

Morceaux choisis d'ICHEP (et de QM)

❖ Les plus lourds

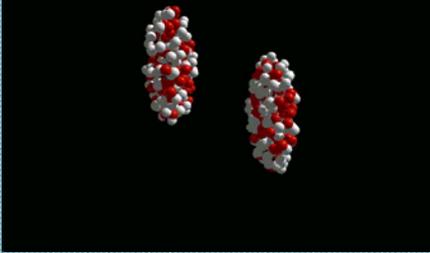
- Collisions Or-Or à 200 GeV/nucléon
- Plasma de quarks et de gluons ?
- <http://alice-france.in2p3.fr/qm2002/>

❖ Les plus légers

- Les oscillations de neutrinos
- Solaires et atmosphériques
- <http://www.ichep02.nl> ← (Voir ...)

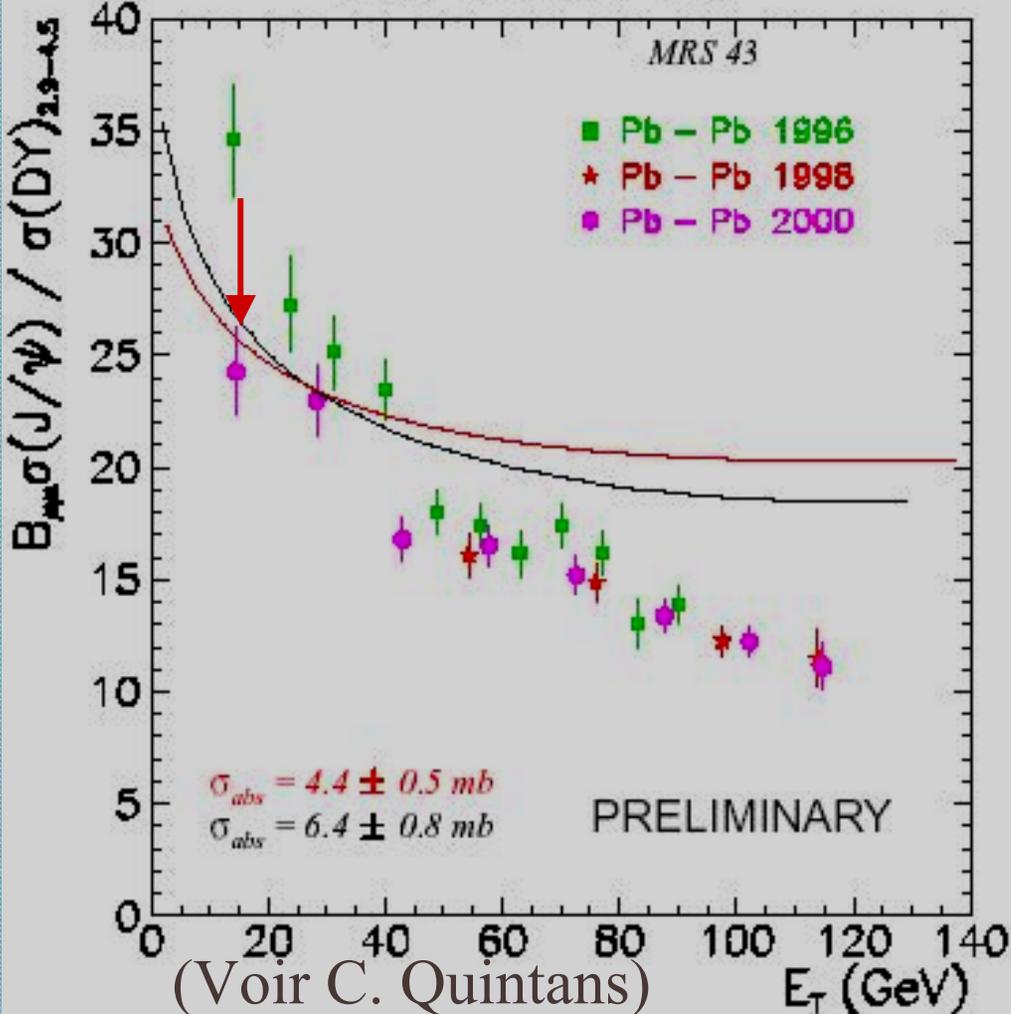
Update du CERN (17,3 GeV/nucléon)

RHIC

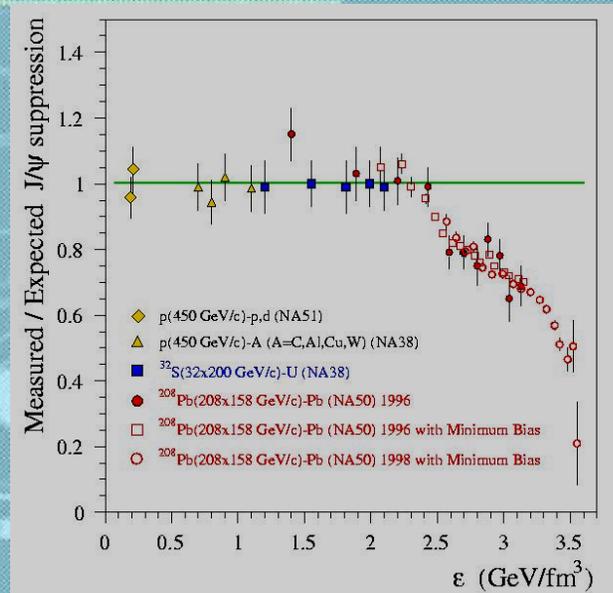


NA50 $\Psi/\text{DY}(2.9-4.5)$

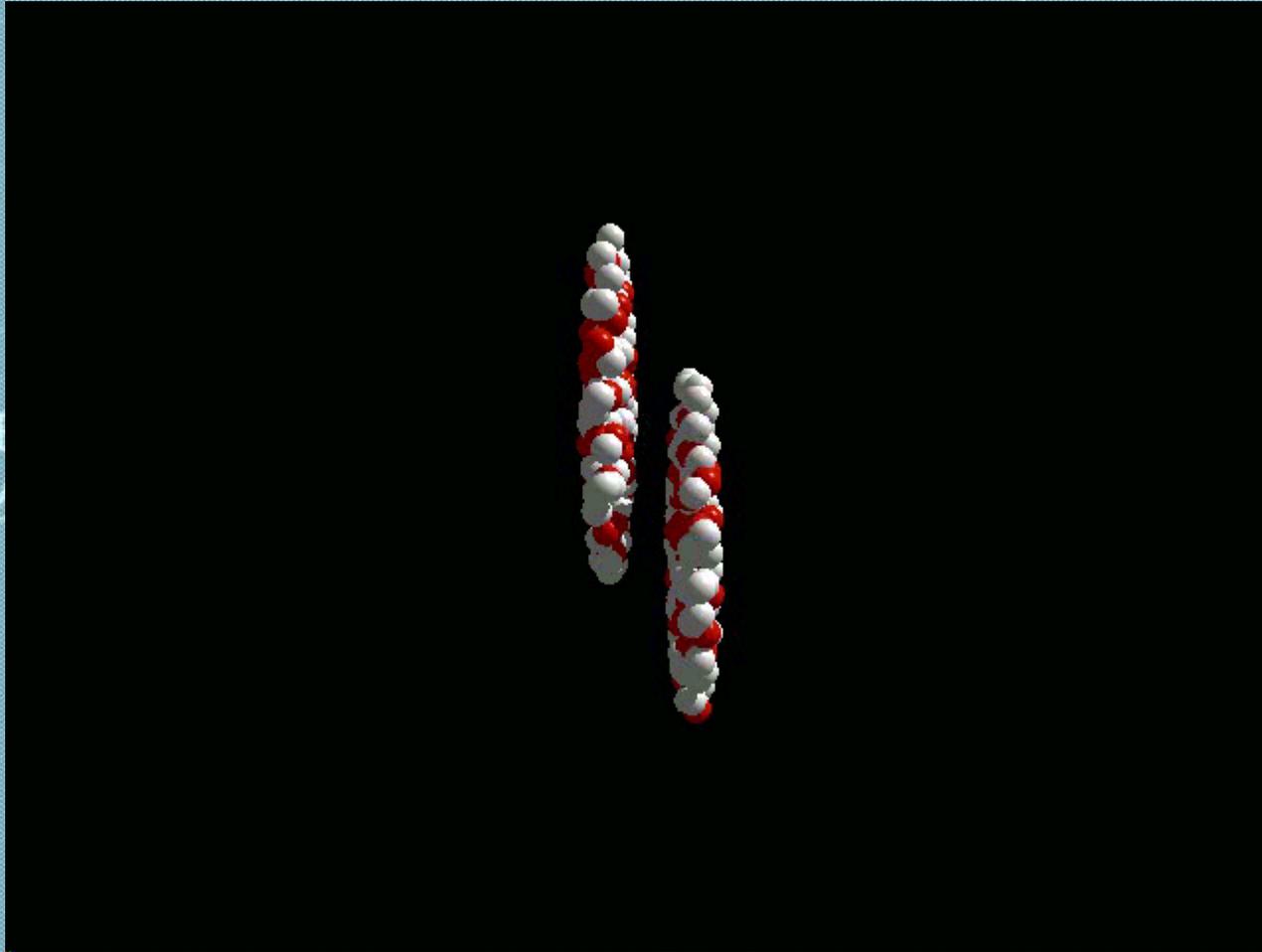
MRS 43



- ❖ Cible dans le vide
- ❖ $\sigma_{abs} = 4.4 \pm 0.5 \text{ mb}$
- ❖ Toujours le PQG à $\epsilon > 2,5 \text{ GeV}/\text{fm}^3$



Collision or+or à 200 GeV/nucléon



em
de Graaff

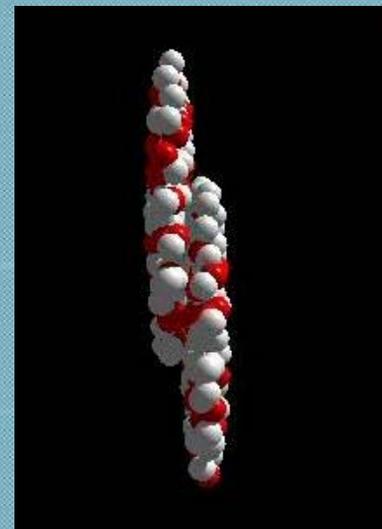
Heavy Ion
Transfer Line

Conditions initiales

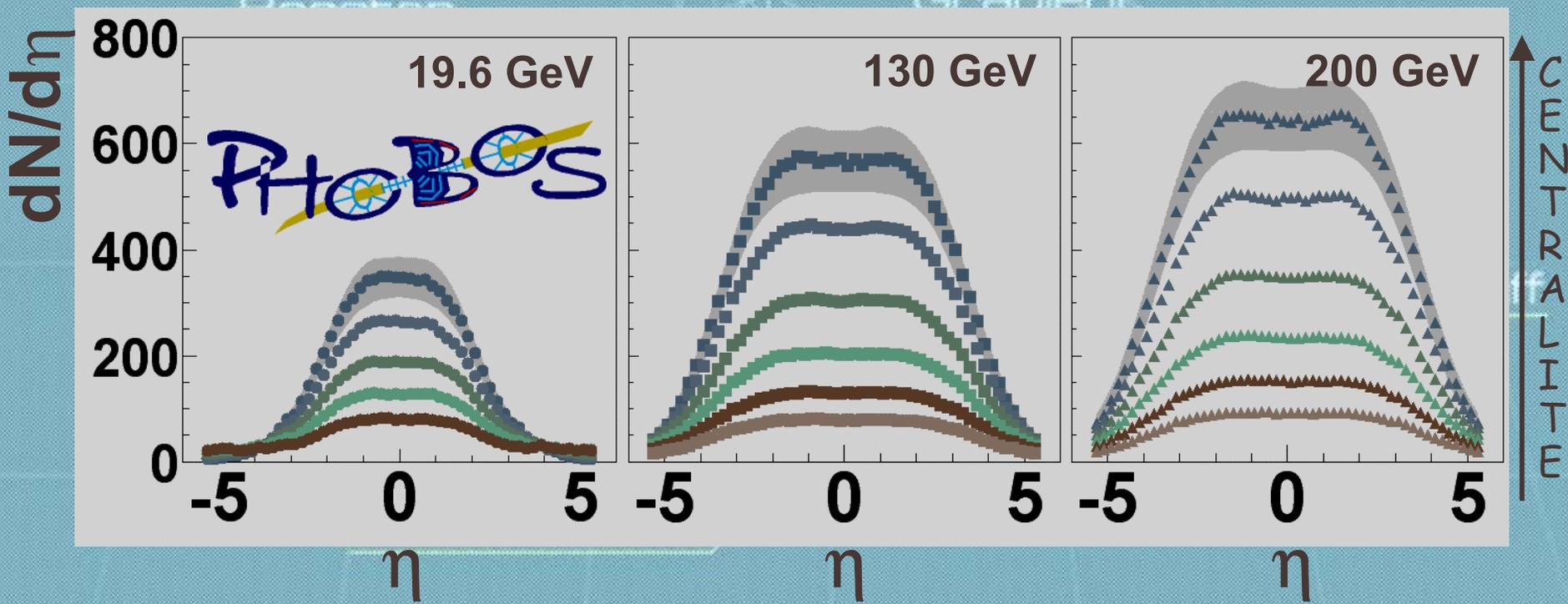
❖ Multiplicité

- $dn_{ch}/d\eta|_{\eta=0} \rightarrow 670$

- $N_{total} \sim 6000$ particules !

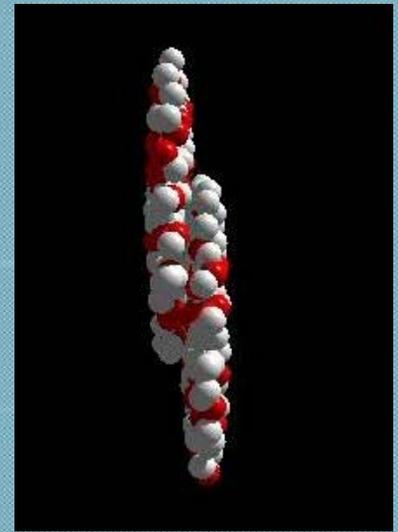


(Voir P. Steinberg)

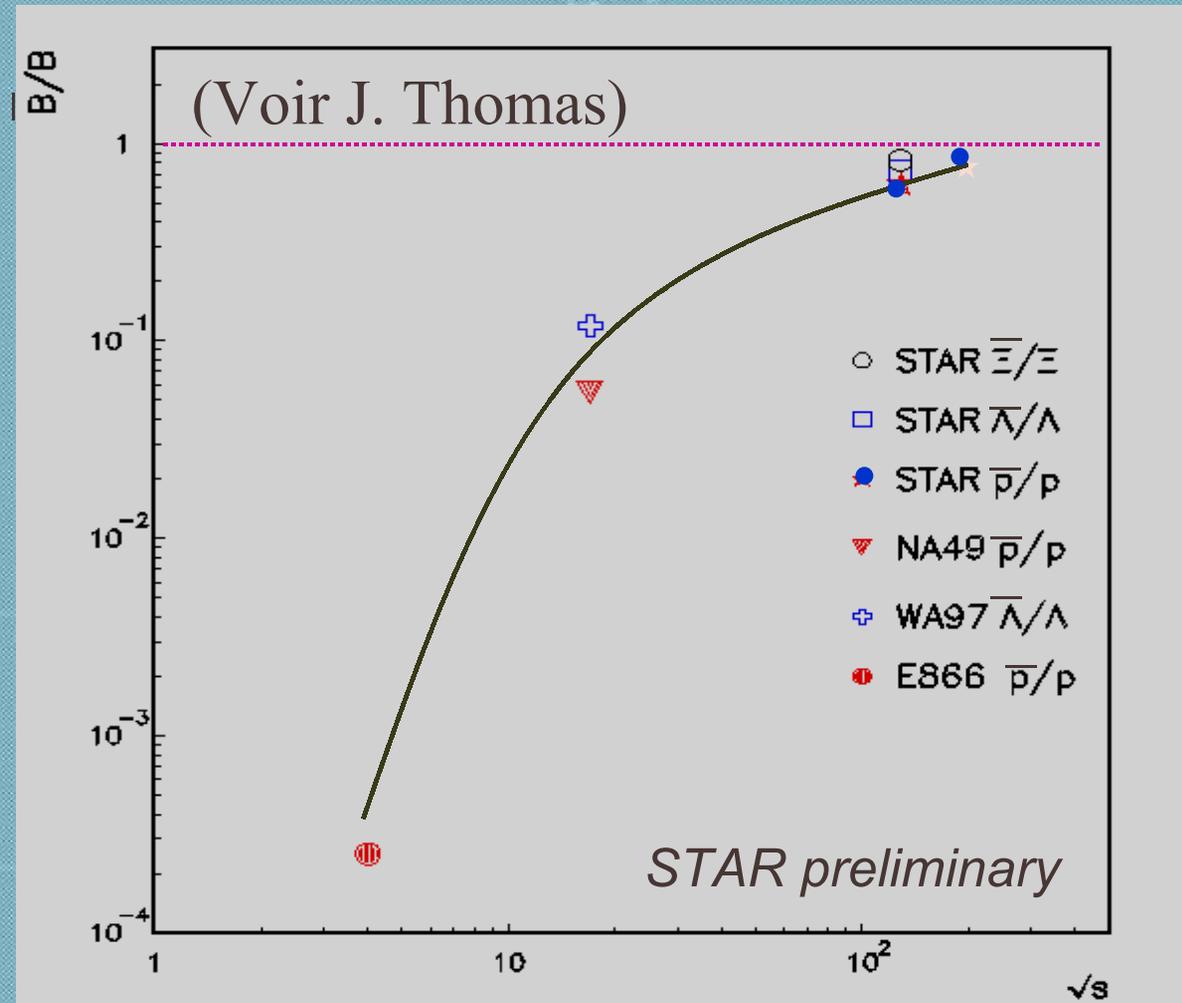
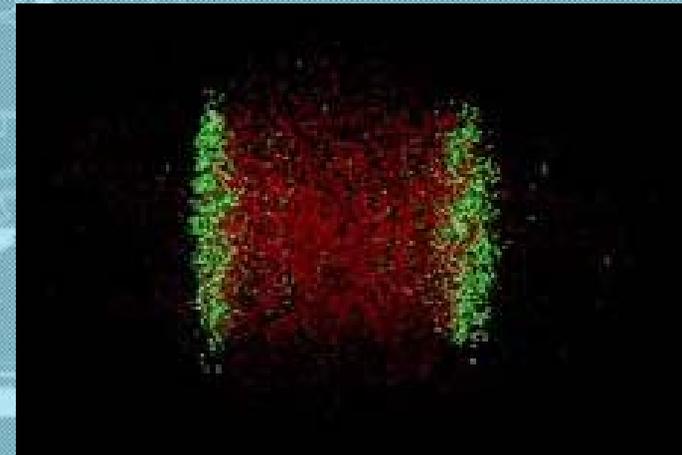


Conditions initiales

❖ La (quasi)transparence

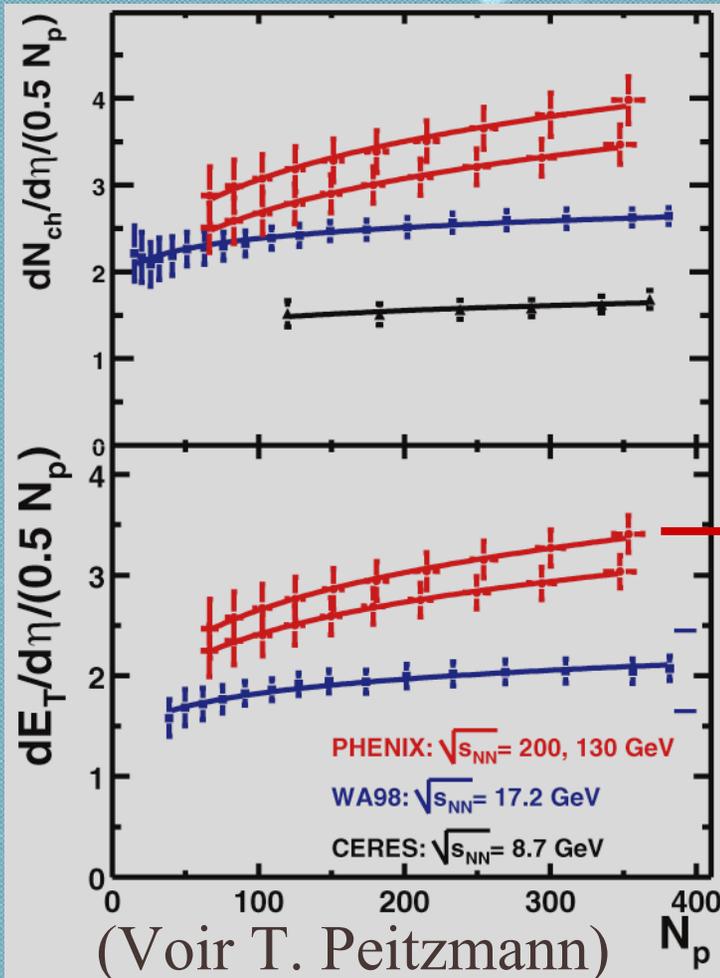
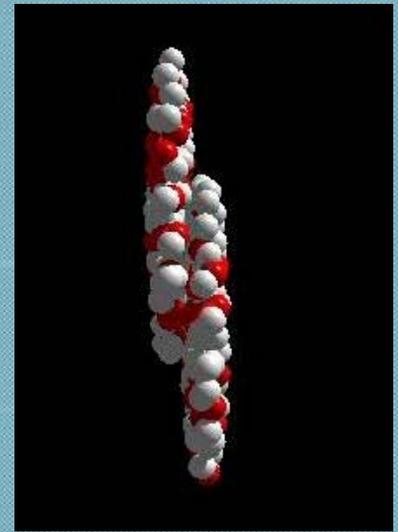


80 % des protons
proviennent de
paires $p+\bar{p}$



Conditions initiales

❖ La densité d'énergie



$$\varepsilon > 5.5 \text{ GeV}/\text{fm}^3$$

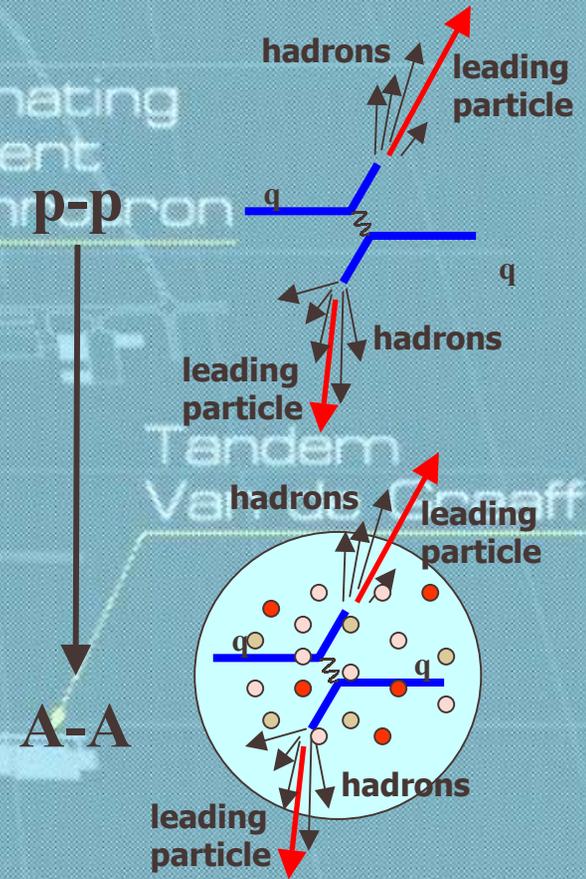
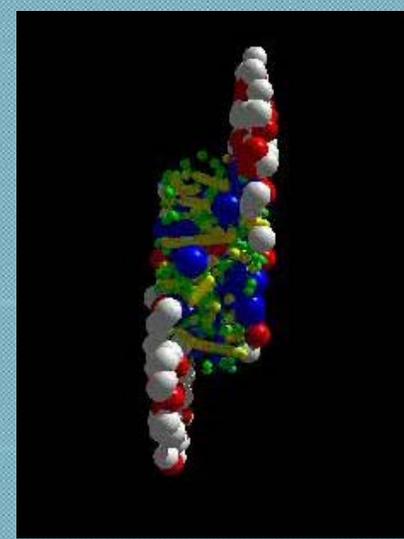
$$\varepsilon = \frac{1}{\pi R^2 \tau_0} \cdot \frac{dE_T}{d\eta}$$

Formule de Bjorken

τ_0 temps de formation
de 0.1 à 1 fm/c

Premiers instants

- ❖ Alors, plasma ou pas ?
 - Regarder les particules de grande impulsion transverse
 - Produites dans des processus durs (calculables) et sensibles au milieu traversé
 - Comparer or+or avec p+p
- X nombre de collisions



$$R_{AA} \equiv \frac{d^2 N^{AA} / dy dp_T}{d^2 N^{pp} / dy dp_T \cdot \langle N_{coll}^{AA} \rangle}$$

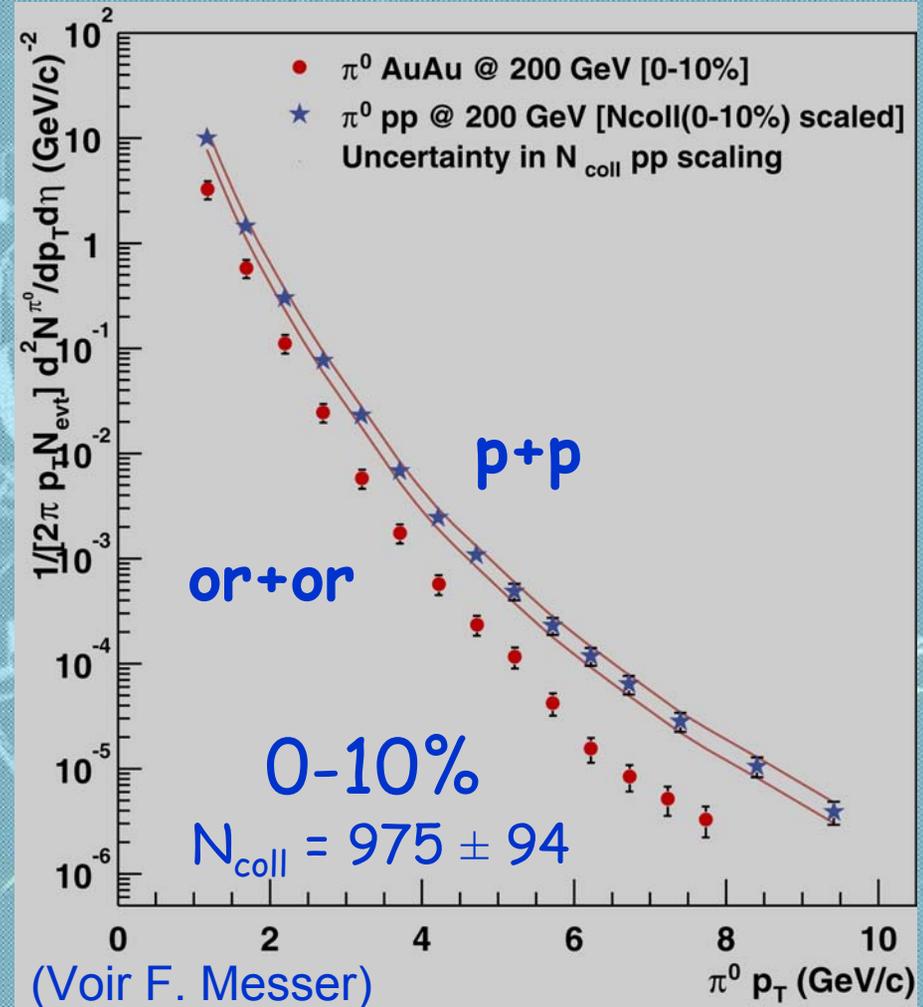
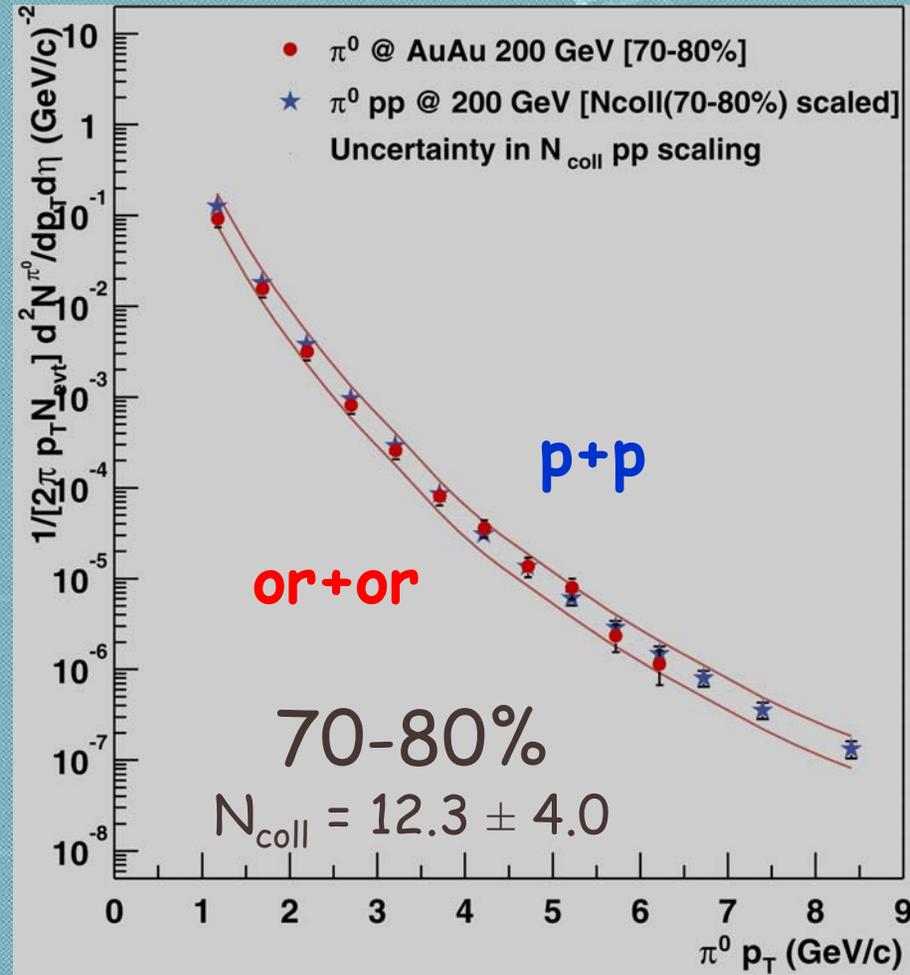
Spectre de π^0



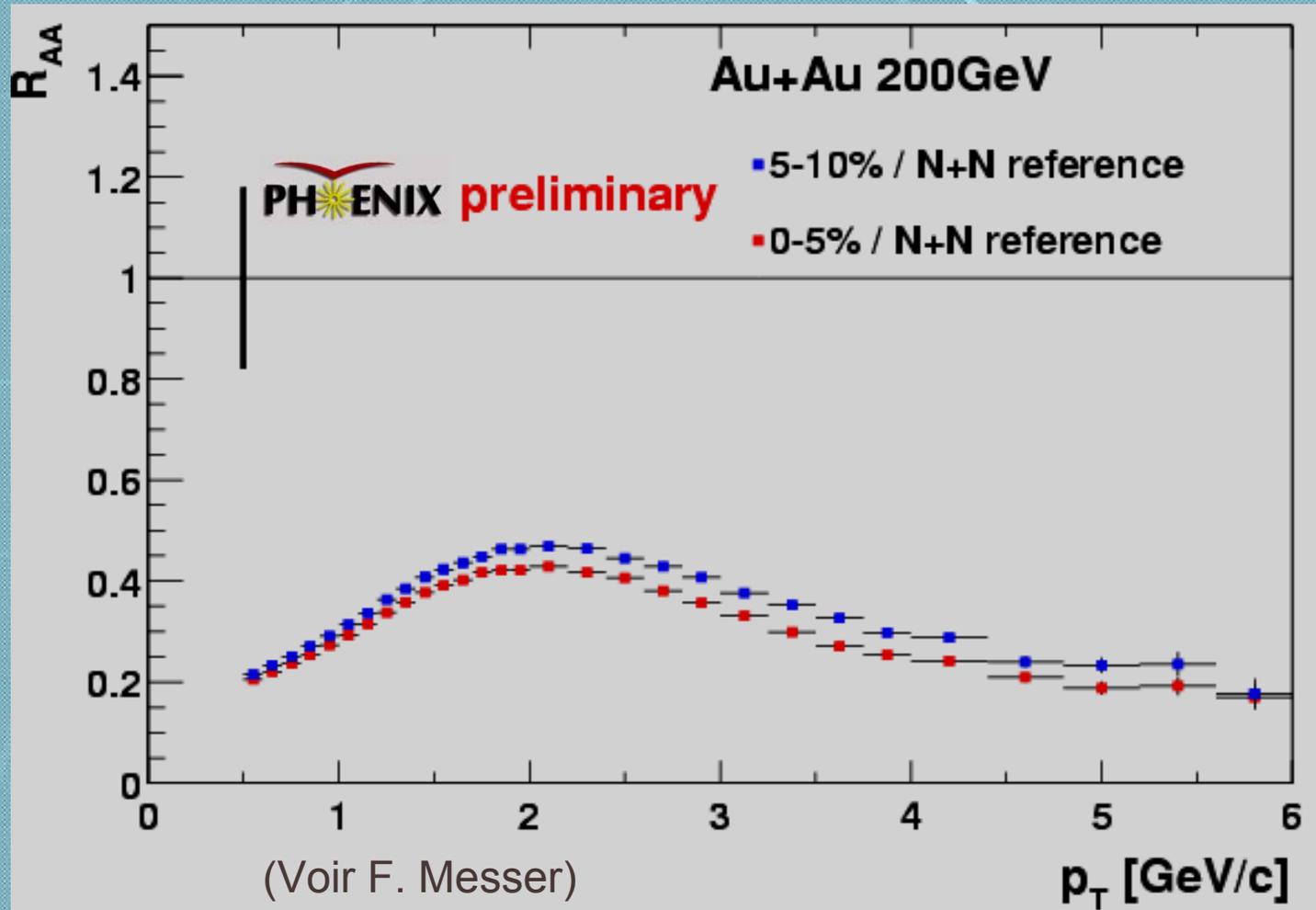
(or+or) = (p+p) \times N_{coll}
 en collisions périphériques

RHIC

Fortement supprimés
 en collisions centrales !



Spectre de hadrons chargés



Même comportement que π^0
→ Jet quenching !

Jet quenching!

Suppression des π^0

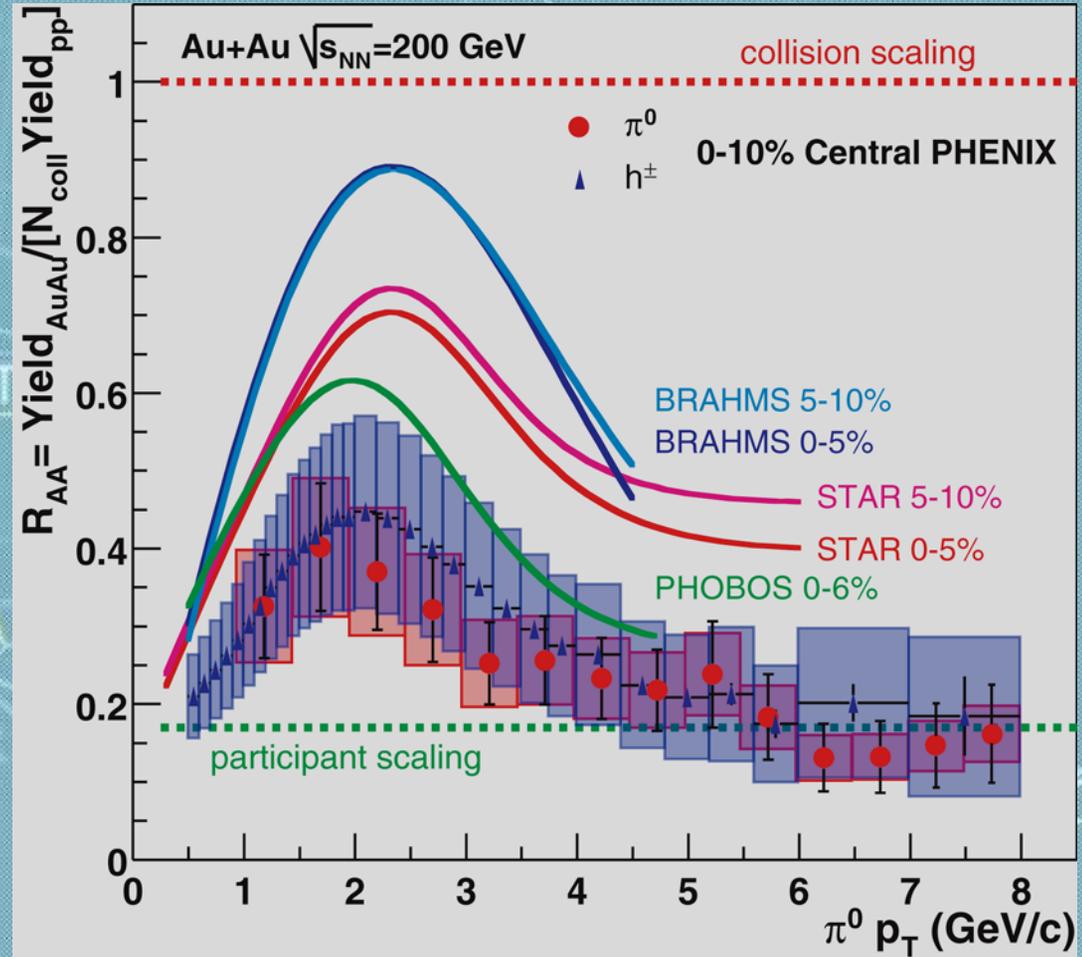
Facteur 6 @ 6 GeV

Suppression des
hadrons chargés

- Accord avec π^0
- dans PHENIX...

Désaccord des 4
expériences!

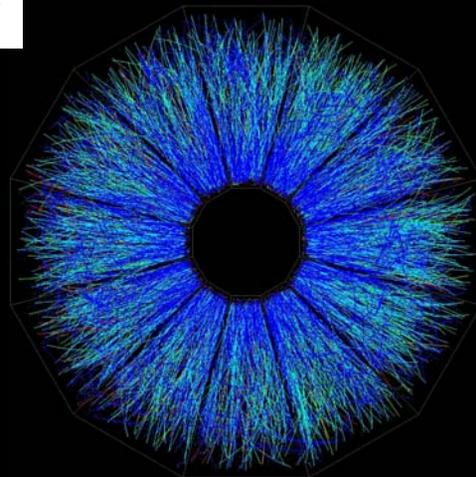
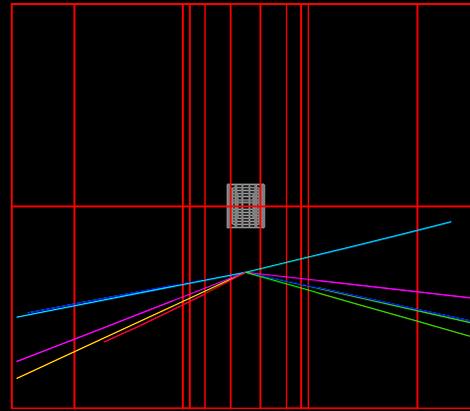
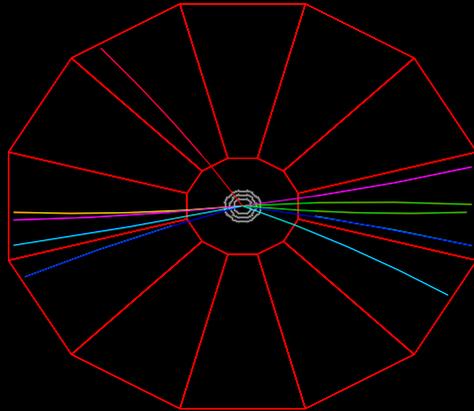
- Référence p+p ?
- Glauber ?



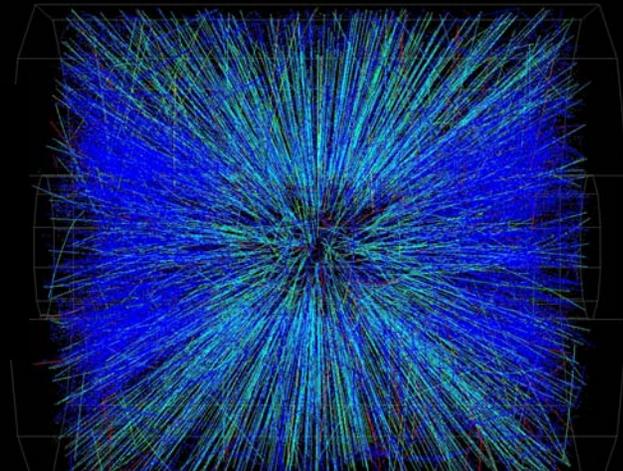
Meilleur accord des rapports
périph./centrales phenix/star

Voir des jets...

Facile en proton + proton @ 200 GeV



?



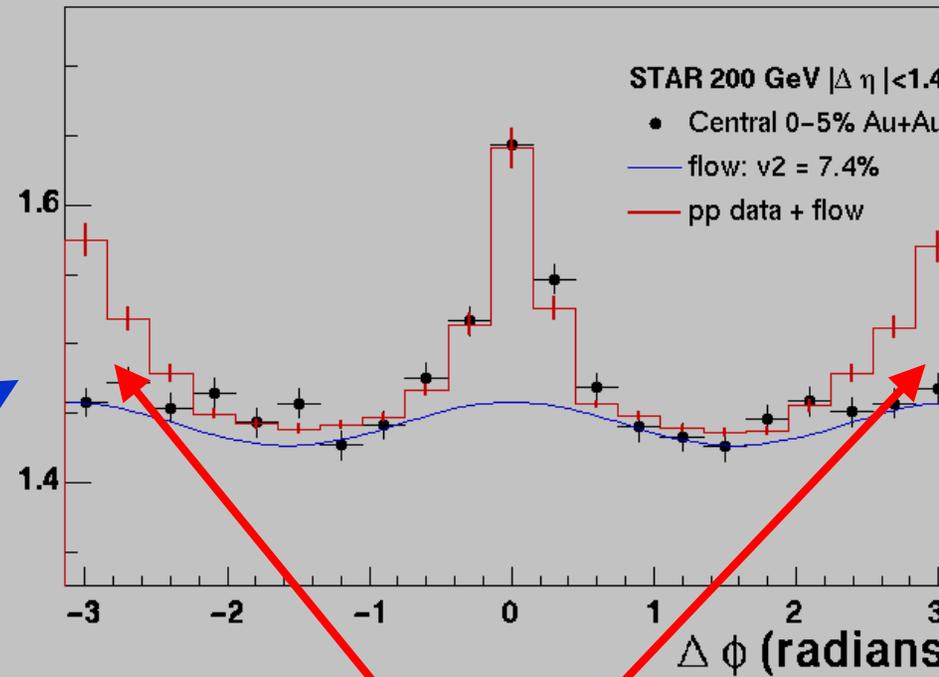
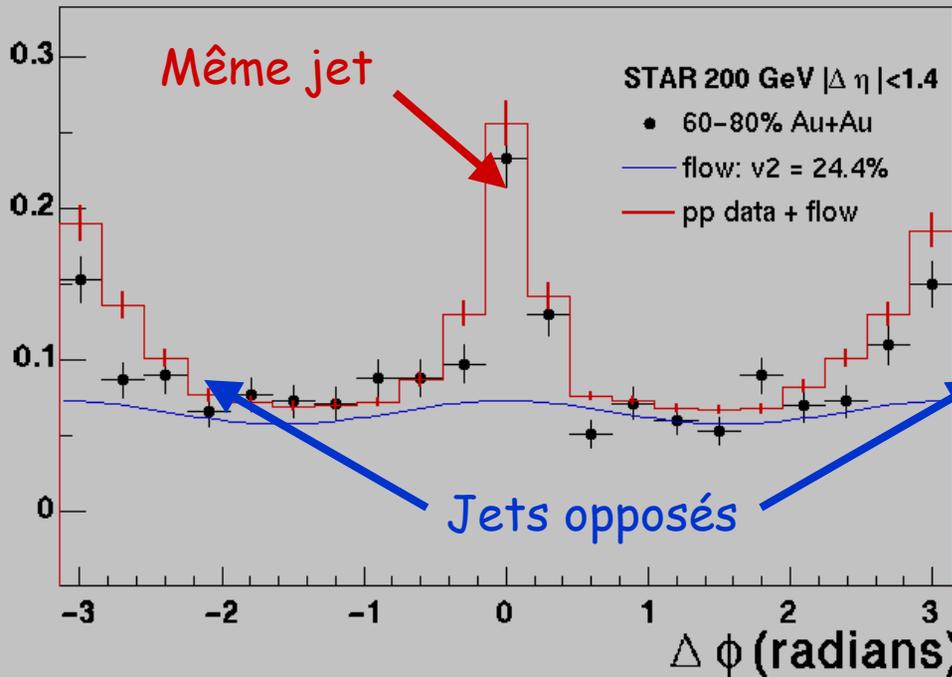
raaff

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

... et mourir

$$1/N_{\text{trigger}} \frac{dN}{d(\Delta\phi)}$$

(Voir J. Thomas)



Corrélation angulaire avec une particule de $p_T > 4\text{GeV}$

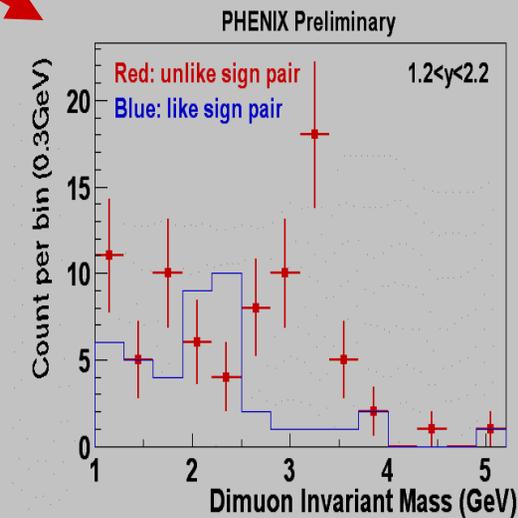
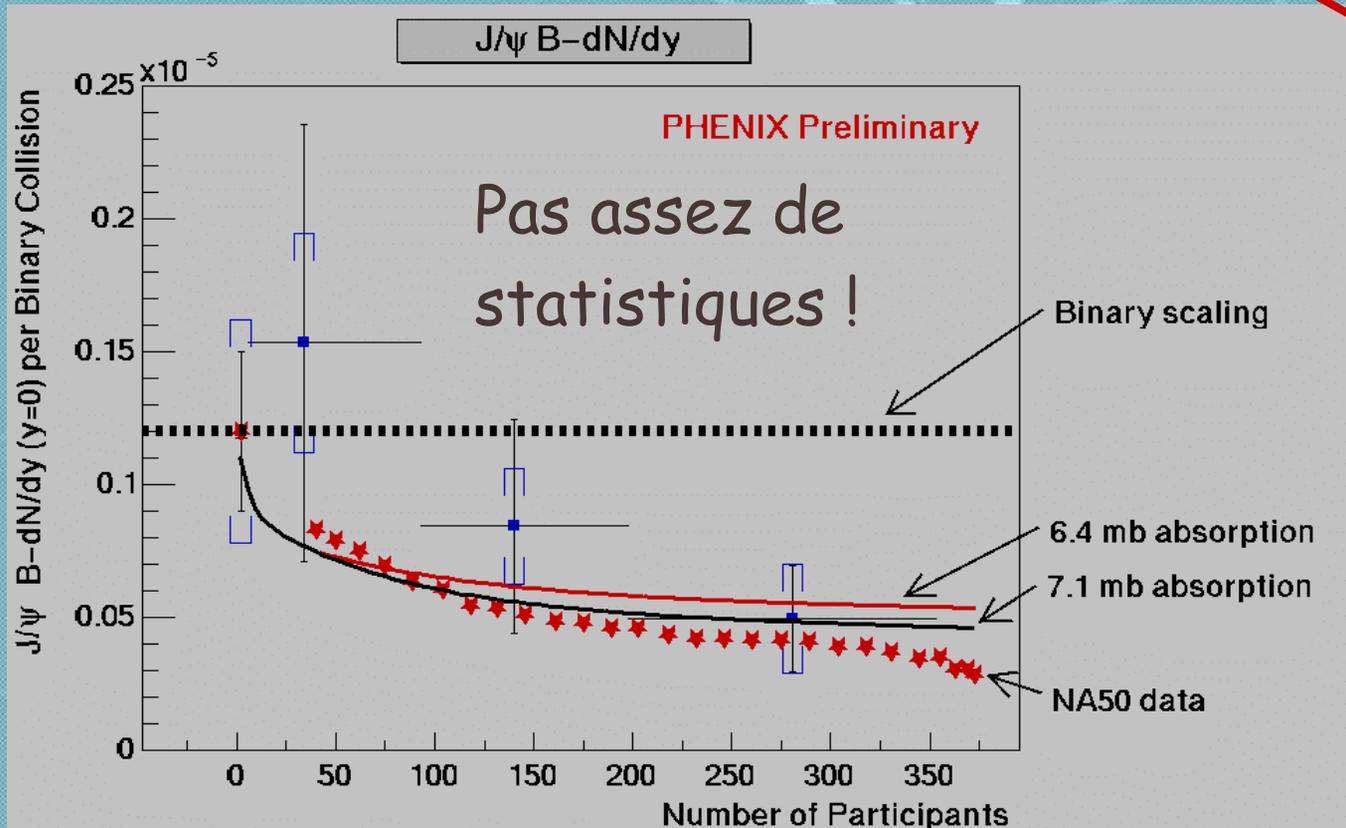
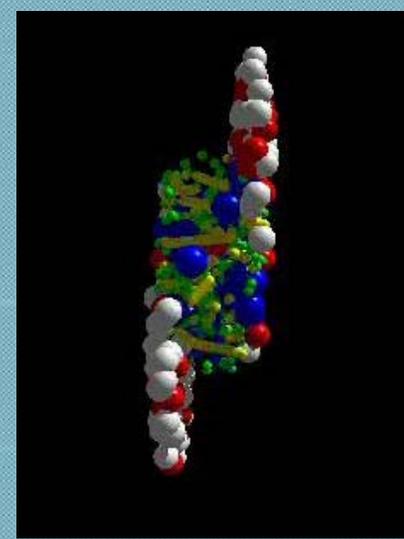
Accord or+or avec p+p (+ flow) en collisions périphériques

En collisions centrales, les jets ne sont plus opposés !

Jet quenching !

Premiers instants

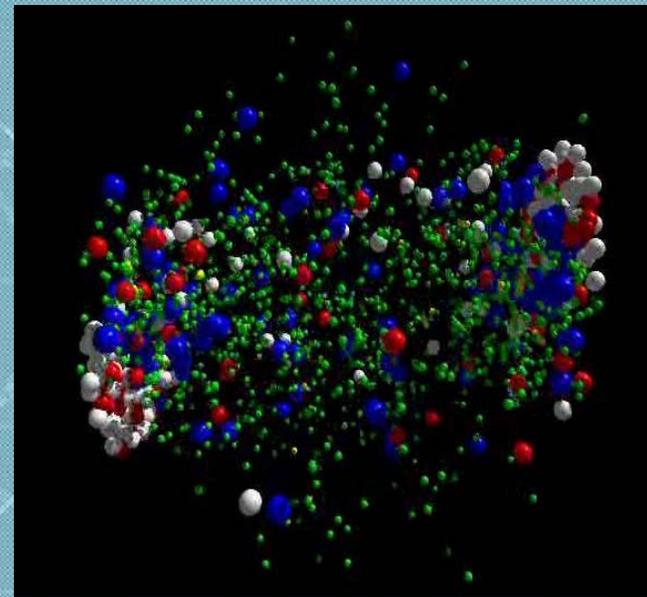
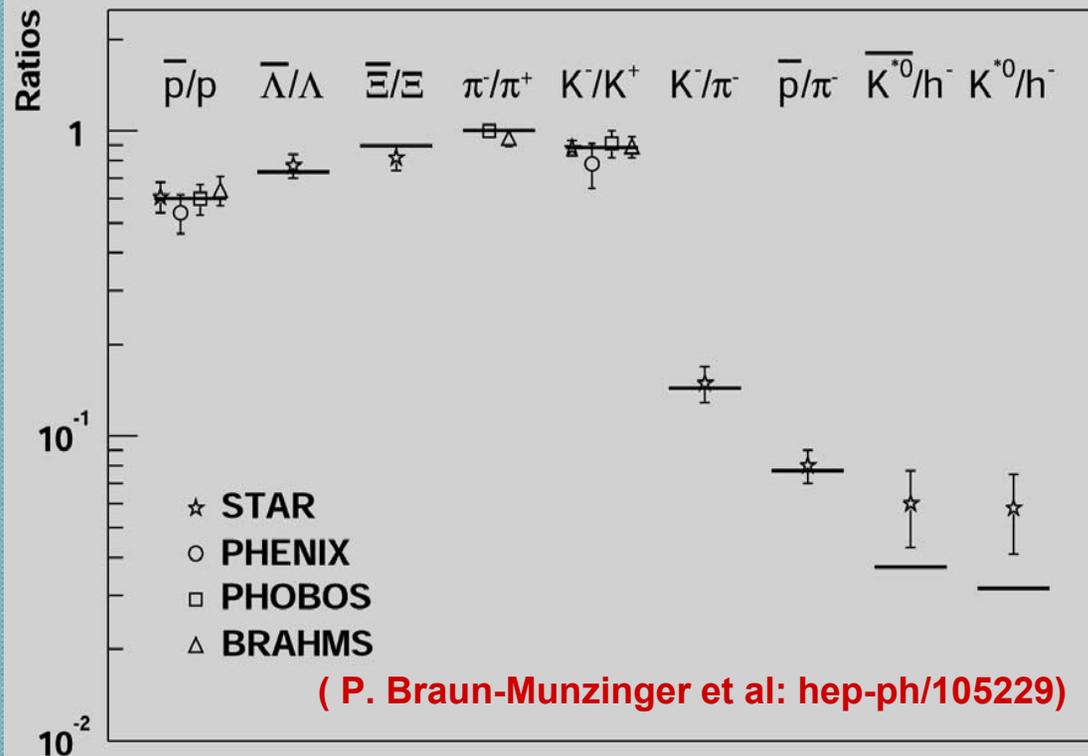
- ❖ Et les J/ψ alors ? RHIC
- Vus en p+p en ee et en $\mu\mu$
- Vus en or+or en ee (11 evts)



(36 evts)

L'explosion

❖ Le gel chimique (@130 GeV)



Thermal model fits

$$T_{\chi} = 175 \pm 7 \text{ MeV}$$

$$\mu_B = 51 \pm 6 \text{ MeV}$$

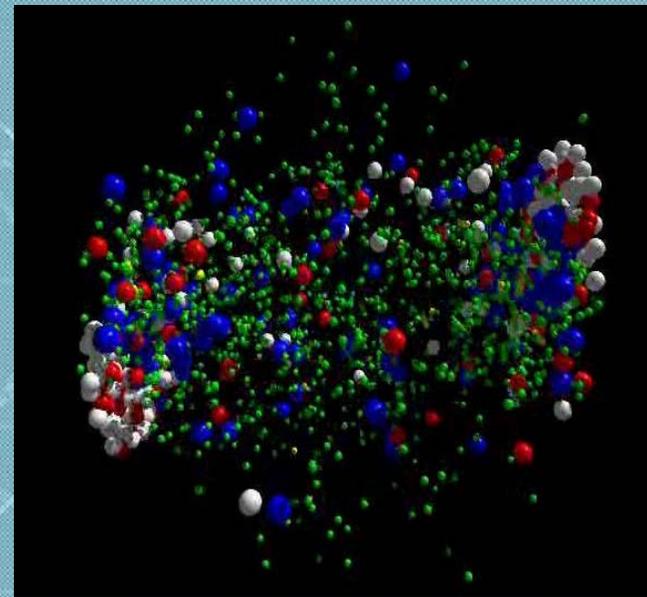
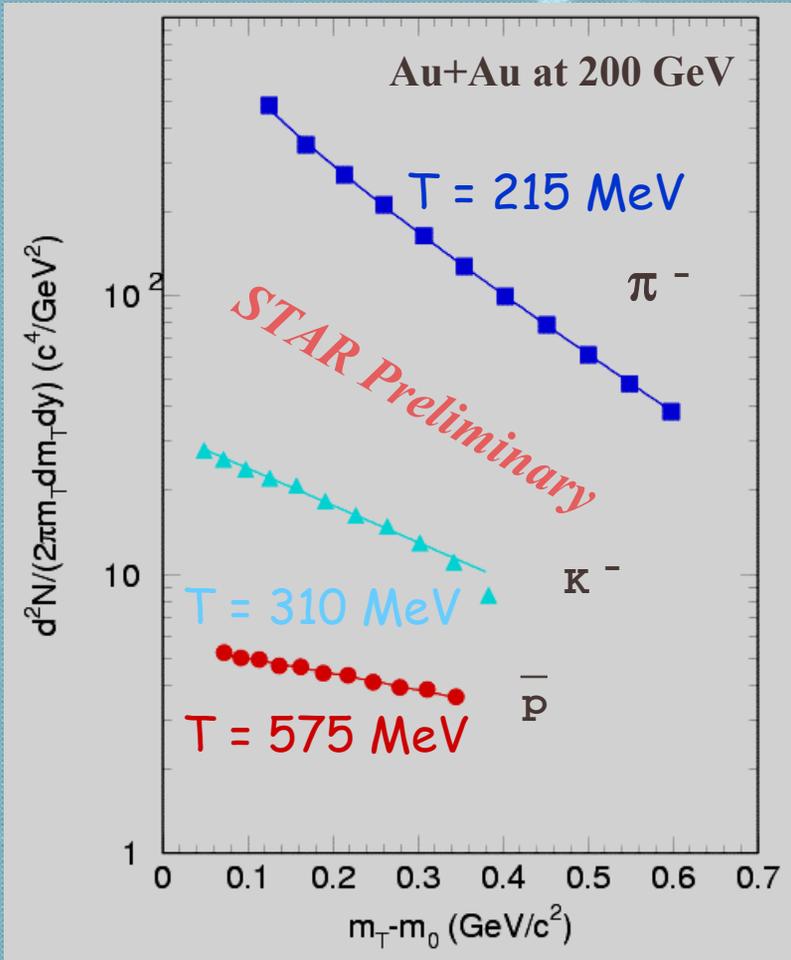
Au SPS :

$$T_{\chi} \sim 165 \text{ MeV}$$

$$\mu_B \sim 270 \text{ MeV}$$

L'explosion

❖ Le gel cinétique



Alternating

$$T_{\text{obs}} = T_{\text{FO}} + m \times \beta$$
$$T_{\text{FO}} = 100 \pm 10 \text{ MeV}$$
$$\beta = 0,55 \pm 0,1$$

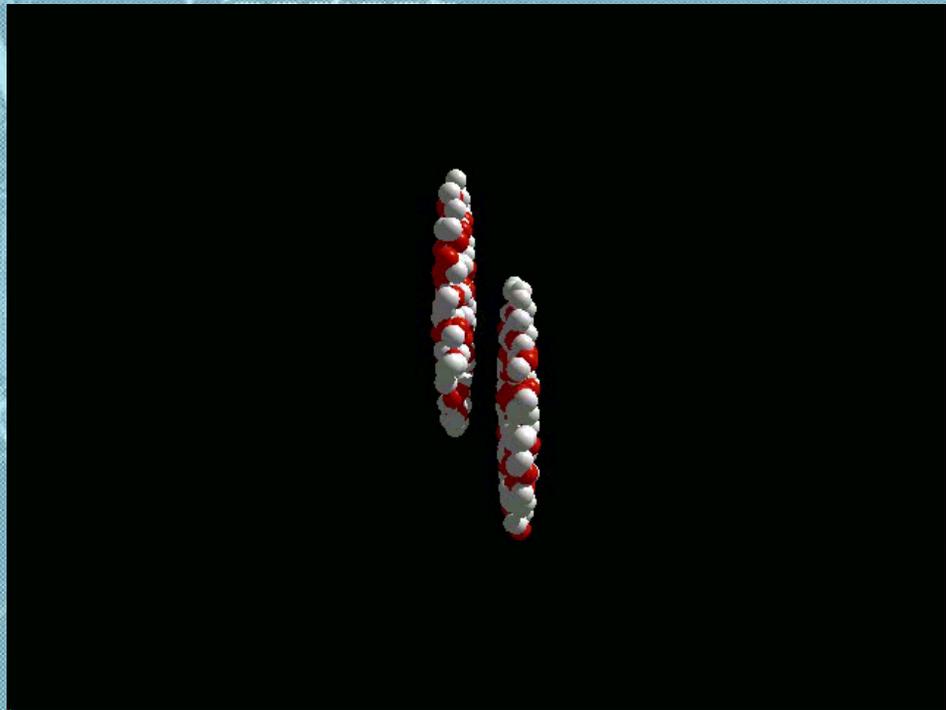
Au SPS :

$$T \sim 120 \text{ MeV}$$

$$\beta \sim 0,45$$

Le reste...

- ❖ La production de charme
- ❖ Les mésons légers
- ❖ Les premiers photons
- ❖ Les abondances
- ❖ Le flux elliptique
- ❖ ...



Oscillations de neutrinos...

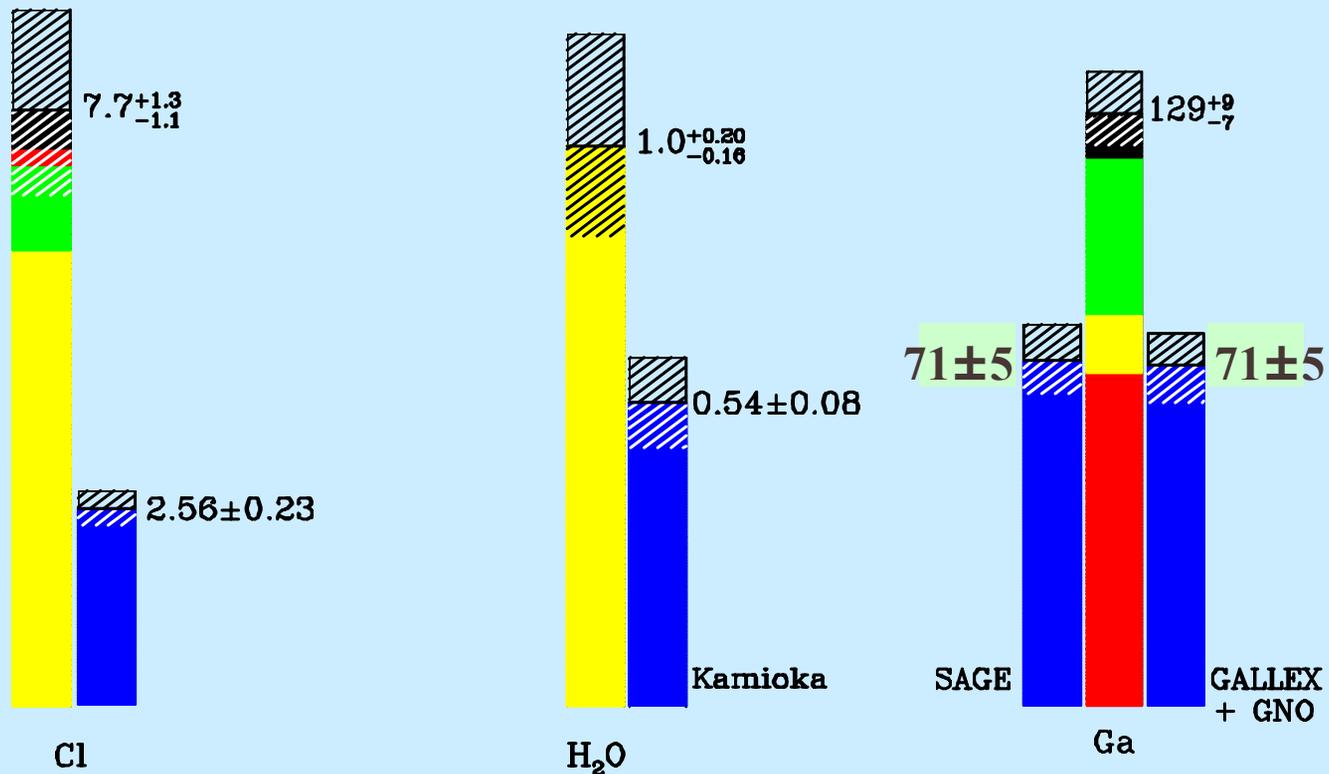
- ❖ Masse des neutrinos → oscillations...

$$P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) = \sin^2(2\theta) \sin^2\left(1.27 \frac{\Delta m^2 L}{E}\right)$$

- ❖ Un changement de saveur dépend d'un angle de mélange θ et de la différence des masse carré Δm^2
- ❖ Et du rapport L/E fixé par l'expérience

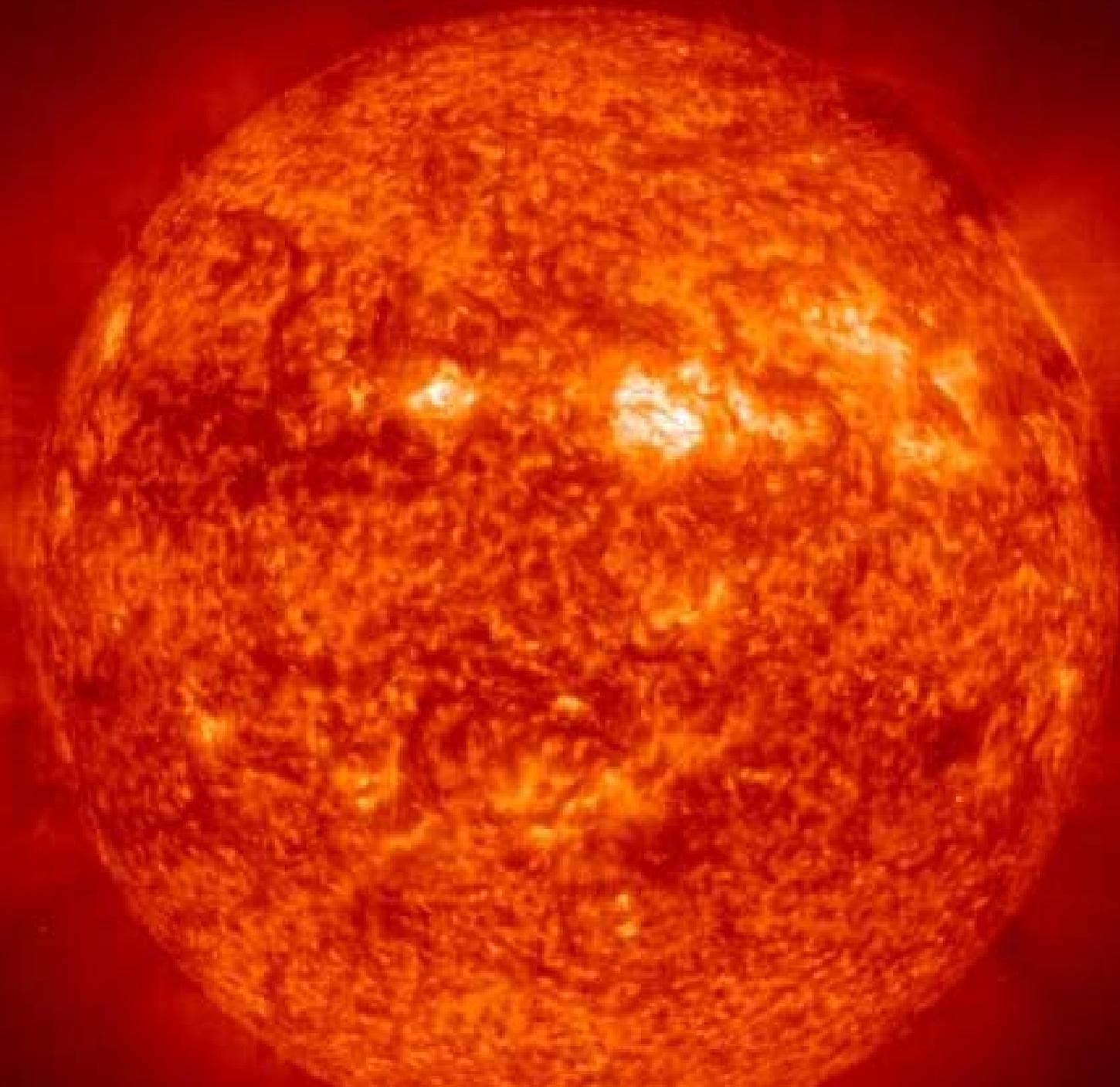
Il manque des neutrinos solaires...

Total Rates: Standard Model vs. Experiment Bahcall-Pinsonneault 2000



Theory ■ ⁷Be ■ p-p, pep
■ ⁸B ■ CNO

Experiments ■



Sudbury Neutrino Observatory

2092 m to Surface

18 m Diameter
Support Structure
for 9500 PMTs,
60% coverage

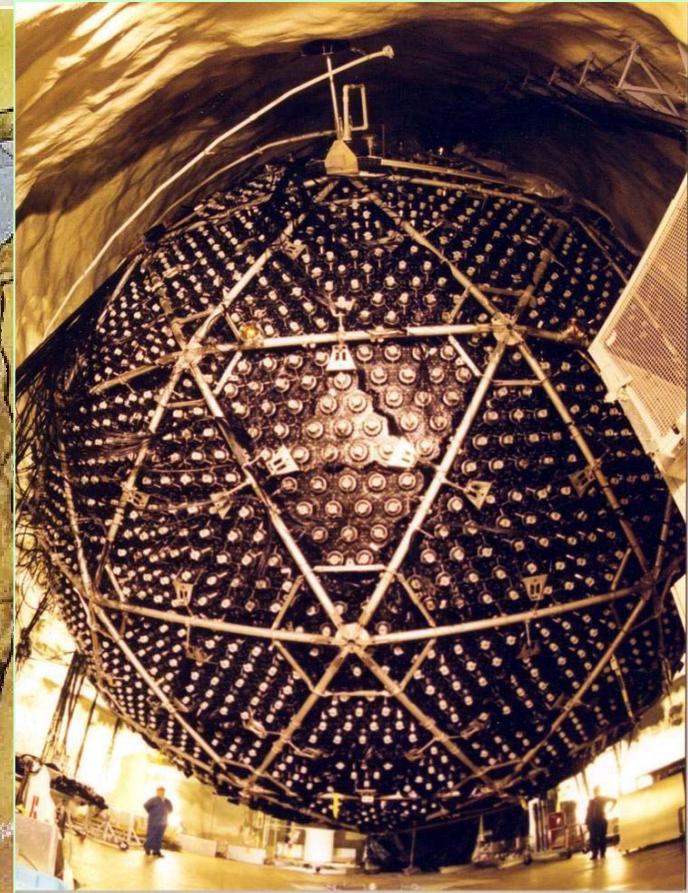
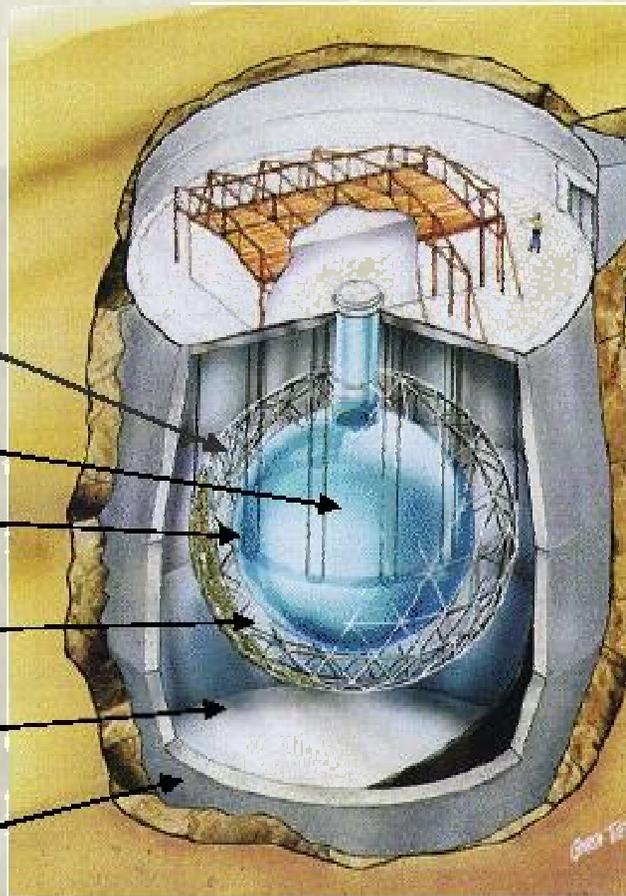
1000 Tonnes D_2O

12 m Diameter
Acrylic Vessel

1700 Tonnes Inner
Shielding H_2O

5300 Tonnes Outer
Shield H_2O

Urylon Liner and
Radon Seal



SNO - Observables

❖ *Diffusion élastique*

$$- \nu_x + e \rightarrow \nu_x + e$$

$$\nu_e + 0,154 \nu_{\mu\tau}$$

❖ *Courant chargé*

$$- \nu_e + d \rightarrow p + p + e$$

$$\nu_e$$

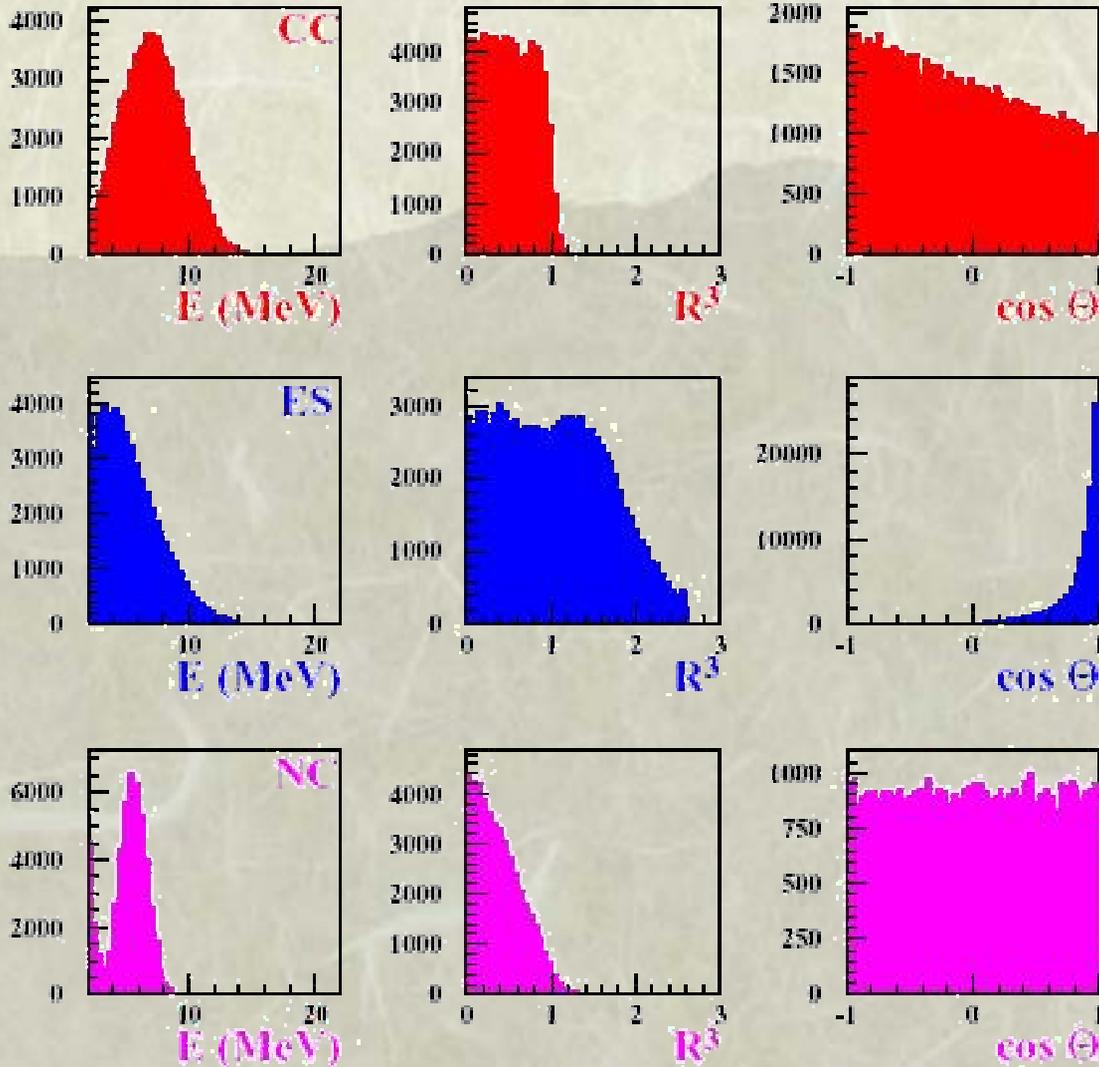
❖ *Courant neutre*

$$- \nu_x + d \rightarrow n + p + \nu_x$$

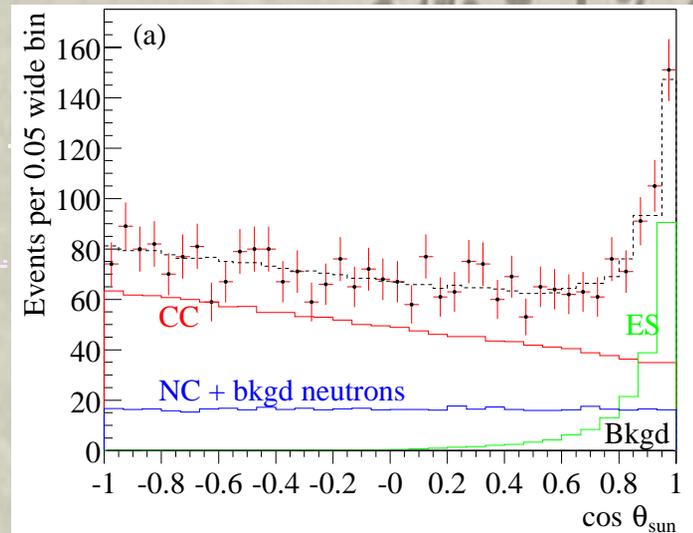
$$\nu_e + \nu_{\mu\tau}$$

❖ *Permet de mesurer les flux de ν_e et de $\nu_\mu + \nu_\tau$ + test de cohérence* (Voir S. Oser)

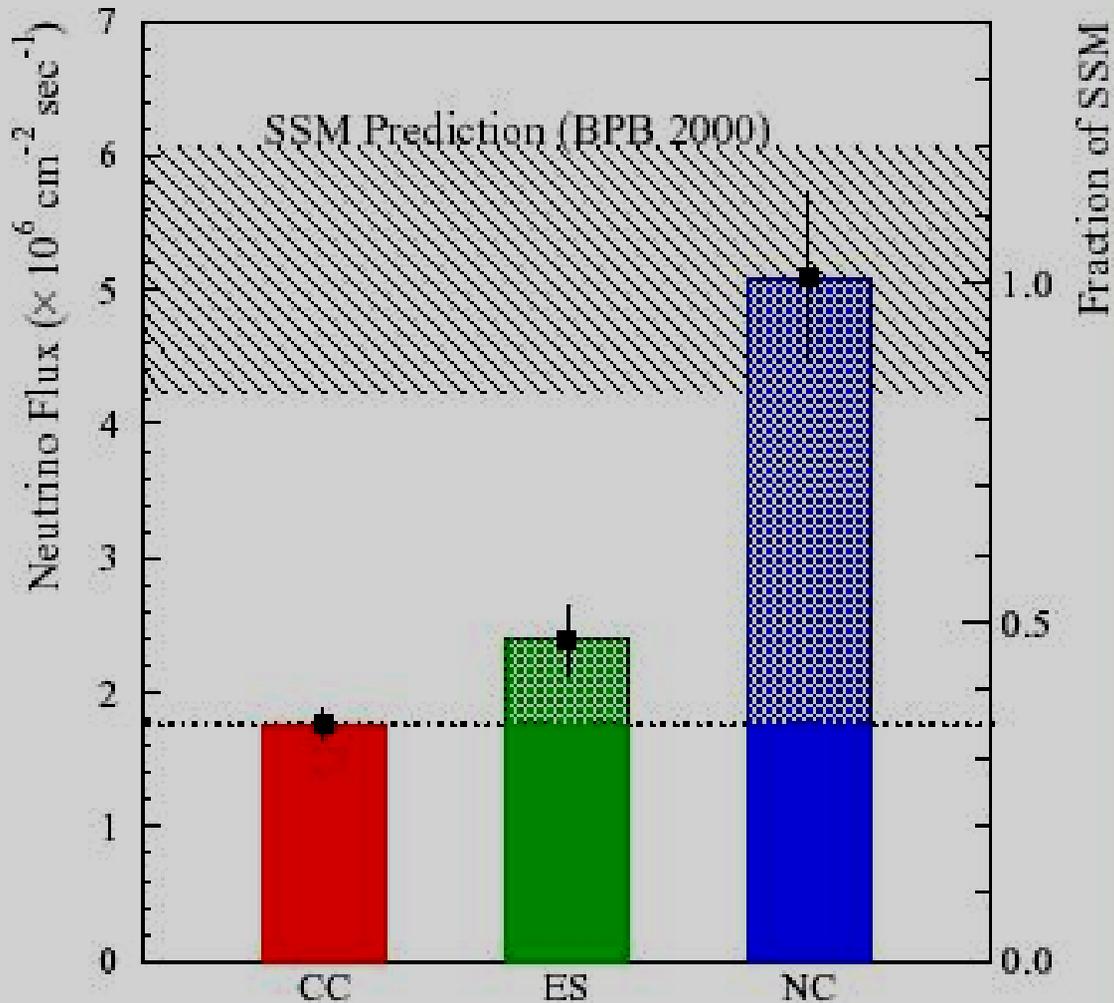
SNO - Technique



- ❖ *Courant chargé*
- ❖ *Diffusion élastique*
- ❖ *Courant neutre*

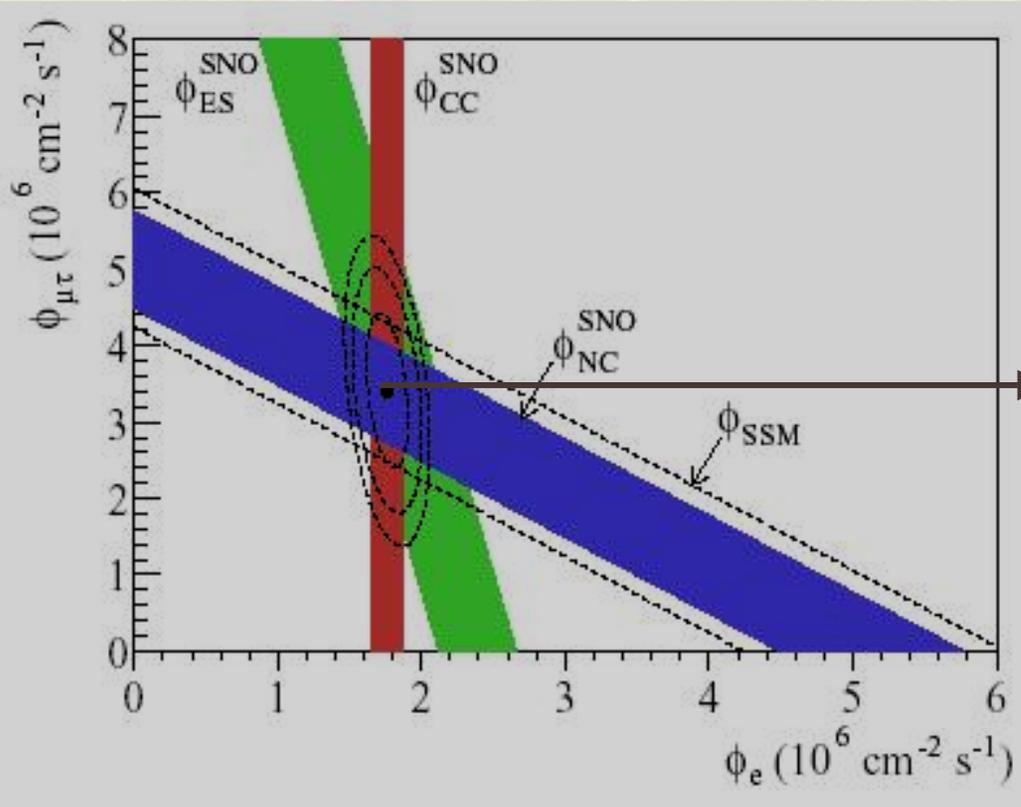


SNO - Résultats



- ❖ *SNO voit tous les neutrinos du soleil !*
- ❖ *Pas de neutrinos stériles*

SNO - Saveurs



- Mesures cohérentes !
- Des neutrinos non électroniques viennent du soleil (5,3 sigmas)

$$\Phi_e = 1,76 \pm 0,06 \pm 0,09 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

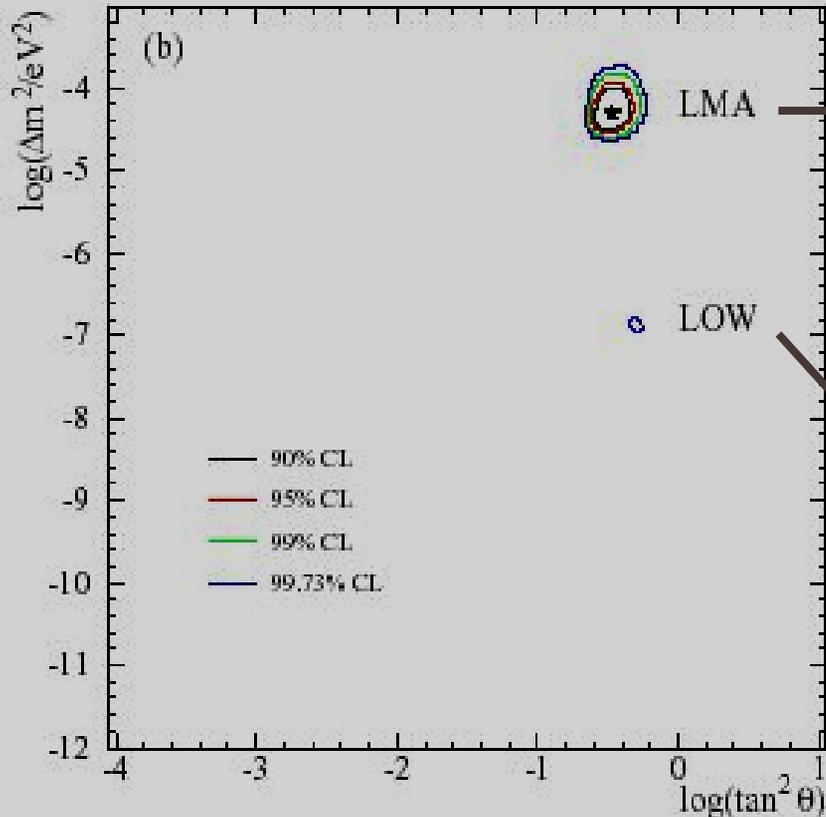
$$\Phi_{\mu\tau} = 3,41 \pm 0,45 \pm 0,48 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

Paramètres

$$\nu_e \rightarrow \nu_{\mu\tau}$$

Global Analysis

Gallium + Chlore + SuperK + SNO



$$\sim 5,0 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$
$$\tan^2 \theta \sim 0,34$$

KAMLAND
(Voir T. Mitsui)

$$\sim 1,3 \times 10^{-7} \text{ eV}^2$$
$$\tan^2 \theta \sim 0,55$$

BOREXINO

❖ L'ajustement LMA est trop bon (57/72 ddl)
et défavorise la solution LOW... (Voir C. Giunti)

Les neutrinos atmosphériques

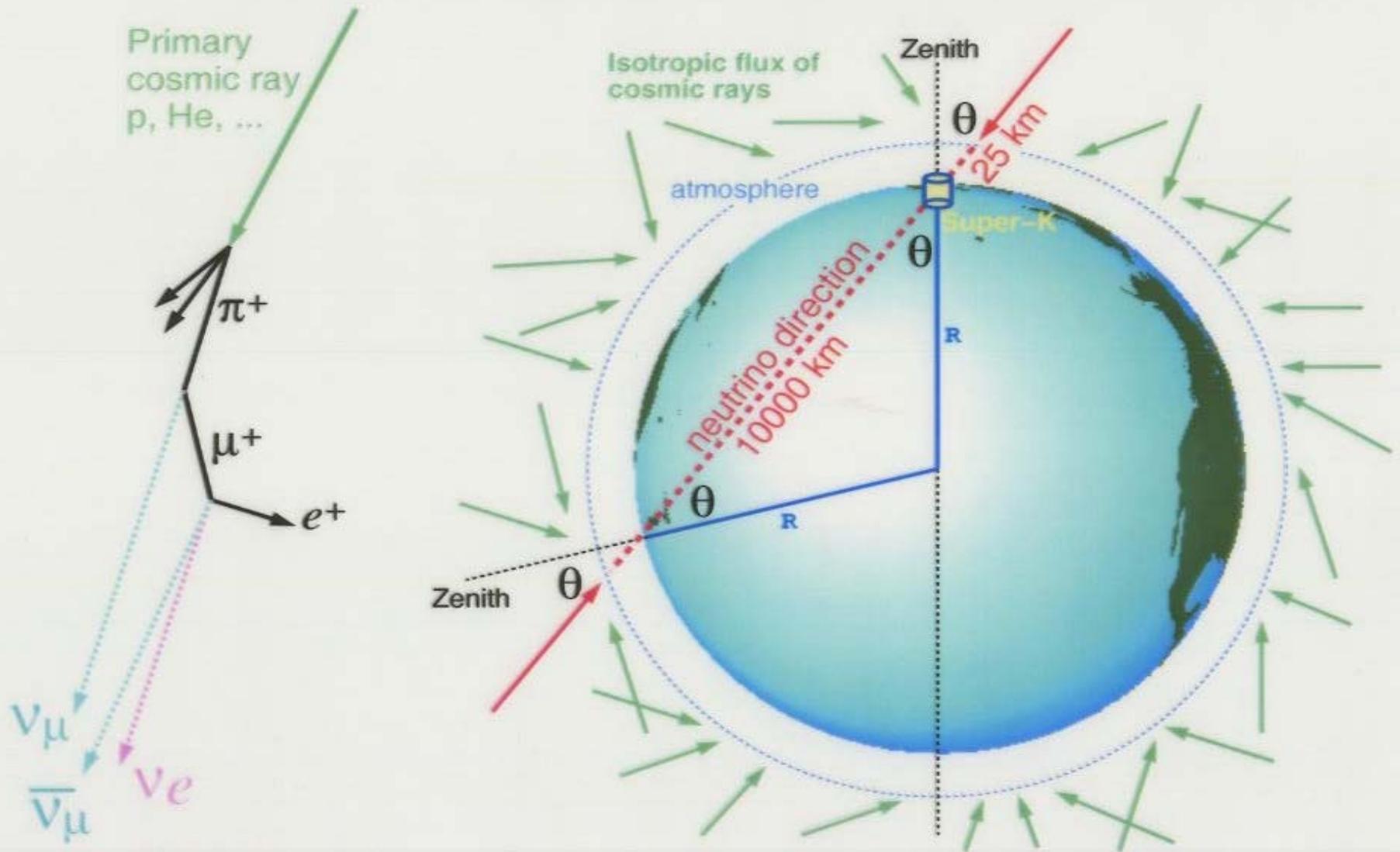
- ❖ *Neutrinos créés par les rayons cosmiques*

$$\pi \rightarrow \mu \nu_{\mu}$$

$$\mu \rightarrow e \nu_e \nu_{\mu}$$

- ❖ *2 muoniques pour un électronique*

ATMOSPHERIC NEUTRINOS



Ratio of $\nu_\mu/\nu_e \sim 2$
(for $E_\nu < \text{few GeV}$)

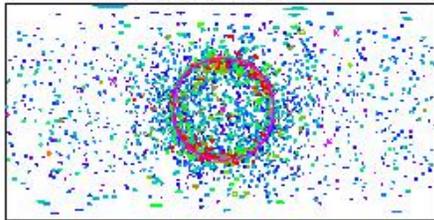
Up-Down Symmetric Flux
(for $E_\nu > \text{few GeV}$)

Super Kamiokande

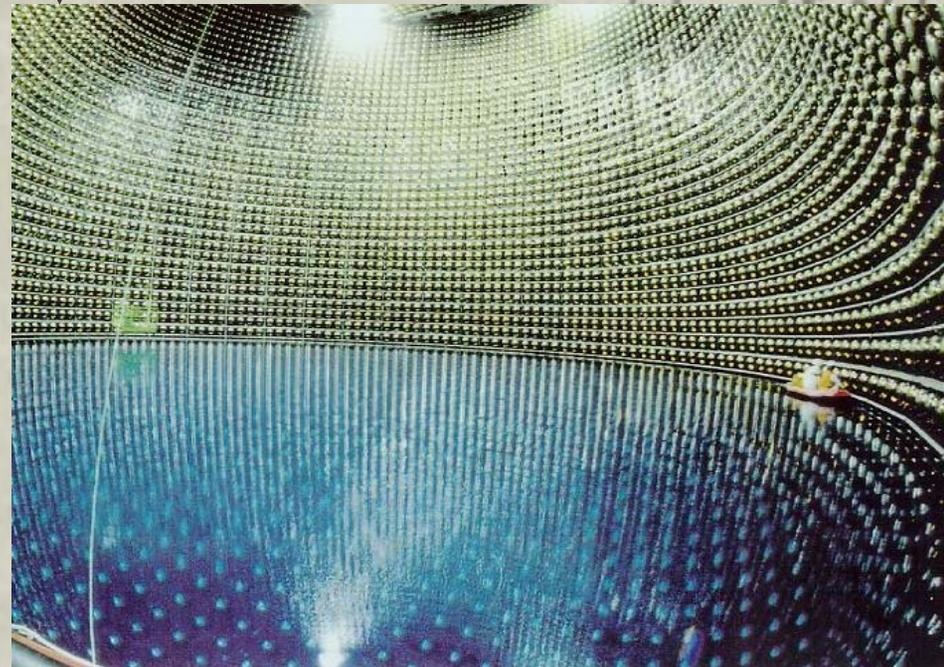
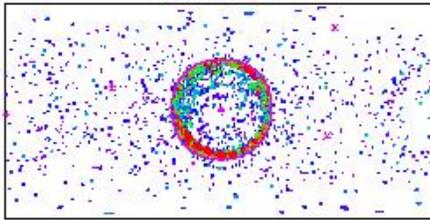
- ❖ 50 ktonnes d'eau
- ❖ 13000 PM
- ❖ Électron et muon par effet Cerenkov

↑
1000 m
↓

Electron-like

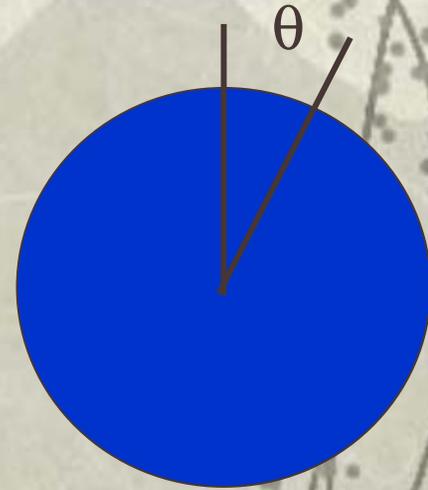
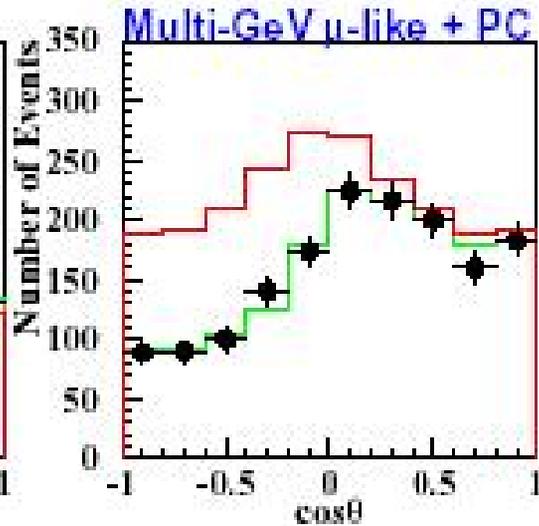
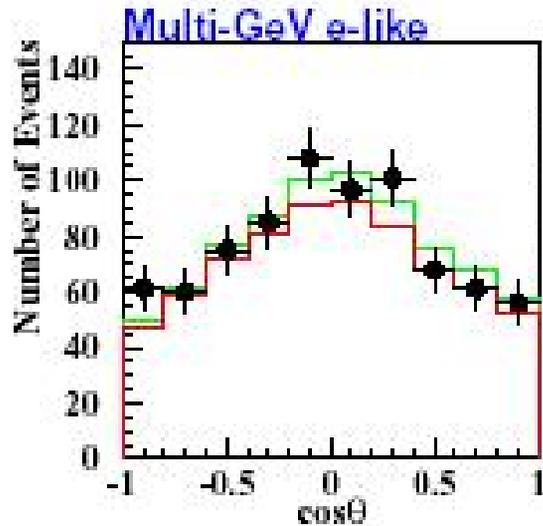
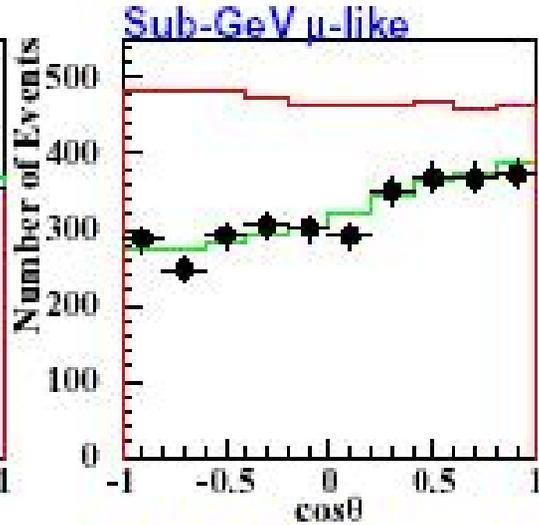
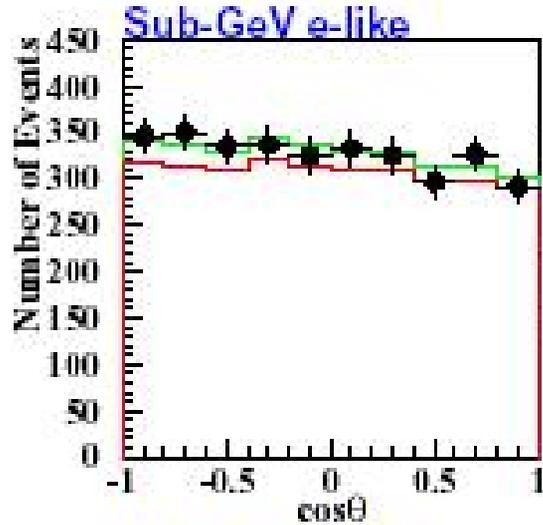


Muon-like



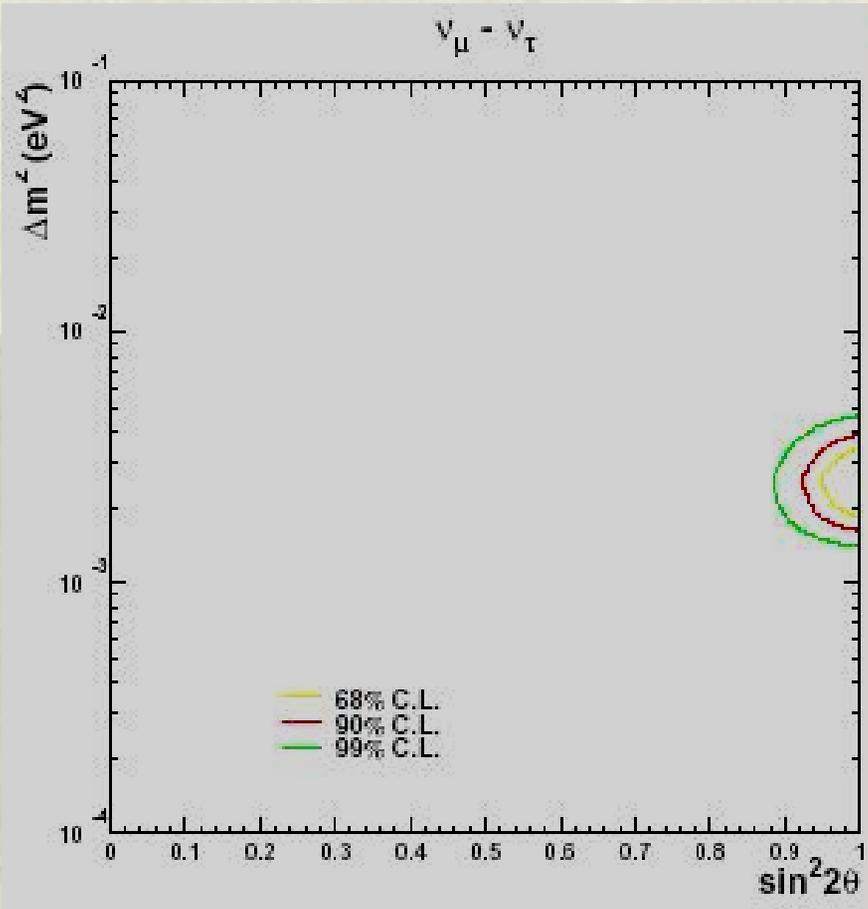
(Voir C. Mauser)

Super K - Résultats

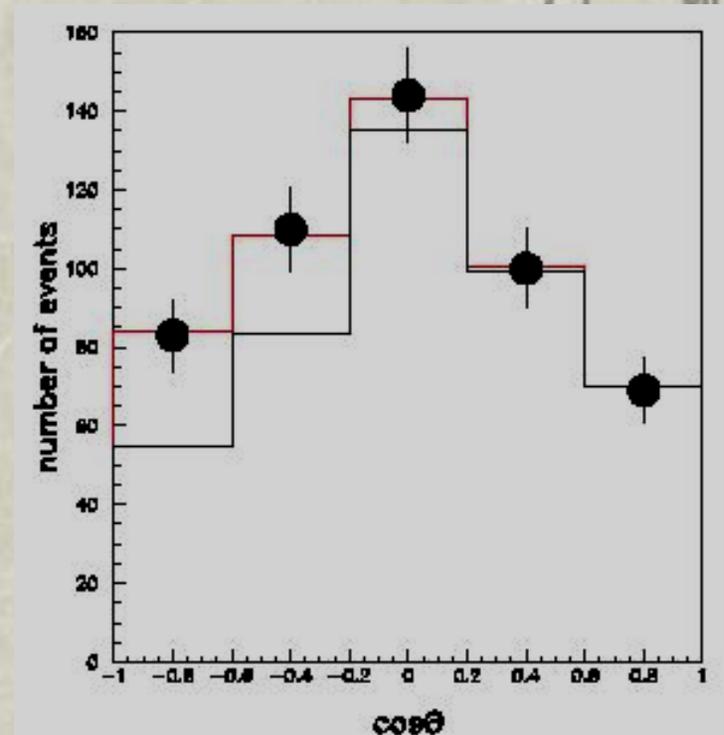


- Mesures
- No oscillations
- Fit $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$

Paramètres $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$



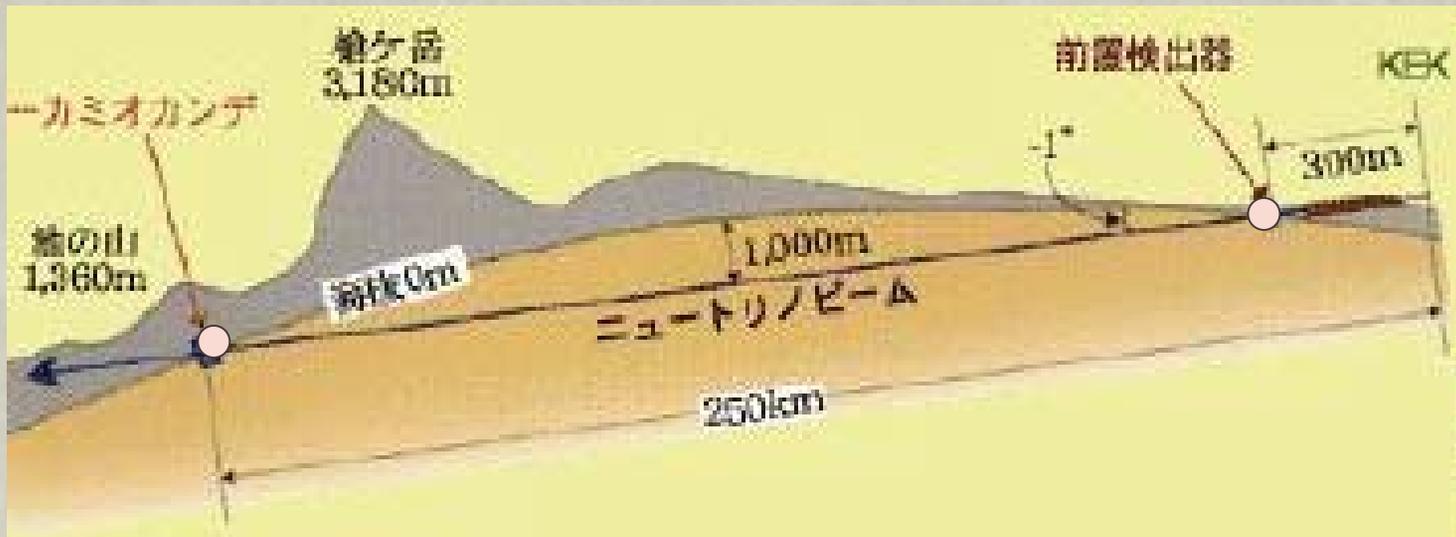
❖ Neutrinos stériles très défavorisés !



$$\Delta m^2 = 1,6 \text{ à } 3,9 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2 2\theta > 0,92 \quad (90\% \text{ c.l.})$$

K2K - Premières oscillations dans un faisceau

- ❖ *Tirer un faisceau de ν_μ sur superK*
- ❖ *Depuis KEK (250 km)*
- ❖ *Pendant 2 ans avant l'accident...*
- ❖ *56 détectés $80^{+7,3}_{-8,0}$ envoyés*



K2K - Résultats

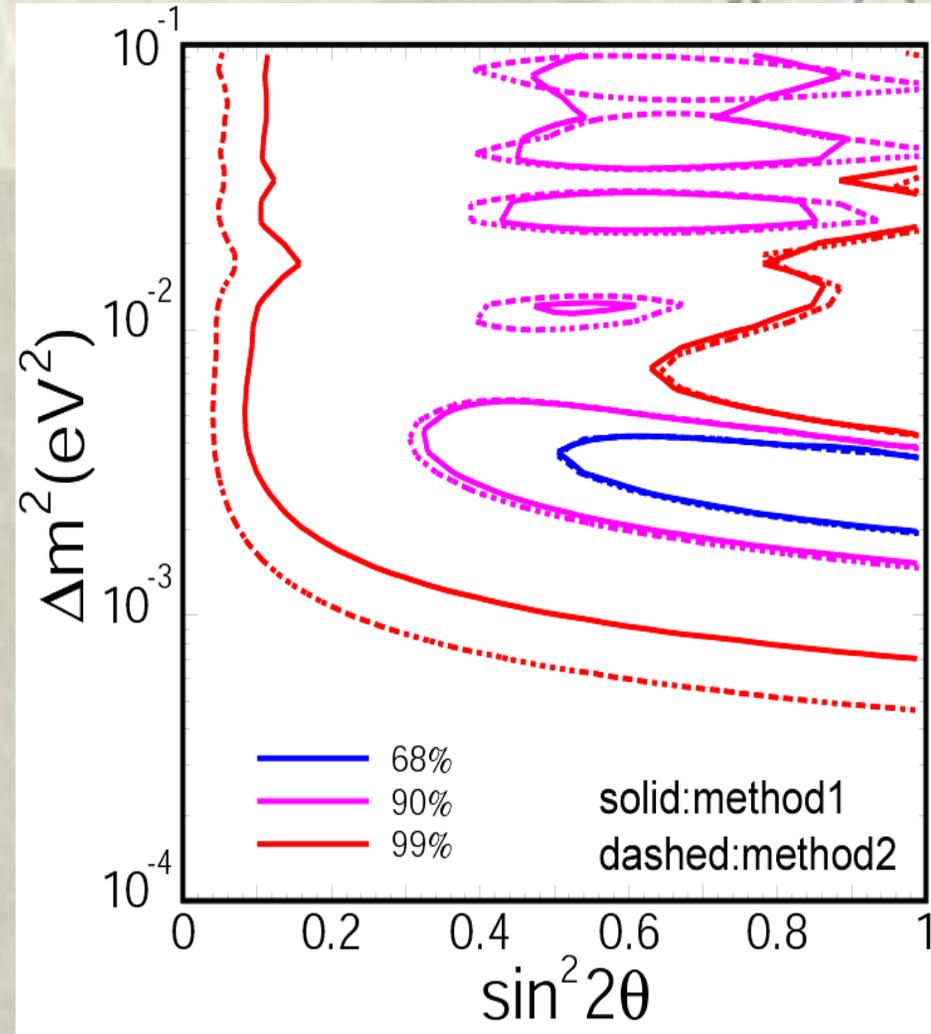
❖ Meilleur ajustement :

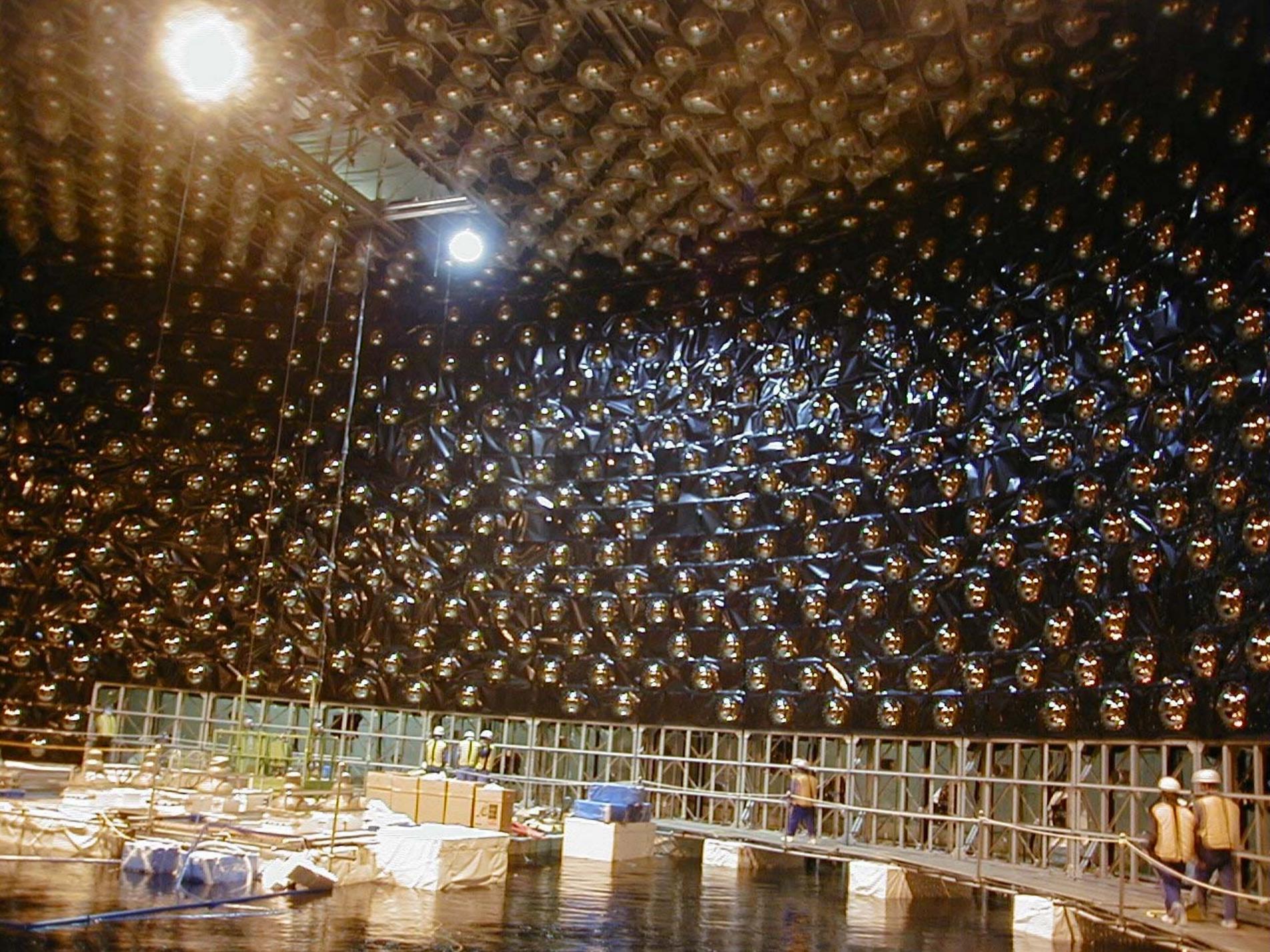
$$\Delta m^2 = 2,8 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$\sin^2 2\theta = 1$$

❖ En plein dans les atmosphériques !

❖ Probabilité sans oscillation < 1%





Résumé « smoking gun evidence »

❖ Les neutrinos oscillent !

❖ Différence de masses :

- Solaires $\Delta m^2 < 5 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$

- Atmosph. $\Delta m^2 \sim 2,6 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$

- $\Delta m_{sol} = \Delta m_{12}$

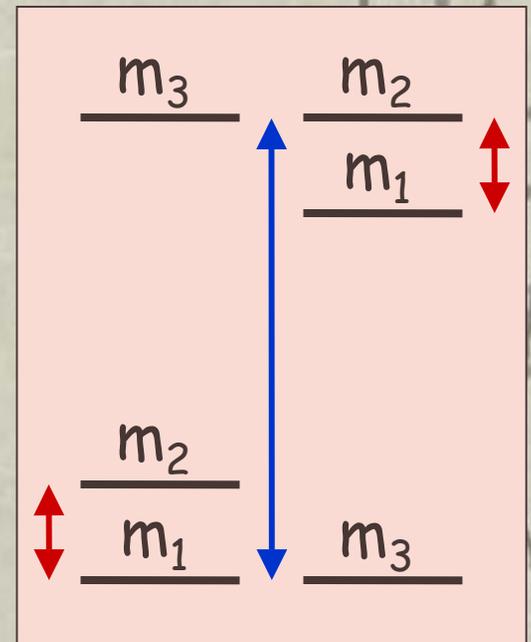
- $\Delta m_{atm} = \Delta m_{13} = \Delta m_{23}$

❖ Angles de mélange :

- $\tan^2 \theta_{sol} = 0,34 / 0,55$

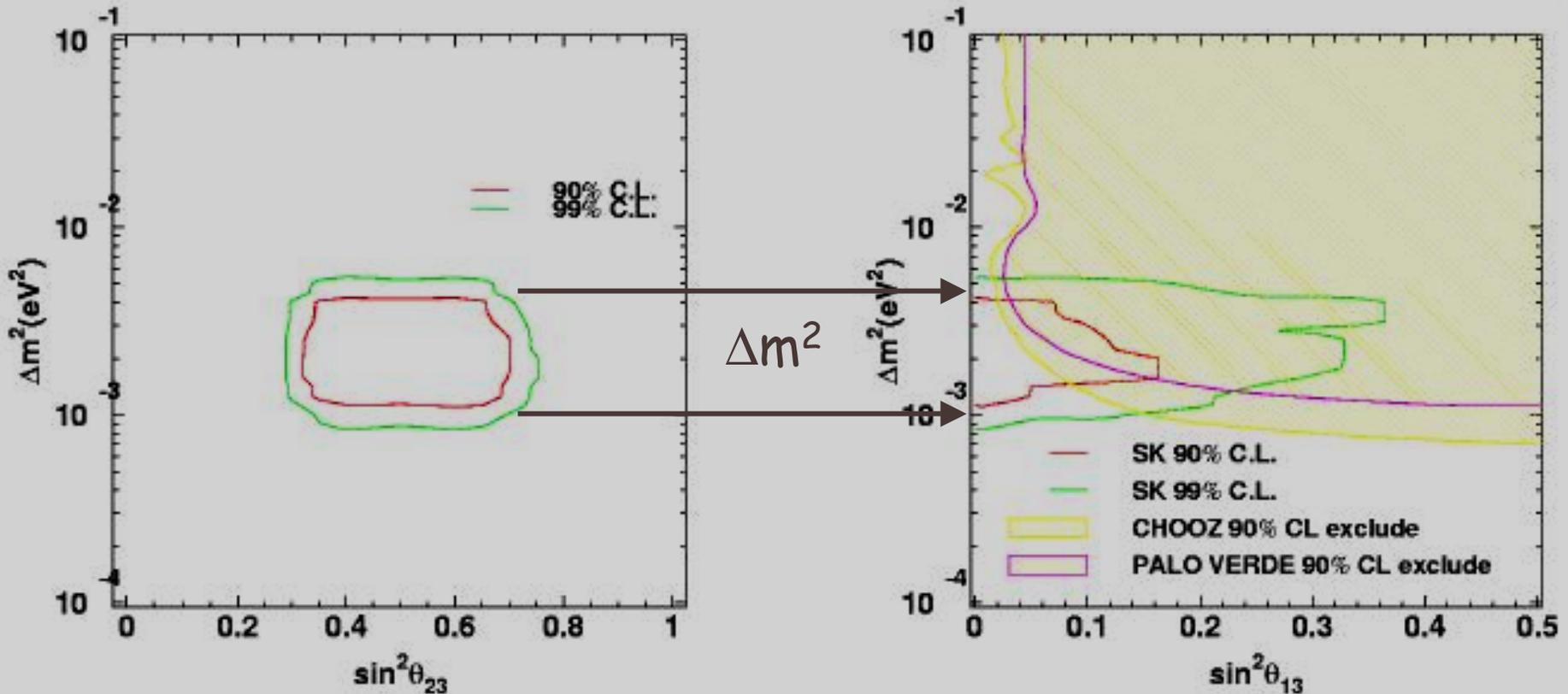
- $\sin^2 2\theta_{atm} > 0,92$

❖ Que vaut le troisième angle de mélange ?



Scénario standard...

❖ Trois saveurs de neutrinos (LEP...)



❖ $\sin^2 \theta_{13} < 0,06$ (3σ)

Scénario standard...

❖ Matrice de mélange leptonique

$$U_{li} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}$$

where $c_{ij} = \cos\theta_{ij}$, and $s_{ij} = \sin\theta_{ij}$

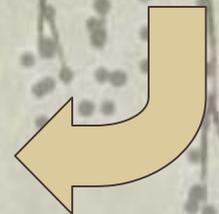
❖ Paramètres :

- 2 différences de masse
- 3 angles de mélange
- Une phase (CP)

mesurées !
manque θ_{13}

ICARUS → 0,02
MINOS → 0,08
JHF-SK → 0,006

...



Allure de la matrice de mélange

❖ *Leptonique* : « *bimaximale* »

$$|U_{\text{LEP}}| = \begin{pmatrix} 0.73 - 0.89 & 0.44 - 0.66 & < 0.24 \\ 0.23 - 0.66 & 0.24 - 0.75 & 0.51 - 0.87 \\ 0.06 - 0.57 & 0.40 - 0.82 & 0.48 - 0.85 \end{pmatrix}$$

$$|U_{\text{LEP}}| \simeq \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}(1 + \mathcal{O}(\lambda)) & \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - \mathcal{O}(\lambda)) & \epsilon \\ -\frac{1}{2}(1 - \mathcal{O}(\lambda) + \epsilon) & \frac{1}{2}(1 + \mathcal{O}(\lambda) - \epsilon) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{2}(1 - \mathcal{O}(\lambda) - \epsilon) & -\frac{1}{2}(1 + \mathcal{O}(\lambda) - \epsilon) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{array}{l} \lambda \sim 0.2 \\ \epsilon < 0.25 \end{array}$$

❖ *Pour les quarks* :

$$|U_{\text{CKM}}| \simeq \begin{pmatrix} 1 & \mathcal{O}(\lambda) & \mathcal{O}(\lambda^3) \\ \mathcal{O}(\lambda) & 1 & \mathcal{O}(\lambda^2) \\ \mathcal{O}(\lambda^3) & \mathcal{O}(\lambda^2) & 1 \end{pmatrix} \quad \lambda \sim 0.2$$

Un petit problème...

❖ *En fait, on dispose de :*

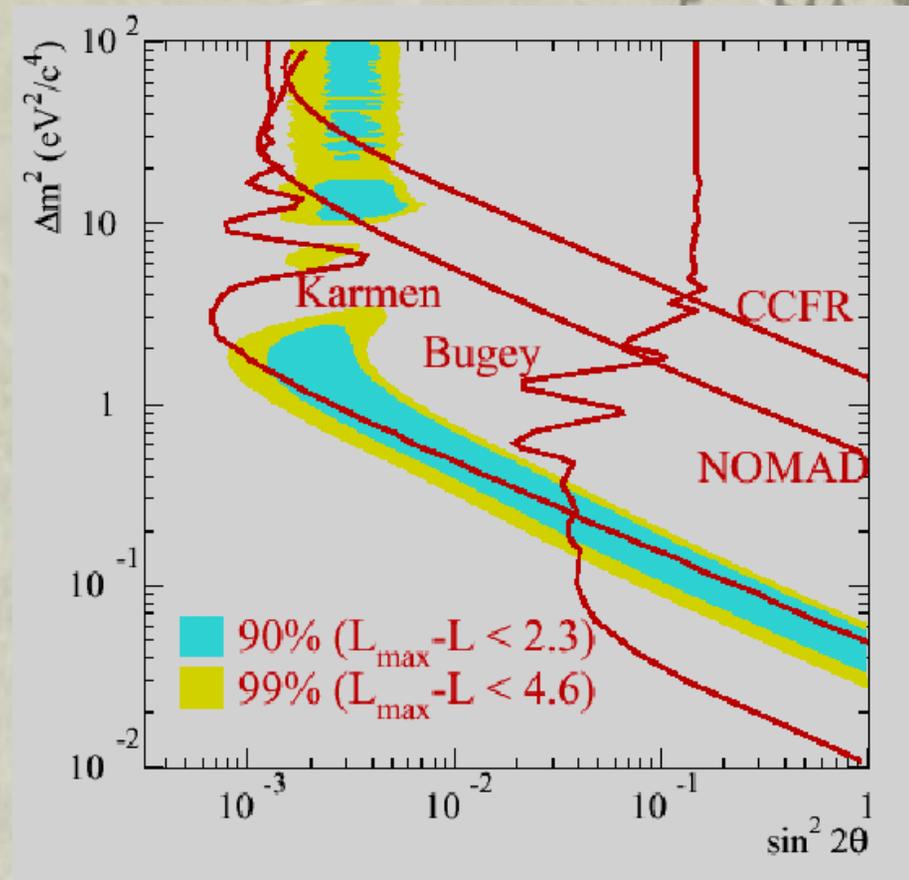
- 2 angles sur 3

- 3 Δm^2 sur 2 !

❖ **LSND**

- $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$

- $\Delta m^2 \sim 0,2 \text{ à } 2 \text{ eV}^2$



Que faire de ce troisième Δm^2 ?

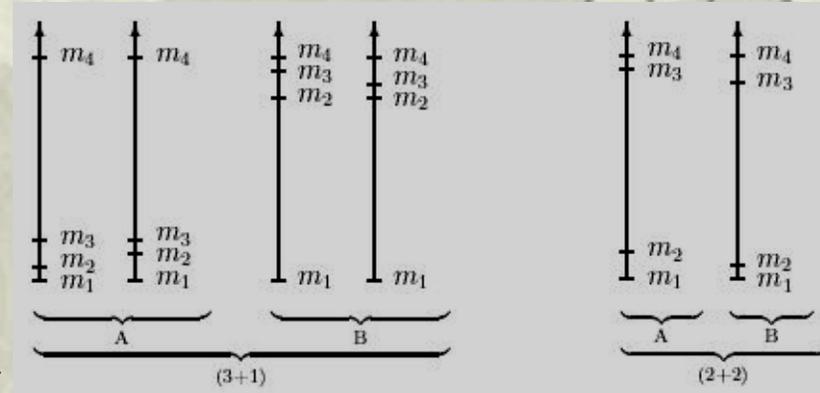
- ❖ L'oublier...
- ❖ Rajouter un neutrino stérile...

- (Voir C. Giunti)

- Ça marche pas bien

- 2+2 soleil & atm

- 3+1 short based line



- ❖ Violier le nombre leptonique...

- $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

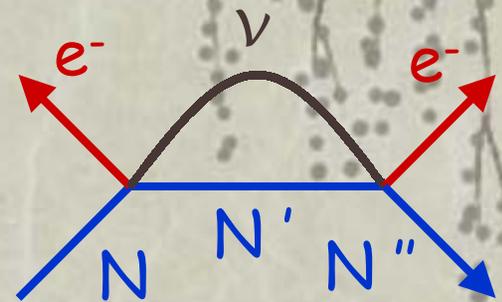
- Nouveau scalaire $m < 450$ GeV

- ❖ Violier CPT... (Kamland, MiniBoone)

- ❖ Attendre MiniBoone...

Deux questions subsidiaires...

- ❖ OK, les neutrinos ont des masses...
- ❖ Mais combien valent-elle ?
 - $\Delta m^2 < m(\nu_e) < 2,2 \text{ eV}$
 - Désintégration β du tritium
 - KATRIN $\rightarrow 0,3 \text{ eV}$
- ❖ Sont-ils de Dirac ou de Majorana ?
 - Double désintégration β sans neutrino
 - NEMO 3 (et plein d'autres...)



Morceaux non-choisis d'ICHEP mais néanmoins importants

❖ *La violation de CP !*

- Résultats de Babar et Belle

- Résultat final de NA48

❖ *La nouvelle mesure de $g-2$*

❖ *<http://www.ichep02.nl>*

Heavy Ion
Transfer Line

Alternating
Gradient
Synchrotron

Tandem
Van de Graeff

G-2
@ BNL

Results

From the Data of 2000:

$$a_{\mu}(exp) = 11\,659\,204(7)(5) \times 10^{-10} \text{ (0.7 ppm)}$$

Exp. World Average:

$$a_{\mu}(exp) = 11\,659\,203(8) \times 10^{-10} \text{ (0.7 ppm)}$$

