

# Recherche des oscillations

## $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ auprès d'OPERA

---

A. Lucotte

pour le groupe:

J. Boucrot, J.E. Campagne,

A. Cazes, J.P. Repellin

### 1. L'oscillation des neutrinos avant Opera

a) Résultats récents

Neutrino'02

b) Contexte en 2006

### 2. Le détecteur Opera

a) Design du détecteur

b) Statut & calendrier

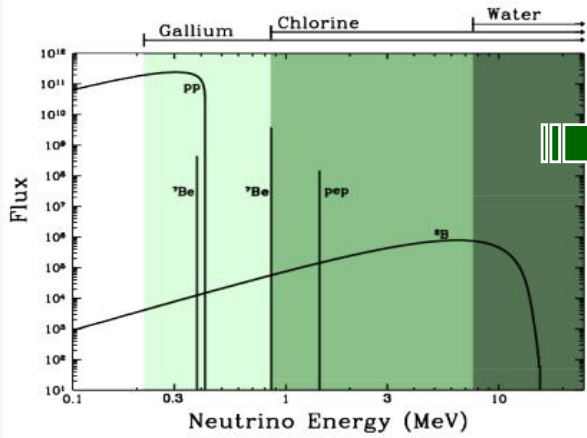
### 3. Le rôle du LAL dans Opera

a) Electronique FE du tracker

b) Développements Software

# Oscillations de neutrinos solaires: SNO

## Mesures de SNO (1kt D<sub>2</sub>O, 7kt H<sub>2</sub>O)

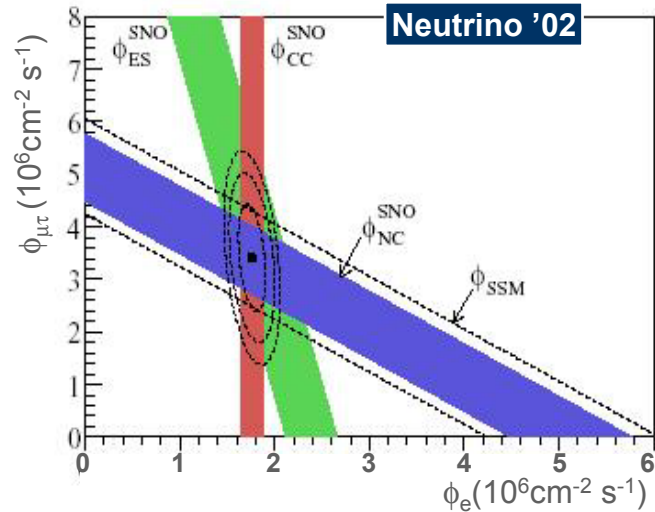


– Mesure du flux des  $\nu$  solaires du <sup>8</sup>B:

- CC:  $\nu_e + d \rightarrow p + p + e \Rightarrow \phi_{CC} = \phi_e$
- NC:  $\nu_X + d \rightarrow p + n + \nu \Rightarrow \phi_{NC} = \phi_e + \phi_{\mu\tau}$
- ES:  $\nu_X + e \rightarrow \nu_X + e \Rightarrow \phi_{ES} = \phi_e + \epsilon \phi_{\mu\tau}$

– Interprétation:

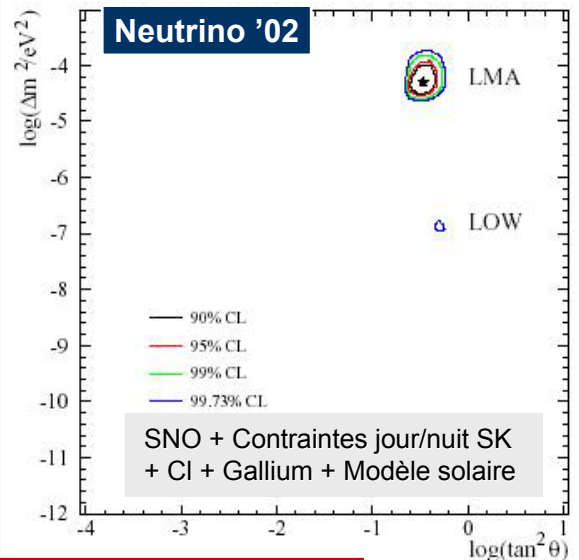
- Mesure du flux total  $\phi_\nu(^8\text{B})$  en accord avec prédictions
- Composition multi-saveurs actifs des  $\nu$  solaires
- Oscillation de  $\nu_e$  en  $\nu$  actifs  $\phi_{\mu\tau} \neq 0 @ 5.3\sigma$



– Test des effets de matière MSW:

- Flux  $\nu_e$  fonction de distance et de la densité  $N_e$
- Mesure de l'asymétrie jour-nuit des evts CC et des NC ( $A=0$ )  
 $\Rightarrow A_{CC} = 7.0\% \pm 4.9\%_{\text{stat}} \pm 1.3\%_{\text{sys}}$

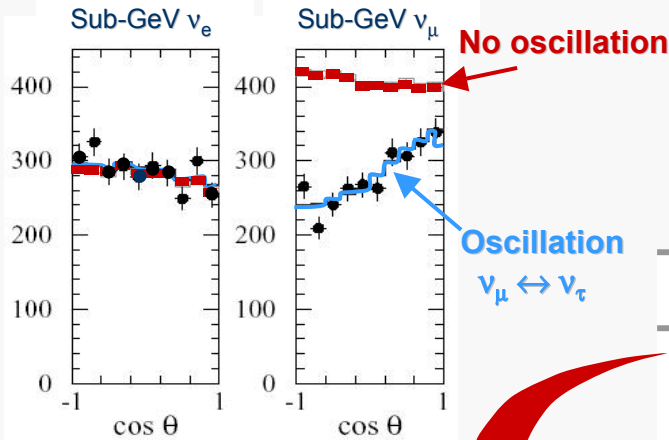
- Solution LMA favorisée
- $\Delta m^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ eV}^2, \sin^2 2\theta = 0.76$



Confirmation future par Kamland

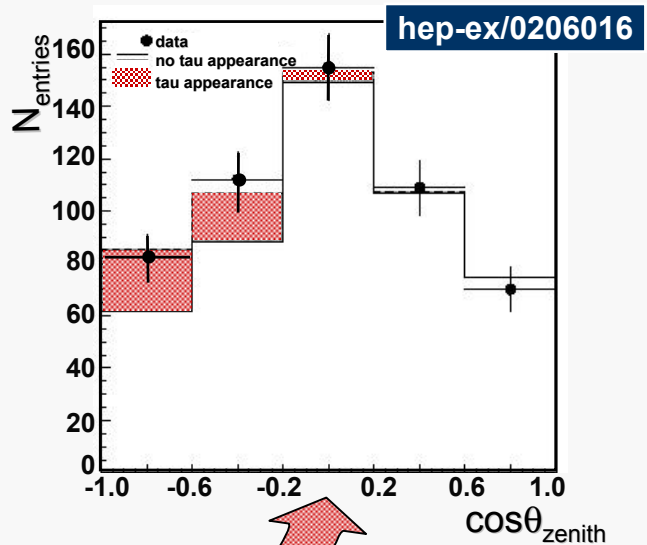
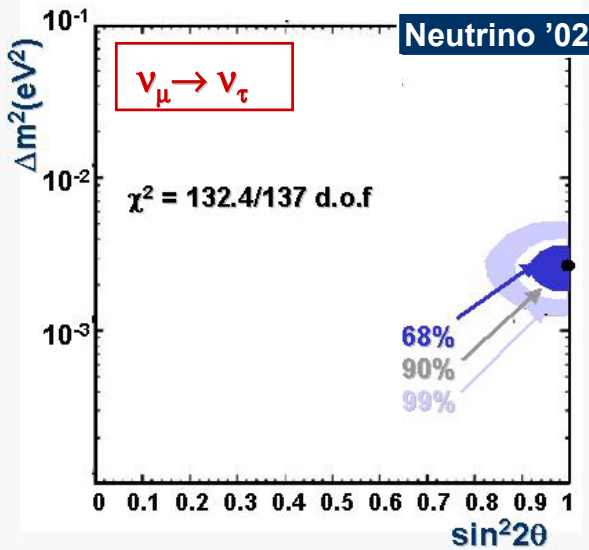
# Oscillations de neutrinos atmosphériques: SuperK

## Résultats de SuperK (50 kt H<sub>2</sub>O)



- Mesures de flux de  $\nu_{\text{atm}}$  par:
  - $R = (\nu_\mu / \nu_e)_{\text{data}} / (\nu_\mu / \nu_e)_{\text{MC}}$
  - Flux  $\nu_\mu$  &  $\nu_e$  vs  $\cos\theta_{\text{zenith}}$
- Interprétations:

Modes	Paramètres du fit	# $\sigma$
$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$	$s^2 2\theta = 1.00$ $\Delta m^2 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$	---
$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	$s^2 2\theta = 0.97$ $\Delta m^2 = 5.0 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$	8.9
$\nu_\mu \rightarrow \nu_s$	$s^2 2\theta = 0.96$ $\Delta m^2 = 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$	4.4



### – Confirmations & vérifications:

- Recherche d'apparition de  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ :
  - Sélection: multi-GeV, multi-anneaux + likelihood ( $\epsilon_\tau \sim 51\%$ )
  - ~80 evts  $\nu_\tau$  CC attendus /  $92 \pm 35 \pm 23$  observés:  $S = 2.2\sigma$
- Oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_s$ :
  - Distribution azimuthale des evts NC (multi-anneaux)

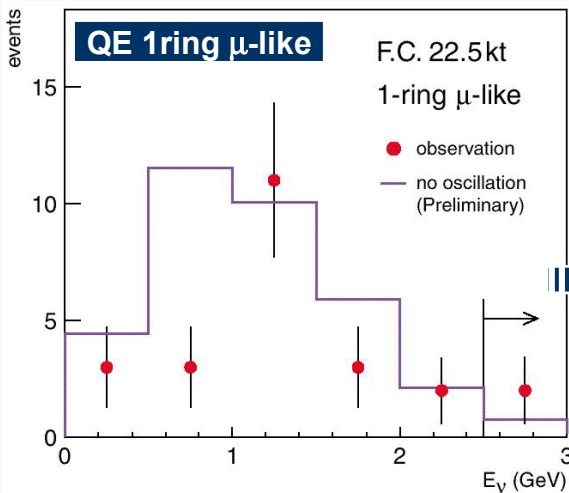
# Oscillations de neutrinos auprès d'accélérateur: K2K

## Contexte expérimental

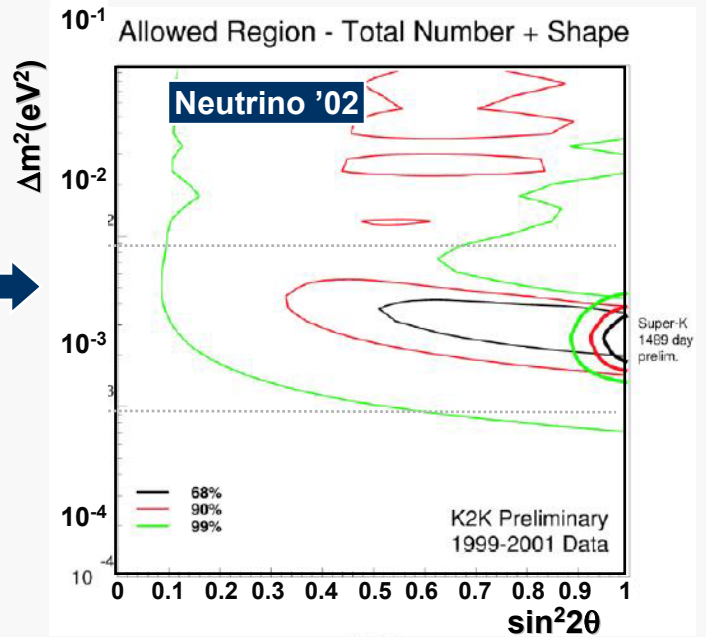
- Faisceau:
  - Composition: 99%  $\nu_\mu$ , 1%  $\nu_e$
  - Energie: proton  $\sim 12$  GeV &  $E_\nu \sim 1.4$  GeV
  - Intensité:  $4.8 \times 10^{19}$  p.o.t. (112 jours 1999-2001)
- Détecteurs:
  - L(proche - SuperK) = 250 km

## Mesures de K2K

- Oscillations  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ :
  - Disparition (flux) de  $\nu_\mu$  & Distorsion du spectre  $E_\nu$



56 observés / 80 attendus  
no-oscillation exclu @ 99%



## Calendrier

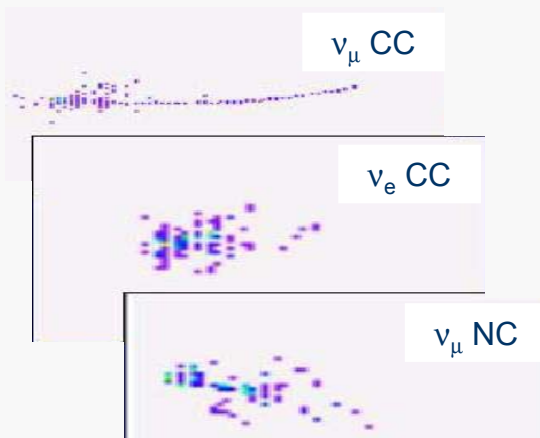
- Reprise de données fin 2002  $\rightarrow$  2004:
  - Statistique accrue par un facteur 2 d'ici 2004 ?

SuperK confirmé  
 $\Delta m^2 < 3 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$

# Oscillations de neutrinos auprès à MINOS

## Contexte expérimental

- Faisceau:
  - Composition: 98.7%  $\nu_\mu$  0.85%  $\nu_\mu$  0.5%  $\nu_e$
  - Energie :  $\langle E_\nu \rangle \sim 3 - 7 - 15$  GeV
  - Intensité :  $3.7 \times 10^{20}$  p.o.t. / an ( $\sim 2500$  CC)
- Détecteurs:
  - L(proche-lointain)= 732 km
  - $M_{\text{cible}} \sim 5.4$  kt & Tracking + calo in 1.5T

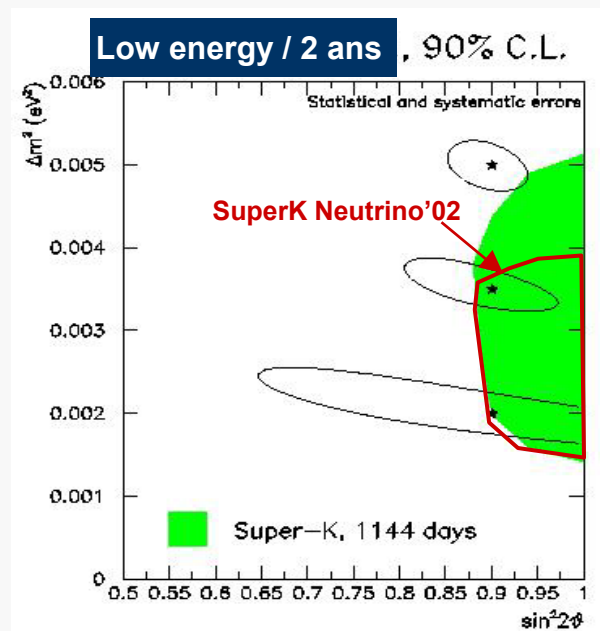


## Mesures de MINOS

- Disparition de  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ 
  - Distorsion du spectre  $E_\nu$
  - Rapport  $\nu_\mu$  CC /  $\nu_\mu$  NC
  - Couvre zone SuperK
- Oscillation  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$ 
  - Amélioration de CHOOZ ?

## Calendrier de MINOS

- Détecteurs lointain/proche prêts en 2003-2004
- Ligne faisceaux prête en DEC-2004



- Sensibilité:
  - $\Delta(\Delta m_{23}^2) \sim 5 - 10\%$
  - $\sin^2 2\theta_{23} \sim 0.1$
- Démarrage: 2005  
pour 2 ans

# Oscillations auprès de superfaisceaux

## Projet japonais: JHF

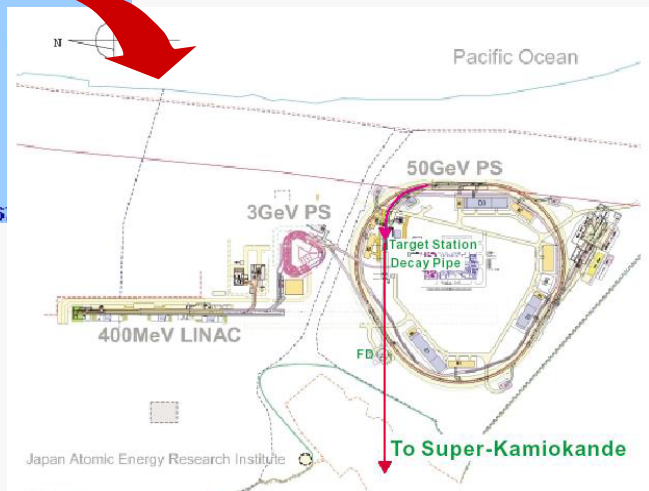
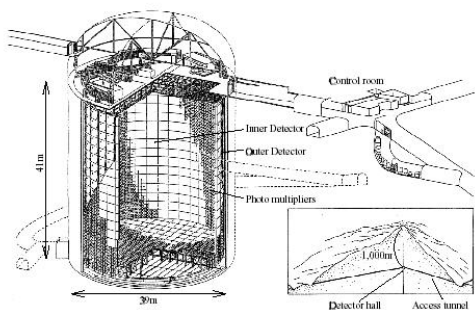
- Faisceau:
  - Composition:  $\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$  (0.2%  $\nu_e$ )
  - Intensité:  $10^{21}$  p.o.t. / an (Phase I: 0.77 MW & Phase II: 4MW)
  - Energie :  $0.4 \leq E_\nu \leq 1.0$  GeV
- Type de faisceaux :
  - Wide [WBB] : 2-horns focused beam
  - Narrow [NB] : 2 horns + DiPole focused beam
  - Off-Axis [OA]: far detector off-axis

## Détecteurs:

- Distance au détecteur:  $L = 295$  km
- Phase I: Super-K(50 kt  $H_2O$ )
- Phase II: Hyper K( 1Mt  $H_2O$ )



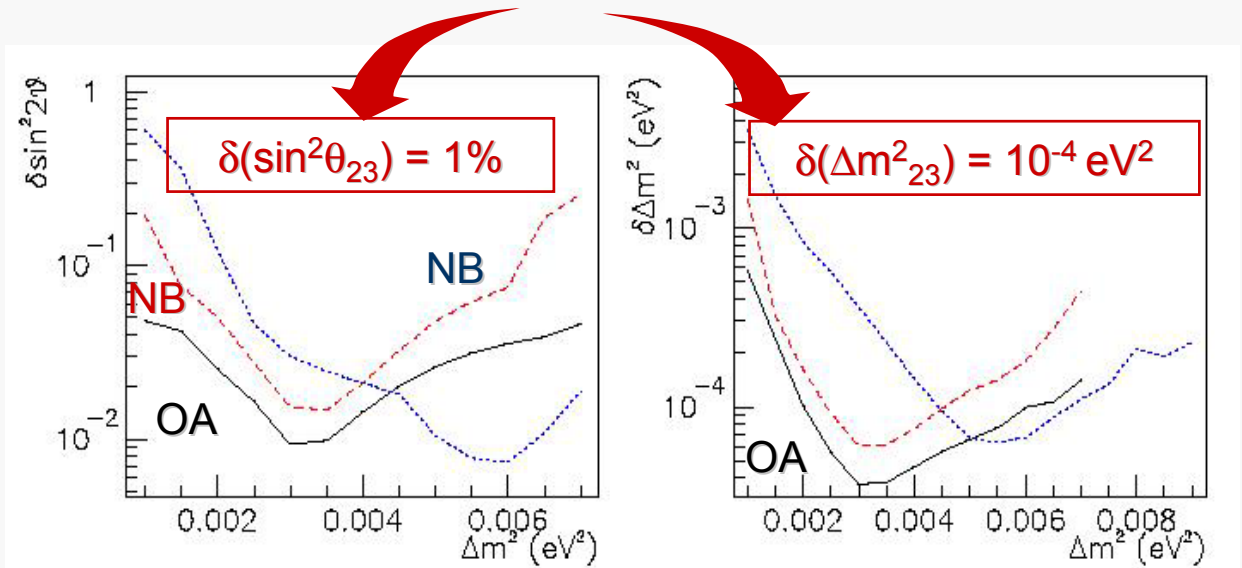
Phase I approuvée pour démarrage en 2007 pour 5 ans



# Oscillations auprès de SuperFaisceaux: JHF

## Physique @ Phase I (2007-2012):

- Sensibilité  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\mu$  oscillation (disparition)

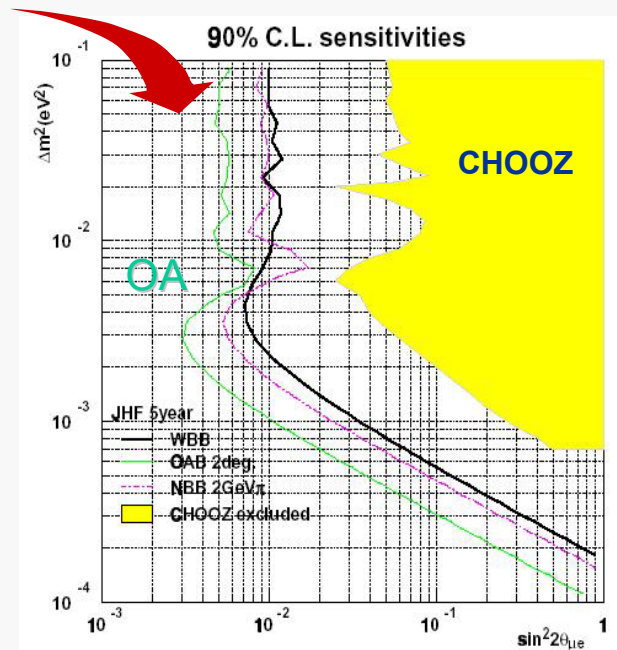


- Sensibilité  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$  oscillation (apparition)

$$\delta \sin^2 2\theta_{\mu e} \approx 0.5 \sin^2 \theta_{13} > 0.003$$

## Physique @ Phase II:

- $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$  oscillation
  - sensibilité  $< 10^{-3}$
- Mesure de la phase CP
  - sensibilité  $< 10^\circ - 20^\circ$
- Test du triangle d'unitarité



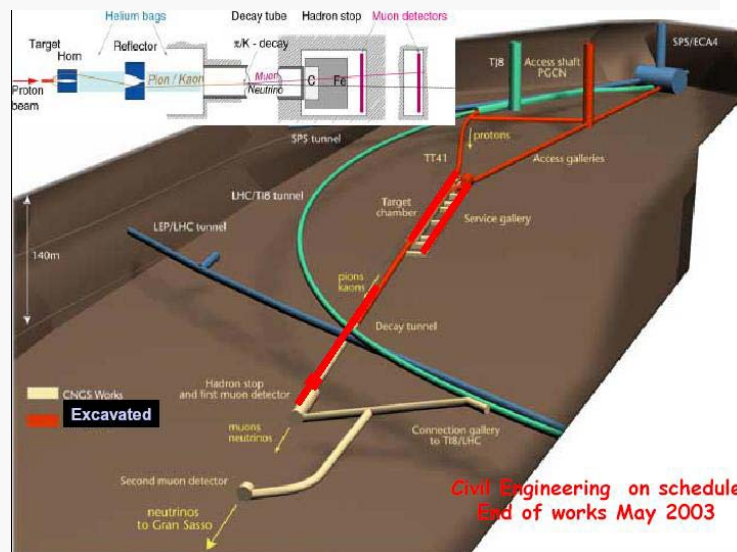
# Oscillations Neutrinos au CNGS: le faisceau

## Le Faisceau CNGS

### – Caractéristiques

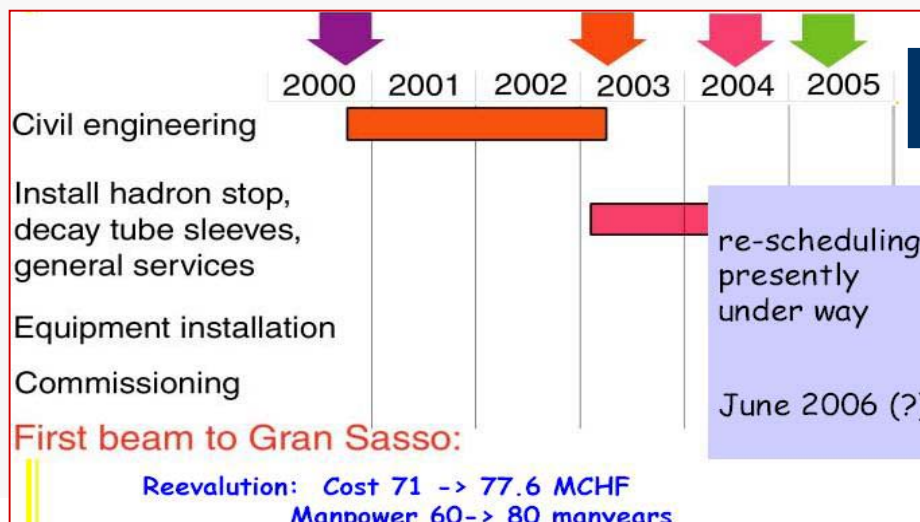
- Composition:  $97\% \nu_{\mu} + 2.1\% \bar{\nu}_{\mu} + 0.9\% \nu_e$ 's
- Energie :  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 17 \text{ GeV}$
- Intensité :  $4.5 \times 10^{19} \text{ p.o.t./an (2500 CC / kt /an)}$

- Intensité:  
Hausse envisageable de  
30-50% pour  $< 2 \text{ MCHF}$   
(R. Cappi et al.)



### – Calendrier:

- En cours de révision



Katsanevas  
@ Neutrino'02





# La collaboration OPERA

---

## **Belgium**

**IIHE(ULB-VUB) Brussels**

## **China**

**IHEP Beijing, Shandong**

~~**CERN**~~

## **Croatia**

**Zagreb**

## **France**

**Annecy, Lyon, Orsay, Strasbourg**

## **Germany**

**Berlin, Hagen, Hamburg, Münster, Rostock**

## **Israel**

**Technion Haifa**

## **Italy**

**Bari, Bologna, Frascati, Naples, Padova, Rome, Salerno**

## **Japan**

**Aichi, Toho, Kobe, Nagoya, Utsunomiya**

## **Switzerland**

**Bern, Neuchatel**

## **Turkey**

**METU Ankara**

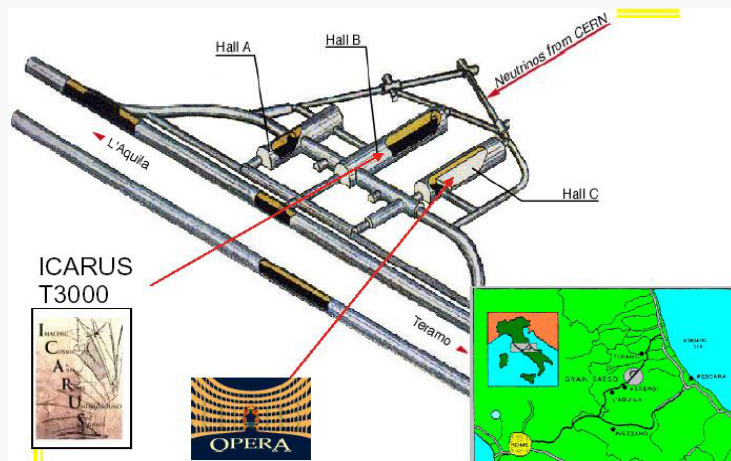
## **Russia:**

**ITEP Moscow, INR Moscow, JINR Dubna**

# Le détecteur OPERA

## Éléments nouveaux depuis 2001

- Actualisation du design du détecteur:
  - Validation de la technologie du tracker et de la DAQ
  - Validation des “changeable sheets” pour les briques
- Désengagement du CERN: secteurs touchés
  - Brick Assembly Machine BAM
  - Tracker: contrôle de fabrication, installation, calibration
- Attribution du Hall C au Gran Sasso
  - Nouvelles conditions d’assemblage & maintenance



## Conséquences

- Ré-actualisation du design
  - Passage de 3 à 2 Supermodules
  - Accroissement du Nb de plans de détection / Supermodule
- Ré-organisation de l’expérience
  - Redistribution des responsabilités (BAM etc...)
- Nouveau Calendrier
  - Retards dus au moratoire du CERN
- Adpatation à un faisceau de haute intensité
  - Utilisation des “changeable sheets”

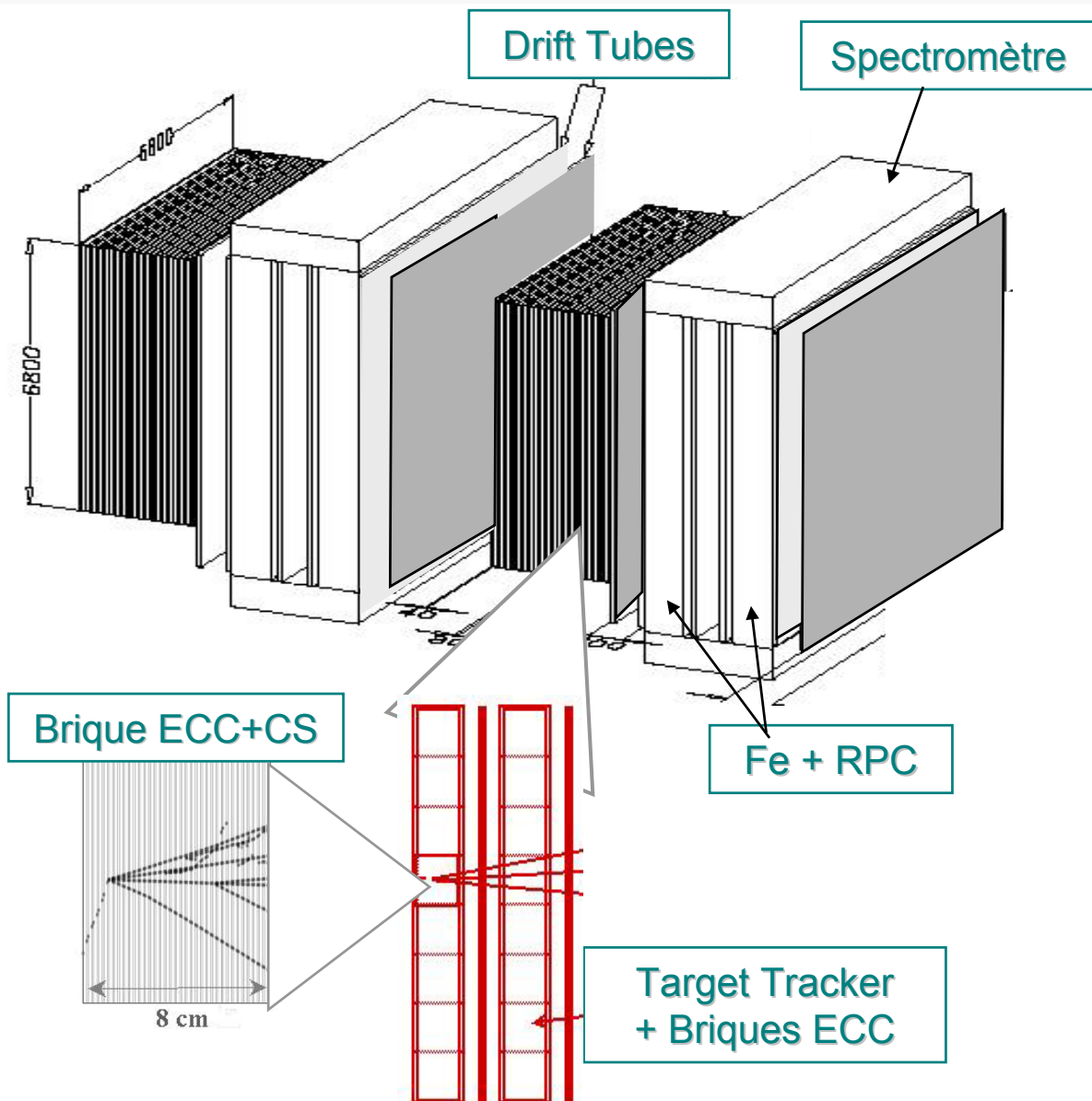


**OPERA prêt pour un démarrage en 2006**

# Le design d'OPERA

## Le Détecteur

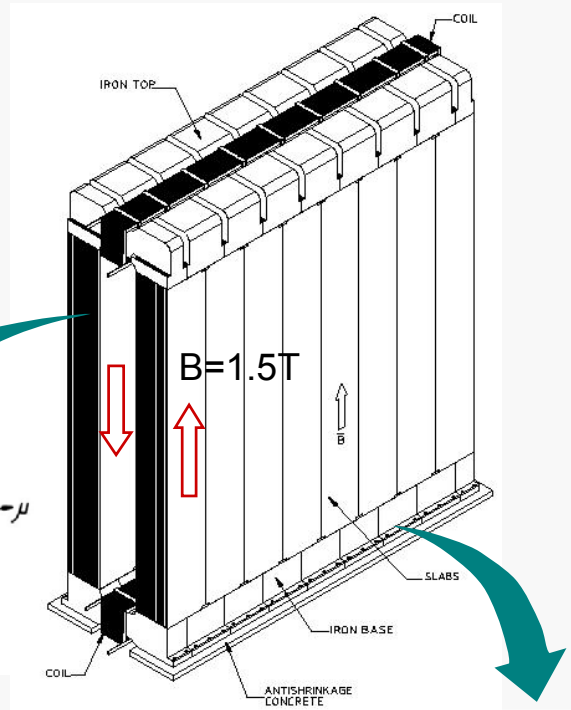
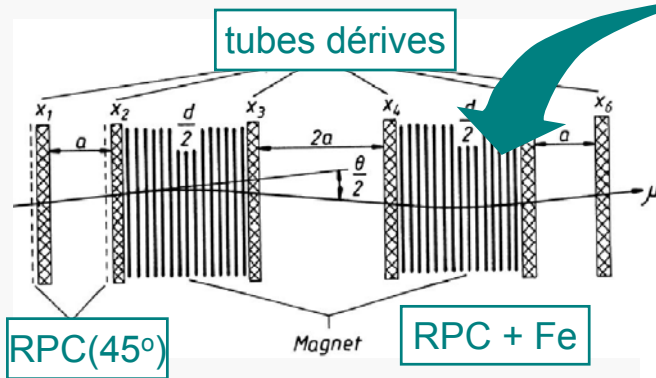
- 2 supermodules: 2 x 31 murs (brique+Tracker) + 1 spectro
  - Tracker: scintillateurs plastiques + fibres WLS
  - Cible : Briques émulsion ECC + CS
  - Spectro: aimant dipolaire + RPC's + Drift Tubes



# Spectromètre + Tracker

## Caractéristiques

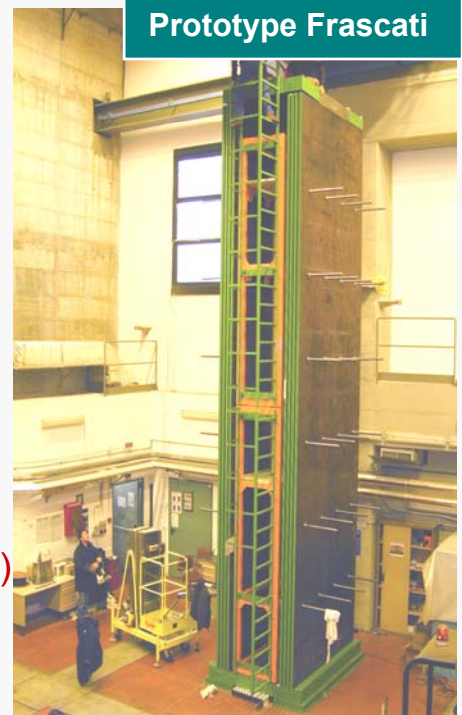
- Aimants dipolaires
  - 8.75 x 10.0 x 2.64 (m)
- Trackers RPC's
  - Inserés dans la paroi
  - 12 x (RPC + Fe - 50 mm)



- Trackers de précision
  - 6 plans Tubes à dérive + RPC(45°)

## Responsabilités & Statut

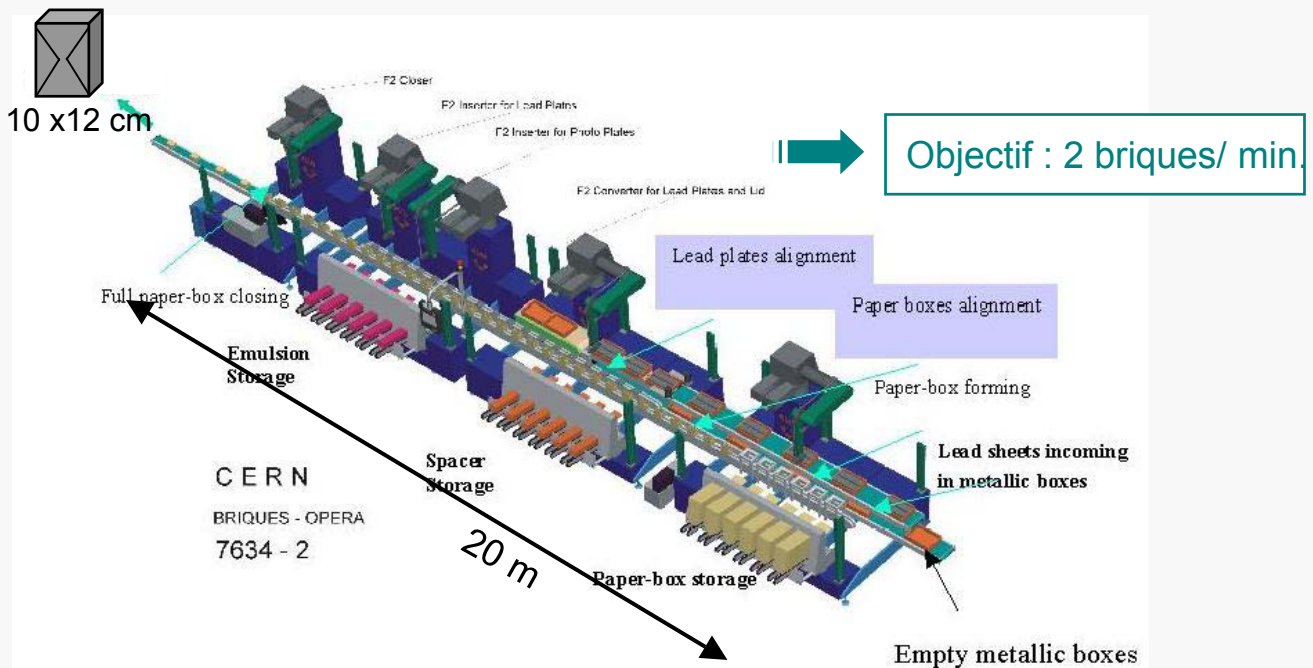
- Aimants (**Frascati**)
  - Prototype de 8.6 x 2.5 m
  - tests mécaniques + uniformité de B
- RPC's (**Naples, Frascati, Padoue**)
  - 2 couches de RPC (7mm)
  - Tests Poli.Tech en cours
- Tubes dérive (**Hambourg, Moscou, Hagen...**)
  - Design achevé, support en cours
  - Prototype achevé (2 x 1m) en test



# Production et assemblage des briques à émulsions

## Production

- Assemblage des briques: la BAM
  - 27 millions de (plaque Pb + film émulsion FUJI)
  - 206000 briques au total (+30000 en avance)



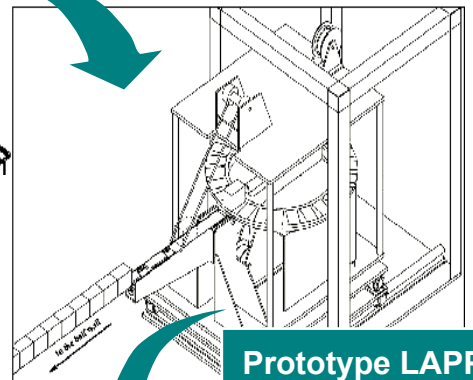
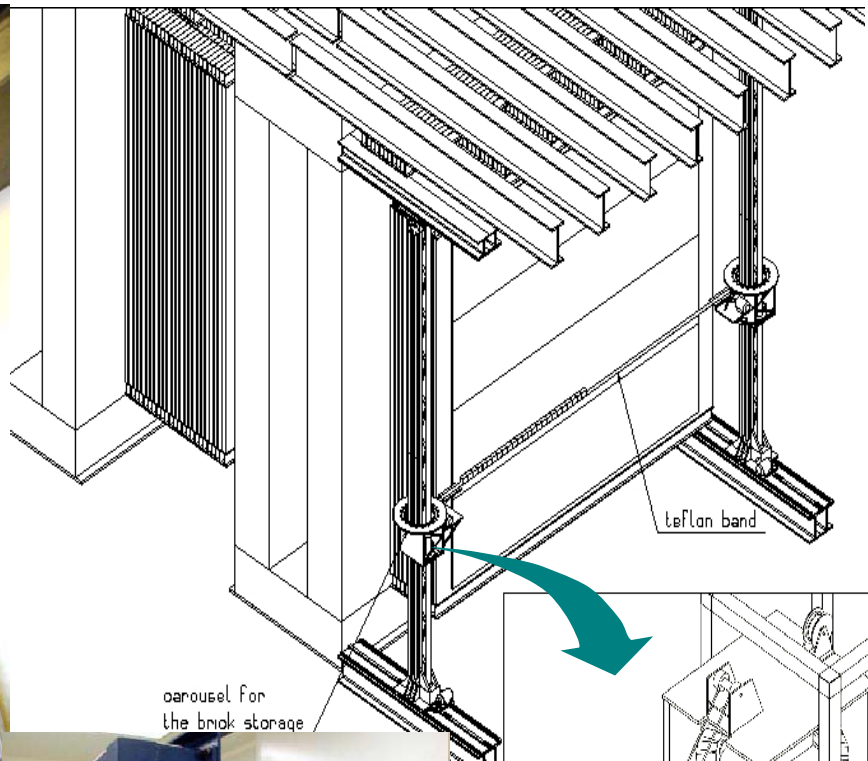
- Composants:
  - Emulsions: 36 t / Pb: 2000 t / Origami paper: 20000 m<sup>2</sup>

## Responsabilités & Statut

- Production des émulsions (Nagoya)
  - Tests faisceaux en 2002 (CERN)
  - Démarrage en 2003
- La BAM (Frascati, Nagoya, Naples)
  - Transfert majeur du CERN à Frascati
- Feuilles Plomb (Munich + Fonds communs)

← retrait du CERN

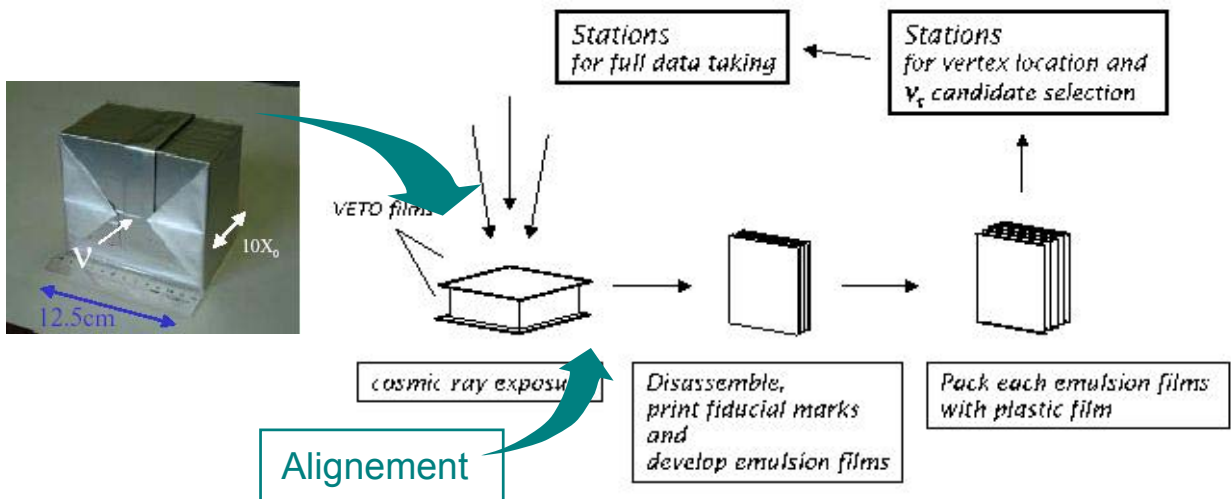
# Structure et manipulation des briques



## Responsabilités & statut

- Structures (**Frascati**)
  - Prototype partiel réalisé (8m x..)
- Manipulateur (**LAPP**)
  - Bras + carousel réalisés
  - Tests de prototypes en cours au LAPP

# Stations de scanning



Station @ Lyon



Stations @ Nagoya



Table de scan:

- Camera CCD
- Système d'Acquisition
- Monitoring (température, humidité)

## Responsabilités & statut

- Stations de scanning (Nagoya + Italie, Bern, Lyon, Munich)
  - Performances présentes: 10 cm<sup>2</sup>/ h / couche
  - Nouvelles stations en cours de tests et d'installation

# Les Changeable Sheets

## Caractéristiques

- Fonction:
  - 2 films amovibles/surface de brique
  - Remplace les Films "Veto" et Special Sheet (2+2 couches)
  - Non exposés aux cosmics
- Utilisation:
  - Initiation de la recherche de vertex: si recherche négative alors la brique n'est pas scannée

## Intérêts

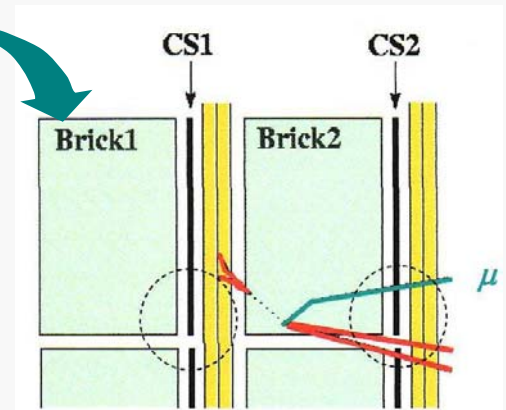
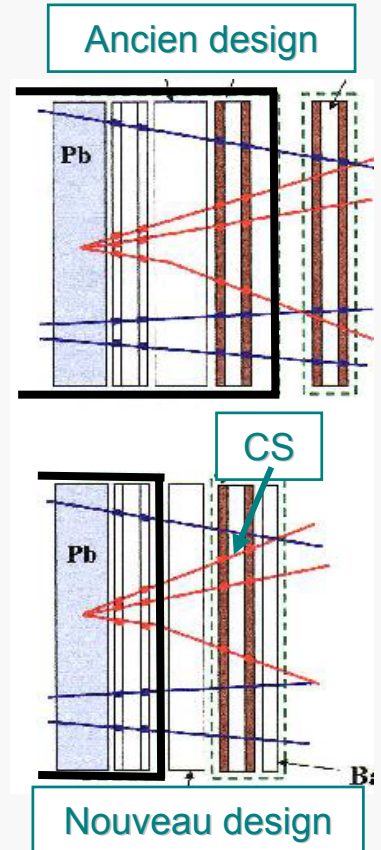
- Réduction par 2 de la charge de scanning
- Technique déjà connue (CHORUS)
- Efficacité de sélection
  - Amélioration de la détection de la brique à scanner ?



Adapté à un faisceau de haute intensité

## Responsabilités & Statut

- Production (Nagoya)
- Scan & Analyse (Europe)



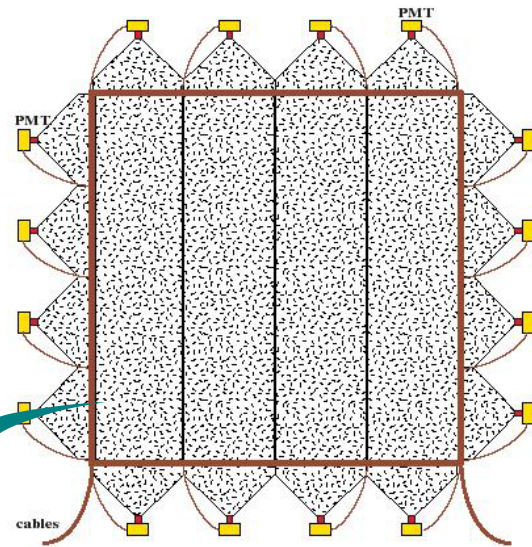
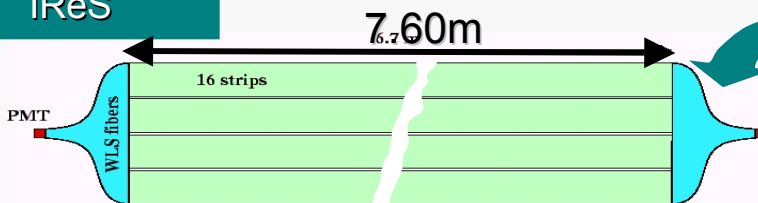


# Le Target Tracker

## Caractéristiques

- Choix des scintillateurs plastique + fibre WLS (DEC-2001)
- Géométrie:
  - Plan XY: 4×4 barreaux × 64 canaux
  - Total (62 plans): 63,488 canaux
  - Dimension: 670 x 2.6 x 1.1 (cm)
  - Etalonnage:
    - spectromètre électron
    - avant installation

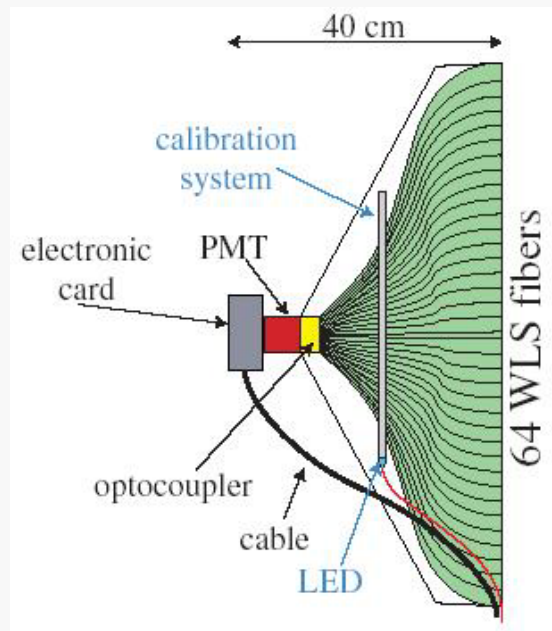
Project Leader:  
IReS



- Système d'Acquisition:
  - PMT's multi-anode (64)
  - Carte "analogue" FE:
    - chip uniformiseur de gains
    - chip autodéclenchant
  - Carte "digitale" DAQ:
    - ADC + FPGA
    - Controleur Ethernet
    - Circuit pour LED (injection UV pour monitoring)

Bern +  
LAL

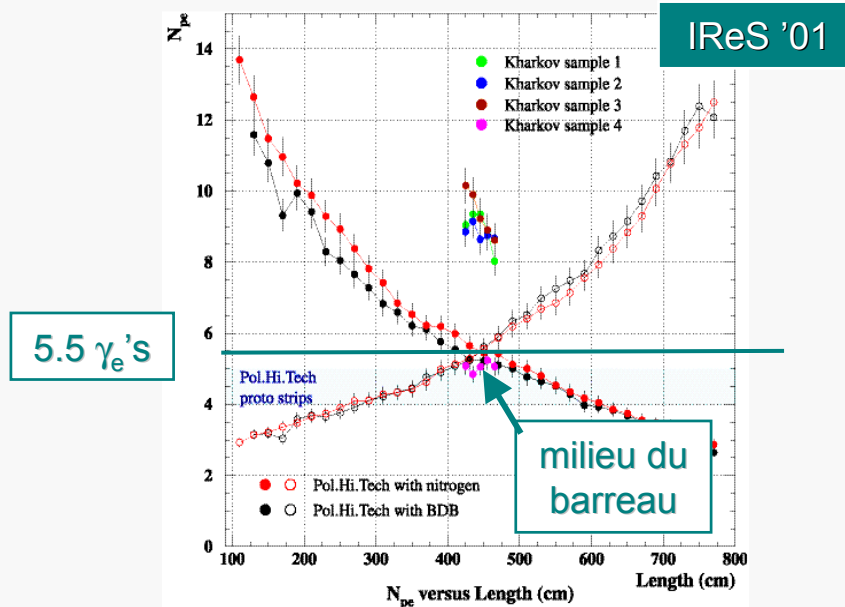
DAQ Lyon



# Le Target Tracker (2)

## Responsabilités & Statut

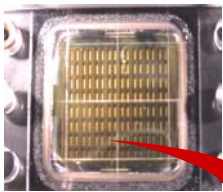
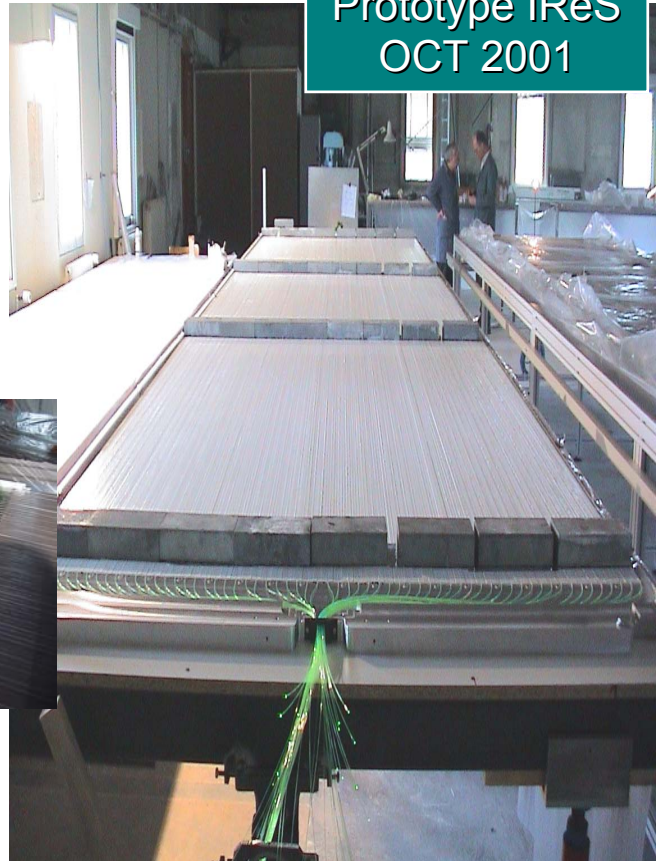
- Barreaux scintillateurs (IReS, Bern, Bruxelles)
  - Tests d'un prototype complet
  - Mesures du signal: 1 MIP = 2 x 5.5  $\gamma_e$ . (milieu)
  - Définition de la gamme dynamique: [1-1000]  $\gamma_e$



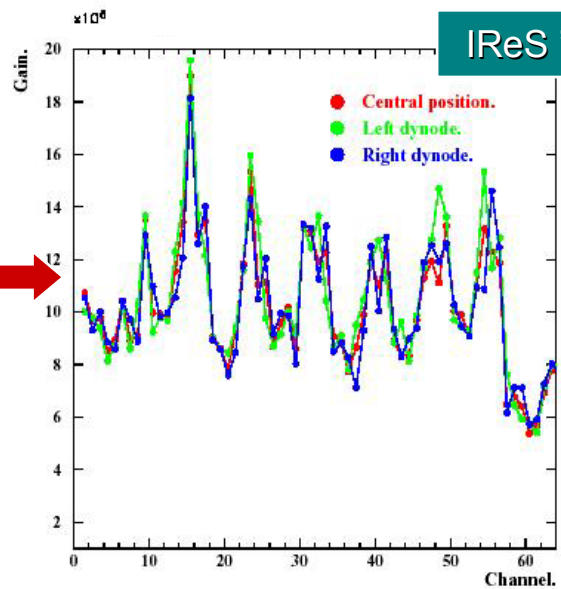
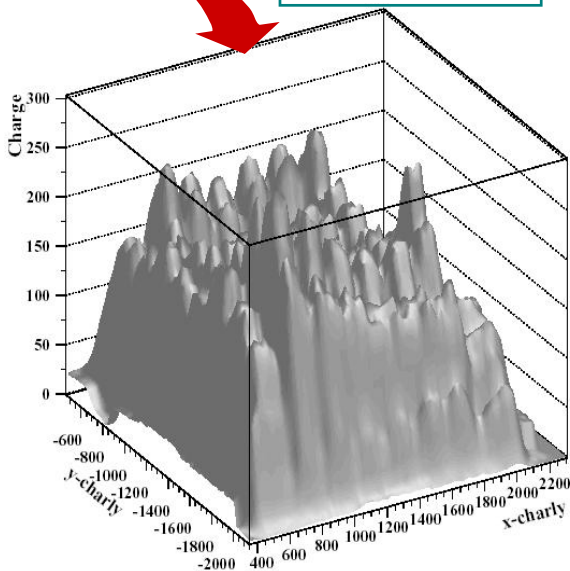
- PMTs (IReS, Bern, Bruxelles, Lyon)
  - Mesures Gains & Uniformités de 1-3, cross-talks ...
- Electronique d'acquisition (Bern, Bruxelles, LAL, Lyon)
  - Design & tests de chip FE en cours
  - Design & tests de carte analogique en cours
  - Design Carte digitale en cours

# Le Target Tracker (3)

Prototype IReS  
OCT 2001



Gain vs X-Y



# Electronique Front End au LAL

## Développement au LAL

Design d'un Chip 32-voies complet

- Technologie: AMS 0.8  $\mu\text{m}$  BiCMOS
- Fonctions: 32 inputs + 1 sortie trigger + 1 sortie multiplexée

Caractéristiques:

- Pré-amplificateur à gain variable:
  - gamme 1-3 (ajustable)
  - résolution: 4 bits (1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ )
- Fast Shaper pour auto-déclenchement
  - $t_p = 10$  ns,  $G \sim 20$
- Slow Shaper: mesure de charge
  - $t_p = 120$  ns,  $G \sim 1$
- Track & Hold
  - sortie multiplexée
- Temps de lecture:
  - $32 \times 200$  ns = 6.4  $\mu\text{s}$
- Surface du chip :
  - 10 mm<sup>2</sup>

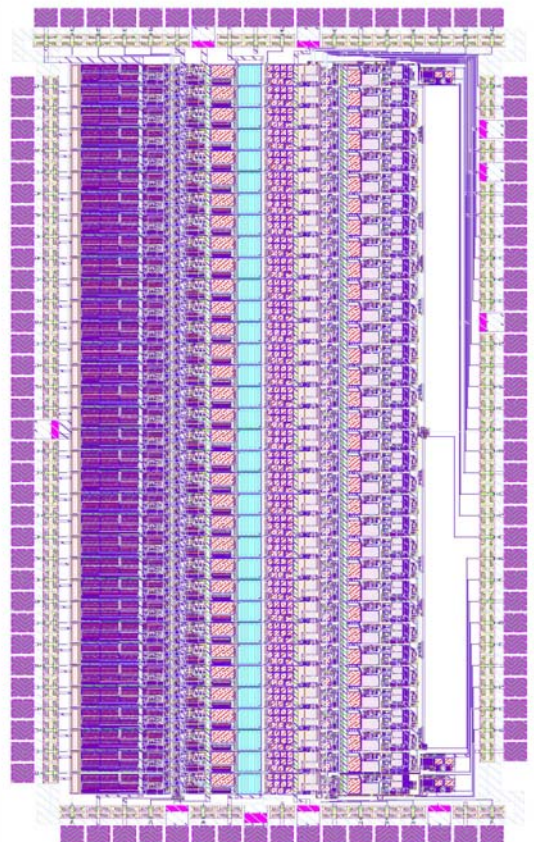


Soumis en FEV-02  
Réception le 17 JUIN-02

Si les tests sont OK:

- Soumission du chip final fin 2002
- Reception & tests finaux fin 2003

C. DeLaTaille  
G. Martin-Chassard  
L. Raux



# Banc Test au LAL

## Test de l'électronique FE

- Chaîne d'acquisition au LAL
  - PM + Fibre + Oscillo
  - Carte de test de Bern à venir

Bern a la responsabilité de l'électronique FE (incluant chip LAL)

## Montage expérimental

- Système lumière
- PMT + Table X-Y
- Acquisition Labview

J.E. Campagne  
A. Lucotte  
Merci à:  
Bernard JEAN-MARIE

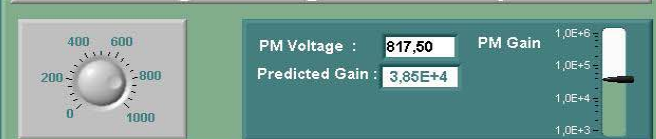


### PM position Setup



Select / scan a pixel

### High Voltage PM Setup

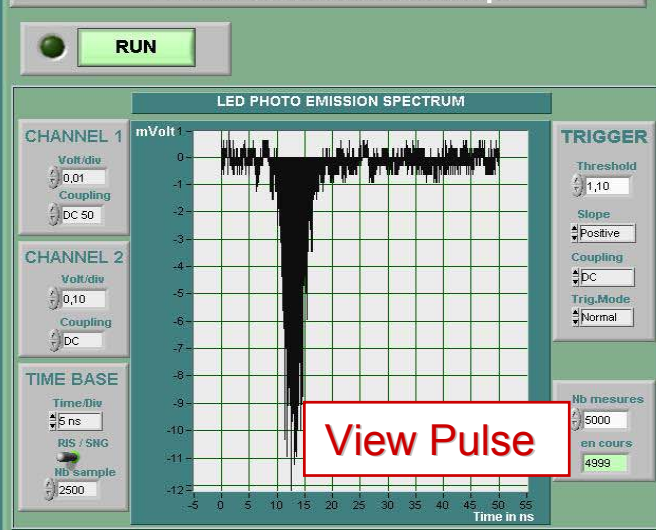


### Pulse Measurement

RECORD

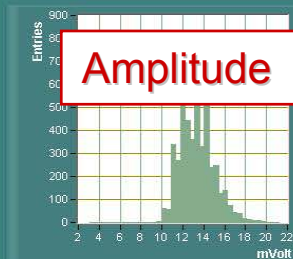
Online - analysis:

### DAQ Parameters Setup

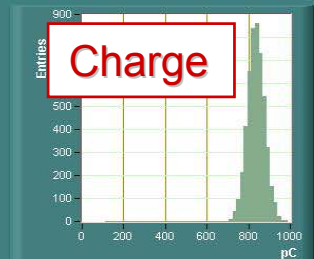


View Pulse

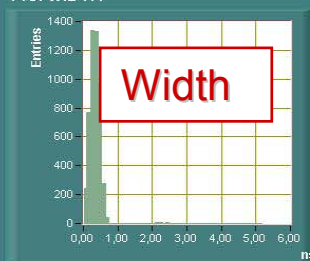
### FIG. AMPLITUDE



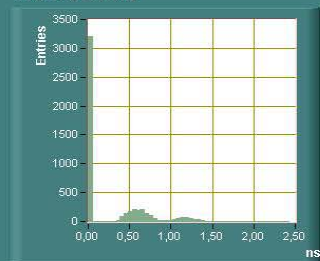
### FIG. CHARGE



### FIG. WIDTH



### FIG. RISE TIME



# Montage Expérimental au LAL

Pulseur diode (Saclay):

- 1kHz
- 2 ns width

Merci à:  
Bernard DEBENNEROT  
Patrick FAVRE  
Gérard GUILHEM

fibres claires

PM H7546

Output  
32(64)-canaux

Support PM  
+ Table XY

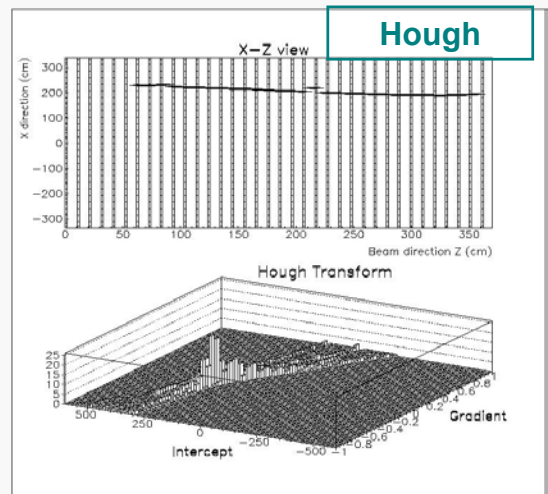
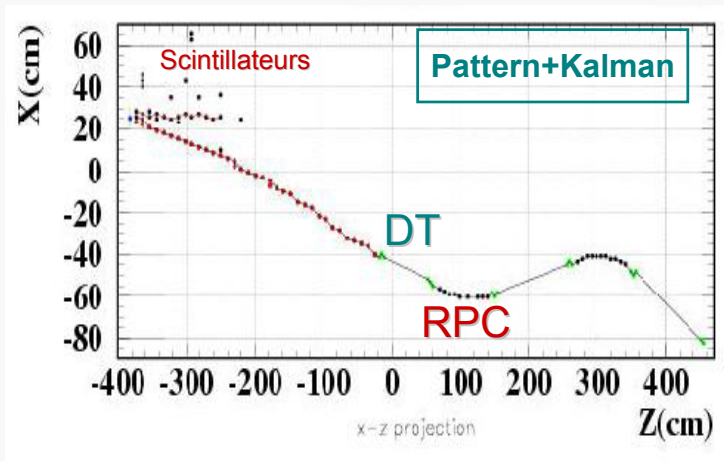
Translateurs

# Développements Software: reconstruction des traces

J. Boucrot  
J.E. Campagne  
A. Cazes  
A. Lucotte

## Motivations:

- Localisation de la brique à analyser:
  - Reconstruction du muon dans les modes (CC,  $\tau \rightarrow \mu$ )
- Identification du muon
  - Corrélation émulsion & traces:  $p^{\text{ECC}}$  vs  $p^{\text{trace}}$  (TT+spectro)
- Pointage et «  $\mu$ -matching » avec une trace dans les émulsions
  - Séparation  $\mu/\pi$  par dEdx dans les émulsions (bdf charme)
  - Bruit de fond dans le canal  $\tau \rightarrow \mu$  (long decay)



## Algorithmes

- Pattern + filtre Kalman
  - Liste de traces 2D en XZ et YZ
  - Forme les traces 3D & fit avec filtre Kalman
  - Amélioration de localisation de la brique: de ~70 à ~80%
  - Etude en cours pour inclure Drift Tubes + RPC
- Transformation de Hough
  - Liste de traces 2D en XZ, YZ
  - Directions privilégiées pour localiser la brique
  - Classifications des evts ( $\nu_\mu$  CC vs  $\nu_\mu$  NC..)

J.E. Campagne  
A. Cazes

A. Lucotte

# Activités Software (2)

## Management

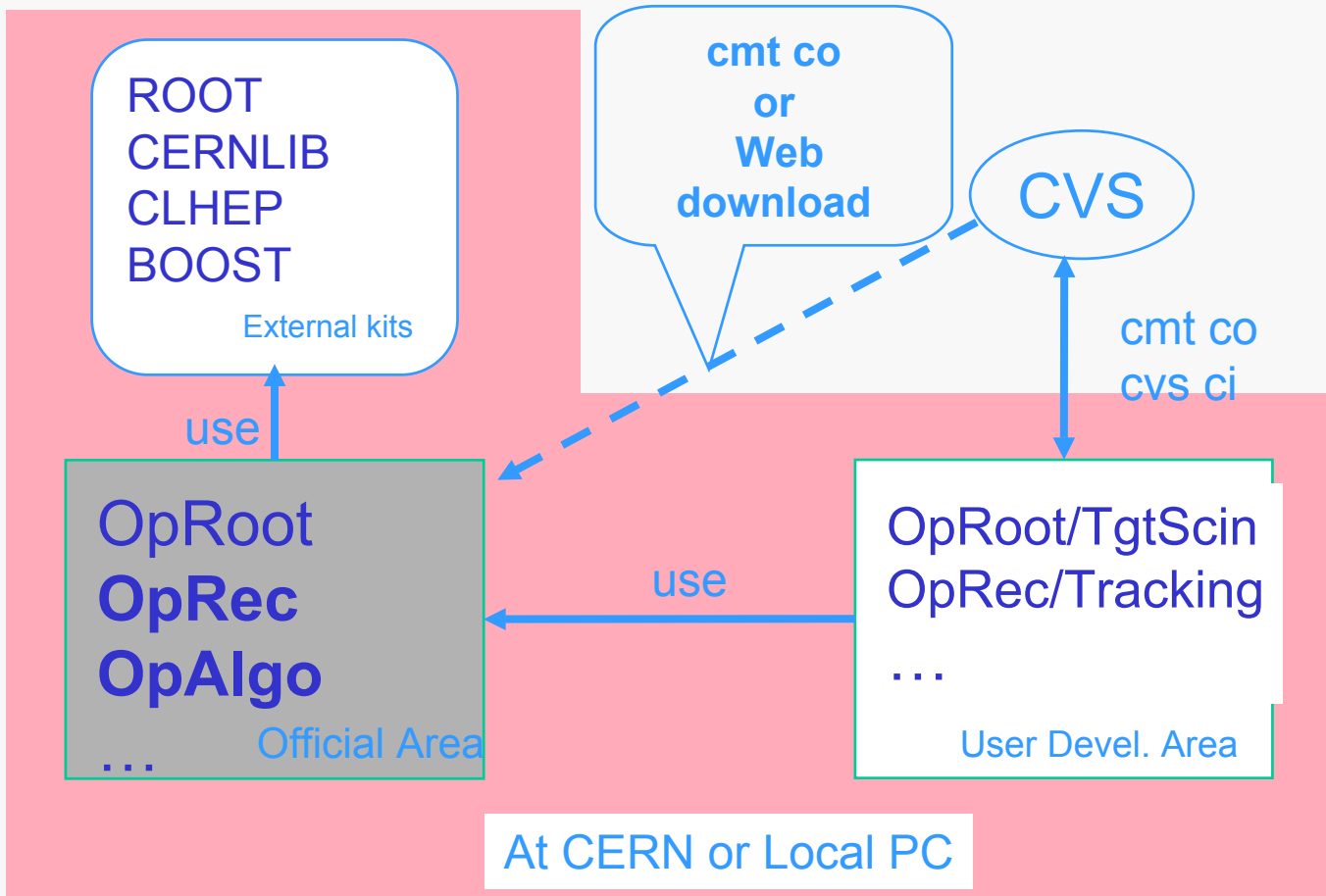
J.E. Campagne

- Gestion du code d'OPERA sous CMT
- Livraison de releases officielles

## Responsabilités

J. Boucrot

- Coordinateur software pour OPERA: **J. Boucrot**
- Responsabilité dans la reconstruction des traces chargées: **JE Campagne**
- Responsabilité d'un utilitaire rendant les algorithmes physiques indépendant du mode de stockage des données: **JE Campagne**





# Performances attendues

## Mesures d'OPERA

- Signal + Fonds re-estimés
  - Nouveau résultats de SuperK
- Sensibilité
  - Proposal vs nouvelle estimation

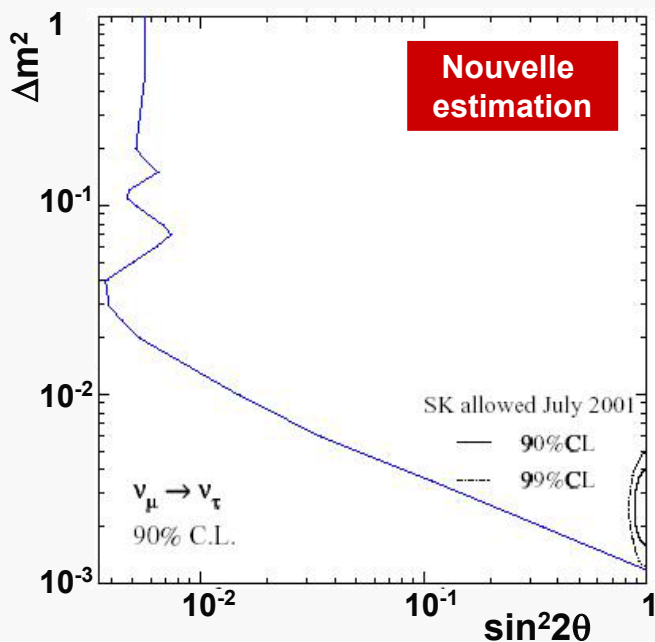
CNGS x 1 :  $4.50 \times 10^{19}$  pot / an sur 5 ans

CNGS x 1.5 :  $6.75 \times 10^{19}$  pot / an sur 5 ans (amélioration faisceau)

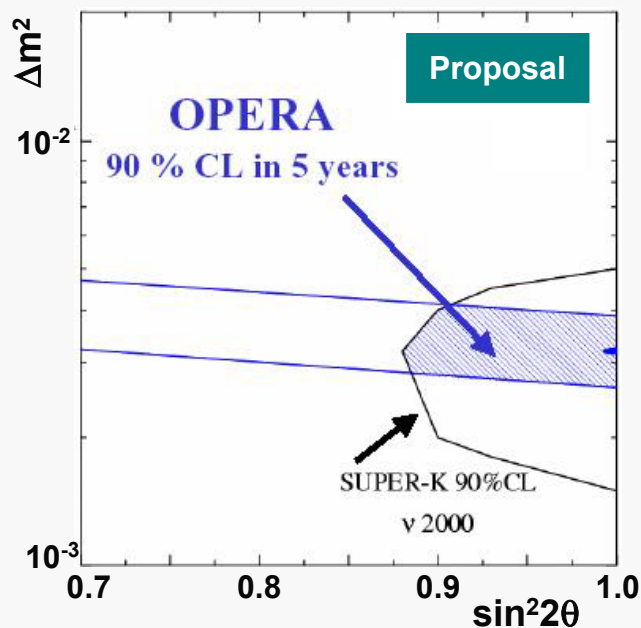
		SIGNAL $\Delta m^2$ (eV <sup>2</sup> )			BDF
		$1.6 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$	
Proposal	CNGS x 1	4.9	11.8	30.0	0.75
	CNGS x 1	4.3	10.3	26.3	0.65
Nouvelle estimation	(CNGS x1.5)	(6.4)	(15.5)	(39.4)	(0.97)

SuperK'2002

- Sensibilité:



- Mesure de  $\Delta m^2$ :



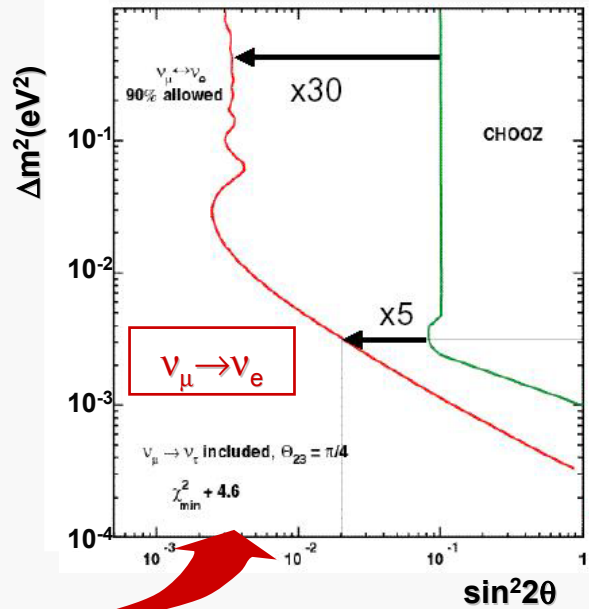
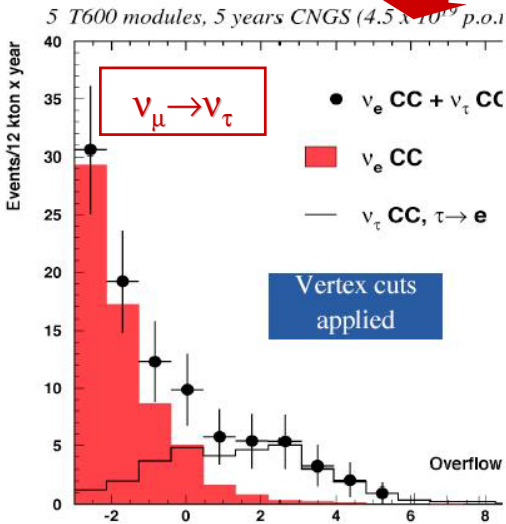
# Comparaison avec ICARUS

## Mesures Physiques

- Oscillations  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ 
  - Apparition dans canal  $\tau \rightarrow e$

même sensibilité qu' OPERA

$\tau$ decay mode	Signal $\Delta m^2 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	Signal $\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	Signal $\Delta m^2 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	Signal $\Delta m^2 = 4.0 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	BG
$\tau \rightarrow e$	3.7	9	13	23	0.7
$\tau \rightarrow \rho$ DIS	0.6	1.5	2.2	3.9	< 0.1
$\tau \rightarrow \rho$ QE	0.6	1.4	2.0	3.6	< 0.1
<b>Total</b>	<b>4.9</b>	<b>11.9</b>	<b>17.2</b>	<b>30.5</b>	<b>0.7</b>



- Oscillations  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$ 
  - Zone d'exclusion CHOOZ améliorée  $\rightarrow \Delta m^2 \sim 3 \times 10^{-4} \text{ eV}^2$

## Calendrier

- Prototype T300 en fonctionnement
- Détecteur T600 prévu en 2003 au Gran Sasso
- 5 modules prévus pour 2006 (T3000)



# Conclusions & perspectives

## Statut de l'expérience

- Le retrait du CERN et l'attribution par le Gran Sasso du Hall C ont eu un **impact négatif** sur le design & calendrier
- Reconsidération des objectifs basés sur:
  - Contraintes sur le coût
  - Conservation des principes du détecteur
  - Maintien de la 'même sensibilité' au signal

## Design et calendrier du détecteur

- Validation du design:
  - Choix de 2 Supermodules de 31 murs de détection
  - Validation du Target Tracker, de la DAQ, des CS
  - Réduction de la M(cible) de 12.5%
- Calendrier:
  - Démarrage de la production des Scintillateurs: 2003 -
  - Production des émulsions / FUJI : 2003-2004
  - Assemblage des briques : 2004 –

## Performances attendues

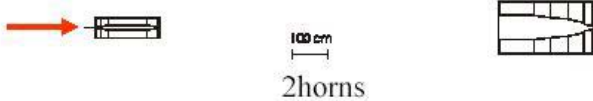
- Sensibilité dans la configuration présente:
  - Oscillations  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$  :  $\sim 10$  evts pour  $\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3}$  en 5 ans
  - Oscillations  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$  : études en cours
- Le contexte neutrinos sera concurrentiel en 2006
  - Importance du démarrage en 2006



- OPERA devrait être prêt pour un démarrage en 2006
- OPERA est adapté à l'éventualité d'une hausse de l'intensité faisceau

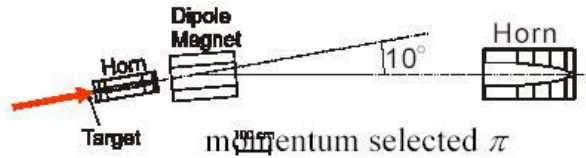
# Superfaisceaux: les options

## Wide Band Beam



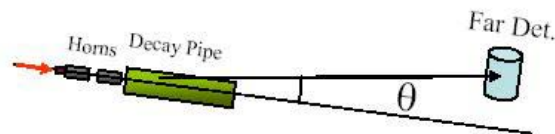
- ◇ Intense
- ◇ Wide sensitivity in  $\Delta m^2$
- ◇ BG from HE tail
- ◇ Syst. err from spectrum extrapolation

## Narrow Band Beam



- ◇ Less HE tail
- ◇ Less sys err from spectrum "counting experiment"
- ◇ Easy to tune  $E_\nu$

## Off-Axis beam



- ◇ High int. narrow band beam
- ◇ More HE tail than NBB
- ◇ Hard to tune  $E_\nu$

## Number of CC events per Option

