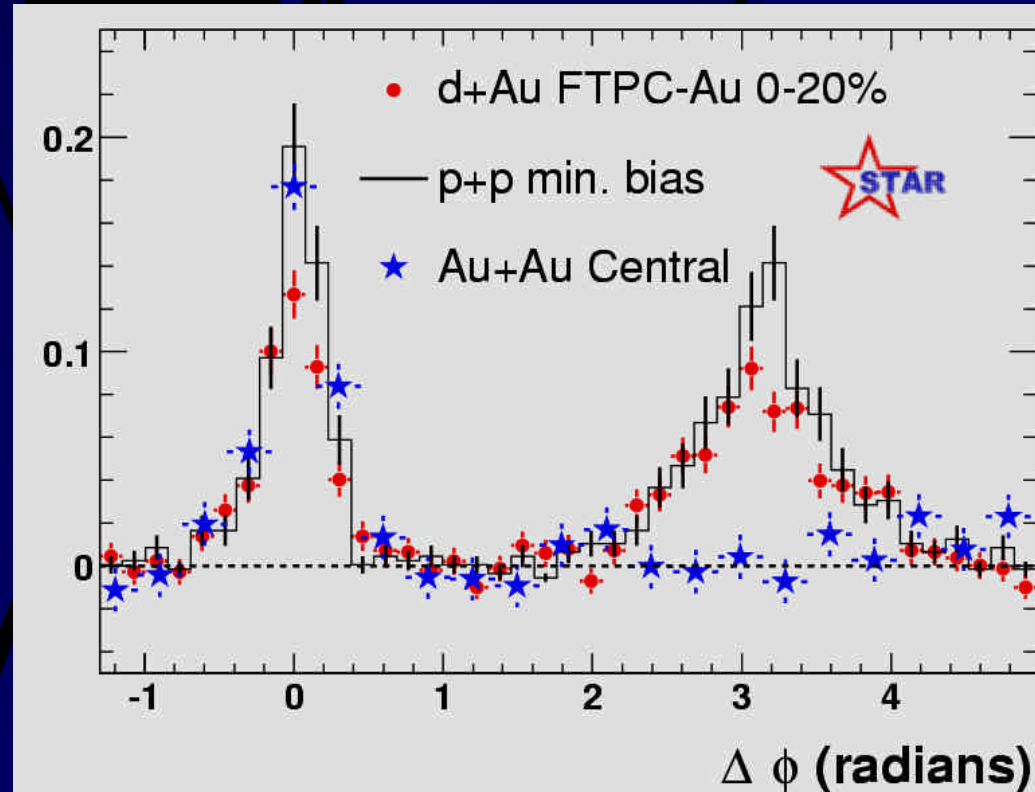
(Vu aussi dans phenix)

Qui a tué les jets ?

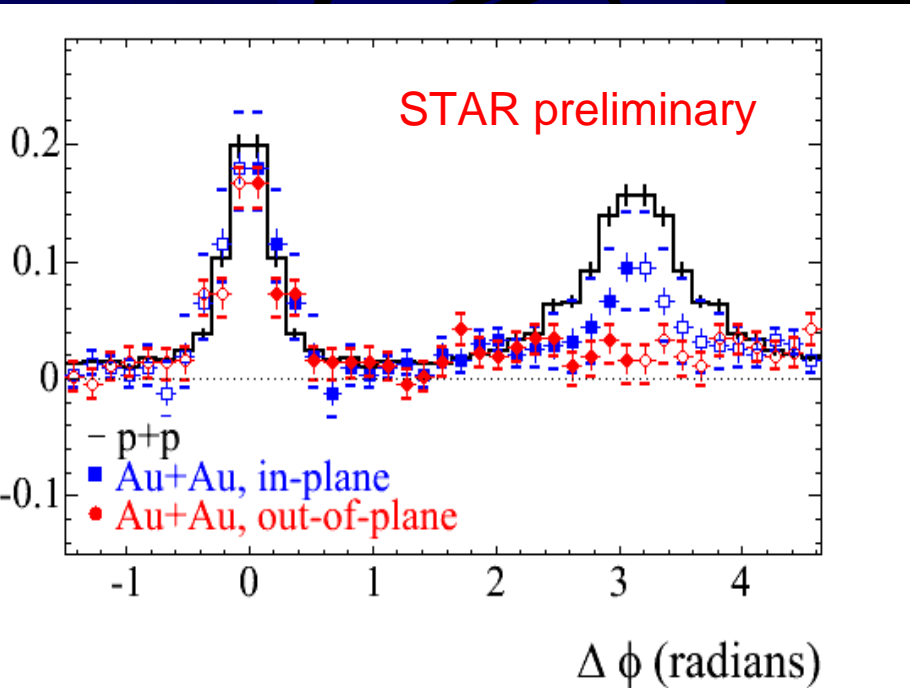


Adams *et al.*, Phys. Rev. Let. 91 (2003)

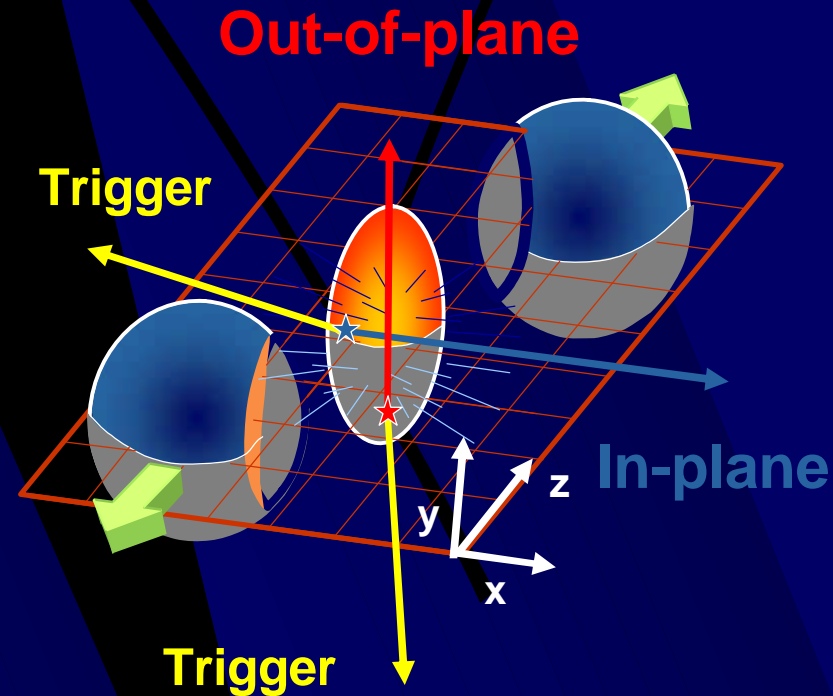
- Pas d'effet en collisions d+or
- C'est encore un coup du milieu dense de l'état final !
- Le plasma de quarks et de gluons ?...



Peut-on les épargner ?



$$p_T^{\text{trig}} = 4,0-6,0 \text{ GeV}/c, |\eta| < 1,0$$
$$2,0 < p_T^{\text{assoc}} < p_T^{\text{trig}}$$

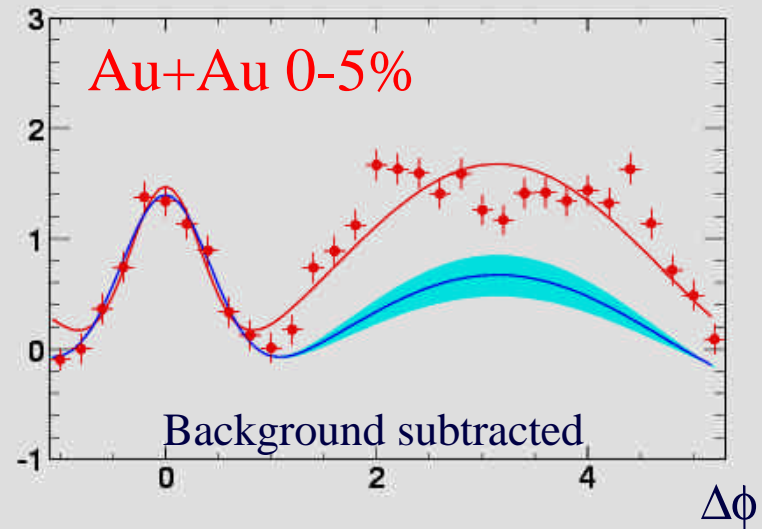
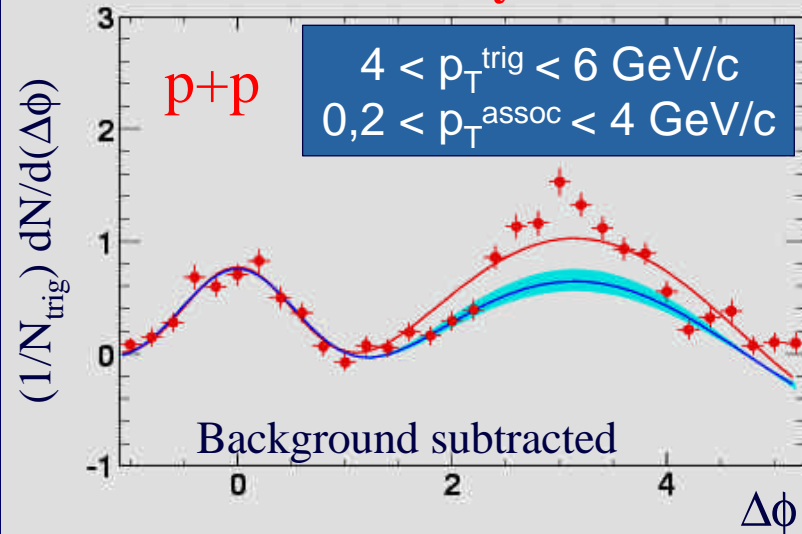


● Oui, ça dépend de l'épaisseur traversée !

Où est le corps ?

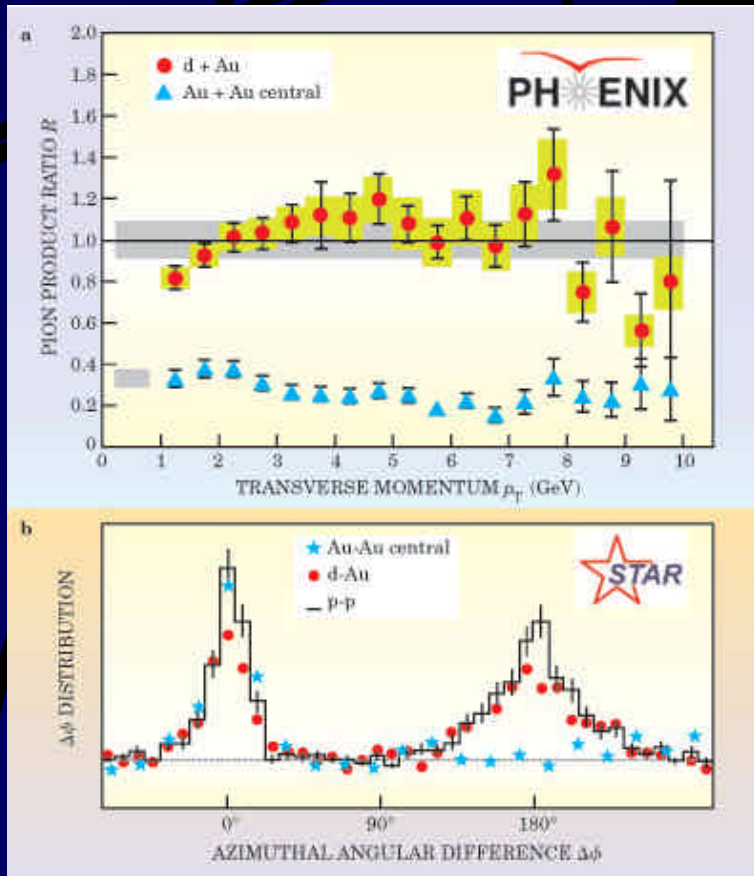


STAR Preliminary



- En ouvrant la zone en impulsion transverse, on retrouve les jets...
- Peut-on encore parler de jets ?

Le jet quenching en résumé !



PHYSICAL
REVIEW
LETTERS

Articles published week ending
15 AUGUST 2003

Volume 91, Number 7

PHENIX

PHOBOS

BRAHMS

STAR

Member Subscription Copy
Library or Other Institutional Use Prohibited Until 2008

APS Published by The American Physical Society

(vus par les 4 expériences)



Et les autres signatures ?

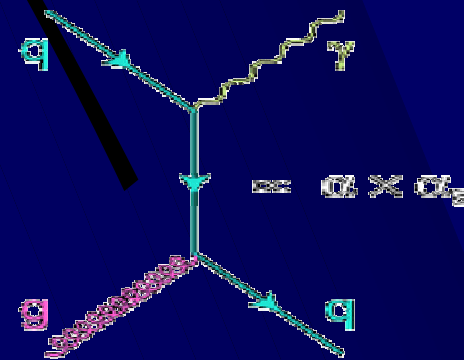
2. L'émission de photons thermiques ?

3. La suppression des quarkonia ?

n'atteignent pas encore la puissance statistique
pour voir le plasma de quarks et de gluons

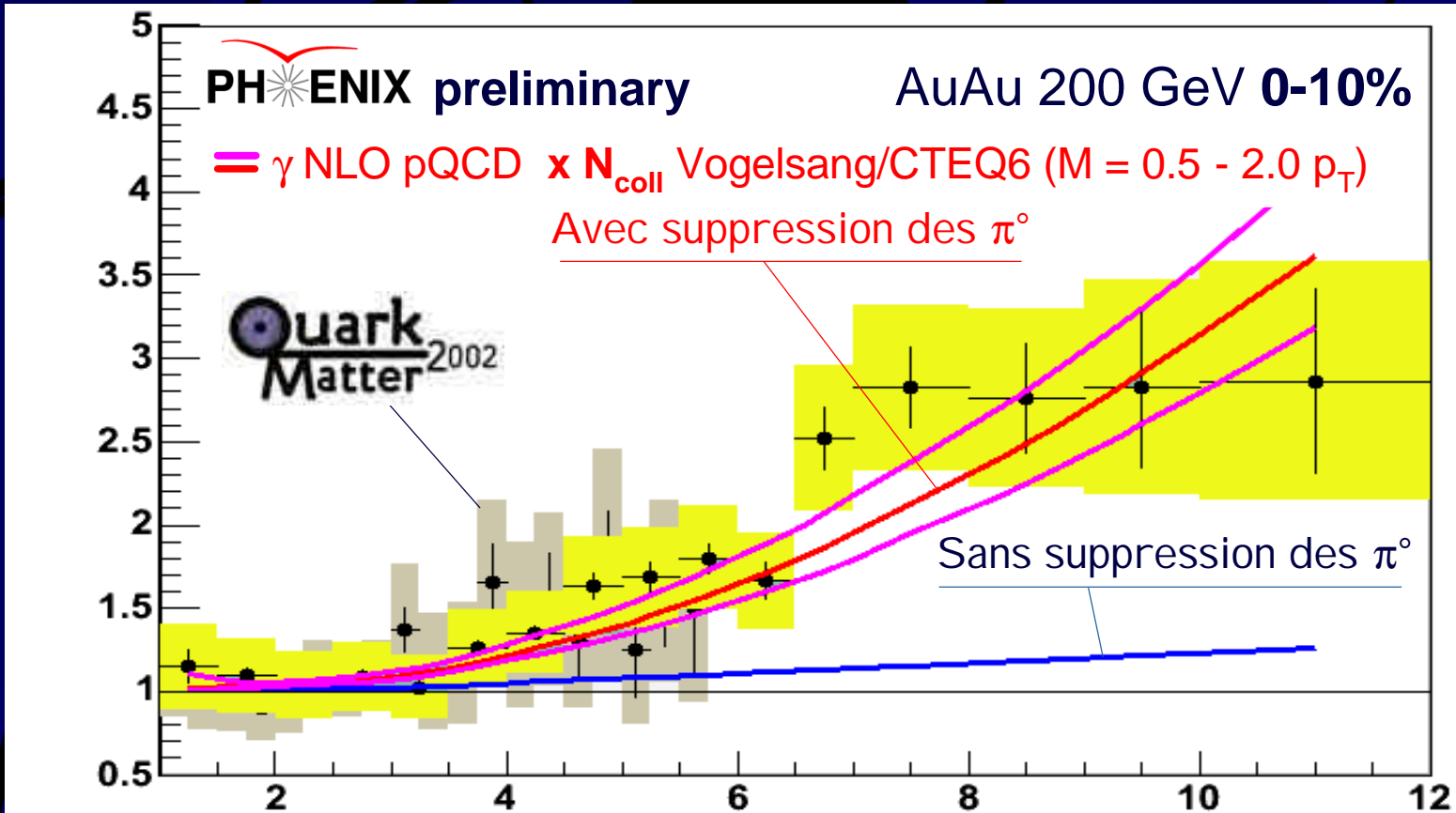
2. L'émission de photons...

- Photons directs « thermiques » donnent accès à la température du PQG
 - Analyse difficile, pas encore vus à RHIC
 - $p_T < 3$ ou 4 GeV
- Photons directs de grands $p_T > 4$ GeV
 - proviennent de diffusions dures,
 - le royaume de la QCD perturbative
 - Vus à RHIC !

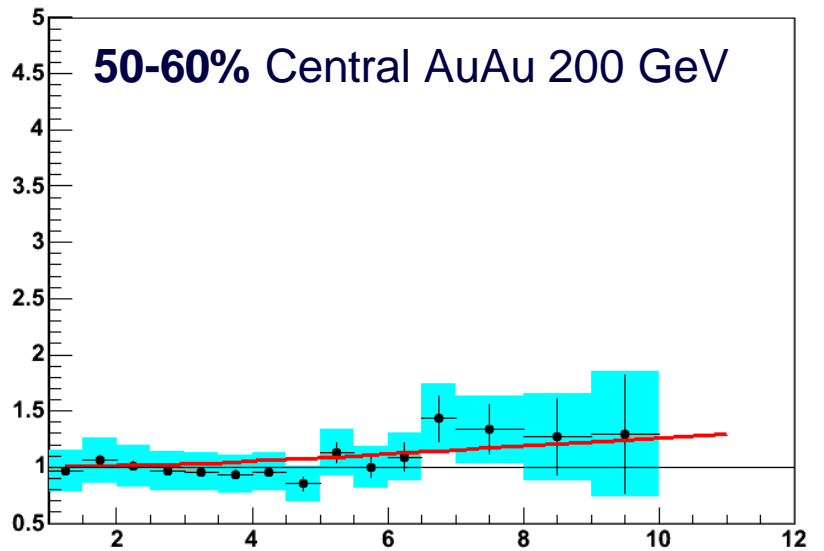
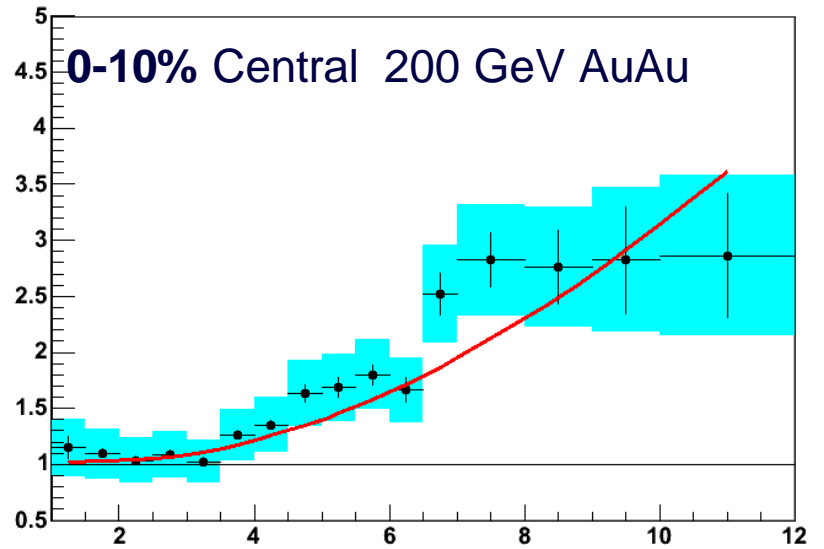


Les photons directs...

(γ/π^0) mesurés / $(\gamma$ de désintégration/ $\pi^0)$ calculés



- ...traversent le milieu coloré sans le voir !
- pQCD $\times N_{\text{coll}}$ marche pour eux !



3. Les J/ψ dans phenix

Année	Ions	$\sqrt{s_{NN}}$	Luminosité	Decteurs	Nombre de J/Ψ
2000	Au-Au	130 GeV	1 mb ⁻¹	Central (électrons)	0
2001	Au-Au	200 GeV	24 mb ⁻¹	Central	13 + 0 [1]
2002	p-p	200 GeV	0.15 pb ⁻¹	+ 1 bras muon	46 + 66 [2]
2002	d-Au	200 GeV	2.74 nb ⁻¹	Central	300+800+600 [3]
2003	p-p	200 GeV	0.35 pb ⁻¹	+ 2 bras muon	100+300+120 [3]
2004	Au-Au	200 GeV	300 mb ⁻¹ ?	! taking data !	~400+2x1600 ?

[1] [nucl-ex/0305030](https://arxiv.org/abs/nucl-ex/0305030) / PRC 69, 014901 (2004)

[2] [hep-ex/0307019](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0307019) / accepted in PRL

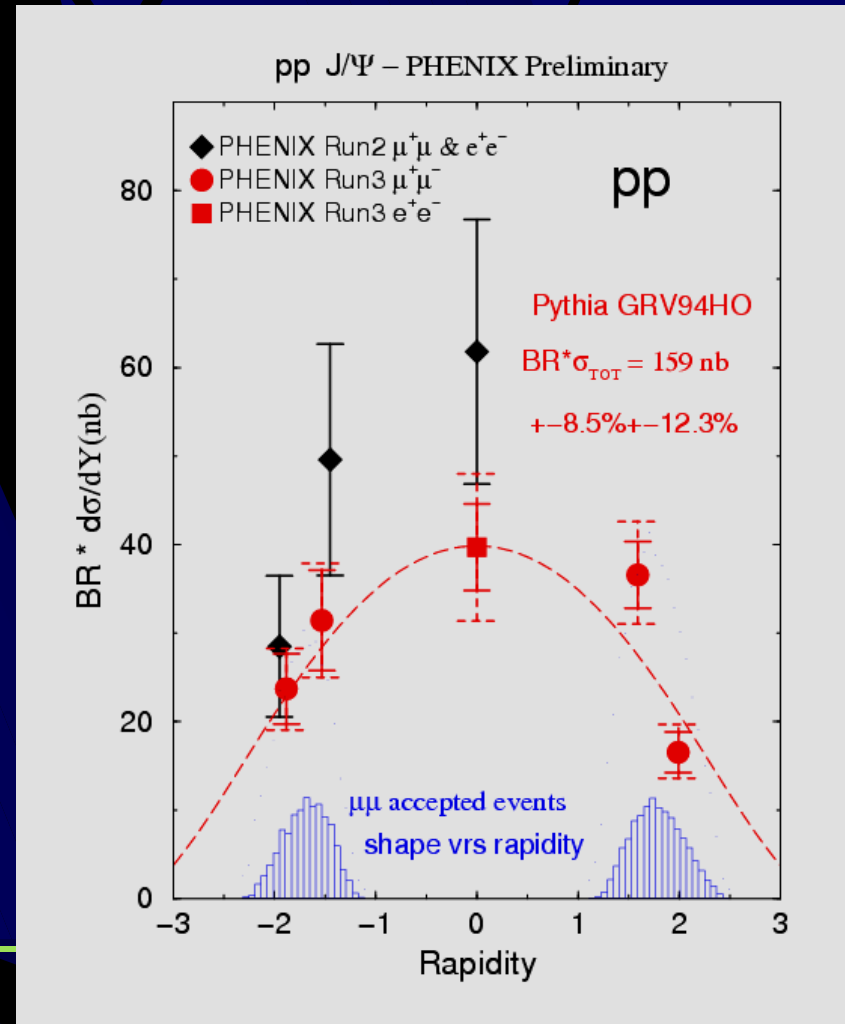
[3] RGdC @ QM04

J/ ψ en proton+proton



Section efficace totale
de production des J ψ
(préliminaire)

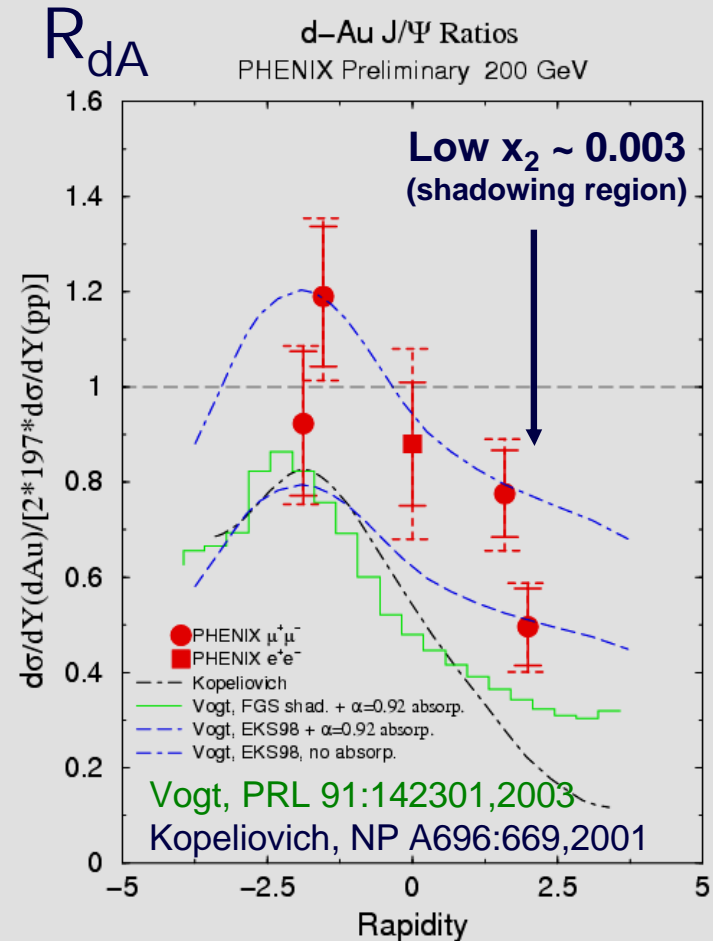
$BR \sigma_{pp} = 159 \text{ nb}$
 $\pm 8,5\%(\text{fit}) \pm 12,3\%(\text{abs})$



J/ ψ en deuteron+or



- Sans doute du shadowing et de l'absorption
- Mais pas d'effet dramatique !
- Bonne référence pour le run or+or



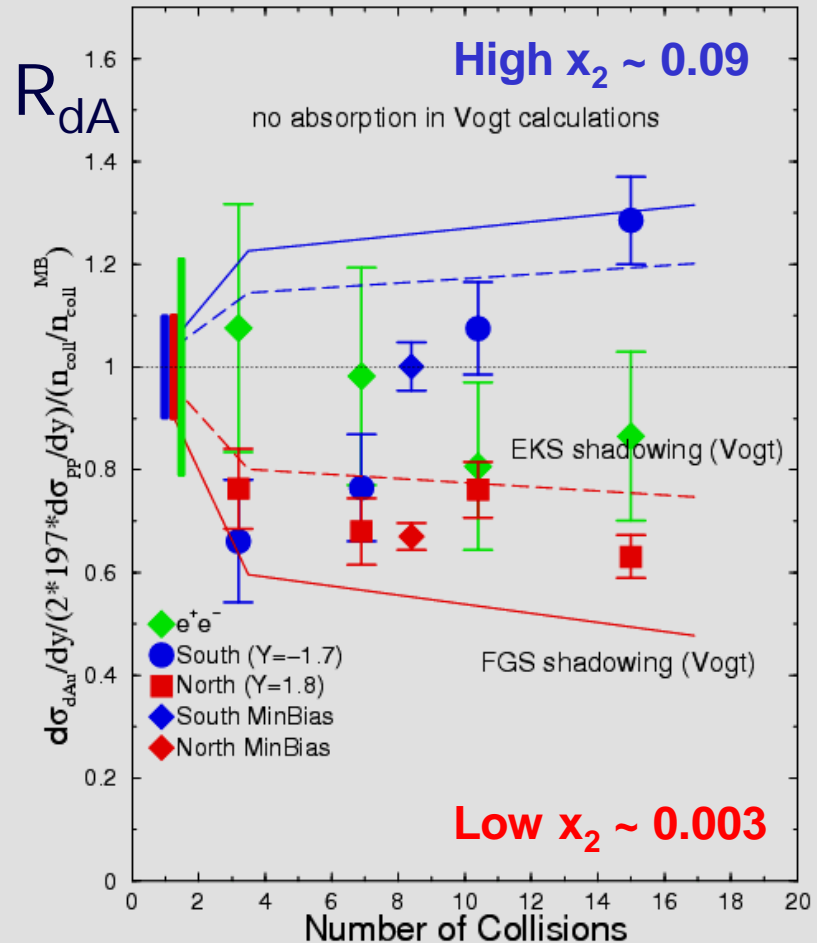
J/ ψ en deuteron+or



● Augmentation de production versus centralité à grand x ...

● On enquête...

PHENIX Preliminary 200 GeV
J/ $\Psi \rightarrow l^+l^-$ vrs Number of Collisions

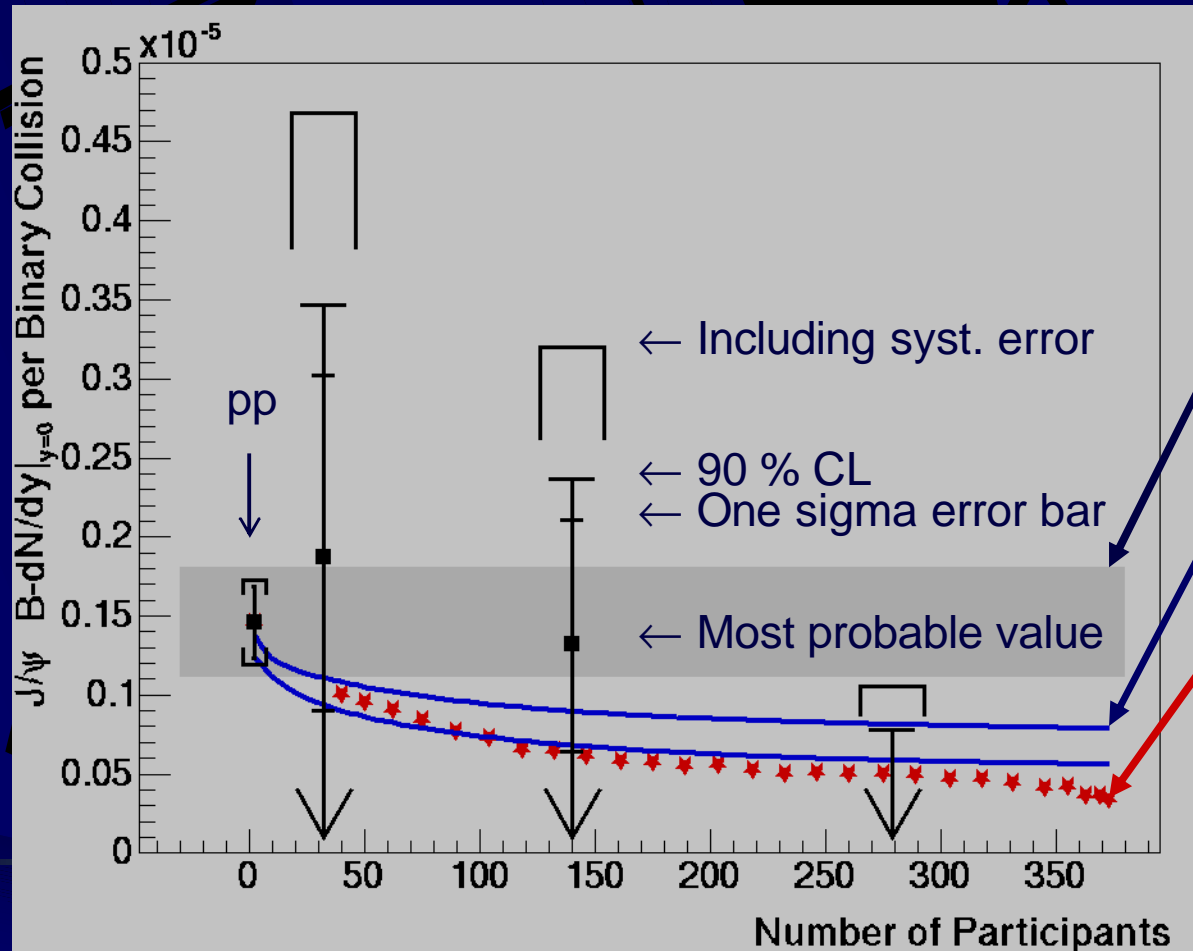


J/ψ en or +or

● Avec 13 événements, difficile de conclure !

● Le run 4 en cours devrait en apporter ~ 4000

(si non supprimés)



Binary scaling

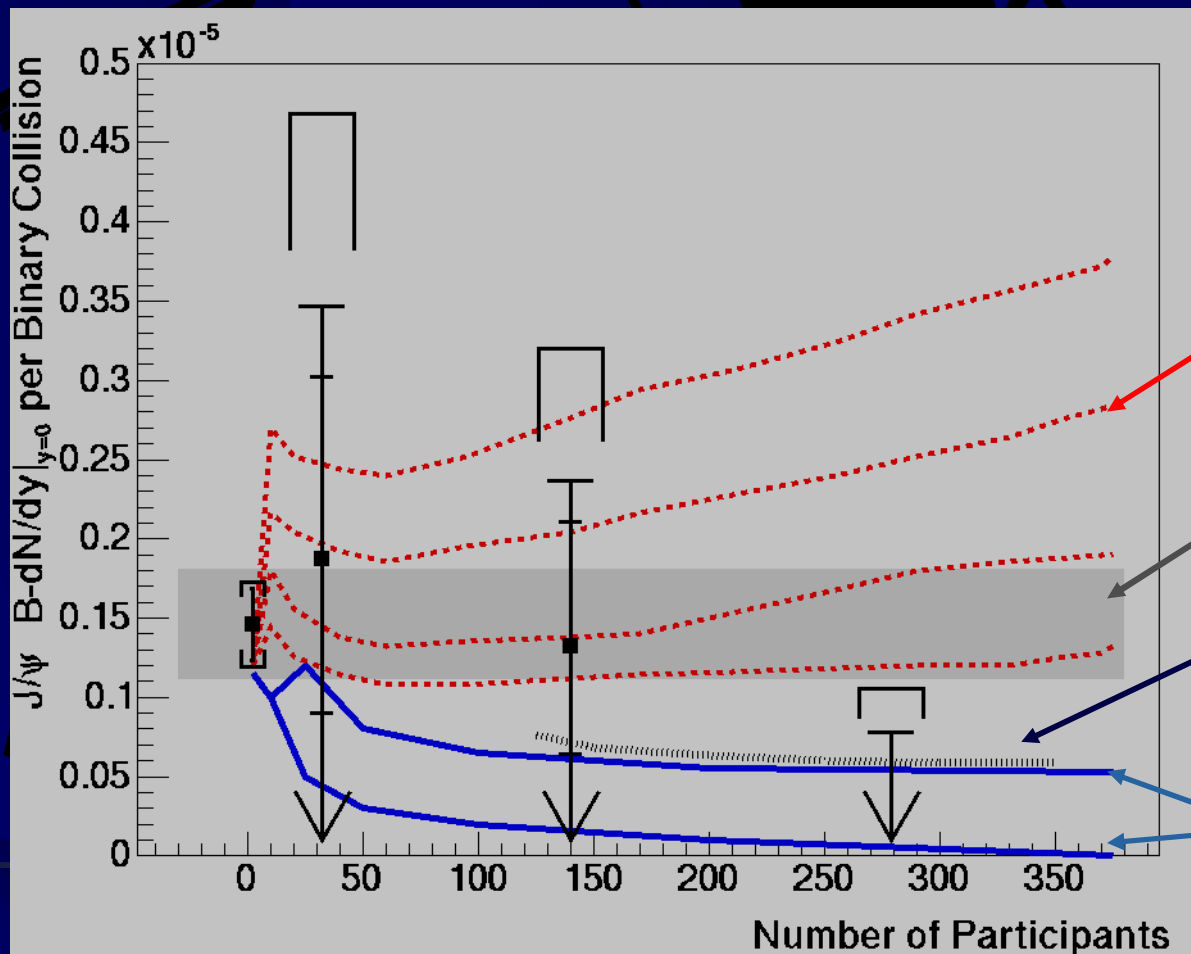
Nuclear absorption
4.4 and 7.1 mb

★ NA50 points
normalized to pp
for shape comparison

nucl-ex/0305030
PRC 69, 014901 (2004)

J/ψ en or +or

Exclut juste des modèles de forte coalescence



Coalescence model
(Thews et al)
PRC63,054905 (2001)
T=400 MeV and
 Δy from 1 to 4

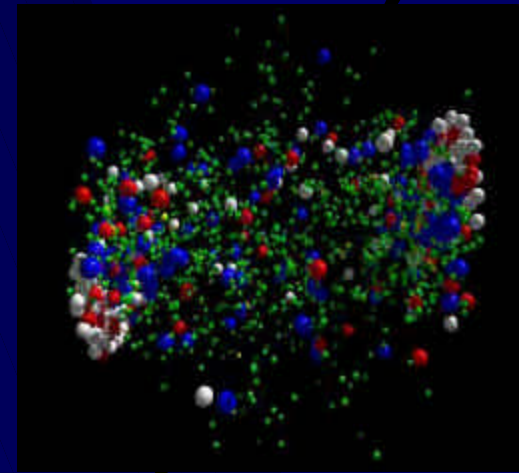
Binary scaling

Statistical model
(Andronic et al)
nucl/th 0303036

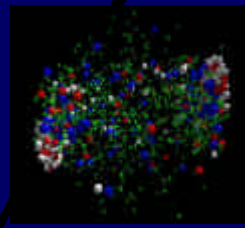
Absorption model
(Grandchamp et al)
NP A709, 415 (2001)

III. L'explosion finale

- Composition en hadrons ?
 - Gel chimique du milieu
- Vitesse des hadrons ?
 - Gel cinétique du milieu
- C'est de la thermodynamique...



Gel chimique



Un modèle hydrodynamique simple donne les abondances des hadrons avec 2 paramètres :

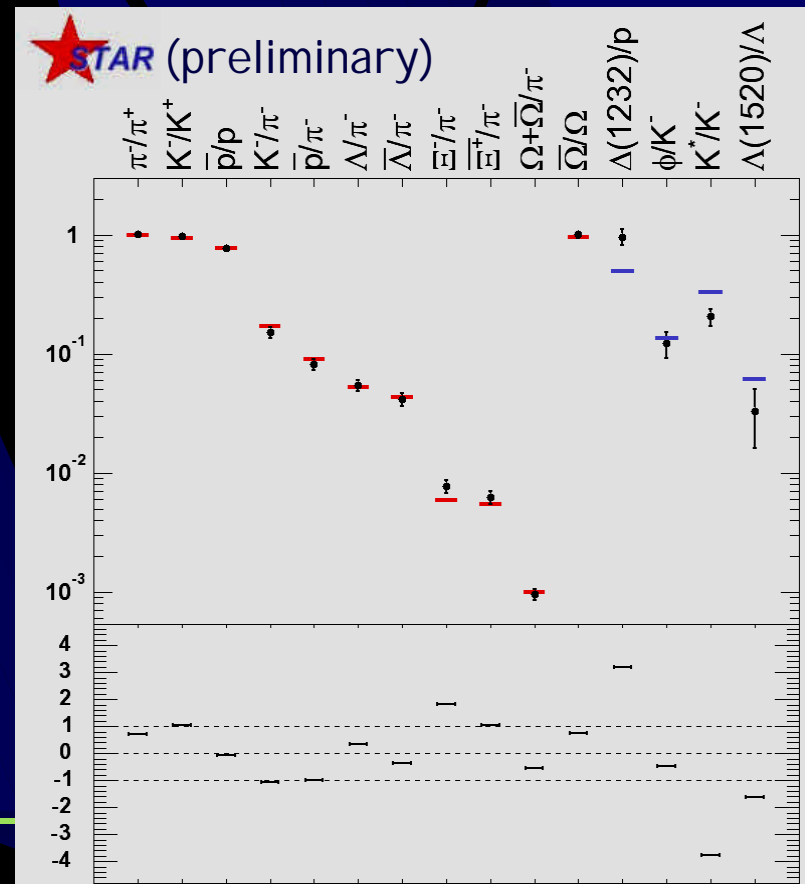
→ Température de gel chimique

- $T_{\text{ch}} = 160 \pm 10 \text{ MeV}$
- Comme au SPS

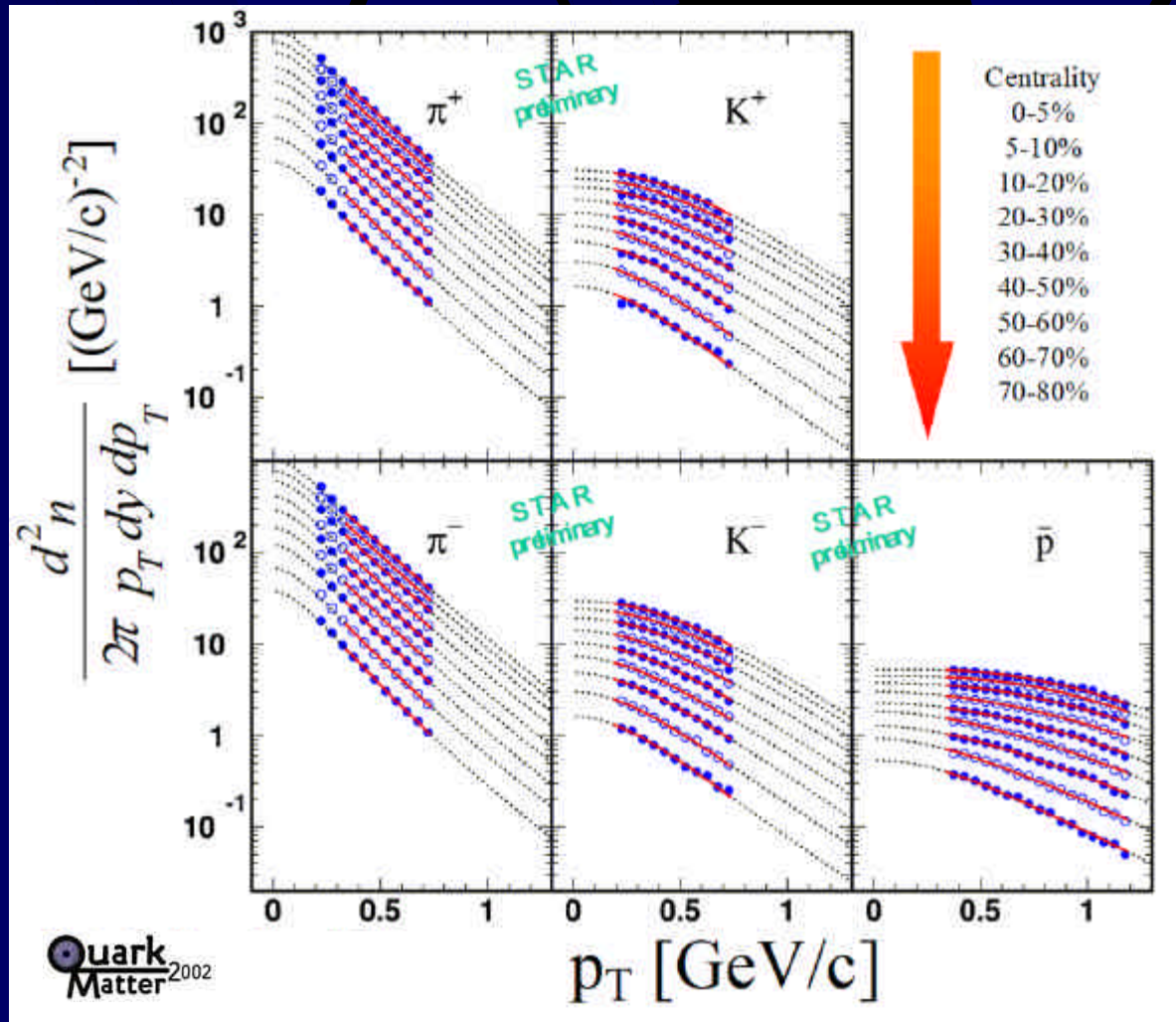
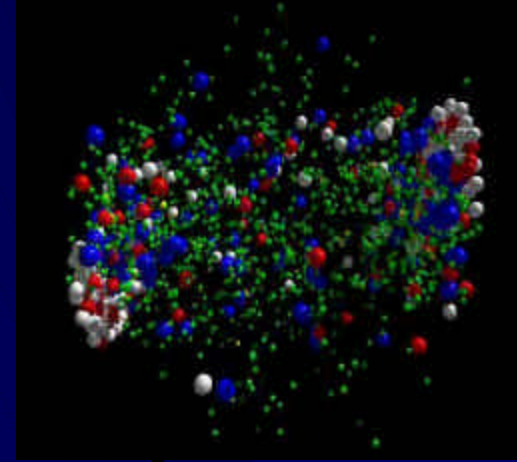
→ Potentiel chimique baryonique

- $m_B = 24 \pm 5 \text{ MeV}$
- (40 MeV @ 130 GeV)
- (200 MeV @ SPS)

Ca marche ! Il y a équilibre chimique, température proche de celle du SPS et proche de la température critique...



Gel cinétique



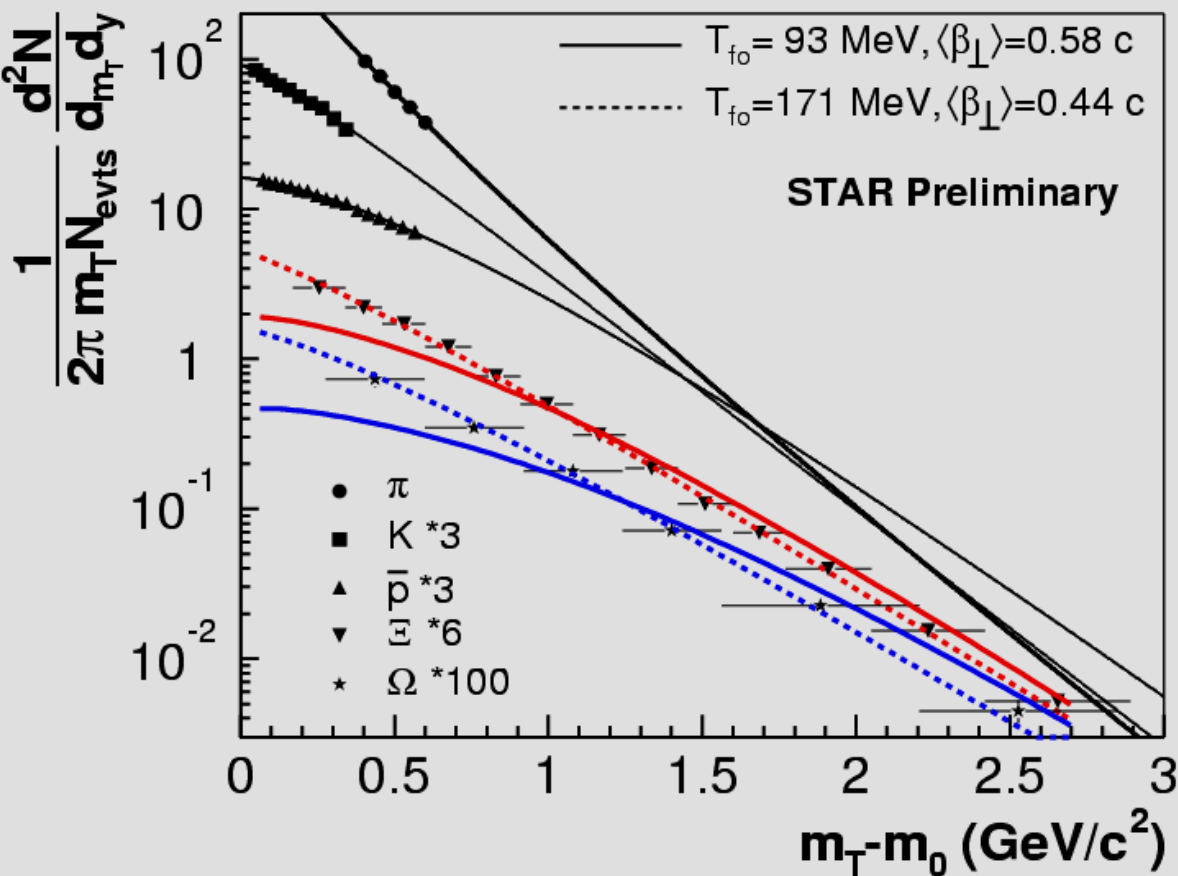
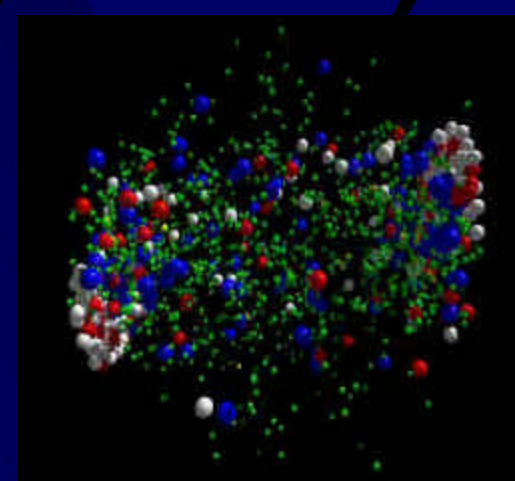
Spectre en (petite)
impulsion transverse

↓
Dynamique

$\langle p_T \rangle$ augmente
avec la masse

↓
Flot collectif

Comme une boule de feu



Modèle d'onde de choc

Température de gel cinétique :

$$T_{th} \sim 100 \text{ MeV}$$

Vitesse d'expansion :

$$\langle \beta_T \rangle \sim 0,6 c \text{ (200 GeV)}$$

Ω, Ξ se découplent plus tôt (vu aussi au SPS) ?

Beaucoup d'autres résultats...

- La production de charme
- Les mésons légers
- L'augmentation de l'étrangeté
- Les corrélations HBT
- Le flux elliptique vs
 - centralité, rapidité,
 - particules, p_T, \dots
- ...

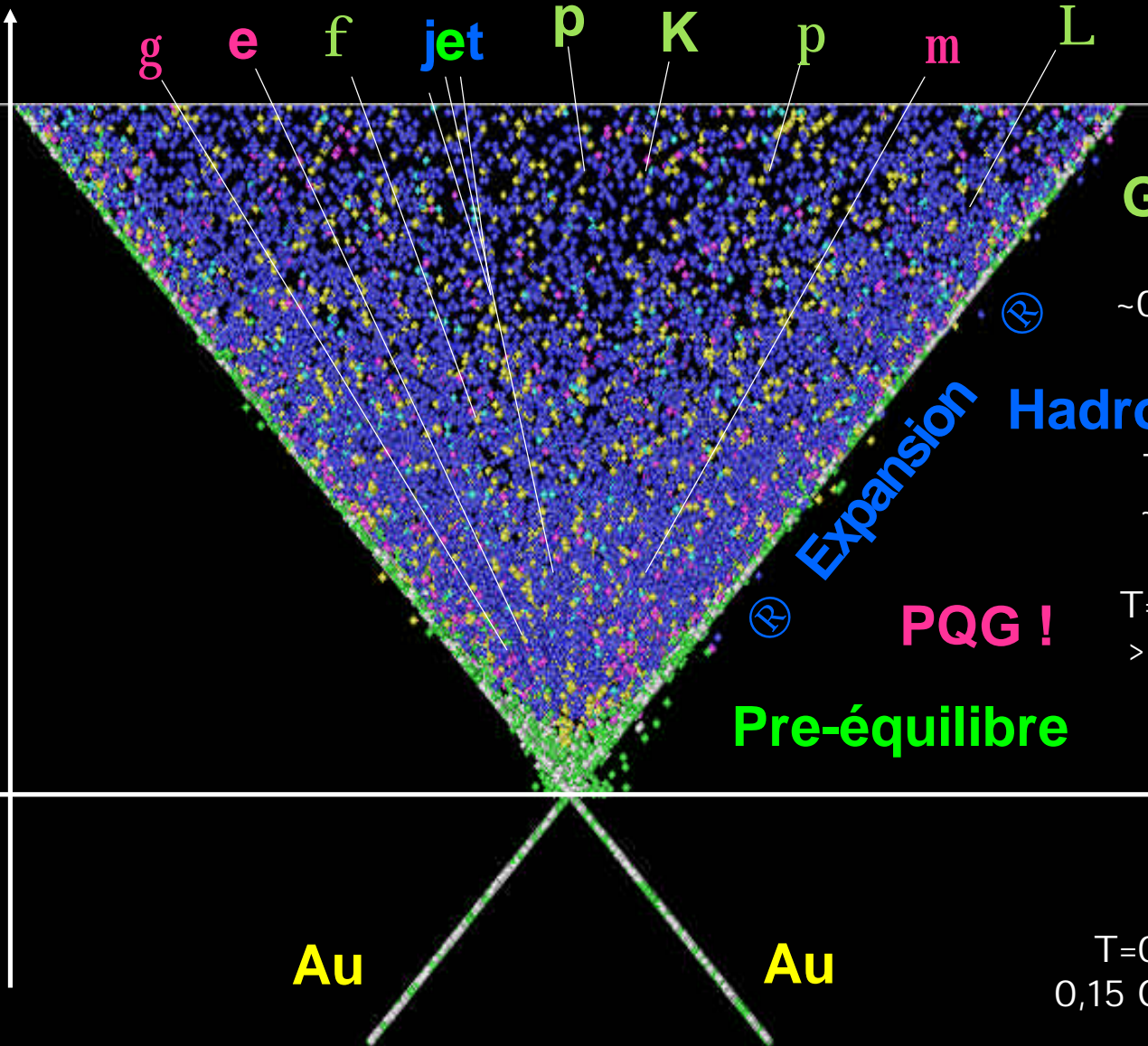
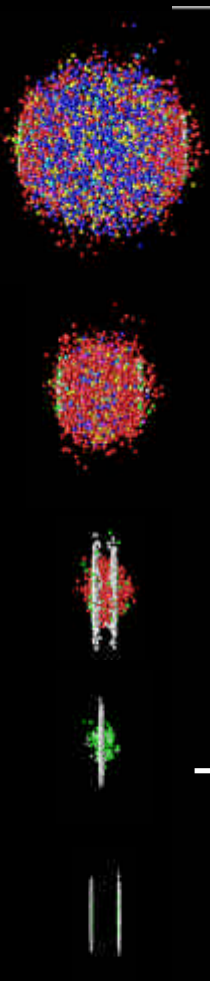


Résumons-nous...

	AGS	SPS	RHIC
\sqrt{s}	4 GeV	20 GeV	200 GeV
Densité d'énergie	$\sim 1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$	$\sim 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3$	$\sim 6 \text{ GeV}/\text{fm}^3$
Antibaryons p/p	0 %	10 %	80 %
$\mu_{\text{baryonique}}$	$\sim 550 \text{ MeV}$	$\sim 250 \text{ MeV}$	$\sim 25 \text{ MeV}$
T_{chimique}	$\sim 120 \text{ MeV}$	$\sim 165 \text{ MeV}$	$\sim 160 \text{ MeV}$
Expansion (β)	$\sim 0,4$	$\sim 0,45$	$\sim 0,6$
$T_{\text{cinétique}}$	$\sim 120 \text{ MeV}$	$\sim 120 \text{ MeV}$	$\sim 110 \text{ MeV}$
Plasma ?	pas vu...	Suppression J/ψ	Jet quenching

Évolution spatio-temporelle

Temps



Gel

$T=100$ MeV
 $\sim 0,05$ GeV/fm³

Hadronisation

$T=160$ MeV
 ~ 1 GeV/fm³

PQG !

$T=300$ MeV ?
 > 6 GeV/fm³

Pre-équilibre

Espace

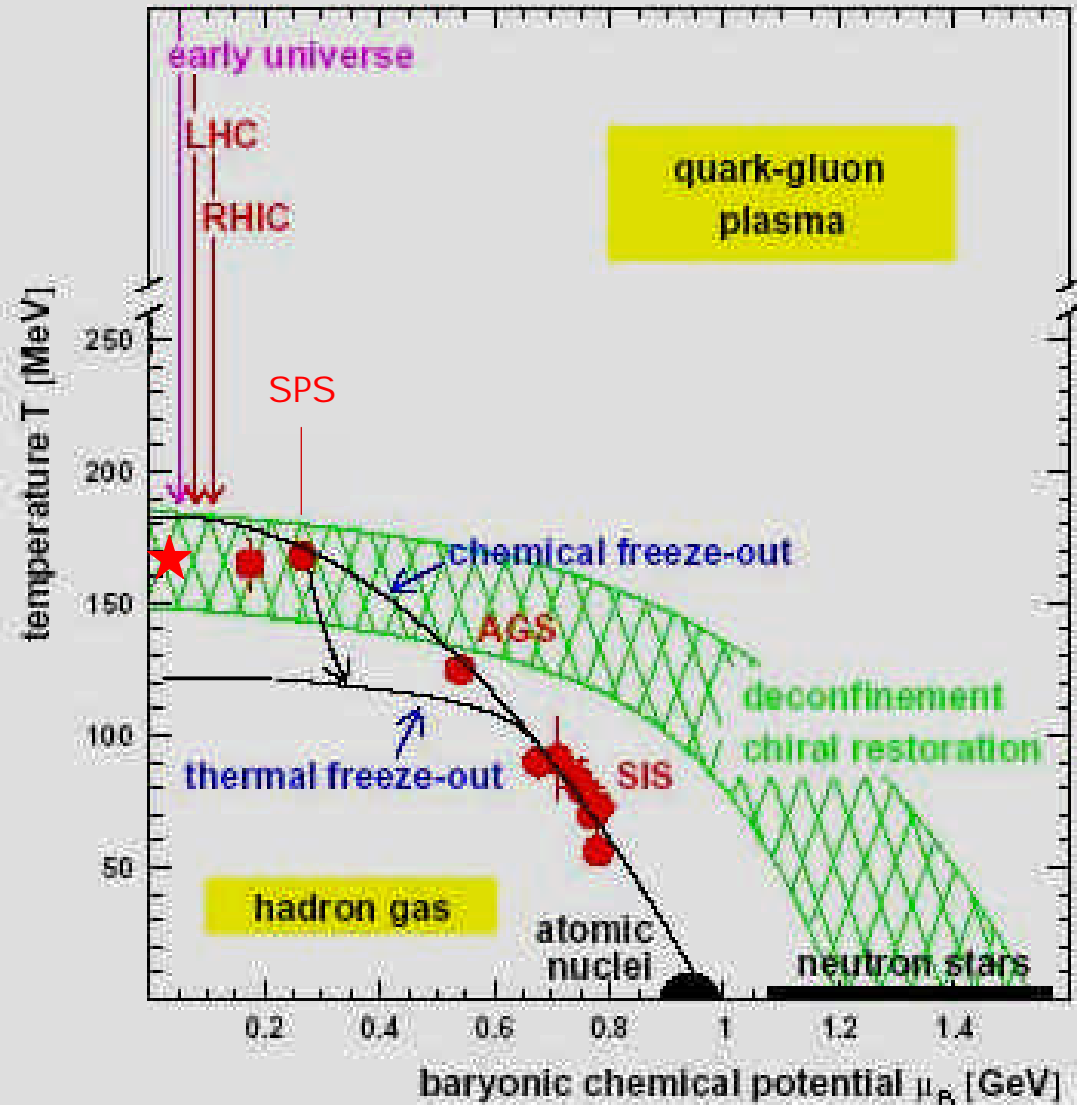
Au

Au

$T=0$ MeV
 $0,15$ GeV/fm³

Sur le diagramme de phase

Gel chimique
proche de la
température
de transition
prédite...



La penta-cerise sur le pudding



● PHENIX pourrait avoir vu un anti-pentaquark...

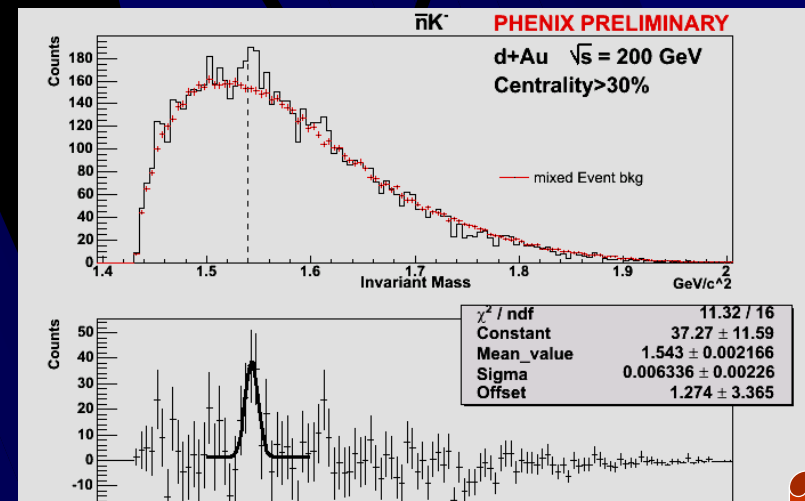
- Même pas un résultat préliminaire, mais poster promu vers session parallèle...



● Θ^+ vu par 6 expériences

- mass : 1535 ± 2.5 MeV

● À suivre



! Attention, ce résultat a été retiré depuis le séminaire !
Malgré une excitation certaine de l'auditoire de QM04,
PHENIX n'a pas vu de pentaquarks !

Conclusions

- Les runs 1+2 ont permis de voir le PQG ?
 - Très fort indice grâce au jet quenching !
- Le run 3 (d+Au) a permis de vérifier que les effets nucléaires froids ne pouvaient pas simuler le jet quenching
 - Et peut-être a-t-on vu les gluons saturés...
- Le run 4 (et les suivants) doivent le confirmer
 - Suppression du J/ψ (et des bottomia)
 - Photons directs
 - Une surprise ?