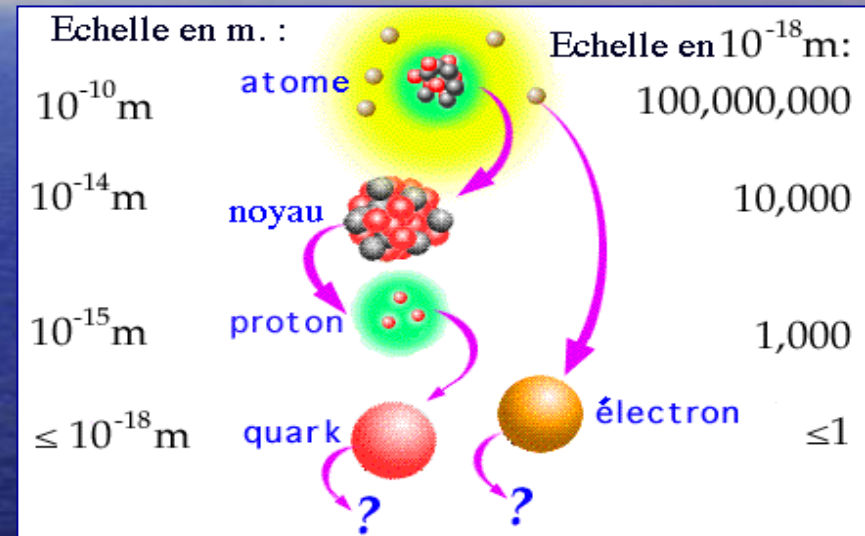


Physique hadronique et ions lourds

Journées Jeunes Chercheurs 2003
La Roche-en-Ardenne
Nicolas Borghini & Raphaël Granier

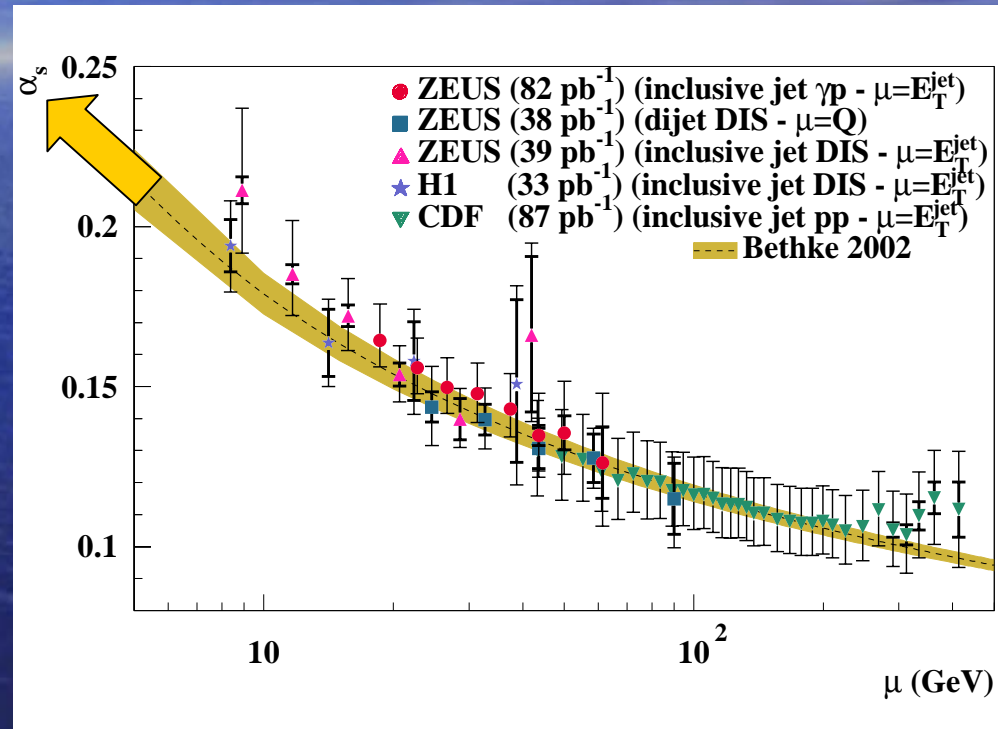
L'interaction forte

- Responsable de la cohésion nucléaire
- Responsable de la cohésion des protons, neutrons et autres hadrons
- Responsable de 99% de notre masse
 - Électrons 2000 fois plus légers que nucléons
 - Quarks de qqg MeV % nucléons de 1 GeV



La chromodynamique quantique

- 1973 : Weinberg & Co
- Théorie quantique des champs
 - Symétrie SU(3) de couleurs
 - 8 gluons collant les quarks
 - Constante α_s renormalisable →

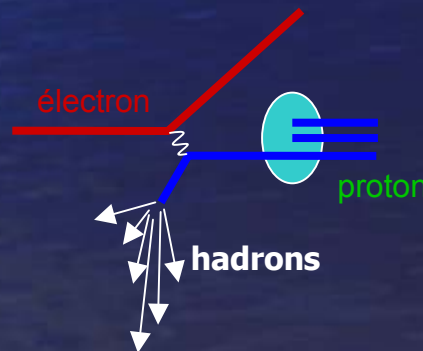


- Interaction « forte » à basse énergie (confinement) mais faible à haute énergie (liberté asymptotique)

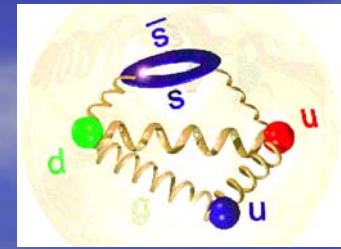
I. La liberté asymptotique

(α_s petit à haute énergie)

- En sondant le proton et le neutron à haute énergie, on observe leurs constituants comme s'ils étaient isolés, libres.
- Permis la découverte des « partons » en 1969
 - (Nobel 1990 à Friedman, Kendal & Taylor)
- Permet d'explorer la structure des nucléons.

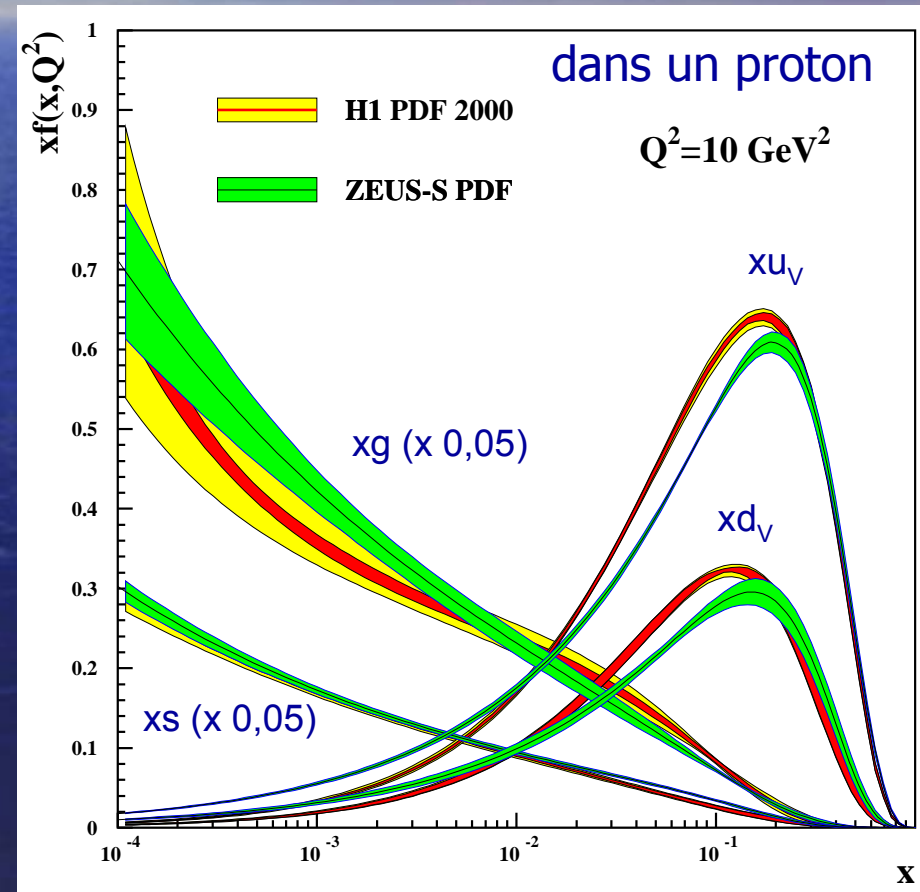


Structure des nucléons



Fonctions de distribution de partons

- L'impulsion des nucléons est portée :
 - A moitié par les quarks (valence + mer)
 - A moitié par les gluons
- Le spin des nucléons est porté
 - ~ 20 % par les quarks
 - + ? Gluons ?
 - + ? Moment cinétique ?



Fraction d'impulsion portée par le parton

A quoi ça sert ?

- Intéressant en soi :
 - De quoi sont fait les nucléons ?
- Indispensable pour étudier les collisions de hadrons :
 - protons au LHC
 - ions lourds au RHIC

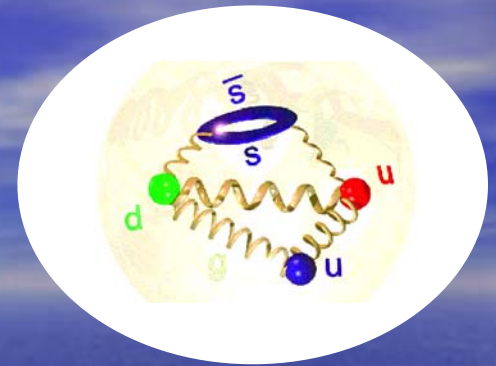
Mardi matin

- **Benjamin Porthault**
 - Fonctions de distribution de partons
 - H1 / DESY / Hambourg, Allemagne
- **Carlos Muñoz Camacho**
 - Distributions de partons généralisées
 - Jefferson Lab / Virginia, USA
- **Benoit Guillon**
 - Contenu en étrangeté des nucléons
 - G0 / Jefferson Lab / Virginia, USA
- **Nicolas Thiollière**
 - Etude de neutronique
 - projet PEREN / Grenoble, France

II. Le confinement

(α_s grand à basse énergie)

- Quarks et gluons sont confinés dans les hadrons... Quoique...



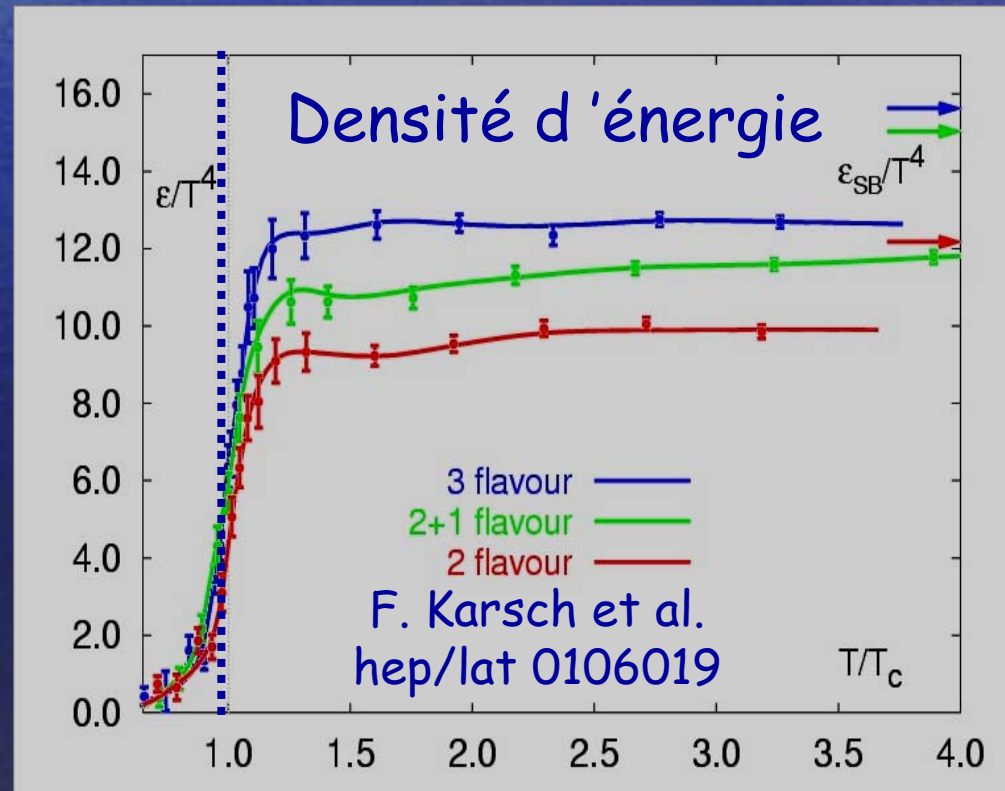
- À grande **densité d'énergie**, peuvent se libérer.

– $T_c \sim 10^{13}$ K ($T_\odot \sim 10^8$)

– $\epsilon_c \sim 0,7$ GeV/fm³

- Déconfinement

« Plasma de Quarks et de Gluons »



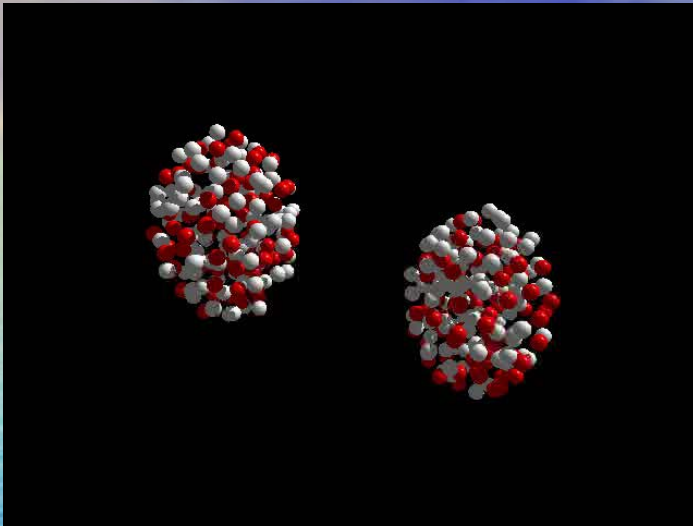
Densité d'énergie ? Collisions d'ions lourds !

1986 BNL - AGS $\sim 1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$

1994 CERN - SPS $\sim 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3$

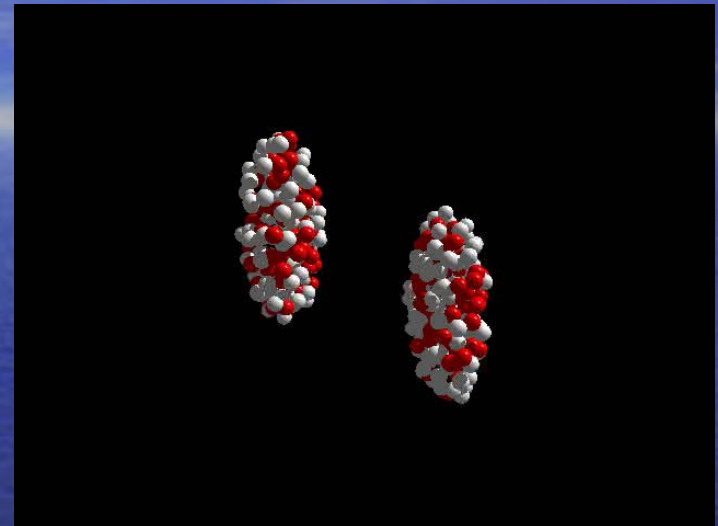
C
I
B
L
E

F
I
X
E



C
I
B
L
E

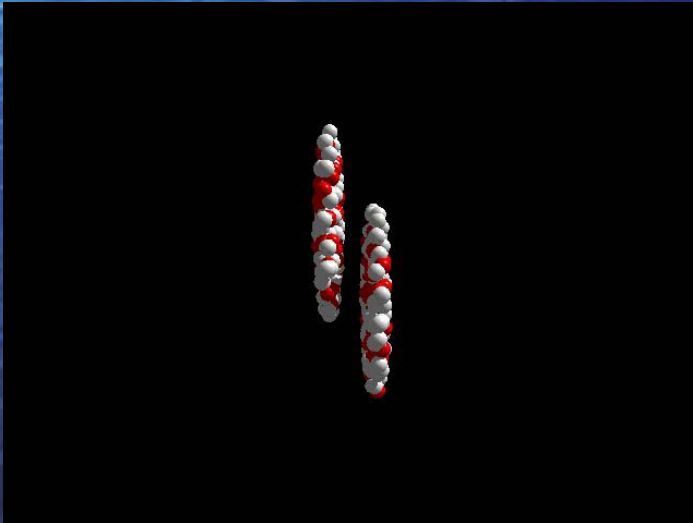
F
I
X
E



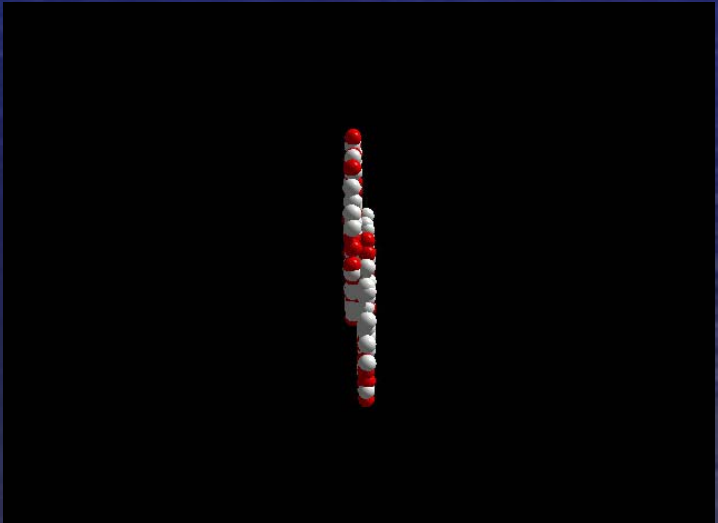
2000 BNL - RHIC $\sim 6 \text{ GeV}/\text{fm}^3$

2007 ? CERN - LHC >

C
O
L
L
I
S
I
O
N
S



C
O
L
L
I
S
I
O
N
S



Comment voir le plasma ?

- 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

- Nombreux phénomènes vus...
 - ... y compris en proton+noyau (pas de plasma)
- Annoncé au CERN en fev. 2000
- Confirmé au RHIC en juin 2003

July 18 1999

BRITAI



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

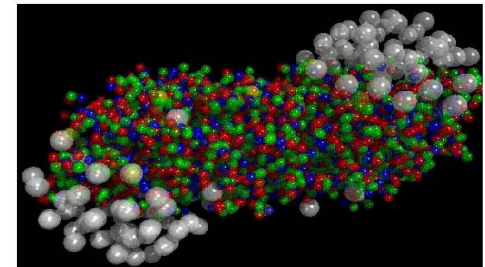
Big Bang machine could destroy Earth



Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
European Organization for Nuclear research
Laboratoire Européen pour la Physique des Particules
European Laboratory for Particle Physics
Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik
Laboratorio europeo per la fisica delle 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.

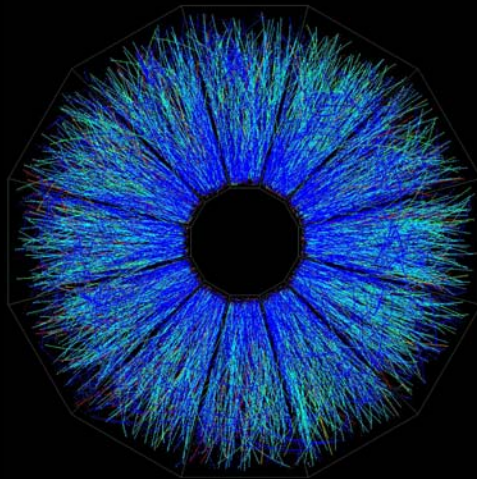
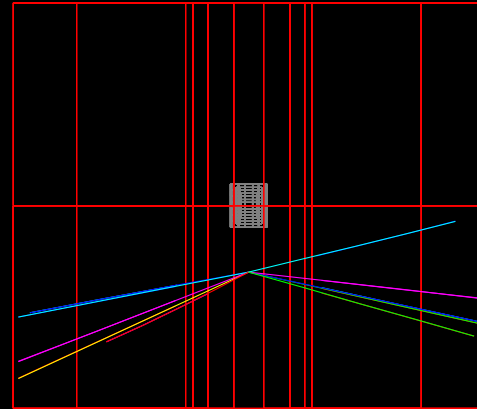
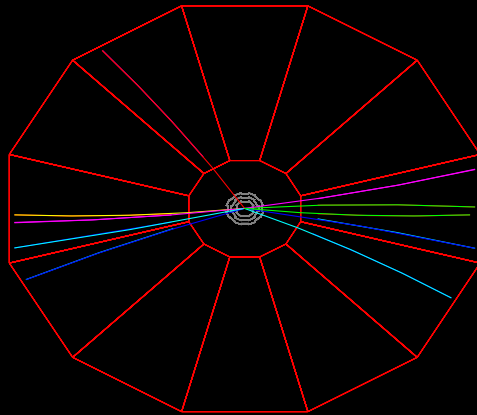
Theory predicts that this state must have existed at about 10 microseconds after the Big Bang, before the formation of matter as we know it today, but until now it had not been confirmed experimentally. Our understanding of how the universe was created, which was previously unverified theory for any 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.

Nombreuses signatures !

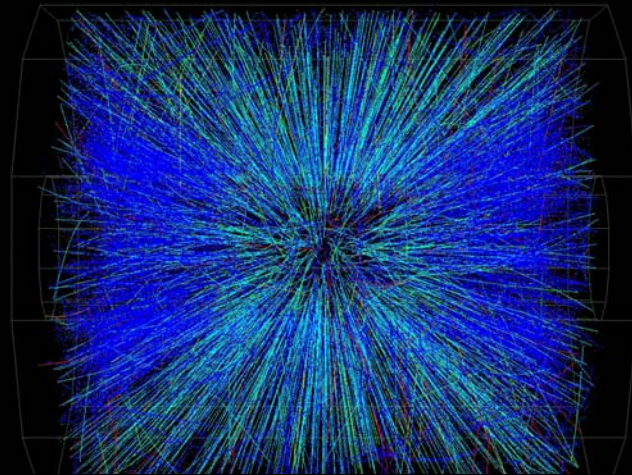
- La suppression des quarkonia
 - Vue au CERN ! **Philippe Pillot**
 - A voir au RHIC ! **Vi-Nham Tram**
- La suppression des particules de haut pt
 - Vue au RHIC
- Production de photons directs
- L'augmentation de l'étrangeté
 - **Magali Estienne cherche des Ξ dans STAR**
- Élargissement des mésons légers...
- Etc.

Difficulté expérimentale !

Facile en proton + proton @ 200 GeV



?



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

Evolution spatio-temporelle

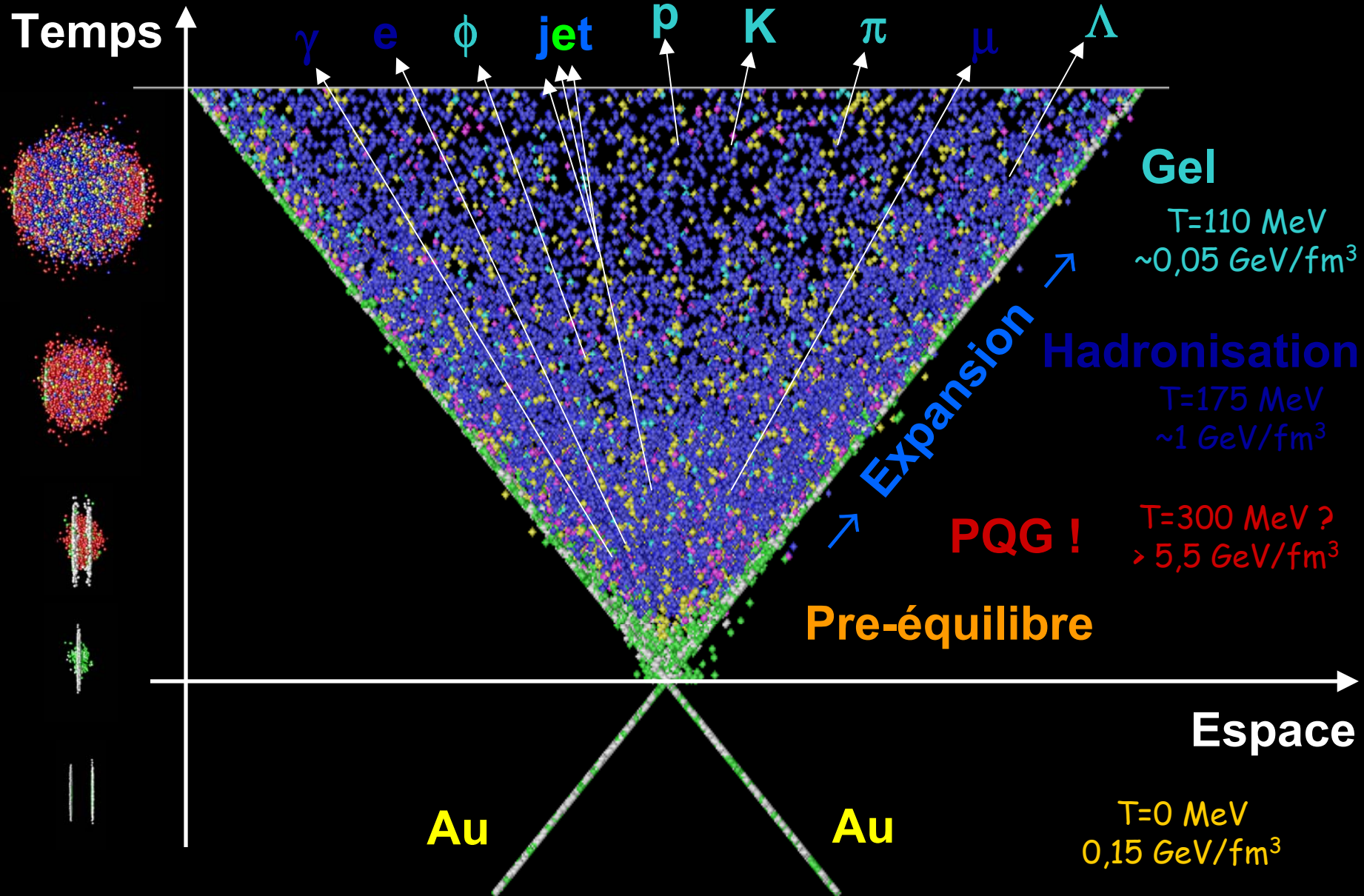
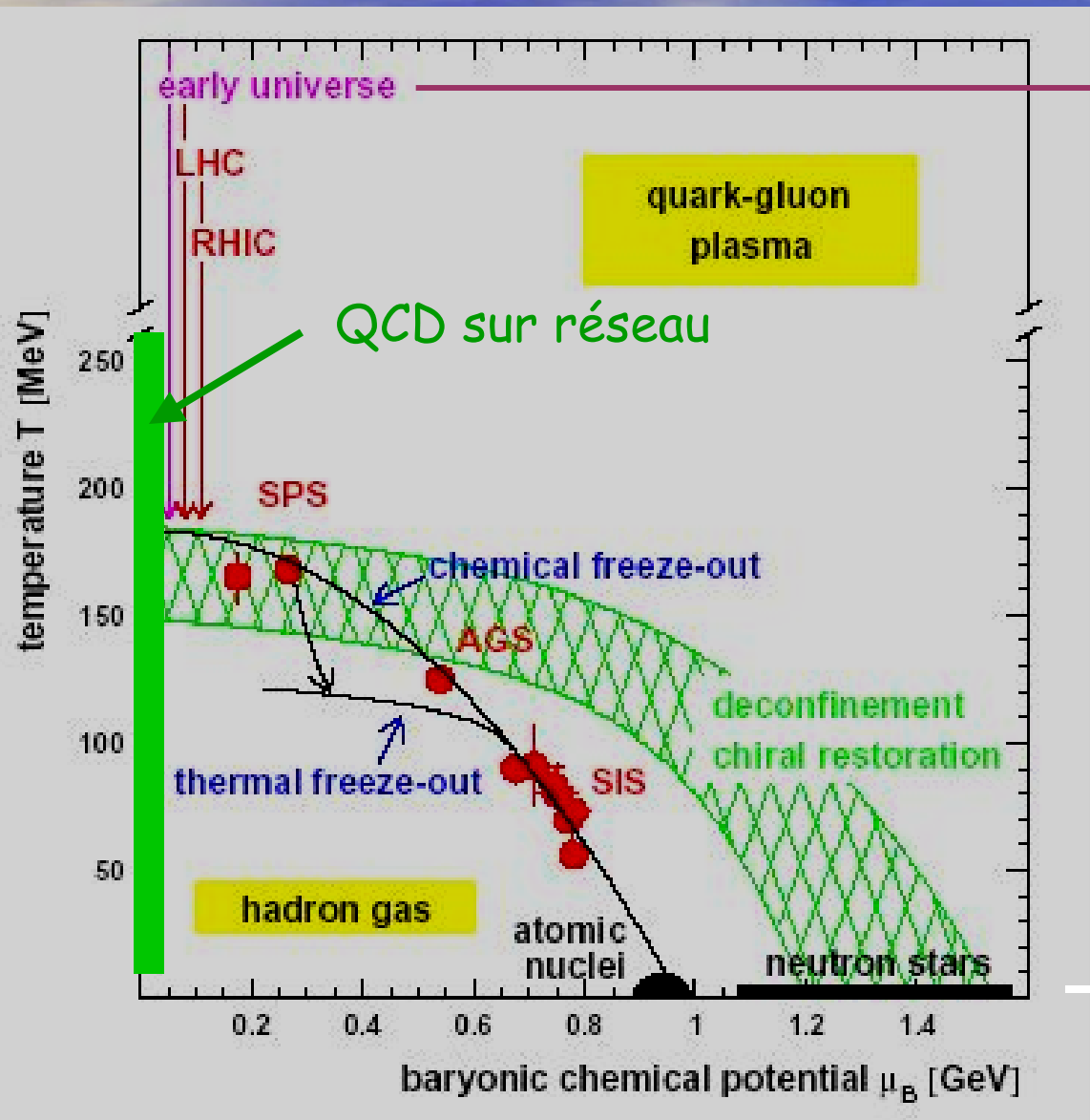
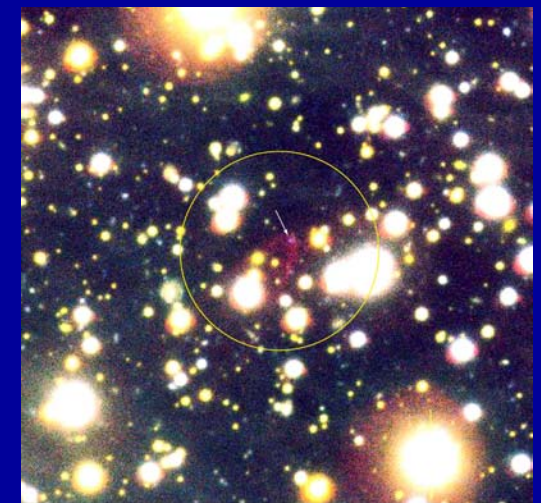


Diagramme des phases QCD



Une microseconde après le big bang

La toute dernière mode...



*Étoile à quarks ?
RXJ J185635-375
Astro-ph/0204159*

