

jrjc 2011

Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs
Du 4 au 10 décembre

ν_e
 ν_μ
 ν_τ



Cosmologie
Médecine nucléaire
Interaction forte
Physique hadronique
Applications de la physique nucléaire
Astrophysique nucléaire
Astroparticules
Neutrinos
Structure nucléaire
Dynamique nucléaire
Au-delà du modèle standard
Modèle standard électrofaible
Energie nucléaire
Instrumentation

Les Balcons du Lac d'Annecy

Infos et Inscriptions : <http://jrjc2011.free.fr>

LA PHYSIQUE DES NEUTRINOS

Antoine Cazes
6 décembre 2011



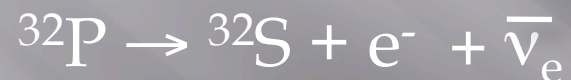
Lyon 1

Université Claude Bernard

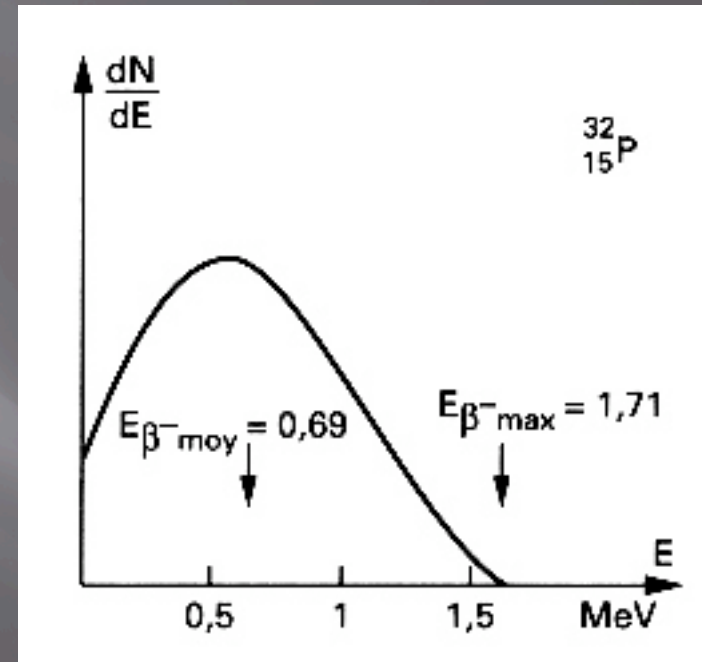


Une idée désespérée

- Désintégration β :



- 1930 : Dans une lettre à ses amis Radioactifs, Wolfgang Pauli propose une solution désespérée pour expliquer le spectre beta : Une particule supplémentaire, le neutron.
- 1933, Chadwick découvre le neutron (le vrai!)
- 1934, Fermi écrit sa théorie de l'interaction faible, y incluant le « petit neutron », le neutrino



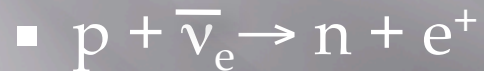
Majorana

- ▣ Les neutrinos sont toujours gauche
- ▣ Les anti-neutrinos sont toujours droit.
- ▣ Majorana propose que la différence de chiralité est suffisante et que neutrinos et anti-neutrinos sont les mêmes particules
- ▣ Voir la présentation de Sophie Blondel



La découverte : Exp de Reines et Cowan

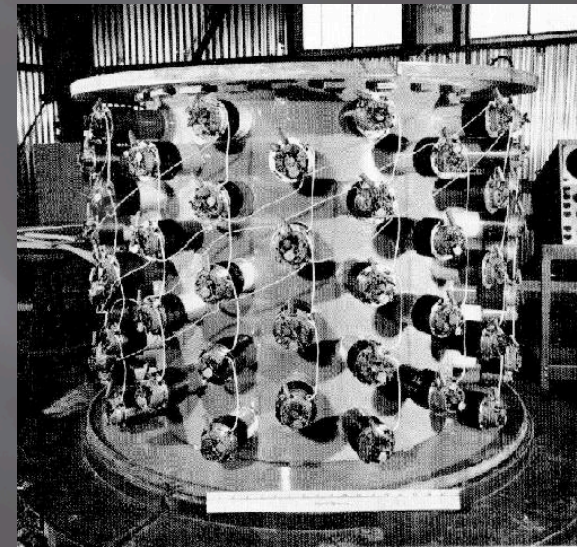
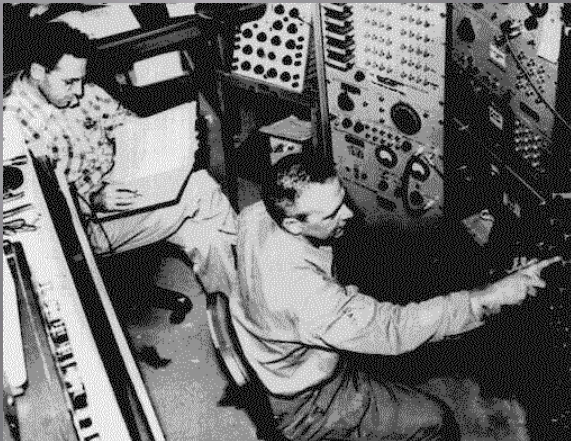
▣ 1956: Un réservoir d'eau près de la central de Savannah river (USA), équipé de PM.



▣ 2 γ de 511keV



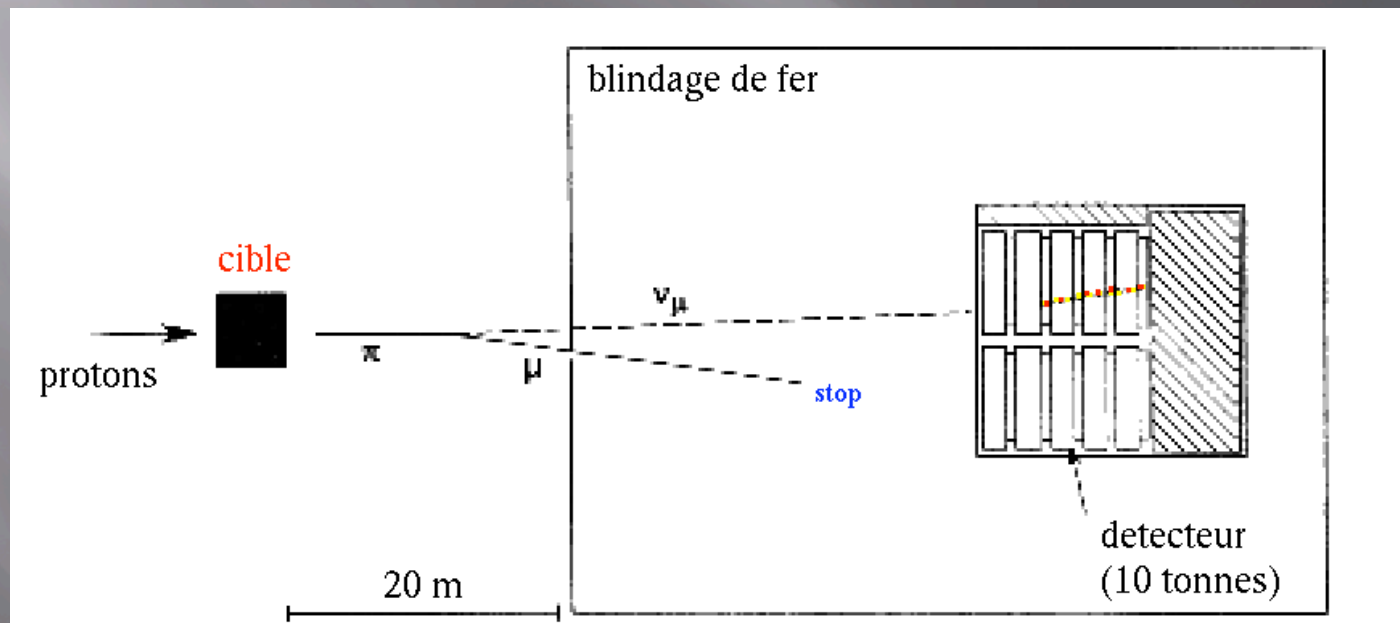
▣ γ du Cd retardé de 5 μ s



▣ Ils prennent des données avec le réacteur allumé et éteint, et il prouve l'existence du ν_e

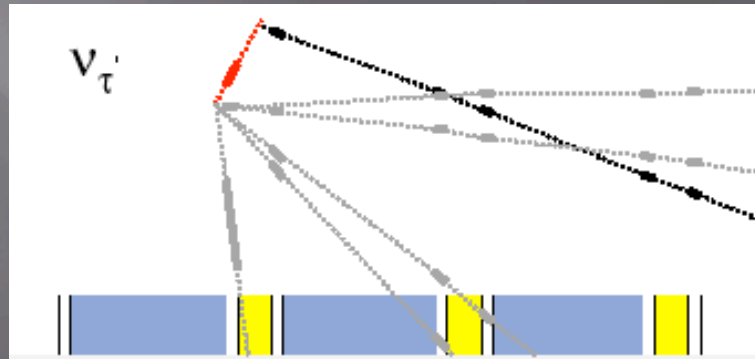
Le neutrino mu

- 1962 : Jack Steinberger, Melvin Schwartz et Leon Lederman lance des pcrée le premier faisceau de neutrino (ν_μ) pour découvrir le neutrino muonique dans une chambre à étincelles.



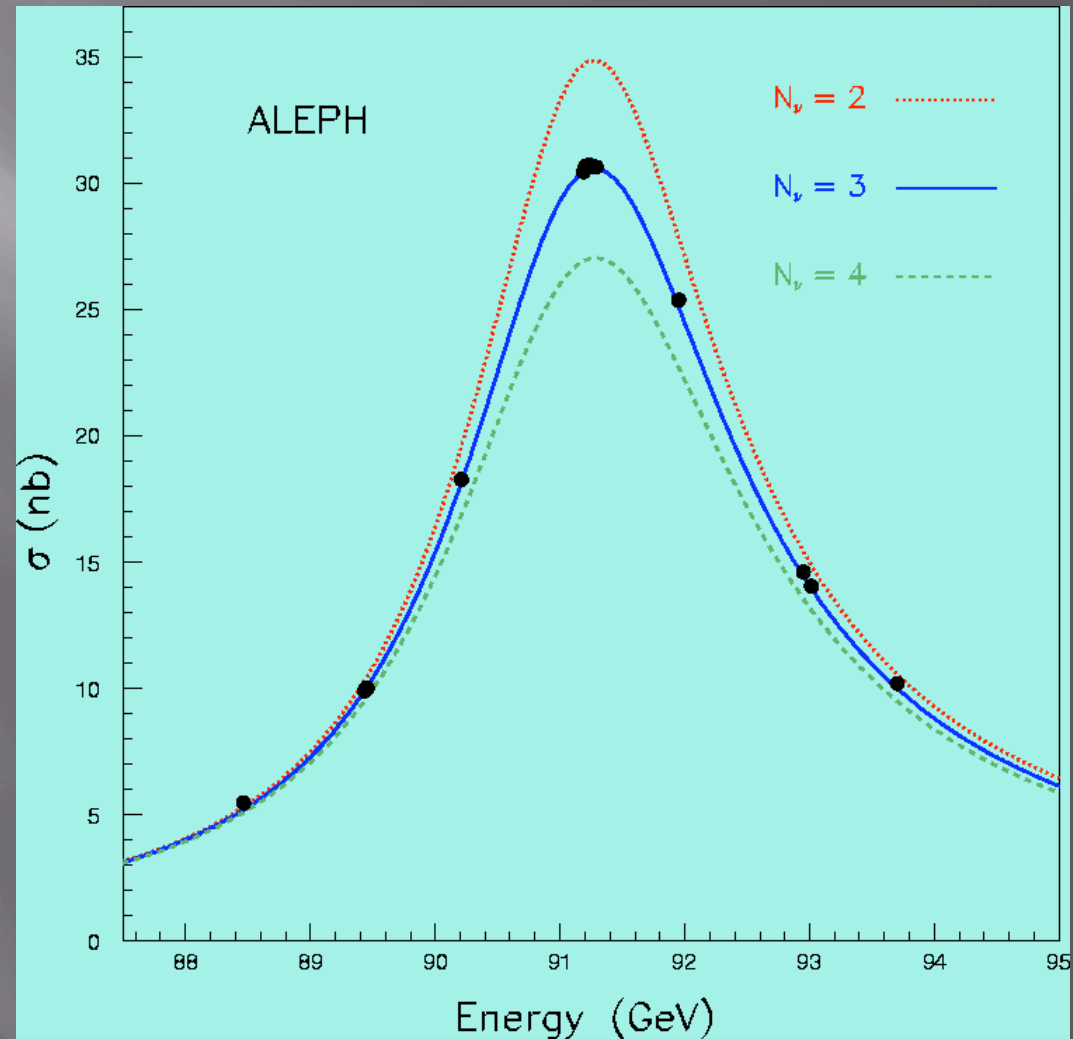
Le neutrino tau.

- ▣ Il faut attendre l'an 2000 pour voir enfin le neutrino tau.
- ▣ Un faisceau de ν_τ est créé par la désintégration de méson charmé produit par l'interaction du faisceau de protons du Tevatron sur une cible de tungstène.
- ▣ Les interactions de ν_τ sont détectées par la technique des émulsions photographique.

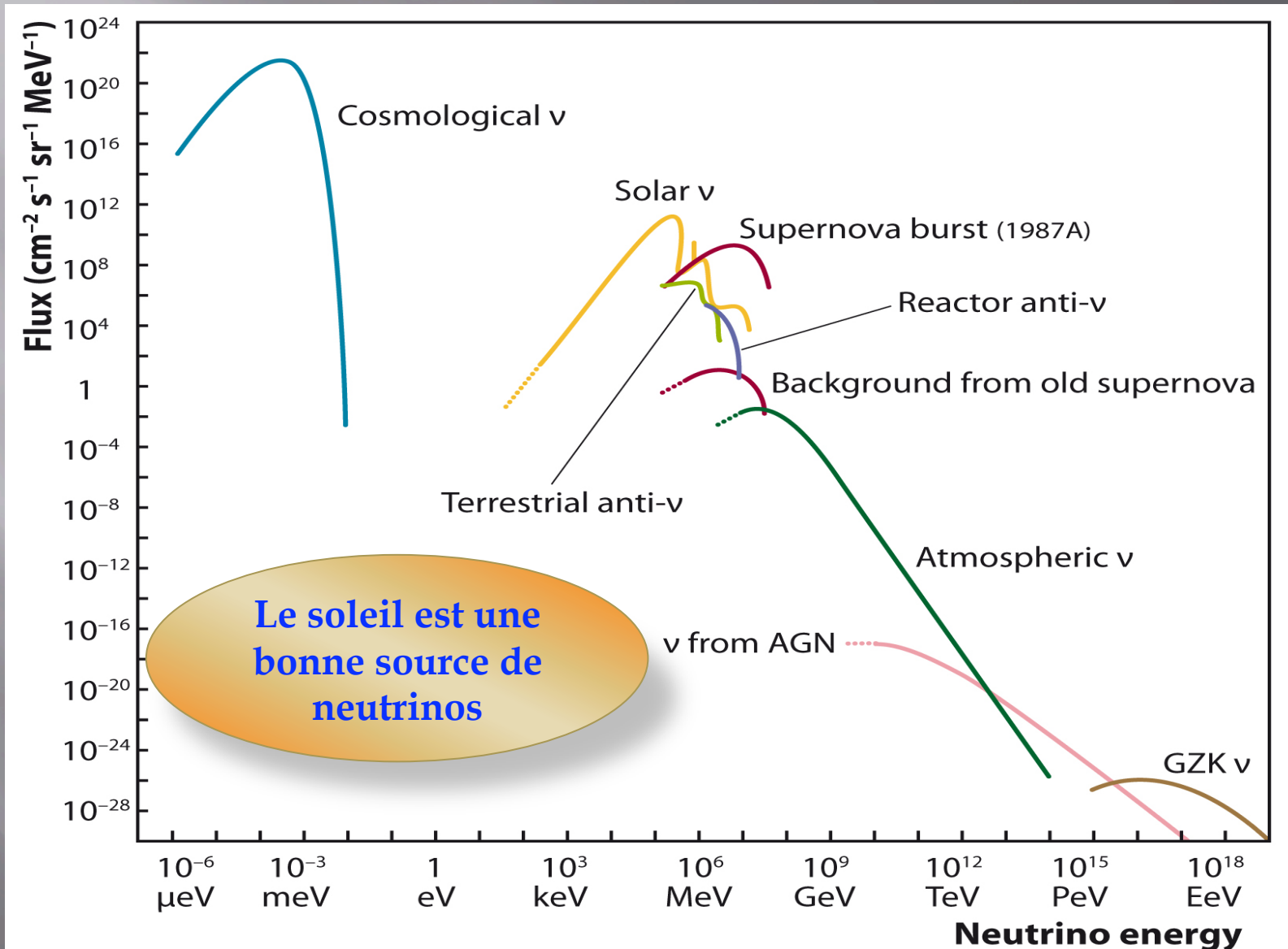


Mais on savait qu'il devait exister:

- ▣ La largeur du Z dépend du nombre de canaux de désintégration.
- ▣ $Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$
- ▣ Mesure du LEP

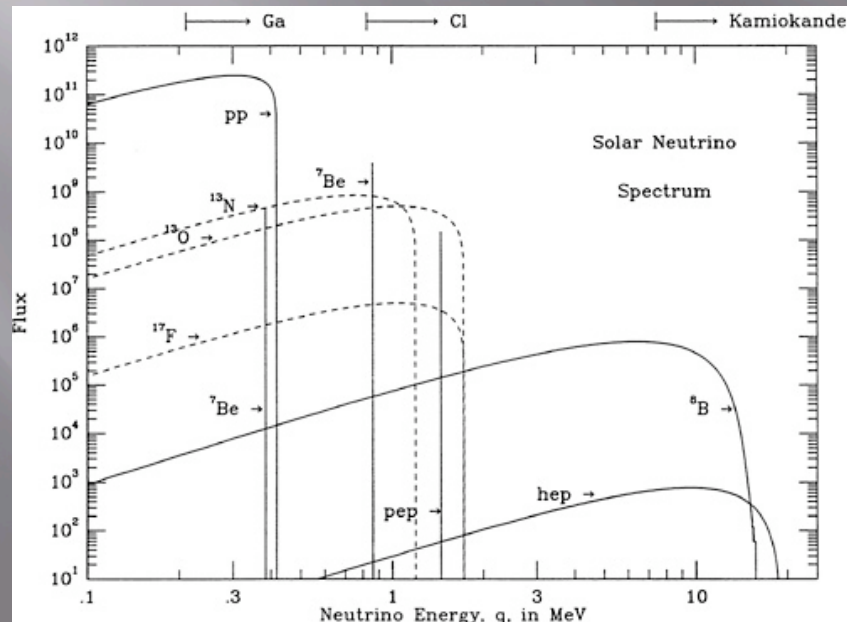


Les sources de neutrinos



Homestake

- 1970/94 : Experience de Davis dans la mine d'or de Homestake (South Dakota)
- Utilise la réaction
$$^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$$
- Flux prédit par J. Bahcall



**Il manque la
moitié des
neutrinos!!!**

Les oscillations de neutrinos

- ▣ Idée de Bruno Pontecorvo.

$$\begin{pmatrix} \nu_\alpha \\ \nu_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{P}_{\alpha \rightarrow \beta} = | \langle \nu_\beta | e^{-iHt} | \nu_\alpha \rangle |^2.$$

$$H = \sqrt{p_\nu^2 + m^2} \simeq p_\nu + \frac{m^2}{2p_\nu} = p_\nu + \frac{m^2}{2E_\nu}$$

$$P_{\alpha \rightarrow \beta} = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{1,27 \Delta m_{12}^2 L}{E_\nu} \right)$$

Et avec 3 neutrinos

$$U = \begin{matrix} \Delta m_{31}^2 & \Delta m_{31}^2 & \Delta m_{21}^2 \\ \left(\begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{array} \right) & \left(\begin{array}{ccc} c_{13} & 0 & e^{-i\delta} s_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{i\delta} s_{13} & 0 & c_{13} \end{array} \right) & \left(\begin{array}{ccc} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \\ \text{atmos+LBL(dis)} & \text{Chooz+LBL(app)} & \text{solar+KamLAND} \end{matrix}$$

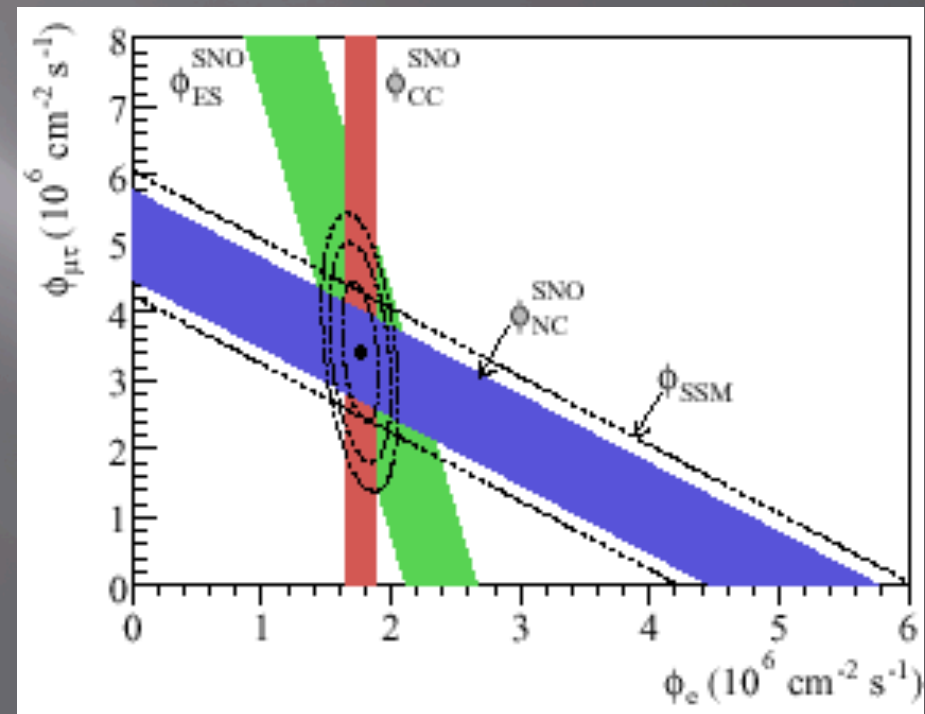
3-flavour effects are suppressed: $\Delta m_{21}^2 \ll \Delta m_{31}^2$ and $\theta_{13} \ll 1$ ($U_{e3} = s_{13}e^{-i\delta}$)

\Rightarrow dominant oscillations are well described by effective two-flavour oscillations

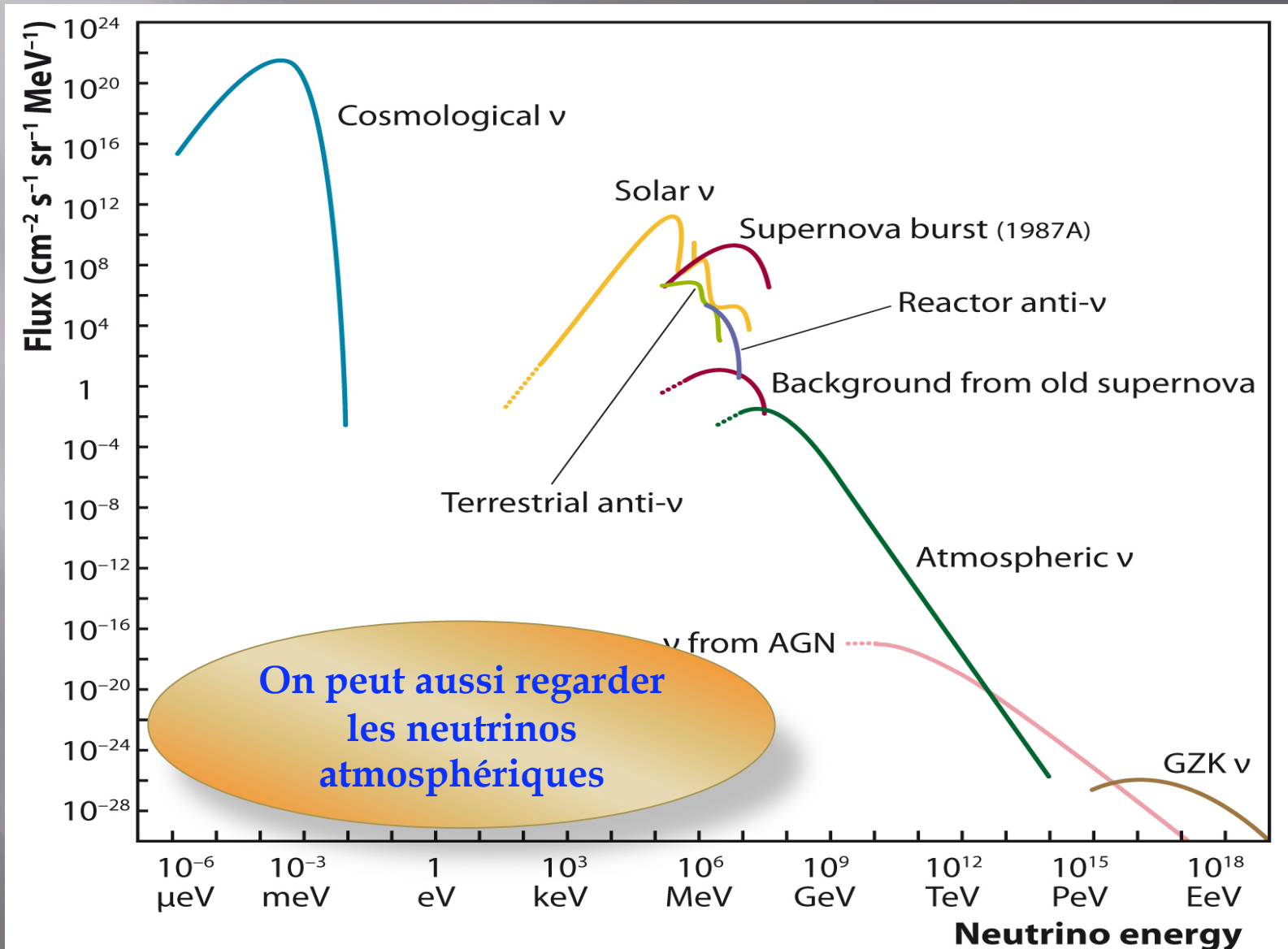
\Rightarrow CP-violation is suppressed by θ_{13} and $\Delta m_{21}^2/\Delta m_{31}^2$

Les neutrino solaire : La conclusion : SNO

- ▣ Pour l'an 2000
- ▣ Preuve directe : SNO (D₂O)
 - Interaction courants chargés
 - $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$
 - Interaction courants neutres
 - $\nu_x + d \rightarrow p + n + \nu_x$
 - Interaction quasi élastique
 - $\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$



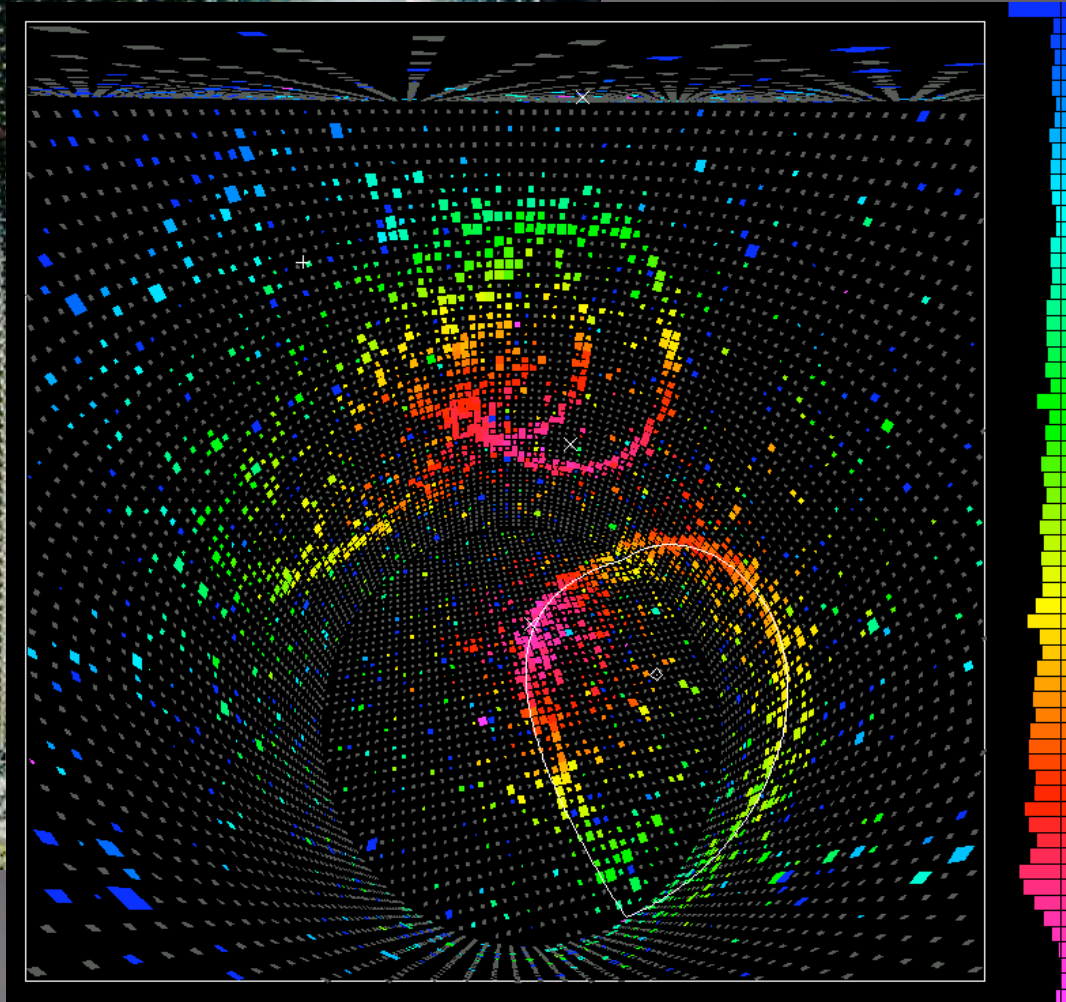
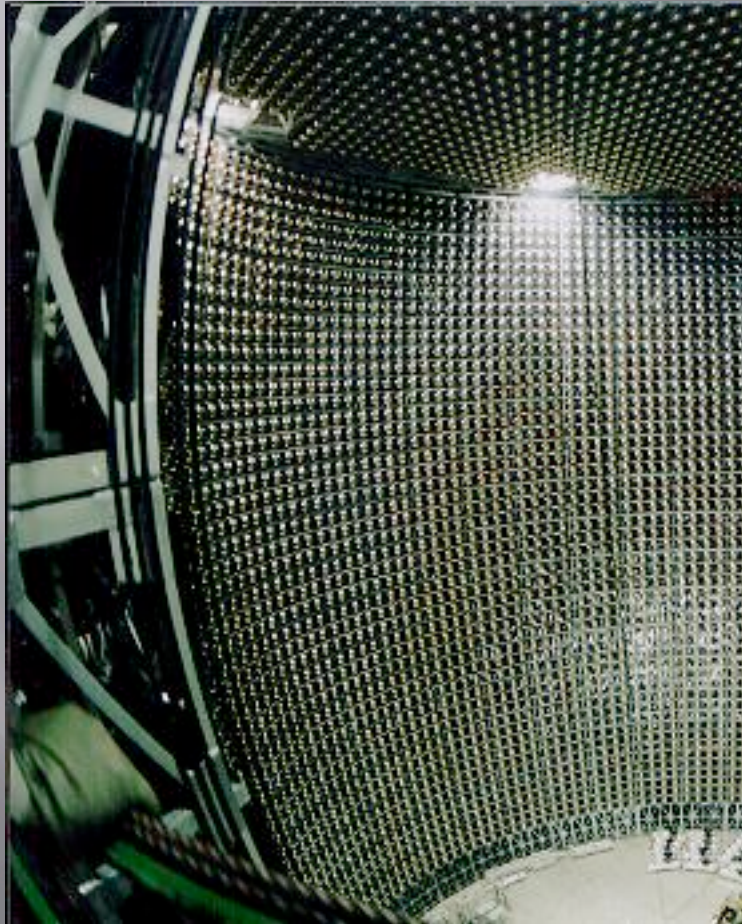
Les sources de neutrinos



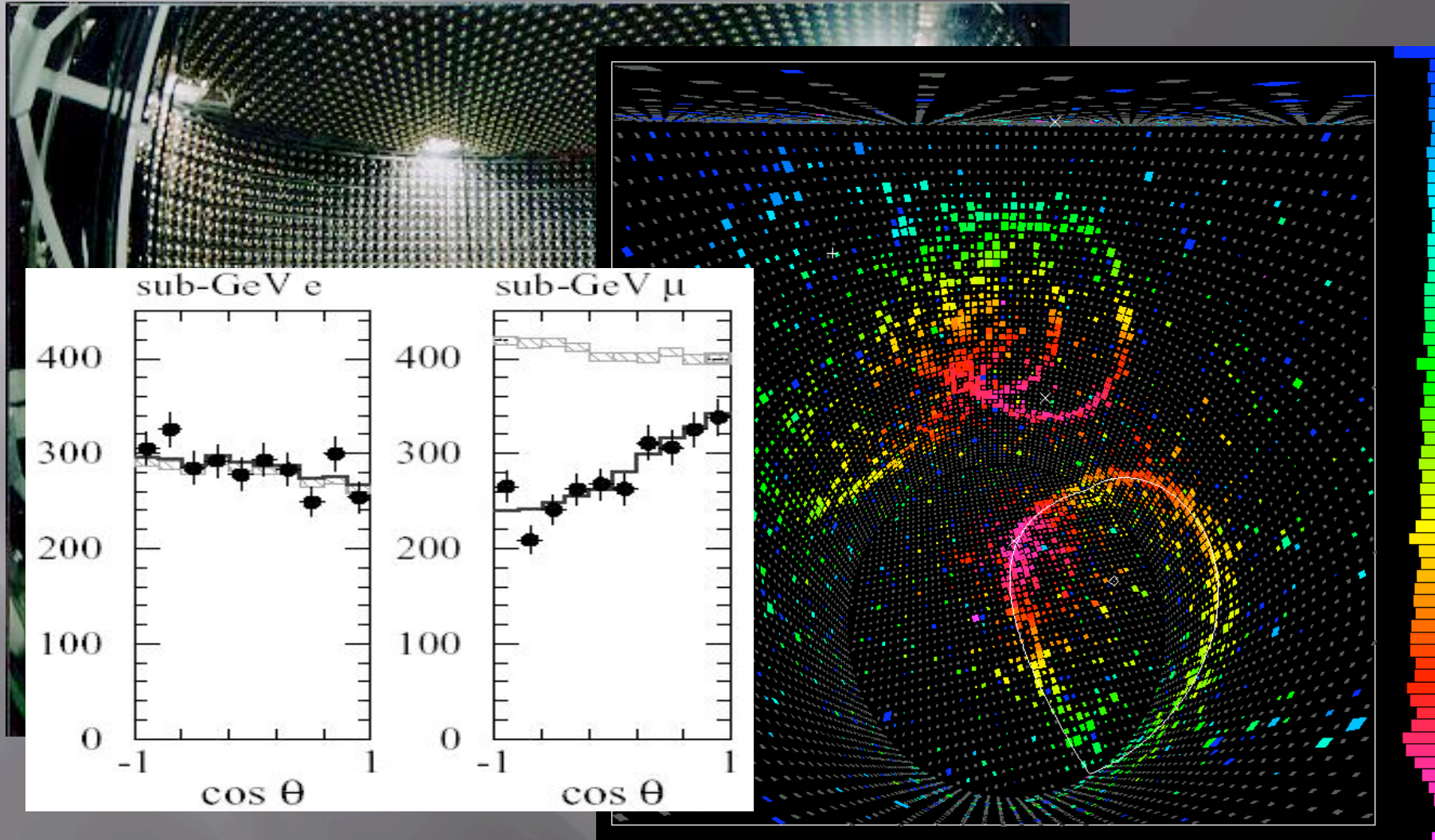
Super Kamiokande



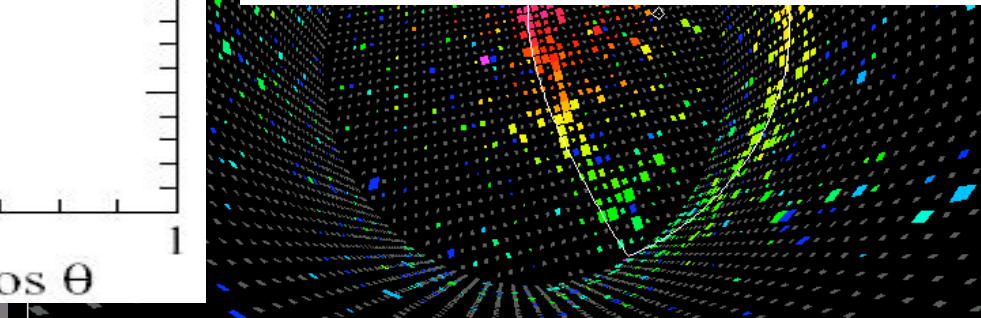
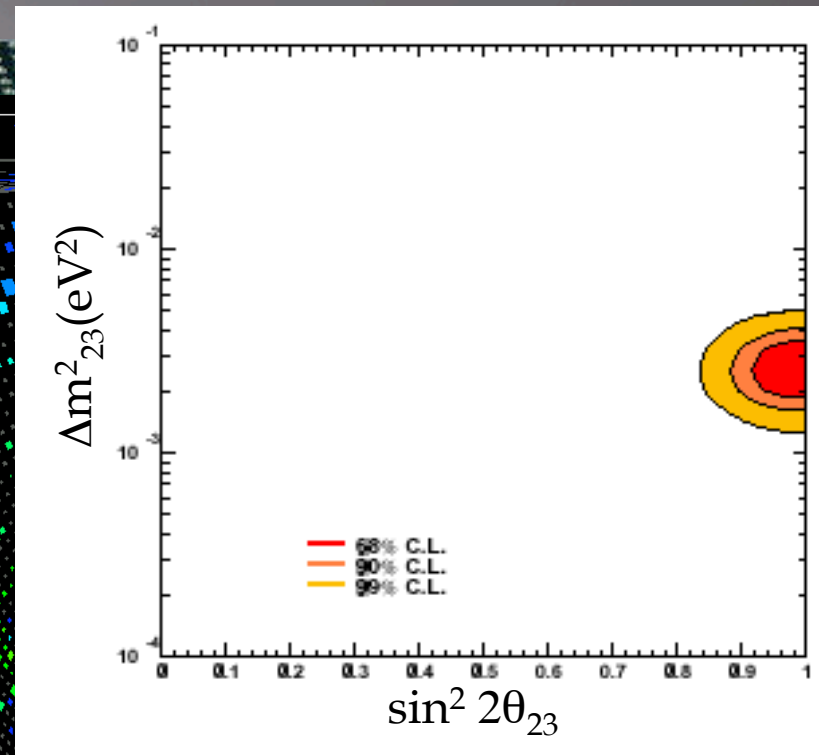
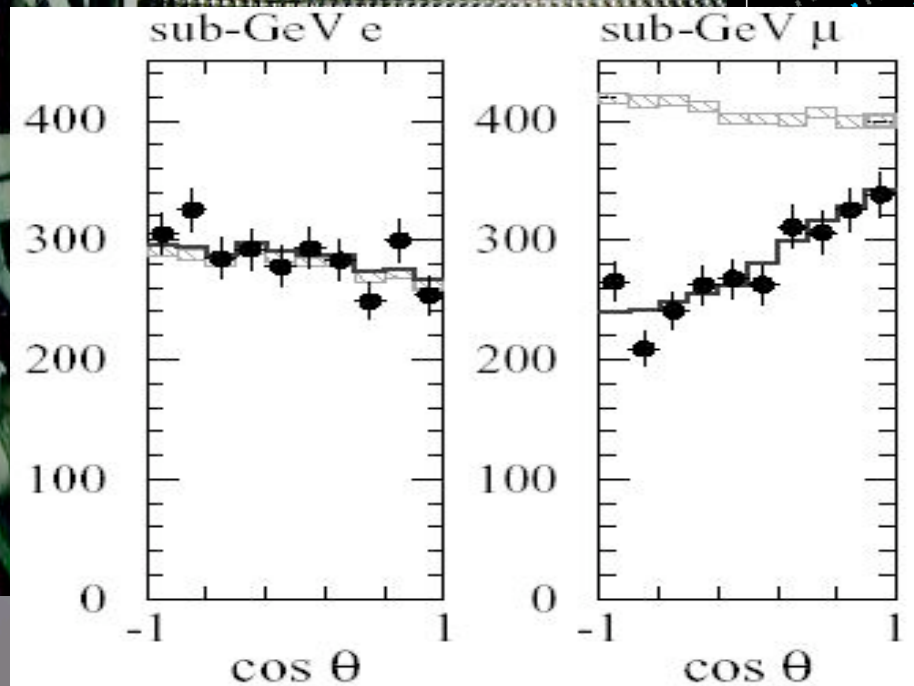
Super Kamiokande



Super Kamiokande

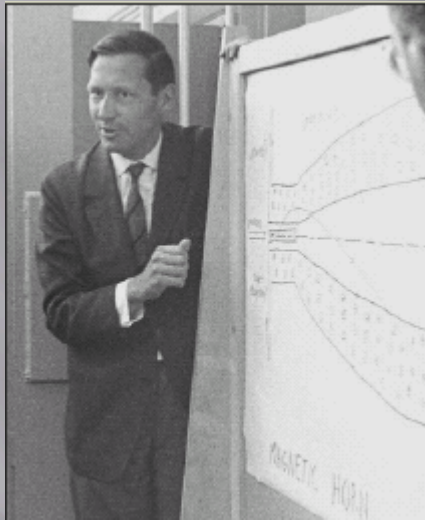


Super Kamiokande

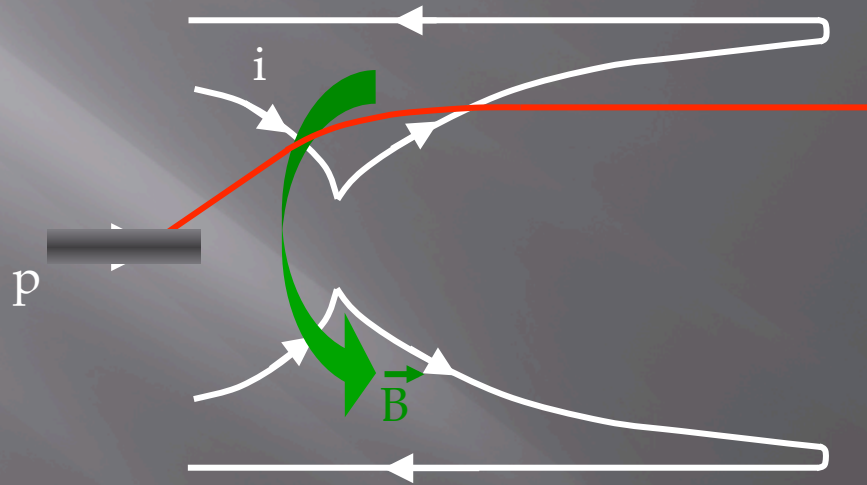


Les faisceaux de neutrino

- On frappe une cible avec des protons
- Les pions et les kaons d'un signe sont focalisés à l'aide d'une «corne»

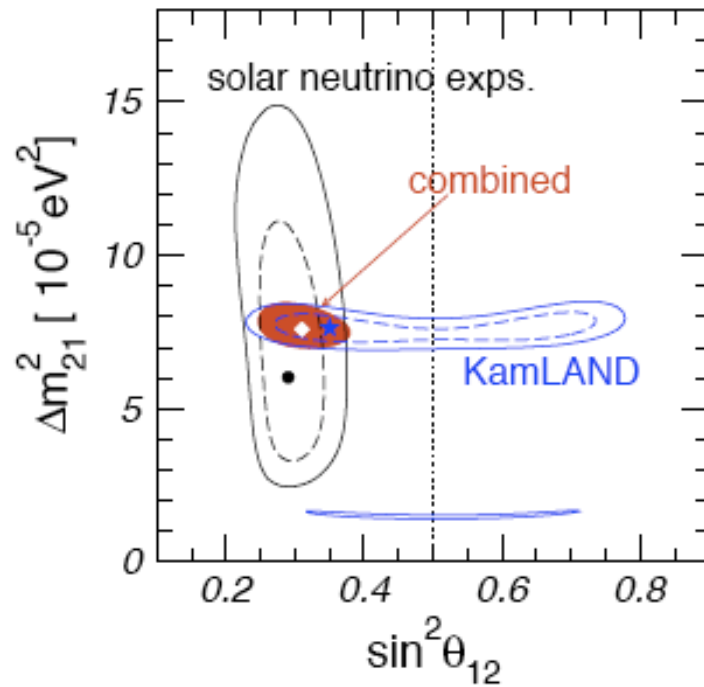


S. Van der Meer, 1961

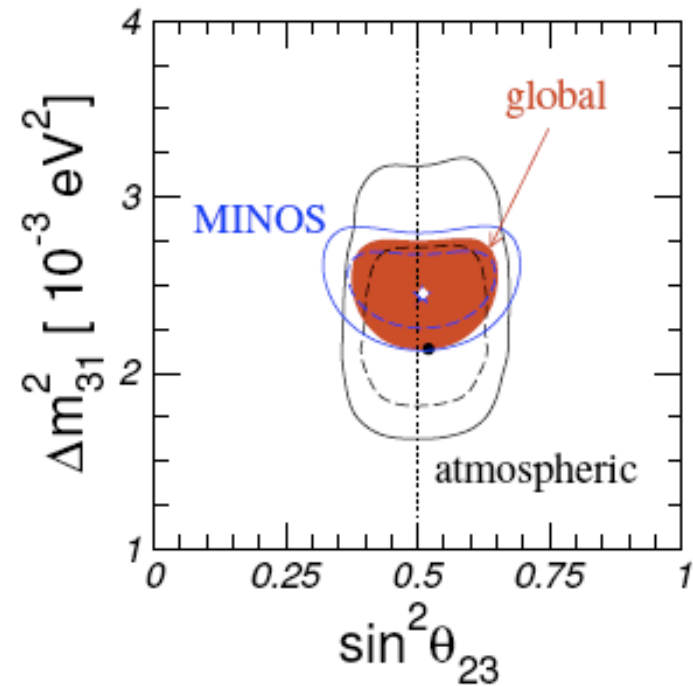


- Long base Line :
 - K2K (Japon), Minos (USA)
 - Expériences de disparition
 - Mesure précise des paramètres atmosphérique
 - OPERA (Europe)
 - Expérience d'apparition.

Résultats actuels



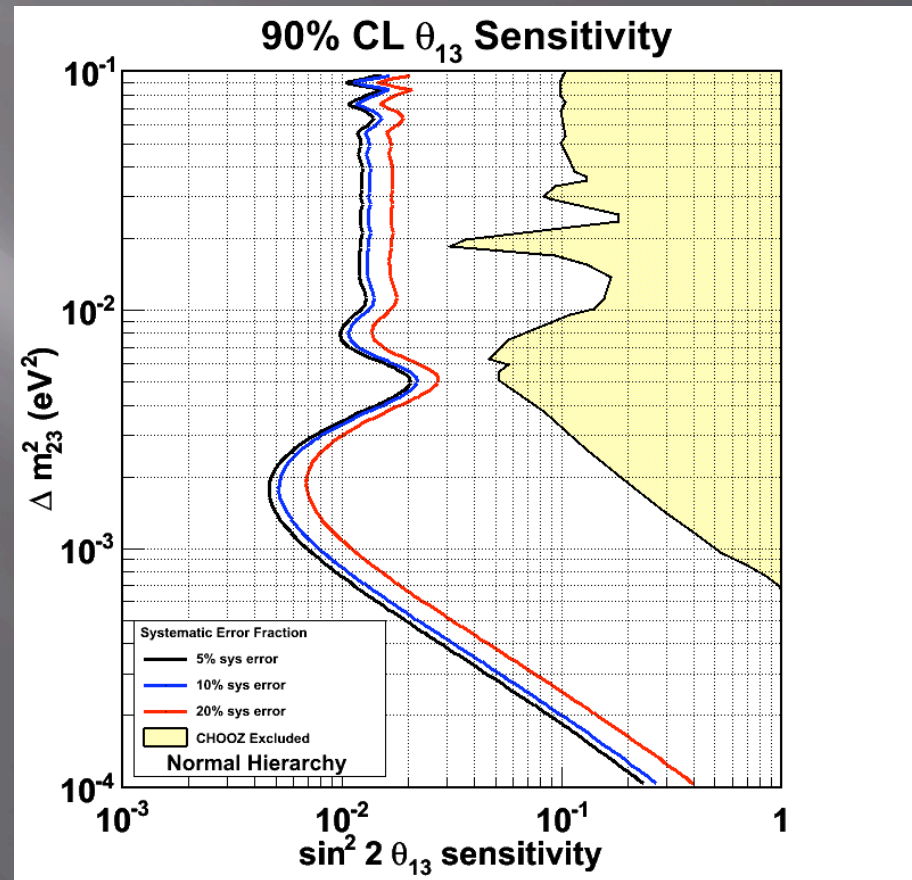
$$\sin^2 \theta_{12} \approx 0.3$$



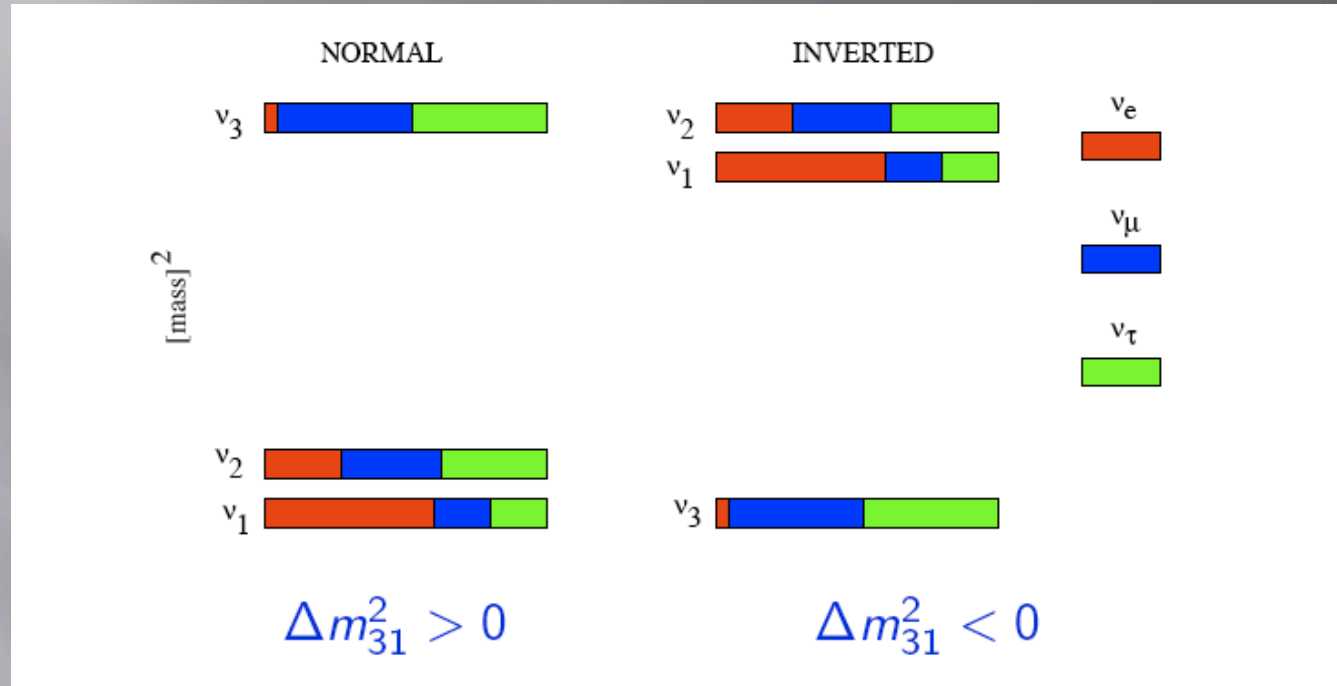
$$\sin^2 \theta_{23} \approx 0.5$$

Le dernier angle de mélange : θ_{13}

- ▣ Pendant près de 20 ans, l'expérience CHOOZ dans les Ardenne à tenue la meilleure limite sur θ_{13} .
- ▣ Recherche active :
 - T2K
 - Double Chooz/Daya Bay/RENO
- ▣ Nouveauté depuis quelque mois!!!
- ▣ Voir présentation de Laura Zambelli

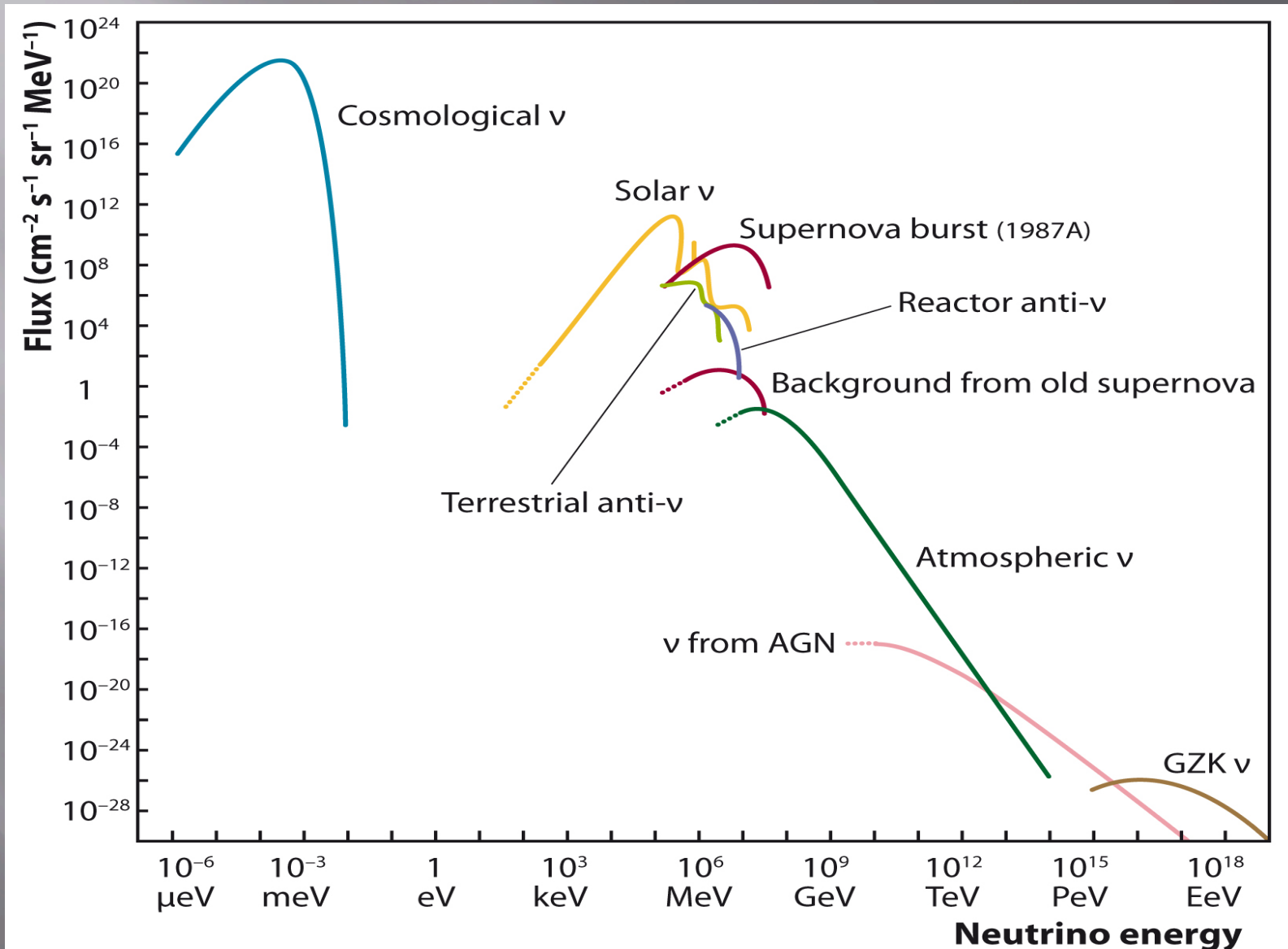


Bilan :

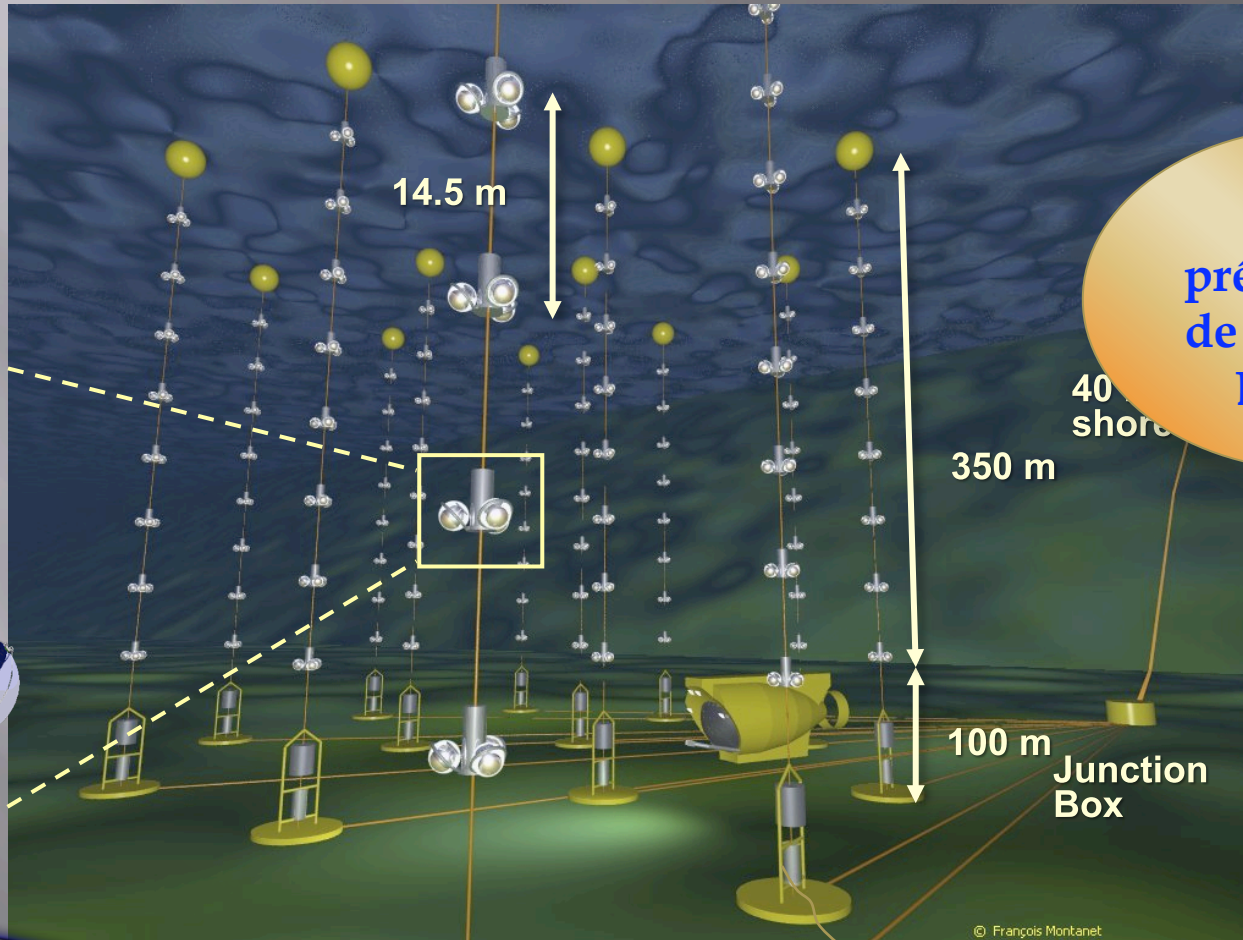
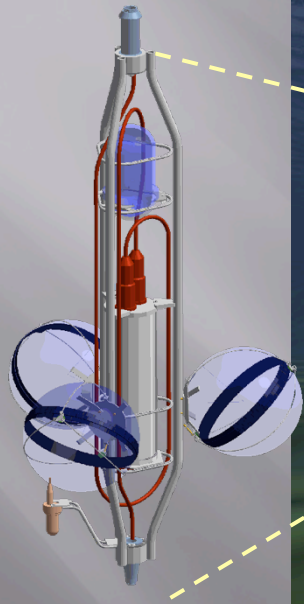


- Masse encore inconnu
- On est sur la voie de θ_{13} , et δ_{CP} ?
- Majorana?

Les sources de neutrinos



ANTARES

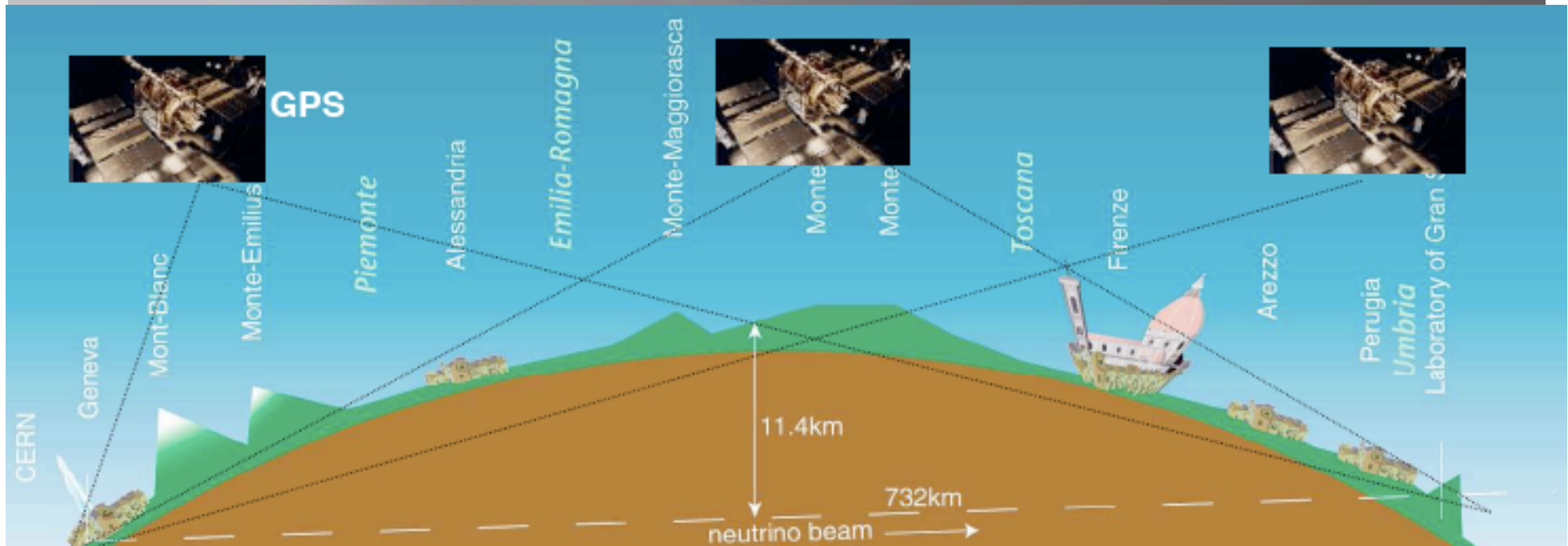


Voir la
présentation
de Boutayeb
Bouhou



Dans la mer Méditerranée
(pres de Toulon) à 2475 m de
profondeur.

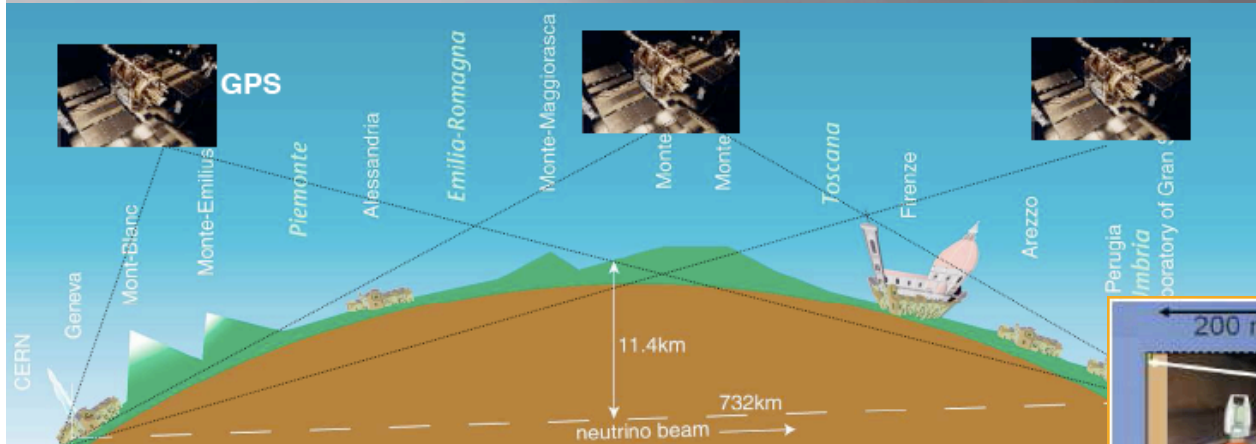
La dernière surprise des neutrinos



Mesure de la distance
 $731278.0 \text{ m} \pm 20 \text{ cm}$

Résultat
 $\Delta t = 57.8 \pm 7.8 \text{ (stat.)}$
 $+8.3-5.9 \text{ (sys.)}$

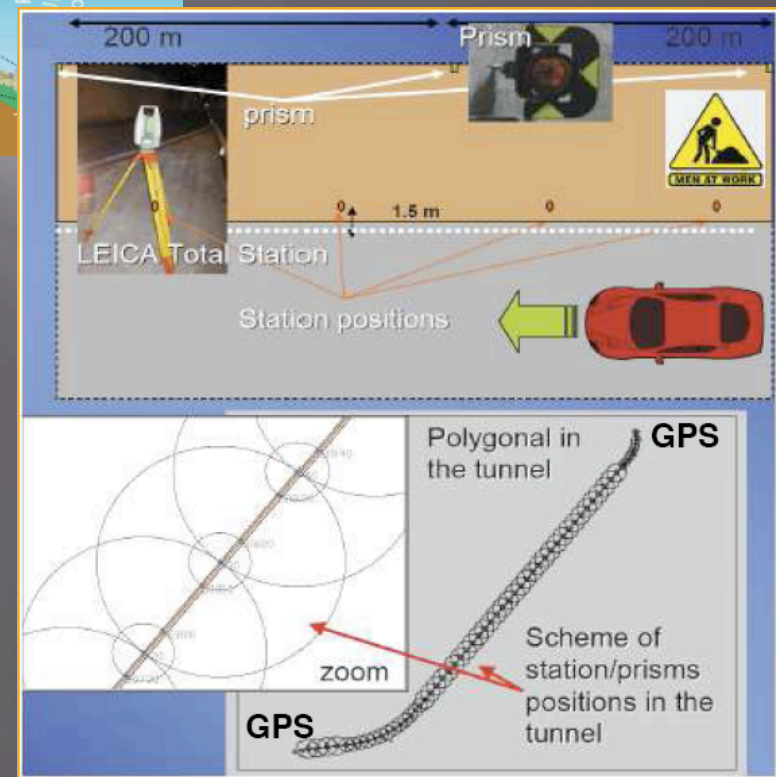
OPERA : Mesure de la vitesse des neutrinos.



- On utilise le GPS
- Résolution $\sim 1\text{cm}$ à l'extérieur du tunnel

- On mesure ensuite la distance avec des outils de géomètre.
- Une mesure tous les 10m en partant de chaque coté du tunnel

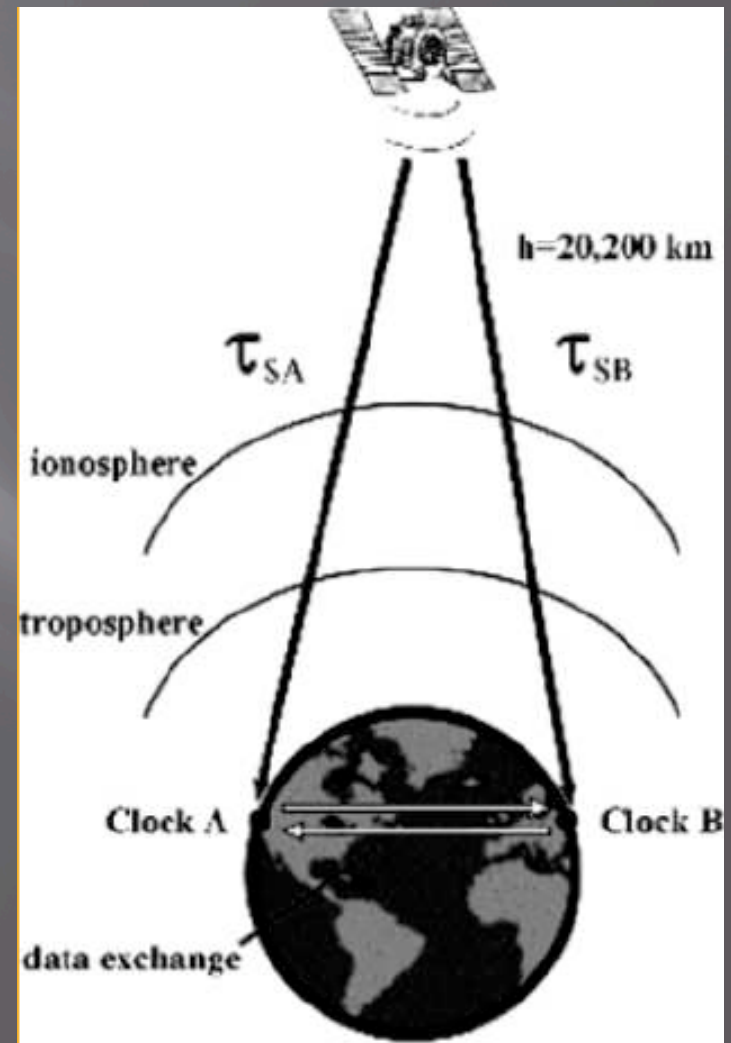
Résultat final :
 $731278.0 \text{ m} \pm 20 \text{ cm}$



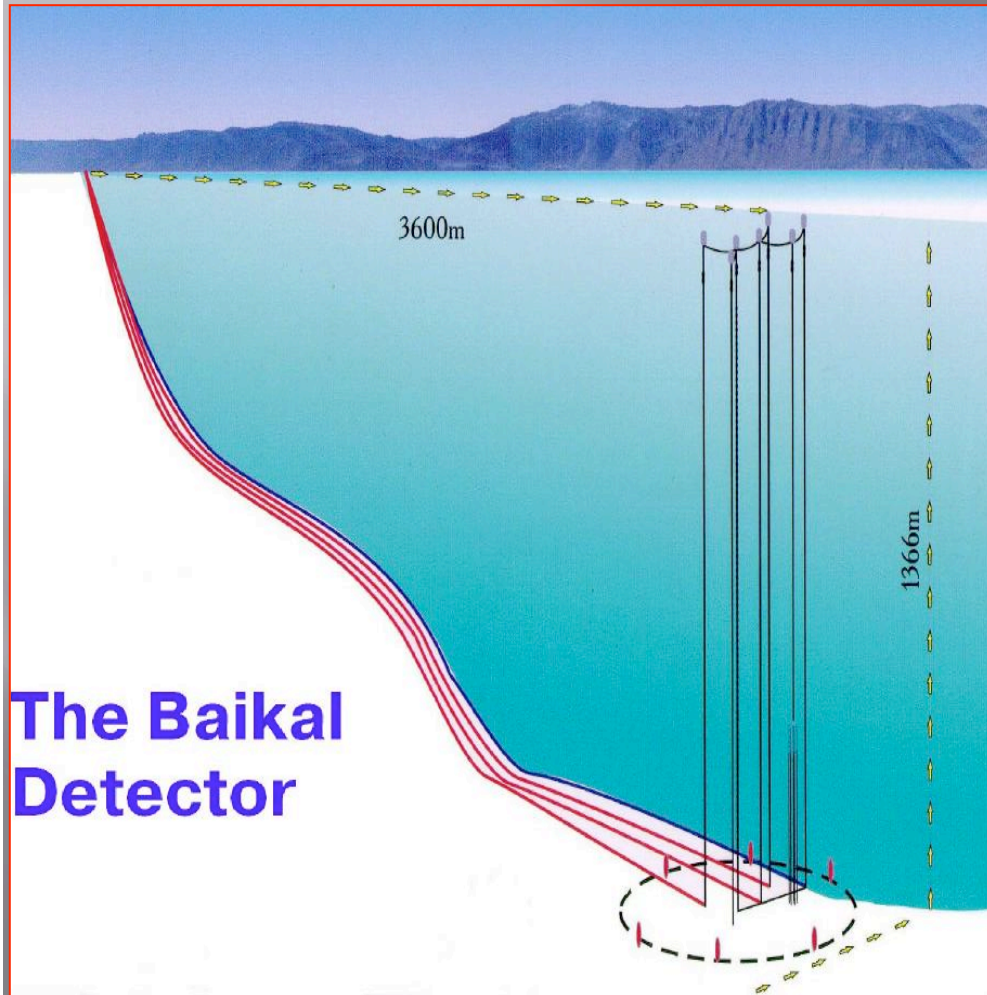
Synchronisation du temps

- GPS utilisé en common-view mode : même satellite pour les deux sites.
- Résolution $\sim 1\text{ns}$

Résultat
 $\Delta t = 57.8 \pm 7.8$ (stat.)
 $+8.3-5.9$ (sys.)



Les télescopes à Neutrino



ICECUBE

