



# La physique des neutrinos

## APC - SPP

Journée thématique APC-SPP  
14 Avril 2010

Alessandra Tonazzo

# Les neutrinos

Dans le Modèle Standard des interactions électrofaibles:

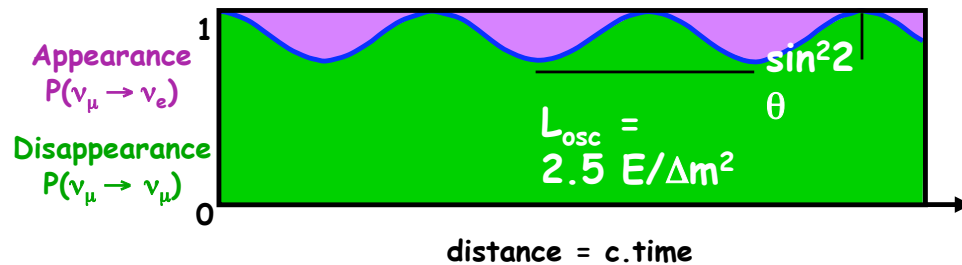
3 saveurs  $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$   $q=0, m=0$

- Sensibles uniquement aux interactions faibles => messagers de leurs sources (cfr A.Kouchner)
- Leurs propriétés  $\Leftrightarrow$  théorie
  - masse ?
  - nature ? (sont-ils égaux à leurs antiparticules ?)
  - violation de la symétrie CP dans le secteur leptonique ?  
(=> asymétrie matière-antimatière dans l'Univers – cfr J.Serrau)

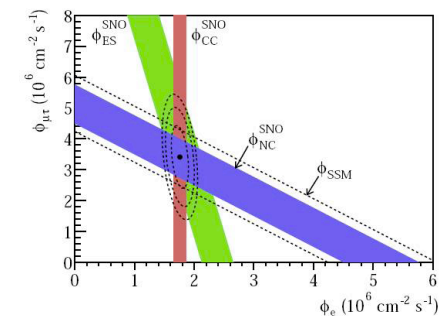
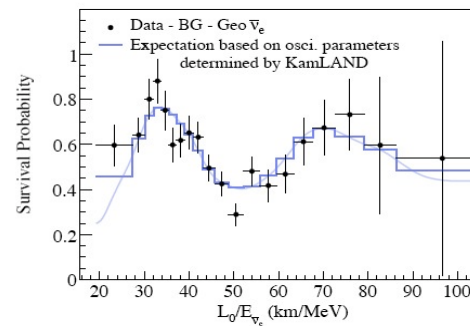
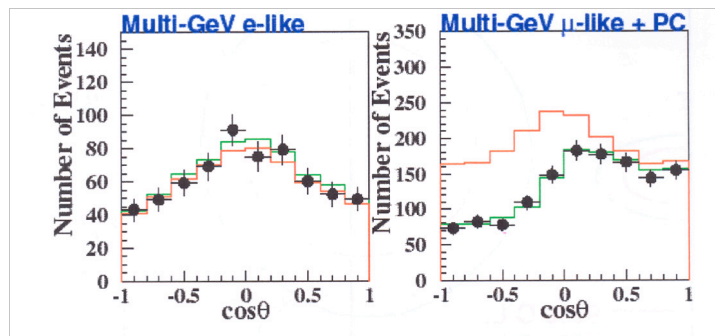
# Les neutrinos et leur masse

Rien n'impose aux états propose de saveur d'être états propres de masse  
(ou de la propagation)

Oscillations de saveur  $\Leftrightarrow$  Masse



$$P(\nu_i \rightarrow \nu_j) = \sin^2(2\theta) \cdot \sin^2\left(\pi \frac{\Delta m^2 (eV^2) \cdot L(m)}{2.5 \cdot E_\nu (MeV)}\right)$$



**Depuis 1998: évidence expérimentale des oscillations**  
 **$\Rightarrow$  les neutrinos ont une masse !**  
 (la seule évidence de physique au delà du Modèle Standard)

# Les paramètres des oscillations

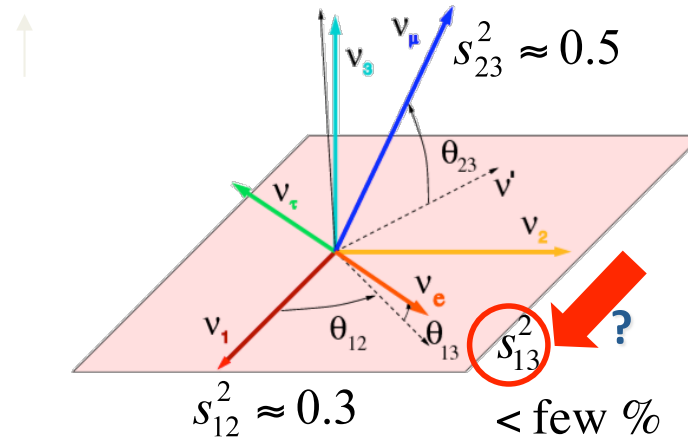
Neutrinos atmosphériques + faisceaux:

$$\theta_{23} \sim 45^\circ, \Delta m_{23}^2 \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

Neutrinos solaires + réacteurs:

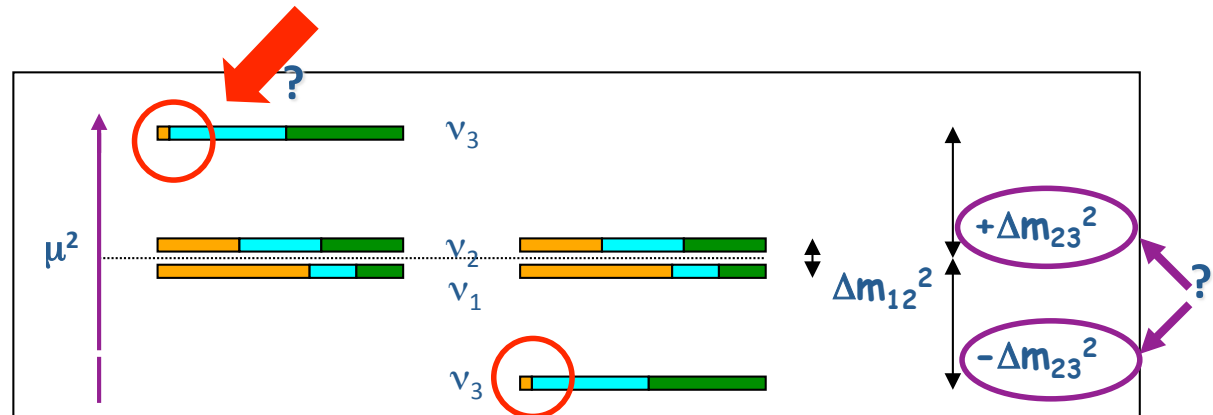
$$\theta_{12} \sim 33^\circ, \Delta m_{12}^2 \sim 7 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

CHOOZ:  $\theta_{13} < 10^\circ$



Questions ouvertes:

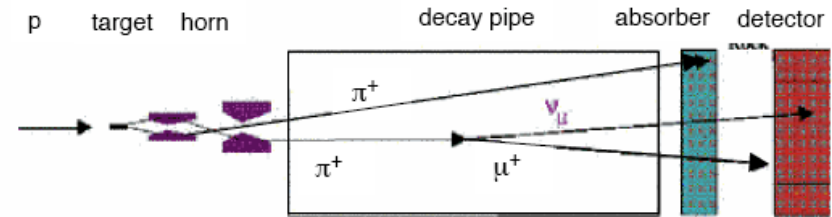
- $\theta_{13} \neq 0$  ?
- $\delta_{CP} \neq 0$  ?
- $\text{sign}(\Delta m)$  ?



# Vers $\theta_{13}$ ...

- Measurement with **high energy beams**
  - Appearance experiments:

$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e)$  depends on  $\theta_{23}$ ,  $\text{sign}(\Delta m^2_{23})$ ,  $\delta\text{-CP}$

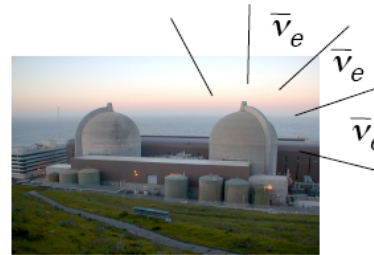


- Measurement with **reactors**

- $\langle E_\nu \rangle \sim \text{few MeV} \Rightarrow$  Disappearance experiments

$P(\nu_e \rightarrow \nu_e)$  independent of  $\delta\text{-CP}$ , Weak dependence on  $\Delta m^2_{23}$

- $O(\text{MeV})$  + small distances  $\Rightarrow$  Matter effects negligible  $\Rightarrow$  measurement independent of  $\text{sign}(\Delta m^2_{23})$



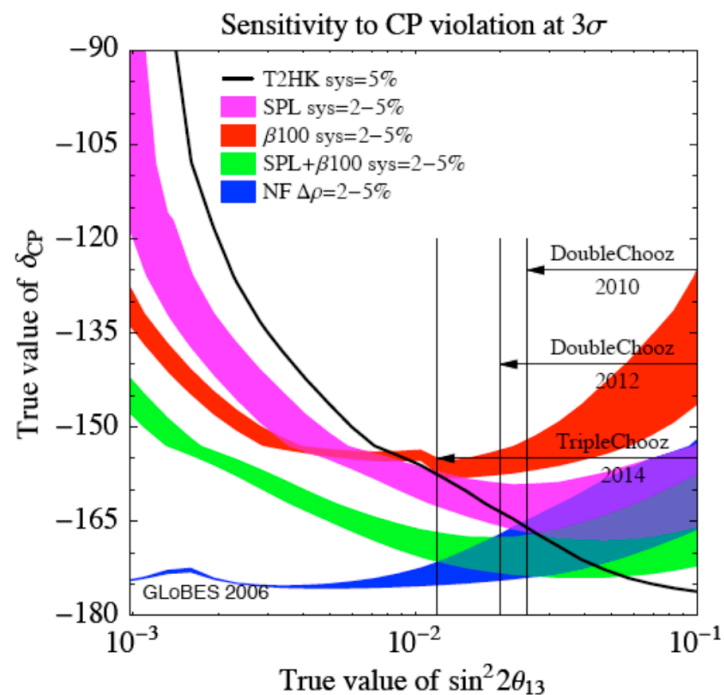
➡ The two approaches are complementary

# ...et $\delta_{CP}$

## Faisceaux de neutrinos

- ➔ traditionnels de très haute intensité (**SuperBeams**)
- ➔ de nouvelle conception: composition pure et exactement connue (**BetaBeam, Neutrino Factory**)

## Quelle stratégie ?



$\sin^2(2\theta_{13}) > \sim 10^{-1} \Rightarrow$  détecteur de grande taille avec faisceau traditionnel

$\sin^2(2\theta_{13}) > \sim 10^{-2-3} \Rightarrow$  détecteur de grande taille avec faisceau de nouvelle conception + synergie avec faisceau traditionnel

$\sin^2(2\theta_{13}) > \sim 10^{-4} \Rightarrow$  Neutrino Factory

$\sin^2(2\theta_{13}) \ll 10^{-4} \Rightarrow \delta_{CP}$  non mesurable par les oscillations des neutrinos  
( $\rightarrow$  nouvelle symétrie du secteur leptonique ?)

# Le futur proche et lointain à APC et SPP

$\theta_{13}$  2010-2013

- Double Chooz
- T2K

$\theta_{13}$  et  $\delta_{CP}$  >2013?

- LAGUNA, EUROnu

Les neutrinos en tant que messagers

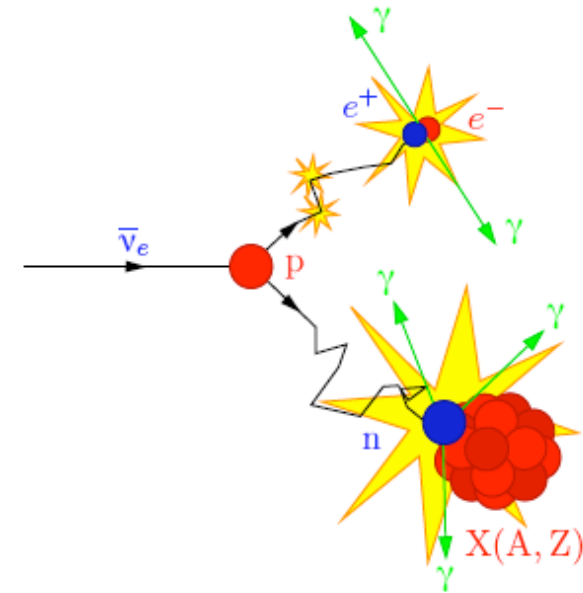
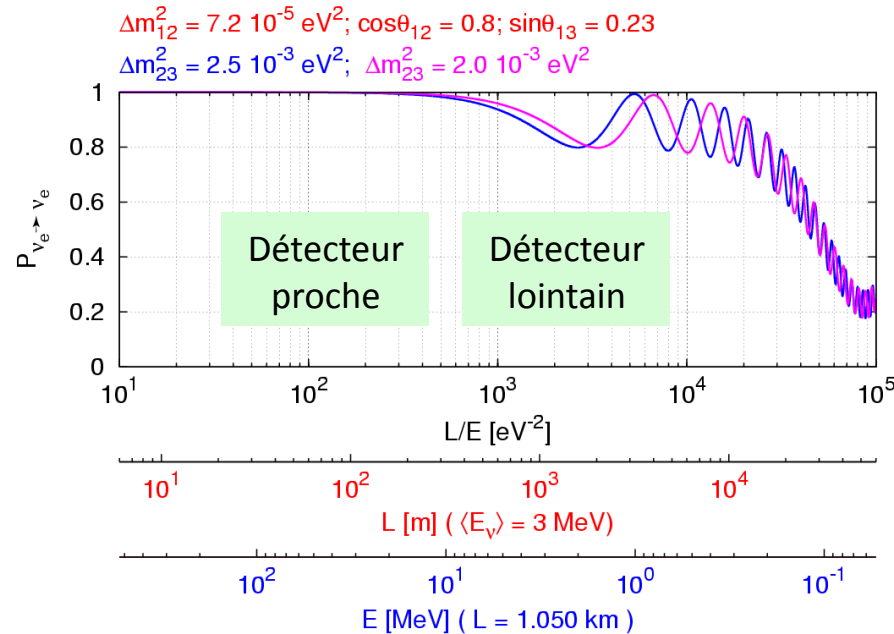
- Nucifer
- Borexino

# Double Chooz

APC+SPP: rôle phare dans la conception et la réalisation

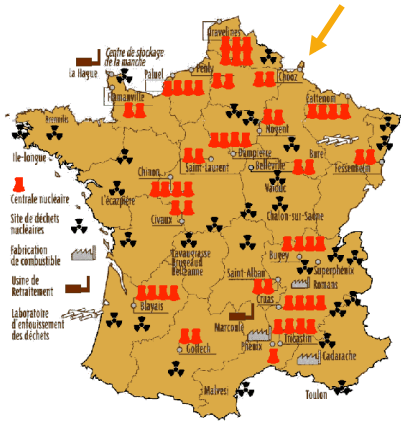
- Lancement: Thierry + Hervé et al.
- Guillaume Mention: thèse APC, chercheur CEA
- Tarek Akiri et Vincent Durand: thèses cofinancées CNRS-CEA

Petit rappel:

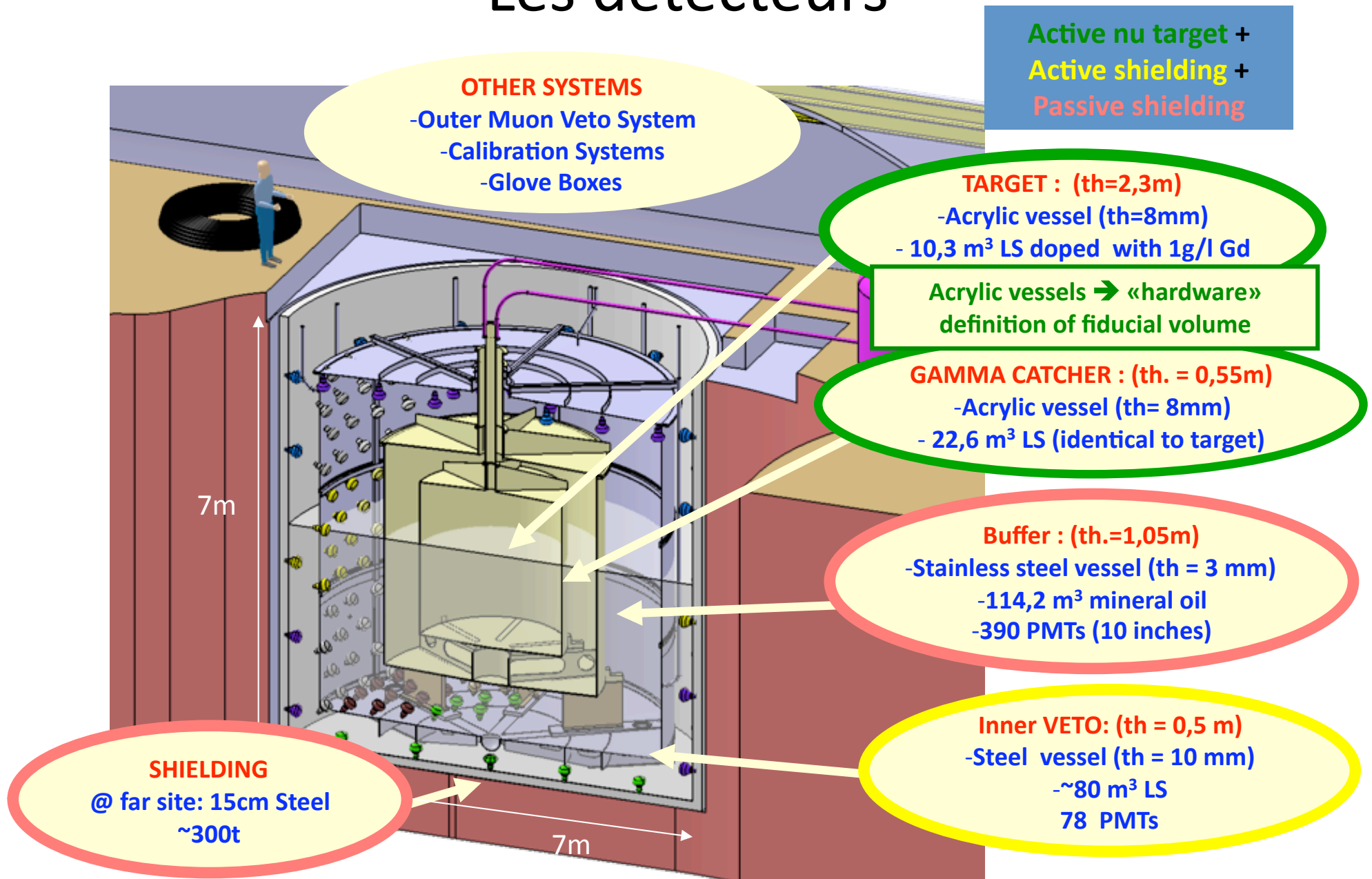


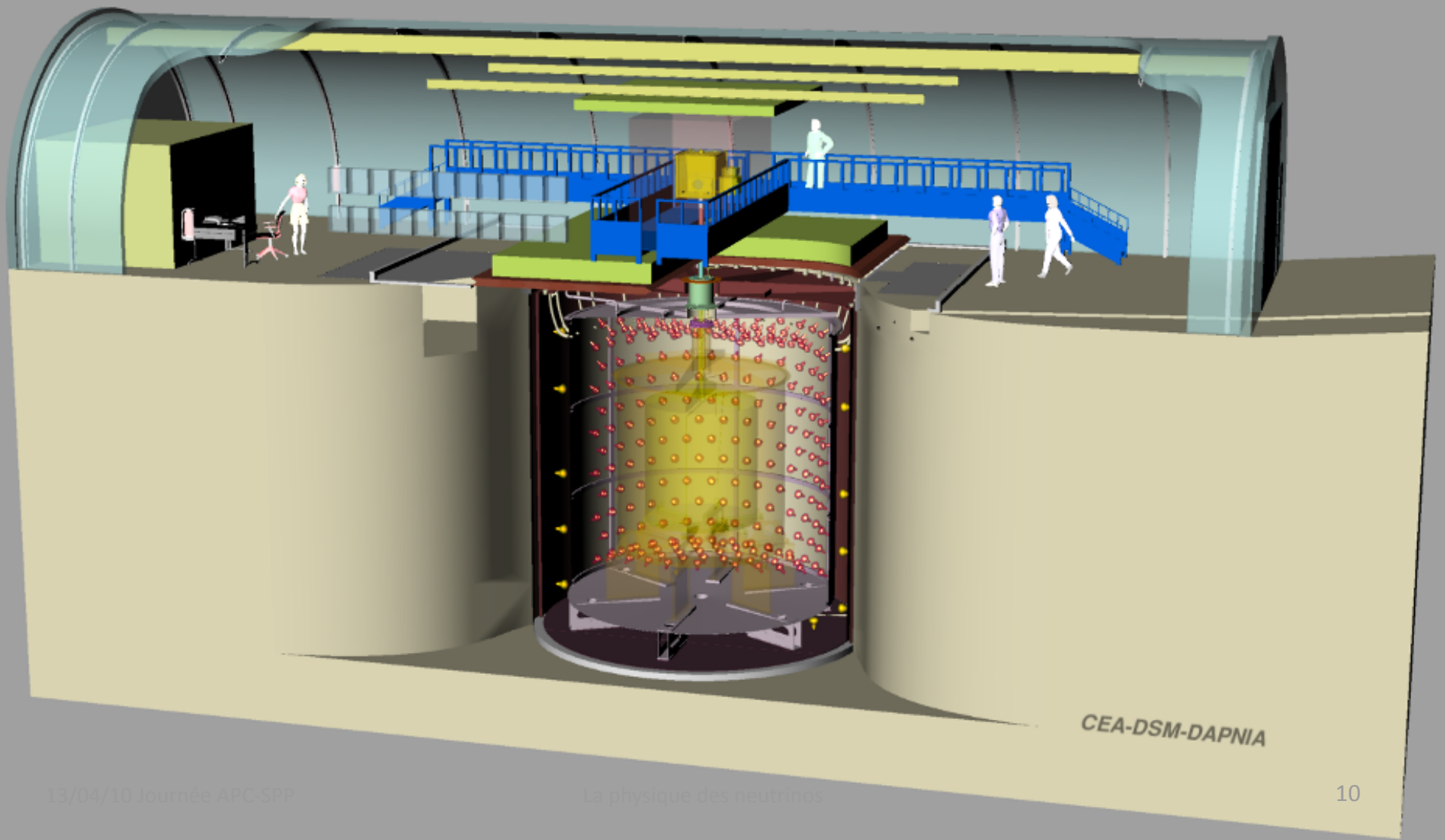


# Double Chooz...

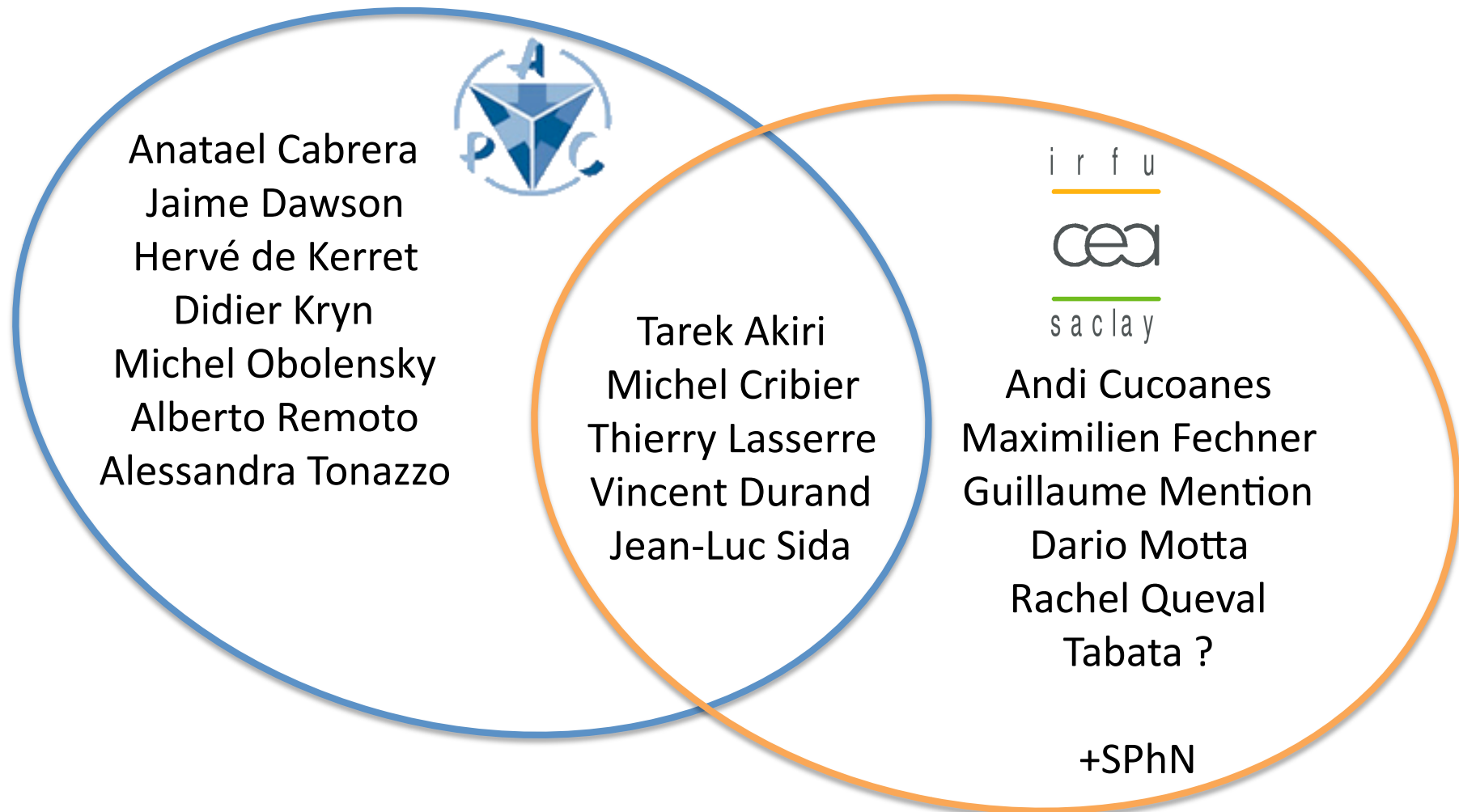


# Les détecteurs





# Les équipes Double Chooz



+ services techniques (cfr F.Ardellier)

# APC et Double Chooz

Mécanique:  
labo lointain, blindage, cuve veto

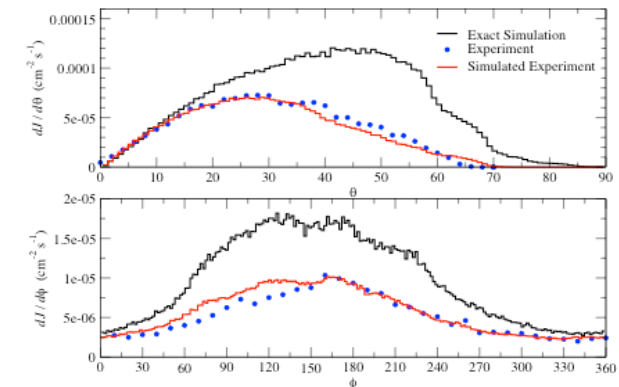


Electronique:  
Flash-ADCs, DAQ



Conception du  
labo proche

Analyse et simulation

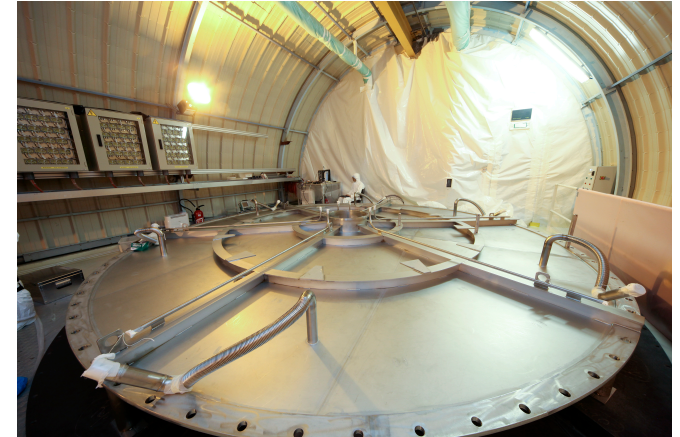


# SPP et Double Chooz

Enceintes acrylique



Cuve buffer



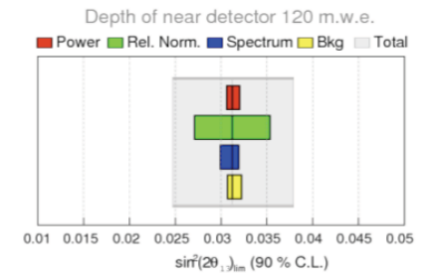
Compatibilité  
des matériaux



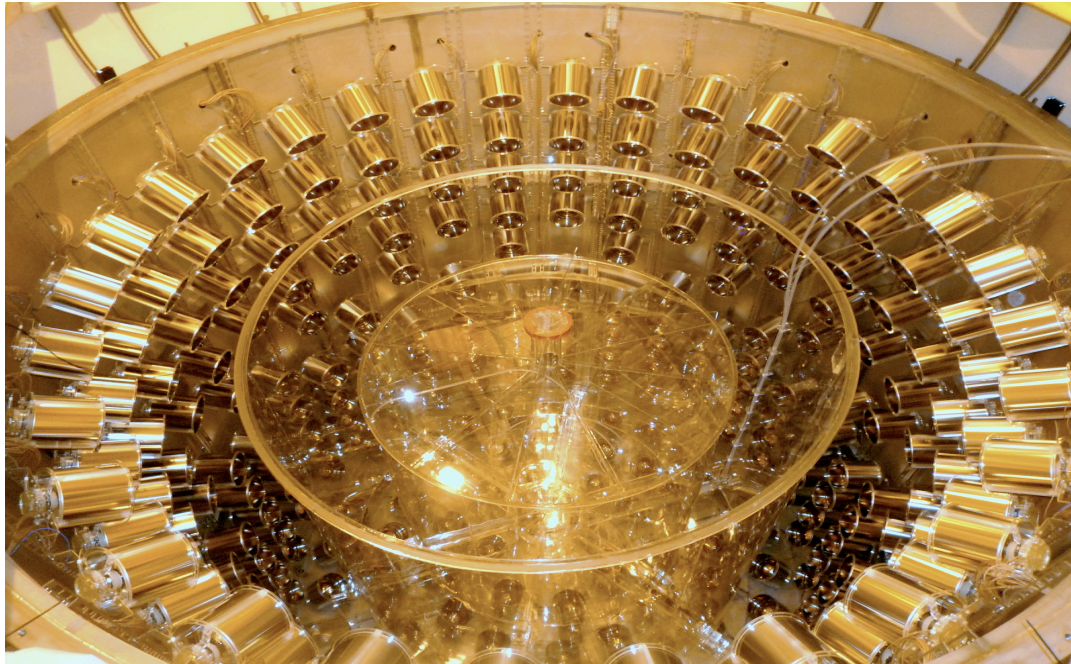
Mesures de radioactivité

Etudes labo proche

Analyse et  
simulation



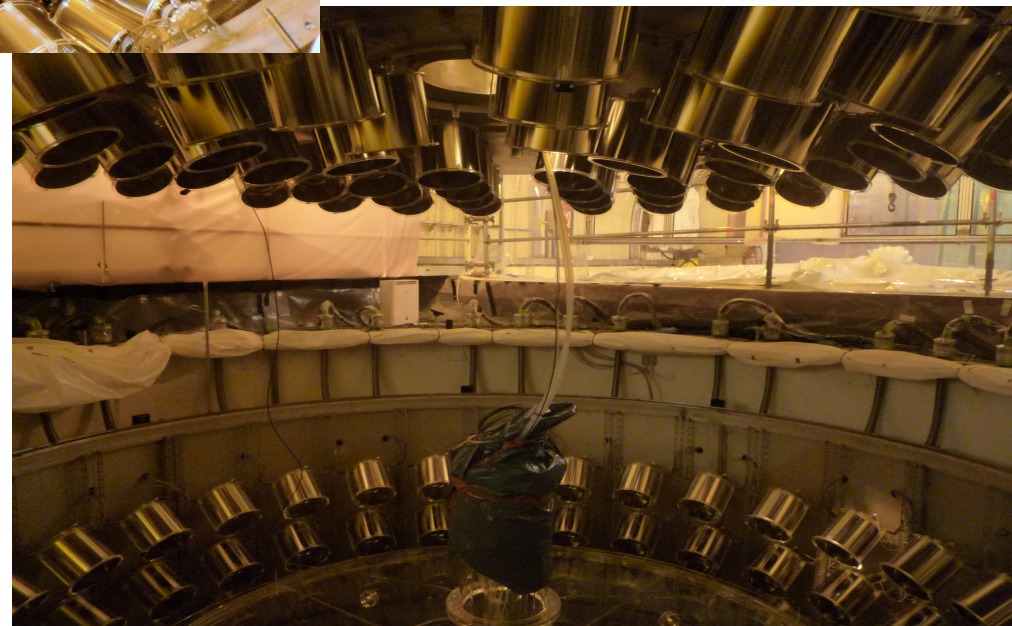
# Double Chooz aujourd'hui



Novembre 2009



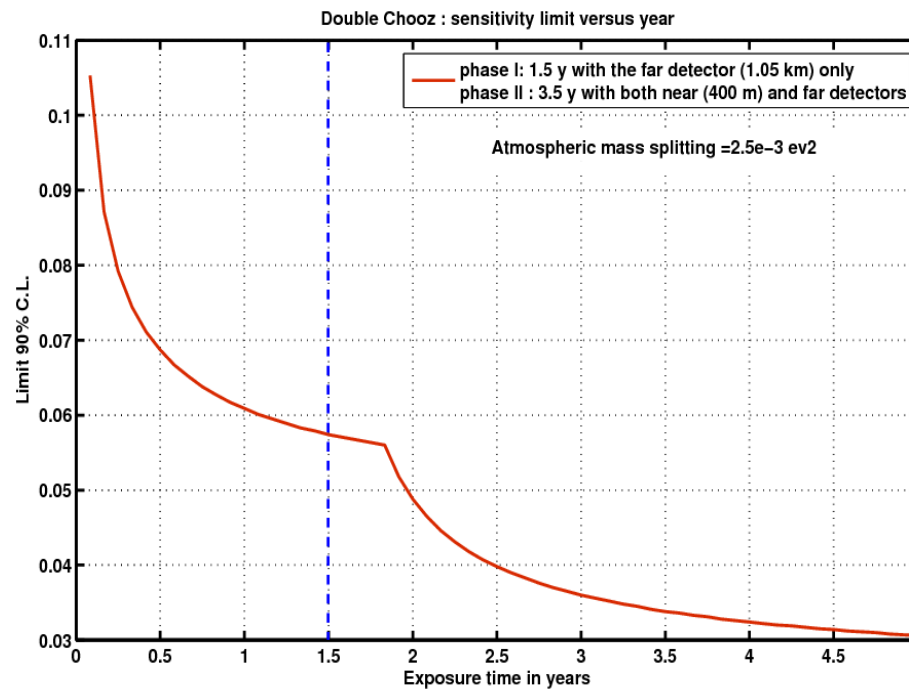
Mars 2010



Décembre 2009

# Double Chooz

Eté 2010: Début de la pris de données du détecteur lointain  
2011: excavation labo proche, installation détecteur proche  
2012: prise de données avec 2 détecteurs



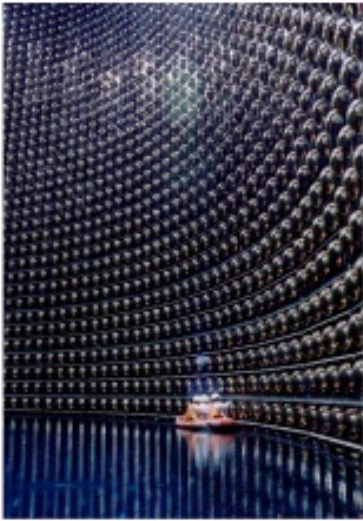
$$\sin^2(2\theta_{13}) < 0.03$$

« concourants »: Daya Bay en Chine, RENO en Corée

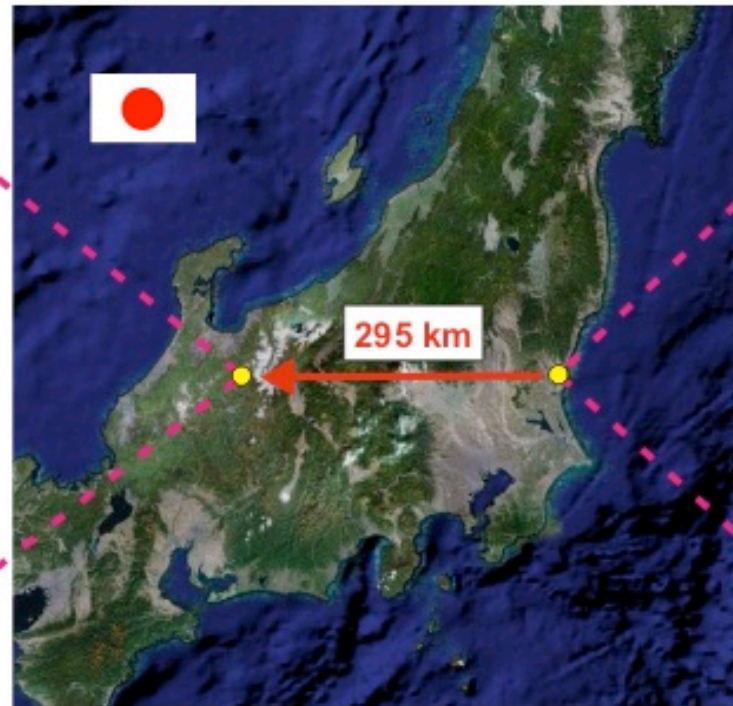


# T2K

Super Kamiokande  
50,000 tons of water  
10,000 phototubes



Neutrino beam directed across Japan



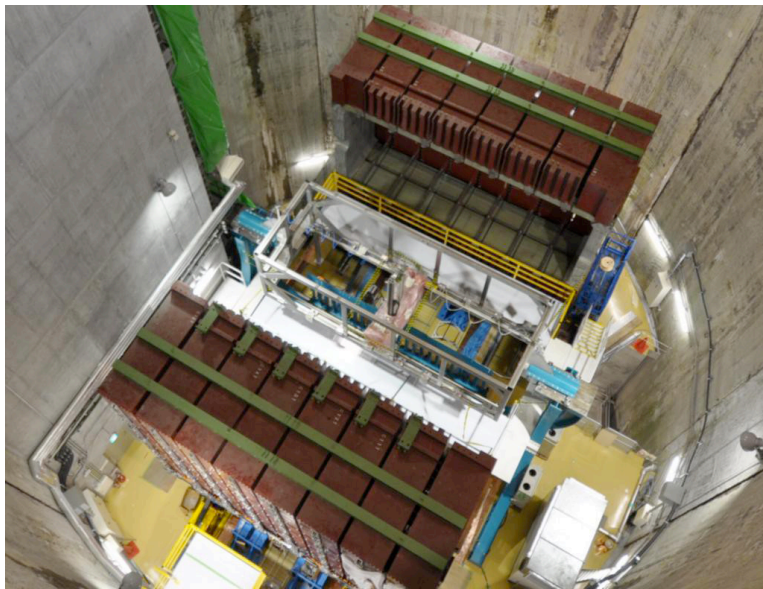
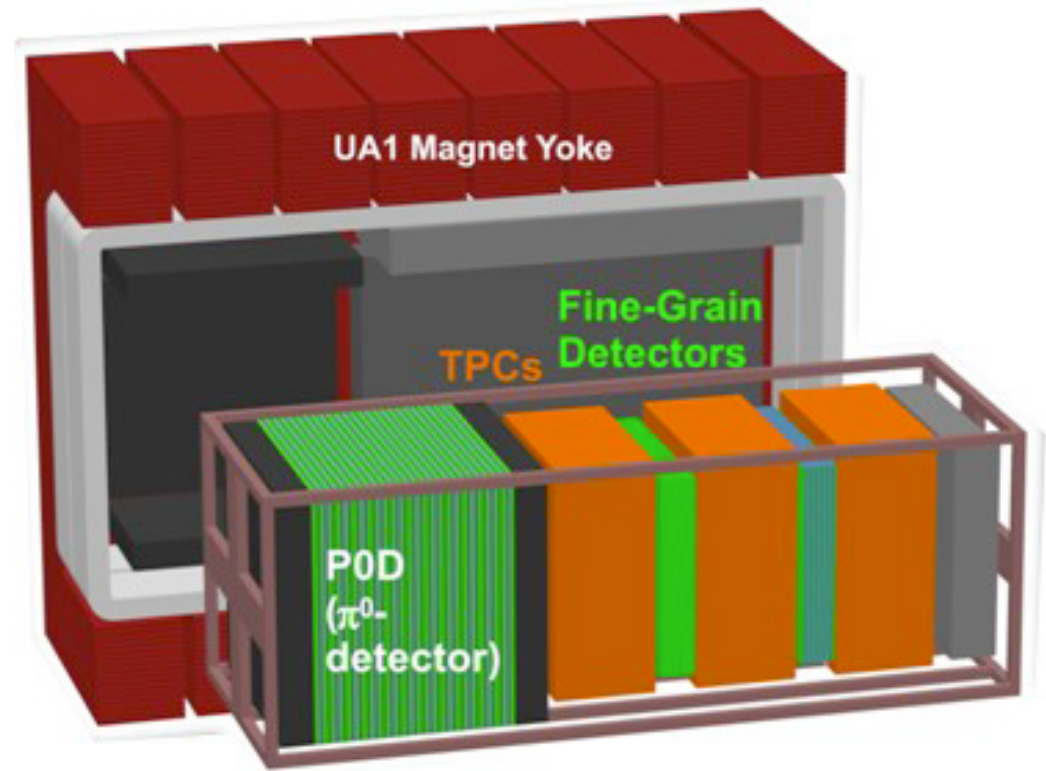
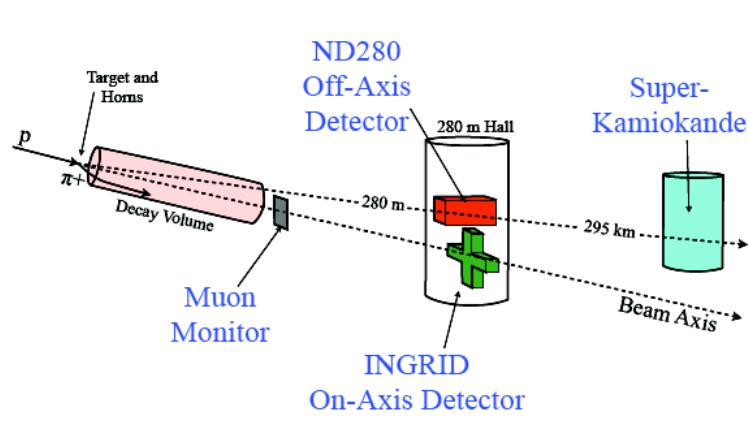
Tokai accelerator complex and  
location of near detector (ND280)



Le premier faisceau «off-axis»

- Mesure précise de la disparition de  $\nu_{\mu}$
- Découverte de l'apparition de  $\nu_e \Rightarrow \theta_{13}$

# T2K: ND280



# SPP et T2K

Olivier Besida  
Flor de Maria Blaszczyk  
Sandrine Emery  
Claudio Giganti  
Michael Macaire  
Edoardo Mazzucato  
François Pierre  
Georges Vasseur  
Marco Zito

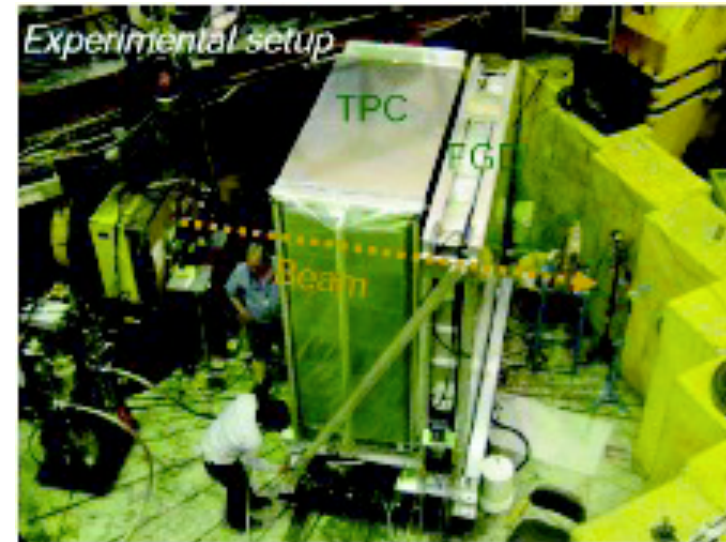
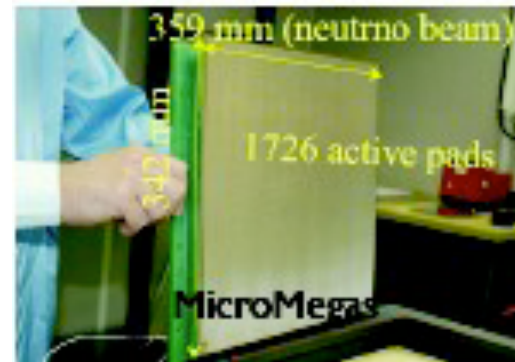


+ services techniques (cfr F.Ardellier)

# SPP et T2K

+ Analyse  
des  
donnees

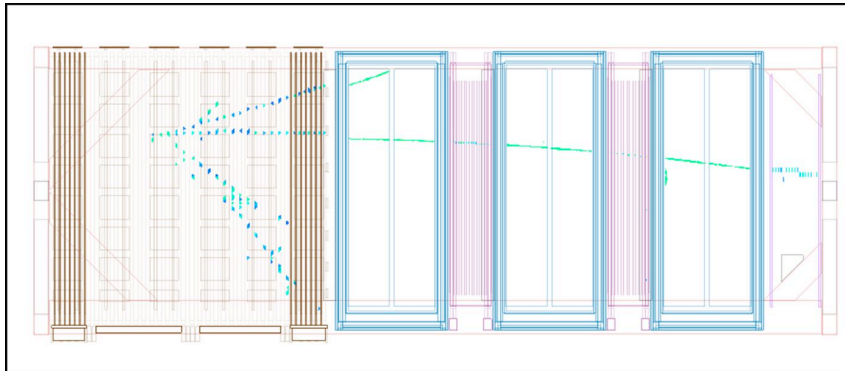
3 TPCs  
+ 72 Micromegas  
+ électronique frontale



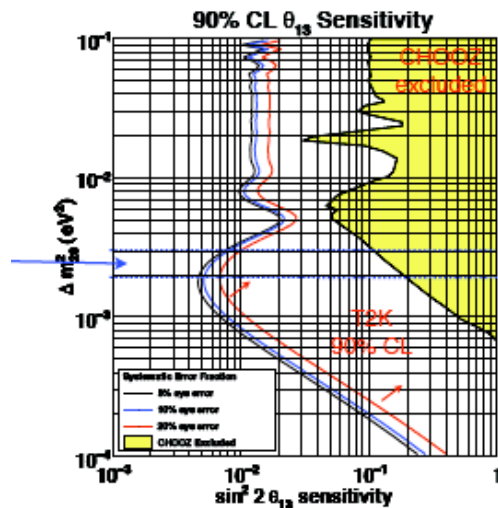
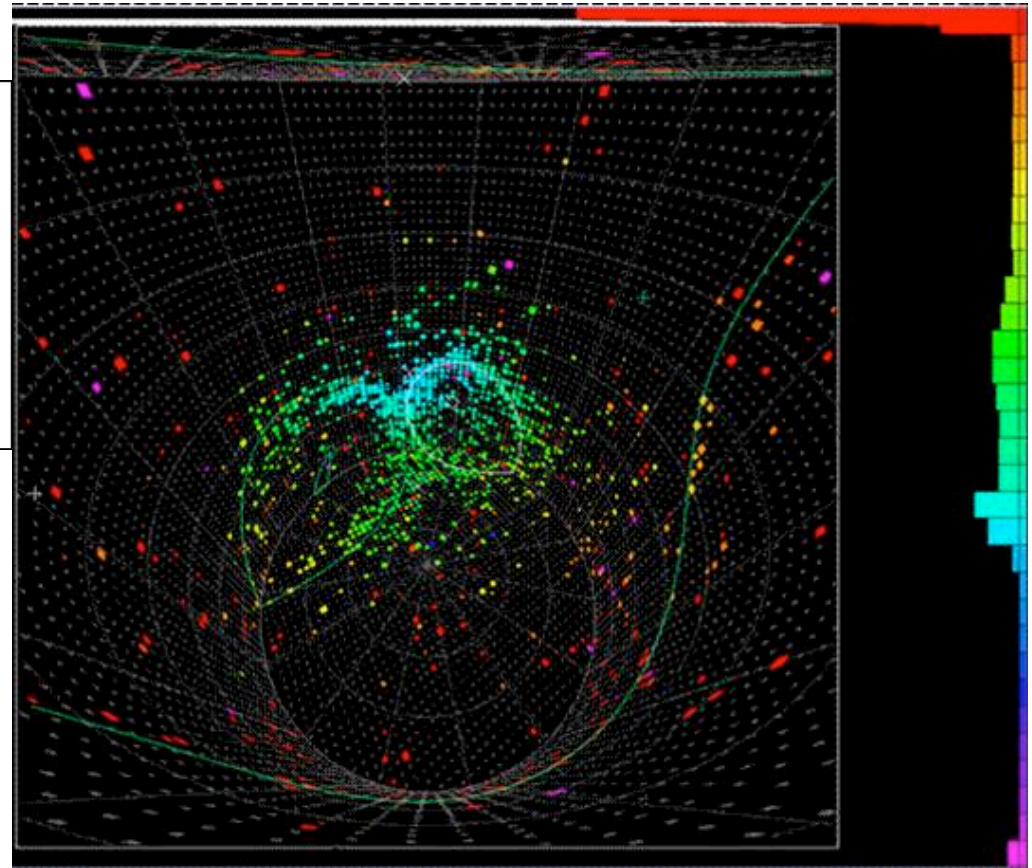
+ Contrôle des aimants du faisceau

# T2K aujourd'hui

Novembre 2009:  
1ers neutrinos dans ND280



Fin Février 2010: 1ers neutrinos dans SK

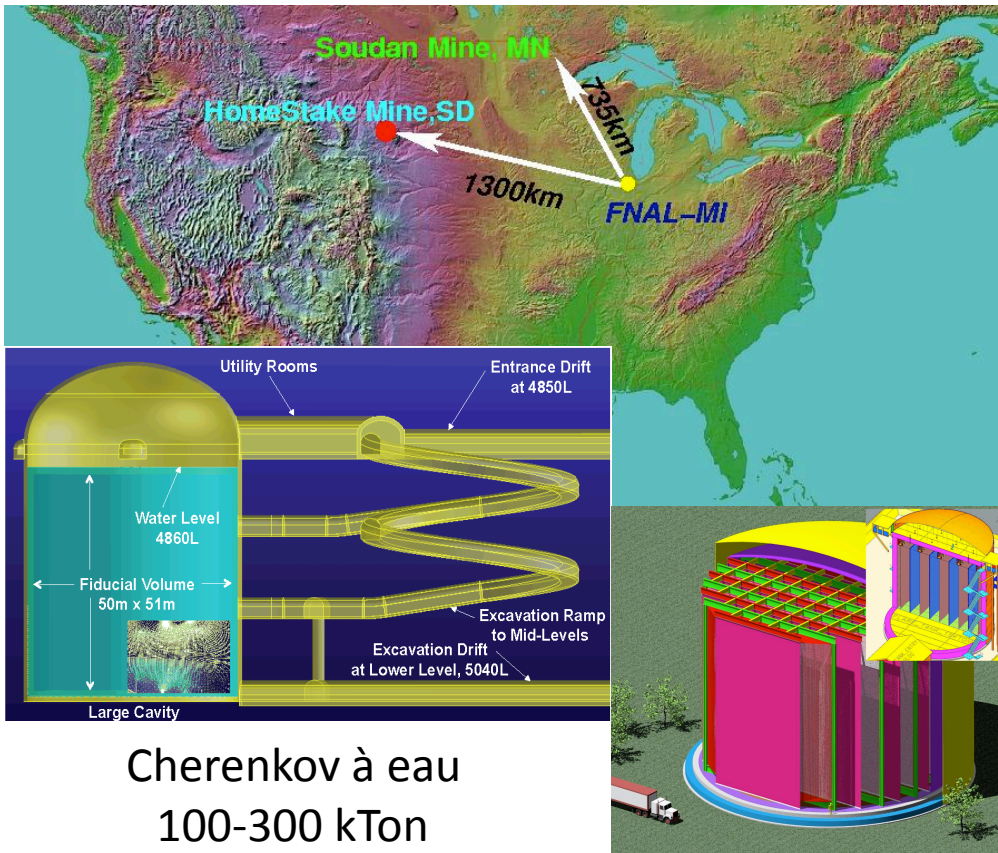


Avec 5 années à 750 kW,  
sensibilité ( $\delta_{CP}=0$ ):  $\sin^2(2\theta_{13}) < 0.02$

# Futur: US, Japon

## LBNE

Fermilab to DUSEL (Hometsake) = 1300 km



Cherenkov à eau  
100-300 kTon

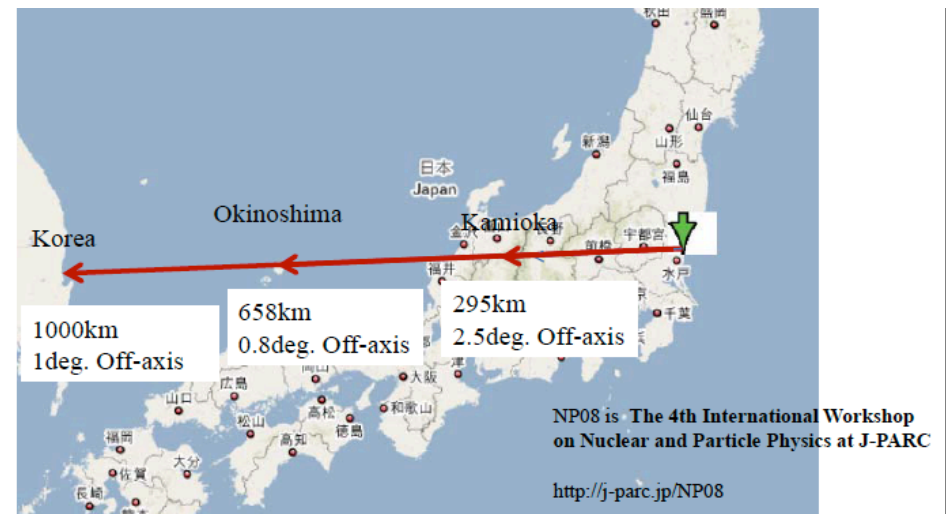
TPC Argon liquide  
15-50 kTon

APC Colloquium par Bob Svoboda demain !

## T2HK ou T2KK

Tokai to

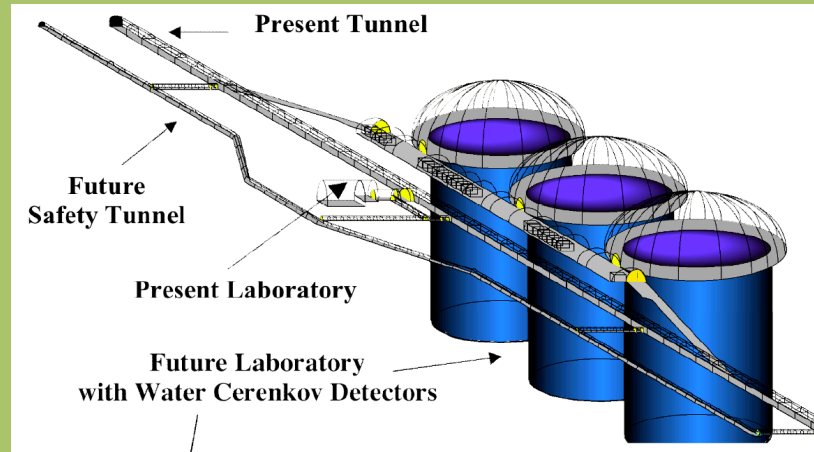
- Kamioka 550kT H<sub>2</sub>O
- Kamioka+Korea 270+270kT H<sub>2</sub>O
- Okinoshima 100kt LAr



# Futur: Europe

SuperBeam  
et/ou BetaBeam  
ou Neutrino Factory

## MEMPHYS (Water-Cherenkov ~1Mton)



+ Neutrinos  
des SuperNovae,  
du Soleil,  
de la Terre

## LENA Liquid Scintillator (→ 50 kton)

### DETECTOR LAYOUT

#### Cavern

height: 115 m, diameter: 50 m  
shielding from cosmic rays: ~4,000 m.w

#### Muon Veto

plastic scintillator panels (on top)  
Water Cherenkov Detector  
1,500 phototubes  
100 kt of water  
reduction of fast  
neutron background

#### Steel Cylinder

height: 100 m, diameter: 30 m  
70 kt of organic liquid  
13,500 phototubes

#### Buffer

thickness: 2 m  
non-scintillating organic liquid  
shielding external radioactivity

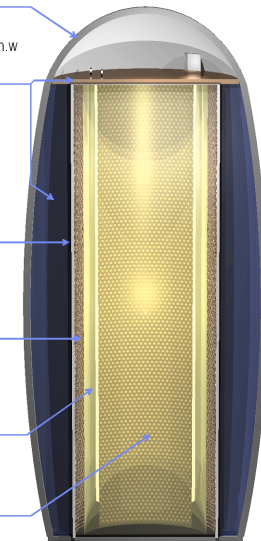
#### Nylon Vessel

parting buffer liquid  
from liquid scintillator

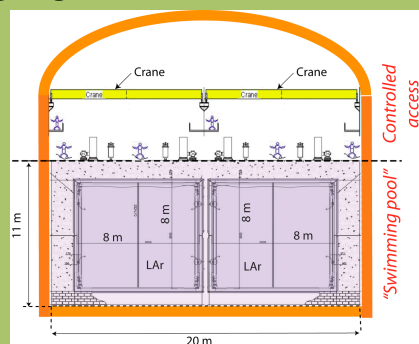
#### Target Volume

height: 100 m, diameter: 26 m  
50 kt of liquid scintillator

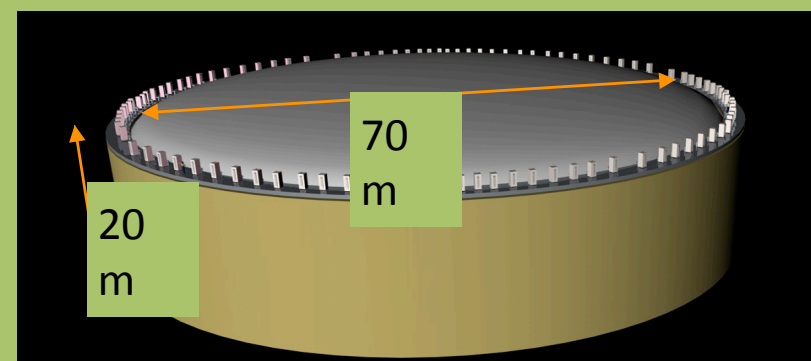
vertical design is favourable in terms of rock pressure and buoyancy forces



## MODULAR Lar-TPC



## GLACIER Argon (≈10→100 kton)

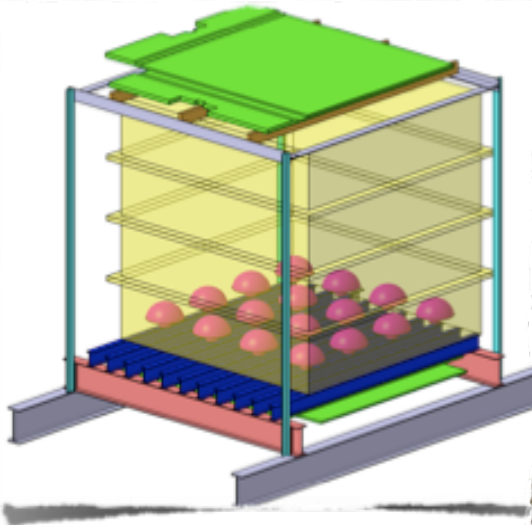


# Vers un détecteur « Megatonne »



## MEMPHYNO

Banc de test pour solutions de photo-détection et acquisition des données pour détecteurs « megatonne » (Water-Cherenkov ou scintillateur liquide)



Michela Marafini  
Thomas Patzak  
Alessandra Tonazzo  
+ services techniques

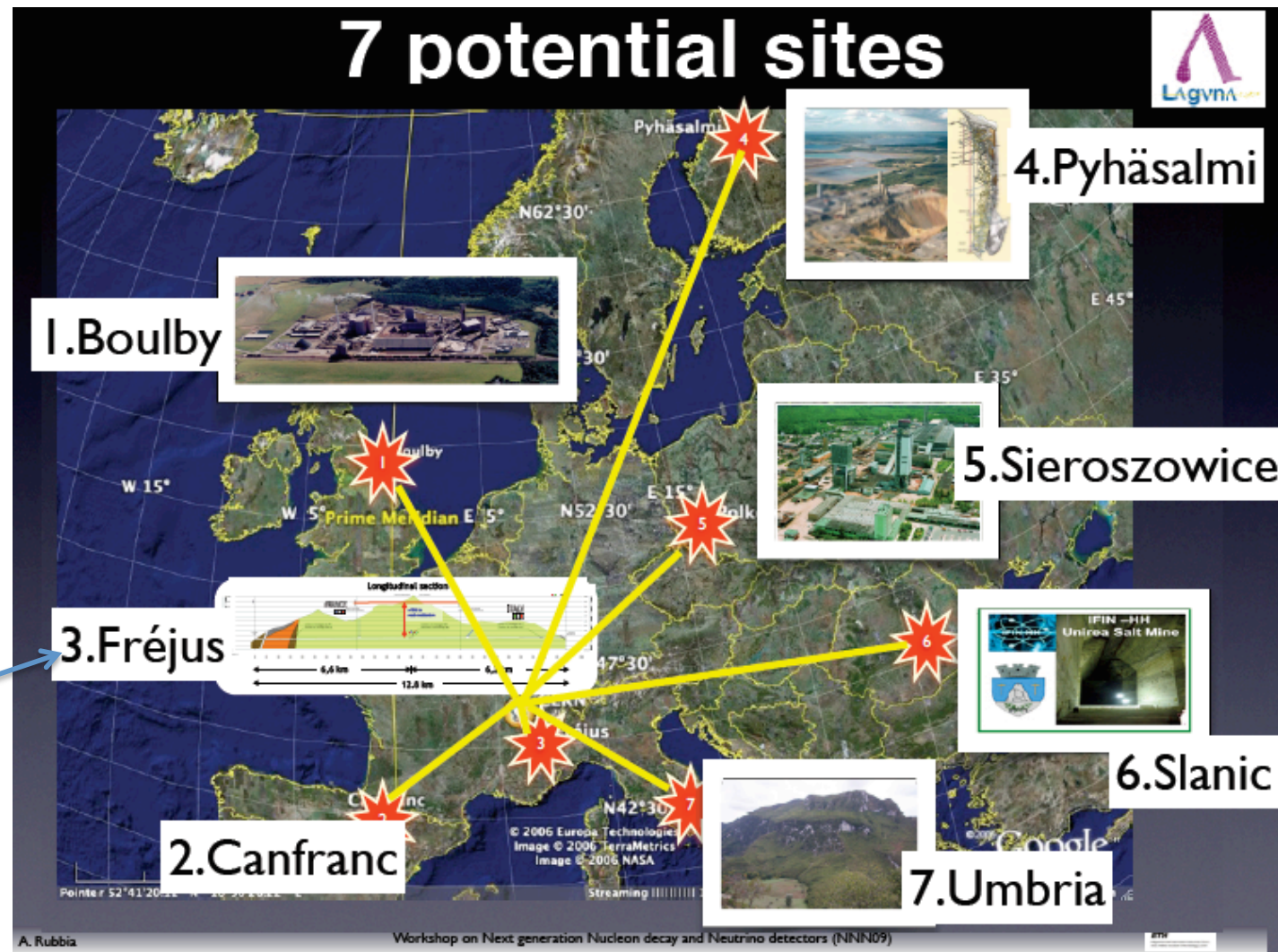
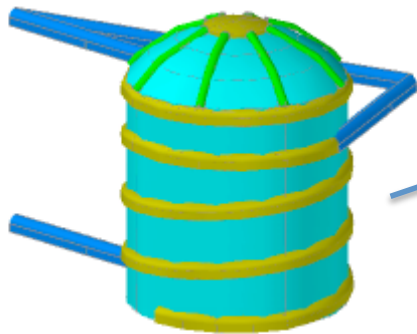
**PICS**  
Co-financement  
CNRS-  
Allemagne pour  
études conjoint  
sur futurs  
détecteurs  
«megatonne »



# LAGUNA EU-FP7 Design Study (2008-2010)

◆ Etude de 7 sites candidats

◆ Potentiel des 3 types de détecteurs



Thomas Patzak  
Alessandra Tonazzo

Luigi Mosca  
Marco Zito

# EUROnu EU-FP7 Design Study (2008-2012)

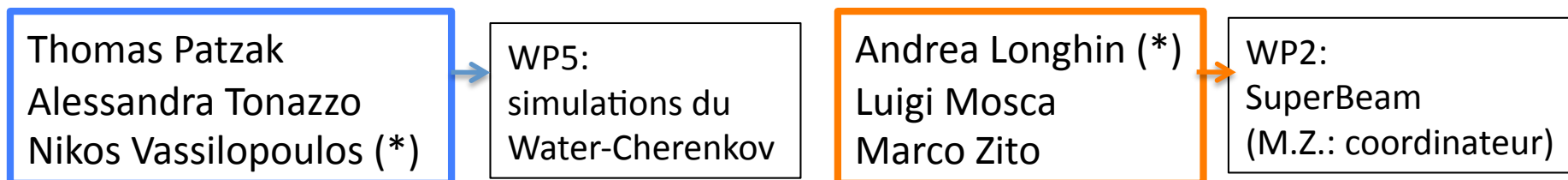
“A High Intensity Neutrino Oscillation Facility in Europe”

4.5MEuros, 15 beneficiaries in 9 countries

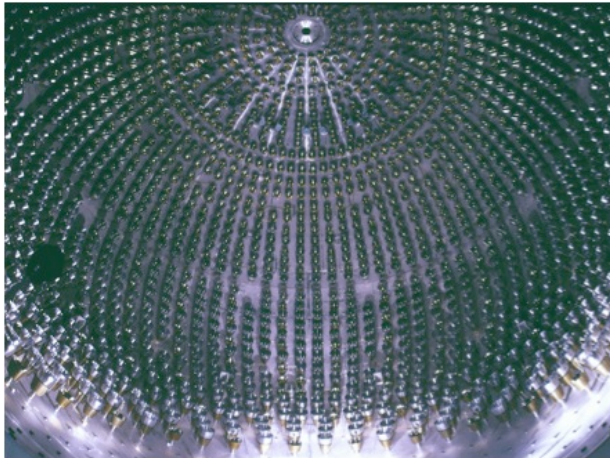


- **WP1: Management**
- **WP2: Super-Beam**: design of a 4 MW proton beam (SPL), target and collection system for a conventional neutrino beam
- **WP3: Neutrino factory**: define design for muon front-end, acceleration scheme, spent proton beam handling and component integration in an end-to-end neutrino factory simulation
- **WP4: Beta beam**: following from EURISOL, study production, collection and decay ring of beta beam for high Q isotopes ( $^8\text{Li}$ ,  $^8\text{B}$ )
- **WP5: Neutrino detectors**: study Magnetised Neutrino Iron Detector (MIND) performance for golden measurement at neutrino factory, water Cherenkov detector for beta and super beams and near detectors for all facilities
- **WP6: Physics**: comparison of physics performance, systematic errors and optimisation for all facilities

(\*) =  
postdoc  
EUROnu



# Neutrinos du Soleil (et de la Terre): Borexino

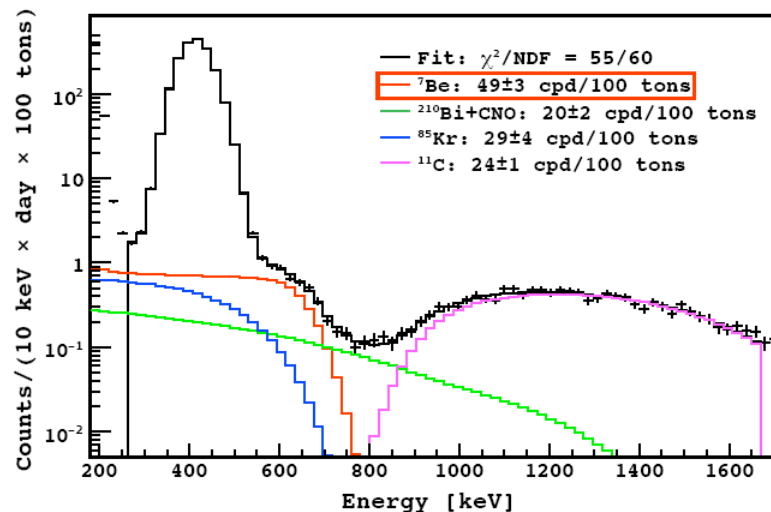


300kt scintillateur liquide  
2200 PMTs  
au Gran Sasso

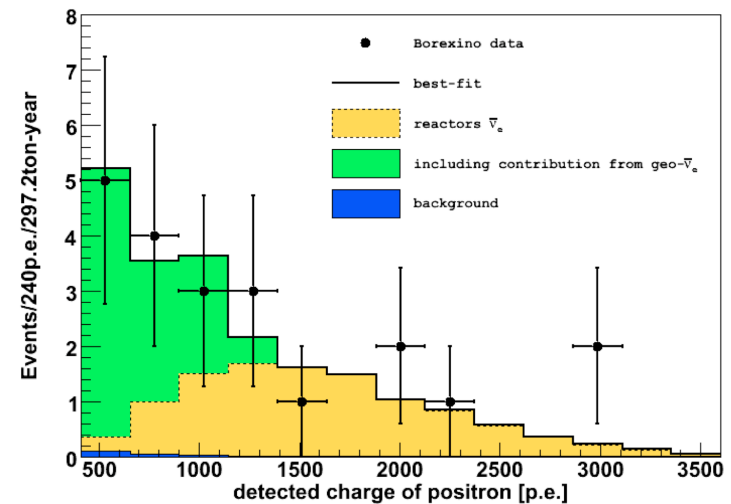


Hervé de Kerret  
Didier Kryn  
Michel Obolensky  
Daniel Vignaud

Première observation des neutrinos du  $^7\text{Be}$



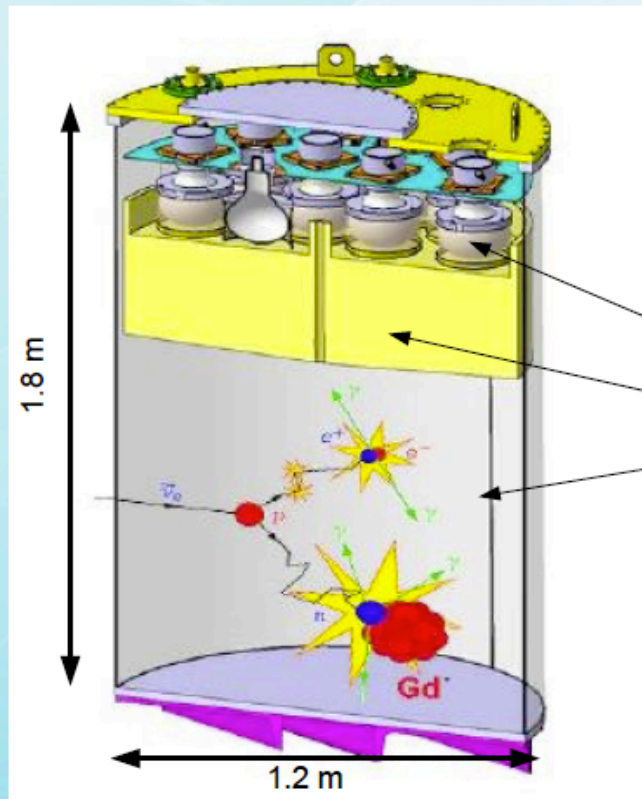
Détection des geo-neutrinos



$$\Phi_{geo} = 3.9^{+1.6}_{-1.3} \text{ events}/(100\text{ton} \cdot \text{yr})$$

# Neutrinos pour la sûreté: Nucifer

## The NUCIFER detector



- 16 PMTs of 8 inch
- 25 cm acrylic buffer
- Target: 0.85 m<sup>3</sup> Gd doped liquid scintillator

Amanda Porta – CEA Saclay

TAUP 2009

- Mesure de la puissance du réacteur
- Non-prolifération



Prise de données depuis Février 2010

Michel Cribier  
Thierry Lasserre  
Jean-Luc Sida

Maximilien Fechner  
Guillaume Mention  
Andi Cucoanes (Post Doc dédié)

+SPhN

# Les neutrinos à APC et SPP

Les deux approches complémentaires pour la mesure de  $\theta_{13}$  dans le futur proche:

- Double Chooz    APC+SPP
- T2K                SPP

Vers la mesure de  $\theta_{13}$  et  $\delta_{CP}$  avec les faisceaux futurs et un détecteur “megatonne”

- LAGUNA        APC+SPP
- EUROnu        APC+SPP
- MEMPHYNO    APC

Les neutrinos en tant que messagers

- Nucifer        APC+SPP
- Borexino      APC
- “Megatonne”    APC
- (ANTARES)    APC+SPP