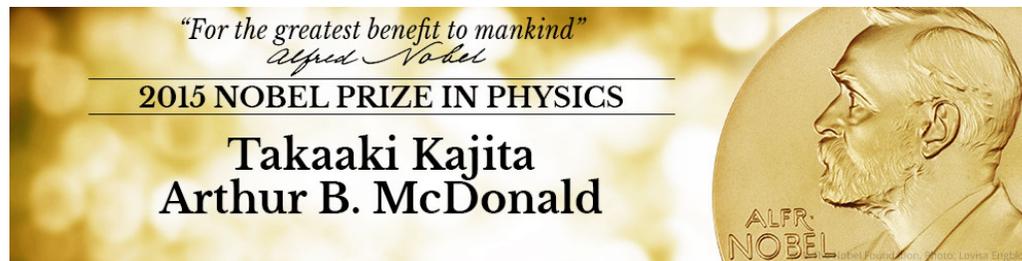


STEREO



Ces 20 dernières années ont constituées une période riche en succès expérimentaux dans le domaine de la physique des neutrinos



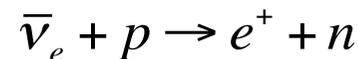
- Observation des oscillations de saveur avec différentes sources de neutrino, différentes techniques, couvrant un vaste domaine d'énergies et de distances
- Les résultats forment un ensemble cohérent avec des neutrinos disposant de 3 états de masse différents
- Le Modèle Standard Minimal est incomplet et nécessite une extension

Mais quelques anomalies ont été observées qui nécessitent une clarification expérimentale

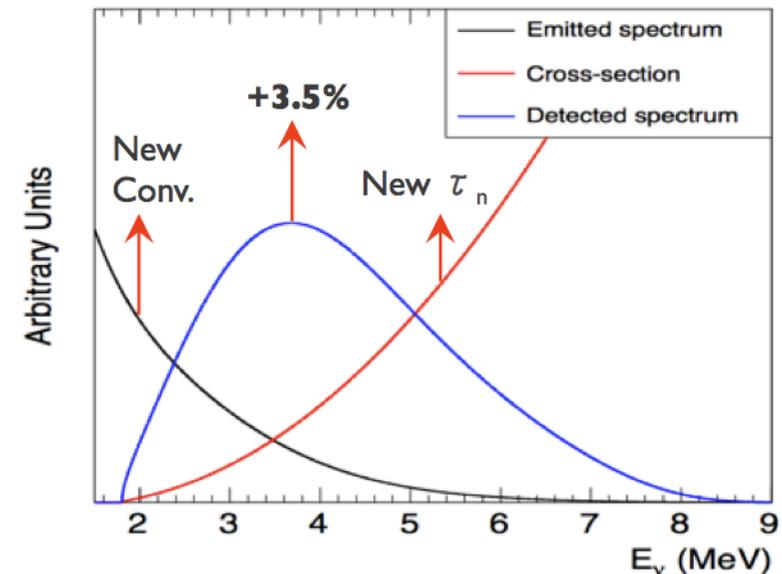
Anomalie des neutrinos de réacteur

Réévaluation du spectre des neutrinos de réacteur

- Neutrinos de réacteurs
 - Emis par désintégration β^- des produits de fission \rightarrow flux quasi pur en $\bar{\nu}_e$
 - $1 \text{ GWth} \approx 2 \cdot 10^{20} \bar{\nu}_e/\text{s}$
 - Détection par désintégration β inverse (IBD) :



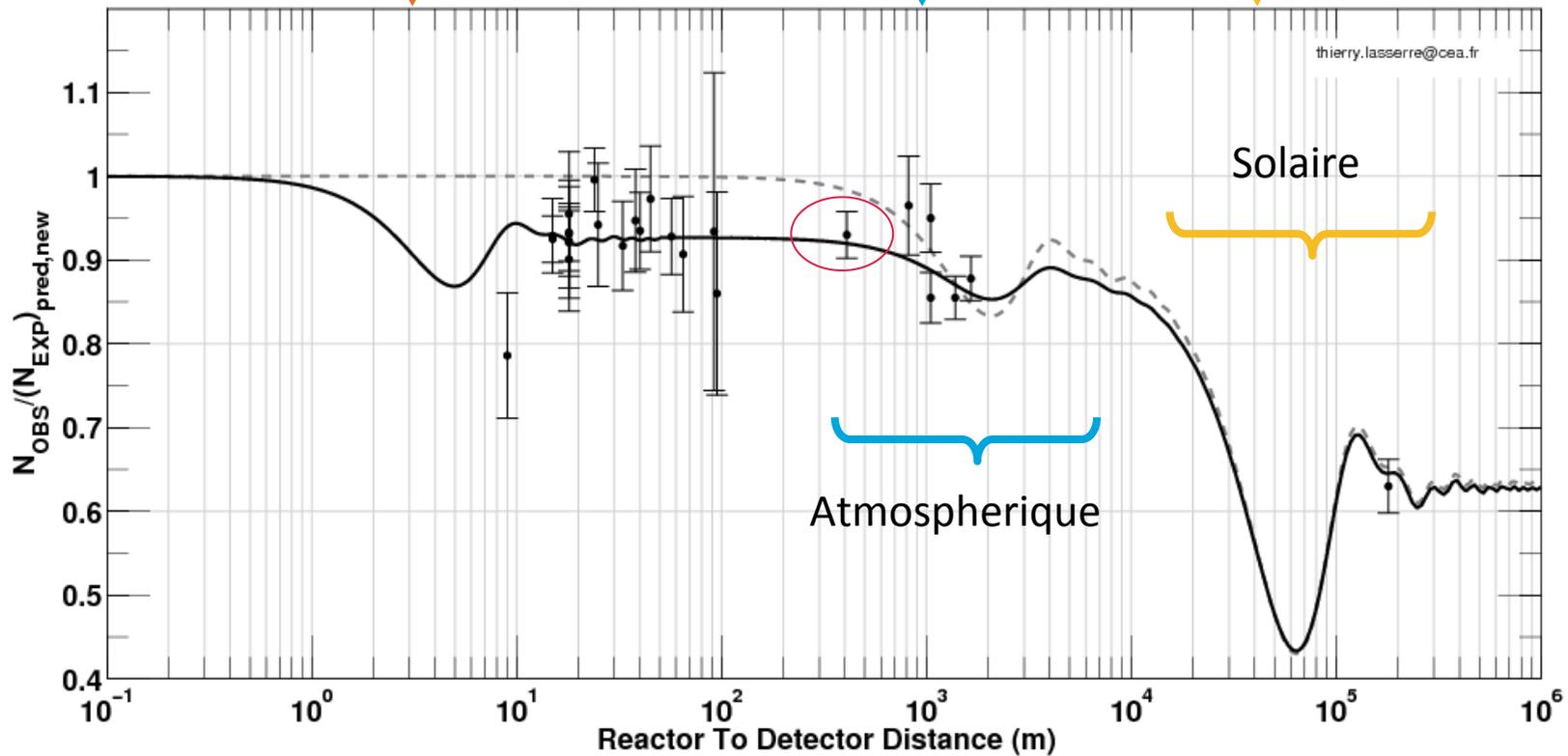
- Biais spectre des neutrinos émis : 3 %
- Durée de vie du neutron $\sigma_{\text{IBD}} \sim 1/\tau_n$: + 1.5 %
 $\rightarrow \tau_n = 881,5 \pm 1.5 \text{ s}$ (PDG 2011)



\rightarrow Augmentation du taux de neutrinos prédit de 3-4 % par rapport aux calculs précédents

Anomalie des neutrinos de réacteur

$$P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e} = 1 - \underbrace{\sin^2 2\Theta_{14} \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{41}^2 \frac{L}{E} \right)}_{\text{orange}} - \underbrace{c_{14}^4 \sin^2 2\Theta_{13} \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{31}^2 \frac{L}{E} \right)}_{\text{blue}} - \underbrace{c_{14}^4 c_{13}^4 \sin^2 2\Theta_{12} \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{21}^2 \frac{L}{E} \right)}_{\text{yellow}}$$

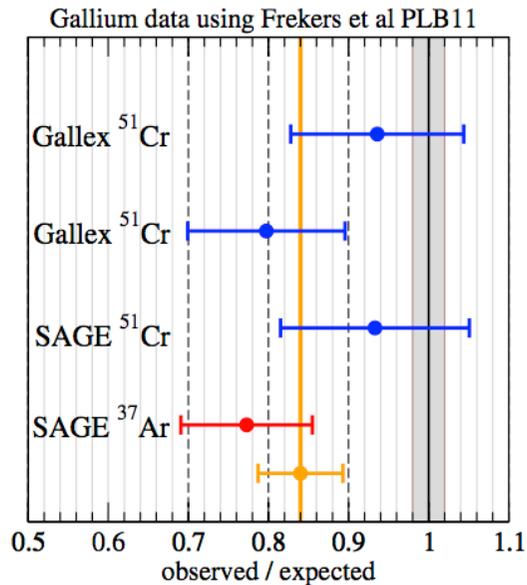


Anomalie Gallium

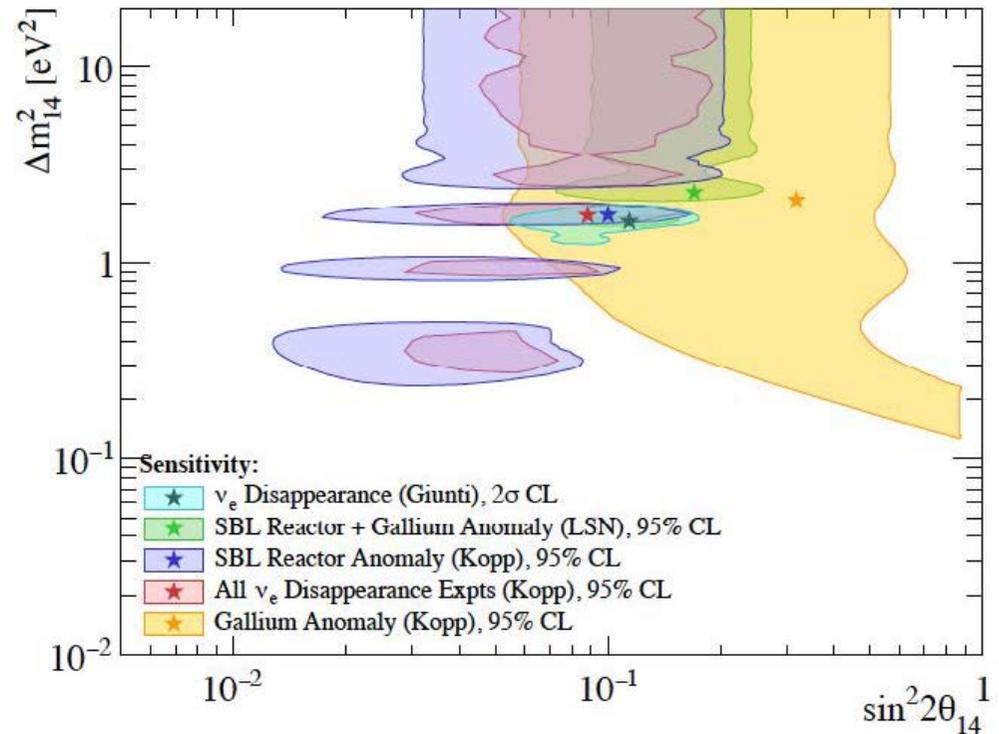
Anomalie dans l'étalonnage des détecteurs de neutrinos solaires Gallex et Sage

- Détection : $\nu_e + {}^{71}\text{Ga} \rightarrow {}^{71}\text{Ge} + e^-$
- Sources de ν_e : ${}^{51}\text{Cr}$ et ${}^{37}\text{Ar}$
- Distances $\approx 1\text{m}$, Energies $\approx 0.7\text{ MeV}$

$$P_{\nu_e \rightarrow \nu_e}(E_{\nu_e}, L) = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2\left(1.27 \frac{\Delta m^2 L}{E_{\nu_e}}\right)$$



$R = 0.84 \pm 0.05 \rightarrow$ Anomalie à 2.9σ
 C.Giunti et al : 1210.5715v2



Best fit : $\Delta m^2 \sim 1\text{ eV}^2$ $\sin^2(2\theta_{\text{new}}) \sim 0.13$

Objectifs de Stereo

$$P_{\nu_e \rightarrow \nu_e}(E_{\nu_e}, L) = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2\left(1.27 \frac{\Delta m^2 L}{E_{\nu_e}}\right)$$

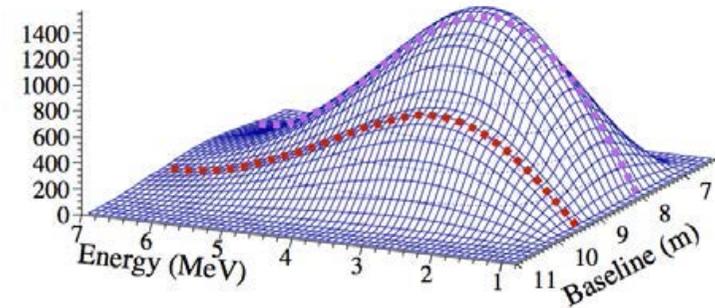
Objectifs:

- Test de l'anomalie des neutrinos de réacteur
- Signature non ambiguë de l'oscillation
 - Déformation du spectre en énergie et en distance
 - Analyse de forme indépendante de la normalisation (puissance, flux, normalisation détecteur)
- Nouvelle mesure de référence du spectre d' ^{235}U

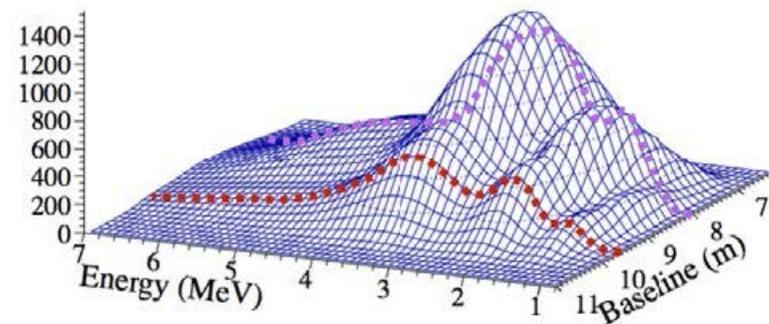
Moyens:

- Proximité d'un réacteur très compact
- Bonne résolution en Energie et en Distance
- **Point sensible : le bruit de fond**

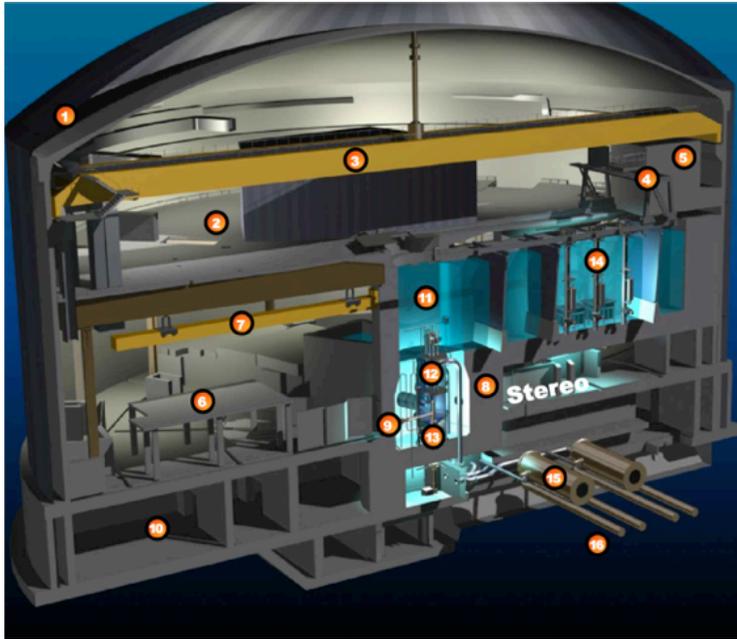
- No oscillation



- Avec oscillation, best fit

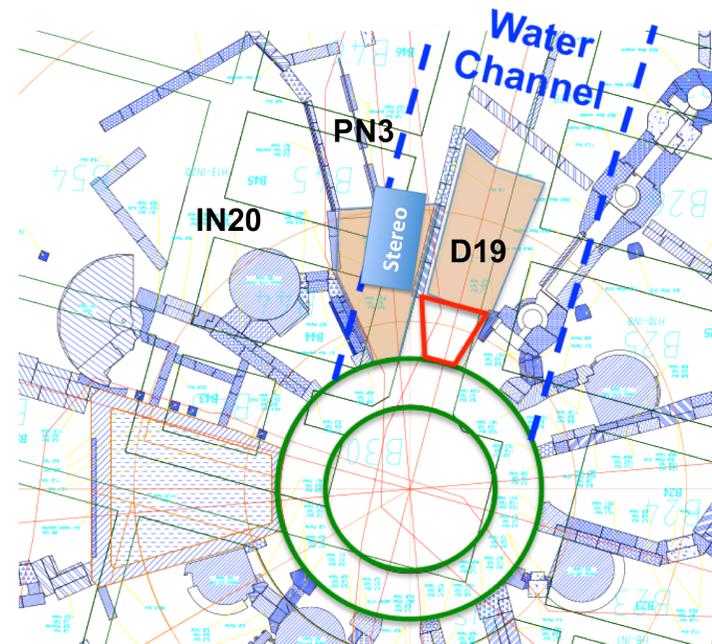


Le site de l'ILL à Grenoble



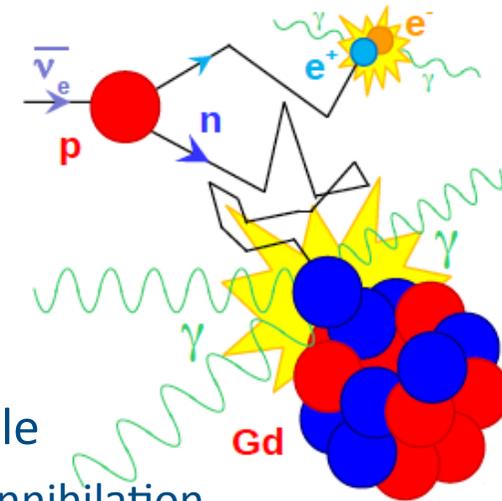
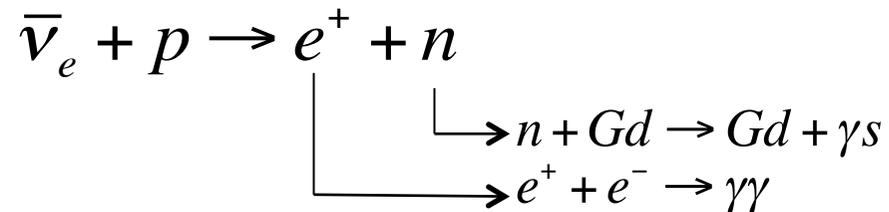
- 57 MW, 4x50 jrs/an
- Cœur compact $\Phi \approx 40$ cm, $h \approx 80$ cm
- Fortement enrichi en ^{235}U (93%)
- Accès à courte distance 8.9 – 12.3
- canal d'eau (15 mwe)

- Bruit de fond gamma et neutron
 - Réacteur et Expériences voisines D19 et IN20
- Présence d'un aimant de 15T dans IN20



Principe de détection

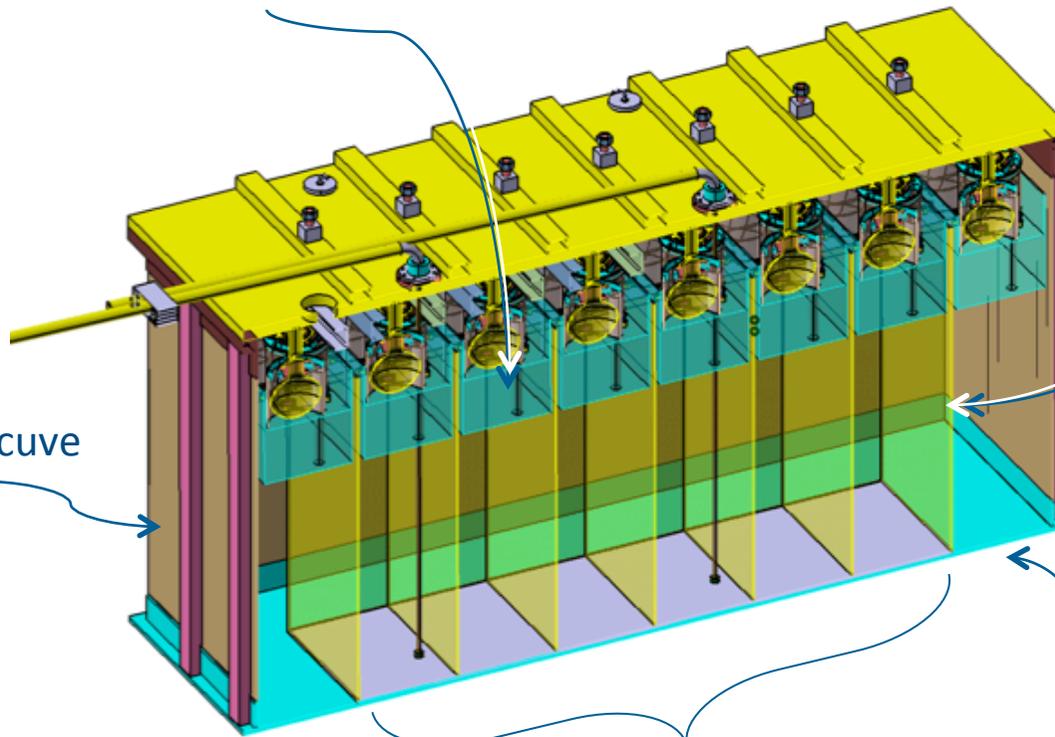
Le principe de détection : IBD dans du scintillateur liquide



- Signature par une coïncidence temporelle et spatiale
 - Signal prompt : ionisation du positron + gammas d'annihilation
 - Signal retardé : capture du neutron par un noyau de Gd → cascade de gammas 8 MeV
 - $\Delta T \approx 15 \mu s$ (0.2% Gd)
- Mesure de l'énergie donnée par le dépôt d'énergie du positron

Le détecteur

- PMT couplés via un buffer en acrylic
 - Meilleur homogénéité de la réponse



- Double cuve

- Parois réfléchissantes
 - Faible dépendance vis à vis de la position du vertex

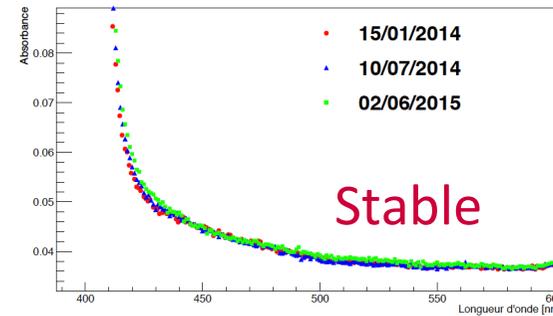
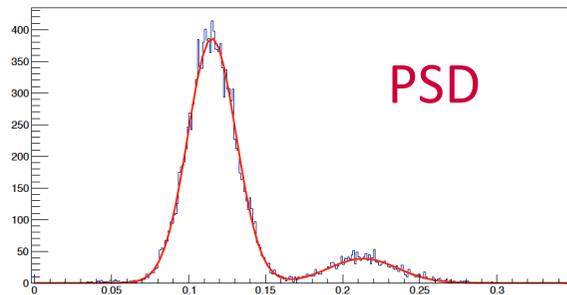
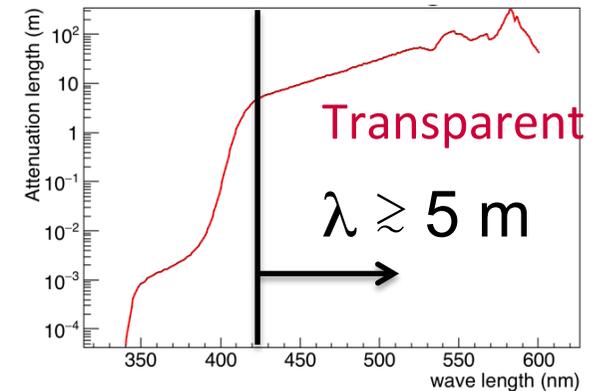
- Couronne externe
 - LS non dopé
 - Améliore la reconstruction de l'énergie et l'efficacité de détection
 - Rejection du bruit de fond

- 6 cellules cible 90 x 90 x 37,5 cm
 - 2 m³ LS dopé au Gd

Collection de lumière

Scintillateur

- LAB 75 % → cible de protons
- PXE 20 % + DIN 5 % → scintillation + PSD
- Gd-complexe 0.2% + 1% THF → capture du neutron
- PPO + Bis-MSB → shifter de longueur d'onde



Photomultiplicateurs

- 48 PMTs Hamamatsu R5912-100, QE de 30% à 420 nm

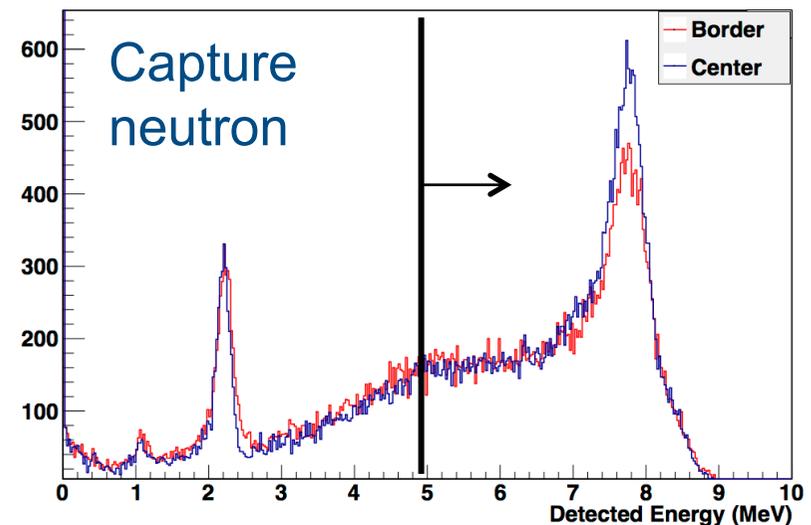
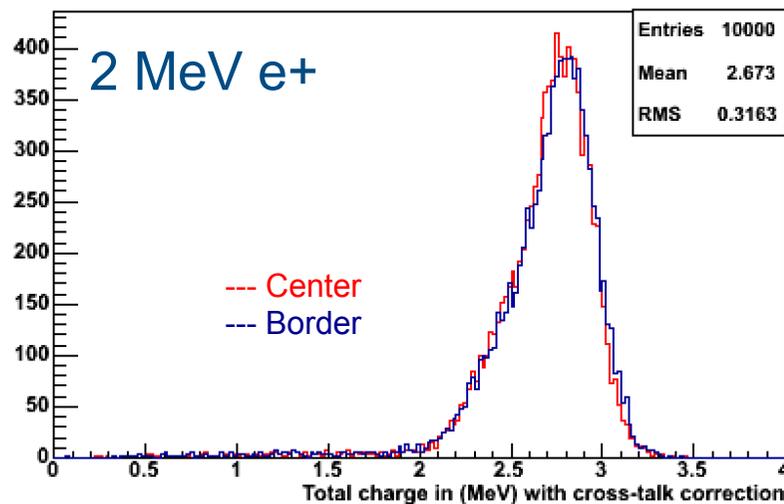
Plaques réfléchissantes

- Sandwich acrylique + voile de mariée + VM2000 → réflectivité 97 %

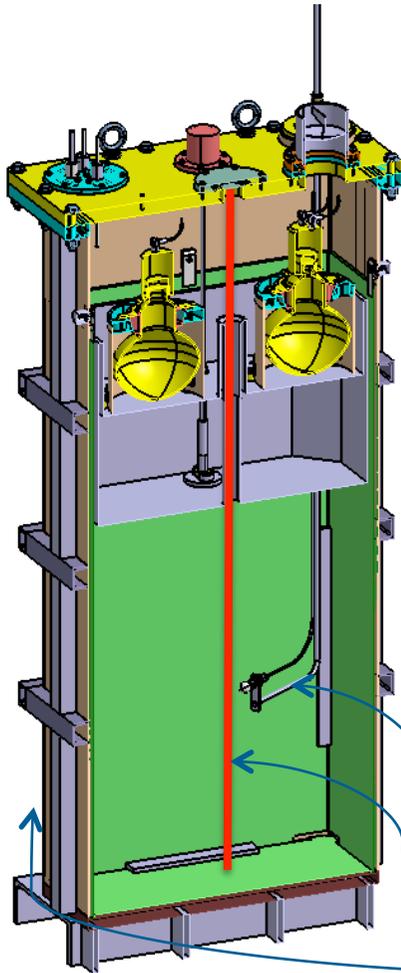


Réponse du détecteur

- 400 pe/MeV attendu
- Résolution 11.5% (RMS pour des positrons de 2 MeV)
- Efficacité neutron 60 % pour une coupure à 5 MeV
- Effet de la couronne externe :
 - Différence d'efficacité entre les cellules du bord et du centre est réduite à 4%
 - Réponse pour le signal prompt est identique pour toutes les cellules



Cellule prototype



Demi-cellule

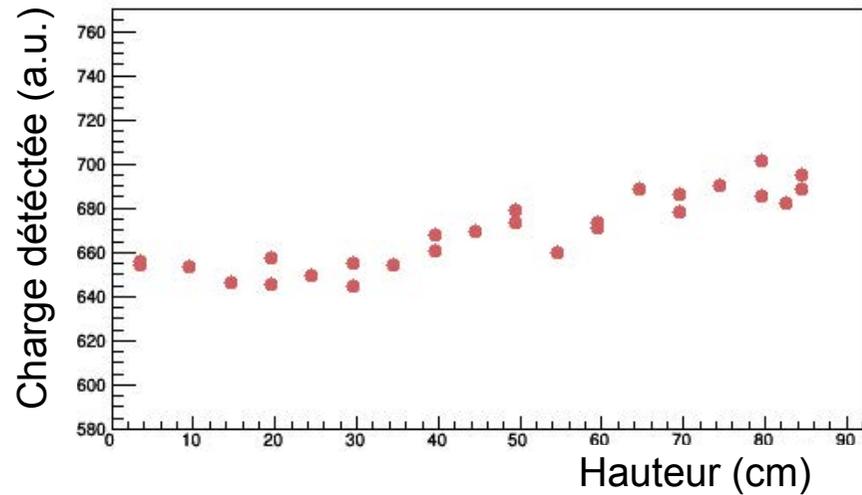
- Même hauteur et même épaisseur mais $\frac{1}{2}$ largeur
- 2 PMTs
- Buffer acrylic
- Plaques réfléchissantes

Signal induit dans tout le volume par:

- LED + diffuseur mobile
- Source mobile dans le tube central
- Sources à l'extérieur

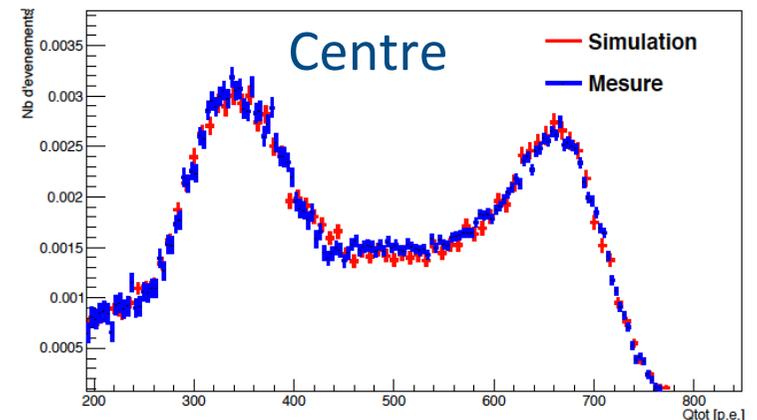
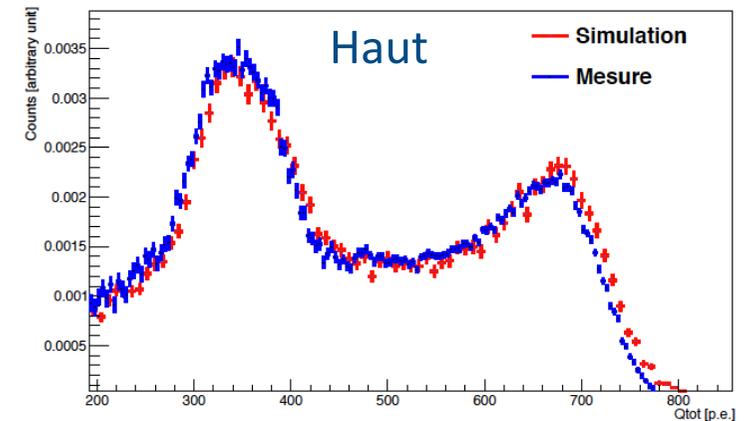
Cellule prototype

LED

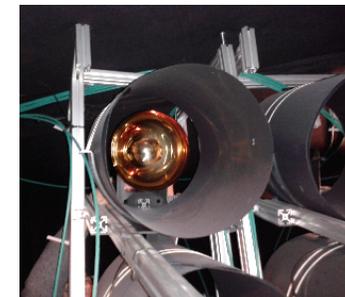
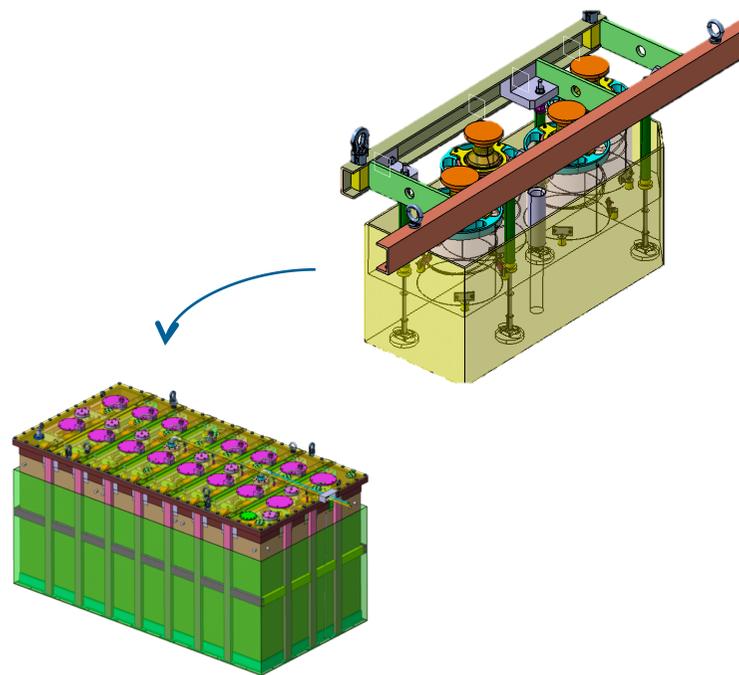
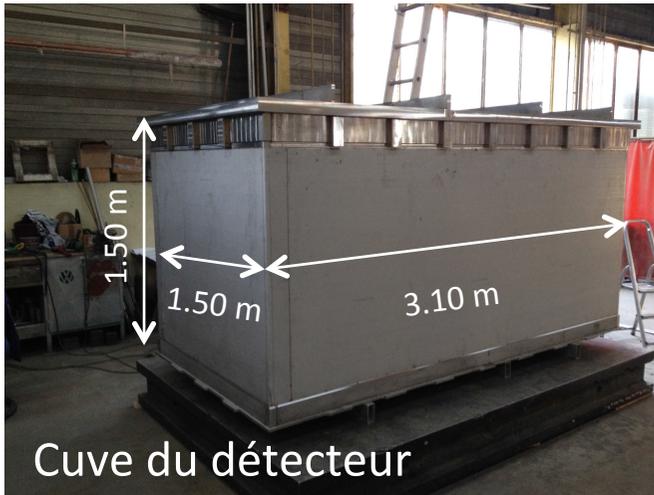


- Faible dépendance de la réponse avec la position du vertex (5 %)
 - Valide les plaques réfléchissantes
 - Faible impact sur la résolution en énergie
- Bon accord avec la simulation

^{60}Co dans le tube central



Assemblage du détecteur



- La cuve externe du détecteur est construite, téflonnage + couvercle en cours
- Aquarium central + parois réfléchissantes en cours de fabrication
 - Livraison fin février
- Buffers en acryliques + mécanique support PMT + PMT livrés
 - Assemblage des modules dès janvier 2016
- Assemblage de tous les éléments au LPSC avant transport à l'ILL en avril 2016

Stratégie de réduction du bruit de fond

Bruits de fond

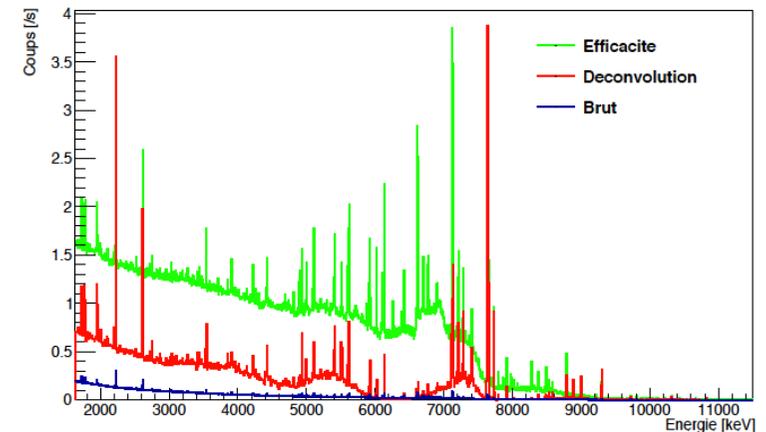
- Accidentel
 - γ et n induits par le réacteur et les expériences voisines
 - Mesure en ligne, Δt décalés
- Corrélé
 - origine cosmique
 - Mesure durant les périodes de réacteur OFF

Plusieurs campagne de mesures sur site

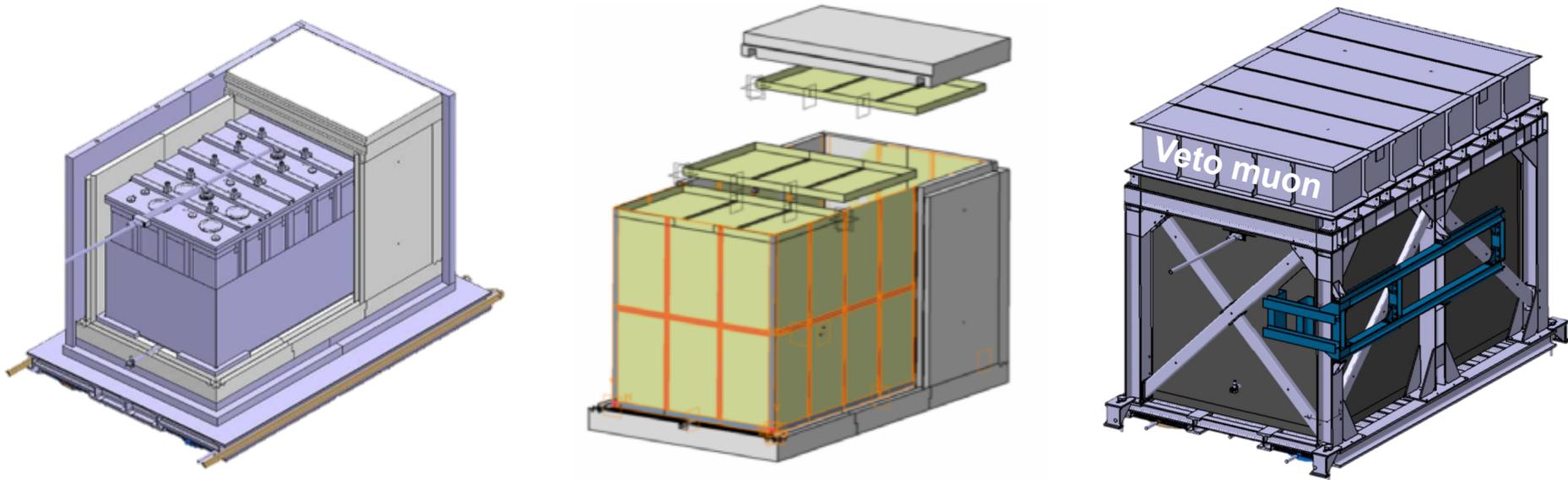
- Détecteurs gamma et neutron : Ge, NaI, ^3He , NE213
- Différents blindages
- Différentes configurations expérimentales des expériences voisines D19 et IN20
- Analyse des données couplée à la simulation des différents setups

Définition des blindages

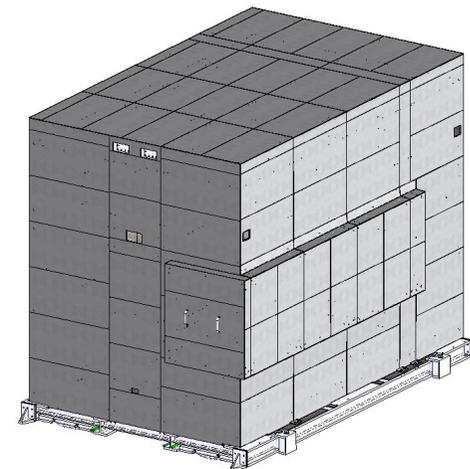
- Simulation MCNPX du réacteur
 - Simulation GEANT4 détecteur + blindages
- Blindage interne autour du détecteur : PEHD + plomb
- Protections additionnelles au plus près des sources



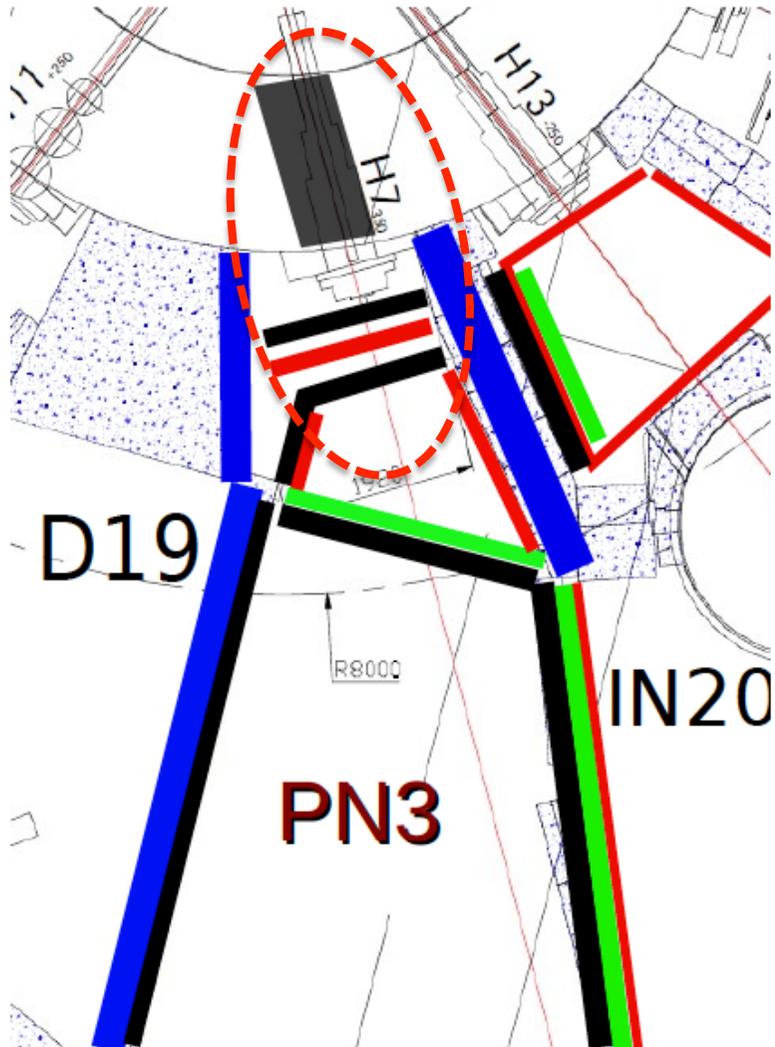
Blindage interne



- 65 t de plomb : protection gamma
 - 6 t de PEHD boré : protection neutron
 - Détecteur veto muon : blindage actif, protection contre bruit de fond induit par les cosmiques
 - Fer doux + mumétal : protection magnétique
 - B4C : protection neutron
- L'ensemble a été validé par une étude sismique

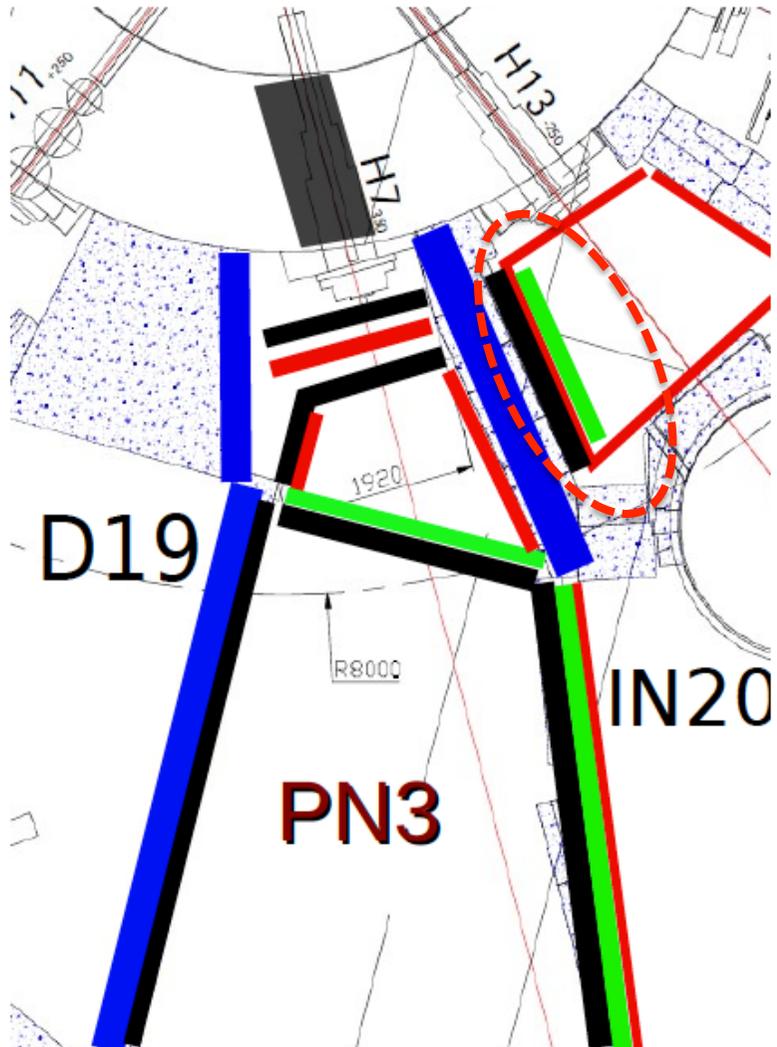


Blindages additionnels



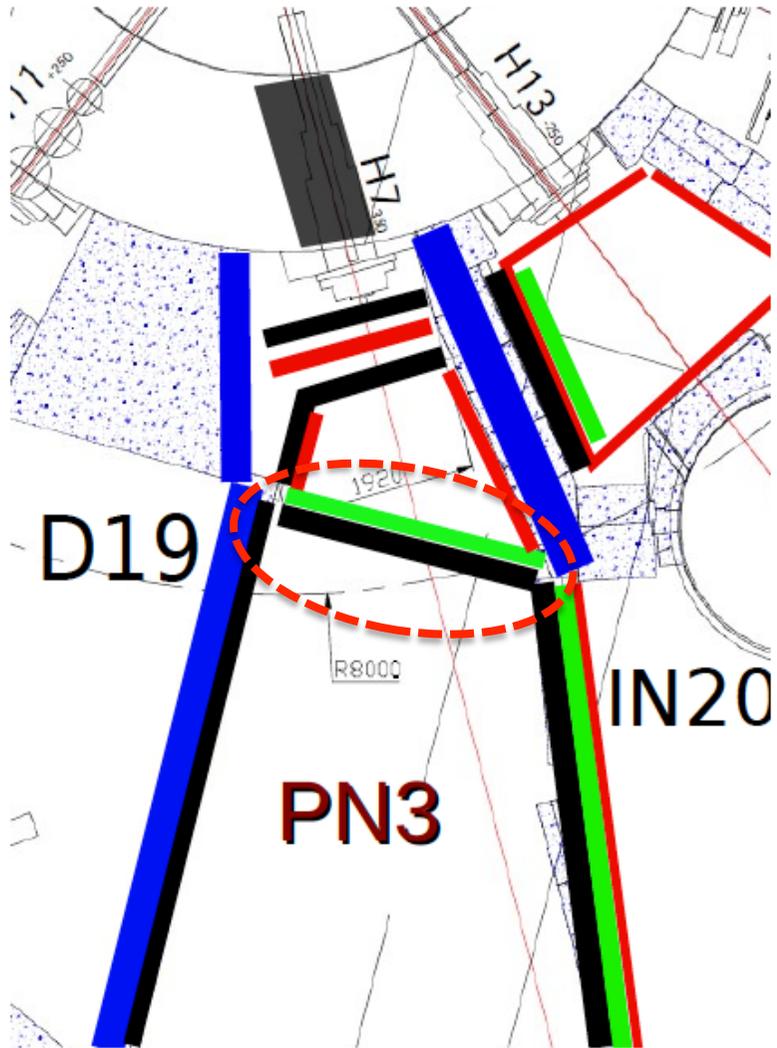
- Nouveau bouchon sur la ligne H7
- Béton lourd + plomb + B





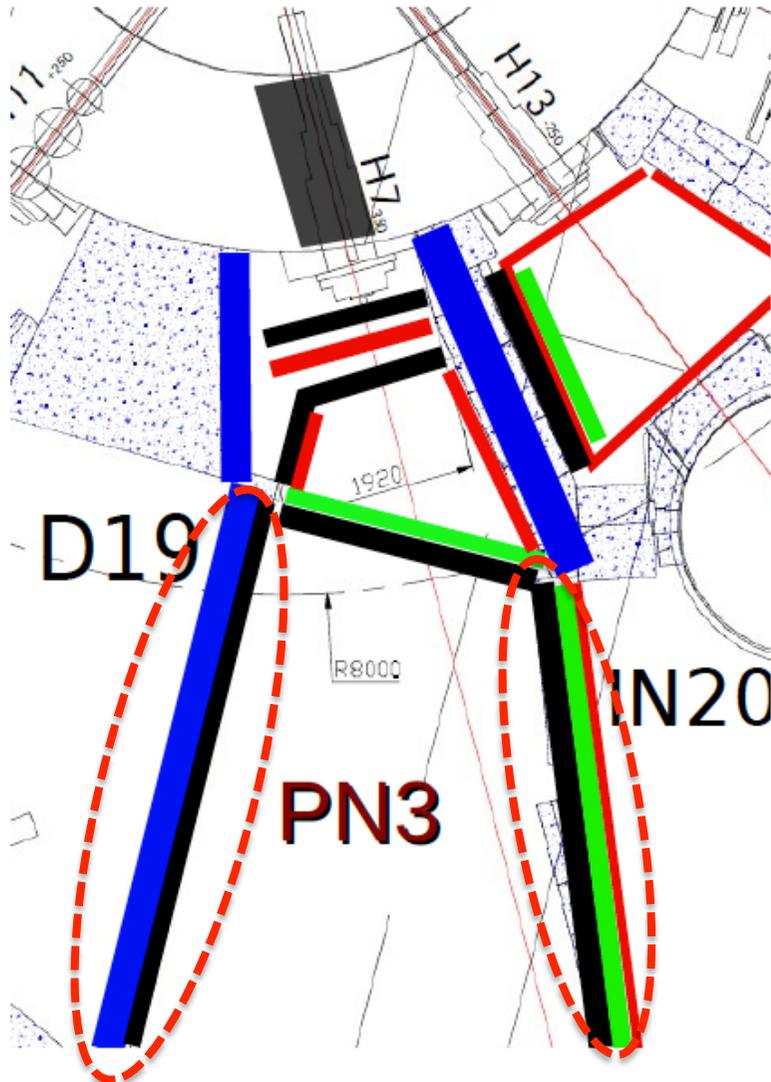
- Plomb + PE + B4C dans la casemate primaire voisine



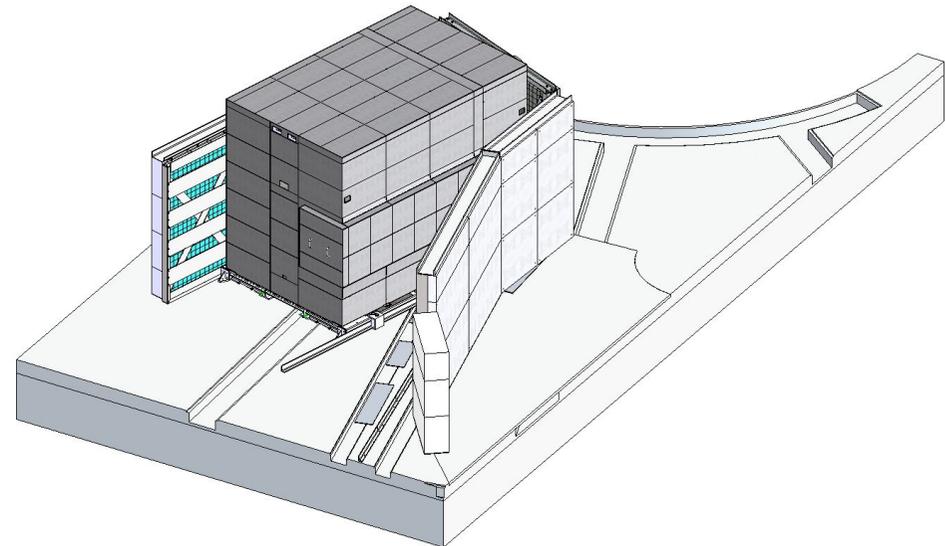


- Mur frontal plomb + PE

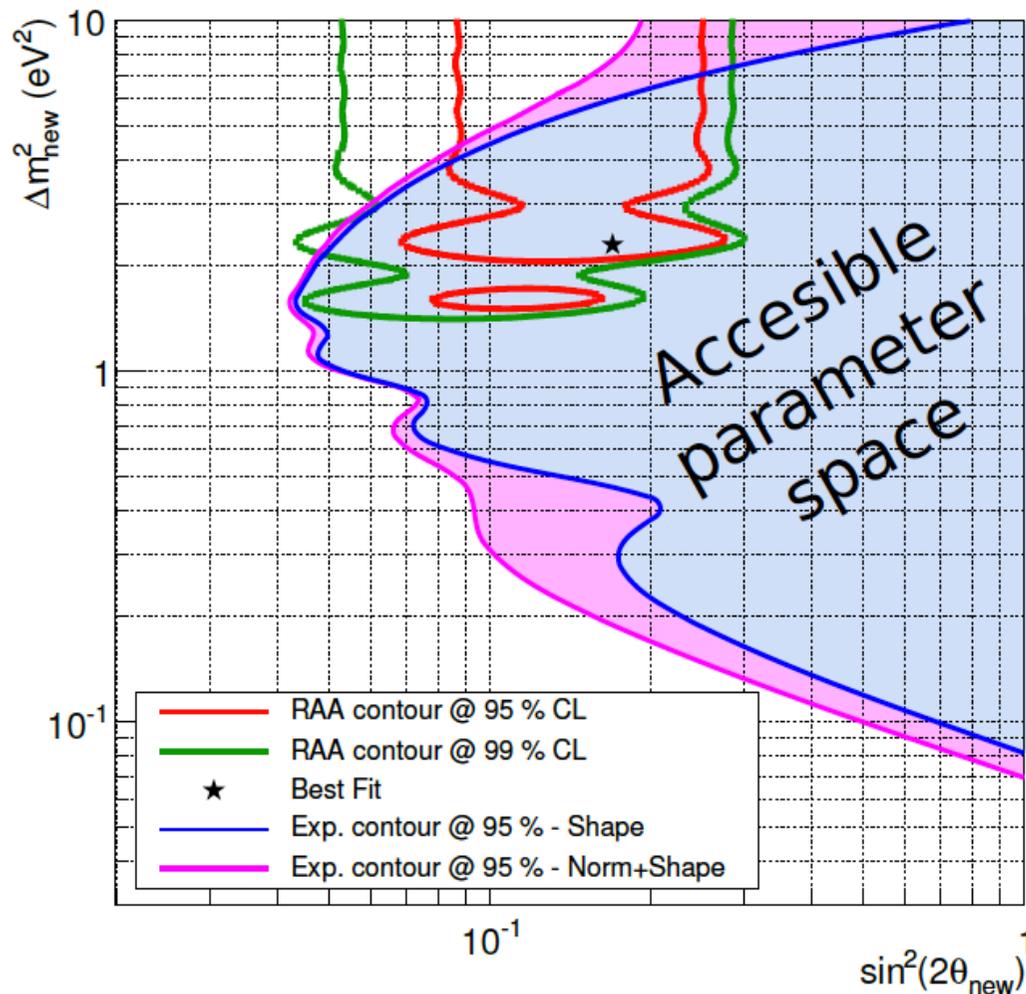




- Protections radiologiques D19 et IN20 en cours de construction
- Installation prévue début 2016



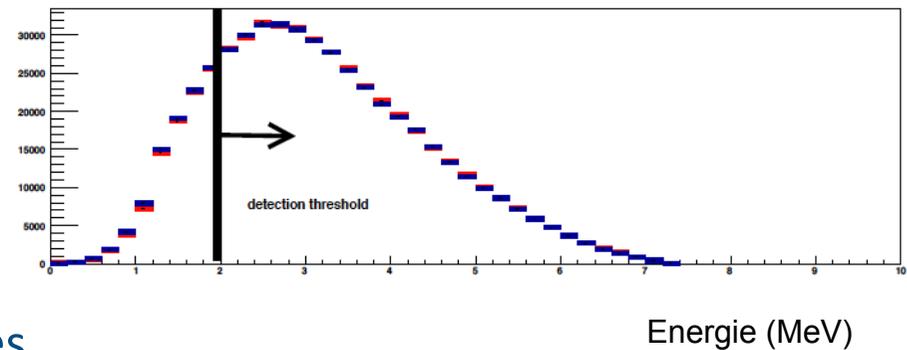
Sensibilité



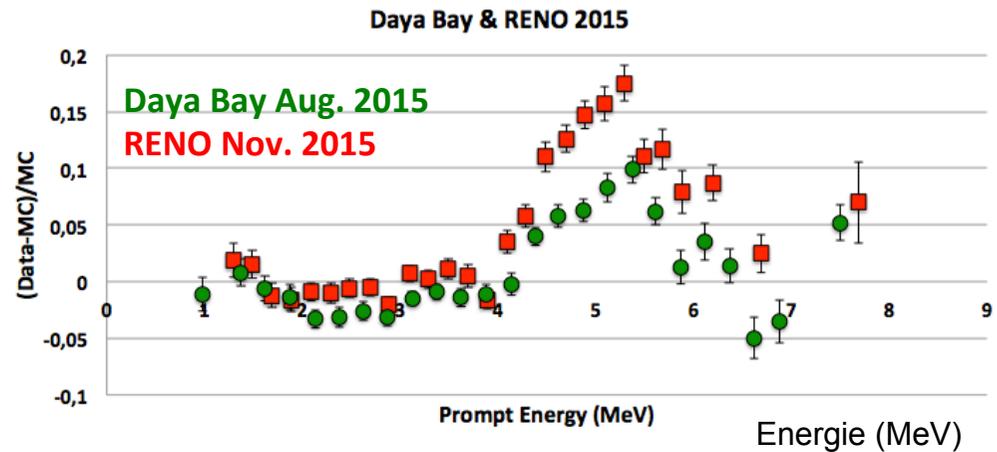
- 400 ν /jour, 300 jours
- Signal/Bruit = 1.5
- Prise en compte des effets de détection et de reconstruction avec la simulation GEANT4
- Incertitude sur le flux de neutrino: 4 % (norme)
- $E_{\text{visible } e^+} > 2 \text{ MeV}$
- $E_n > 5 \text{ MeV} \rightarrow \epsilon_{\text{det}} = 60 \%$
- $\delta E_{\text{scale}} = 2 \%$

5 MeV bump

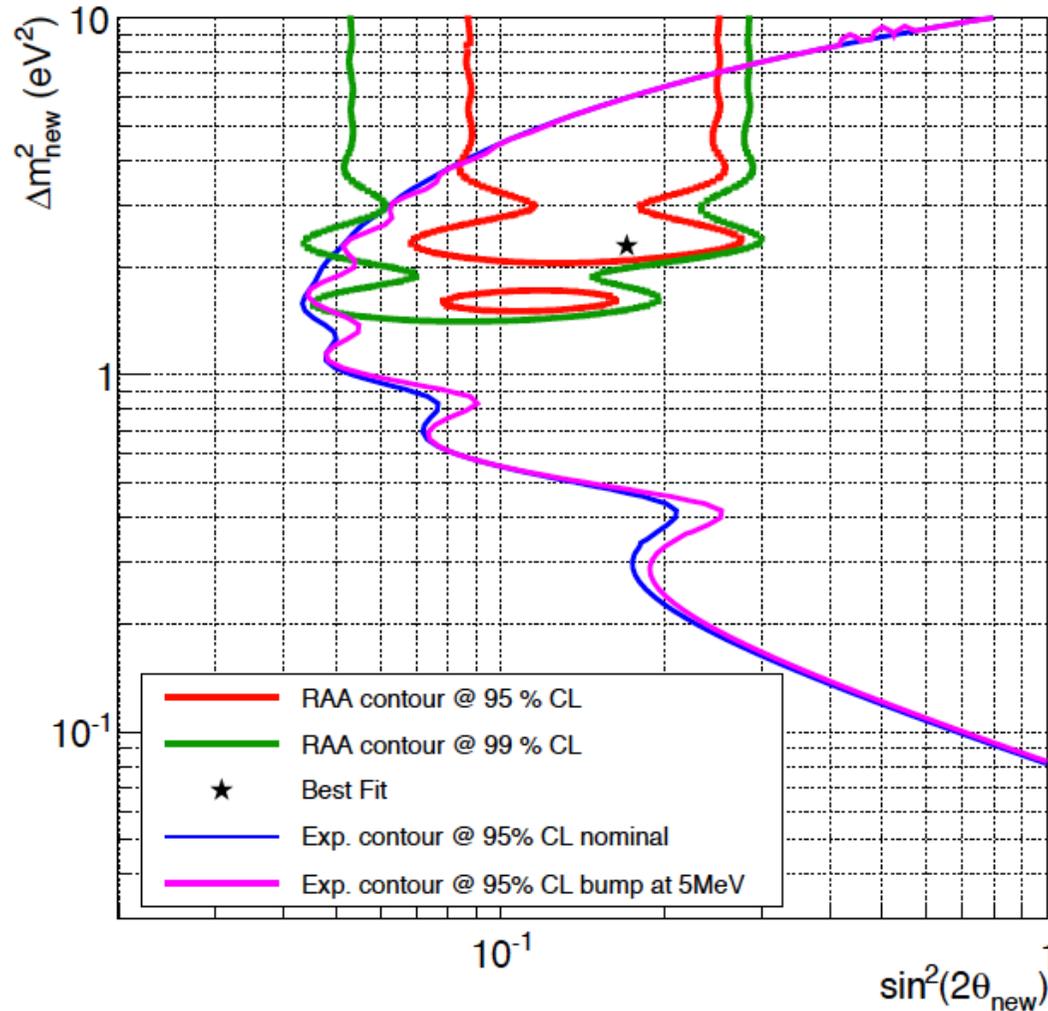
- Nouvelle référence pour le spectre ^{235}U
 - 120 000 neutrinos attendus
 - Pure ^{235}U



- Mesure complémentaire à celles des détecteurs proches de Double Chooz, DayaBay et Reno



5 MeV Bump



- Ajout d'une incertitude supplémentaire sur le spectre pour prendre en compte le « bump » à 5 MeV : 50 % de l'amplitude
- Faible sensibilité à une déviation isolée à 5 MeV

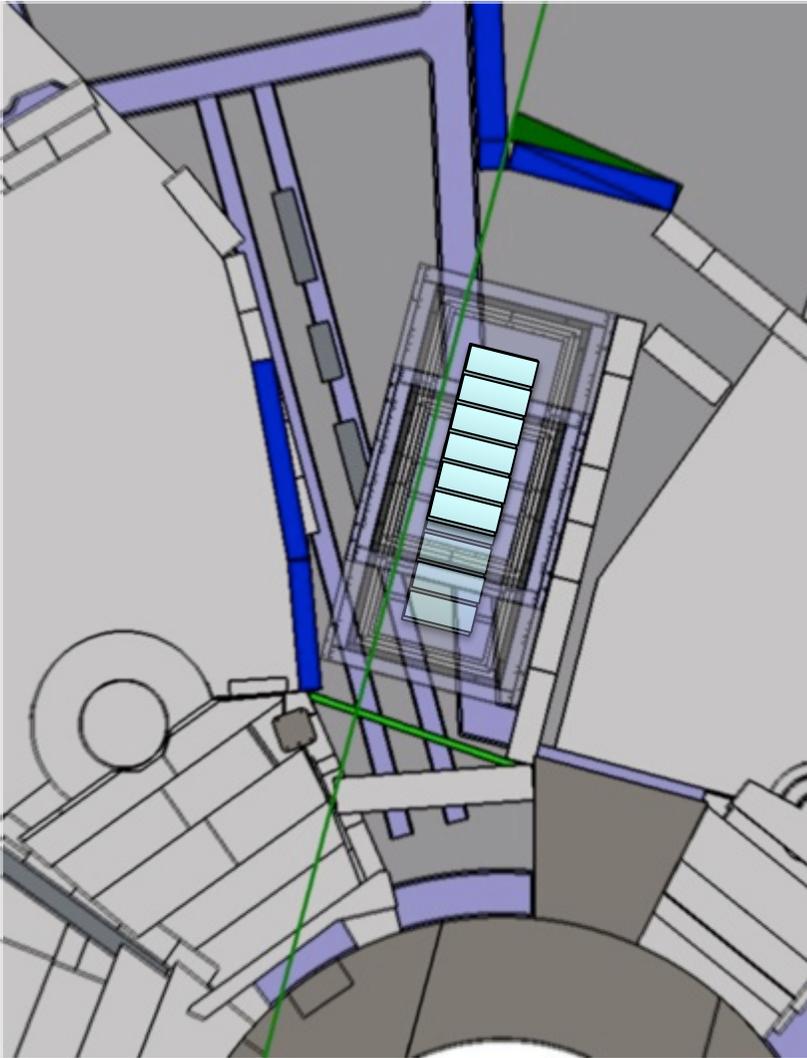
Conclusion

- Le contour de sensibilité de STEREO couvre l'anomalie des neutrinos de réacteur
- Le design de l'expérience a été validé par plusieurs prototypes et par les études sismiques
- Une partie des blindages externes est installée
- La plus part des éléments du détecteur et des blindages sont en cours de fabrication ou déjà livrés.
- L'intégration du détecteur aura lieu au LPSC en février – mars 2016 avant son transport à l'ILL en avril 2016.
- Le calendrier d'installation dépend de l'accord définitif de sureté attendu en juin 2016.
- Premières données attendues à l'été 2016



Backup

Position reculée



- Déplacement de l'expérience sur coussins d'air.
- Possibilité de reculer le détecteur pour l'étude des systématiques.
- 2 positions possibles [8.9 – 11.1] m et [10.1 – 12.3] m

Expériences concurrentes

Name	P_{th} (MW)	L (m)	Depth (m.w.e)	M_{target} (Tons)	Tech	Seg	Mov	Start
Nucifer	70	7	13	0.8	Gd	x	x	2014
NEOS far	2700	25	16-23	1	Gd	x	x	2015
NEOS near	15	5	23	1	Gd	x	x	2016
STEREO	57	9-11	18	1.75	Gd	✓	✓	2016
SoLi δ	70	5.5-10	10	2.9	^6Li	✓	x	2016
DANSS	3000	9.7-12.2	50	0.9	Gd	✓	✓	2016
Neutrino-4	100	6-12	10	1.5	Gd	x	✓	2016
Prospect	85	7-18	few	1-10	Gd+ ^6Li	✓	✓	2017
NuLat	85	3-8	few	1	$^6\text{Li}+^{10}\text{B}$	✓	✓	2017

NEOS

- 2800 GWth $\Phi = 3$ m, H = 3.8 m
- Baseline 25 m
- 30 mwe
- Signal/bruit ~ 22
- 300 000 evts / 6 mois

