



L'oscillation de Neutrinos dans MINOS

Par Rodolphe Piteira



Plan de l'exposé

- Les neutrinos
- Les oscillations de neutrinos
- Description de l'expérience MINOS
- Ce que MINOS peut voir
- Les conséquences sur l'oscillation des ν
- Conclusions ...



Les neutrinos

- Particules « élémentaires » : leptons
- Charge électrique nulle
- 3 familles associées aux leptons chargés :

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$



Les neutrinos

- Interaction faible avec la matière
- De masse très faible :
certainement $<$ qqes eV
- Soupçonnés d'être schizophrènes ...



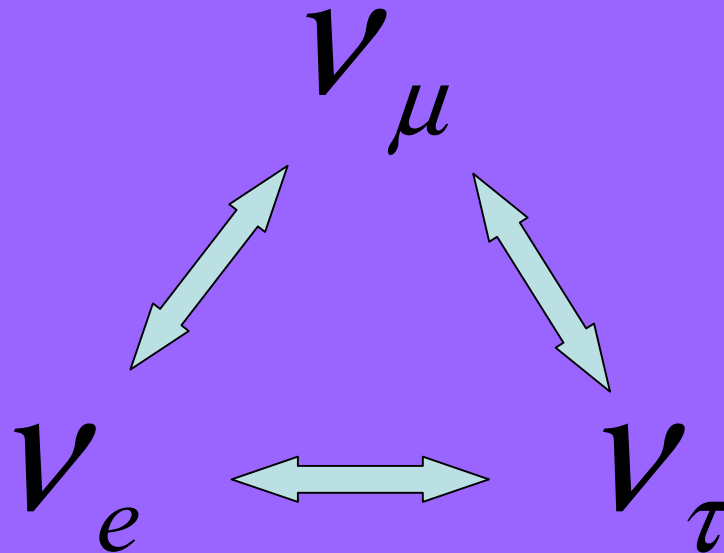
Les observations actuelles

- Anomalie dans les flux attendus de neutrinos
 - solaires
 - atmosphériques
 - et des réacteurs
- Explication de ce phénomène par l'oscillation quantique



L'oscillation

- Au cours de sa propagation, il peut changer de nature.





L'oscillation

- Soit un état $|\nu_l\rangle$ de départ, $l = e, \mu, \tau$
- Supposition : $|\nu_l\rangle$ est une combinaison linéaire d'états propres de masse $|\nu_k\rangle \neq |\nu_l\rangle, \forall l$

$$|\nu_l\rangle = \sum_{k=1}^3 U_{lk} |\nu_k\rangle$$



L'oscillation

- U est unitaire
- U : matrice de changement de base

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

→ 3 angles nécessaires θ_{12} , θ_{13} , θ_{23}

$$U = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{23} & \sin \theta_{23} \\ 0 & -\sin \theta_{23} & \cos \theta_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_{13} & 0 & \sin \theta_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{13} & 0 & \cos \theta_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_{12} & \sin \theta_{12} & 0 \\ -\sin \theta_{12} & \cos \theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



L'oscillation

- Evolution temporelle :

$$|v_l(t)\rangle = \sum_{k=1}^3 U_{lk} e^{-iE_k t} |v_k\rangle$$

- Les E_k sont tous différents

$$\rightarrow |v_l(t)\rangle \neq |v_l(0)\rangle$$



L'oscillation

- Conséquence :
 - Proba non nulle de **détecter** un neutrino de **nature différente**
 - Forme de la proba : somme de **sinusoïdes**



L'oscillation

Pour un ν_μ initial d'énergie E :

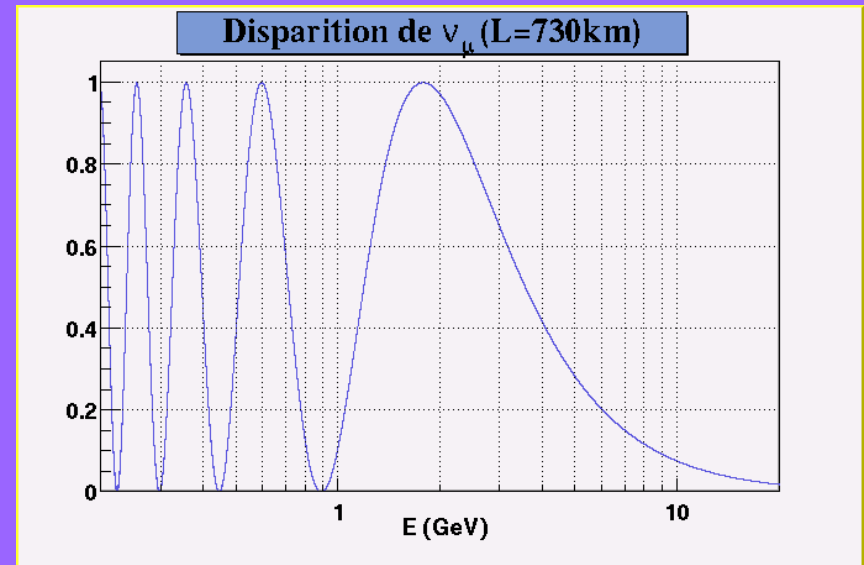
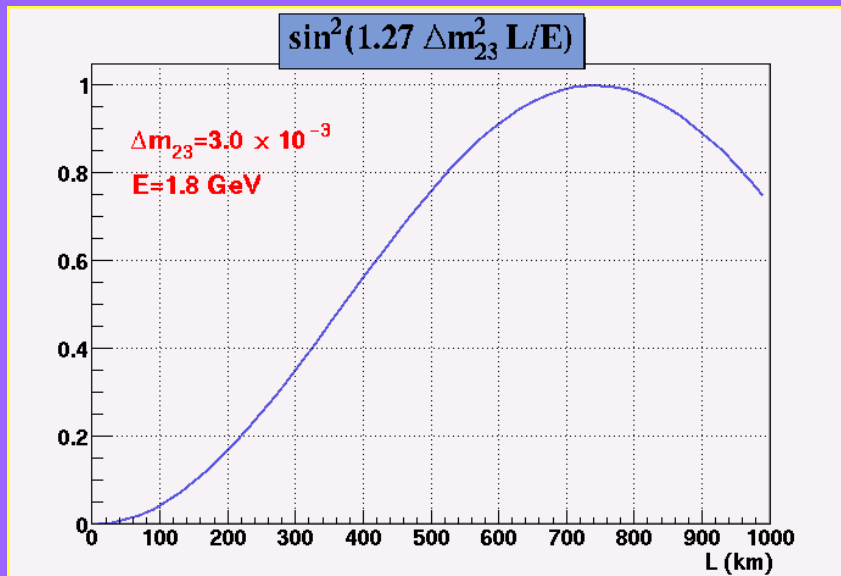
- On le détecte à une distance L
- Proba qu'il ne soit plus un ν_μ :

$$P_{\mu \rightarrow e, \tau} \approx \sin^2(2\theta_{23}) \sin^2\left(\Delta m_{23}^2 \frac{L}{4E}\right)$$



L'oscillation

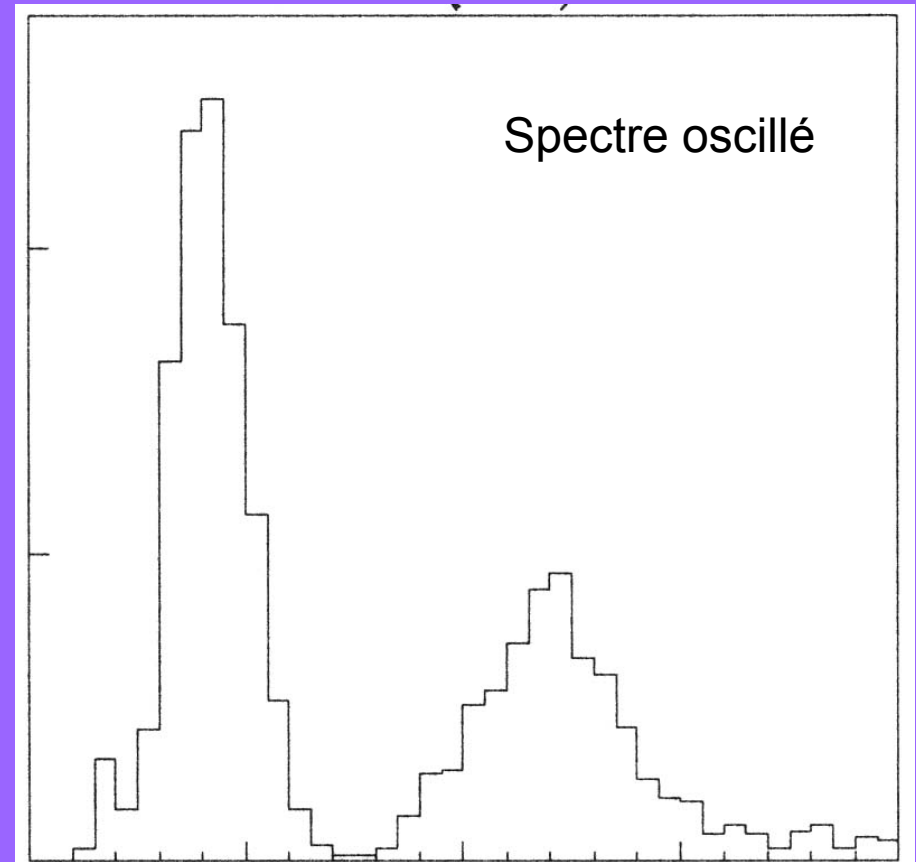
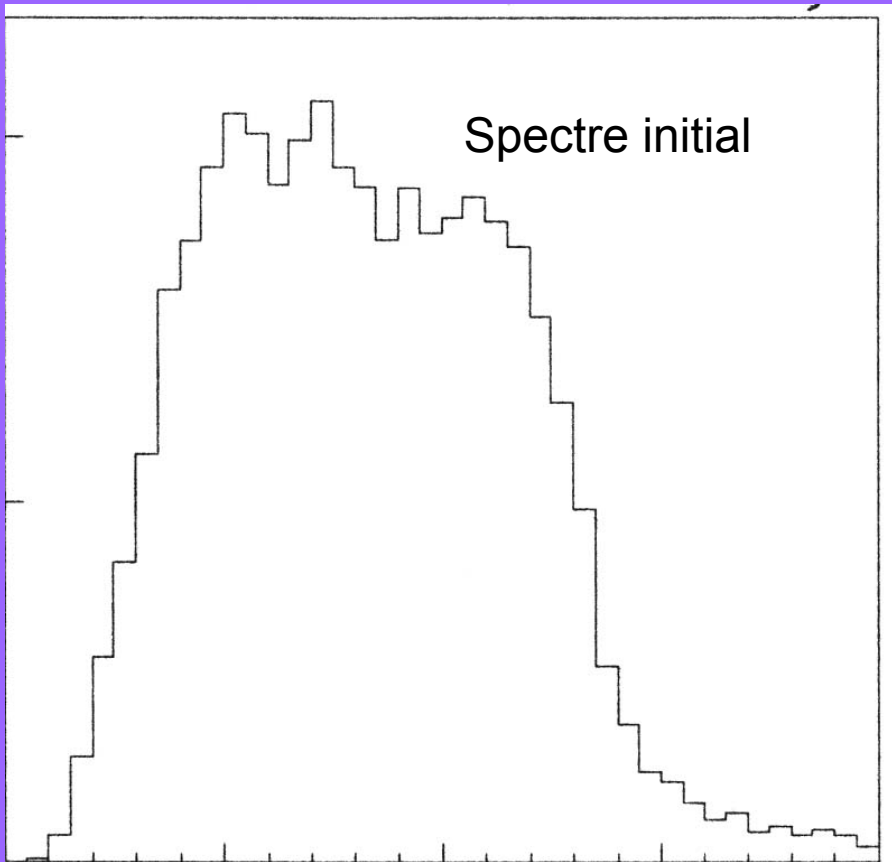
$$P_{\mu \rightarrow e, \tau} \approx \sin^2(2\theta_{23}) \sin^2\left(\Delta m_{23}^2 \frac{L}{4E}\right)$$





L'oscillation

→ déformation du spectre initial



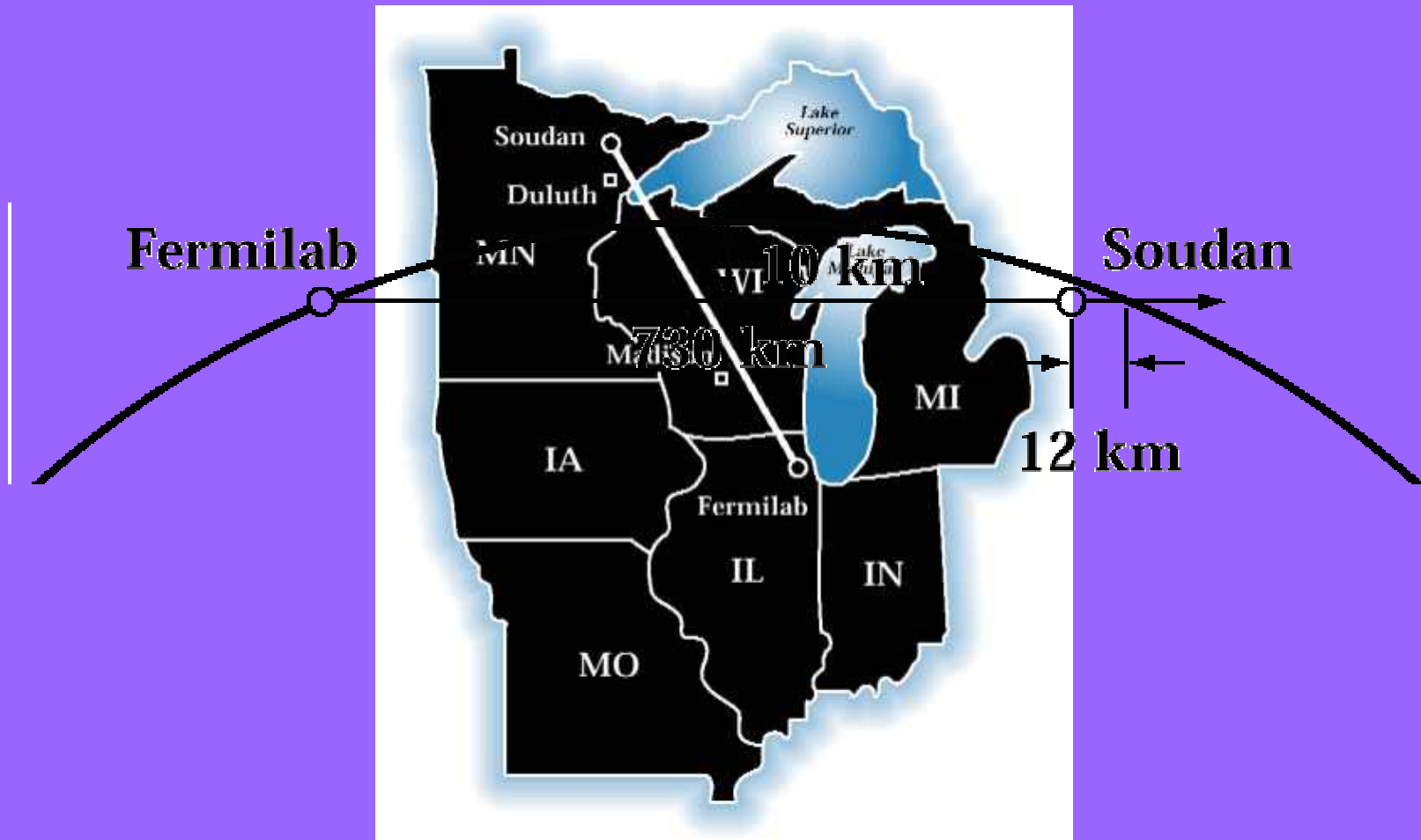


...

Et MINOS dans tout ça?



Où est MINOS ?





MINOS

Composé de :

- Un faisceau de neutrino
- Un détecteur proche (1 ktonne)
- Un détecteur lointain (5,4 ktonnes)

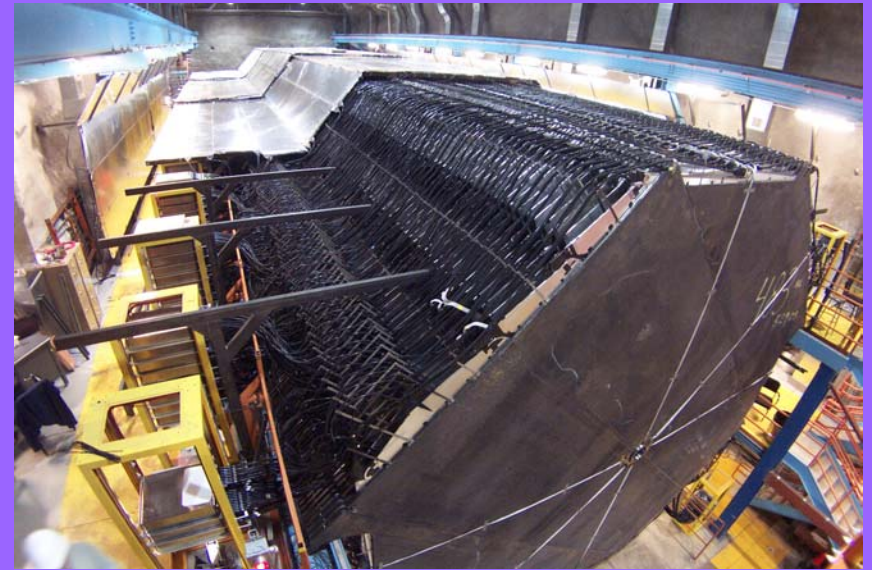
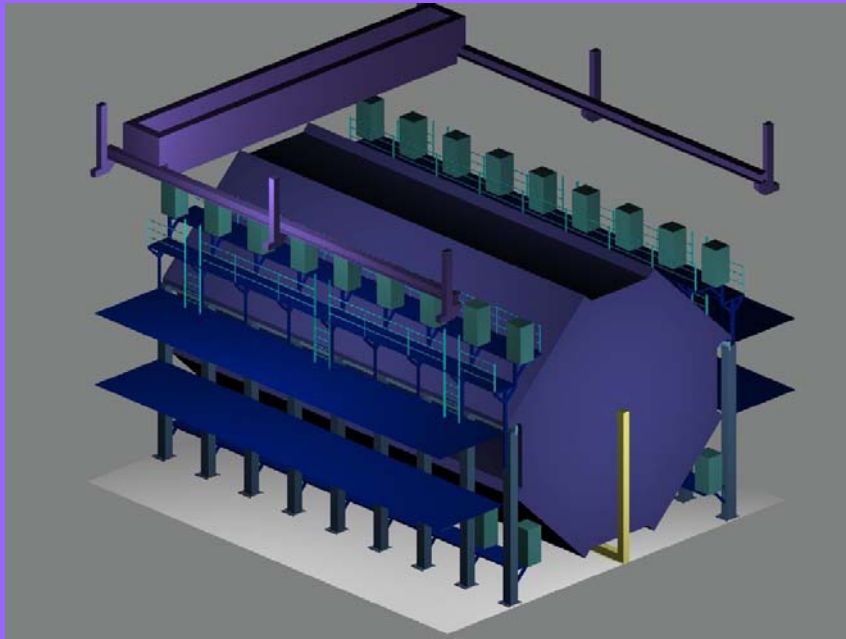


Le détecteur de MINOS

- Constitué de :
 - 485 plaques d'acier octogonales (5,14 ktonnes)
 - 484 plaques de scintillateur octogonales (0,26 ktonne)
 - Un champ magnétique de 1,5 Tesla!
 - Beaucoup de câbles et d'électronique!!!
 - 824 km de fibre
 - 32500 canaux de lecture ...



Le détecteur de MINOS





Que voit-on?

- Des courants chargés de ν_μ :

$$\nu_\mu X \rightarrow \mu X'$$

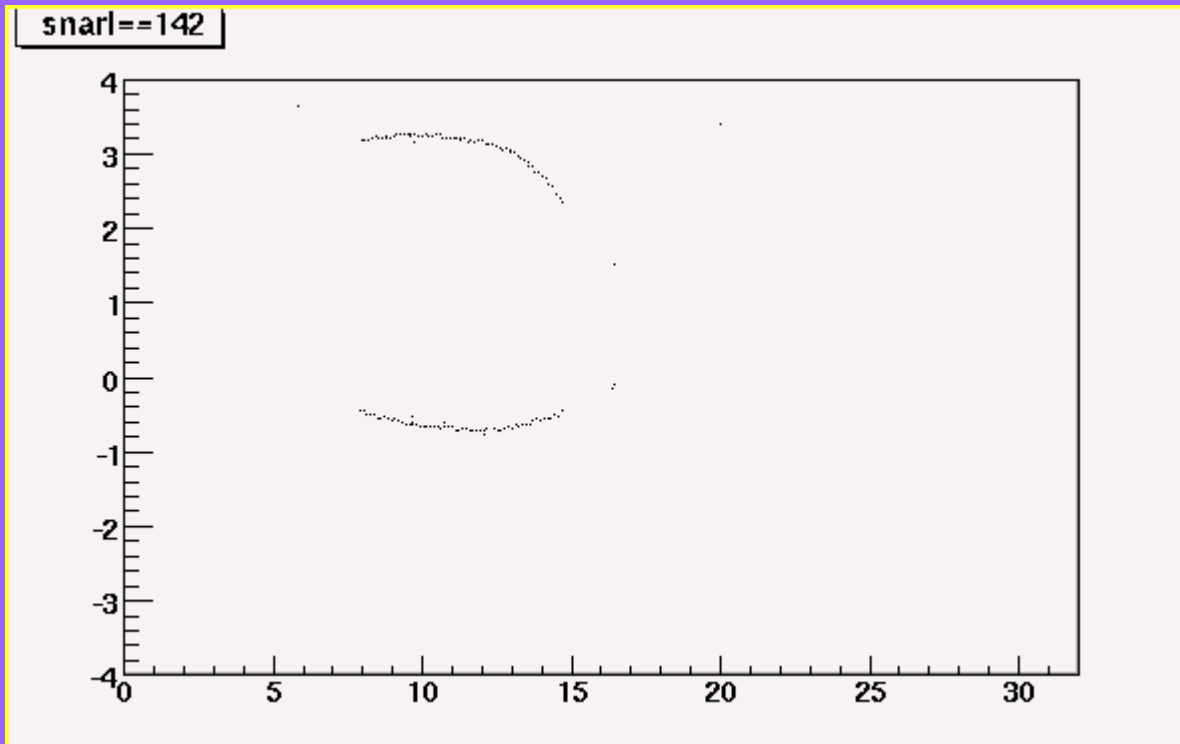
- Des courants neutres de ν_μ :

$$\nu_\mu X \rightarrow \nu_\mu X'$$



Les Courants Chargés CC

- Trace d'une diffusion quasi-élastiques de ν_μ :



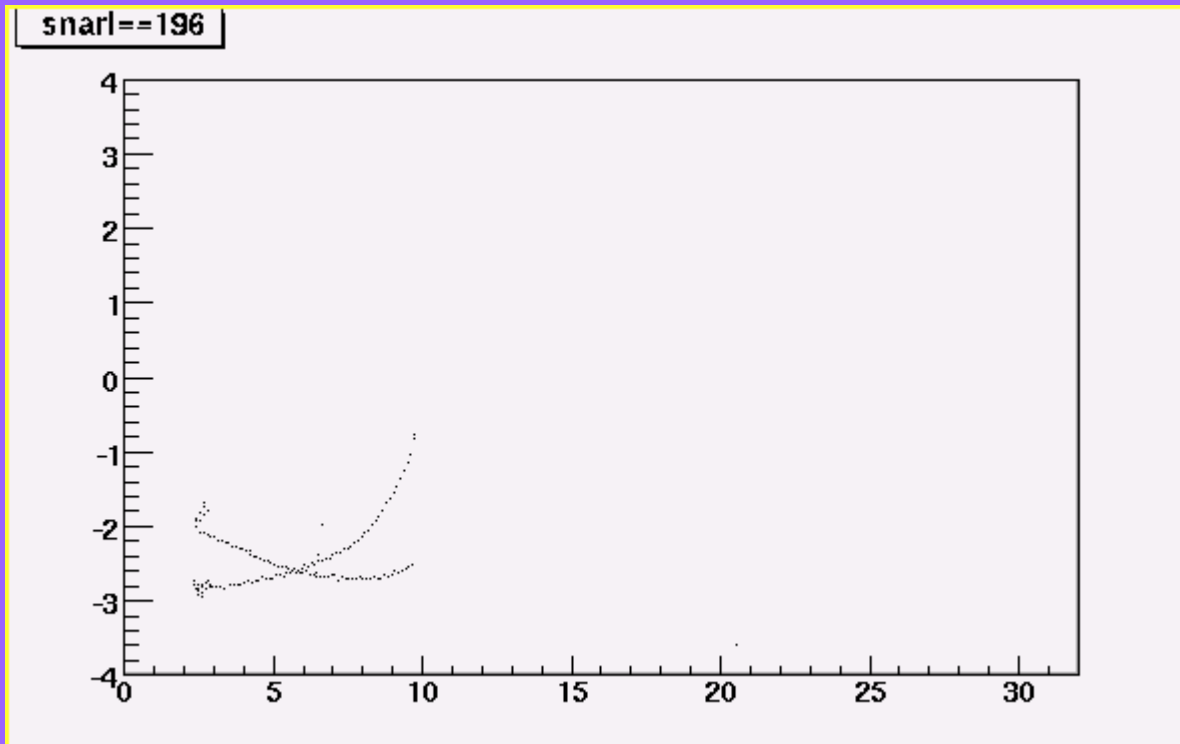
$$E_\nu = 4,67 \text{ GeV}$$

$$E_\mu = 4,45 \text{ GeV}$$



Les Courants Chargés CC

- Trace d'1 production de résonance par un CC de ν_μ :



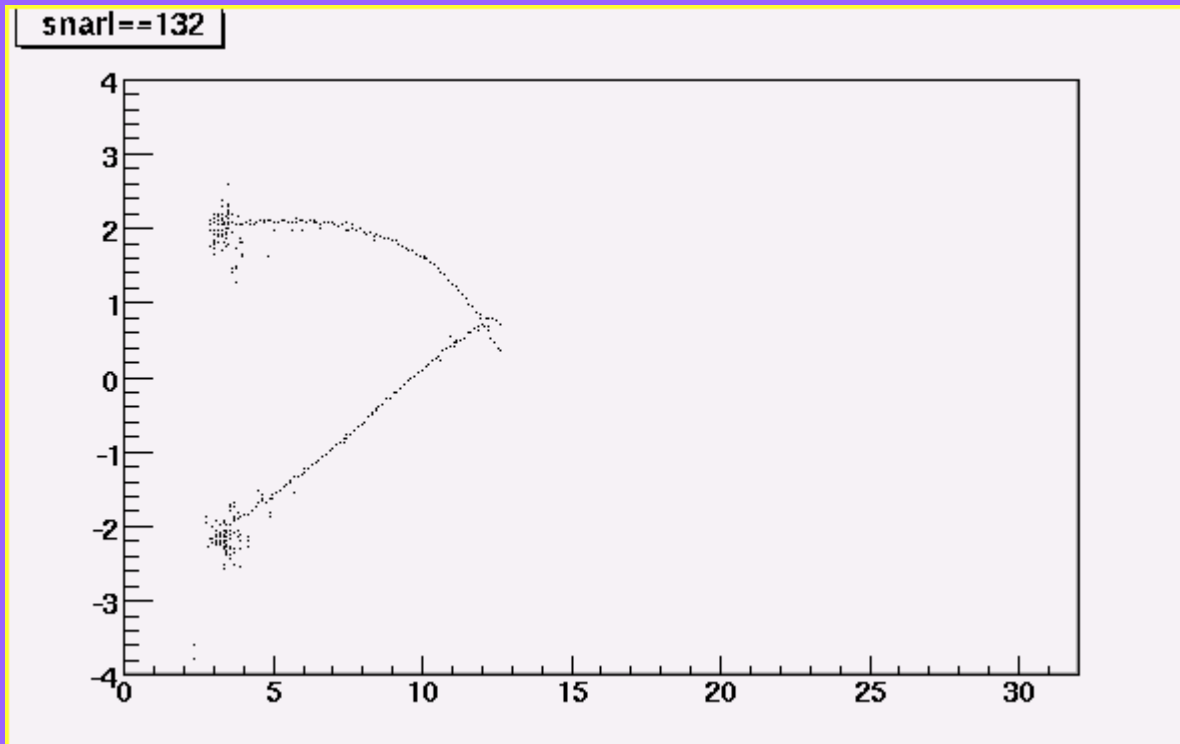
$$E_\nu = 6,5 \text{ GeV}$$

$$E_\mu = 5,0 \text{ GeV}$$



Les Courants Chargés CC

- Diffusion profondément inélastique d'un CC de ν_μ :



$$E_\nu = 26 \text{ GeV}$$

$$E_\mu = 5 \text{ GeV}$$



Reconstruction des CC

Traces \rightarrow détermine l'énergie des muons

- Par la longueur de la trace
- Par la courbure de la trace



Reconstruction

- La longueur de la trace :
 - Bons résultats, bonne connaissance du dE/dx
 - ...
 - ... à condition de pouvoir isoler la trace!!!!
 - travail en cours ...
- La courbure de la trace :
 - Champ magnétique à géométrie compliquée!!
 - travail en cours ...

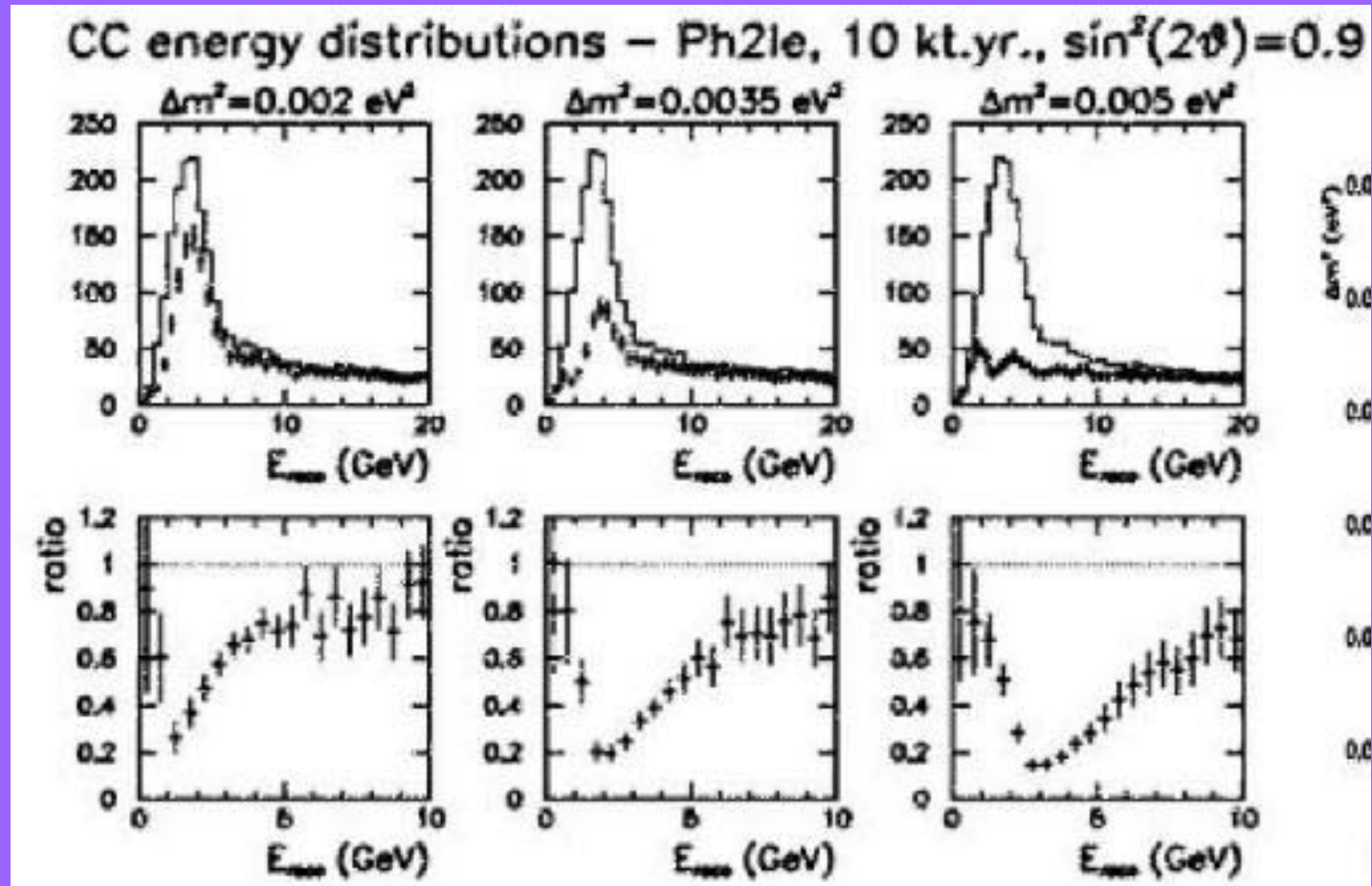


Calibration des détecteurs

- Détecteur proches et lointains à calibrer:
 - Courants neutres
(pb. : difficiles à identifier)
 - Distribution spatiale et spectrale des CC dans le détecteur proche
→ travail en cours!



La comparaison





Exploitation de données

- Déformation du spectre ($\Delta m_{23}^2 \approx 3 \times 10^{-3} eV^2$)
 - détermine Δm_{23}^2 à 10%
 - détermine $\sin^2(2\theta_{23})$ à 10%



Conclusions...

- Le faisceau démarre en fin 2004
- 2 ans d'acquisitions de données
- Mesure précise de Δm_{23}^2
- Incertitudes systématiques réduites (détecteur proche)
- Possibilité de mesure de θ_{13}



La fin

Merci