



Nobelpriset i fysik 2015

The Nobel Prize in Physics 2015

Nobelpriset i fysik 2015



Takaaki Kajita

Super-Kamiokande Collaboration
University of Tokyo, Kashiwa, Japan



Arthur B. McDonald

Sudbury Neutrino Observatory Collaboration
Queen's University, Kingston, Canada

"för upptäckten av neutrinooscillationer, som visar att neutrinos har massa"
"for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass"

Les portraits des co-lauréats du prix Nobel de physique le Japonais Takaaki Kajita (g) et le Canadien, Arthur B McDonald, le 6 octobre 2015 à Stockholm. afp.com/JONATHAN NACKSTRAND

Propositions de stage et thèse dans le groupe « Oscillations de Neutrinos » projets Double Chooz et JUNO

Eric Baussan (MdC), Timothée Brugièvre (CDD), Marcos Dracos (DR), Cécile Jollet (MdC), Anselmo Meregaglia (CR).

Bâtiment 22

Introduction : physique des neutrinos

L'oscillation des neutrinos est un phénomène bien établi. Les états propres de saveur et de masse peuvent être reliés par la matrice de mélange :

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\delta} & 0 & c_{13} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} e^{i\xi_1/2} & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\xi_2/2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$s_{ij} = \sin(\theta_{ij})$
 $c_{ij} = \cos(\theta_{ij})$
 $\delta = \text{phase CP}$
 $\xi_1, \xi_2 = \text{phases de Majorana}$

La probabilité d'oscillation s'exprime comme :

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \delta_{\alpha\beta} - 4 \sum_{i>j} \operatorname{Re}(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin^2(1.27\Delta m_{ij}^2 L/E) + 2 \sum_{i>j} \operatorname{Im}(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin(2.54\Delta m_{ij}^2 L/E)$$

$$\Delta m_{ij}^2 \equiv m_i^2 - m_j^2$$

Energie

Distance parcourue (baseline)

Ce que l'on connaît

Paramètre	Limites (90% C.L.)
θ_{23}	$\sin^2(2\theta_{23}) \geq 0.95$
θ_{12}	$0.833 \leq \sin^2(2\theta_{12}) \leq 0.881$
θ_{13}	$0.085 \leq \sin^2(2\theta_{13}) \leq 0.105$
Δm_{21}^2	$7.3 \leq \Delta m_{21}^2 / 10^{-5} \text{ eV}^2 \leq 7.7$
$ \Delta m_{31}^2 $	$2.24 \leq \Delta m_{31}^2 / 10^{-3} \text{ eV}^2 \leq 2.44$

Ce qui reste à découvrir

- Quelle est la nature du neutrino ?
- Est-ce que θ_{23} est maximal?**
- Est-ce qu'il existe une violation de CP dans le secteur leptistique (phase δ)?**
- Quelle est la hiérarchie de masse ? (signe de Δm_{31}^2)?**
- Quelle est la masse absolue des neutrinos?
- Il y-a-t-il seulement 3 neutrinos? existence de neutrinos stériles?

Expérience Double Chooz

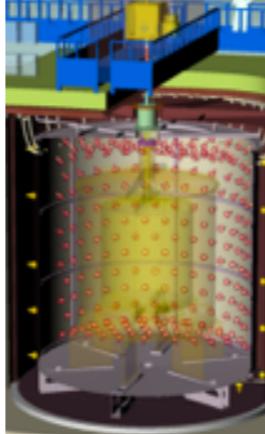
Collaboration internationale
~100 physiciens - 28 instituts

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) \simeq 1 - \boxed{\sin^2(2\theta_{13})} \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m_{32}^2 (\text{eV}^2) L(\text{m})}{E(\text{MeV})} \right)$$



Chooz Nuclear Power Station
2 cores of $4.27 \text{ GW}_{\text{th}}$ each

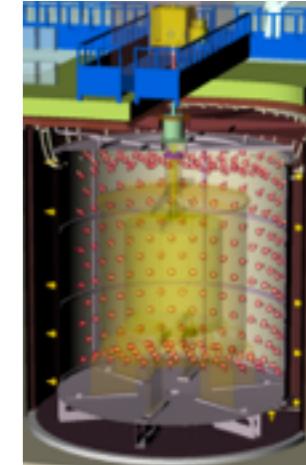
$\bar{\nu}_e$
Total flux



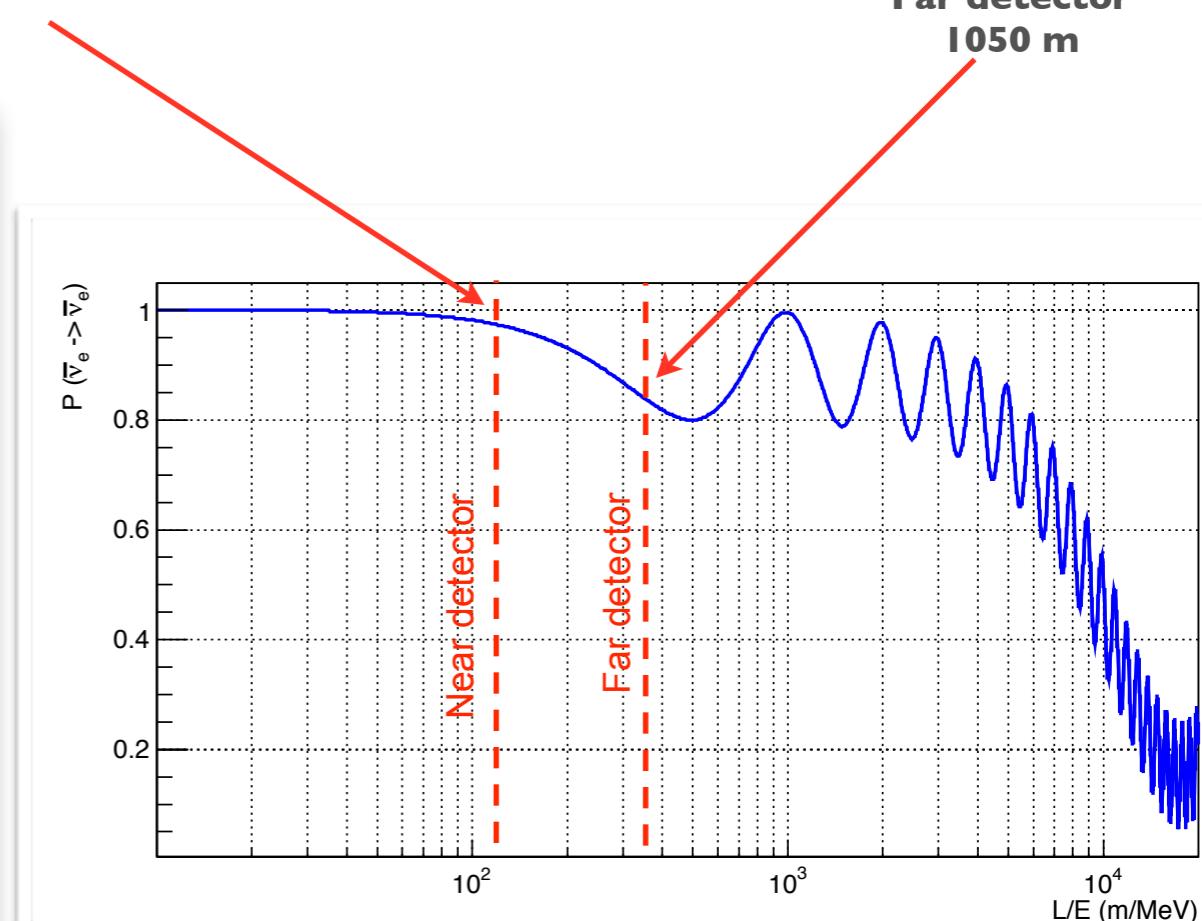
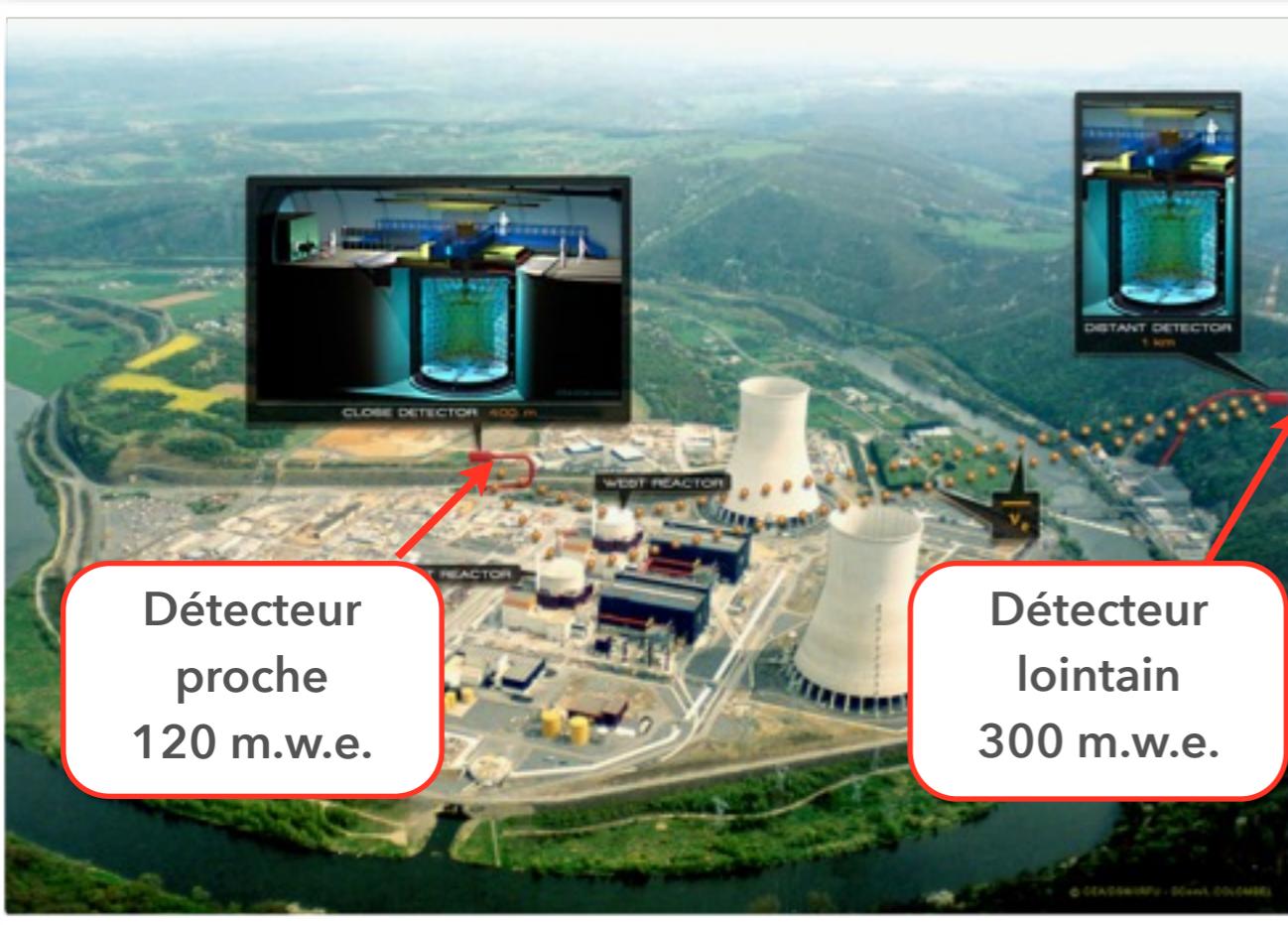
Near detector
400 m

$\bar{\nu}_{e,\mu,\tau}$

Oscillated flux

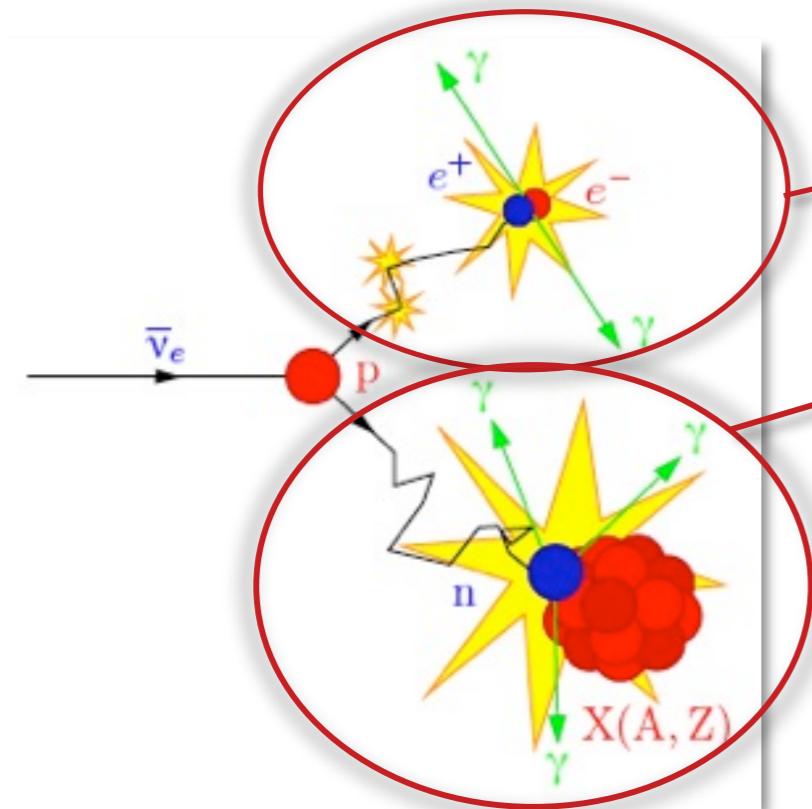


Far detector
1050 m



Neutrinos detection

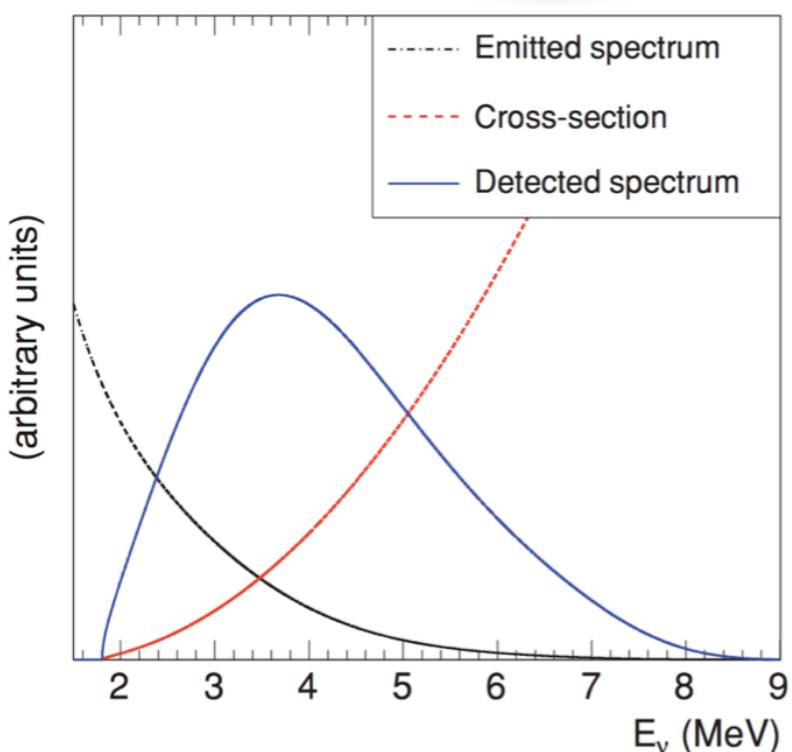
Inverse Beta Decay (threshold at 1.8 MeV)



Prompt Signal - Positron ionization+Annihilation

Delayed Signal - n absorption on Gd (~ 8MeV) or
on H (2.2 MeV)

$\Delta t \sim 30 \mu\text{s}$ for n-absorption on Gd
 $\sim 200 \mu\text{s}$ for n-absorption on H



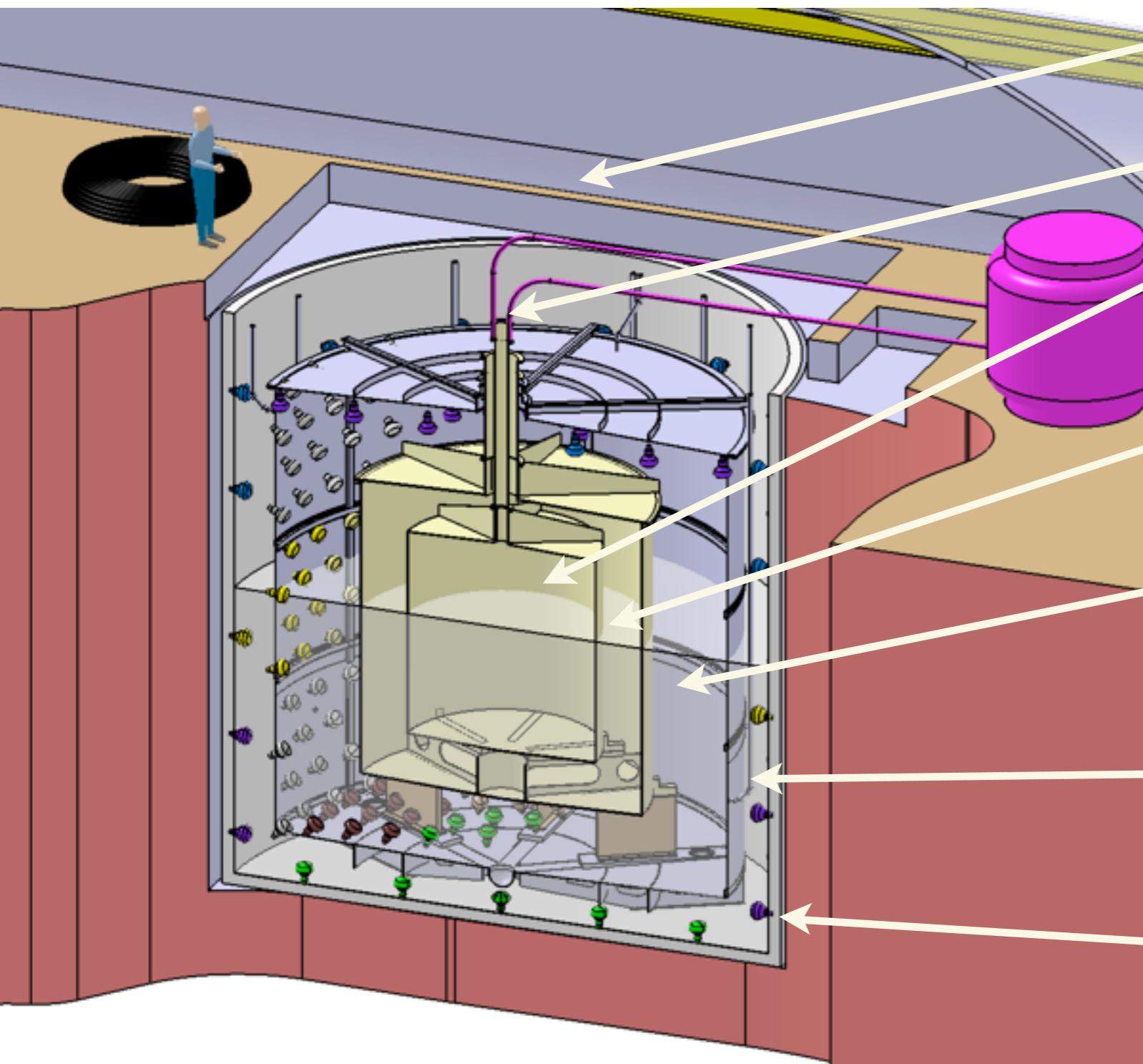
Two-fold coincidence: strong background suppression

The prompt energy is related to $\bar{\nu}_e$ energy:

$$E_{\text{prompt}} = E_\nu - T_n - 0.8 \text{ MeV}$$

The survival probability depends on E_ν
⇒ Measurement of θ_{13} using rate and spectral deformation

Double Chooz detector



Outer Veto: plastic scintillator strips

Chimney: deployment of radioactive source for calibration in the ν -Target and γ -Catcher.

ν -Target: 10.3 m³ scintillator (PXE based) doped with 1g/l of Gd compound in an acrylic vessel (8 mm)

γ -Catcher: 22.5 m³ scintillator (PXE based) in an acrylic vessel (12 mm)

Buffer: 110 m³ of mineral oil in a stainless steel vessel (3 mm) viewed by 390 PMTs (10 inches)

Inner Veto: 90m³ of scintillator (LAB based) in a steel vessel (10 mm) equipped with 78 PMTs (8 inches)

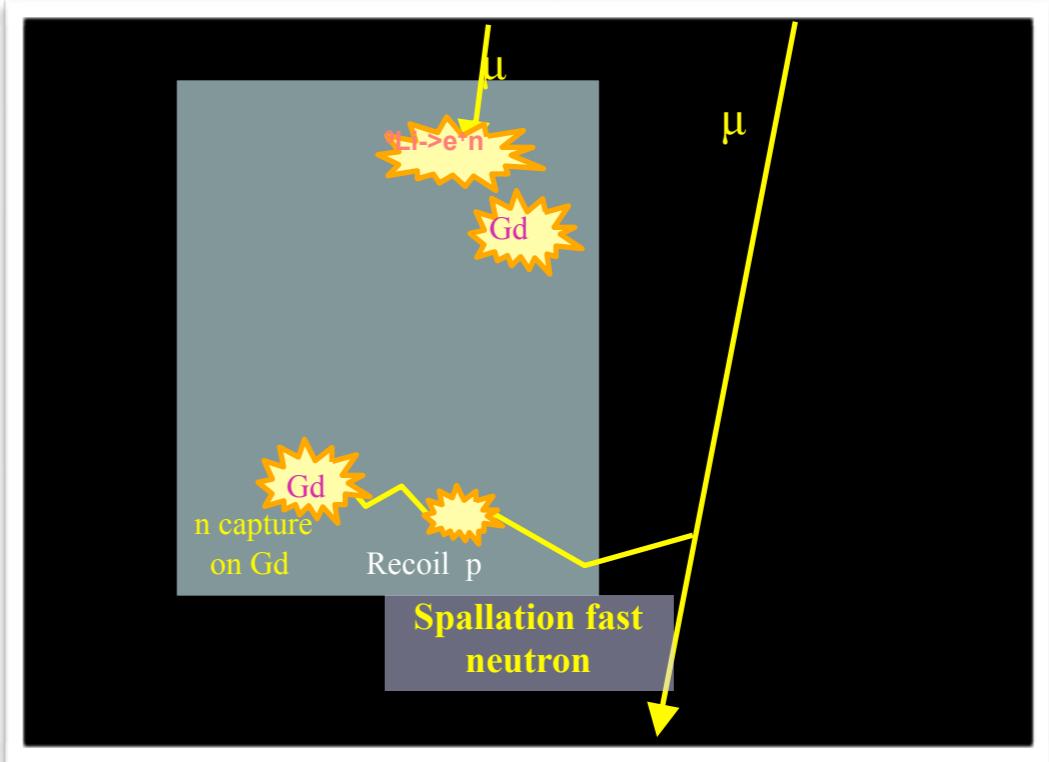
Shielding: about 250t steel shielding (150 mm)

Background

There are two different types of background: **accidental** and **correlated**.

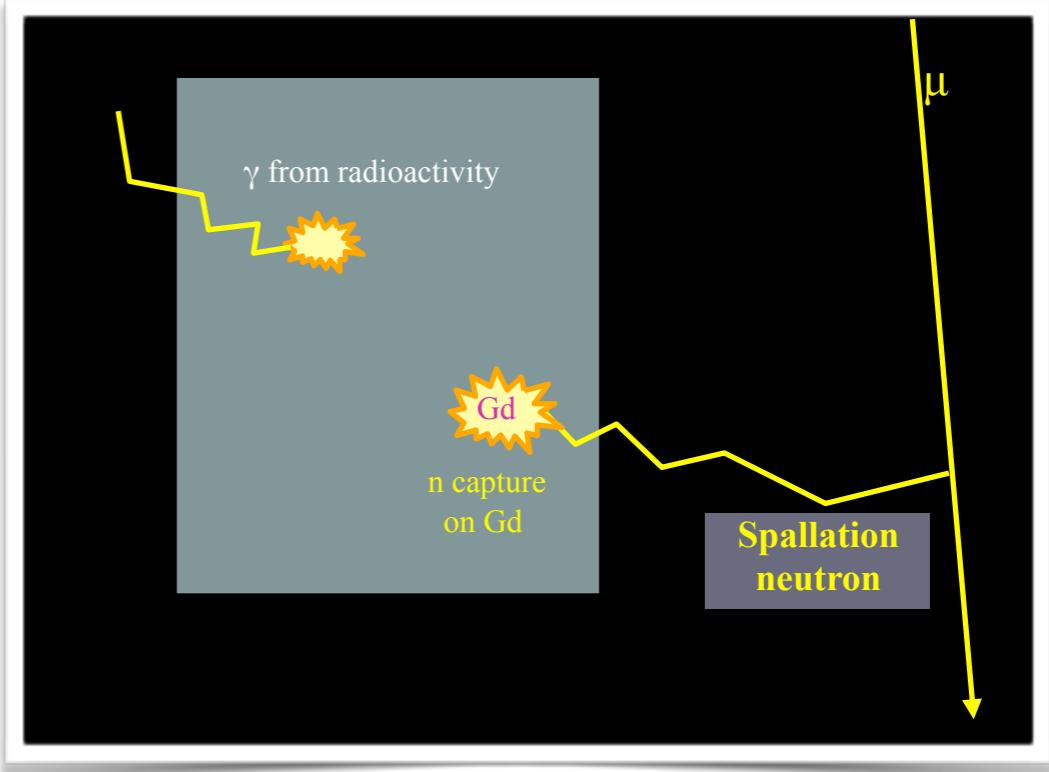
Correlated BG

- Fast n (by cosmic μ) gives recoil protons (low energy) and are captured on Gd.
- Stopping μ .
- Long-lived (^9Li , ^8He) β -n decaying isotopes induced by μ .



Accidental BG

- e^+ -like signal: radioactivity from materials, PMTs, surrounding rock (^{208}Tl).
- delayed signal: n from cosmic μ spallation, thermalised in detector and captured on Gd.



Background

There are two different types of background: **accidental** and **correlated**.

Correlated BG

- Fast n (by cosmic μ) gives recoil protons (low energy) and are captured on Gd.
→ Responsable: A. Meregaglia (IPHC)
- Stopping μ .
- Long-lived (${}^9\text{Li}$, ${}^8\text{He}$) β -n decaying isotopes induced by μ .
→ Responsable: C. Jollet (IPHC)

Objectif du stage :

Contribution à la détermination du taux de bruit de fond corrélé dans le détecteur proche (en prise de données depuis janvier).

Travail d'analyse de données : sélection des muons, des IBDs, identification des bruits de fond.

Projet JUNO

Collaboration internationale
~200 physiciens - 45 instituts

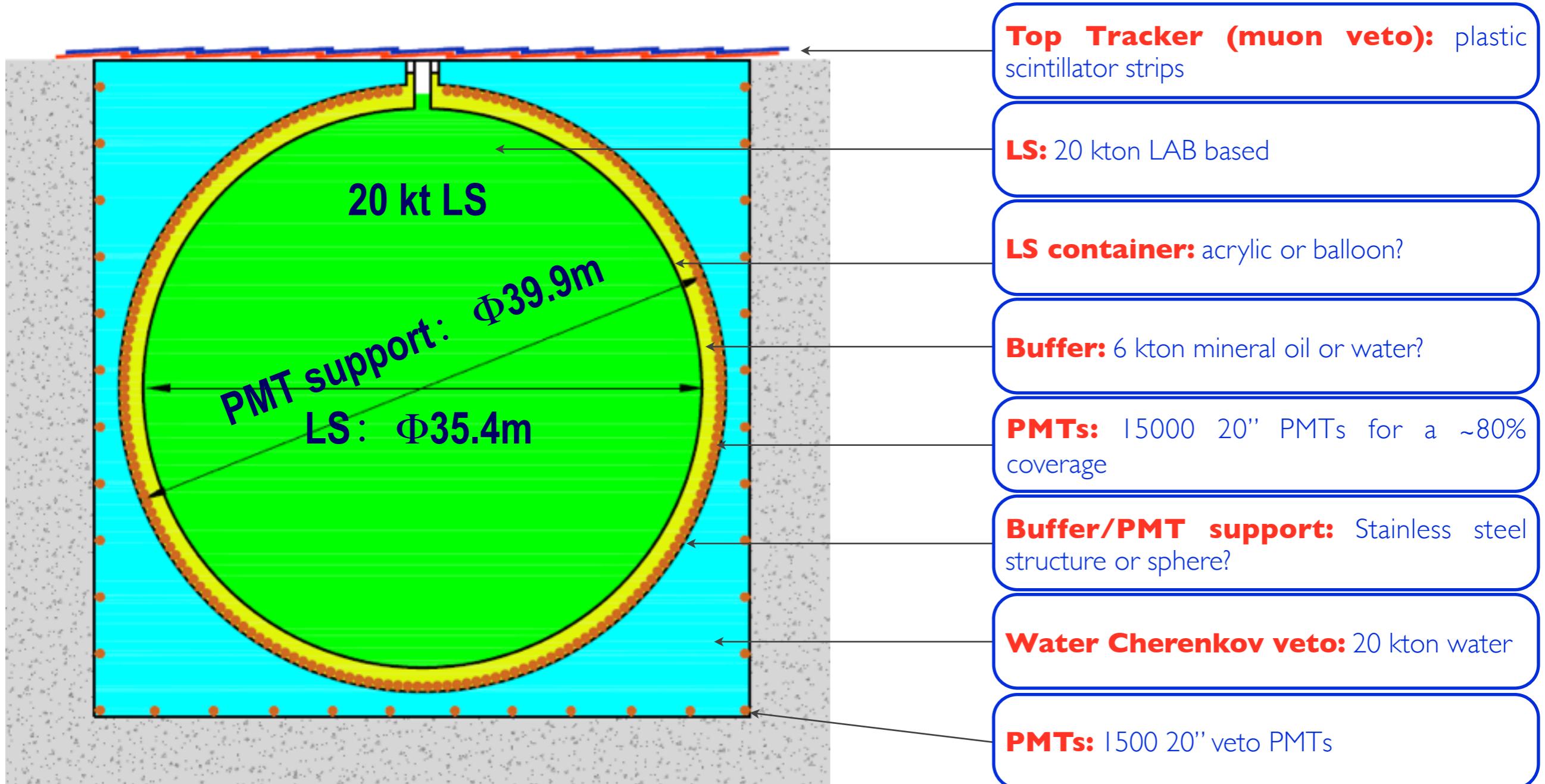
- L'objectif principal du projet JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory) est de mesurer la hiérarchie de masse des neutrinos en mesurant l'interférence entre les termes Δm^2_{31} et Δm^2_{32} en mesurant les antineutrinos des réacteurs.



- JUNO est placé à 53 km des coeurs de plusieurs réacteurs nucléaires (province du Guangdong).
- Le site est en cours de construction et le démarrage du montage du détecteur est prévu pour 2016.
- Le début de la prise de données est pour 2020.

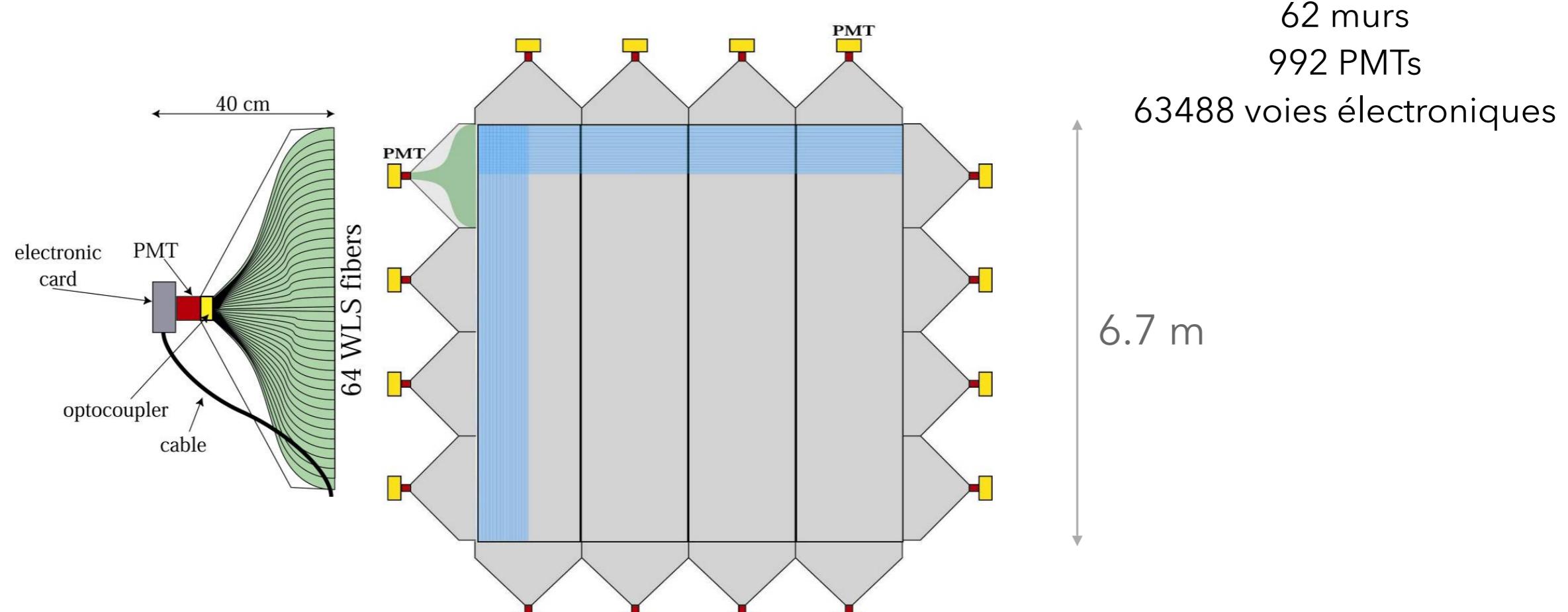
Projet JUNO

The experiment consists of a very large **20 kton liquid scintillator** detector..



Le Top Tracker qui servira de veto à muons est le Target Tracker de l'expérience OPERA qui a été construit par l'IPHC Strasbourg (début du démontage au Gran Sasso prévu pour octobre).

Top Tracker (TT)



Objectif de la thèse :

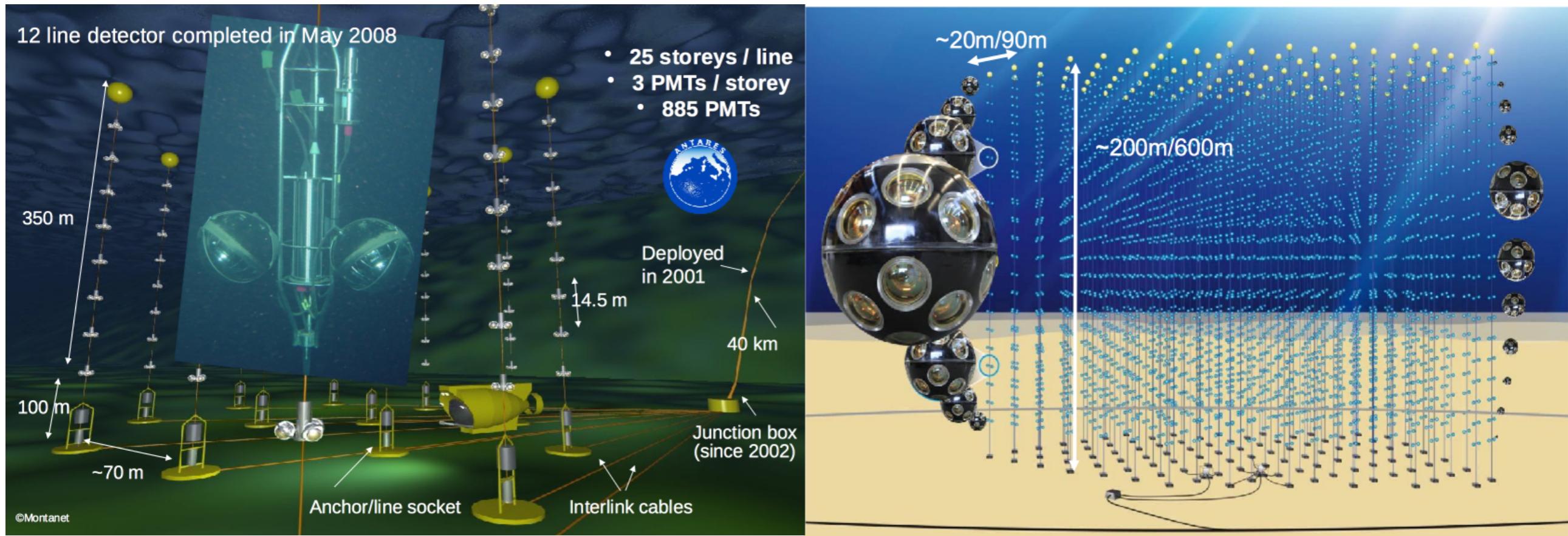
- Optimisation du positionnement du TT.
- Définition de la logique de déclenchement (trigger), de l'électronique front-end, des cartes d'acquisition.
- Etude des bruits de fond corrélés : cosmogénique (${}^9\text{Li}/{}^8\text{He}$), neutrons rapides, muons s'arrêtant dans le détecteur.

ANTARES et KM3NeT/ORCA : Physique et Astrophysique des Neutrinos du GeV au PeV

Thierry PRADIER (UdS) + 2 enseignants-chercheurs UHA

+ probablement : 1 doctorant + 1 post-doc ANR

thierry.pradier@iphc.cnrs.fr ou pradier@in2p3.fr



ANTARES (2008-2017)

Télescope à neutrinos du TeV au PeV
→ Identification de sources cosmiques de ν

*Sujet : recherche de sources périodiques
de neutrinos de haute énergie*

KM3NeT/ORCA (2016 -)

Télescope à neutrinos 1-100 GeV
→ Détermination de la hiérarchie de masse

*Sujet : Optimisation de la géométrie
Neutrinos de Supernovae (MeV)*