

T2K: première indication de l'apparition de ν_e dans un faisceau de ν_μ

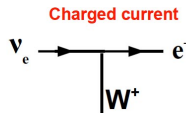
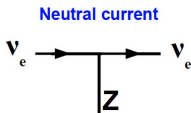
J. Dumarchez¹

¹LPNHE-Paris

APC Colloquium 13/09/11

Rappel sur les neutrinos

- Partenaires des leptons chargés dans les doublets d'isospin faibles



- Les neutrinos sont massifs

Etats propres de masse: ν_1, ν_2, ν_3

Etats propres de saveur: ν_e, ν_μ, ν_τ

$$|\nu_l\rangle = \sum_{i=1}^3 U_{li} |\nu_i\rangle$$

- Ils sont produits et interagissent comme états propres de saveur, mais se propagent comme états propres de masse:

$$|\nu_l(L)\rangle = \sum_{i=1}^3 U_{li} e^{-im_i^2 L/2E} |\nu_i(0)\rangle$$

Oscillations de neutrinos

- Paramétrisation de la matrice de mélange U_{ij} (PMNS)

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{23} & \sin\theta_{23} \\ 0 & -\sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos\theta_{13} & 0 & \sin\theta_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_{13}e^{i\delta} & 0 & \cos\theta_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos\theta_{12} & \sin\theta_{12} & 0 \\ -\sin\theta_{12} & \cos\theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

- δ est la phase de violation de CP
- La probabilité d'oscillation dépend de l'énergie (**E**), de la distance de vol (**L**), de la matrice de mélange **U** et des différences de masses carrées des neutrinos:

$$P_{\alpha \rightarrow \beta} = \delta_{\alpha\beta} - 4 \sum_{i>j} \Re(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin^2\left(\frac{\Delta m_{ij}^2 L}{4E}\right) + 2 \sum_{i>j} \Im(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin\left(\frac{\Delta m_{ij}^2 L}{4E}\right)$$

Connaissance actuelle des paramètres d'oscillation

3 angles de mélange, 2 différences de masse carrées, 1 phase CP

$$\sin^2(2\theta_{12}) = 0.87 \pm 0.03$$

$$\Delta m_{12}^2 = 7.59 \pm 0.20 \times 10^{-5} eV^2$$

$$\sin^2(2\theta_{23}) > 0.92 \text{ (90\% C.L.)}$$

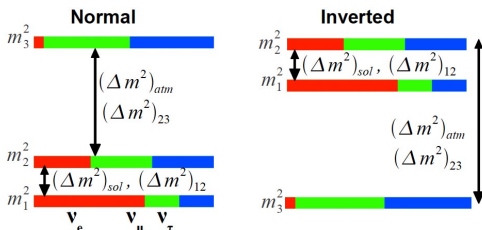
$$\Delta m_{23}^2 = 2.43 \pm 0.13 \times 10^{-3} eV^2$$

$$\sin^2(2\theta_{13}) < 0.12 \text{ (90\% C.L.)}$$

$$\delta = ?$$

SNO, KAMLAND, SK
SK, K2K, MINOS
CHOOZ, MINOS

Ambiguïté sur le signe de $m_3^2 - m_2^2$
2 hiérarchies de masse possibles



Mesurer θ_{13} sur accélérateur

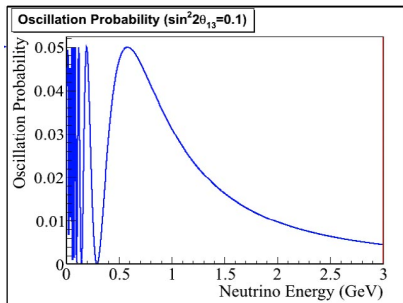
Sur accélérateur on accède à θ_{13} à travers les oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$:

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2\theta_{23}\sin^2 2\theta_{13}\sin^2 \frac{\Delta m_{32}^2 L}{4E_\nu} + \text{termes sous-dominants}$$

Probabilité d'apparition de ν_e pour la distance de vol de T2K ($L=295$ km) et pour $\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$ (en ignorant les termes non dominants)

L'expérience est conçue pour un faisceau de ν_μ dont l'énergie pique au premier maximum de l'oscillation

Chercher l'apparition de ν_e



Mesurer δ

L'expression complète de la probabilité d'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ inclue un terme proportionnel à $\sin(\delta)$:

$$\propto \sin\theta_{12}\sin\theta_{13}\sin\theta_{23}\sin\delta$$

(\pm neutrino vs. antineutrino)

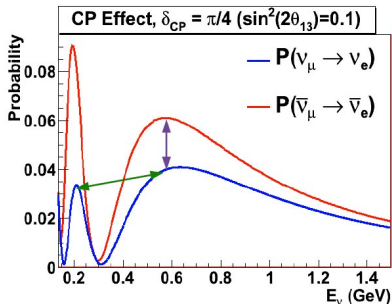
il faut que les 3 angles de mélange soient non nuls

2 façons de mesurer δ :

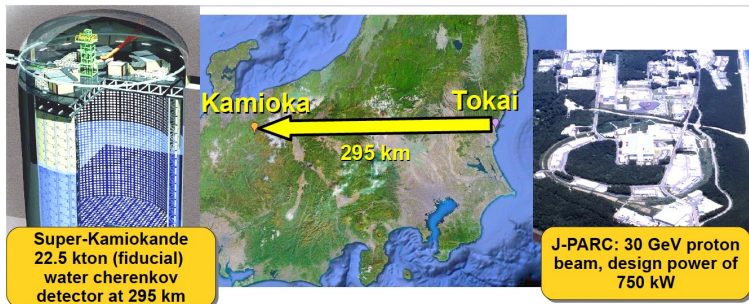
- comparer les probabilités d'apparition neutrino vs. antineutrino

$$A_{CP} \equiv \frac{P - \bar{P}}{P + \bar{P}} \approx \frac{\Delta m_{12}^2 L}{E} \cdot \frac{\sin 2\theta_{12}}{\sin\theta_{13}} \cdot \sin\delta$$

- observer le 1er et le 2ème maximum d'oscillation en mode neutrino



T2K: Tokai to Kamioka



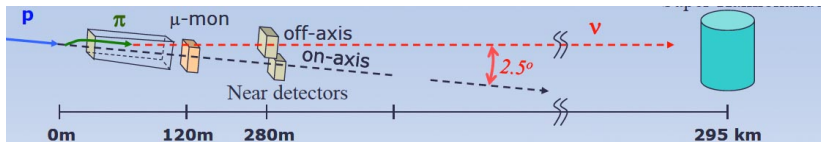
Les premiers buts de l'expérience sont:

- La recherche d'apparition de ν_e :

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) \approx \sin^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{32}^2 L}{4E_\nu}$$

- La mesure précise de la disparition de ν_μ

T2K: principe

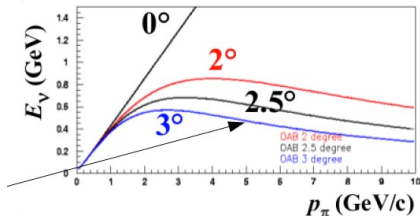


- faisceau de protons de 30 GeV de J-PARC
- cible de carbone
- 3 cornes magnétiques pour focaliser les hadrons chargés (+)
- pions, kaons et muons se désintègrent dans un tunnel de 100m
- MUMON: mesure les muons de la désintégration des pions
- à 280m:
 - INGRID, détecteur sur l'axe, mesure le taux d'interactions et le profil du faisceau
 - ND280, détecteur hors-axe, mesure le spectre des différentes espèces de neutrinos avant oscillation
- SK, détecteur lointain, hors-axe, à 295 km, mesure le spectre des neutrinos oscillés

Faisceau hors-axe (off-axis)

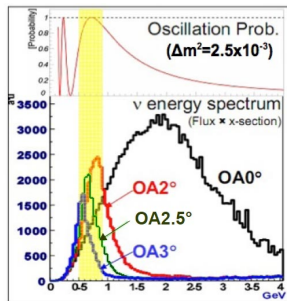
Dans la cinématique de désintégration du pion:

- dans la direction du π E_ν est proportionnel à P_π
- à angle non nul, la dépendance se perd

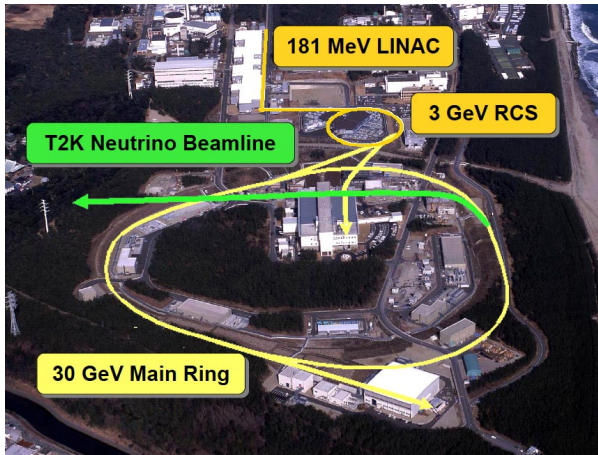


2.5° donne un faisceau étroit qui pique au premier maximum de l'oscillation (atm.)

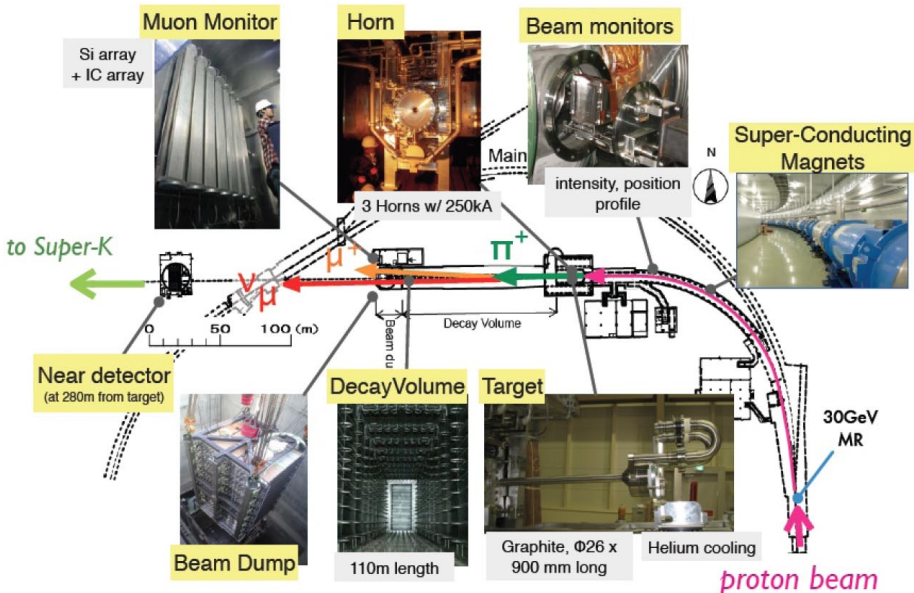
- plus de stat dans la région favorable
- moins de queues à haute énergie, donc moins de bruits de fond potentiels



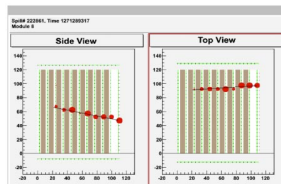
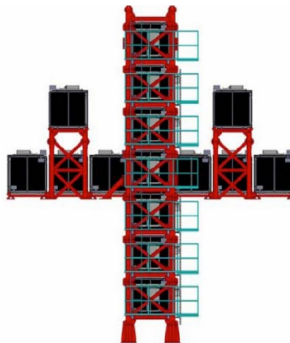
- situé à Tokai (à mi chemin entre Tokyo et Fukushima)
- complexe d'acc. mis en route en 2009
- Performances:
 - énergie: 30 GeV
 - intensité prévue: 750 kW
 - intensité atteinte: 145 kW avant le tremblement de terre



Faisceau de neutrinos

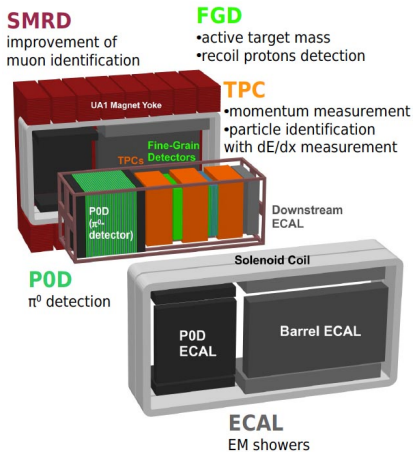


- détecteur de neutrinos, sur l'axe du faisceau, à 280 m de la cible
- 16 modules identiques
- couches alternées de fer et de scintillateur (1m x 1m)
- mesure le profil du faisceau et le taux d'interactions (flux) permet de monitorer l'intensité du faisceau et sa direction



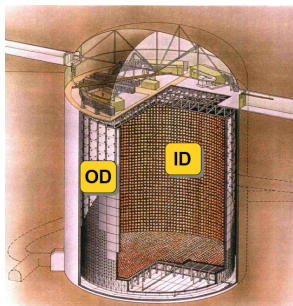
ND280 (Near Detector, off-axis)

- 0.2T aimant de UA1/NOMAD
- éléments utilisés dans cette analyse
 - FGD (Fine Grained Detectors): cible pour les neutrinos et tracking
 - TPC (Time Projection Chambers): mesure de l'impulsion et du dE/dx
- importants pour les analyses futures
 - POD (Pi0 Detector): mesure le taux de π^0 produits par NC (courants neutres)
 - ECAL: calorimètres électromagnétiques, pour identifier électrons et photons
 - SMRD: détecteur de muons installé dans le fer de retour

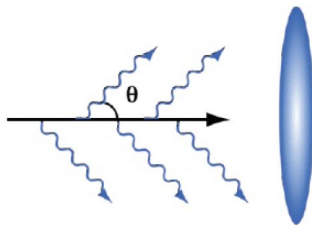


SuperKamiokande

- 50 kt (22.5 kt vol fiduciel): détecteur Cherenkov à eau
- équipé de 11000 PMT de 20" (détecteur interne ID: 40% couverture)
- ~ 2000 PMT de 8" "regardant" vers l'extérieur (OD veto contre les cosmiques, la radioactivité ...)
- fonctionne depuis 1996, avec une bonne efficacité de reconstruction pour les événements $< \text{GeV}$



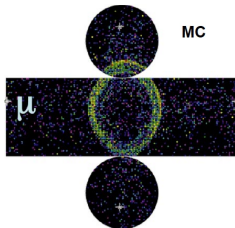
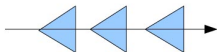
La lumière Cherenkov produit un anneau détecté par les PMT



Identification des particules dans SK

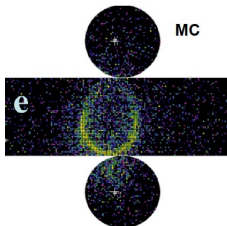
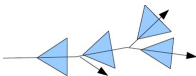
Muons

- * peu de scattering
- * anneaux à bords francs



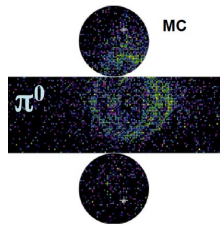
Electrons

- * gerbe EM
- * anneaux à bords flous



Pions neutres

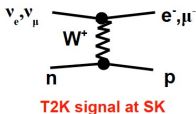
- * peu de scattering
- * les γ des désint. de π^0 font des gerbes qui peuvent ressembler aux électrons



Les interactions de neutrinos dans T2K

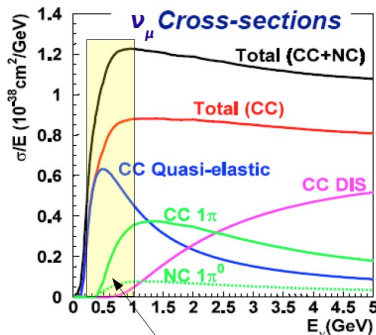
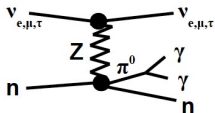
Dans la région d'intérêt pour T2K:

Importante contribution des quasi-élastiques en courant chargé (CCQE)



Contribution significative de CC1 π (courant chargé avec production d'un pion)

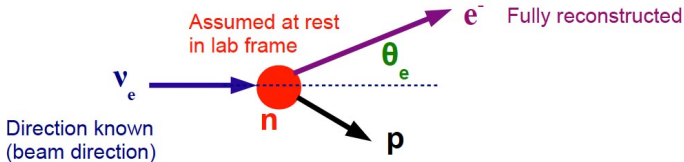
NC π^0 (courant neutre avec production d'un π^0):
bruit de fond important



T2K beam peak energy

Les photons de π^0 peuvent passer pour un électron

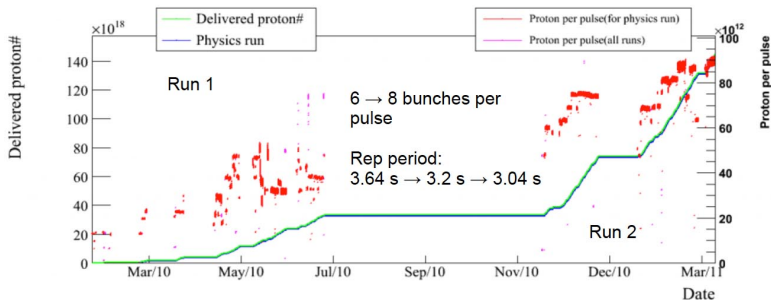
Reconstruire l'énergie du neutrino



$$E_\nu^{QE} = \frac{2 M_n E_e - (M_n^2 + m_e^2 - M_p^2)}{2 [M_n - E_e + \sqrt{E_e^2 - m_e^2} \cos \theta_e]}$$

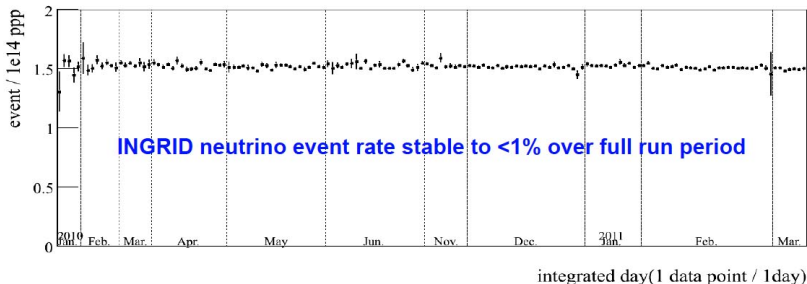
- Seul est reconstruit le lepton dans l'état final
- On peut déterminer l'énergie du neutrino sous certaines hypothèses:
 - la direction du neutrino est connue (direction du faisceau)
 - la masse du nucléon de recul est connue
 - le nucléon-cible est au repos (pas strictement vrai, donc ajoute de la dispersion à la mesure de l'énergie)

Données collectées

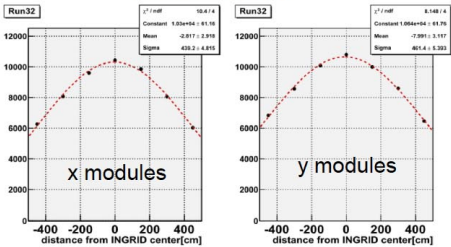


- données cumulées Run 1 + Run 2 = 1.43×10^{20} POT
- démarré à 50 kW au Run 1, mais 145 kW en continu à la fin du Run 2 (750 kW nominal)
(augmenter le nombre de bunchs par spill, augmenter le nombre de protons par bunch, augmenter le taux de répétition)
- 2% de la statistique prévue pour T2K a été accumulée, et analysée

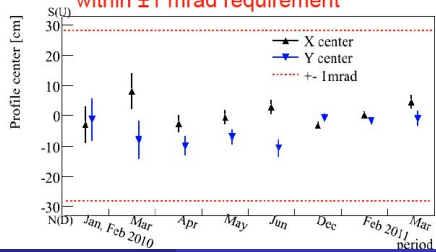
Stabilité: taux d'interaction et direction du faisceau



INGRID Profiles



INGRID confirms beam direction within ± 1 mrad requirement



Analyse d'oscillation

Flux Prediction

- Proton beam measurements
- Hadron production data

ND280 Measurement

- Inclusive ν_{μ} CC measurement
- Output: $R_{ND}^{\mu, Data} / R_{ND}^{\mu, MC}$
- Measure ν_e rate as cross-check

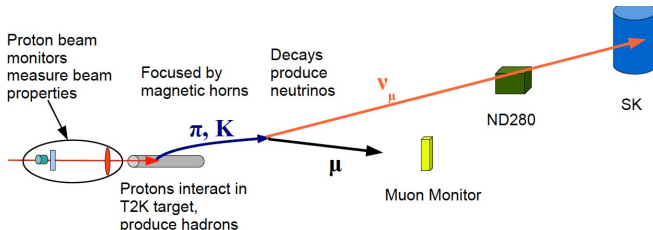
Neutrino Cross Sections

- Interaction models
- External cross section data

SK Measurement

- Develop ν_e CCQE candidate selection
- Simulate expectation: N_{SK}^{MC}
- Adjust normalization using ND280 measurement:
$$N_{SK}^{\text{exp}} = R_{ND}^{\mu, Data} \times N_{SK}^{MC} / R_{ND}^{\mu, MC}$$
- Evaluate systematics
- Evaluate confidence intervals for data sample

Flux de neutrinos et modélisation

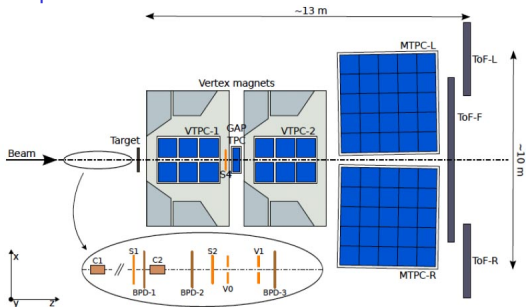


Simulation du flux de neutrinos

- input: mesures des moniteurs du faisceau de protons
- Production de hadrons dans la cible de carbone:
 - données exp. de NA61 pour modéliser la production de π^\pm
 - production de kaons et autres interactions hadroniques: modélisation à travers FLUKA
- interactions hors de la cible, focalisation par les cornes, désintégration des particules
 - simulation GEANT3
 - sections efficaces d'interaction ajustées aux données existantes

L'expérience NA61

Expérience d'ions lourds en cible fixe au CERN avec un spectromètre de grande acceptance



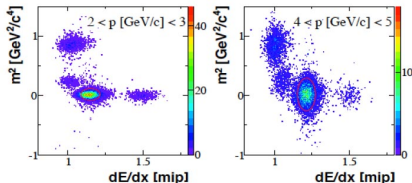
faisceau de 30 GeV (comme à T2K)

2 types de cible:

1. 4% de λ_I , cible mince
2. T2K replica target

seule la production de pions dans la cible mince est utilisée dans l'analyse actuelle

bonnes performances des TOF et dE/dx: bonne séparation des particules



Premiers résultats de NA61

Mesure de la section efficace sur carbone à 30 GeV: $\sigma_{prod} = 229.3 \pm 9.2 mb$

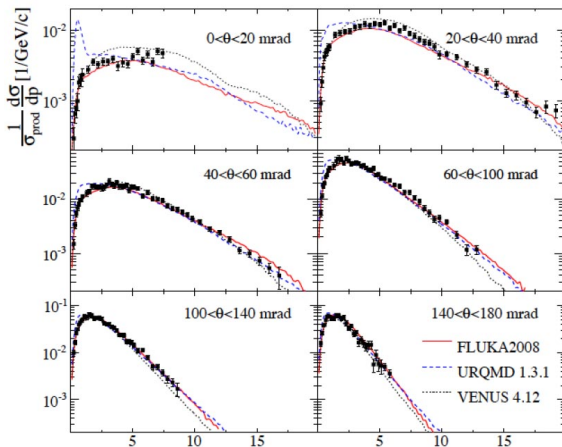
sect. eff. différentielle de production des π^\pm

incertitudes syst. de 5-10% pour chaque point dans l'espace $p - \theta$

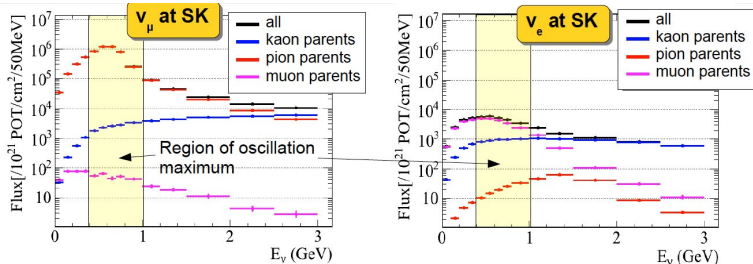
2.3% d'incertitude de normalisation

incertitudes propagées dans l'analyse d'oscillation

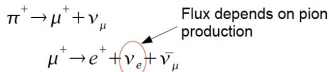
FLUKA reproduit assez bien les données de NA61



Prédiction du flux de neutrinos

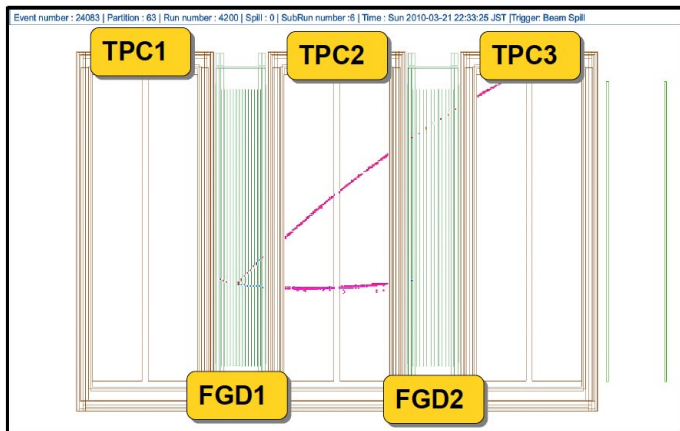
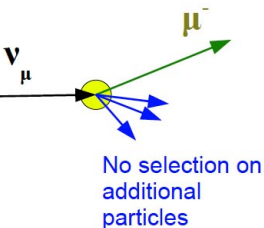


- le flux de ν_μ autour du max de l'oscillation vient surtout des désintégrations de pions
- les ν_e intrinsèques du faisceau viennent des désintégrations de muons et kaons: $\sim 1\%$ en dessous de 1 GeV
- les ν_e dominants autour du max de l'oscillation viennent des désintégrations de muons:



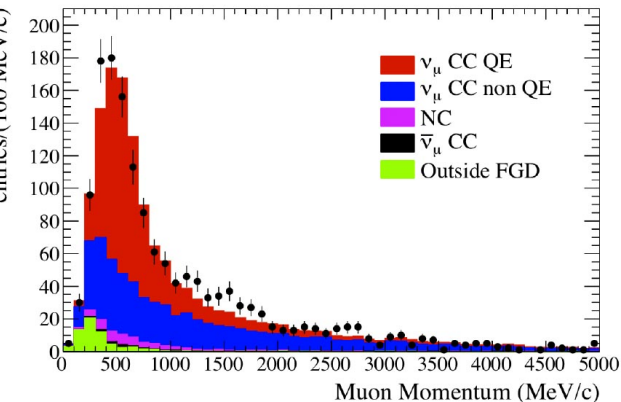
Analyse inclusive des ν_μ dans ND280

- sélection des traces négatives μ^- - like démarrant dans un FGD et traversant les TPC
- grande pureté: 90% ν_μ CC et 50% CCQE
- 1529 événements



Analyse inclusive des ν_μ dans ND280

Données et prédictions MC pour 2.88×10^{19} POT



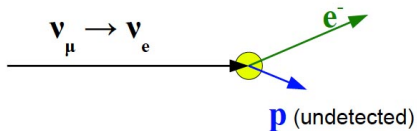
Comparaison avec le MC normalisé aux POT:

- modèle de flux NA61 et FLUKA
- modèle d'interactions neutrinos: NEUT

$$R_{ND}^{\mu, Data} / R_{ND}^{\mu, MC} = 1.036 \pm 0.028 (stat.)_{-0.037}^{+0.044} (det. sys.) \pm 0.038 (phys. model)$$

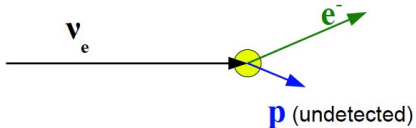
Signal et bruit de fond à SK

Oscillation Signal:



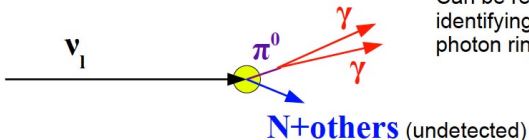
Identical for given neutrino energy.

Beam ν_e Background:

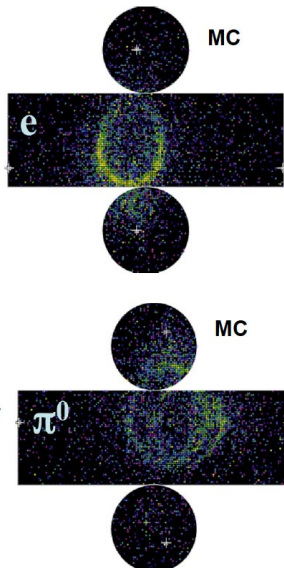


Beam background has harder spectrum

Neutral Current π^0 :



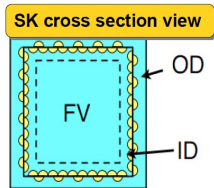
Can be removed by identifying second photon ring



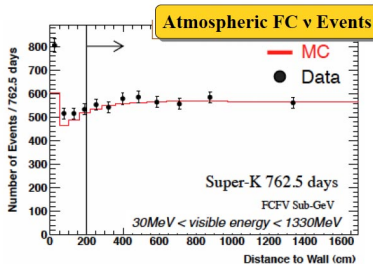
Sélection des ν_e à SK (7 étapes)

On sélectionne un échantillon anneau unique de type électron *single ring e-like* et on minimise le bruits de fond faisceau et $\text{NC}\pi^0$
coupures optimisées pour la stat actuelle
coupures fixées avant de regarder les données

1. évt dans la fenêtre en temps du faisceau, et complètement contenu dans l'ID (pas d'activité dans l'OD)



2. vertex $> 200\text{cm}$ du mur de l'ID (coupure de vol. fid.)

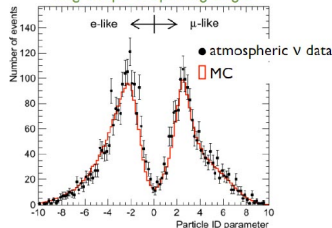


Sélection des ν_e à SK

3. sélection de *single e-like ring*

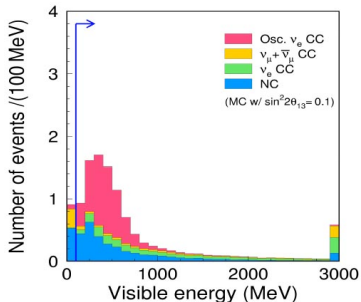
- particle ID basée sur la forme des anneaux
- bonne séparation e/μ
- performance vérifiée sur les atmosphériques
- $\sim 1\%$ de proba de mis-ID un μ comme e

Particle identification using ring shape & opening angle



4. Energie visible > 100 MeV

évts de basse énergie = bruit de fond NC et électrons de désint. de muons



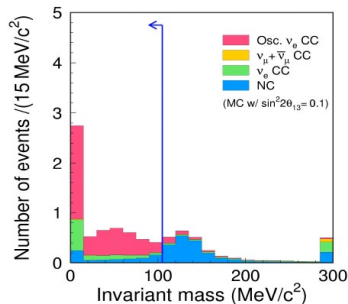
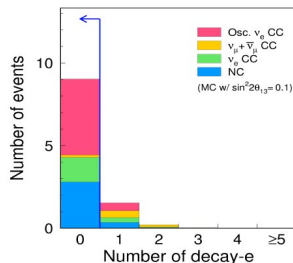
Sélection des ν_e à SK

5. pas d'électron de désintégration de μ

- rejet basé sur le timing dans SK

6. coupure sur la masse π^0 , $M_{inv} < 105 \text{ MeV}/c^2$

- on calcule la masse invariante sous l'hypothèse de 2 anneaux pour chaque évt
- rejet du bruit de fond NC π^0



Sélection des ν_e à SK

7. énergie du neutrino reconstruite < 1250 MeV

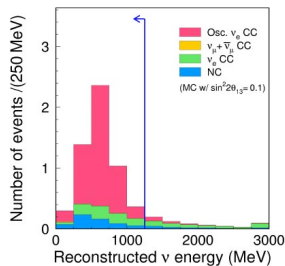
- rejet des ν_e intrinsèques venant de désint. de kaons (à plus haute énergie)

Signal Efficiency = 66%

Background Rejection:

77% for beam ν_e

99% for NC



Nb d'évts attendus rescalé par le rapport Data/MC mesuré à ND280:

$$N_{SK}^{exp} = N_{SK}^{MC} \times R_{ND}^{\mu, Data} / R_{ND}^{\mu, MC}$$

Sources	N_{SK}^{exp}
NC background	0.6
Beam ν_e background	0.8
Osc. through θ_{12}	0.1
ν_μ CC background	0.03
Total	1.5 ± 0.3

Incertitudes systématiques

D'où viennent les incertitudes systématiques?

$$N_{SK}^{\text{exp}} = R_{ND}^{\mu, \text{Data}} \times N_{SK}^{MC} / R_{ND}^{\mu, MC}$$

Ignoring sums over neutrino flavors, interaction modes

$$\frac{\int \Phi_{\nu_{\mu}(\nu_e)}^{SK}(E_{\nu}) \cdot P_{osc}(E_{\nu}) \cdot \sigma(E_{\nu}) \cdot \epsilon_{SK}(E_{\nu}) dE_{\nu} \cdot \frac{M_{SK}}{M_{ND}} \cdot POT_{SK}}{\int \Phi_{\nu_{\mu}}^{ND}(E_{\nu}) \cdot \sigma(E_{\nu}) \cdot \epsilon_{ND}(E_{\nu}) dE_{\nu}}$$

- ND280 statistical uncertainty
- Flux uncertainty → expect cancellation in ratio
- Neutrino interaction cross section uncertainties
- SK reconstruction, selection uncertainties
- ND280 reconstruction, selection uncertainties

Incertitudes sur le flux

Les incertitudes sur les interactions hadroniques dominant:

$$\frac{\int \Phi_{\nu_\mu(\nu_e)}^{SK}(E_\nu) \cdot P_{osc}(E_\nu) \cdot \sigma(E_\nu) \cdot \epsilon_{SK}(E_\nu) dE_\nu}{\int \Phi_{\nu_\mu}^{ND}(E_\nu) \cdot \sigma(E_\nu) \cdot \epsilon_{ND}(E_\nu) dE_\nu}$$

- production de pions: inc. syst de NA61
- production de kaons: comparaison FLUKA vs données
- production secondaire de nucléons: comparaison FLUKA vs données
- proba d'interactions hadroniques: de mesures exp. sur les sect. eff. de π , p , K

Percent Errors from Flux Uncertainties ($\theta_{13}=0$)

Error Sources	$R_{ND}^{\mu,MC}$	N_{SK}^{MC}	$N_{SK}^{MC}/R_{ND}^{\mu,MC}$
Pion Production	5.7%	6.2%	2.5%
Kaon Production	10.0%	11.1%	7.6%
Other Hadron Int.	9.7%	9.5%	1.5%
Beam Direction, Alignment, Horn Current	3.6%	2.2%	2.3%
Total	15.4%	16.1%	8.5%

Cancellation works best for neutrinos from pion production

Incertitudes sur les sections efficaces de ν

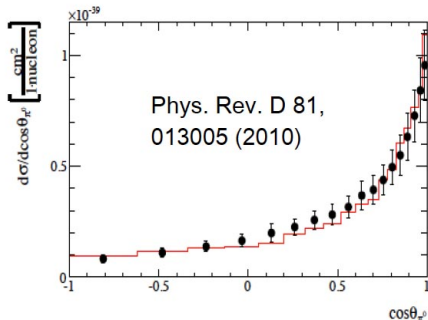
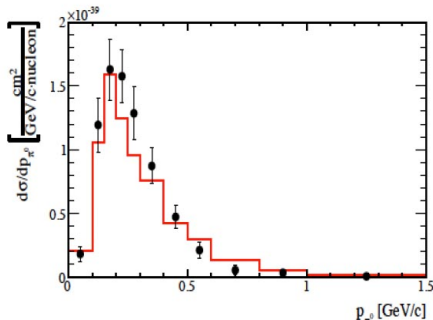
Sections efficaces nominales viennent du modèle NEUT

Les incertitudes de sections eff.:

- comparaison du modèle aux données (MiniBooNE, SciBooNE, SK)
- variation des paramètres du modèle: M_A , énergies de liaison ...
- comparaison entre modèles: gaz de Fermi relativiste vs. fonction spectrale

$$\frac{\int \Phi_{\nu_\mu}^{SK}(E_\nu) \cdot P_{osc}(E_\nu) \cdot \sigma(E_\nu) \cdot \epsilon_{SK}(E_\nu) dE_\nu}{\int \Phi_{\nu_\mu}^{ND}(E_\nu) \cdot \sigma(E_\nu) \cdot \epsilon_{ND}(E_\nu) dE_\nu}$$

NEUT comparison to MiniBooNE NC π^0 diff. cross section



Incertitudes sur les sections efficaces de ν

$$\frac{\int \Phi_{\nu_{\mu}(\nu_e)}^{SK}(E_{\nu}) \cdot P_{osc}(E_{\nu}) \cdot \sigma(E_{\nu}) \cdot \epsilon_{SK}(E_{\nu}) dE_{\nu}}{\int \Phi_{\nu_{\mu}}^{ND}(E_{\nu}) \cdot \sigma(E_{\nu}) \cdot \epsilon_{ND}(E_{\nu}) dE_{\nu}}$$

Error Sources	N_{SK}^{exp}	
CCQE shape	3.1%	
CC 1π	2.2%	From studies of MiniBooNE data
CC Coherent π	3.1%	From studies of SciBooNE data
CC Other	4.4%	
NC $1\pi^0$	5.3%	
NC Coherent π	2.3%	From studies of SciBooNE data
NC Other	2.3%	
$\sigma(\nu_e)$	3.4%	
FSI	10.1%	Dominant source is uncertainty on pion final state interactions
Total	14.0%	Studied by adjusting NEUT microscopic cross section model and comparing to cross section data

Incertitudes SK

Data driven evaluation of systematic uncertainties

$$\frac{\int \Phi_{\nu_{\mu}(\nu_e)}^{SK}(E_{\nu}) \cdot P_{osc}(E_{\nu}) \cdot \sigma(E_{\nu}) \cdot \epsilon_{SK}(E_{\nu}) dE_{\nu}}{\int \Phi_{\nu_{\mu}}^{ND}(E_{\nu}) \cdot \sigma(E_{\nu}) \cdot \epsilon_{ND}(E_{\nu}) dE_{\nu}}$$

Error source	$\frac{\delta N_{SK \nu_e sig.}^{MC}}{N_{SK \nu_e sig.}^{MC}}$	$\frac{\delta N_{SK bkg. tot.}^{MC}}{N_{SK bkg. tot.}^{MC}}$
π^0 rejection	-	3.6%
Ring counting	3.9%	8.3%
Electron PID	3.8%	8.0%
Invariant mass cut	5.1%	8.7%
Fiducial volume cut etc.	1.4%	1.4%
Energy scale	0.4%	1.1%
Decay electron finding	0.1%	0.3%
Muon PID	-	1.0%

Control sample described on next slide

← Evaluated on SK atmospheric sample

Total

7.6%

15%

Uncertainty on signal

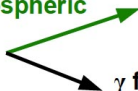
Uncertainty on background

SK: échantillon de contrôle π^0

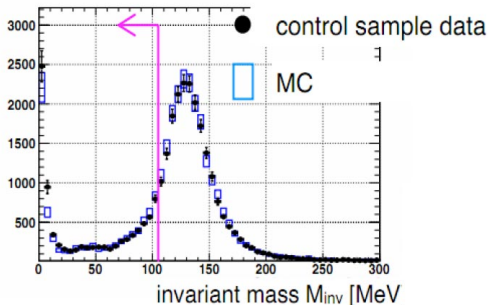
- Special control sample needed to evaluate uncertainty from π^0 mass cut
- Select e-like rings from the atmospheric data set
- Add simulated γ to the event

$$\frac{\int \Phi_{\nu_\mu(\nu_e)}^{SK}(E_\nu) \cdot P_{osc}(E_\nu) \cdot \sigma(E_\nu) \cdot \epsilon_{SK}(E_\nu) dE_\nu}{\int \Phi_{\nu_\mu}^{ND}(E_\nu) \cdot \sigma(E_\nu) \cdot \epsilon_{ND}(E_\nu) dE_\nu}$$

e-like from
atmospheric
data



γ from MC



- Two samples produced
 - More energetic ring from data
 - Less energetic ring from data
- Compare hybrid data+MC sample to pure MC sample
- Difference in efficiency used to calculate systematic uncertainty

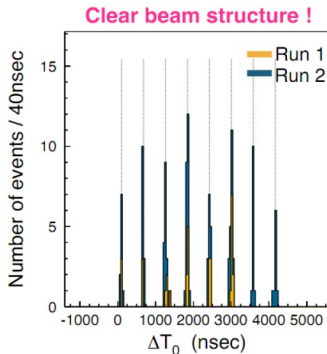
Incertitudes systématiques: résumé

Error Source	$\sin^2(2\theta_{13})=0$	$\sin^2(2\theta_{13})=0.1$
Beam flux	8.5%	8.5%
ν cross sections	14.0%	10.5%
ND280 detector	+5.6 % -5.2 %	+5.6 % -5.2 %
SK detector	14.7%	9.4%
ND280 statistics	2.7%	2.7%
Total	+22.8 % -22.7 %	+17.6 % -17.5 %

↑
Smaller cross section and SK uncertainties for signal events

Echantillon des données de SK

- SK synchronized to beam timing using GPS
- SK events fully contained in the ID show clear beam time structure
- In total, 121 FC events
 - Non beam background from timing sidebands

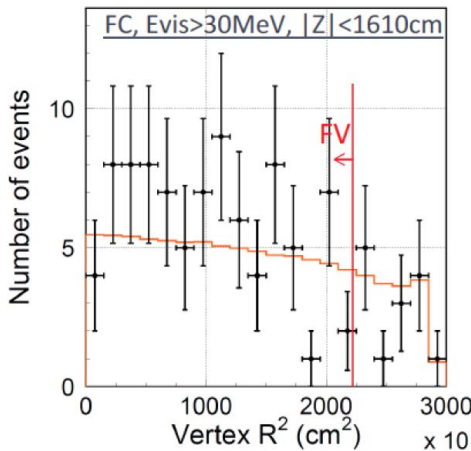
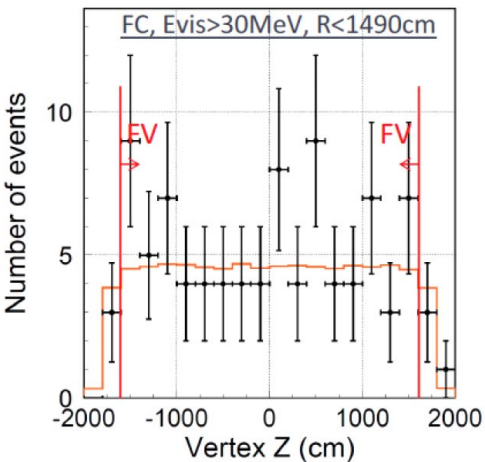


Number of events in on-timing windows ($-2 \sim +10 \mu\text{sec}$)

Class / Beam run	RUN-1	RUN-2	Total	non-beam background
POT ($\times 10^{19}$)	3.23	11.08	14.31	
Step 1: Fully-Contained (FC)	33	88	121	0.023

Sélection de l'échantillon des candidats ν_e dans SK

Step 2: Fiducial volume cut: vertex >200 cm from ID wall

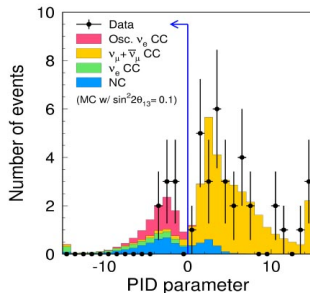
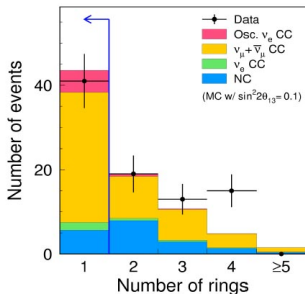


121 \rightarrow 88 Events

Sélection de l'échantillon des candidats ν_e dans SK

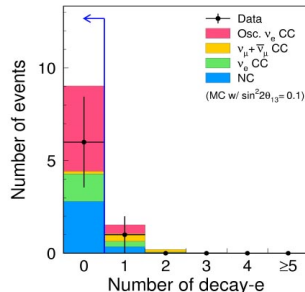
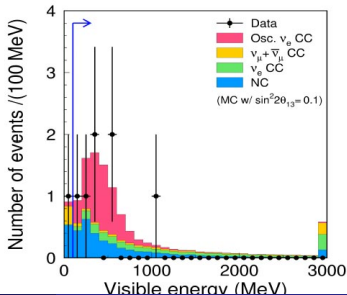
Step 3: Single e-like ring cut

88 \rightarrow 8 Events



Step 4: Visible energy cut

8 \rightarrow 7 Events

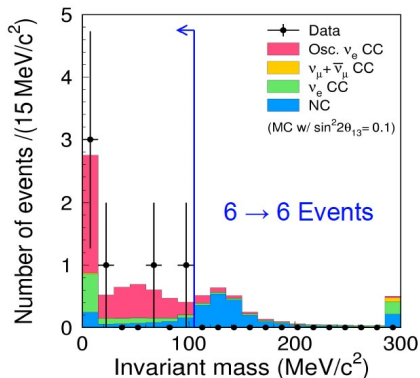


Step 5: Decay electron cut

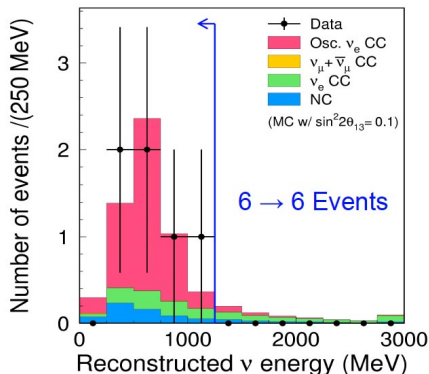
7 \rightarrow 6 Events

Sélection de l'échantillon des candidats ν_e dans SK

Step 6: π^0 Mass Cut



Step 7: Reconstructed Energy Cut



Après la sélection des ν_e : **6 candidats**

Rappel, bruit de fond attendu: 1.5 ± 0.3 évts

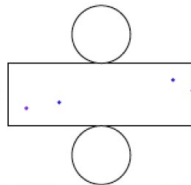
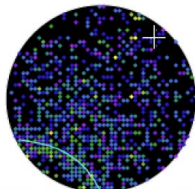
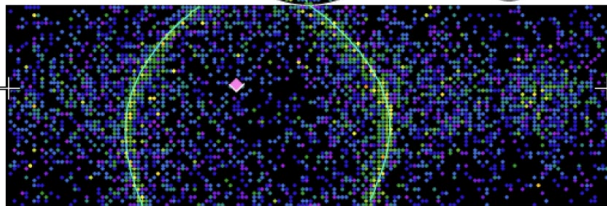
Exemple de candidat ν_e

Super-Kamlokande IV

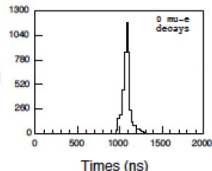
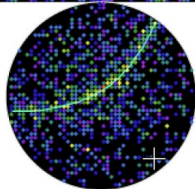
T2K Beam Run 0 Spill 1039222
Run 67969 Sub 921 Event 218931934
10-12-22:14:15:18
T2K beam dt = 1782.6 ns
Inner: 4804 hits, 9970 pe
Outer: 4 hits, 3 pe
Trigger: 0x80000007
D_{wall}: 244.2 cm
e-like, p = 1049.0 MeV/c

Charge (pe)

- * >26.7
- * 23.3-26.7
- * 20.2-23.3
- * 17.3-20.2
- * 14.7-17.3
- * 12.2-14.7
- * 10.0-12.2
- * 8.0-10.0
- * 6.2- 8.0
- * 4.7- 6.2
- * 3.3- 4.7
- * 2.2- 3.3
- * 1.3- 2.2
- * 0.7- 1.3
- * 0.2- 0.7
- * < 0.2

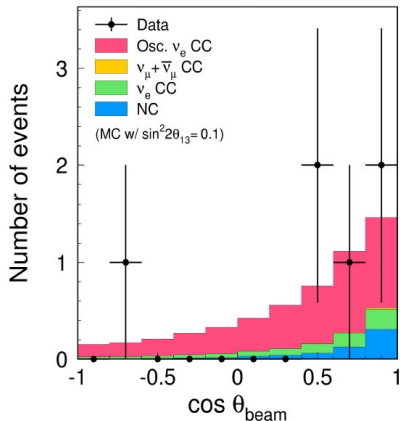


visible energy : 1049 MeV
of decay-e : 0
2 γ Inv. mass : 0.04 MeV/c²
recon. energy : 1120.9 MeV

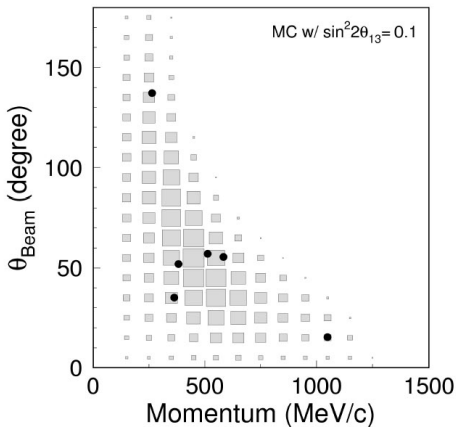


Vérifications sur l'échantillon

Reconstructed $\cos(\theta_{\text{beam}})$ in good agreement with expectation:

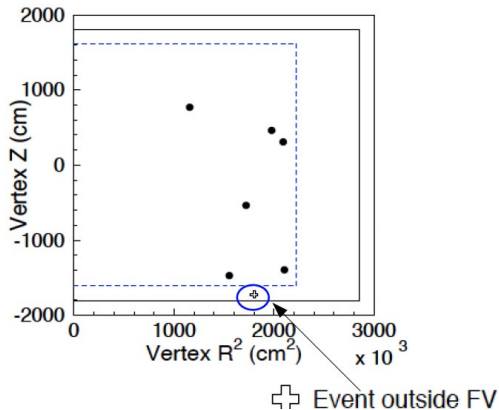
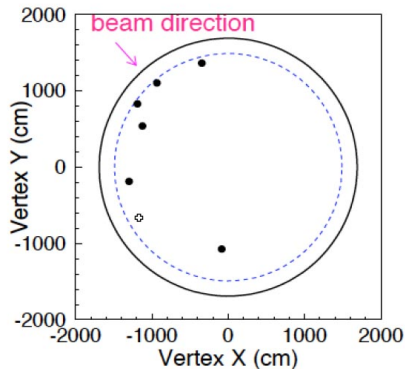


Reconstructed θ_{beam} vs. lepton momentum in agreement with expectation:



θ_{beam} = Lepton angle relative to beam direction

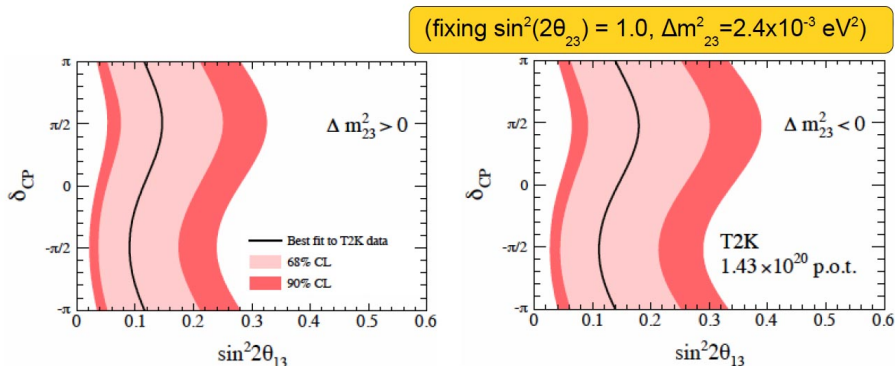
Distribution des vertex



- test de KS sur la distribution en R^2 : proba = 0.03
- un seul évt en dehors du volume fiduciel et qui passe toutes les autres coupures (on en attendrait plus s'il s'agissait d'un bruit de fond corrélé au faisceau)
- les distributions d'évts dans l'OD ne montrent pas d'indication de contamination

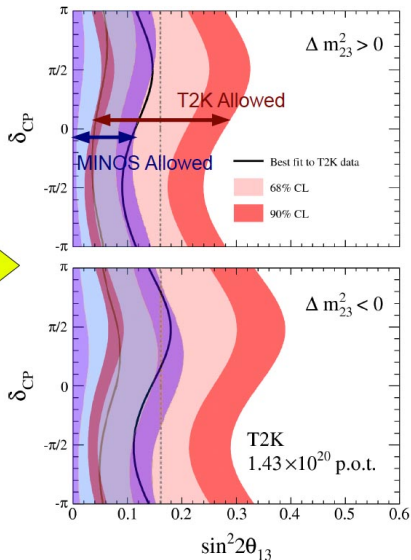
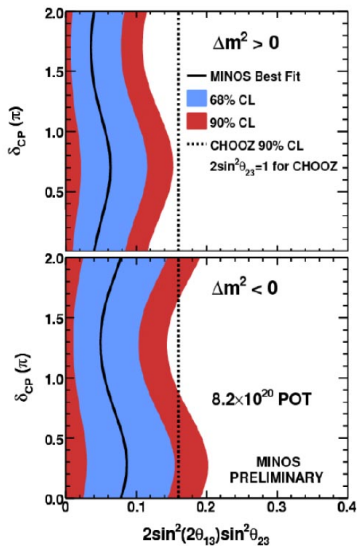
Interprétation pour $\sin^2(2\theta_{13})$

pour $\sin^2(2\theta_{13}) = 0$ avec $[\sin^2(2\theta_{23}) = 1.0$ et $\Delta m_{23}^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2]$
la probabilité d'observer $\geq 6\text{evts} = 0.007$



à $\sin^2(2\theta_{23}) = 1.0$, $\Delta m_{23}^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$, $\delta_{CP} = 0$ les intervalles à 90% de CL sont:
normale: $0.03 < \sin^2(2\theta_{13}) < 0.28$
inverse: $0.04 < \sin^2(2\theta_{13}) < 0.34$
meilleur fit: $\sin^2(2\theta_{13}) = 0.11$
meilleur fit: $\sin^2(2\theta_{13}) = 0.14$

Comparaison avec MINOS



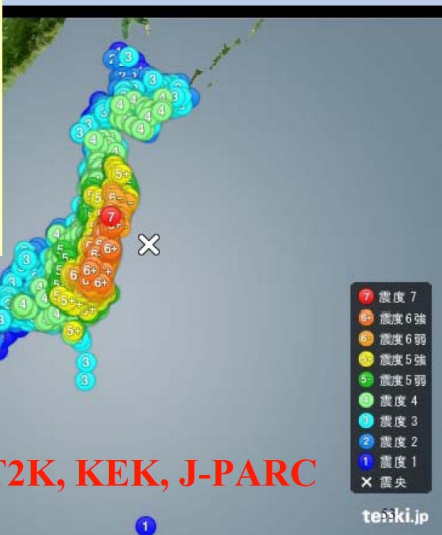
Significant overlap of T2K and MINOS 90% C.L. allowed regions

Etablir solidement l'apparition de ν_e et mieux déterminer l'angle de mélange θ_{13}

- redémarrer l'expérience
 - travail de réparation en cours
 - redémarrage de J-PARC, y compris les accélérateurs et le faisceau de neutrinos: décembre 2011
 - T2K sera prêt en novembre
- Améliorations de l'analyse
 - nouvelles méthodes d'analyse utilisant la forme du signal ν_e (e.g. l'énergie reconstruite)
 - utiliser les mesures de ND280 sur le spectre des ν_μ CCQE, sur les courants neutres et sur les sections efficaces
 - utiliser les données de NA61 sur les kaons et sur la cible longue (T2K replica target)

Earthquake on Mar. 11th

- Happened at 14:46 on Mar. 11th
 - Magnitude 9.0 in Richter scale
 - Seismic intensity 6+ at Tokai
 - No Tsunami reached to J-PARC
 - All of electric power was stopped
 - Maintenance day=Acc. not operated



◆ **No one injured T2K, KEK, J-PARC**

Ground level damages



RCS (elec yard)



**Severe subsidence here and there (1~2m depth)
Near by piping/cablings were damaged**



Neutrino (TS)



LINAC



Neutrino (Dump)



Neutrino (Dump)

Being rapidly repaired



- T2K a annoncé un nouveau résultat sur les oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ basé sur 1.43×10^{20} POT (2% de la stat visée par T2K)
 - le nb d'évts attendu est de $1.5 \pm 0.3(\sin^2(2\theta_{13}) = 0)$
 - 6 candidats ont été observés dans SK
 - sous l'hypothèse $\theta_{13} = 0$ la probabilité d'observer 6 ou plus candidats est 0.007 (2.5σ)
 - résultat paru dans PRL
- J-PARC devrait redémarrer en décembre 2011 et T2K aussi
- les résultats de disparition de ν_μ avec ces données sont tout à fait en accord avec les précédents résultats (plus de précision demandera plus de stat)