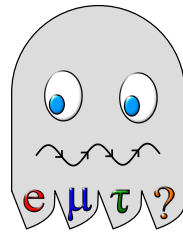


Activités STEREO au LAPP

Pablo DEL AMO SANCHEZ
pour le groupe STEREO LAPP



Réunion GDRI Maroc-France 17/12/15



- 50 km du CERN
- ATLAS (calorimètre, projet Si tracker Alpine ; dibosons, digamma)
- LHCb (calorimètre ; angle γ , $b \rightarrow s \gamma$)
- HESS/CTA (mécanique, slow control),
- VIRGO (mécanique, optique)
- AMS (calorimètre)
- **NEUTRINOS : OPERA (~ finie), SUPERNEMO (feuilles sources, slow control), WA105 -> DUNE (plan d'anodes, élec ; lumière), STEREO**



Physiciens :

Pablo DEL AMO SANCHEZ

Jean FAVIER

Henri PESSARD

Wassila EL KANAWATI (postdoc)

Luis MANZANILLAS (doctorant)

Personnel technique :

Guillaume DELEGLISE

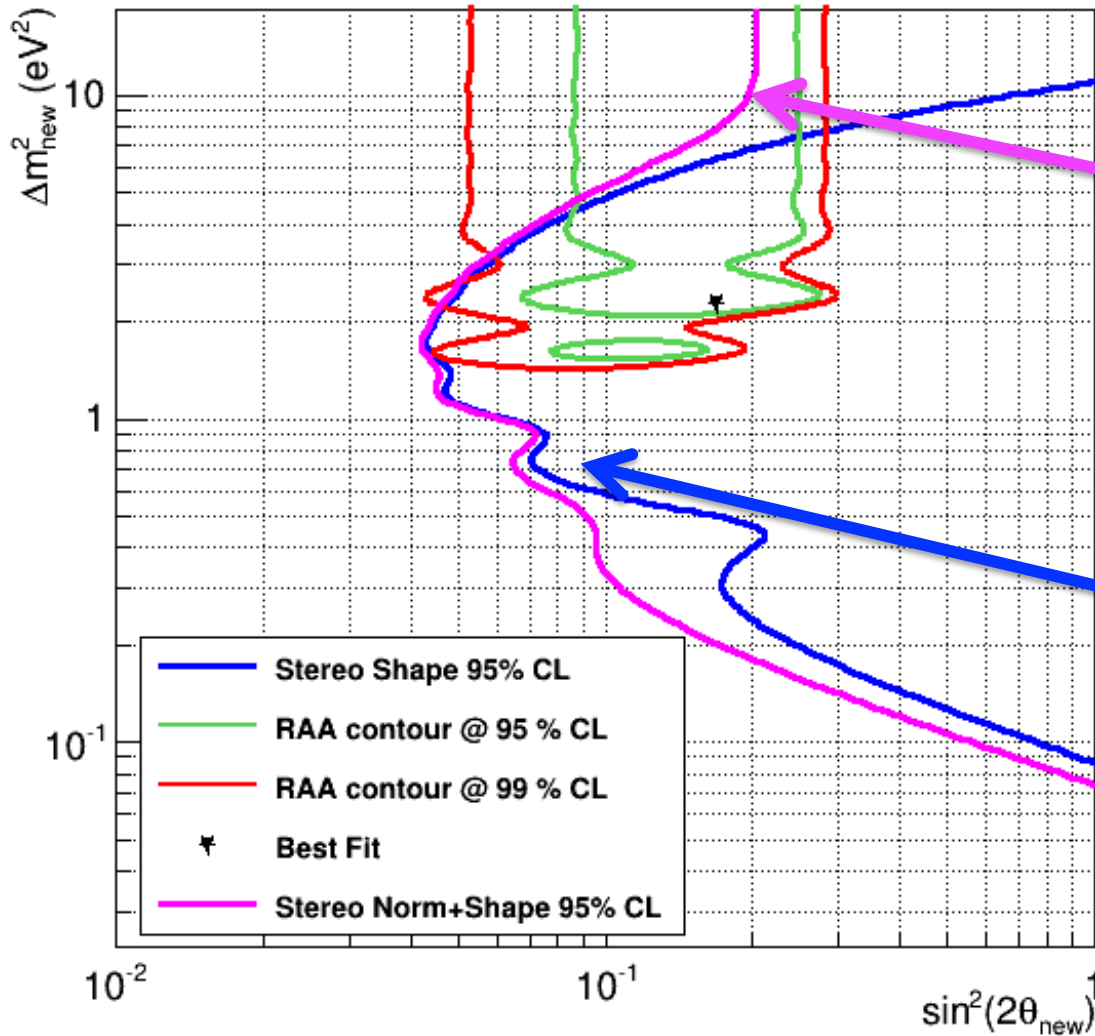
Nicolas ALLEMANDOU

Inocencio MONTEIRO

Fabrice PELTIER

Sébastien VILALTE

- Conception, mise en œuvre et exploitation du système de **calibration par sources radioactives**
- Conception de la **mécanique des blindages** : design des blindages en plomb et polyéthylène et de la structure de support mécanique de la manip
- Participation à l'analyse des données



Signature: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$

Normalisation (taux de comptage) -> maîtrise de l'efficacité de reconstruction de captures de neutron

Mesure du spectre en énergie -> maîtrise de la reconstruction de l'énergie du positron -> systématique énergie < 2 % (électronique + E déposée par sources)

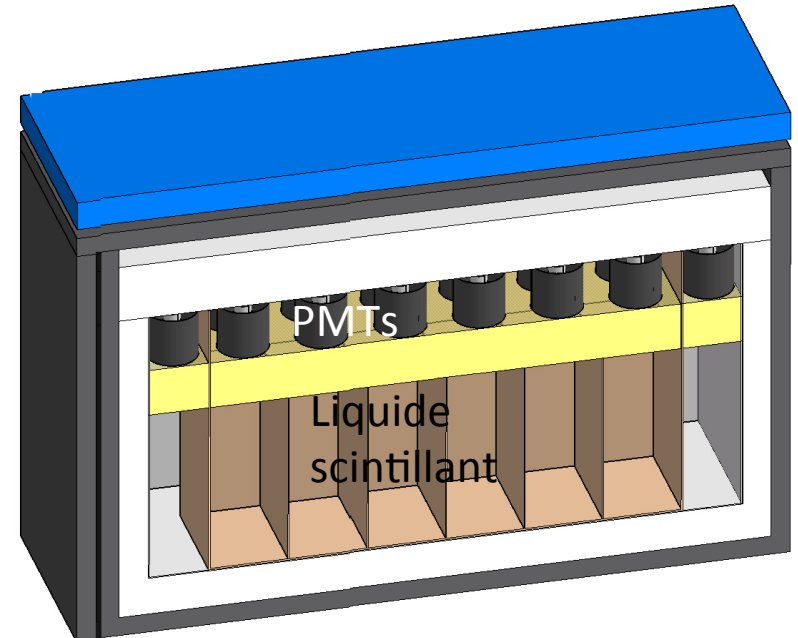
Calibration par sources radioactives

- Dépôt d'énergie : $\text{PMT}_i \rightarrow Q_i$
- LEDs donnent gain : $Q_i \rightarrow N_i^{\text{pe}}$
- Sources radioactives avec raies gamma bien connues :

$$N_{\text{tot}}^{\text{pe}} \rightarrow E \text{ (MeV)}$$

- STEREO compare spectres dans cellules entre elles \rightarrow calibrer chaque cellule indépendamment, et GC aussi

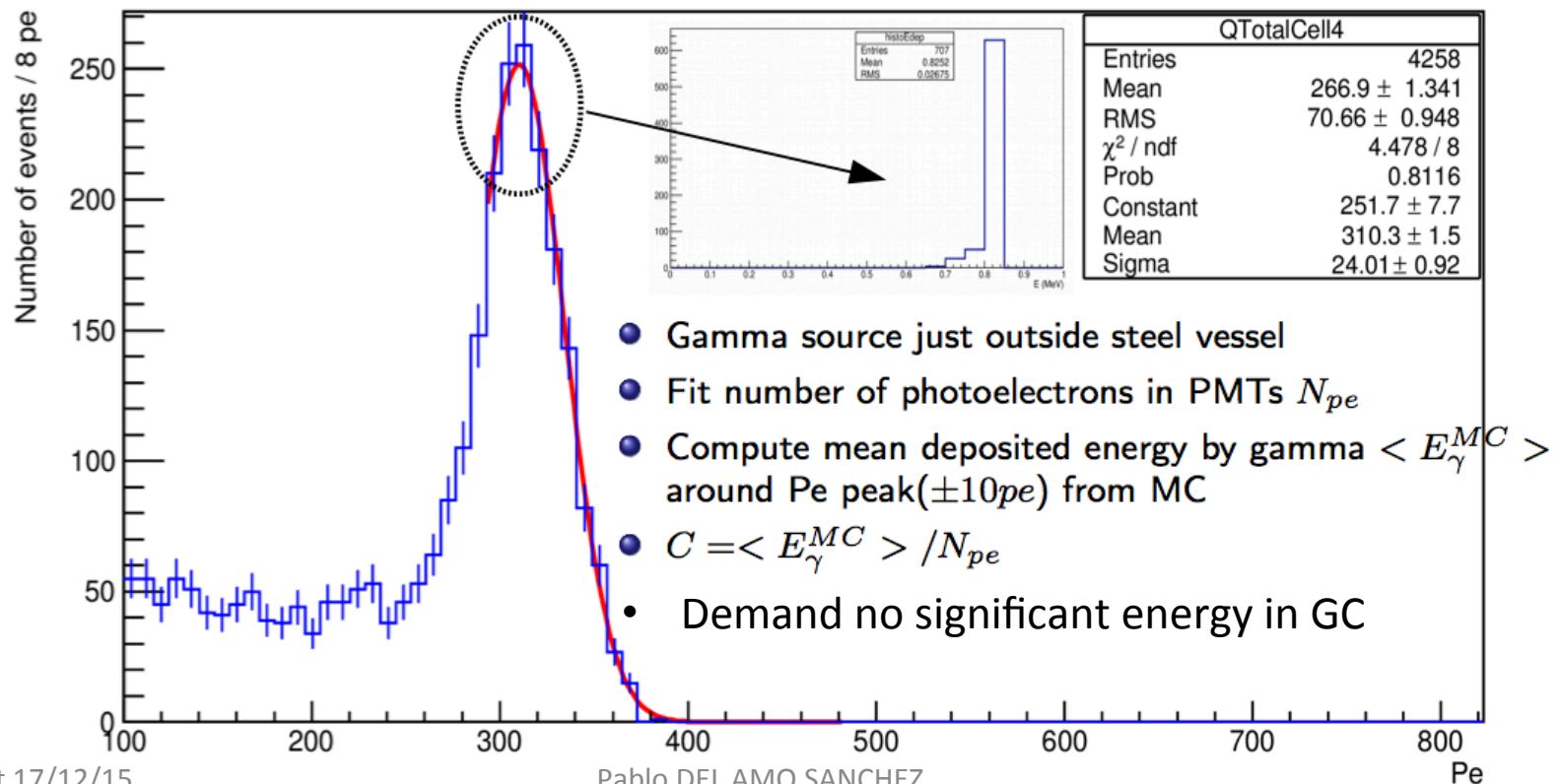
- Façon optimale d'assurer une exposition maîtrisée des volumes actifs aux rayonnements des sources ?



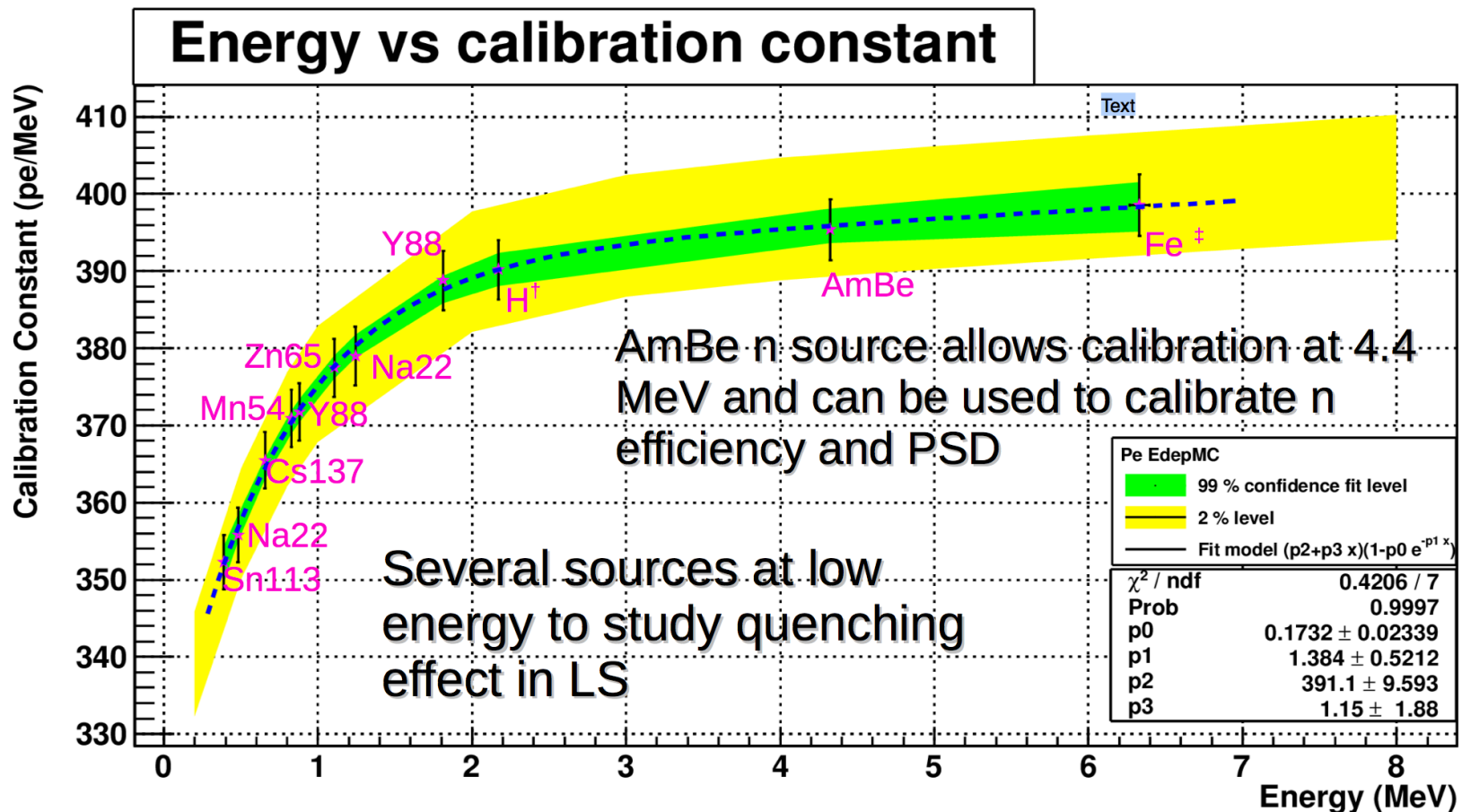
Calibration

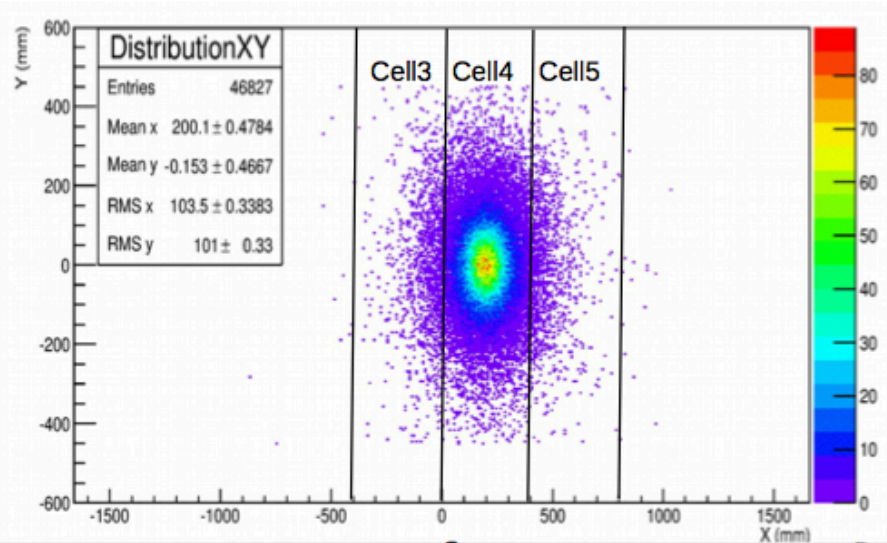
- Inspirés des expériences du Bugey : sources gamma à l'extérieur possible (contrairement à Double Chooz, Daya Bay, etc)

^{54}Mn (0.834 MeV) **outside LS vessel** (10 mm steel) between GC and shielding

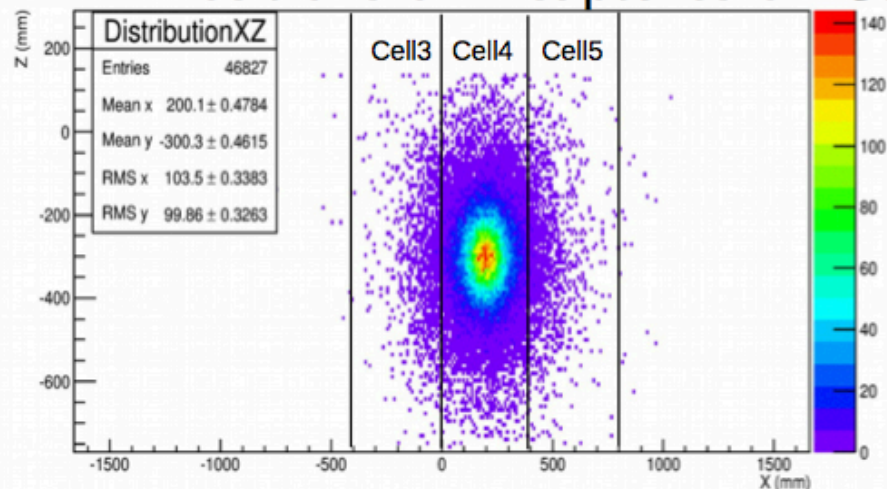


- Plein de sources possibles à basse énergie (<2 MeV)
- Haute énergie plus difficile mais en principe moins importante





Positions of n captures on Gd

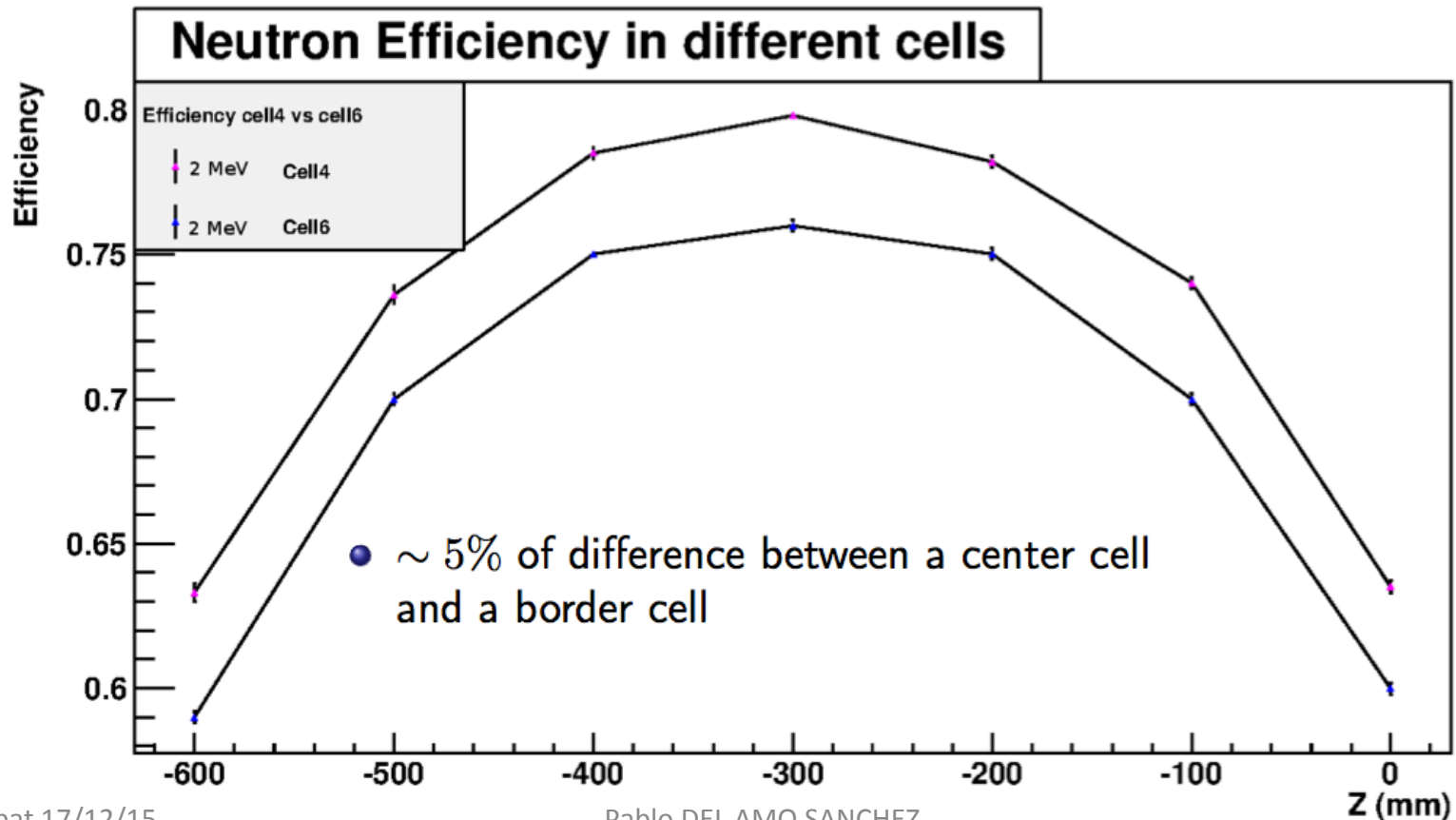


- Neutrons diffusent seulement ~ 10 cm -> calibration de l'extérieur pas possible -> besoin d'introduire les sources neutron dans cellules

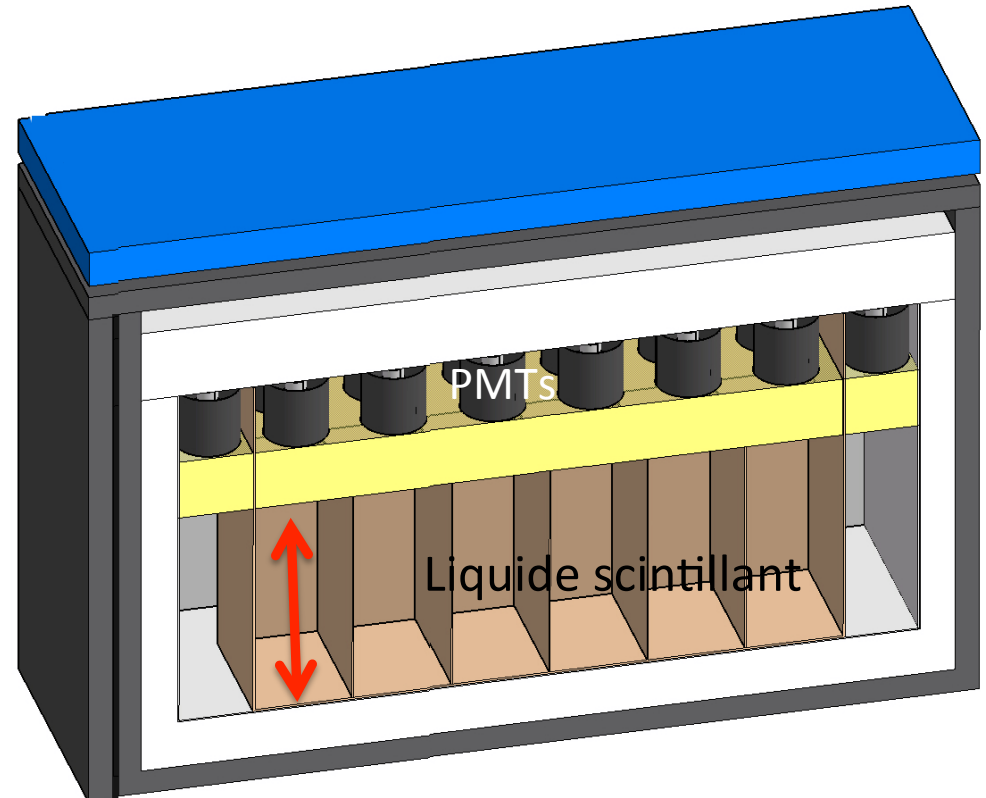
- Comment savoir combien de n émis ? -> source AmBe (n toujours émis avec γ 4.4 MeV)
- Prompt γ 4.4 MeV tags n emission

$$\epsilon_n = N(\text{prompt} \cap \text{delayed}) / N(\text{prompt})$$

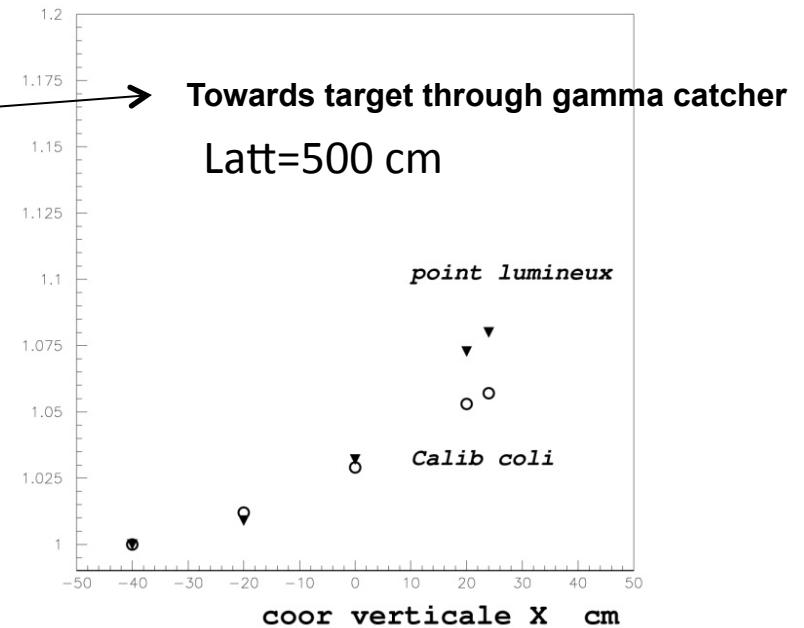
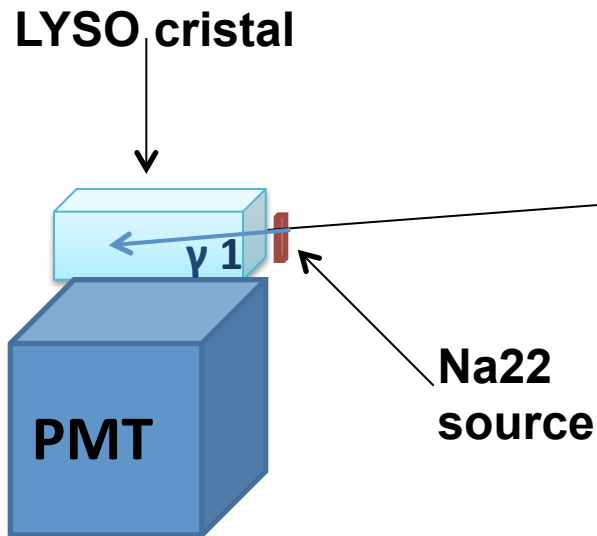
- Mesurer efficacité n avec source n au sein du liquide scintillant
- Monitorer différences eff n entre cellules avec source en dessous



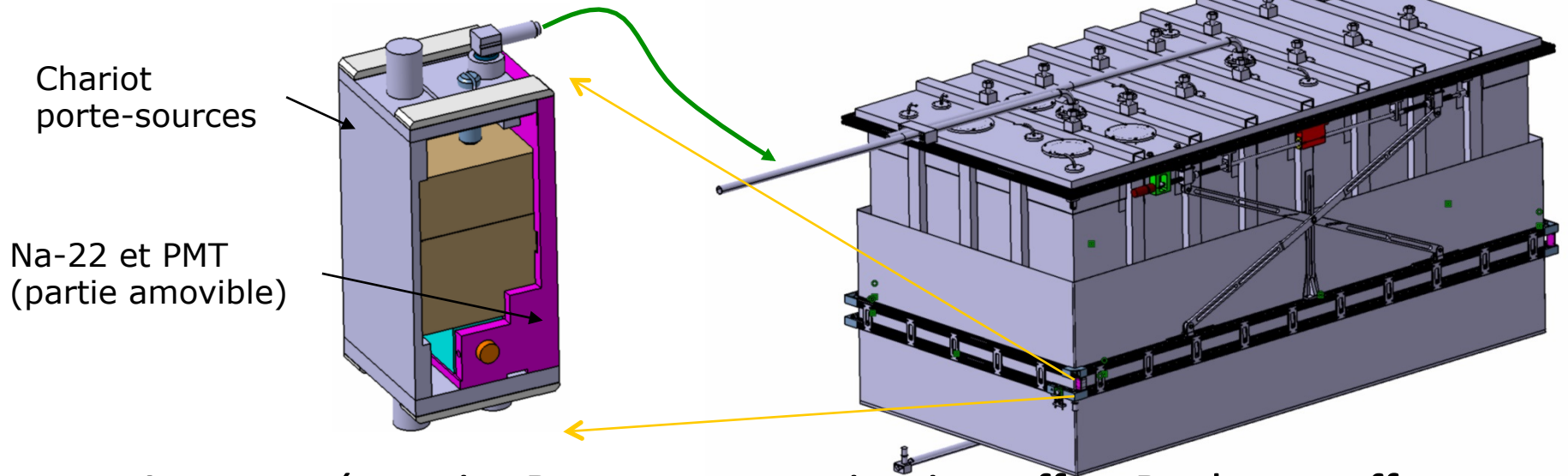
- Lumière lue par PMTs d'un seul côté uniquement (du haut)
- > dépendance de l'énergie reconstruite avec distance aux PMTs
- Très important de bien contraindre cette dépendance



- Développé système collimation active pour caractériser dépendance verticale

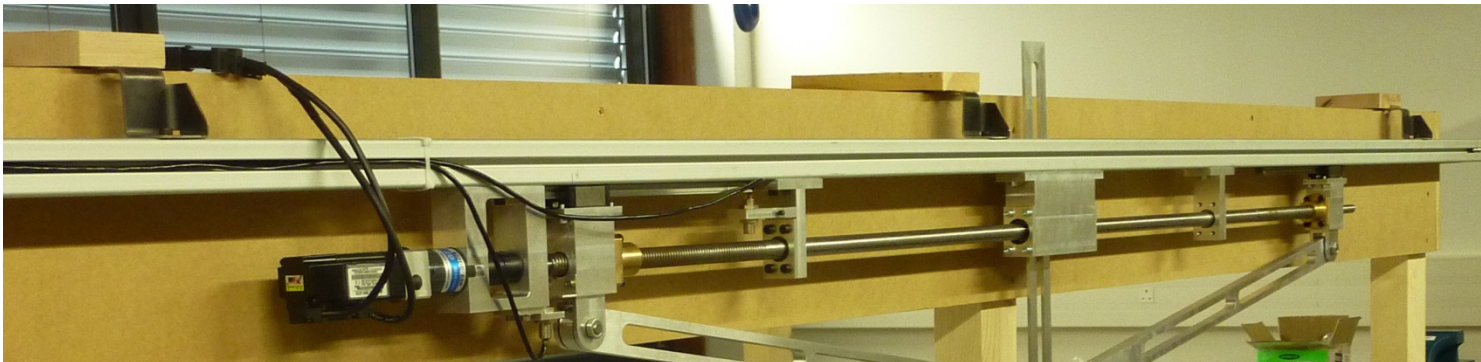
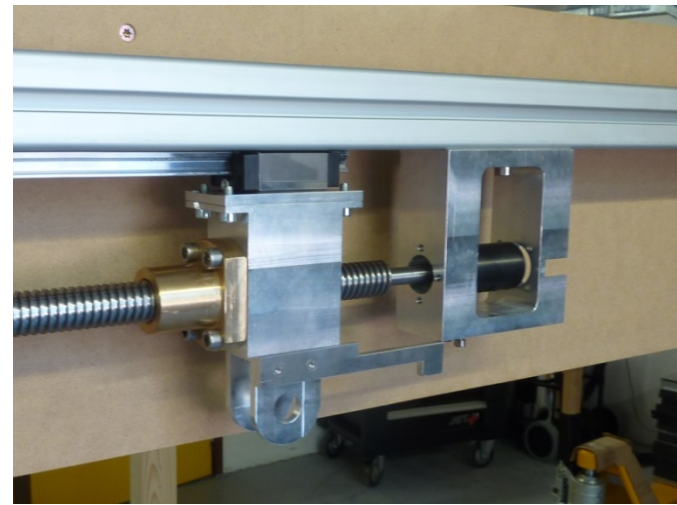
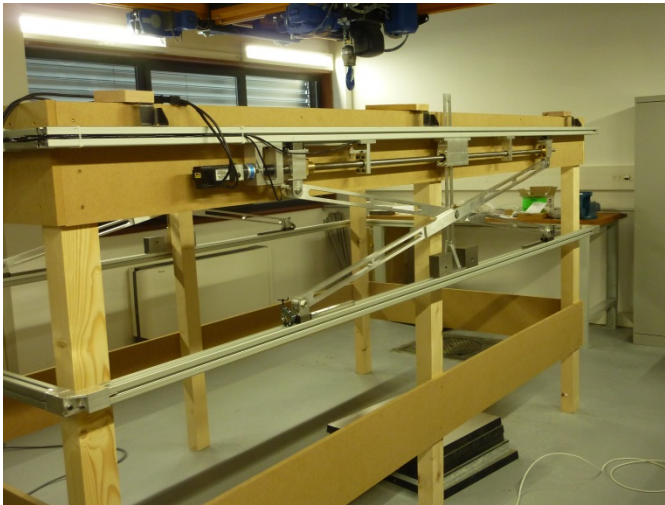


- Systeme automatisé de déplacement de sources gamma et neutron pour calibration AUTOUR de, et SOUS, la cuve

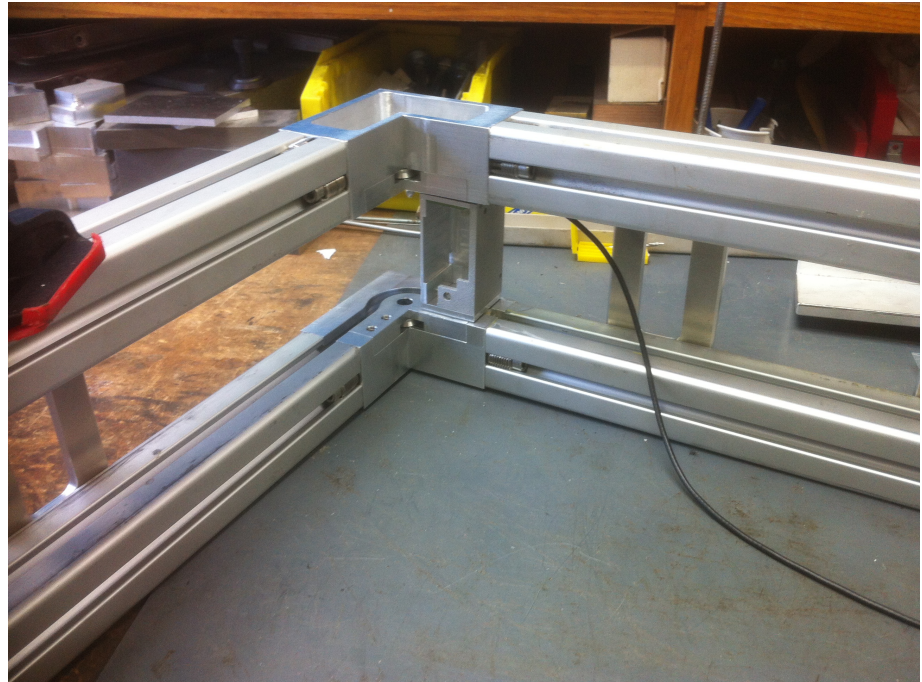


- Autour : énergie. Dessous : monitoring eff n. Dedans : eff n.
- Systeme actif de collimation pour caractérisation de la dépendance verticale (source Na-22 + cristal scintillant + PMT).
Electronique d'alimentation et découplage du signal du PMT

- Synchronisation automatisme élévation deux côtés réussie ;
couple nécessaire pour élévation $\sim 30\%$ du couple max

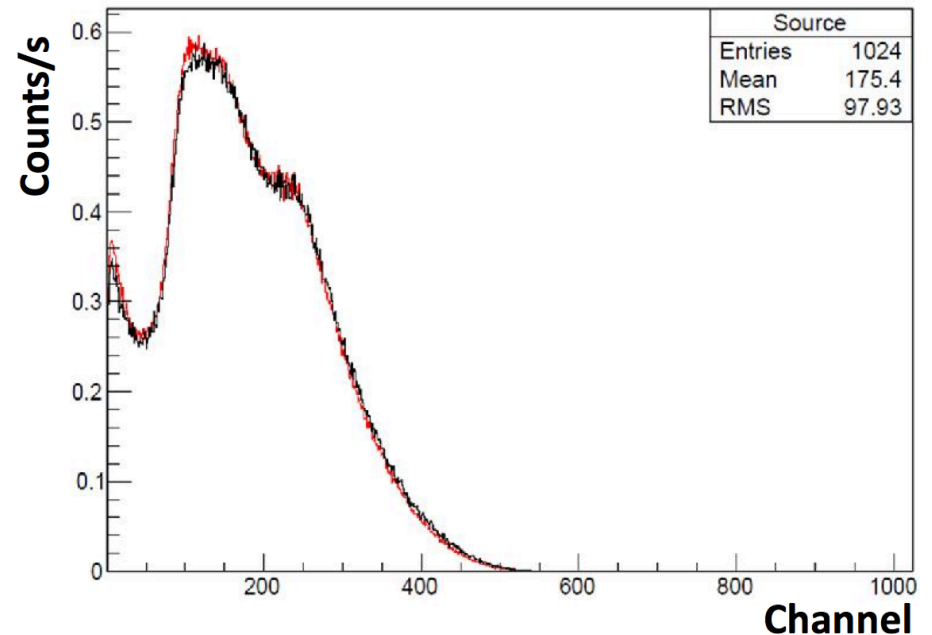


- Tests déplacement chariot porte sources

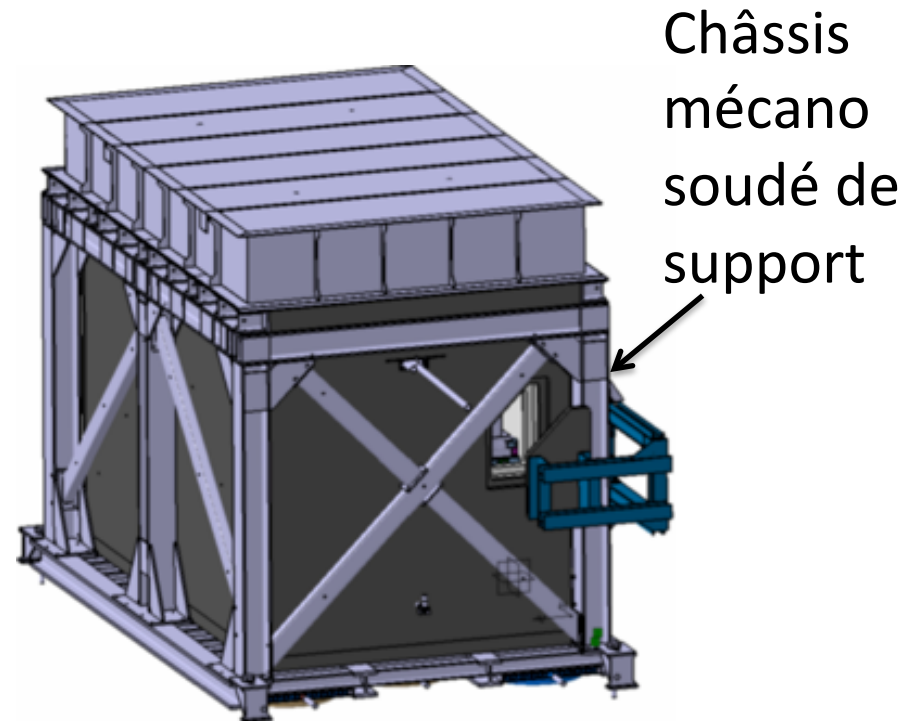
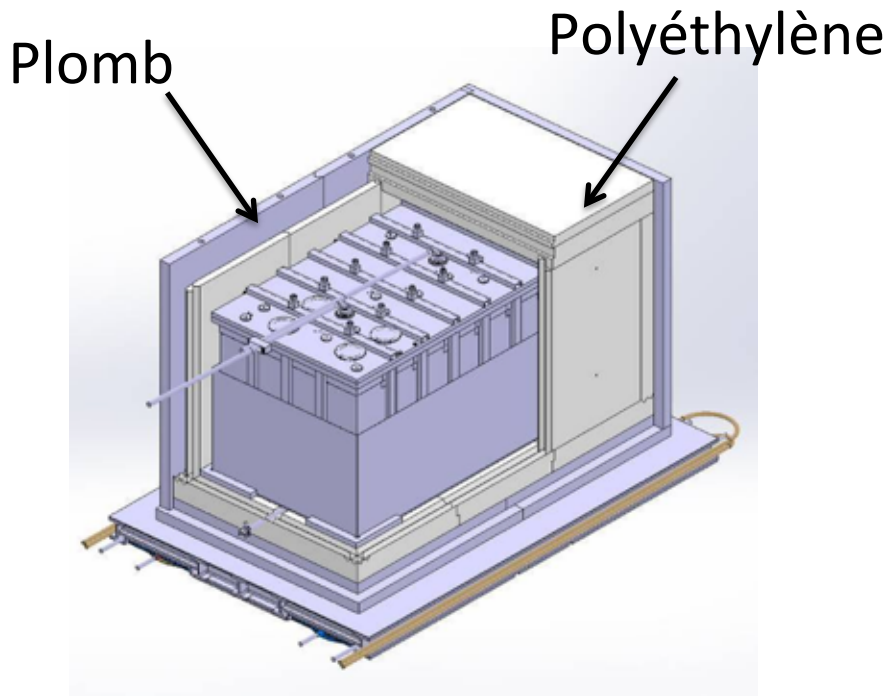




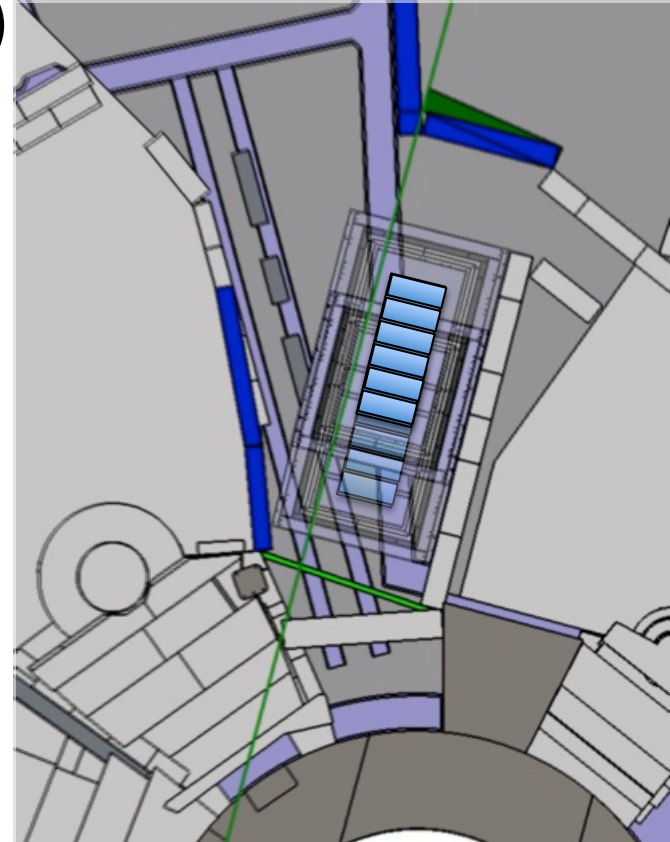
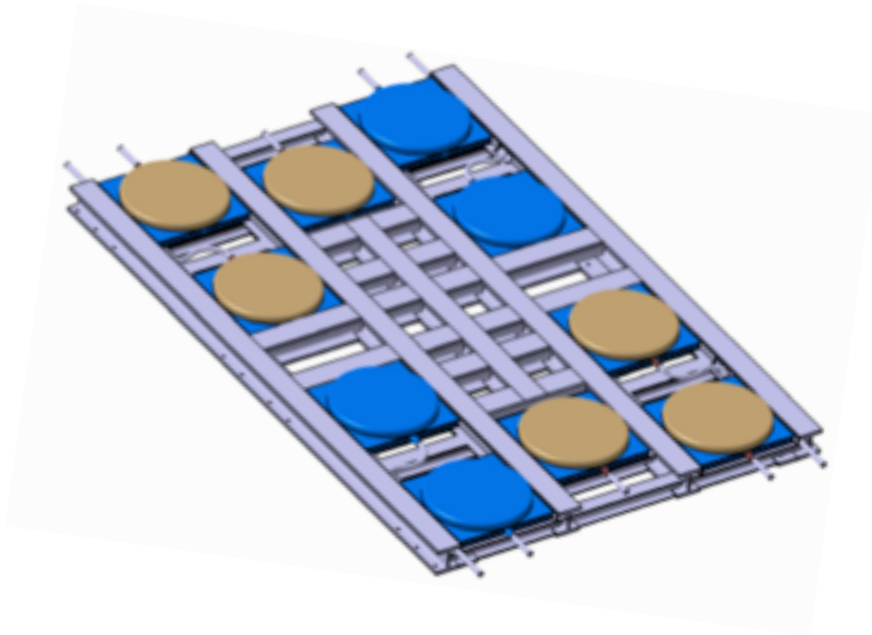
- Tests du système cristal+PMT en cours



- Ambiance gamma et n à l'ILL nécessite de blindages conséquents
- Conception des blindages et de leur structure de support
- Intégration globale de la maquette 3D et gestion des interfaces

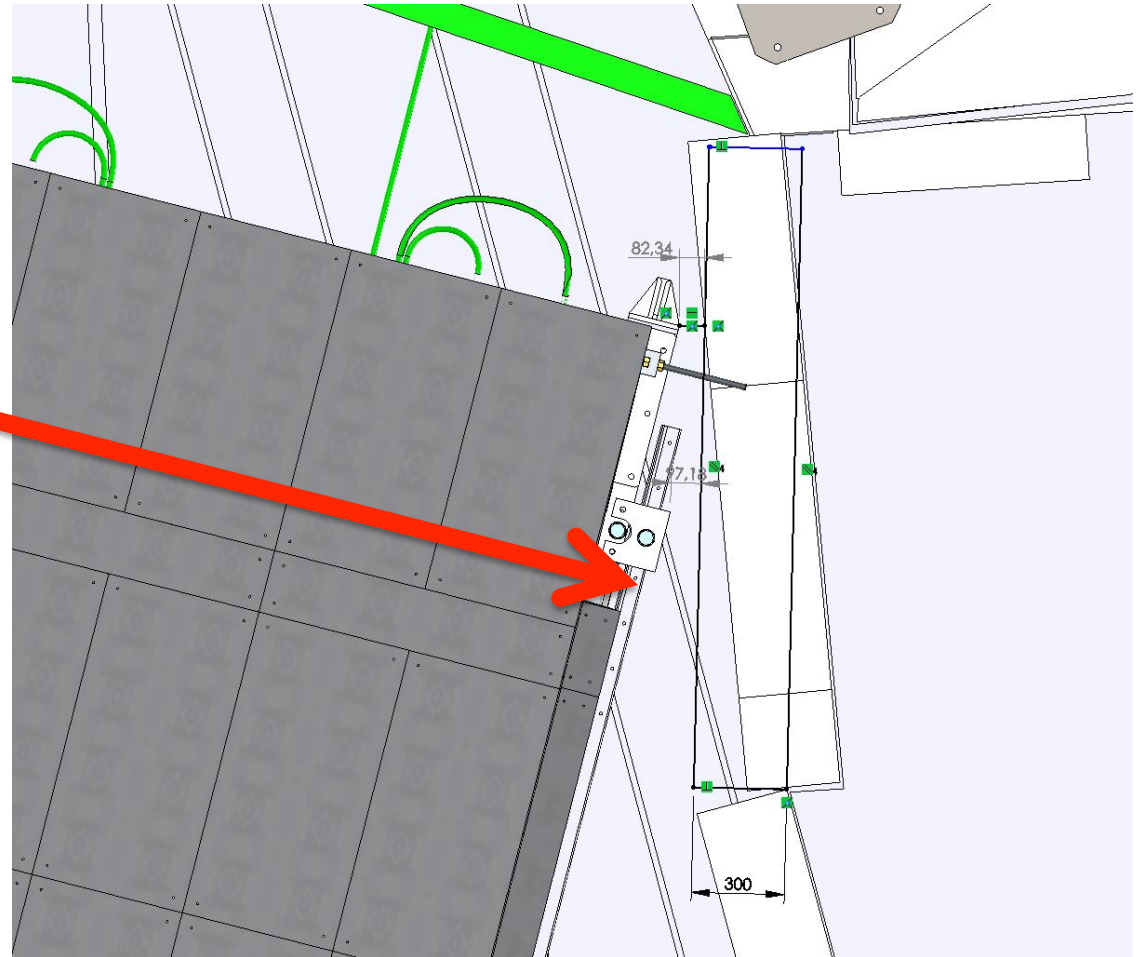
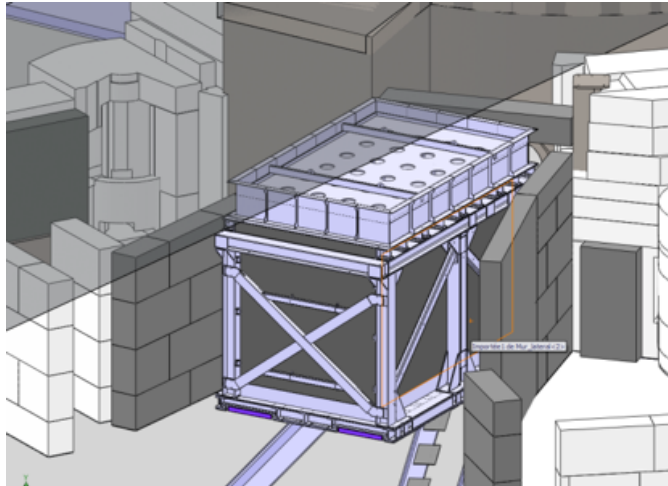


- Ajouté des coussins d'air pour déplacement des > 95 T de l'ensemble -> possibilité de prises des données en position proche ET reculée (1,4 m plus loin)



Etude de la cinématique
du déplacement sur
coussins d'air et guidage
de l'ensemble

Rail de guidage



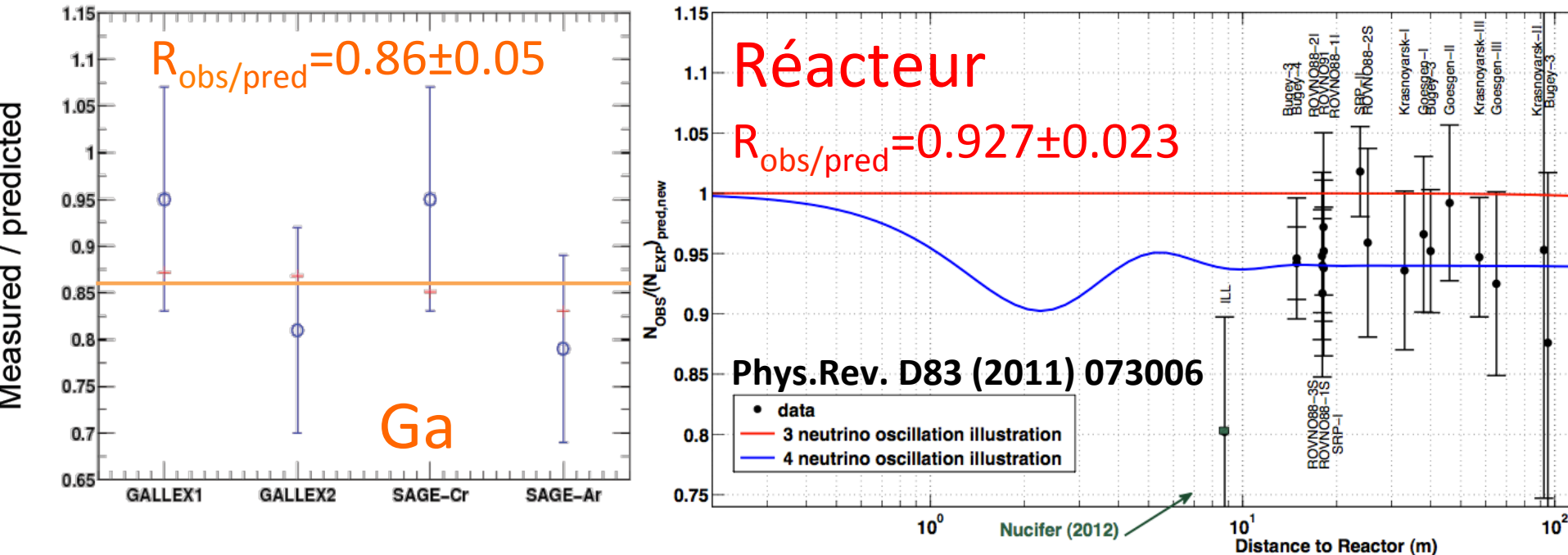
- Conception, mise en œuvre et exploitation du système de **calibration par sources radioactives**
- Conception de la **mécanique des blindages** : design des blindages en plomb et polyéthylène et de la structure de support mécanique de la manip
- Participation à l'analyse des données



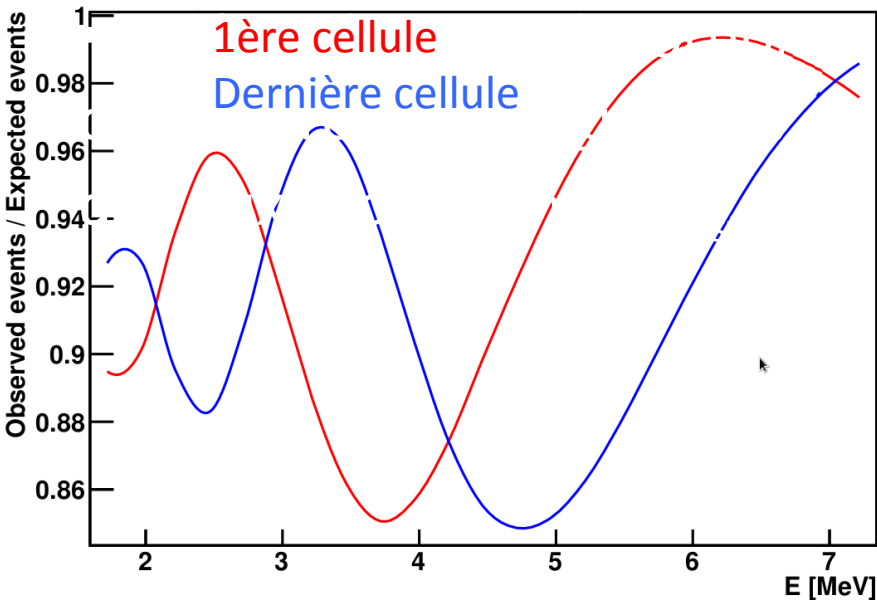
BACK UP

Anomalies Réacteur et Gallium

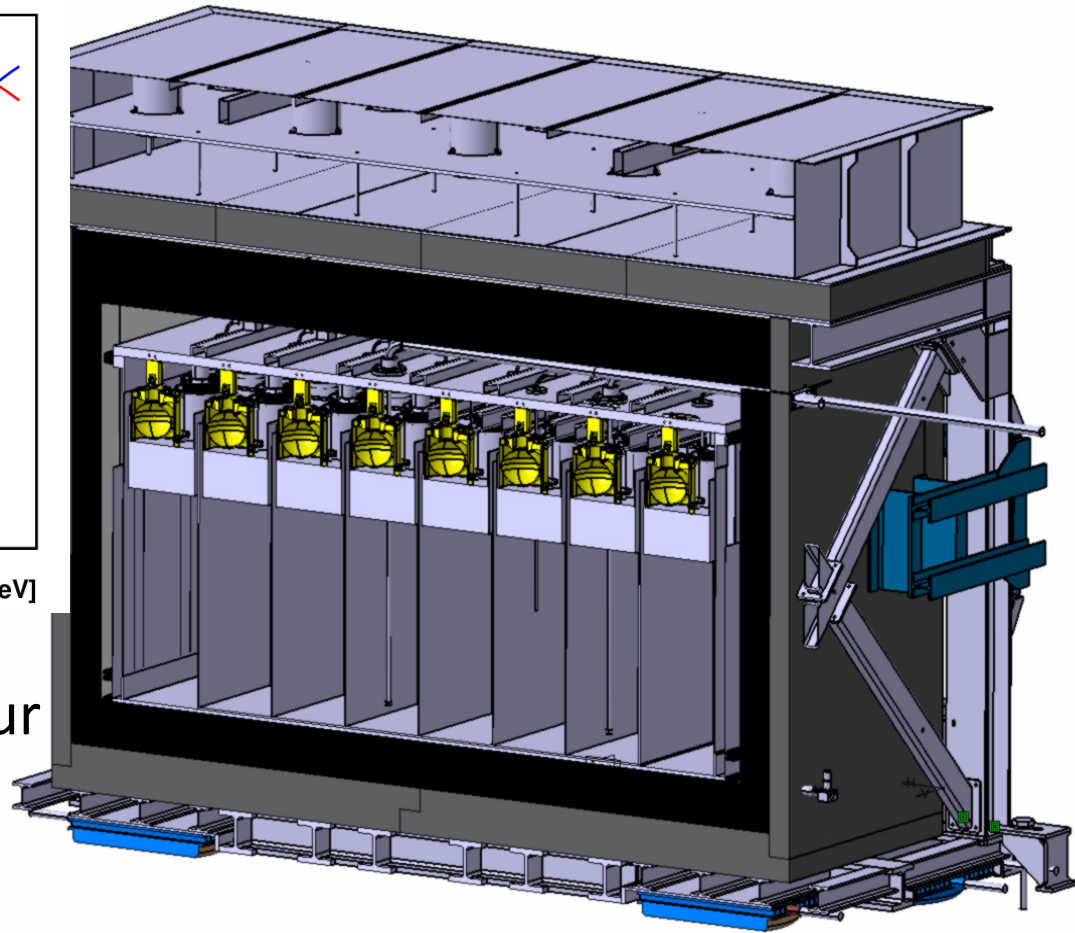
Anomalies expérimentales du Gallium (déficit observé dans runs calibration à 2.7σ) et des réacteurs (flux de ν_e observé inférieur de 3.0σ aux prédictions théoriques).



Explicable par ν stérile $\Delta m^2 \sim 2 \text{ eV}^2$, $\sin^2(2\theta_{ee}) \sim 0.2$, $L_{osc} \sim 2m$



- 2 m³ de liquide scintillant dopé au Gd, à 9-11 m du coeur
- Signature: $\nu_e + p \rightarrow e^+ + n$
- Cible segmentée pour étudier dépendance en L



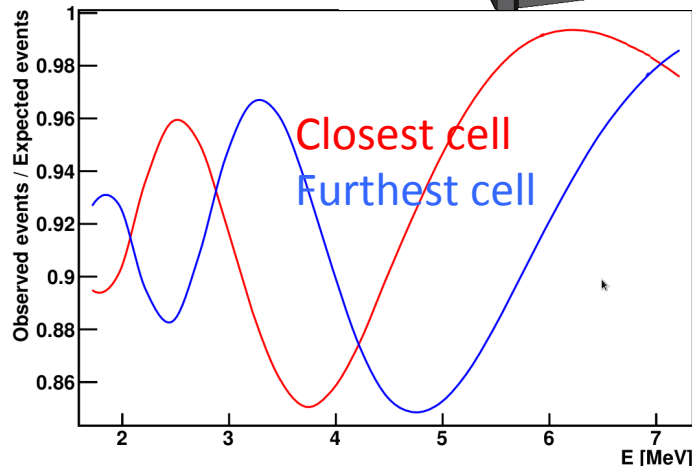
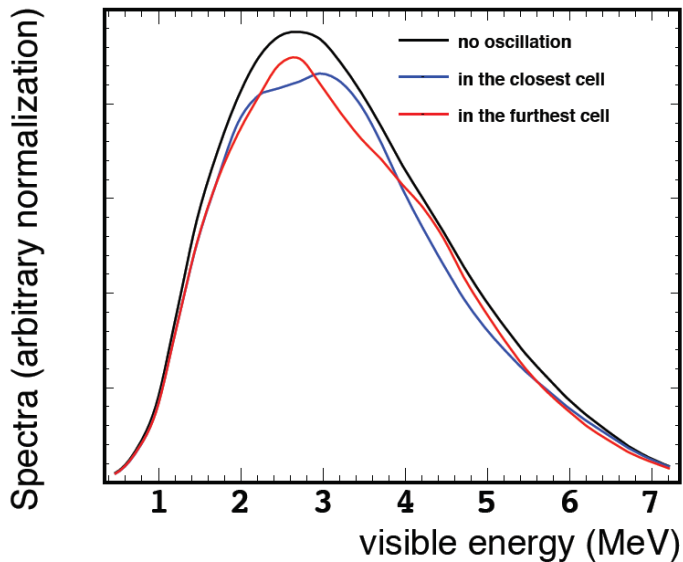
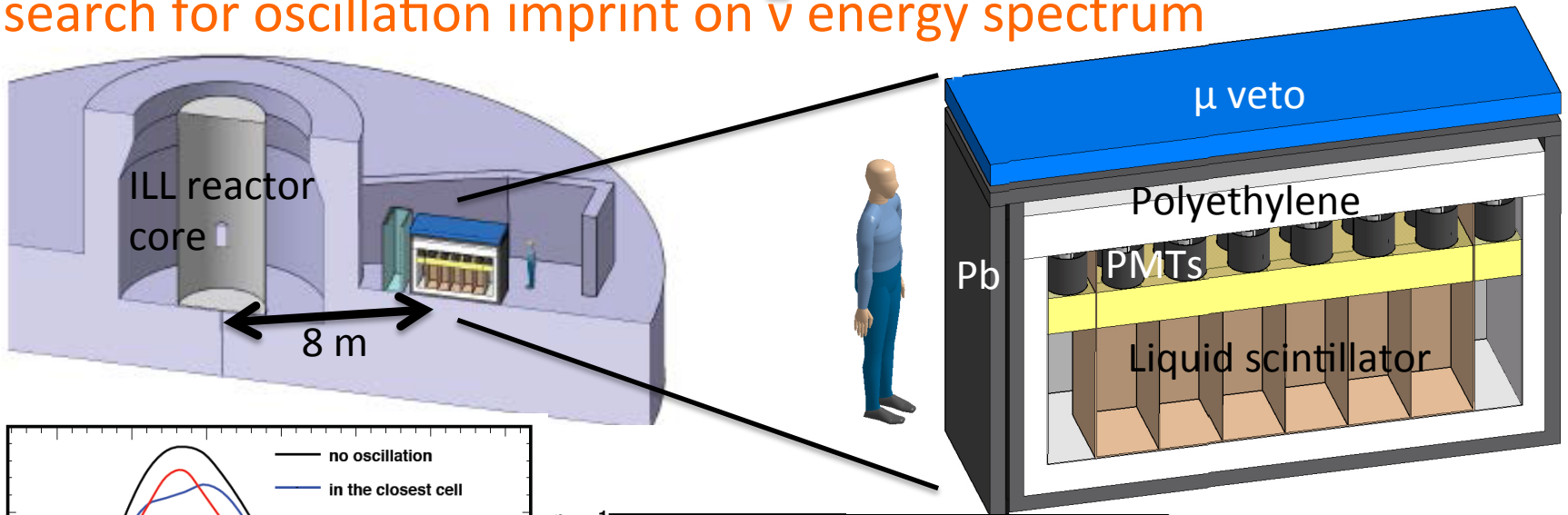
IAPP The STEREO experiment





dépasser les frontières
 Les deux infinis

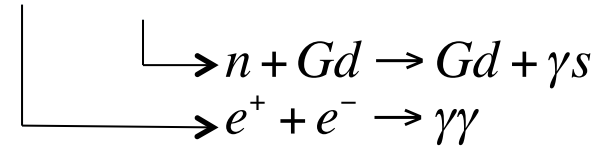
- Not just another flux measurement: in very short baselines, search for oscillation imprint on $\bar{\nu}$ energy spectrum



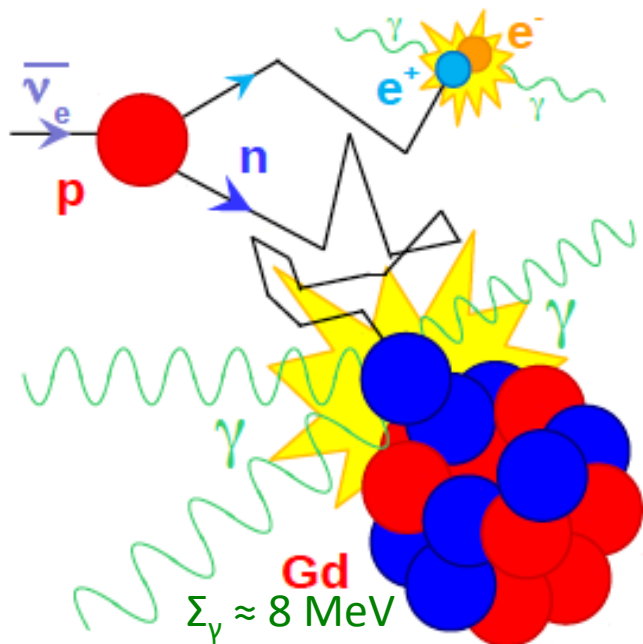
- $\bar{\nu}_e$ detection via inverse beta decay: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$

- Signature: prompt (e^+ annihilation)

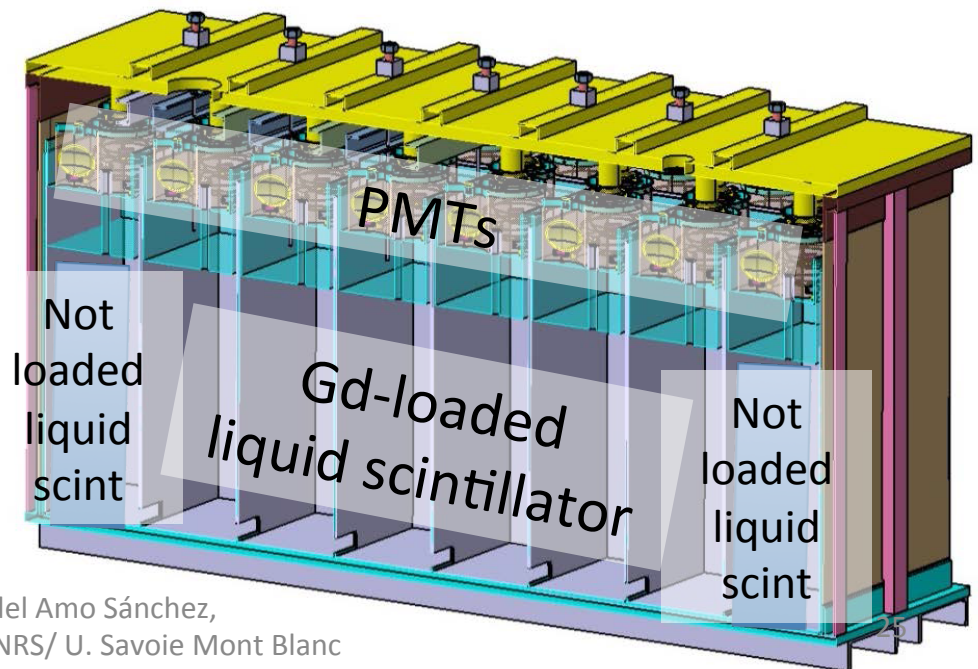
AND delayed (n capture on Gd) $\sim 15 \mu\text{s}$ later

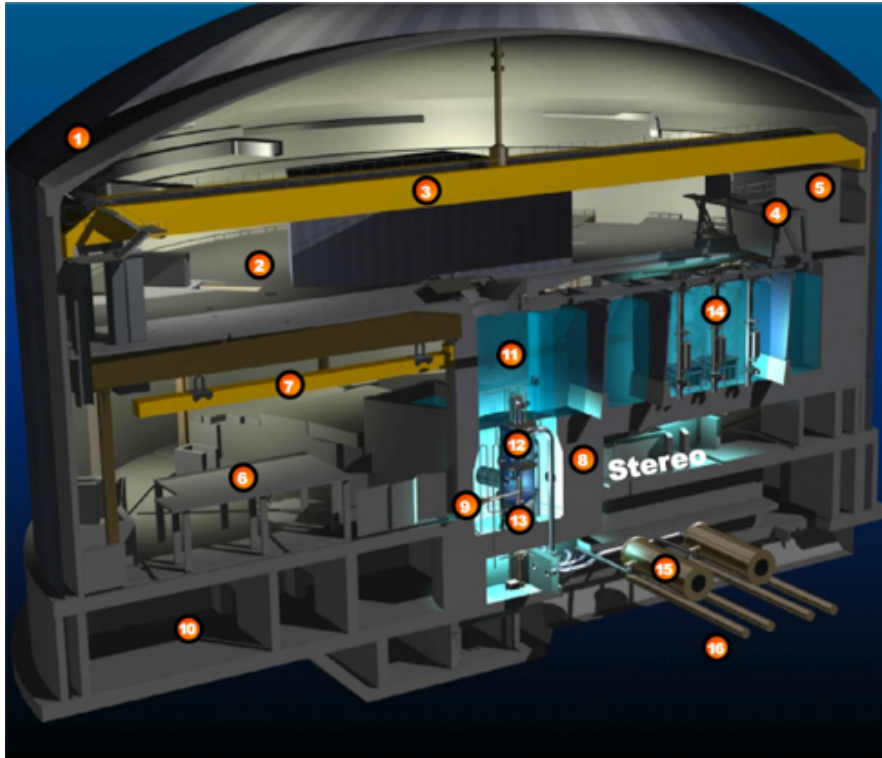


- Segmented detector (6 cells) \rightarrow L dependence
- 2m^3 Gd-loaded target surrounded by unloaded liquid scintillator to recover escaping γ 's



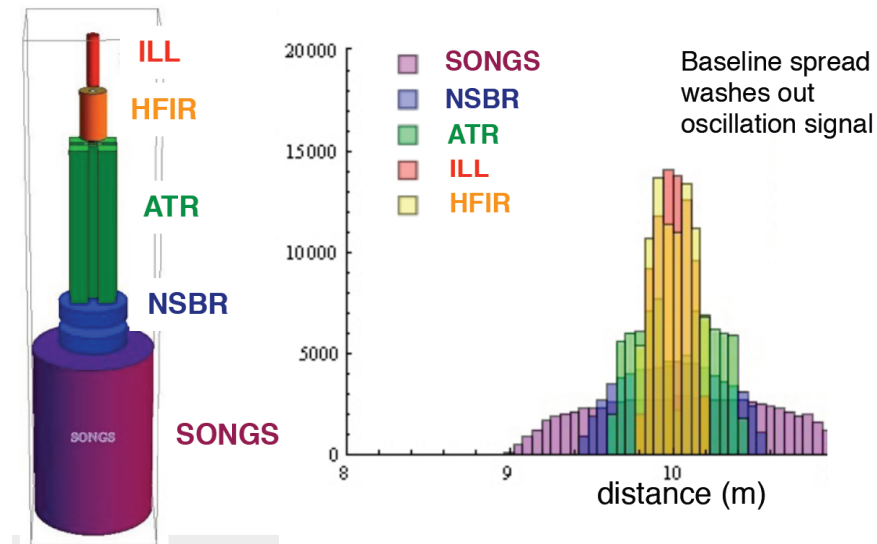
- $E(\nu) \approx E(\text{prompt}) + 0.78 \text{ MeV}$
- Good energy resolution!

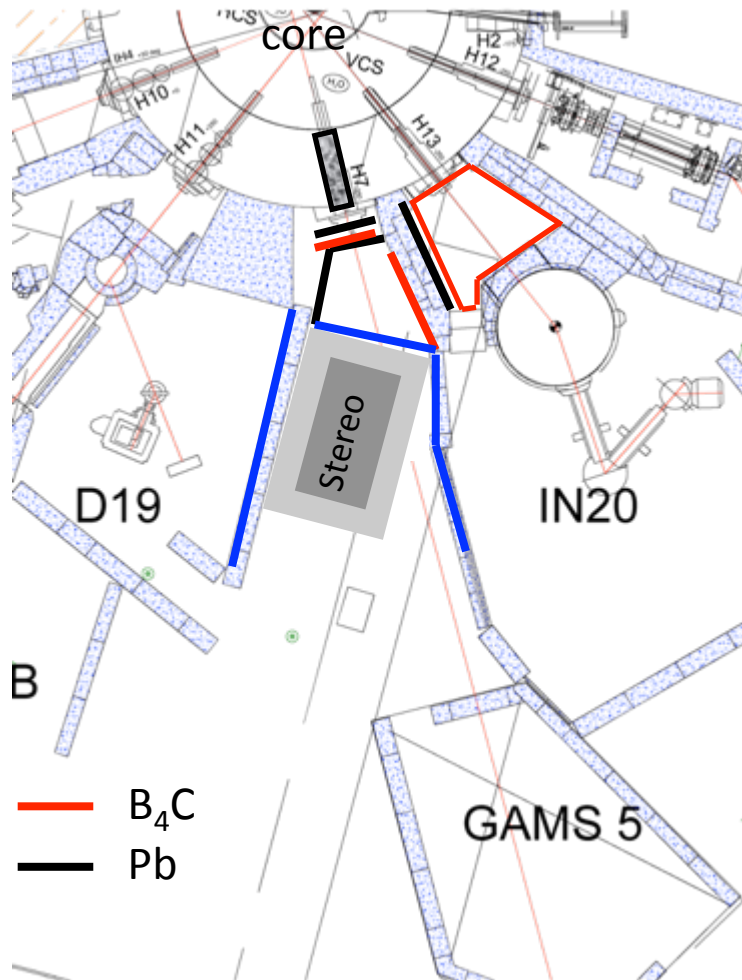




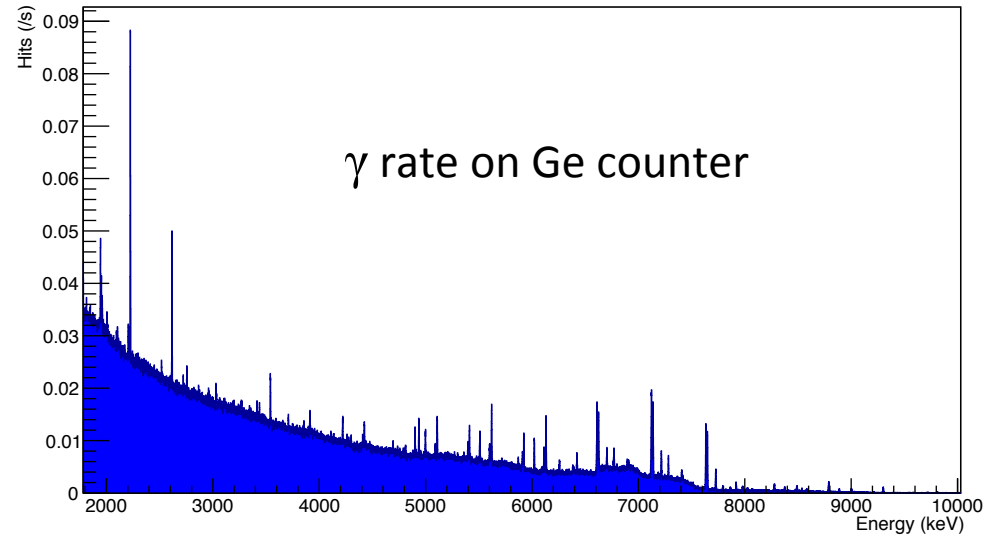
- 58 MW, high ^{235}U enrichment
- 3 to 4 cycles/year, 50 days/cycle
- Water channel overburden, 15 m.w.e.
- STEREO baseline $\langle L \rangle = 10$ m
- High γ and n flux

- Since $\langle L_{\text{osc}} \rangle \approx 4$ m, need VERY COMPACT nuclear reactor core
- Institute Laue-Langevin (Grenoble, France), diameter = 39 cm



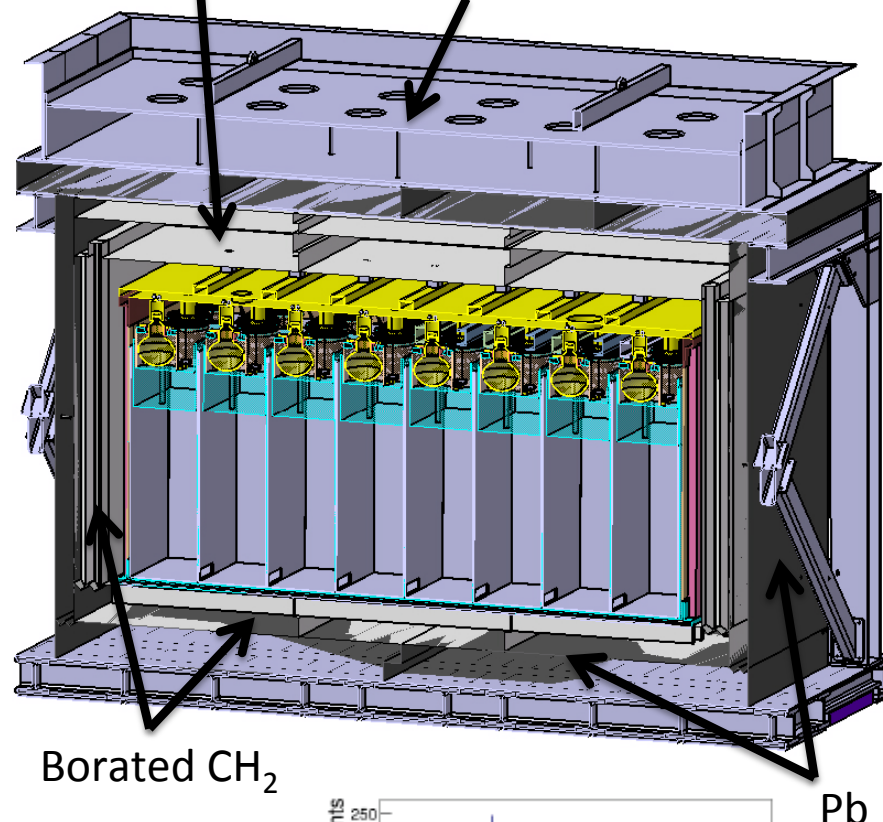


- On site measurements (γ , n, μ)

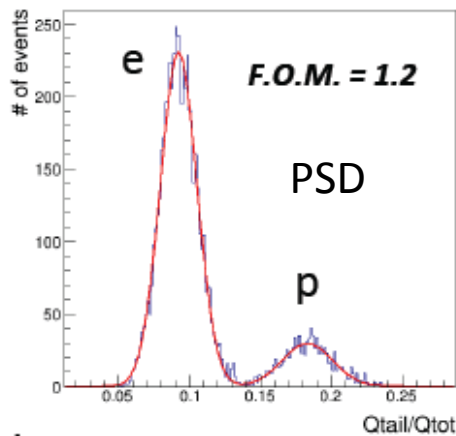


- High γ and n flux \rightarrow accidentals, correlated background:
 $n_{fast} \rightarrow$ proton recoil (prompt) + n capture (delayed)
 - Concrete+Pb plug for neutron line
 - B_4C and Pb on walls of nearby sources

Backgrounds



- On site measurements (γ , n , μ)
- High γ and n flux from reactor
- $n_{fast} \rightarrow p$ recoil (prompt) + n capture (del.)
- Shield STEREO from them:
 - Concrete+Pb plug for neutron line
 - B₄C and Pb on walls of nearby sources
 - CH₂ and Pb envelope around detector
- PSD in liquid scintillator for n_{fast}
- n_{fast} from cosmic rays
 - Water channel overburden (15 mwe)
 - Muon veto above detector
 - Reactor OFF measurement
- Check background models by shifting detector along axis



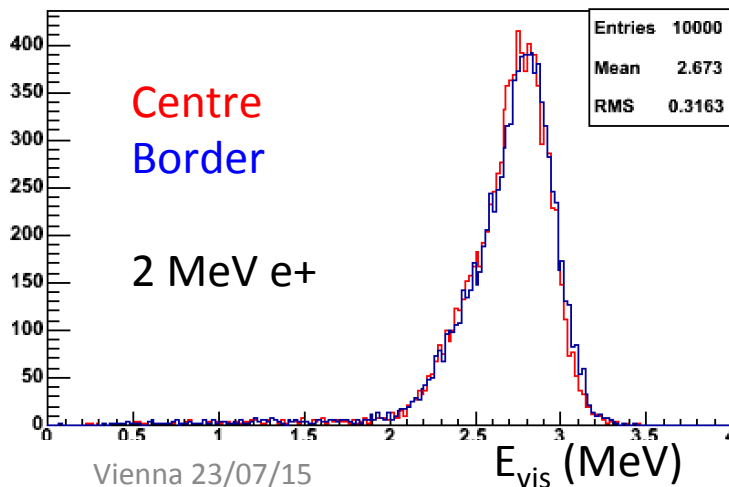
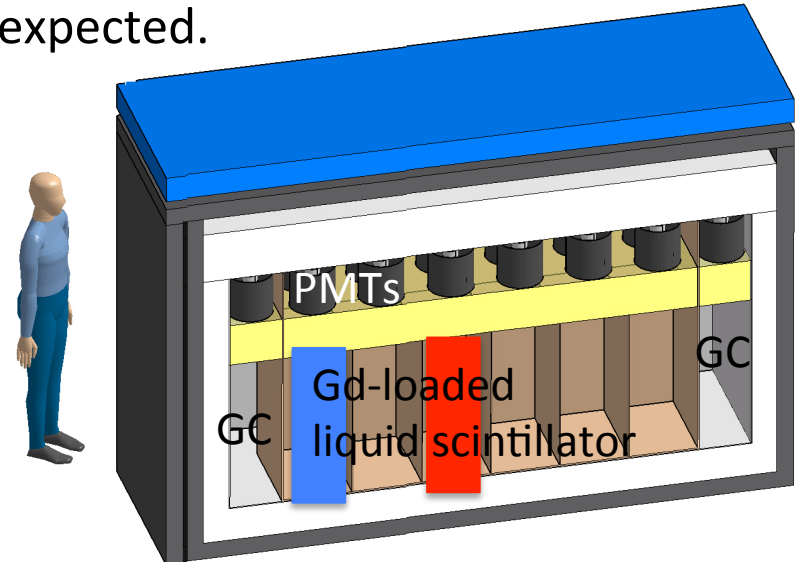
Minimise asymmetries among cells.

- No difference in ν energy reconstruction expected.

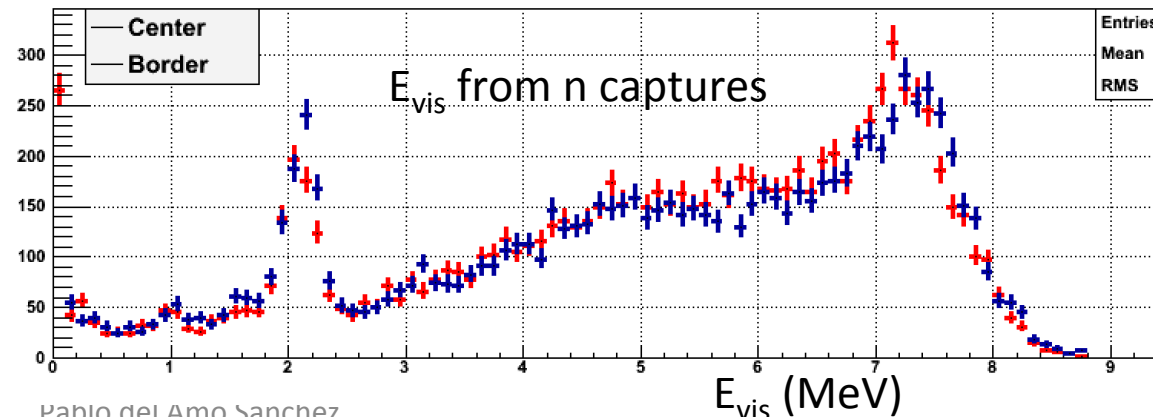
(RMS \approx 12% for $E_{\text{vis}} \approx$ 3 MeV)

- 4% difference in neutron efficiency due to lack of Gd in Gamma Catcher

(61% centre vs 57% border)

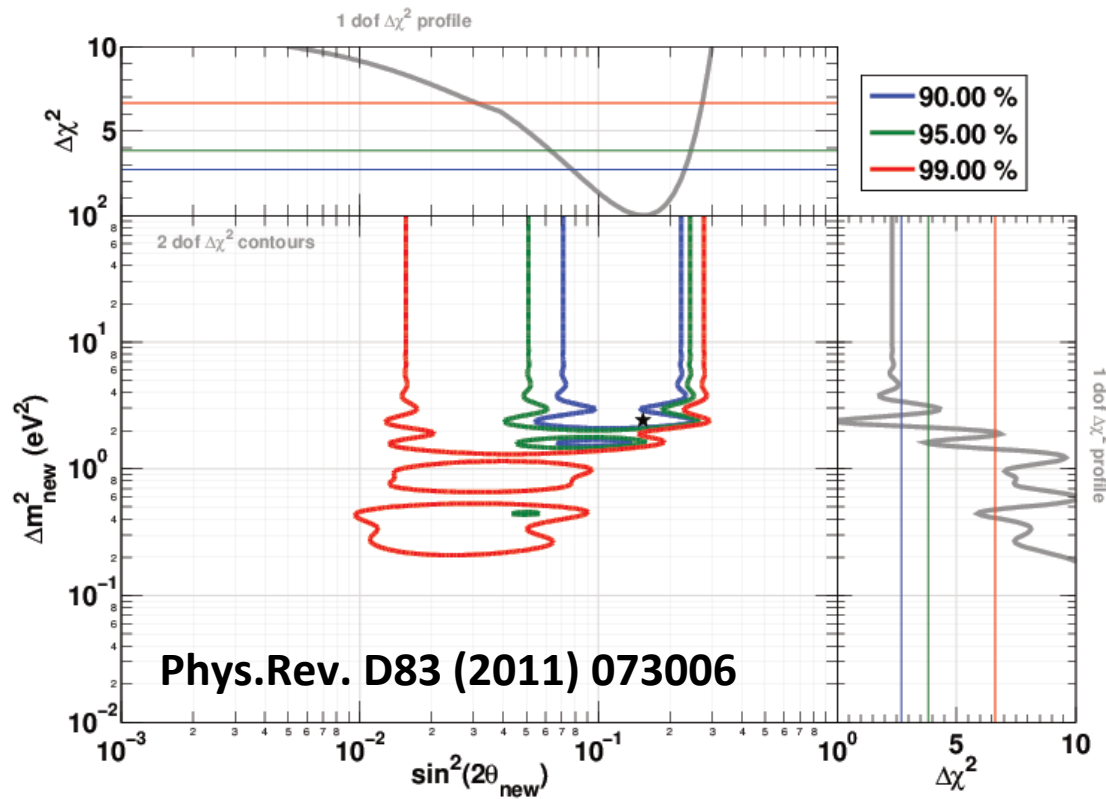


Vienna 23/07/15
EPS HEP 2015



Pablo del Amo Sanchez,
LAPP - IN2P3 - CNRS/ U. Savoie Mont Blanc

- Both reactor and Ga anomalies can be explained by 1 sterile ν

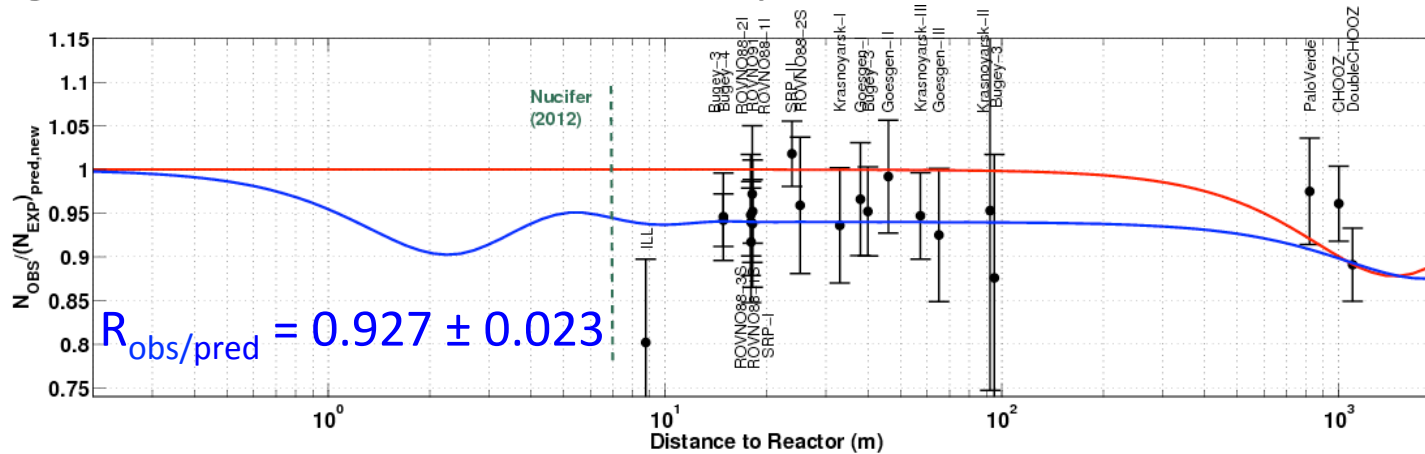


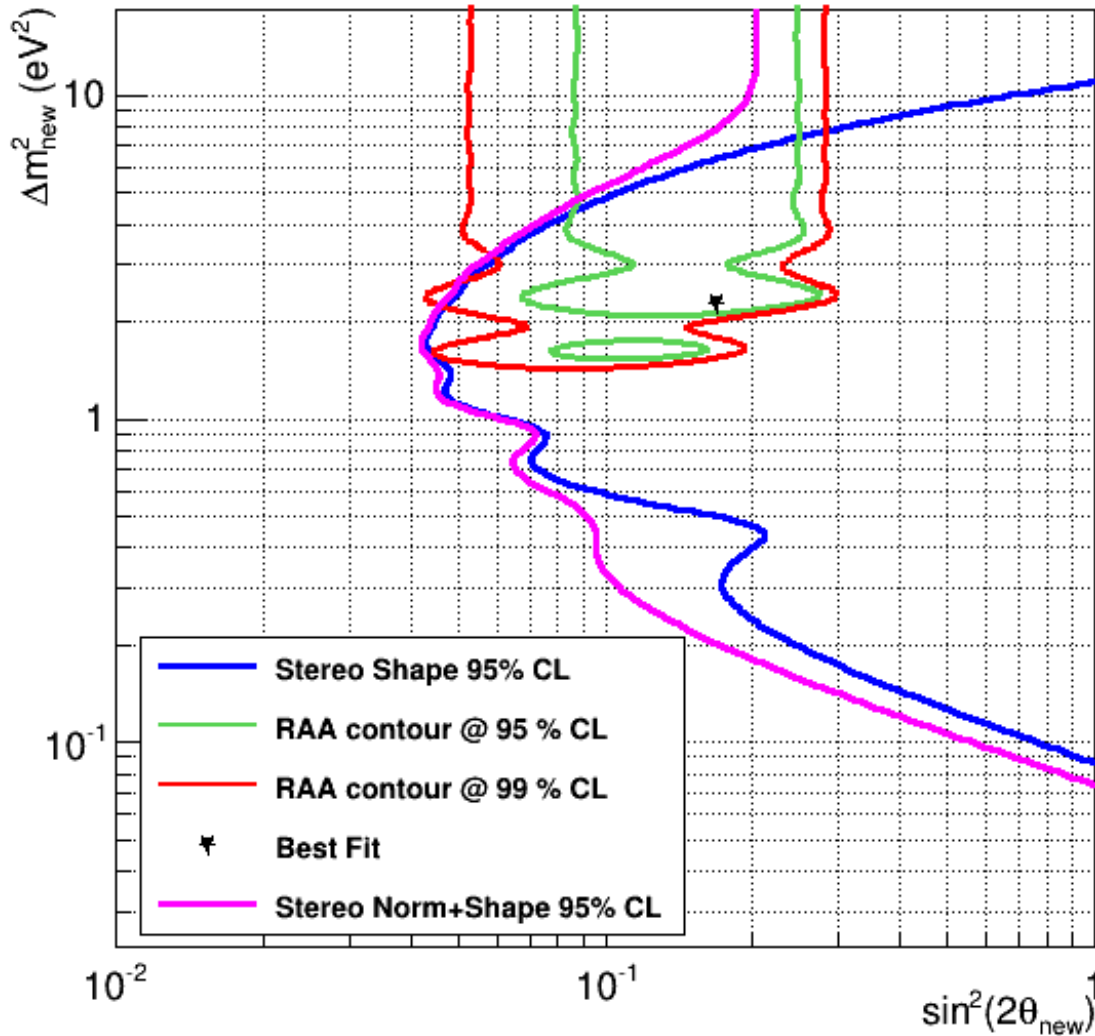
$\Delta m^2 \sim 2 \text{ eV}^2$
 $\sin^2(2\theta_{ee}) \sim 0.2$
 $L_{\text{osc}} \sim 2 \text{ m}$

- Several experiments in conflict with current 3 active neutrinos oscillation picture:

Anomaly	Type	Significance
Gallium	ν_e disappearance	2.7σ
Reactor	$\bar{\nu}_e$ disappearance	3.0σ
LSND	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	3.8σ
MiniBoone	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	3.0σ

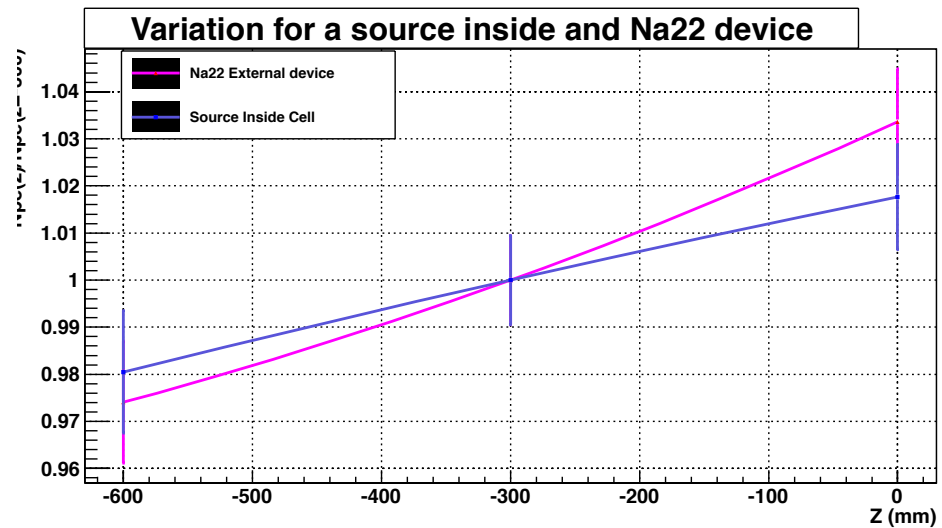
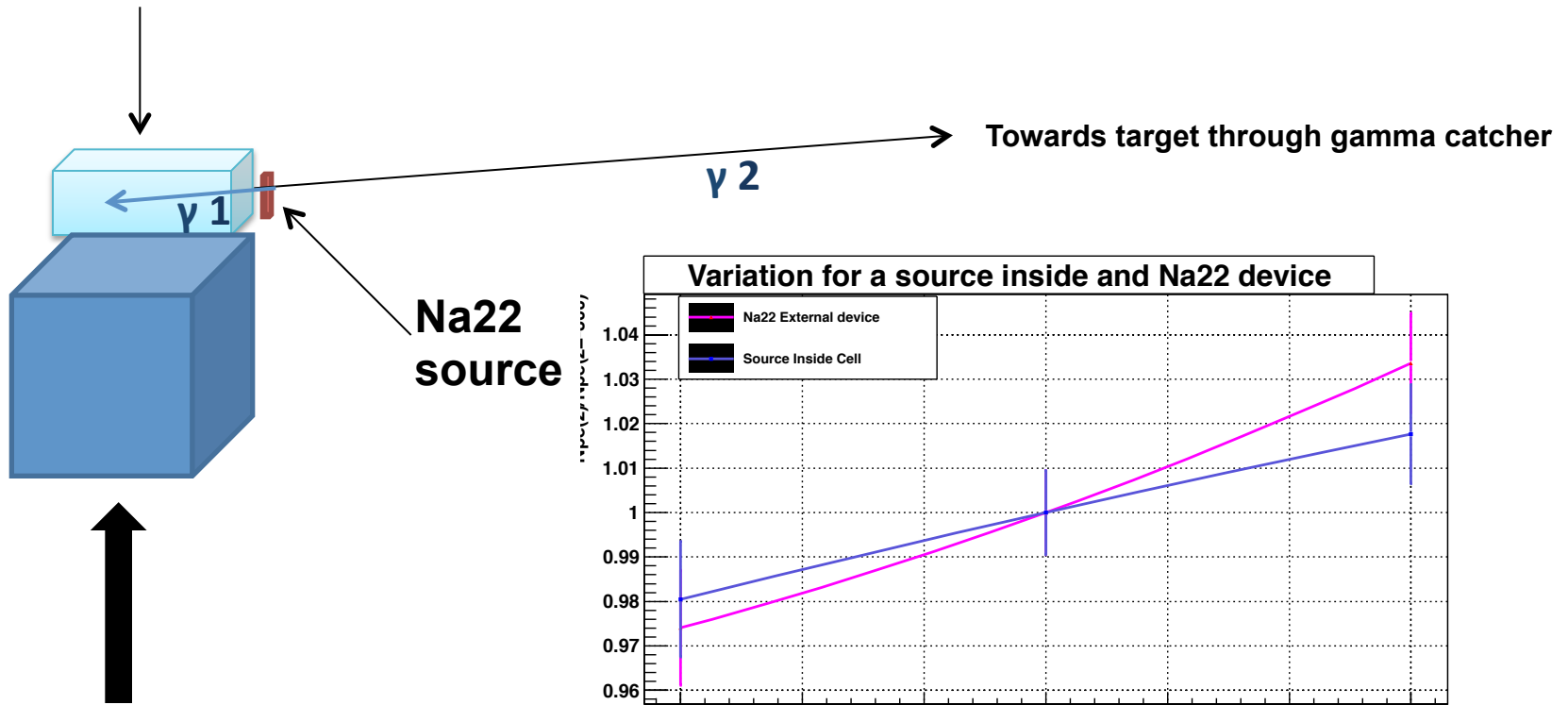
- Additional neutrinos (non-active = sterile) could explain them
- E.g. “Reactor+Gallium anomaly” → STEREO (LAPP)

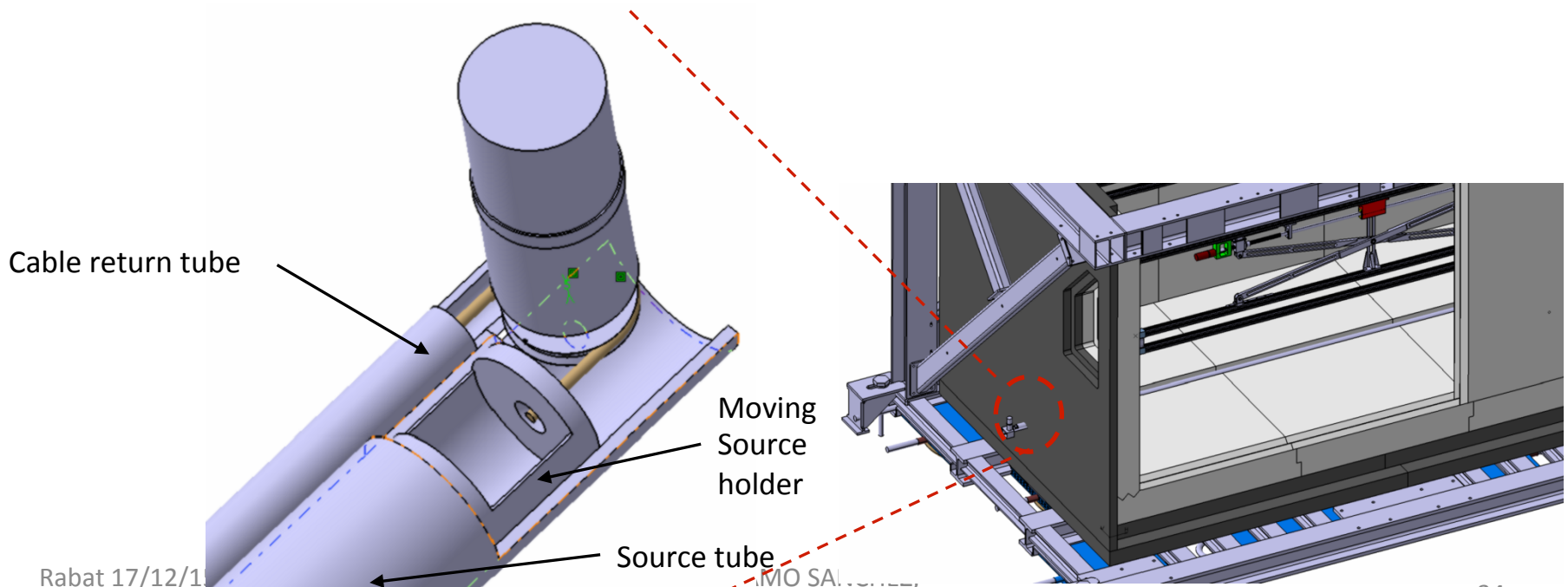




- 300 days, $\sim 480 \nu_e/\text{day}$
- $L0 = 10.0 \text{ m}$
- $E_{\text{prompt}} > 2 \text{ MeV}$
 $E_{\text{delayed}} > 5 \text{ MeV}$
- $\delta E_{\text{scale}} = 2\%$
- All syst. of predicted spectra
- $S/B = 1.5, 1/E + \text{flat}$
- Norm:
 - 3.7% absolute norm.
 - 1.7% relative norm. between cells

LYSO cristal



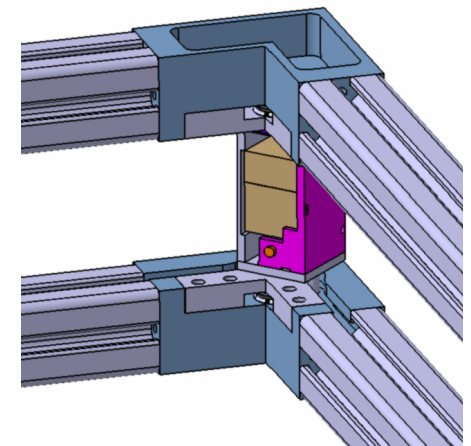
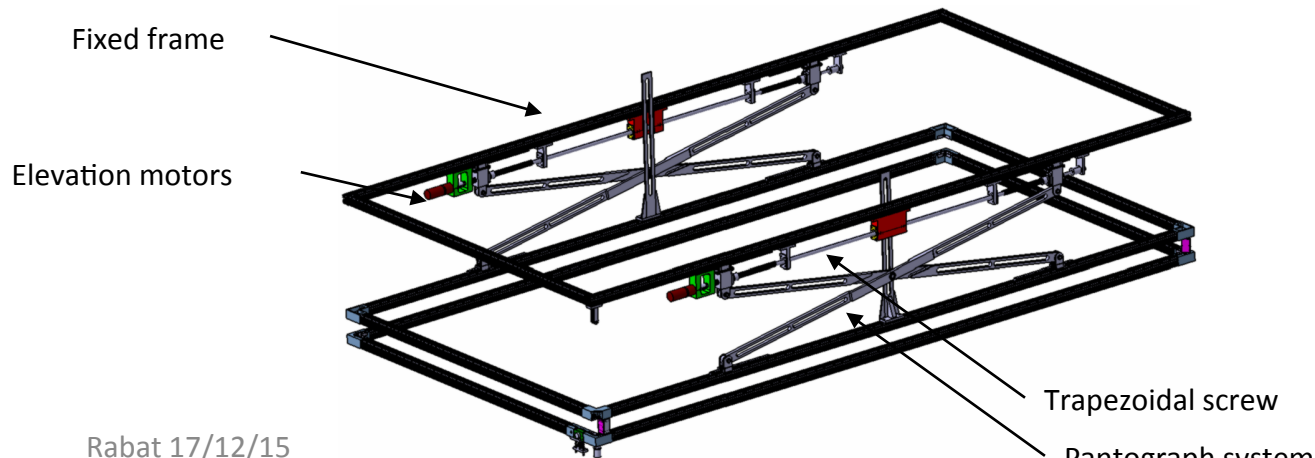




Systeme de calibration

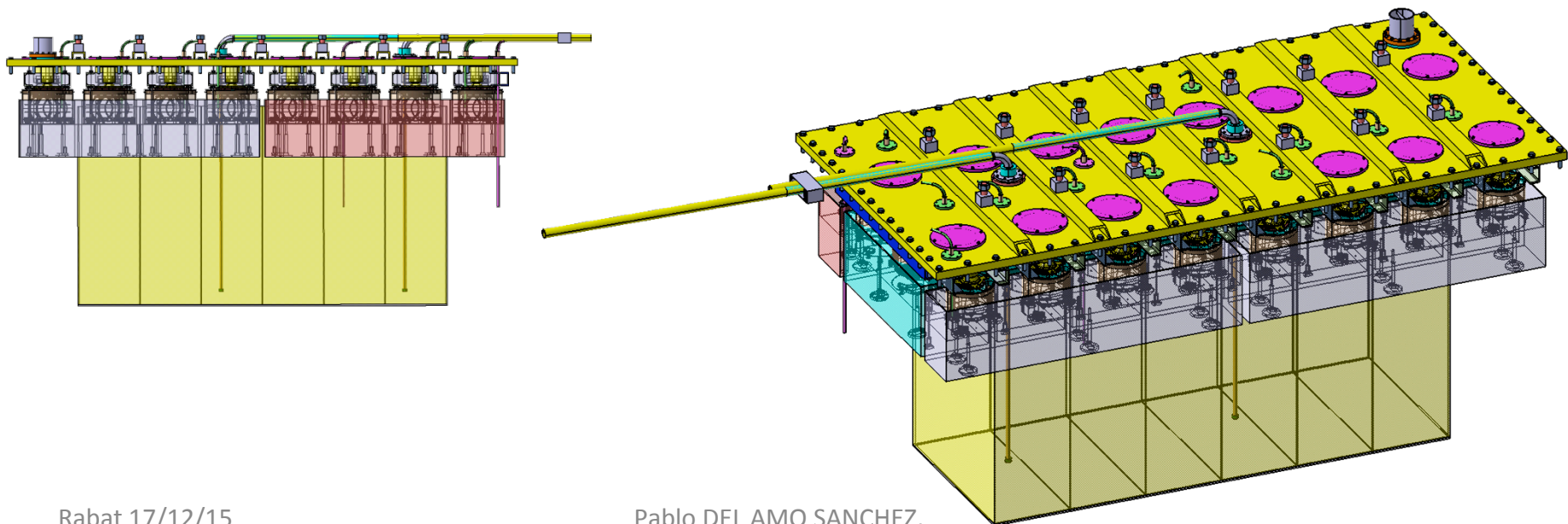


IN2P3
Les deux infinis



Rabat 17/12/15
Réunion GDRI Maroc-France

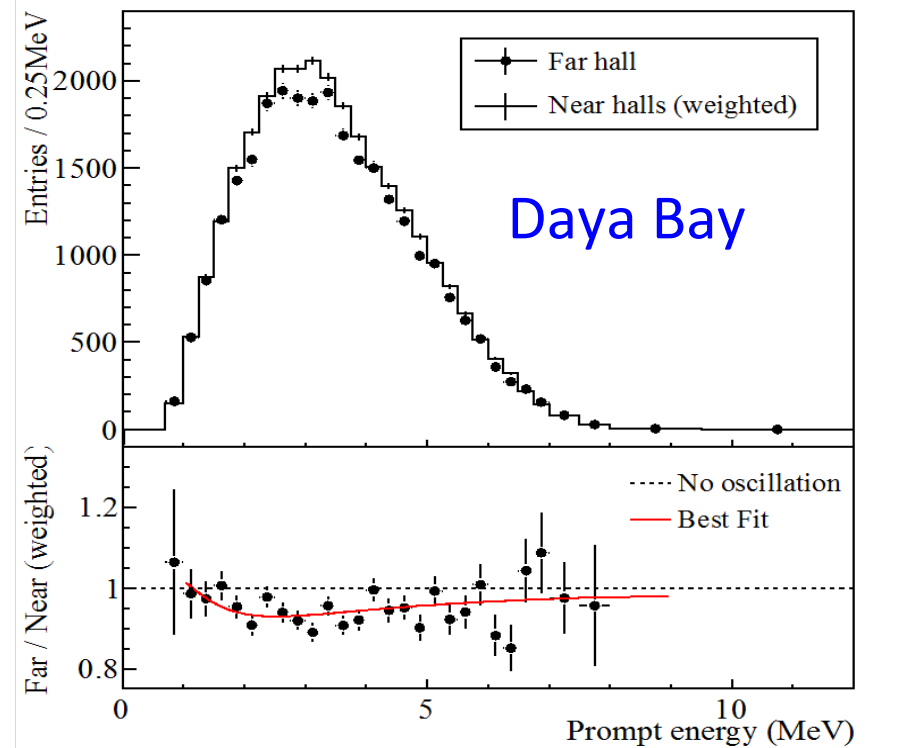
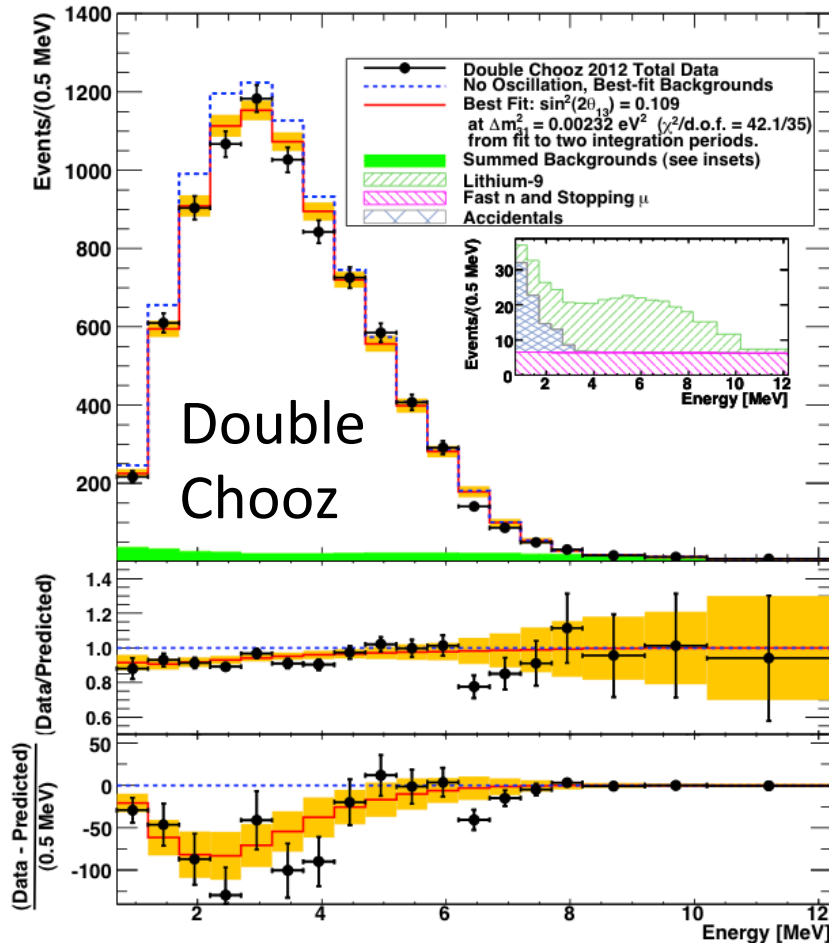
LAPP - IN2P3 - CNRS/ U. Savoie Mont Blanc



Pourquoi neutrinos stériles ?

- MS : seulement ν_L , pas de $\nu_R \rightarrow m_\nu = 0$
- Oscillations de ν : $m_\nu \neq 0$
- Solutions les plus simples :
 - masse de Dirac, faut ajouter ν_R : ν stériles
 - masse de Majorana, ν_R est l'antiparticule de ν_L
 - les deux (mécanisme de see-saw) : $m_\nu \ll 1$ pour les ν actifs, $m_\nu \gg 1$ pour les stériles (1 = échelle EW)
- ν_R , bons candidats à matière noire

In 2012, T2K, Double Chooz, RENO and Daya Bay all measure $\theta_{13} \neq 0$:



$$\sin^2(2\theta_{13}) = 0.093 \pm 0.008$$

Blindage μ métal

