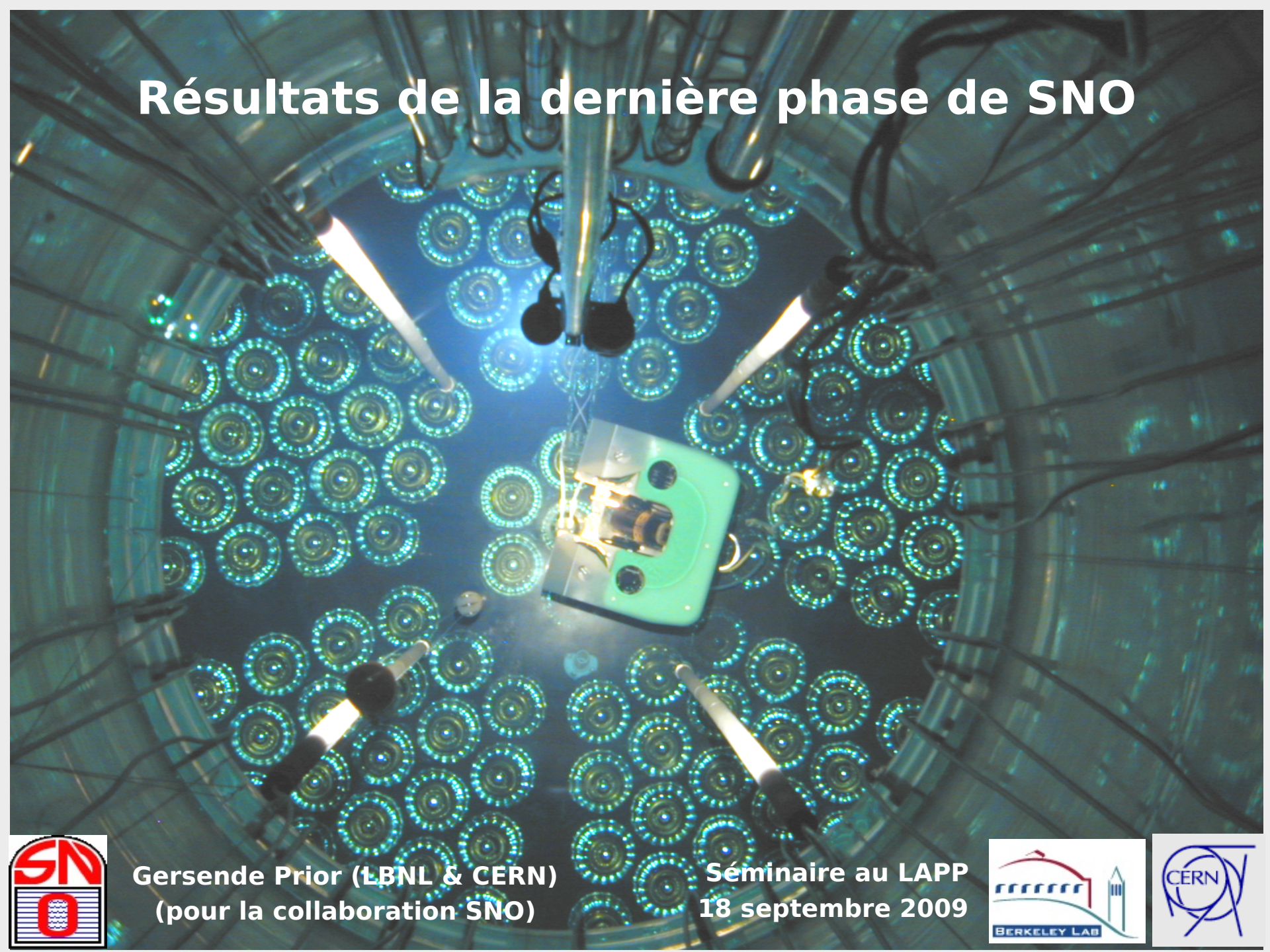


# Résultats de la dernière phase de SNO



Gersende Prior (LBNL & CERN)  
(pour la collaboration SNO)

Séminaire au LAPP  
18 septembre 2009



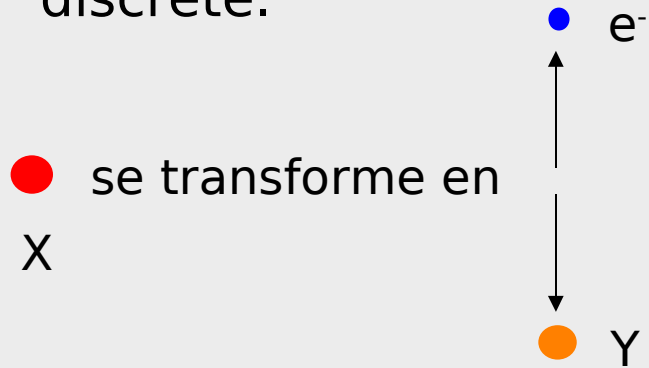
# Plan

- Une courte histoire du neutrino
- Les neutrinos solaires et les expériences pionnières
- Le problème des neutrinos solaires
- Masse et oscillation de neutrinos
- L' Observatoire de Neutrinos de Sudbury
- Résultats de la dernière phase
- Futur

# Une courte histoire du neutrino

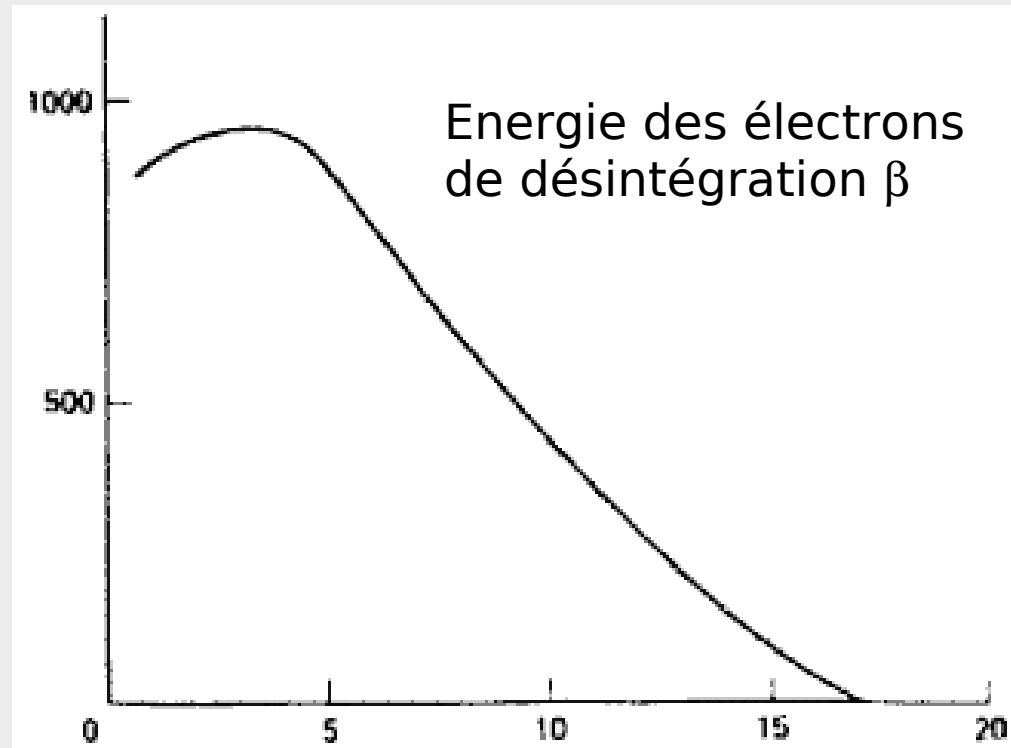
**Années 1930 : on pensait que la désintégration bêta ( $\beta$ ) était le processus  $X \rightarrow Y + e^-$**

Désintégration à deux corps : l' énergie de l' électron doit être discrète.



W. Pauli: “possibility that there could exist in the nuclei electrically neutral particles that I wish to call neutrons...”

N. Bohr: “I should say that we have no argument, either empirical or theoretical for upholding the energy principle in case of beta-ray disintegration.”



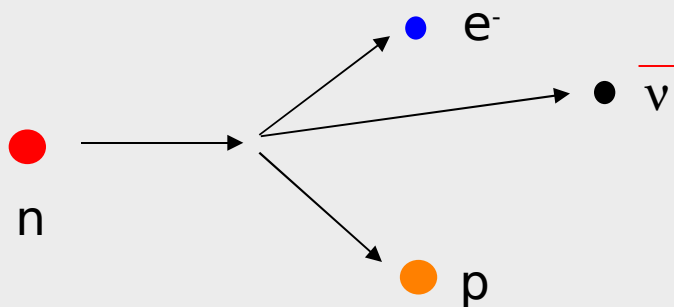
# Une courte histoire du neutrino (suite)

## En 1932 Chadwick découvre le neutron :

Problème: trop lourd pour satisfaire l'explication de Pauli sur la conservation de l'énergie dans les désintégrations  $\beta$ .

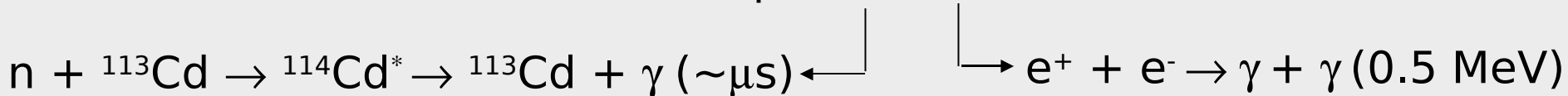
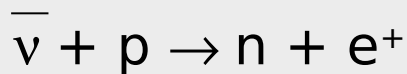
## En 1934 Fermi publie sa théorie des désintégrations $\beta$ :

Assume l'existence de la particule neutre et légère de Pauli et l'appelle "neutrino".



## En 1956 détection directe de l' (anti)-neutrino :

Expérience de Reines & Cowan au réacteur nucléaire de Savannah River (Caroline du Sud) :

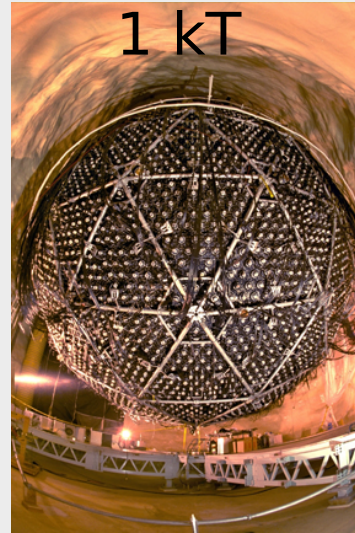


# Neutrinos et détection

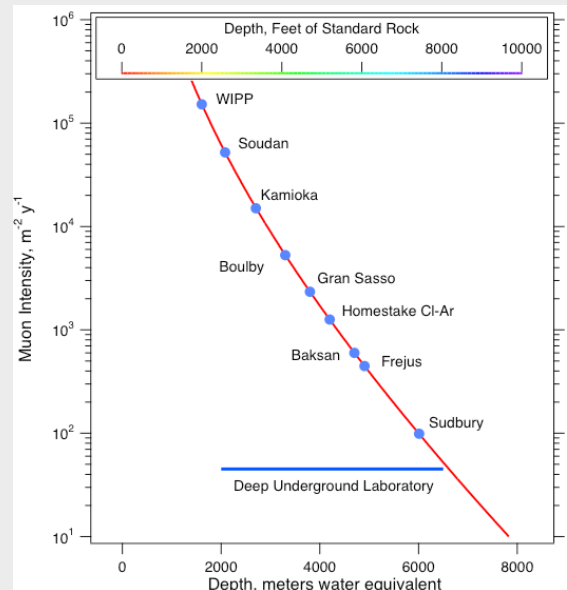
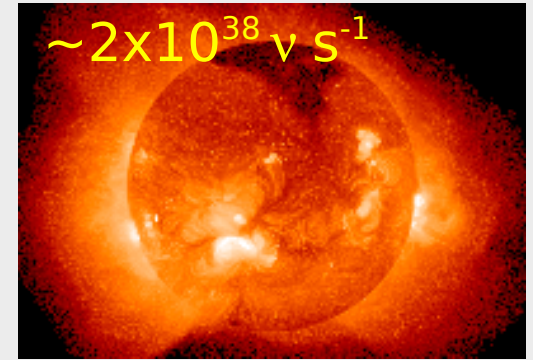
## Modèle Standard

|         |                  |                     |                    |
|---------|------------------|---------------------|--------------------|
| quarks  | <b>u</b><br>up   | <b>c</b><br>charm   | <b>t</b><br>top    |
|         | <b>d</b><br>down | <b>s</b><br>strange | <b>b</b><br>bottom |
| leptons | $\nu_e$          | $\nu_\mu$           | $\nu_\tau$         |
|         | <b>e</b>         | $\mu$               | $\tau$             |

Trois saveurs.  
Ni charge ni masse.  
Subit que les interactions faibles.



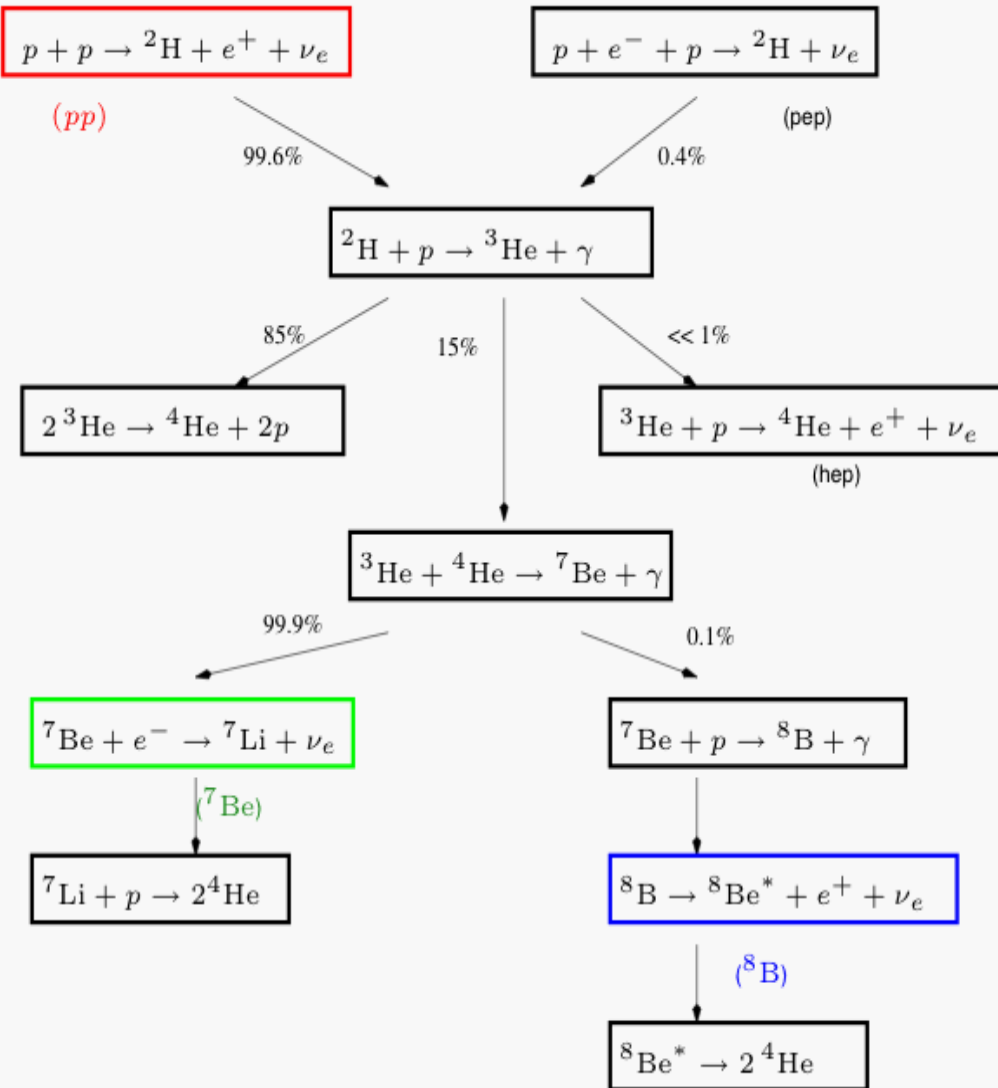
Grand détecteurs et sources puissantes.



S'enterrer  
pour  
observer le  
soleil.

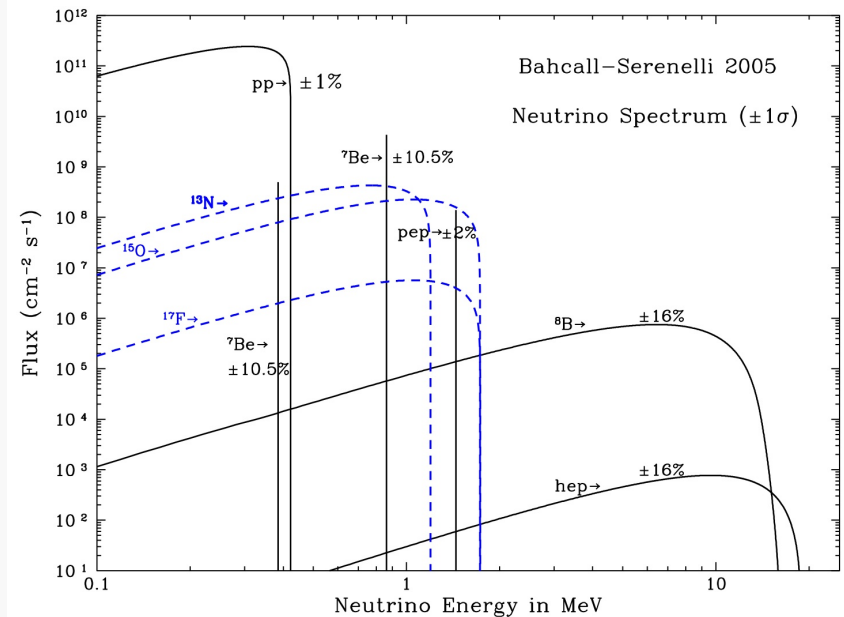
# Les neutrinos solaires

La chaîne de réactions pp :



Modèle Solaire Standard :

Les calculs précis du modèle solaire nous permettent de prédire le flux de neutrinos sur la terre.

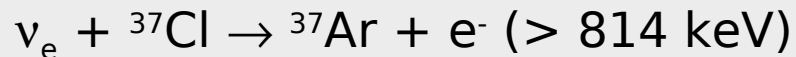


# Expériences pionnières

L'expérience radio-chimique de “chlore” :

Première tentative par Ray Davis dans la mine de Barbeton (Ohio, 701 m) : a pu seulement établir une limite à cause du bruit de fond des rayons cosmiques.

Deuxième tentative à Homestake (Dakota du Sud, 1478 m) utilisant la réaction :



L'argon produit par les interactions de neutrinos est extrait en purgeant le cylindre avec de l'hélium et en récupérant He et Ar. Avec 35 jours de “demie-vie” l'argon peut être ensuite compté.

Cette expérience a pris des données pendant 30 ans. Le taux de neutrinos solaires observé fut **2.56 SNU** en comparaison avec le taux prédit de **7.7 SNU**.

1 SNU (Solar Neutrino Unit) =  $10^{-36} \text{ s}^{-1}$  par atome cible.

1963, Barbeton



Tank of cleaning fluid as target.



R. Davis having a bath.

# Expériences pionnières (suite)

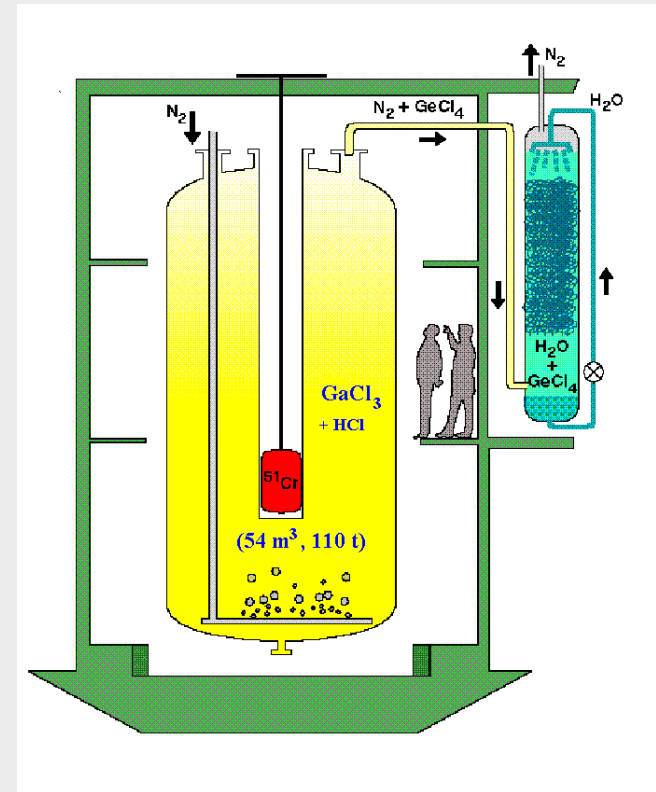
Les expériences radio-chimique de “gallium” :

Une autre réaction utilisée pour étudier les neutrinos solaires :



L' expérience SAGE située à l' Observatoire des Neutrinos de Baksan (Russie) a utilisé du gallium métallique et observé un taux de neutrino de **67.2 SNU** alors que le taux prédit pour le Gallium est de **129 SNU**.

Les expériences GALLEX et GNO situées au laboratoire de Gran-Sasso (Italie) ont utilisé une solution de chlorure de gallium et observé un taux de **74.1 SNU**.



Le détecteur GALLEX

# Expériences pionnières (fin)

Kamiokande et Super-Kamiokande (Japon) :

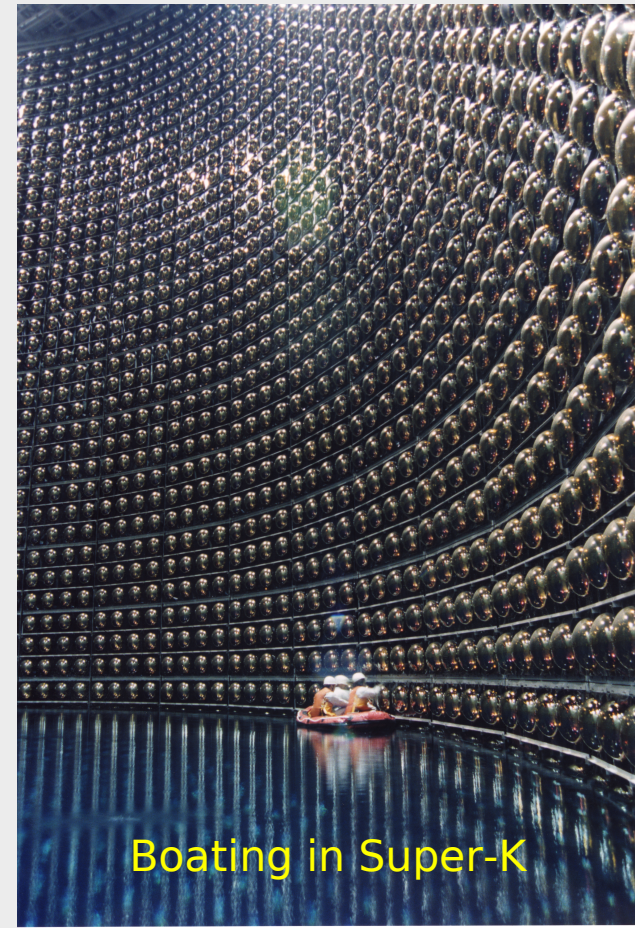
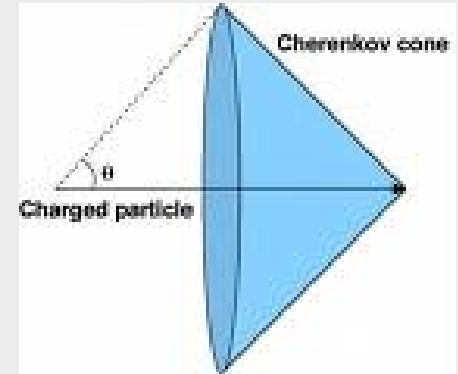
Les deux ont utilisé l'eau comme cible pour les interactions de neutrinos:



Les électrons diffusés sont détectés par la lumière Tcherenkov qu'ils produisent.

L'expérience Kamiokande a mesuré un flux de neutrinos qui est **49%** du signal attendu.

Super-Kamiokande a mesuré un flux de neutrinos égal à **46%** du signal attendu.



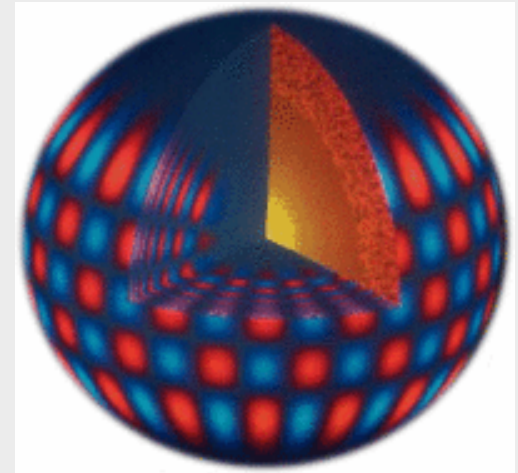
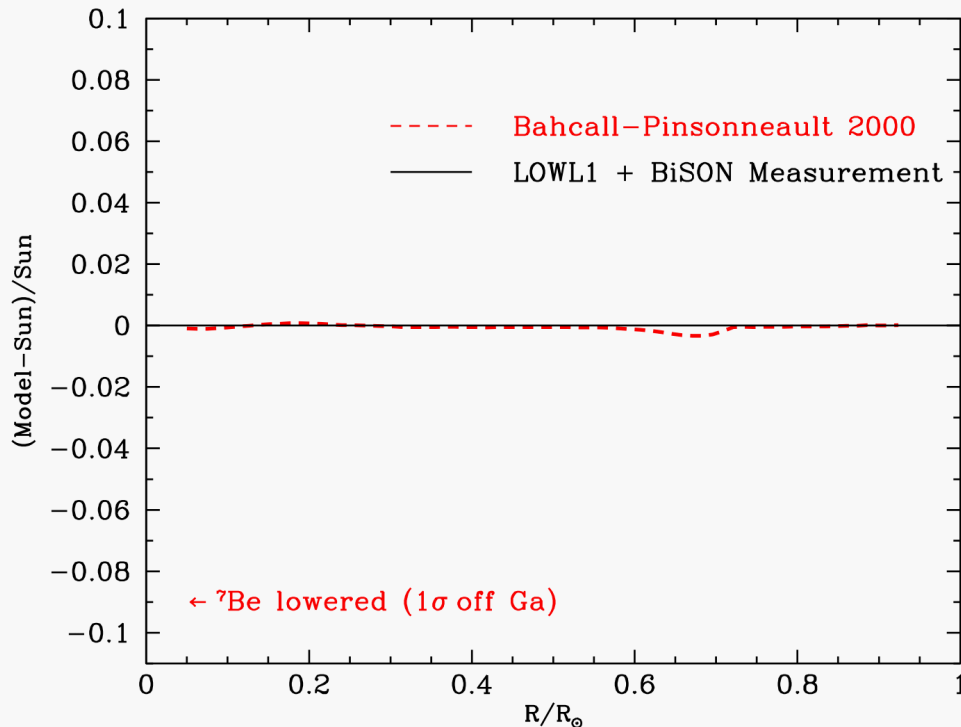
Boating in Super-K

# Le problème des neutrinos solaires

Déficit flagrant de neutrinos :

- le modèle solaire est faux
- nous ne comprenons pas la physique des neutrinos

Mesures hélio-seismiques sont en accord avec le modèle solaire :



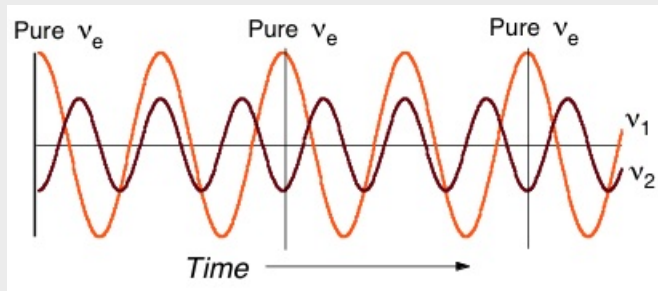
Et si les neutrinos  
pouvaient changer de  
saveur ?

# Masses et oscillations de neutrinos

Les Etats de saveur sont un mélange des états de masse :



Transport  
des  
neutrinos :



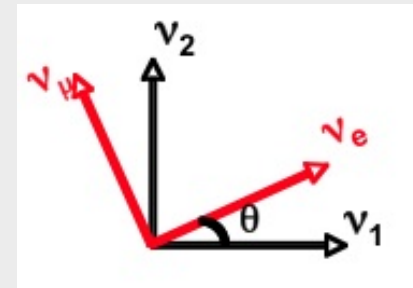
Probabilité d'oscillation :

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = 1 - \sin^2(2\theta_{12}) \cdot \sin^2(1.27 \Delta m_{12}^2 L/E)$$

Changement de base :

$$\nu_e = \cos(\theta_{12}) \cdot \nu_1 + \sin(\theta_{12}) \cdot \nu_2$$

$$\nu_\mu = -\sin(\theta_{12}) \cdot \nu_1 + \cos(\theta_{12}) \cdot \nu_2$$



$$\Delta m_{12}^2 = m_1^2 - m_2^2$$

# L' observatoire de neutrinos de Sudbury

Profondeur équivalente à  
6000 mètres d'eau

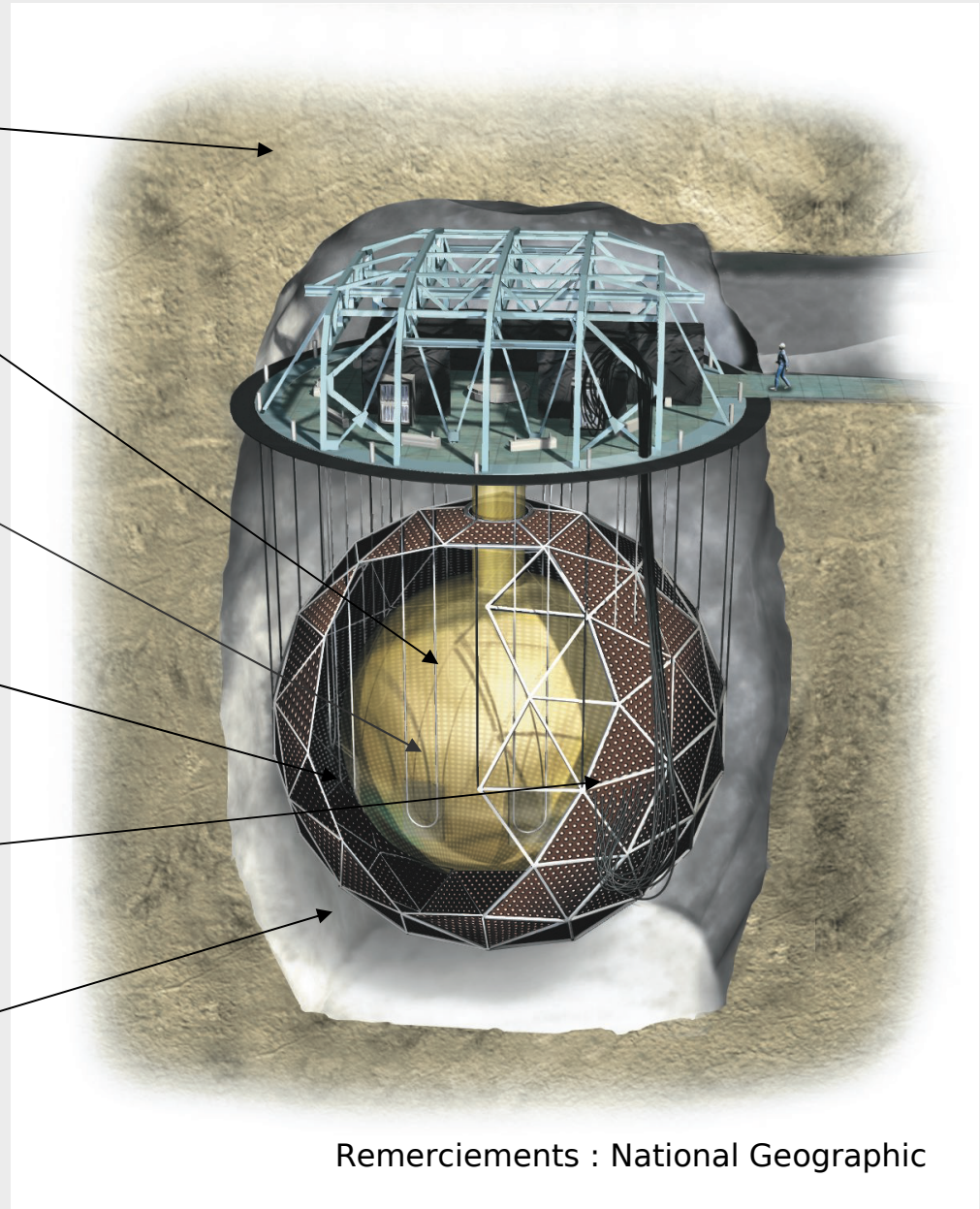
1000 tonnes d'eau lourde (  $D_2O$  )

Sphère de 12 m de diamètre

1700 tonnes de protection  
interne (  $H_2O$  )

Structure de support, 9500  
PMTs, 60% de couverture

5300 tonnes de  
protection externe (  $H_2O$  )

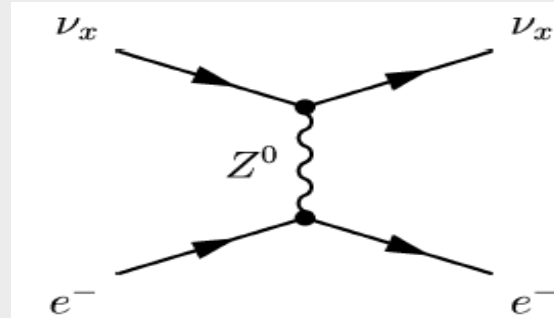


Remerciements : National Geographic

# Les interactions dans SNO

## Elastic Scattering (ES):

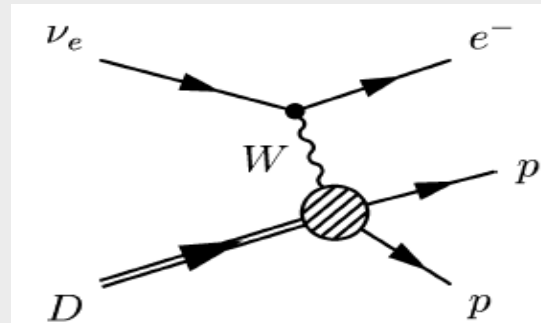
$$\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$$



Majorité de  $\nu_e$   
Sensibilité  
directionnelle

## Charged-currents (CC):

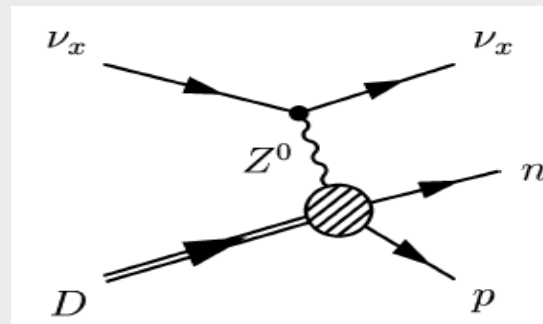
$$\nu_e + D \rightarrow p + p + e^-$$



Seulement  $\nu_e$   
Energies  
corrélées

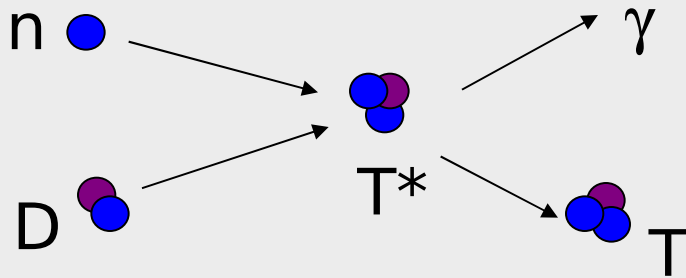
## Neutral-currents (NC):

$$\nu_x + D \rightarrow \nu_x + n + p$$



Toutes les  
saveurs  
Flux total

# Techniques de capture du neutron

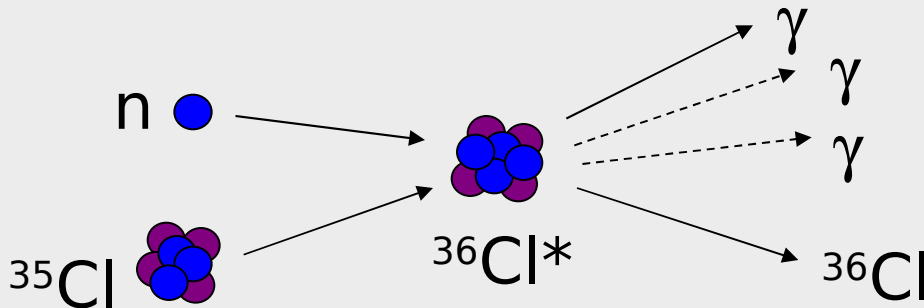


## Phase “D<sub>2</sub>O” :

$$\sigma = 0.0005 \text{ b}$$

$$\varepsilon = 14\%$$

Seuil d'énergie près du bruit de fond

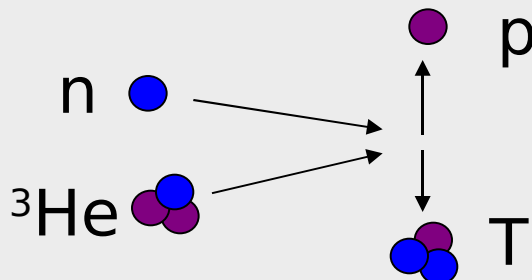


## Phase “sel” (2 t. NaCl) :

$$\sigma = 44 \text{ b}$$

$$\varepsilon = 41\%$$

Seuil d'énergie plus haut



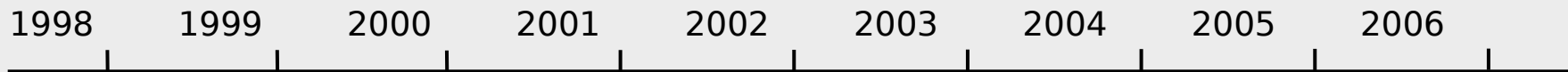
## Phase “NCD” :

$$\sigma = 5330 \text{ b}$$

$$\varepsilon = 21\%$$

Nouveaux détecteurs

# Calendrier de SNO



Construction/  
Preparation

Phase D<sub>2</sub>O

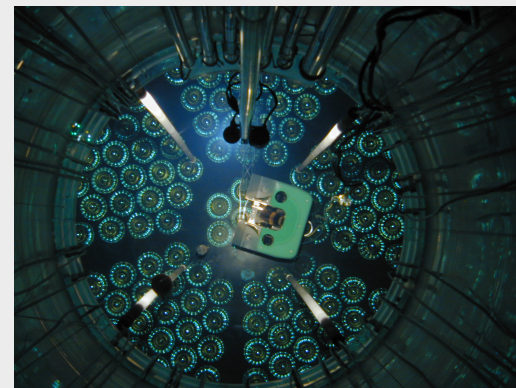
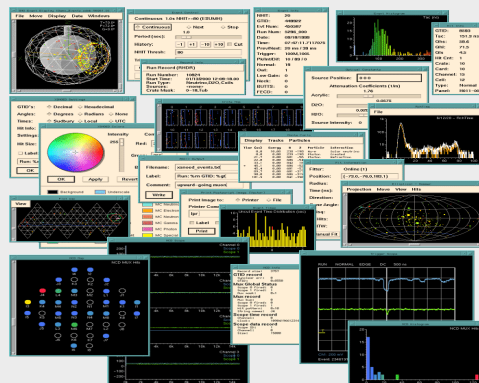
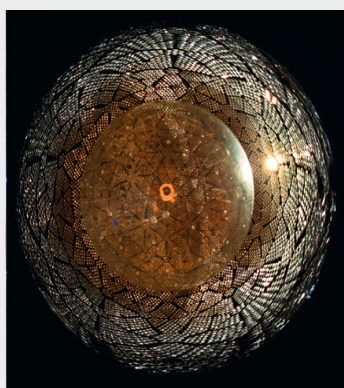
Phase Salt

D<sub>2</sub>O

Prep.  
NCD

Phase NCD

Retour  
D<sub>2</sub>O



Super-Kamiokande



CI



GNO



SAGE



KamLAND



KamLAND Solaire



Borexino



# Résultats de la phase “sel”

## Flux et rapports ( $10^{-6} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) :

$$\Phi_{\text{CC}} = 1.68 \pm 0.06 \text{ (stat.) } {}^{+0.08}_{-0.09} \text{ (syst.)}$$

$$\Phi_{\text{NC}} = 4.94 \pm 0.21 \text{ (stat.) } {}^{+0.38}_{-0.34} \text{ (syst.)}$$

$$\Phi_{\text{ES}} = 2.35 \pm 0.22 \text{ (stat.) } \pm 0.15 \text{ (syst.)}$$

$$\frac{\phi_{\text{CC}}}{\phi_{\text{NC}}} = 0.34 \pm 0.023 \text{ (stat.) } {}^{+0.029}_{-0.031} \text{ (syst.)}$$

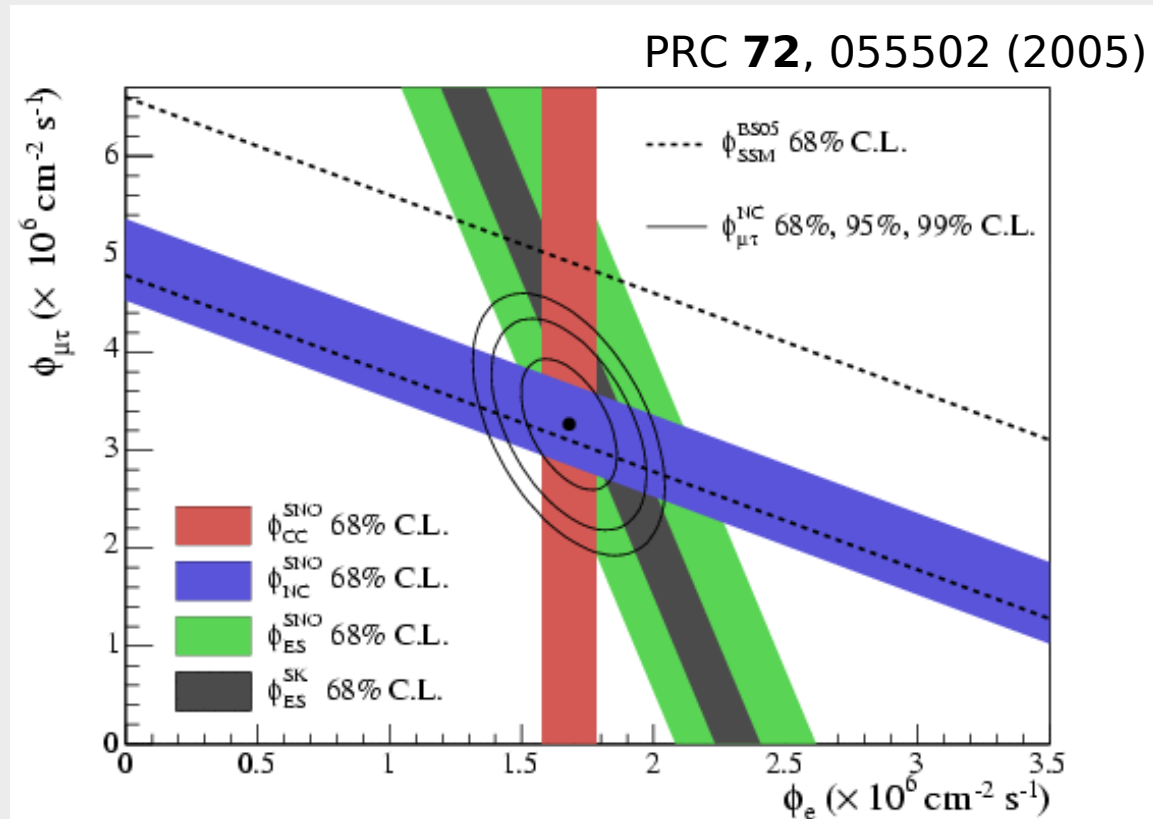
$$(\Phi_{\text{CC}}/\Phi_{\text{NC}} \sim \sin^2 \theta_{12})$$

## Masse :

$$\Delta m^2 = 0.8 {}^{+0.6}_{-0.4} 10^{-5} \text{ eV}^2$$

## Angle de mélange:

$$\theta_{12} = 33.9 {}^{+2.4}_{-2.2} \text{ degrés}$$



# Neutral Current Detectors

## Pourquoi ?

- Systématiques différentes des autres phases
- meilleure mesure du flux CC
- corrélations CC/NC grandement réduites

## Défis :

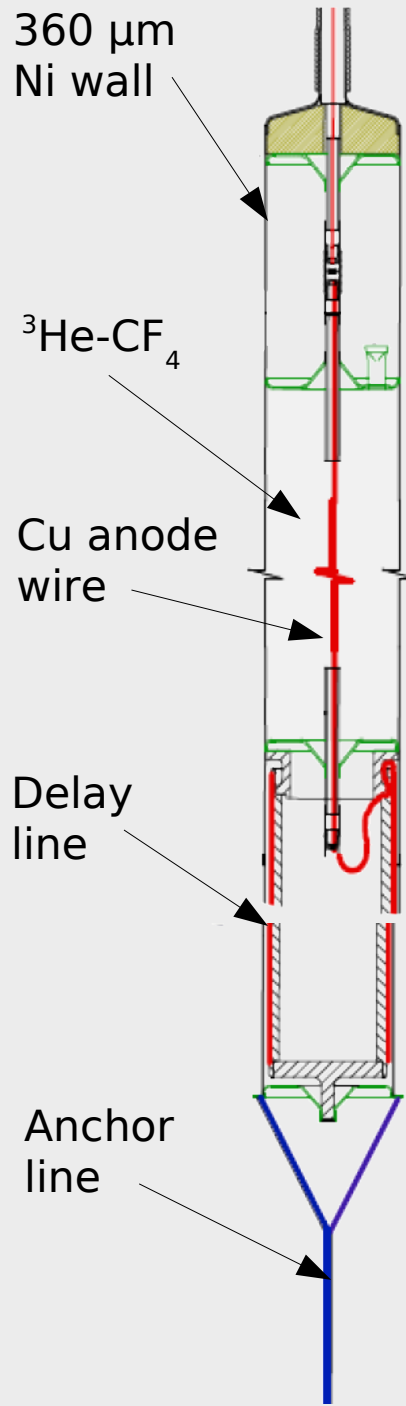
- Taux de signal très bas :  $\sim 1000$  neutrons/an détectés
- Matériel ultra-pur nécessaire
- Perte de lumière ( $\sim 10\%$ ) due aux détecteurs



36 compteurs  $^3\text{He}$   
et 4 compteurs  
 $^4\text{He}$  sur une grille  
de 1x1m.  
Longueur totale  
398 m.



# Compteurs proportionnels



Nickel “CVD” ultra-pur :

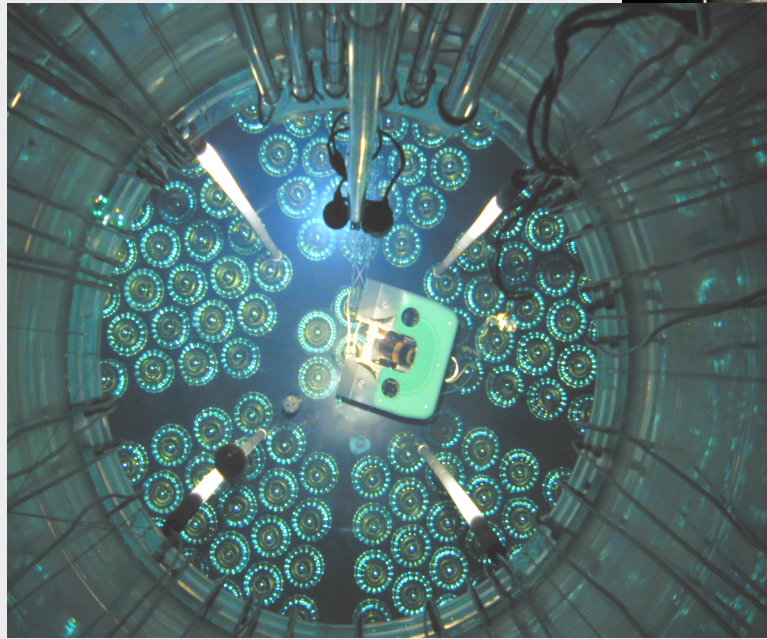
$$3.43^{+1.49}_{-2.11} \times 10^{-12} \text{ gTh /gNi}$$

$$1.81^{+0.80}_{-1.12} \times 10^{-12} \text{ gU/gNi}$$

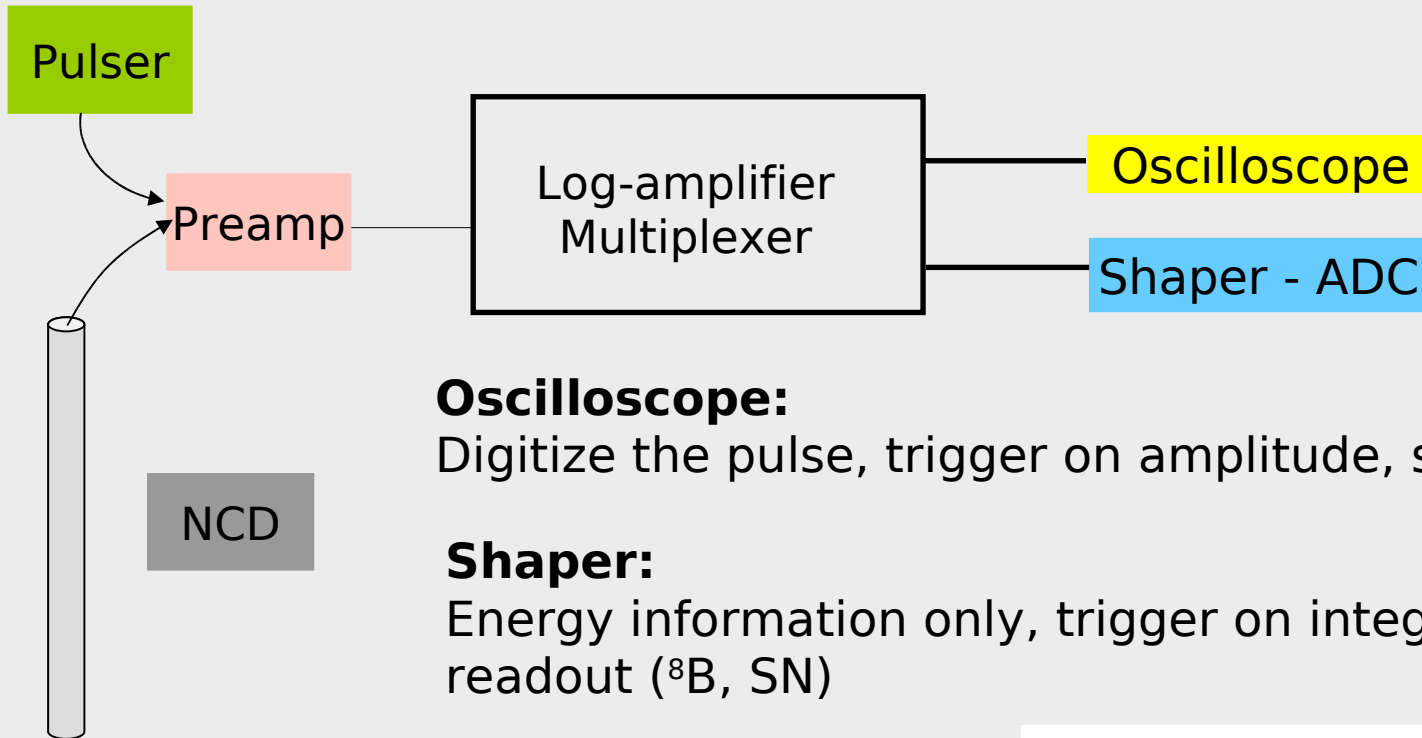
(100 fois plus pur  
que les compteurs  
précédents !)

“ROV” en opération

Soudure laser des compteurs



# Electronique des NCD et signal

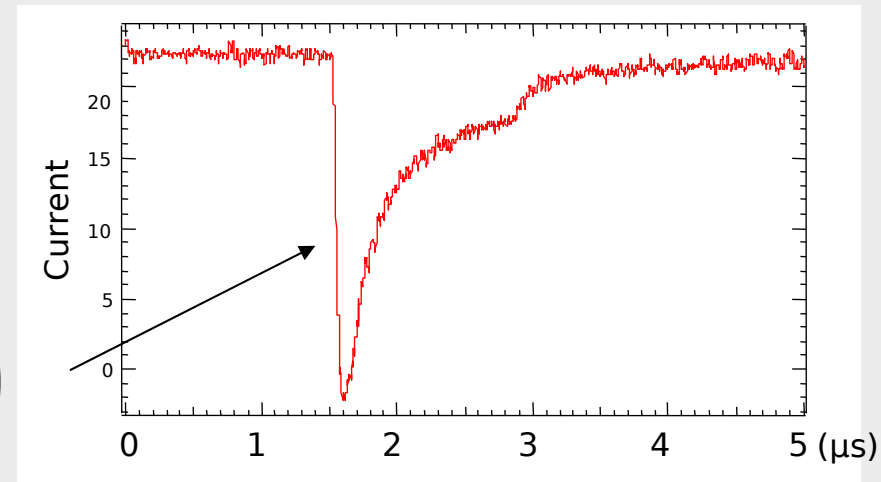
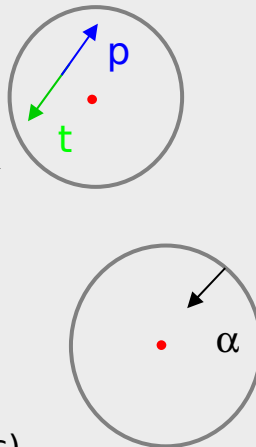
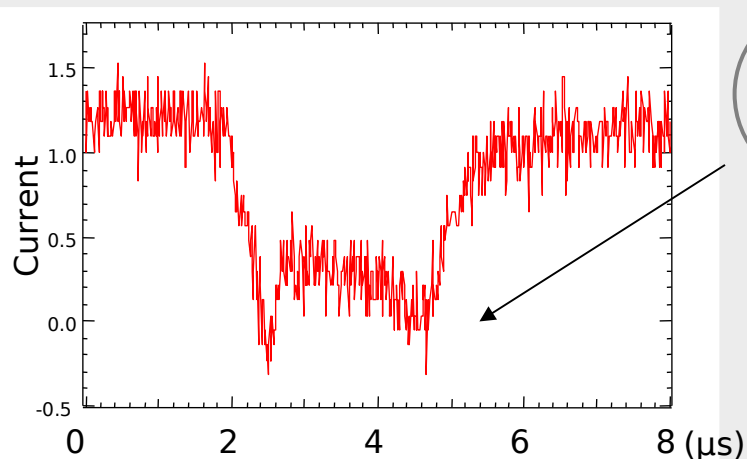


## Oscilloscope:

Digitize the pulse, trigger on amplitude, slow readout ( $^8\text{B}$ )

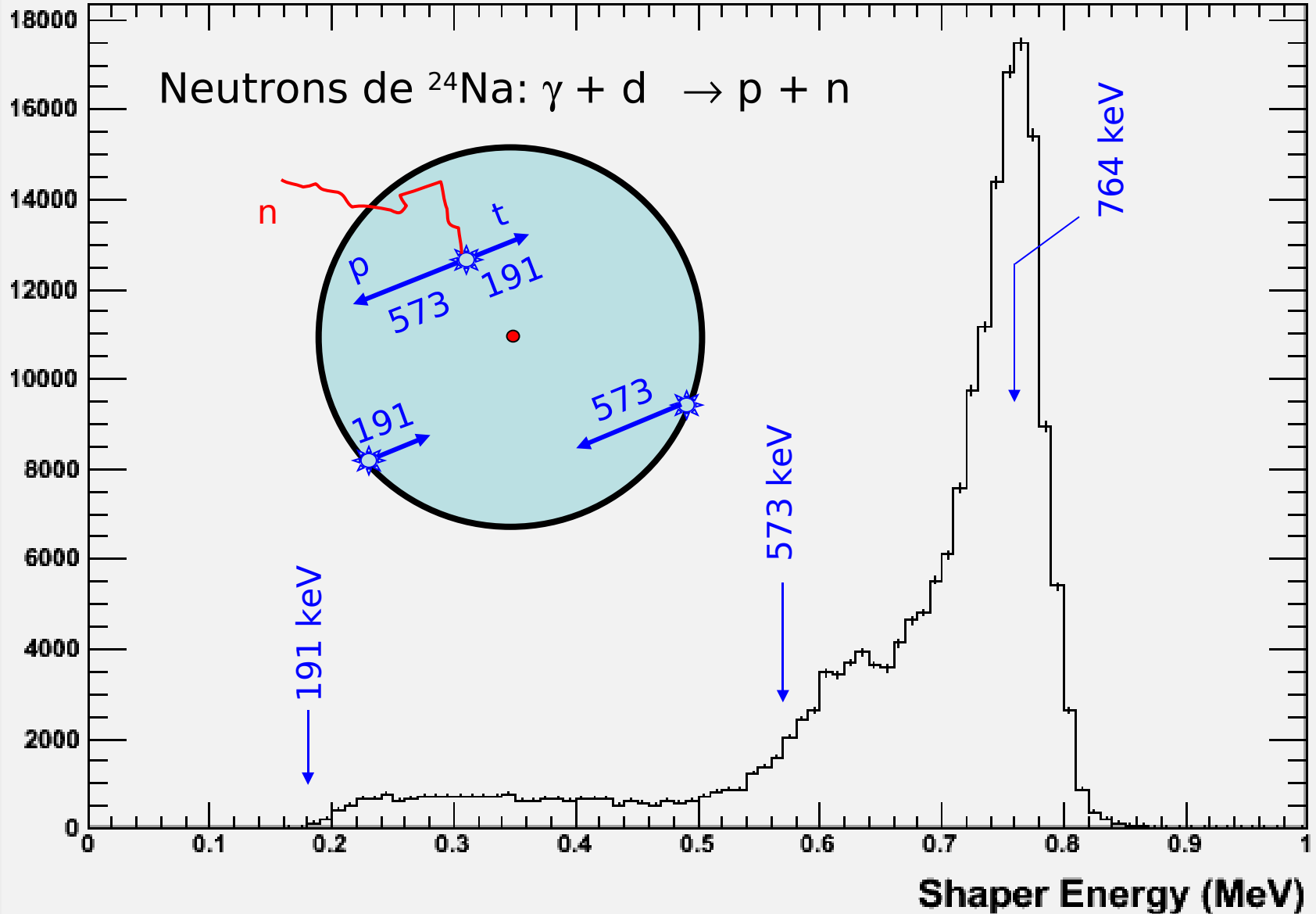
## Shaper:

Energy information only, trigger on integral charge, fast readout ( $^8\text{B}$ , SN)



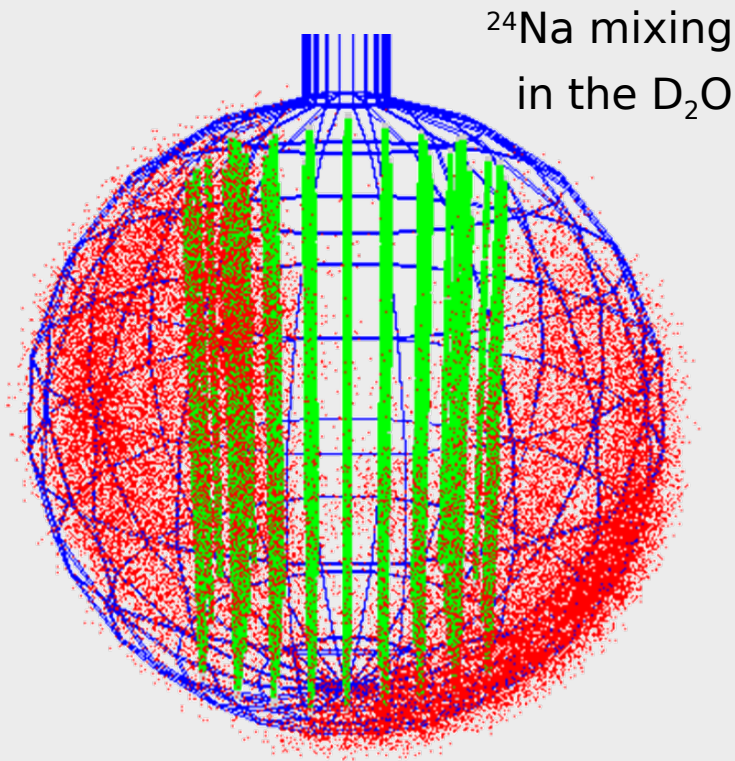
# Spectre d'énergie de $^3\text{He}(n,p)t$

Événements par 10 keV



# Efficacité de capture des neutrons

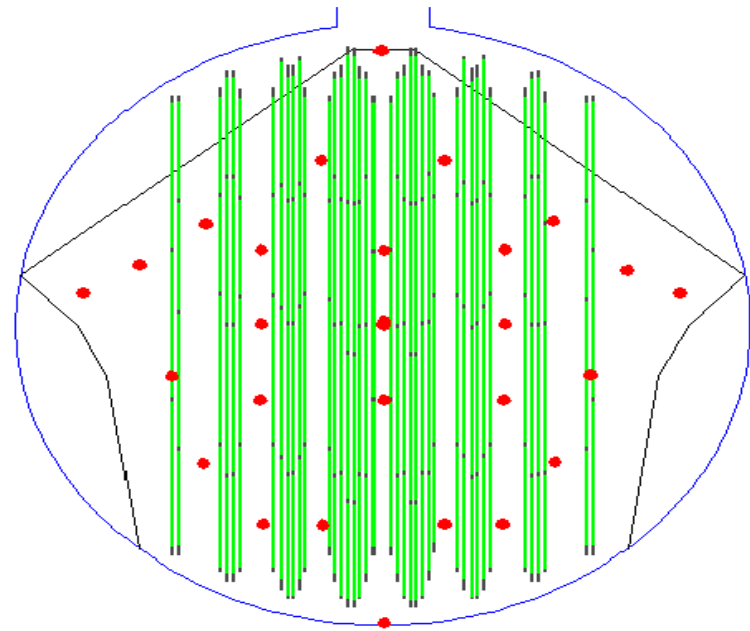
1- Méthode  $^{24}\text{Na}$  : imite le signal avec  $^{24}\text{Na}$  mélangé qui génère les neutrons par  $\gamma + d \rightarrow n + p$ .



$$\varepsilon_n = 0.211 \pm 0.007$$

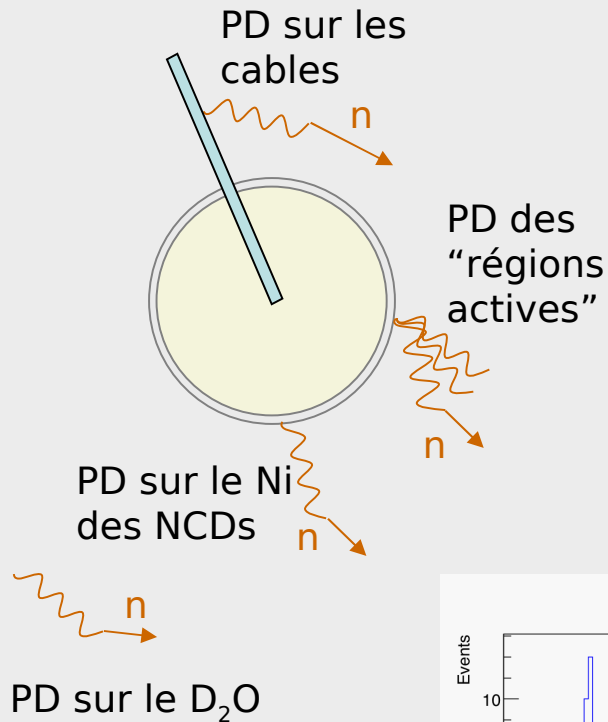
2- Méthode Monte Carlo : calibre le Monte Carlo avec sources ponctuelles AmBe et  $^{252}\text{Cf}$ .

• Source run locations

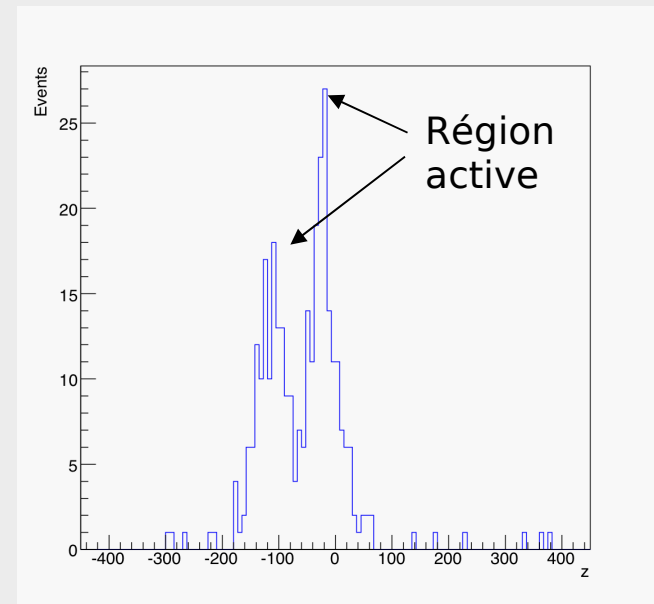
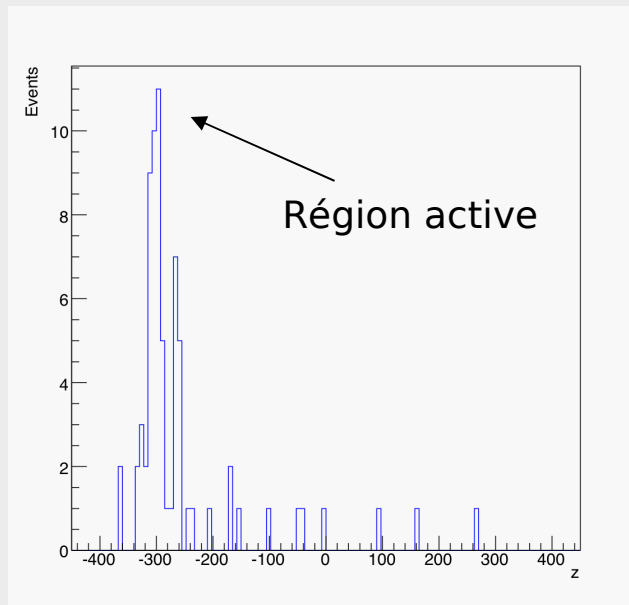


$$\varepsilon_n = 0.210 \pm 0.003$$

# Bruit de fond de neutrons

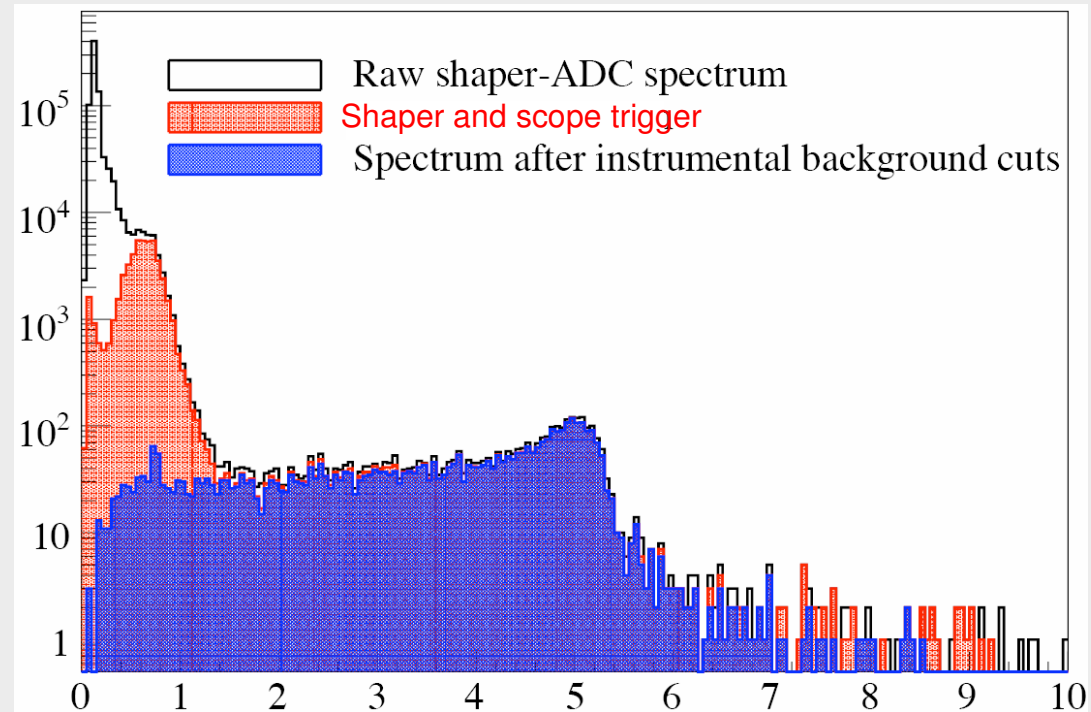
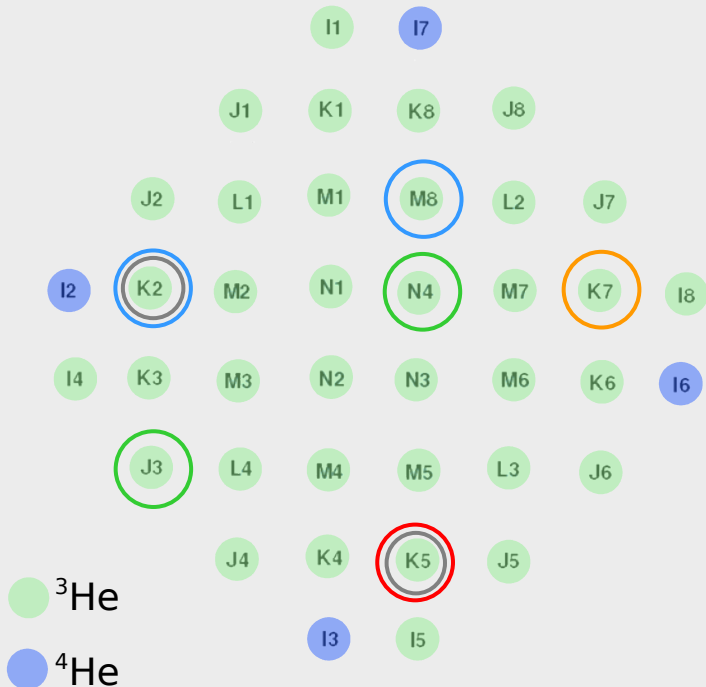


| Source                                     | PMT Events           | NCD Events              |
|--|----------------------|-------------------------|
| D <sub>2</sub> O photodisintegration       | $7.6 \pm 1.2$        | $28.7 \pm 4.7$          |
| NCD bulk/ <sup>17</sup> O, <sup>18</sup> O | $4.6^{+2.1}_{-1.6}$  | $27.6^{+12.9}_{-10.3}$  |
| Atmospheric $\nu$ / <sup>16</sup> N        | $24.7 \pm 4.6$       | $13.6 \pm 2.7$          |
| Other backgrounds †                        | $0.7 \pm 0.1$        | $2.3 \pm 0.3$           |
| NCD "hotspots"                             | $17.7 \pm 1.8$       | $64.4 \pm 6.4$          |
| NCD cables                                 | $1.1 \pm 1.0$        | $8.0 \pm 5.2$           |
| Total internal neutron background          | $56.4^{+5.6}_{-5.4}$ | $144.6^{+13.8}_{-14.8}$ |
| External-source neutrons                   | $20.6 \pm 10.4$      | $40.9 \pm 20.6$         |

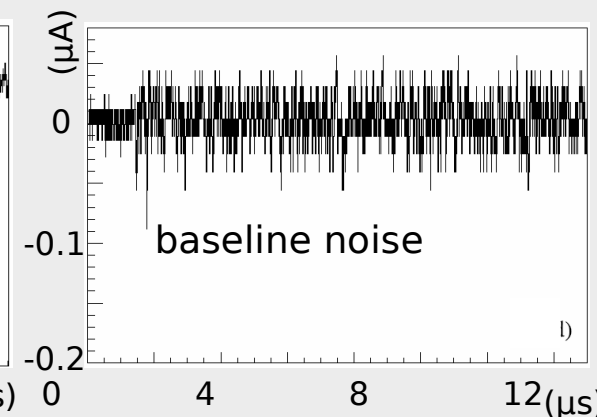
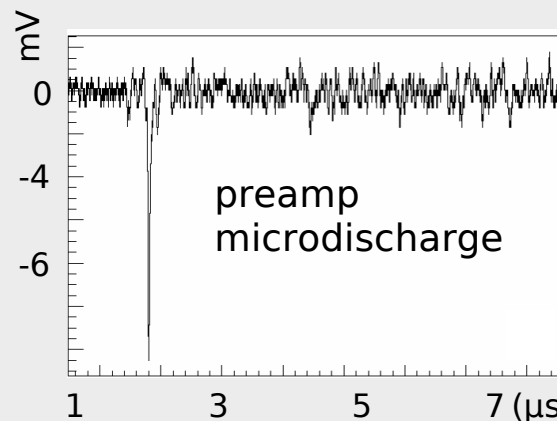


# Bruit de fond instrumental

- Régions actives
- Fuite de gas entre deux compteurs
- Mauvaise connexion électrique
- Micro-décharge
- Gain instable

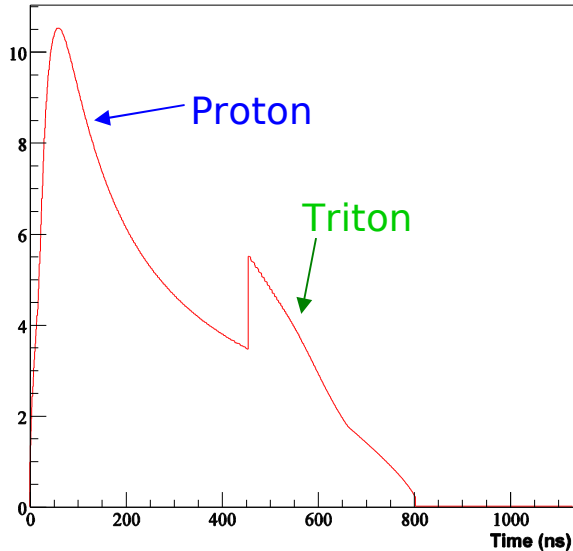


Energy spectrum before and after cuts

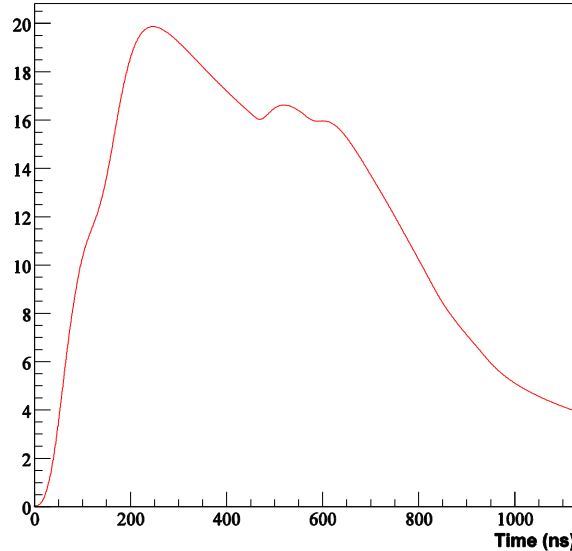


# Simulation de pulse des NCD

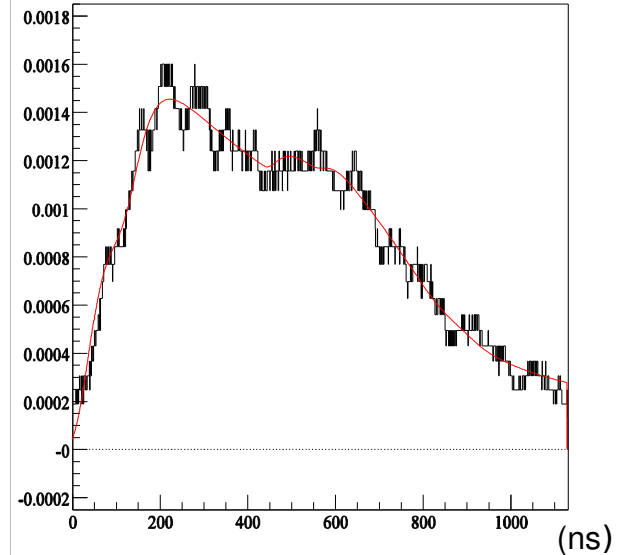
Energy deposition, electron drift



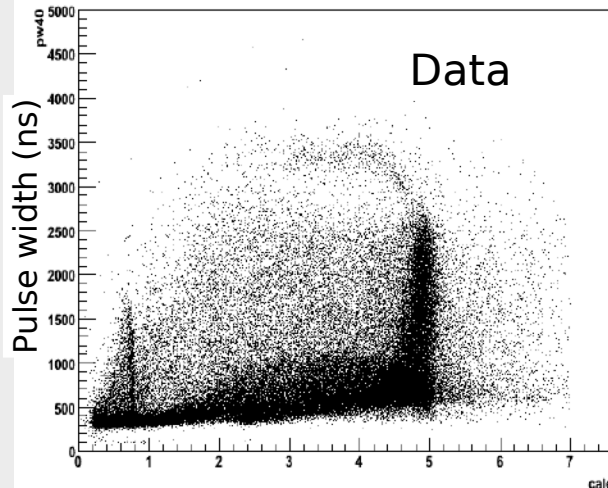
Charge multiplication, ion drift, pulse propagation, electronics



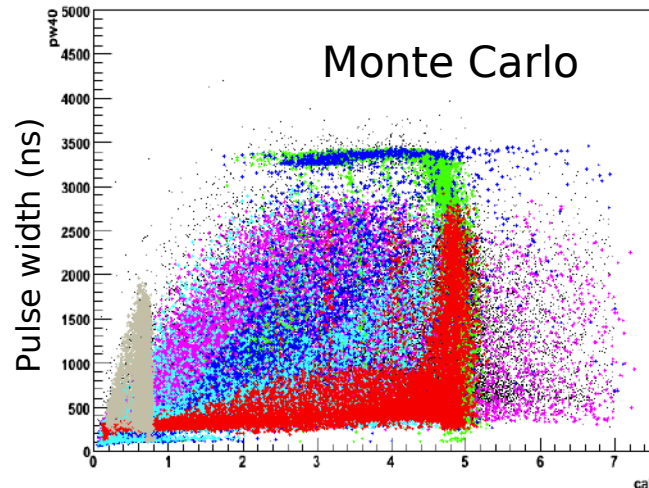
Noise



pw40:cale {cale<7.}



pw40:cale {cale<7.}



**alphas background:**

- wall Po alphas
- wire Po alphas
- wire U/Th alphas
- endcap Po alphas
- wall U/Th alphas

# Schéma de “blindness” et signal

Premier mois de prise de données “open”

- 1- Soustraire une fraction inconnue de candidats neutrinos
- 2- Ajouter une quantité inconnue de neutrons “muon followers”

Log-likelihood fit  $L = L_{PMT} + L_{NCD}$ :

$$L_{PMT} = - \sum_{d=1}^{N_d} \log \left( \sum_{s=1}^{N_s} n_s f_s(\bar{x}_d) \right) + \sum_{s=1}^{N_s} n_s - \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{N_p} \left( \frac{\lambda_p - \bar{\lambda}_p}{\bar{\sigma}_p} \right)^2$$
$$L_{NCD} = - \sum_{d=1}^{N'_d} \log \left( \sum_{s=1}^{N'_s} n'_s f'_s(\bar{x}_d) \right) + \sum_{s=1}^{N'_s} n'_s - \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{N'_p} \left( \frac{\lambda'_p - \bar{\lambda}'_p}{\bar{\sigma}'_p} \right)^2$$

Signal:

$f(T, \cos\theta_{\text{sun}}, \rho)$

$f(E_{\text{ADC}})$

Bruit de fond:

$f(T) \times f(\cos\theta_{\text{sun}}) \times f(\rho)$

$f(E_{\text{ADC}})$

## Ouverture de la boîte le 2 mai 2008 :

- ~10% différence dans les incertitudes du flux NC entre les 3 codes d'extraction du signal : après correction de résolution de l'énergie servant comme contrainte sur les systématiques, les erreurs sont en accord, pas d'effet sur les valeurs centrales du fit.
- Problème paramétrisation d'un algorithme (pour un code d'extraction) utilisé dans le fit de la valeur du pic de la distribution de chaque bin ES : méthode plus robuste de fit implementée, flux ES en accord.

# Markov Chain Monte Carlo

The physics parameters (“fluxes”) are fitted allowing nuisance parameters (calibration constants, etc.) to vary weighted by their external uncertainties. The likelihood is maximized via randomized search steps.

## Algorithm:

Initial step  $i$

parameter guesses  $p_i$   
calculate likelihood  $L_i$

Add random amounts to all parameters

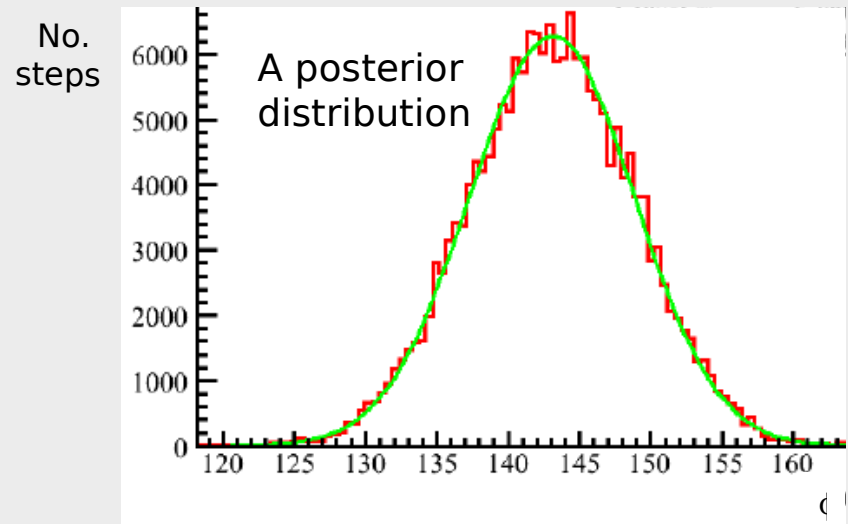
$p_{i+1} = p_i + \text{Norm}(0, \sigma_i)$   
calculate likelihood  $L_{i+1}$

Keep  $p_i$  or  $p_{i+1}$  :

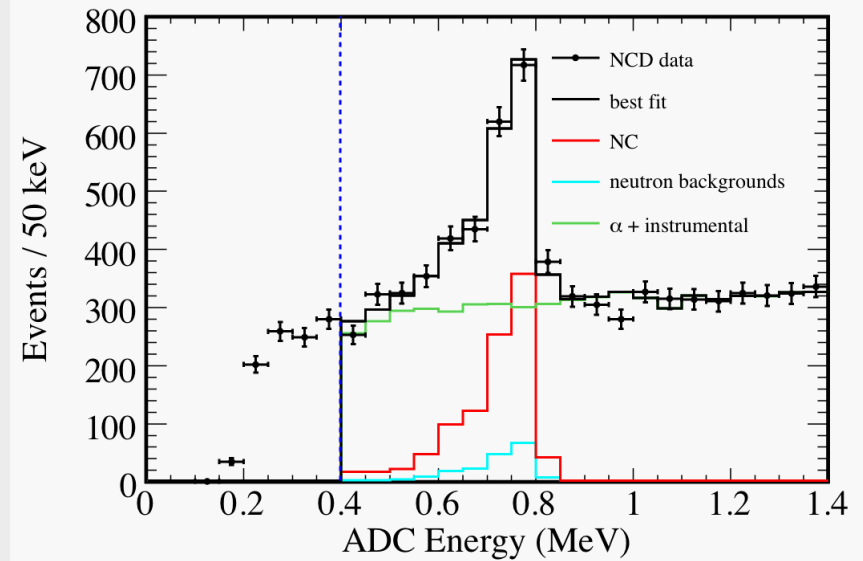
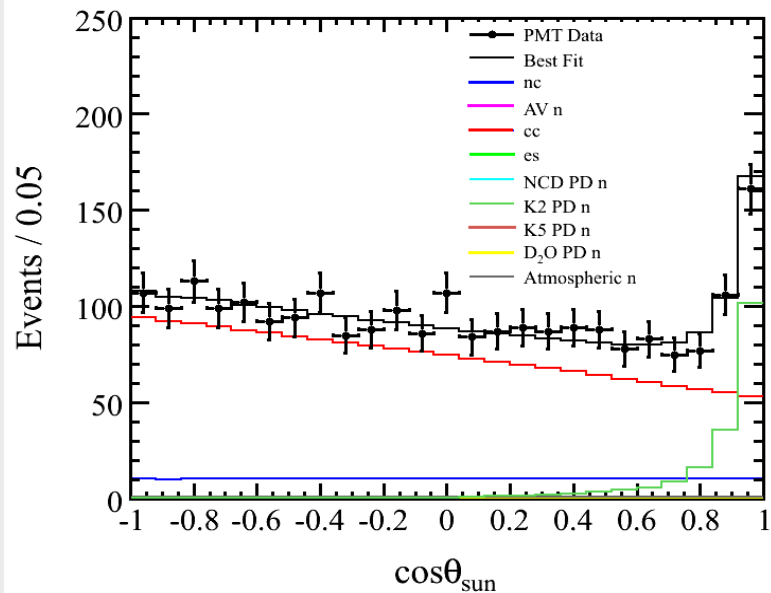
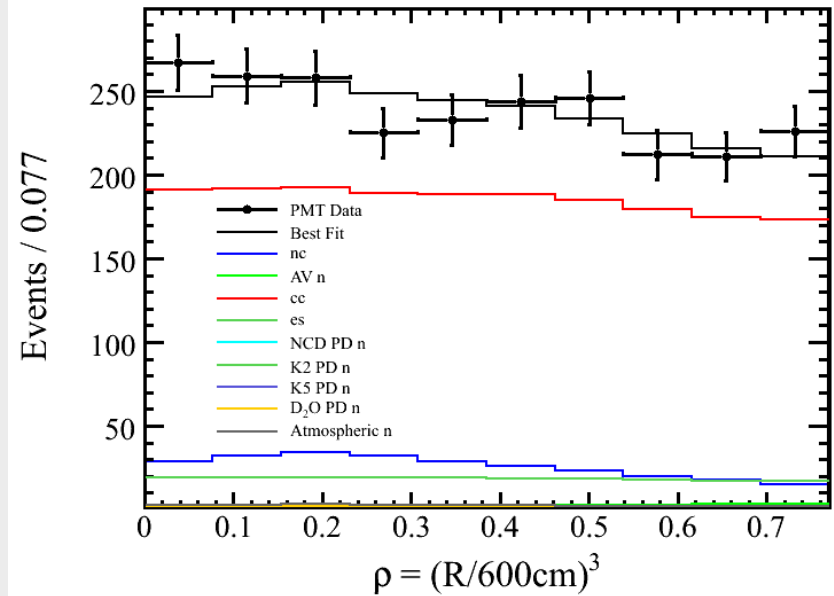
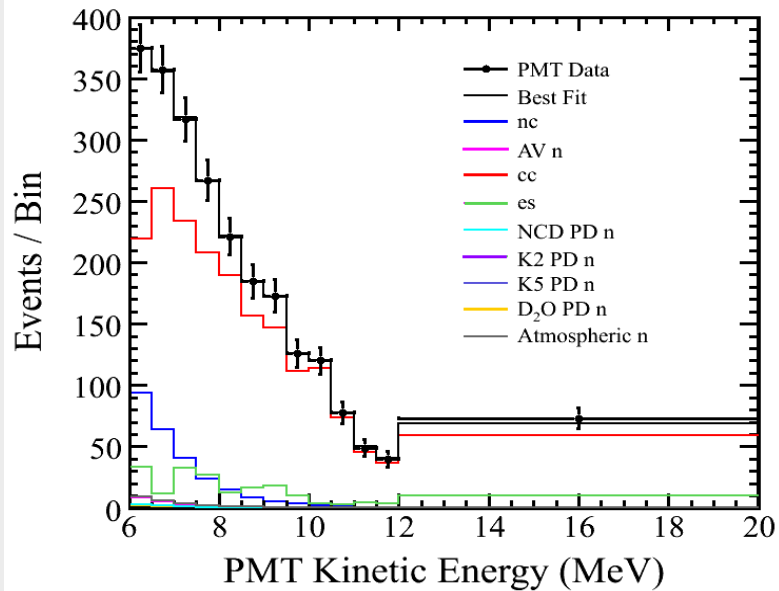
$p_{\text{keep}} = \max(1, L_{i+1} / L_i)$

62-parameter likelihood function

- 13 CC flux energy bins
- 13 ES flux energy bins
- NC flux
- 35 systematic parameters



# Résultats



# Flux et nombre d'événements

**Fluxes (in unit of  $10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ):**

CC  $1.67^{+0.05}_{-0.04}$  (stat)  $^{+0.07}_{-0.08}$  (sys)

ES  $1.77^{+0.24}_{-0.21}$  (stat)  $^{+0.09}_{-0.10}$  (sys)

NC  $5.54^{+0.33}_{-0.31}$  (stat)  $^{+0.36}_{-0.34}$  (sys)

PMT events:

CC  $1867^{+91}_{-101}$

ES  $171^{+24}_{-22}$

NC  $267^{+24}_{-22}$

Background  $77^{+12}_{-10}$

Correlation matrix for the Salt phase:

|    | CC    | ES    | NC   |
|----|-------|-------|------|
| CC | 1.00  |       |      |
| ES | -0.16 | 1.00  |      |
| NC | -0.52 | -0.06 | 1.00 |

Correlation matrix for the NCD phase:

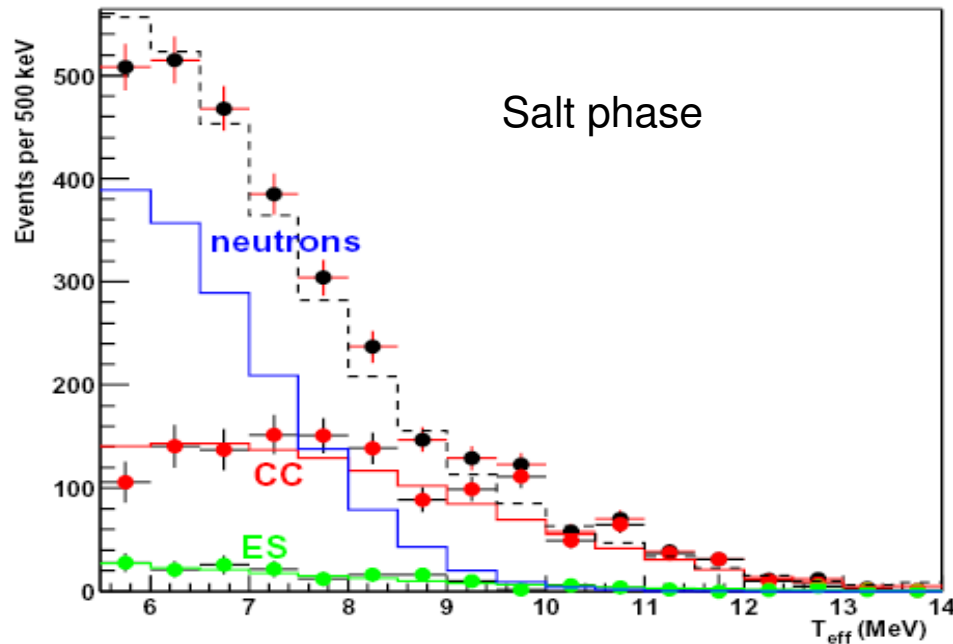
|    | CC    | ES   | NC   |
|----|-------|------|------|
| CC | 1.00  |      |      |
| ES | 0.24  | 1.00 |      |
| NC | -0.19 | 0.02 | 1.00 |

NCD events:

NC  $983^{+77}_{-76}$

Background  $185^{+25}_{-22}$

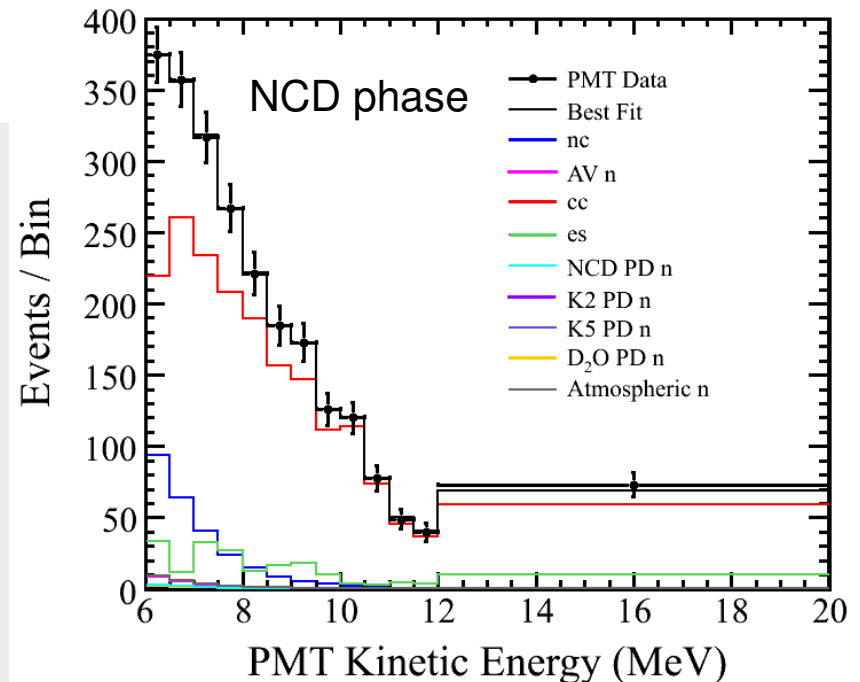
# Salt and NCD phases comparison



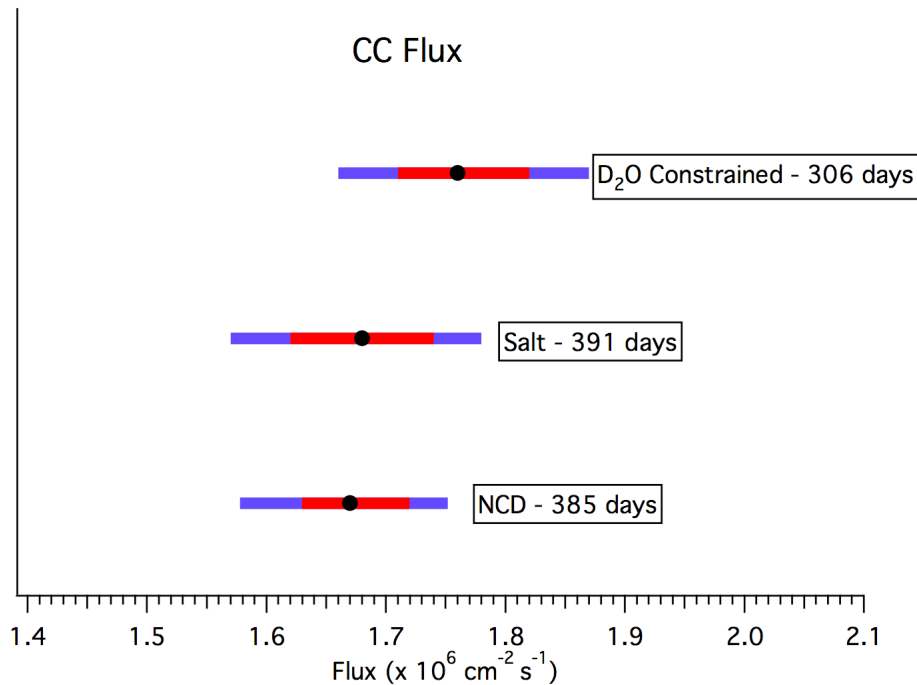
ES results deviation from prior results due to a statistical fluctuation.

Better measurement of the CC flux.

Lower ES flux.

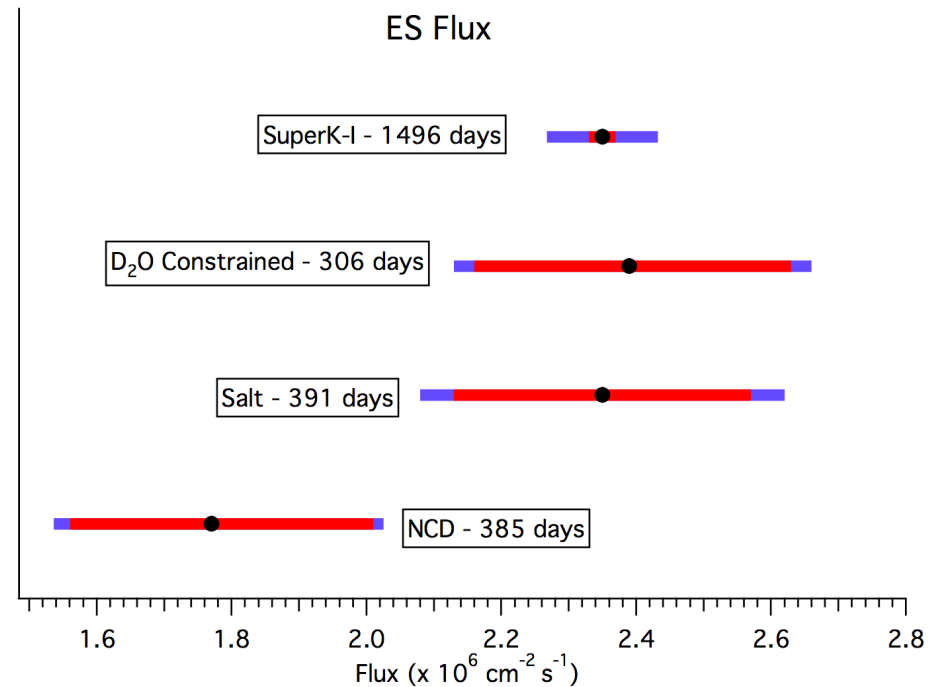


# Résultats



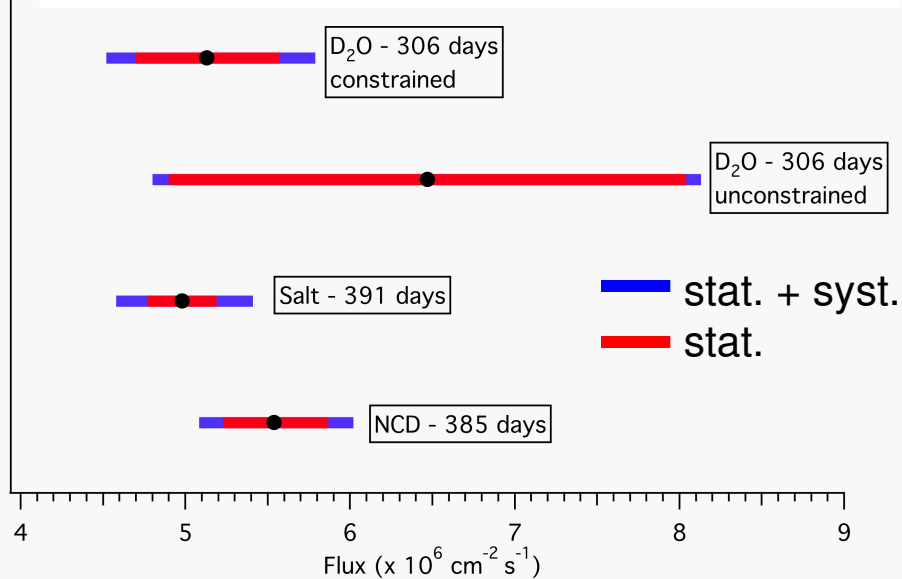
— erreur stat. + syst.  
— erreur stat.

Les trois phases sont en accord !



# Comparisons

NC flux (corrected to  $^8\text{B}$  spectrum of Winter *et al.*)



Agreement with previous measurements  
(estimated p-value = 0.328)

Agreement with standard solar models

Fluxes (in unit of  $10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

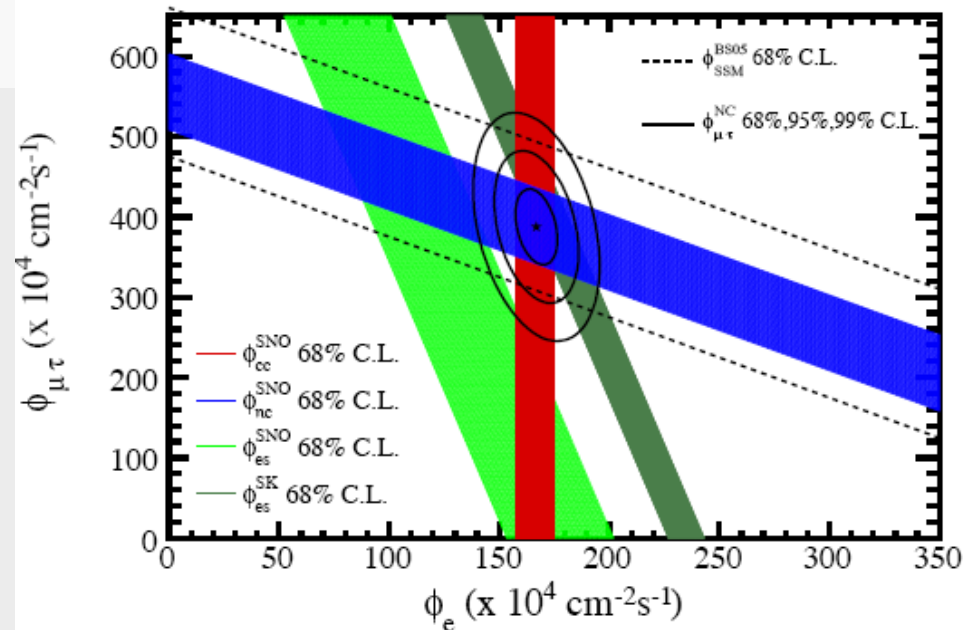
CC: 167(9)

ES: 177(26)

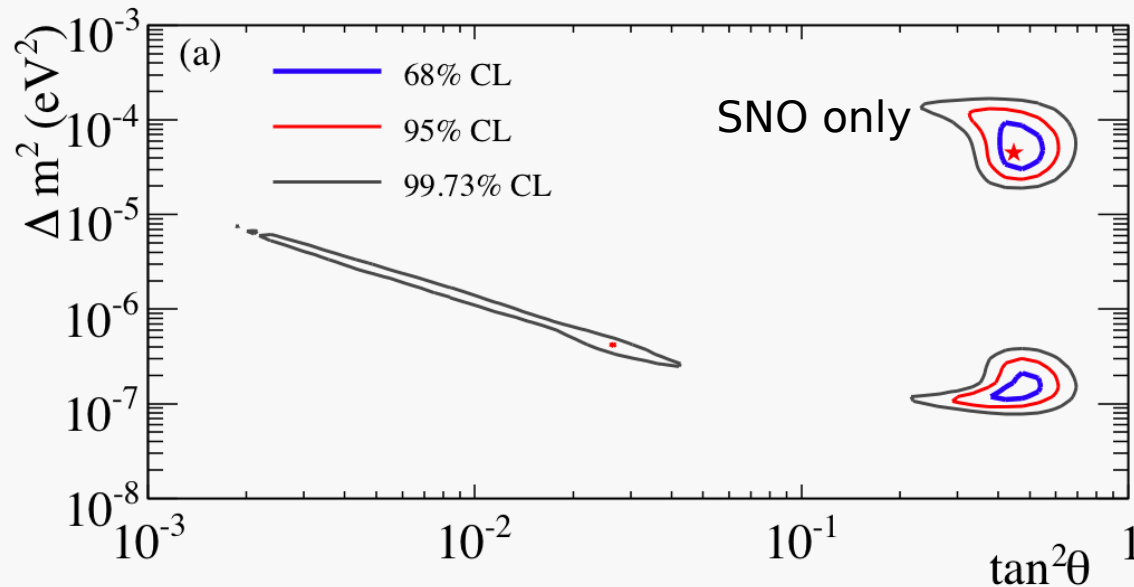
NC: 554(49)

SSM: 569(91) [BSB05-OP: Ap. J. 621, L85, 2005]

Super-K: 235(8) [PRD 73, 112001, 2006]



# 2-neutrinos oscillation contours



a) SNO only:  
D<sub>2</sub>O & Salt day and night  
spectra, NCD phase fluxes

b) Solar Global:  
SNO, Super-K, Cl, Ga,  
Borexino

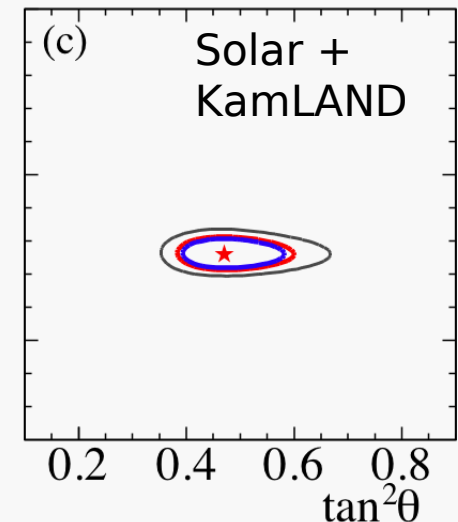
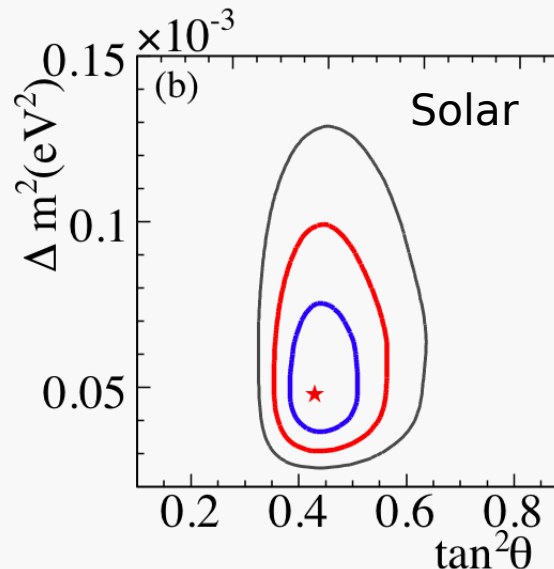
c) Solar Global +  
KamLAND

Solar+KamLAND best fit:

$$\Delta m^2_{12} = 7.59^{+0.19}_{-0.21} \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

$$\theta_{12} = 34.4^{+1.3}_{-1.2} \text{ degrés}$$

$$\tan^2 \theta_{12} = 0.468^{+0.048}_{-0.040}$$



# Conclusion

## Résultats de la phase NCD : [PRL 101-111301 (2008)]

Mesure indépendante du flux  $^8\text{B}$ .

En accord avec les phases précédentes.

Corrélations réduites entre CC et NC.

Systématiques différentes.

Nouvelle précision sur  $\theta_{12}$  avec 40% amélioration.

## Futur :

$\mu$ , atmosphérique  $\nu$  [accepted by PRD]

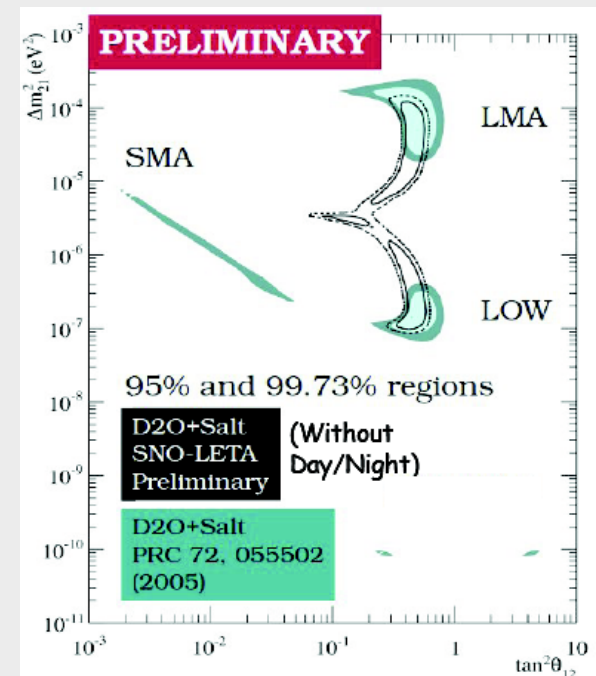
LETA (Low Energy Threshold Analysis)

Analyse des trois phases

Analyse trois neutrinos

Flux *hep*

Jour-nuit, autres variations



# Puzzle complet ?

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\alpha_{1/2}} & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha_{21/2}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

2  $\Delta m^2$  mais **hierarchie** et **masse absolue** inconnues

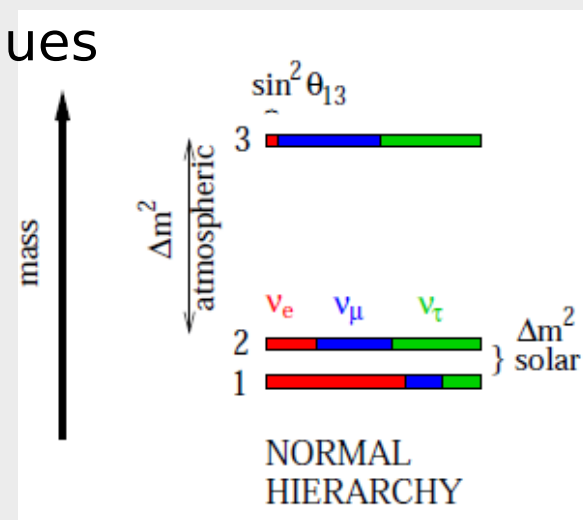
3 angles de mélange mais  $\theta_{13}$  inconnu

1 phase de violation CP  $\delta$  inconnue

2 phases Majorana  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  inconnues

→ **experiences  $\beta\beta 0\nu$**

→ **superbeam, beta-beam, neutrino factory**



Mais aussi:  
MINOS, Opera, SuperK,  
Borexino, KamLAND, T2K,  
double CHOOZ, Daya Bay,  
RENO...

## Canada:

Natural Sciences and Engineering Research Council  
Industry Canada - National Research Council  
Northern Ontario Heritage Fund - Vale Inco  
Atomic Energy of Canada, Ltd.  
Ontario Power Generation  
High Performance Computing Virtual Laboratory  
Canada Foundation for Innovation  
Canada Research Chairs - Westgrid

## US:

Department of Energy  
NERSC PDSF

## UK: STFC

## Portugal: FCT

# La collaboration SNO



University of Alberta,  
University of British Columbia,  
Carleton University, Univ. of Guelph  
Laurentian University, Queen's U.  
SNOLAB, TRIUMF



Brookhaven National Laboratory,  
Lawrence Berkeley National Lab,  
Los Alamos National Laboratory,  
Louisiana State University, MIT,  
University of Pennsylvania,  
University of Texas at Austin,  
University of Washington



LIP (Lisbon)



University of Oxford



Backup Slides

# The big picture

The Maki-Nakagawa-Sakata-Pontecorvo (MNSP or PMNS or MNS) matrix:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\alpha/2} & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha/2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Equation of evolution:

$$|\nu_\alpha(L)\rangle = \sum U_{\alpha i}^* \exp(-i m_i^2 L/2E) |\nu_i(L=0)\rangle$$

3 mixing angles

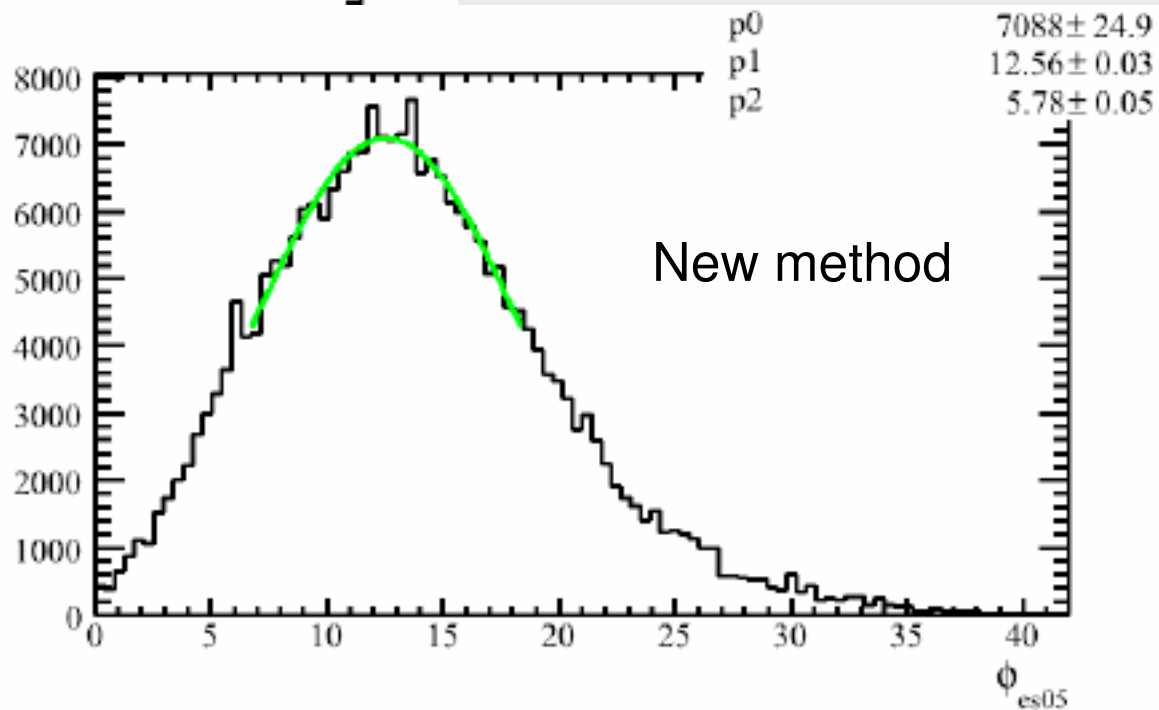
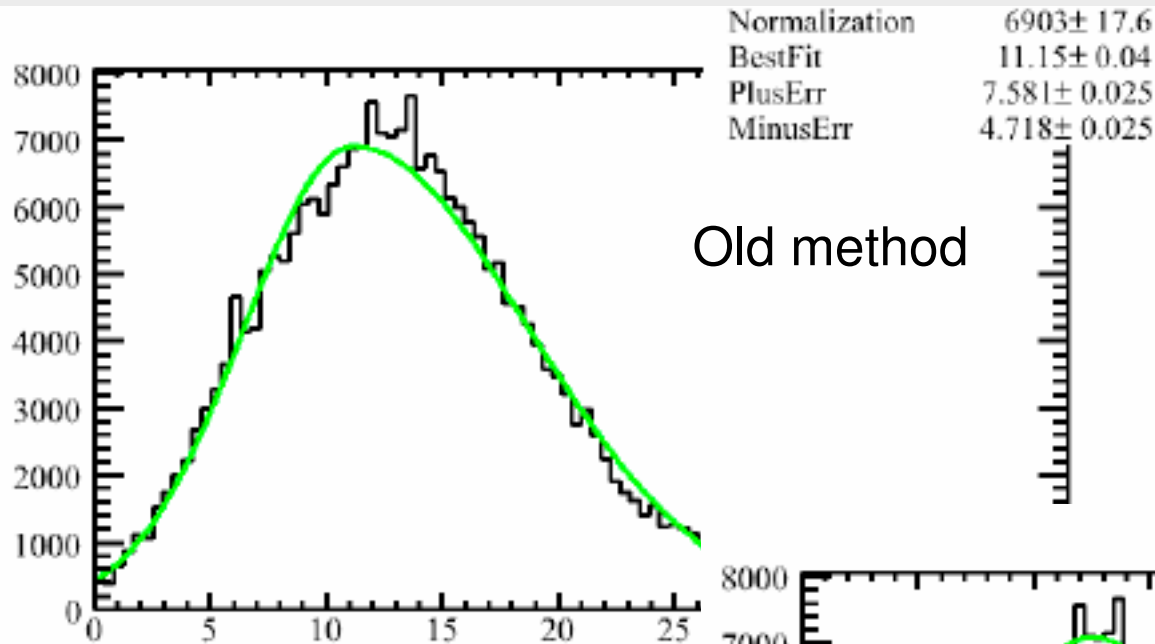
1 CP violation phase

2 Majorana phases

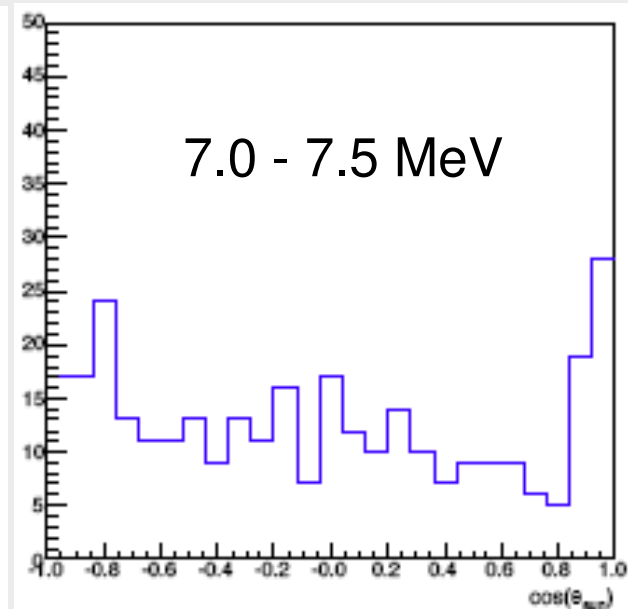
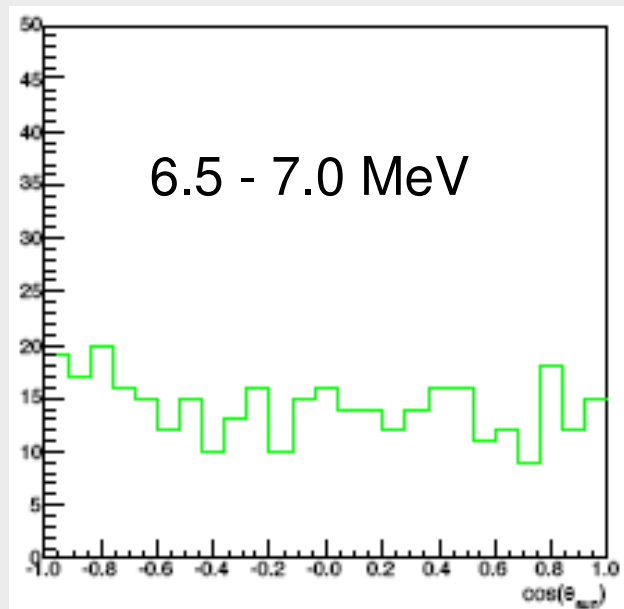
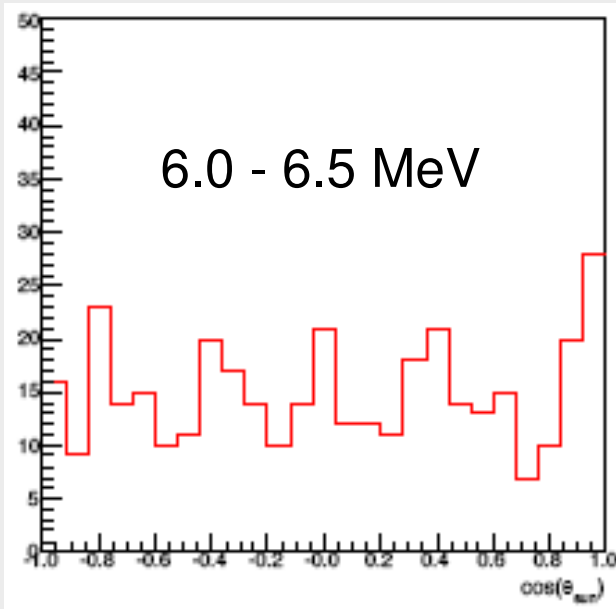
Oscillation probability (vacuum case):

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = |\langle \nu_\alpha | \nu_\beta \rangle|^2 = \delta_{\alpha\beta} - 4 \sum U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^* \sin^2(\Delta m_{ij}^2 L/4E)$$

# Change in parameterization for ES fit



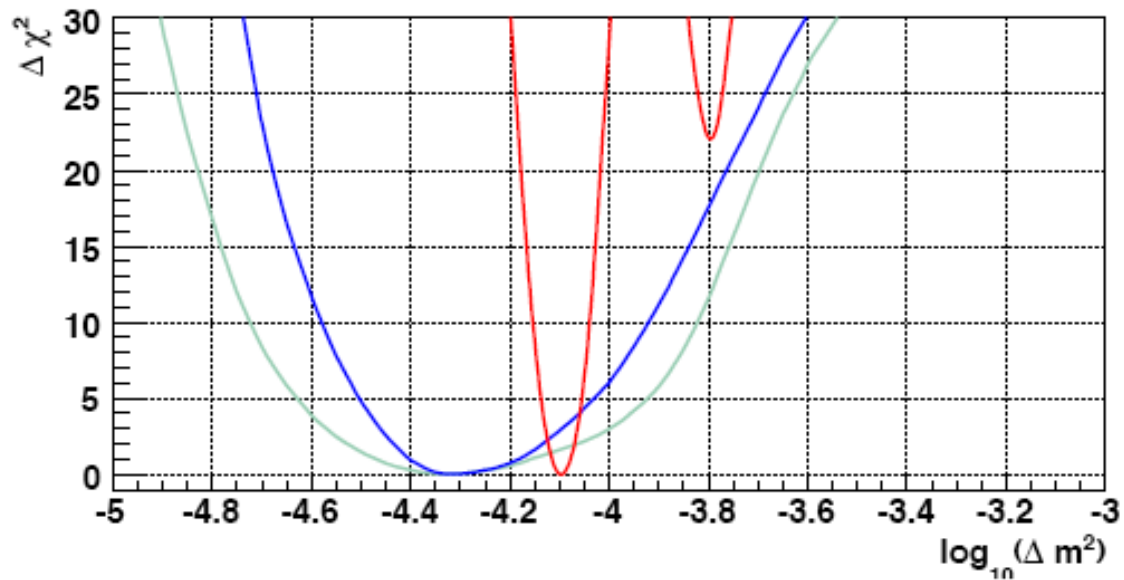
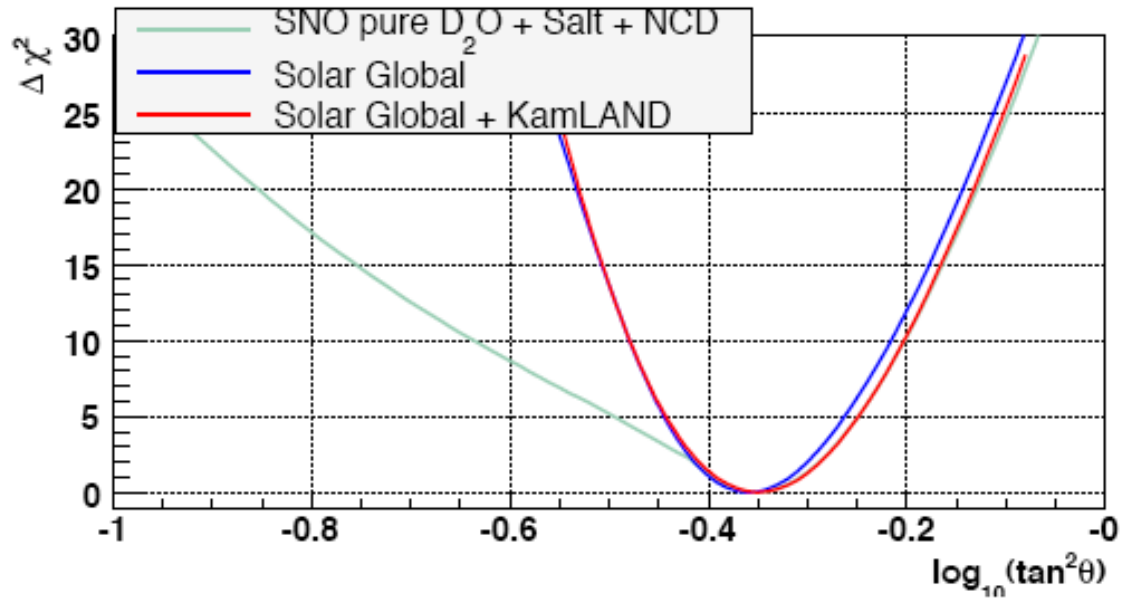
# Angular distributions for ES



Distribution for the energy bin 6.5-7.0 MeV: no peak at  $\cos(\theta_{\text{sun}}) = 1$  as expected.

Statistical fluctuation (1.3% probable to obtain such a low number in this bin assessed by a MC of 10000 trials).

# $\chi^2$ map (SNO collaboration)





- vêtements avec bandes réfléchissantes
- lampe avec batterie
- chaussures à bout renforcés
- casque
- badge avec son nom à l'entrée

ATTENTION  
PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT  
"REQUIRED"  
BEYOND THIS POINT



cage descendant à 7 km/h dans le noir.



Marche de plus d'un km dans la boue ou la poussière et le bruit .

On lave nos bottes avant de rentrer dans le laboratoire.

LEAVE BOOTS HAT  
AND BELT HERE.  
REMOVE WRAPPING  
FROM PERSONAL  
ITEMS.

LEAVE MINE  
CLOTHES HERE

SUPPLY



La salle à manger

Salle “propre” avec  
système de ventilation  
spécial







