

STEREO

Recherche de neutrinos stériles auprès du réacteur de l'ILL

Conseil scientifique de l'IN2P3
27 juin 2013

Anne Stutz pour la collaboration STEREO



Ces 20 dernières années ont constitué 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

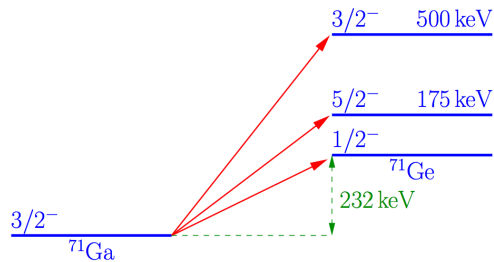
- LSND, MiniBoone : apparition $\bar{\nu}_e$, 3.8σ LSND
- Gallex et Sage : disparition ν_e , 2.9σ
- Anomalie des neutrinos de réacteur : disparition d' $\bar{\nu}_e$, 2.9σ
- Elles pourraient s'expliquer par l'existence d'au moins un quatrième neutrino stérile de l'ordre de 1 eV
- Elles nécessitent une clarification expérimentale
- Livre blanc de la communauté : arXiv:1204.5379

L' anomalie Gallium

Observation d'un déficit de neutrinos dans l'étalonnage des détecteurs de neutrinos solaires Gallex et Sage

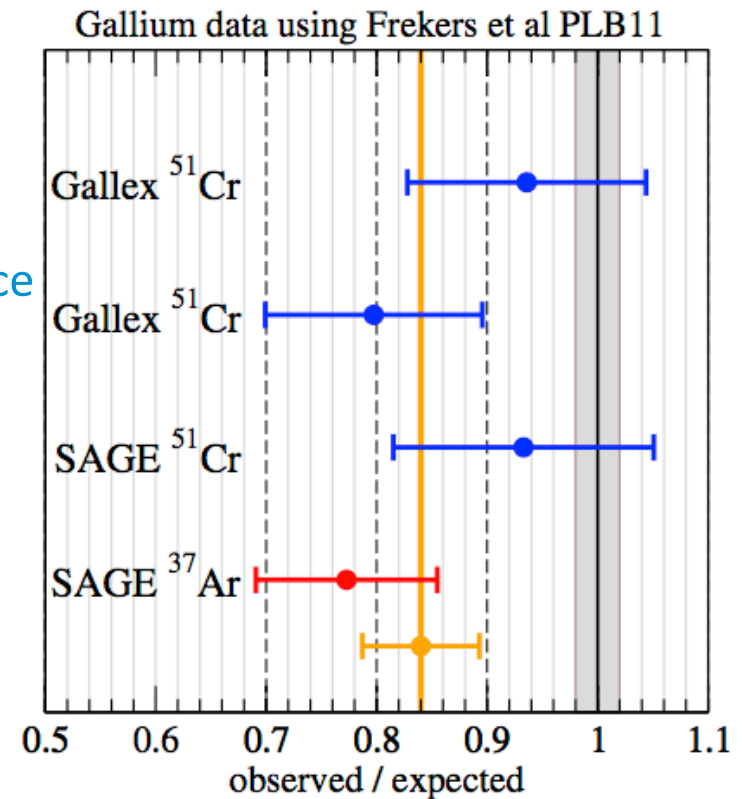
- Détection : $\nu_e + {}^{71}\text{Ga} \rightarrow {}^{71}\text{Ge} + e^-$
- Sources de ν_e : ${}^{51}\text{Cr}$ et ${}^{37}\text{Ar}$
- Distances $\approx 1\text{m}$, Energies $\approx 0.7\text{ MeV}$

Renforcé par de nouvelles mesures de section efficace



$R = 0.84 \pm 0.05 \rightarrow$ Anomalie à 2.9σ

C.Giunti et al : 1210.5715v2



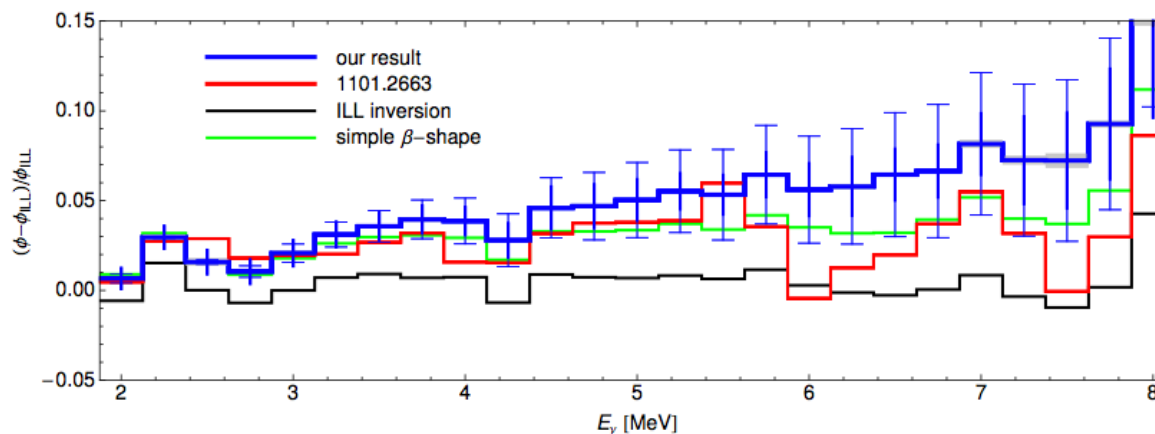
L'anomalie des neutrinos de réacteur

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) : $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$
- Spectre des neutrinos émis
 - Mesures très précises du spectre d' e^- des produits de fission faites à ILL $\sigma=1.8\%$
Shrekenbach et al. 1982,85,89
 - Conversion $e^- \rightarrow \bar{\nu}_e$
 - Avant 2011 : utilisation de 30 spectres virtuels
 - Après 2011 : Utilisation des données nucléaires

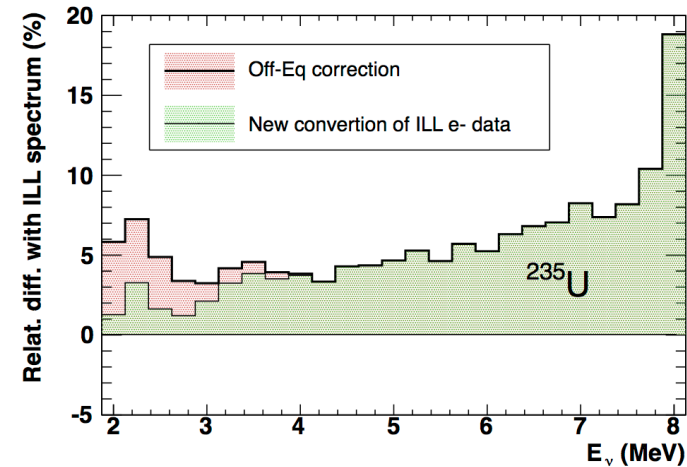
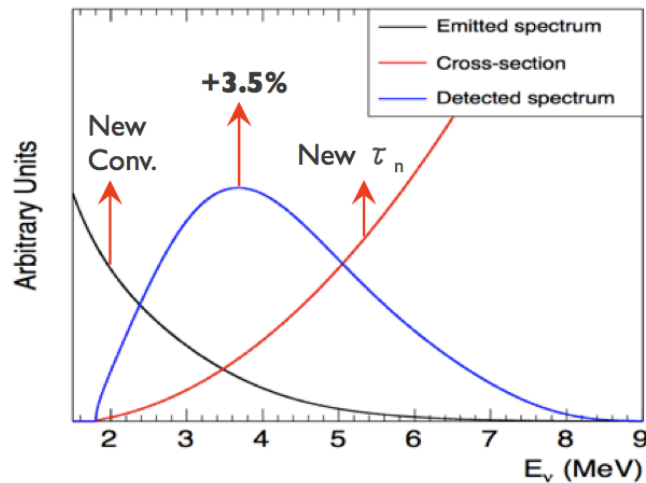
\rightarrow Biais : $\approx 3\%$

Mueller et al. 1101.2663 + confirmation indépendante par Huber, 1106.0687



L'anomalie des neutrinos de réacteur

- Spectre des neutrinos détectés : section efficace par fission
 - Nouveau spectre : + 3%
 - Correction off-équilibre : + 1%
 - Durée de vie du neutron, $\sigma_{\text{IBD}} \sim 1/\tau_n$: + 1.5 %
→ $\tau_n = 881,5 \pm 1.5 \text{ s}$ (PDG 2011)



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

L'anomalie des neutrinos de réacteur

Réanalyse des 19 expériences à $L \leq 100$ m

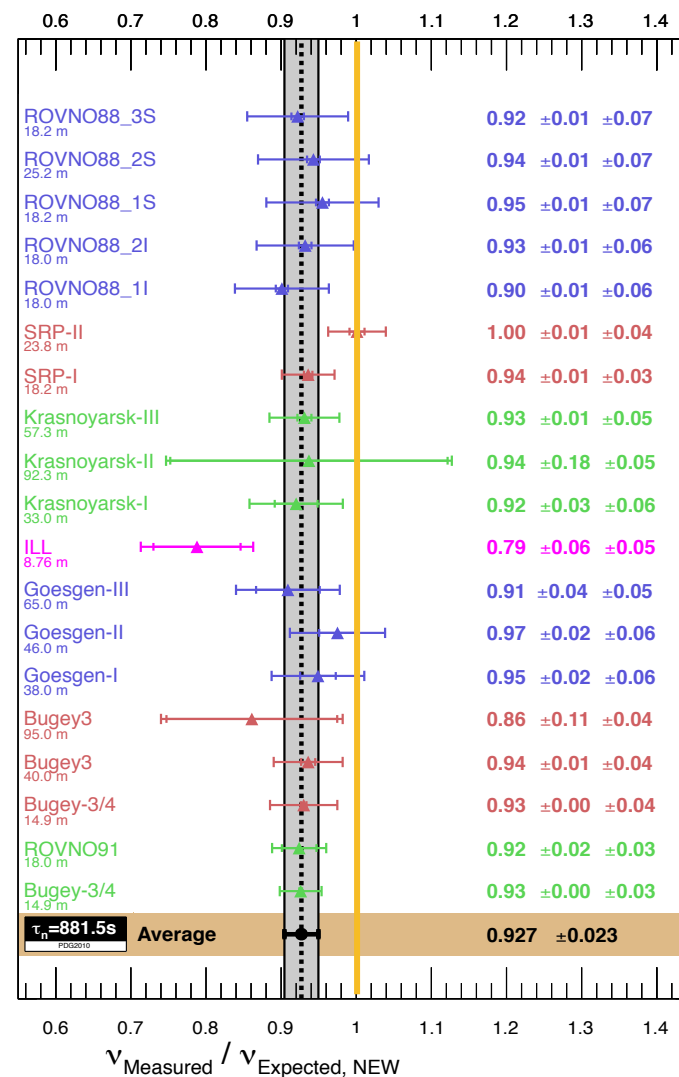
- Ajustement avec un facteur de normalisation
- Prise en compte des corrélations entre expériences
- Déficit $R = 0.927 \pm 0.023$

→ Anomalie des neutrinos de réacteur 3σ

Mention et al. 1101.2755

Explications

- Statistique ?
- Biais dans la prédiction du flux ?
 - Différents type de réacteur
 - Toutes les mesures dépendent de
 - la durée de vie du neutron
 - la mesure initiale du spectre d'électron
- Biais expérimental ?
 - Différentes techniques de détection
- Nouvelle physique à courte distance ?

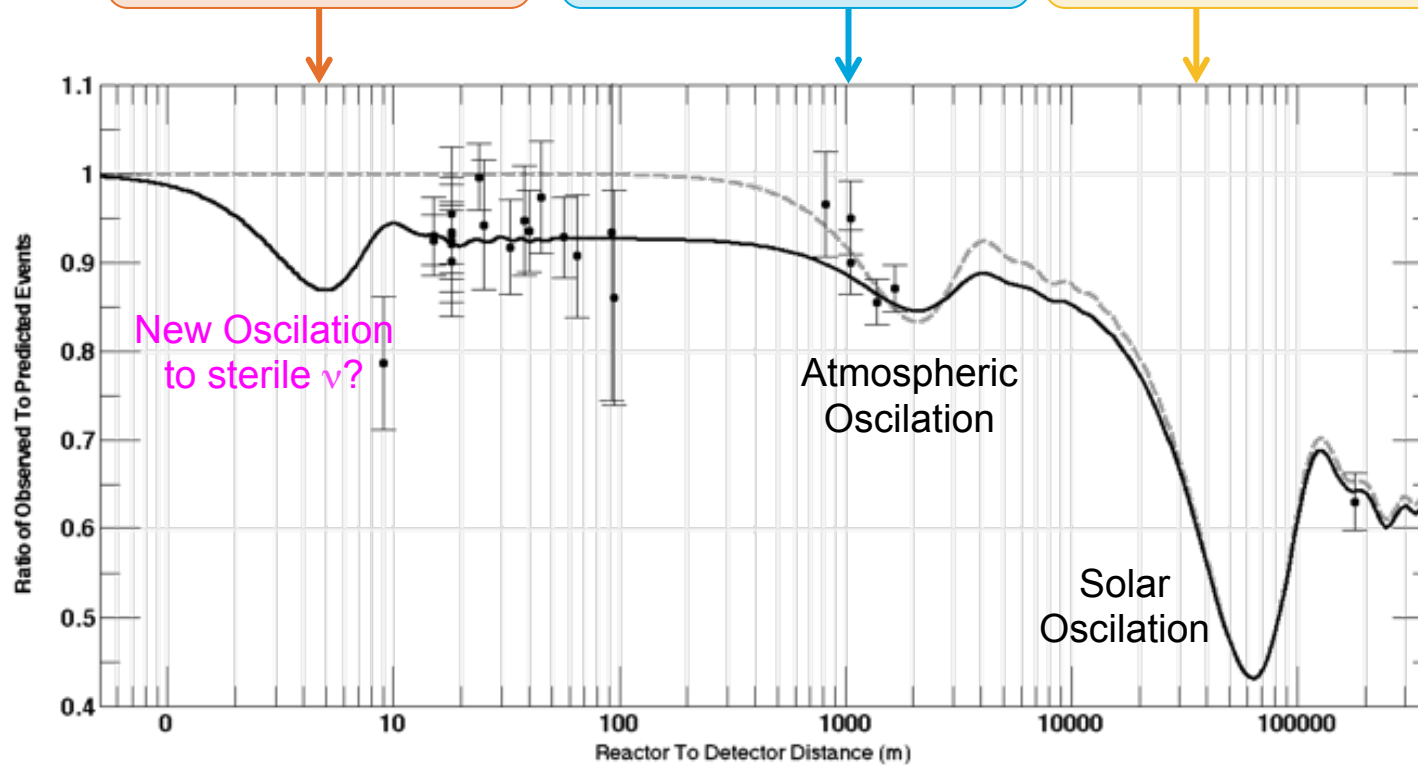


arXiv:1204.5379

Nouvelle oscillation vers un neutrino stérile ?

- Pas de couplage par interaction faible → Visible uniquement par effet d'oscillation

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

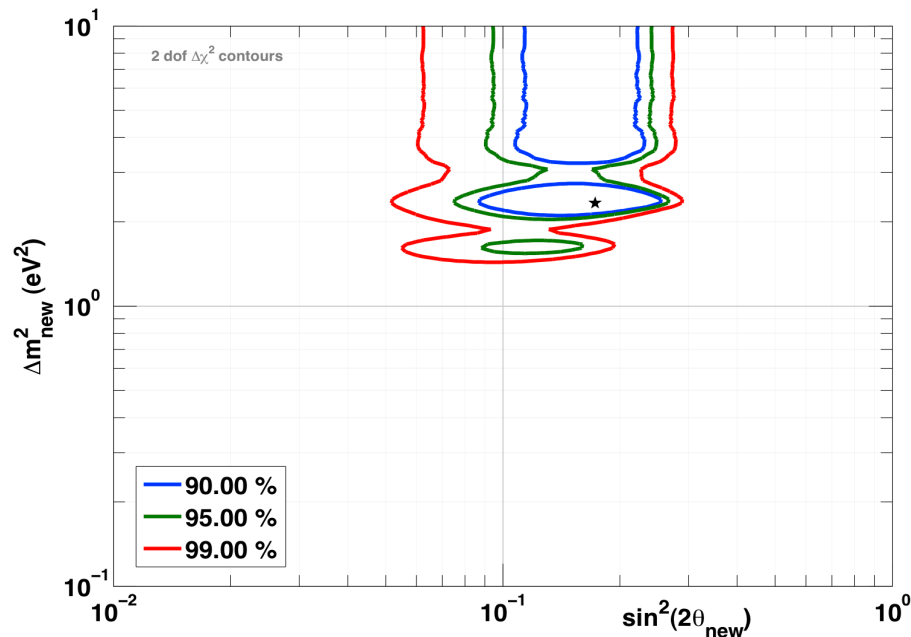


G. Mention et al. Phys Rev D 83 073006 (2011)

Analyse globale réacteurs SBL + Gallium

Réacteurs SBL + Gallium

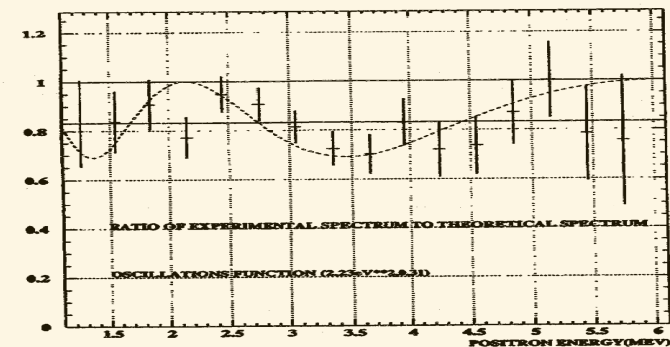
- $|\Delta m^2| = 2.3 \pm 0.1 \text{ eV}^2$
- $\sin^2(2\theta_{\text{new}}) = 0.17 \pm 0.04$
- non oscillation exclue à 3.6σ



arXiv:1204.5379

- Déclenchement d'une forte activité dans la communauté neutrino
- De nombreux projets sont en préparation : accélérateurs, sources, réacteurs

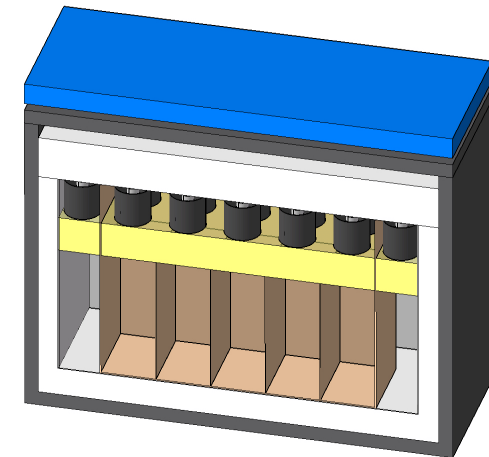
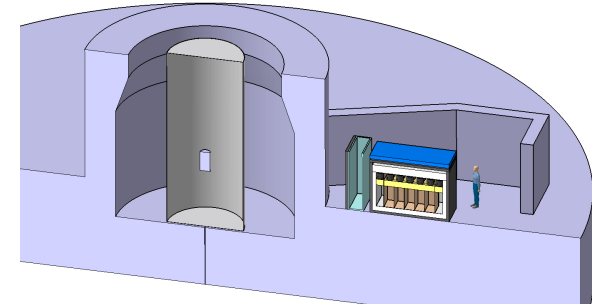
Les oscillations étaient-elles déjà présentes dans les données de l'ILL en 1981 ?



Phys. Rev. D 24.1097 1981
App. Rad. Isot. 46,449(1995)

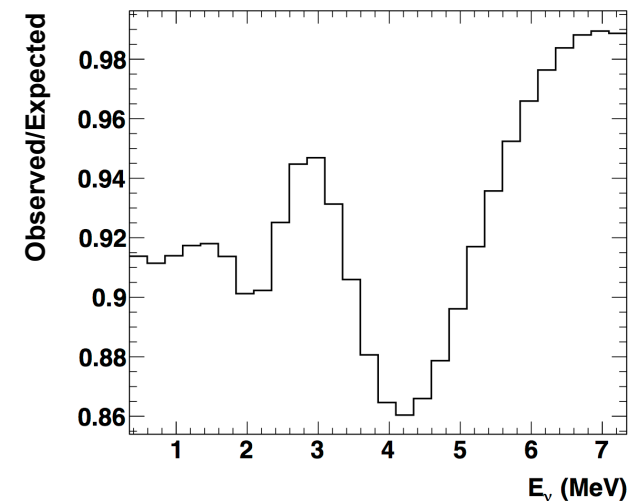
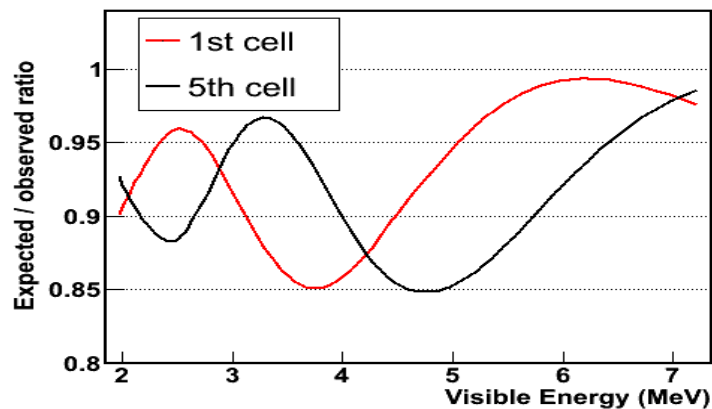
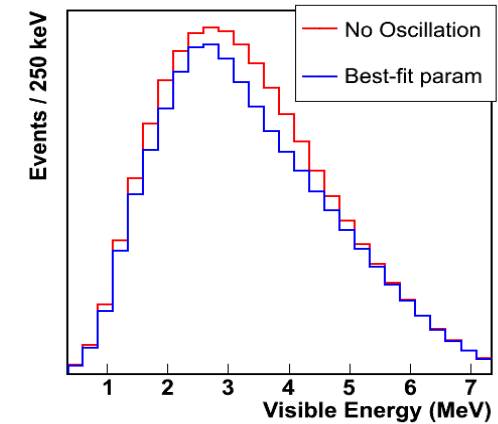
Les objectifs du projet STEREO@ILL

- Couvrir le contour de l'anomalie avec une très grande précision
- Proximité du réacteur très compact de l'ILL
- Signature non ambiguë de l'oscillation
 - Déformation du spectre en énergie et en distance
 - Analyse de forme indépendante de la normalisation (puissance, flux, normalisation)
- Utilisation d'une technologie éprouvée pour une prise de données en 2015



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

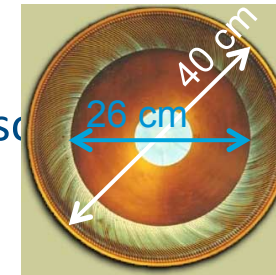
- Analyse robuste de l'oscillation
 - Observation de la déformation du spectre en énergie
 - Evolution de la phase avec la distance
- Conditions
 - Bonne résolution en distance (source + détecteur)
 - Bonne résolution en énergie
 - Point critique : bruit de fond



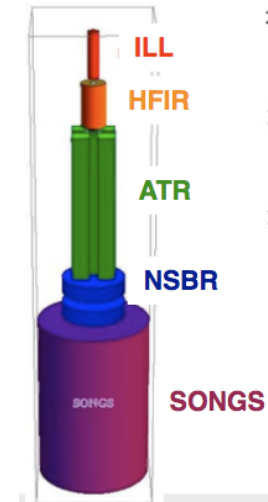
Le réacteur de l'ILL

Cœur compact

- $\Phi \approx 40$ cm, $h \approx 80$ cm
- Un des plus compact au monde
- Evite de moyenner l'oscillation par la taille de la section
 $RMS_{\text{cœur}} = 24$ cm $\ll L_{\text{osc}} = 3.2$ m à 3 MeV



- Déplacement du barycentre 10 cm au cours d'un cycle perpendiculairement à l'axe du détecteur/réacteur

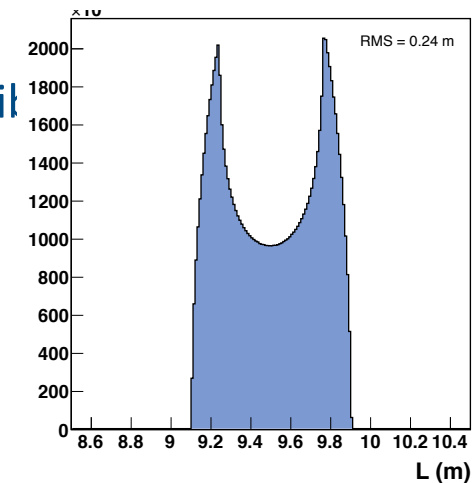


Cœur fortement enrichi en ^{235}U (93%)

- Spectre indépendant des effets d'évolution du combustible
 - $E = 201.9 \pm 0.5$ MeV/fission
- Spectre le mieux connu

Puissance : 57 MW

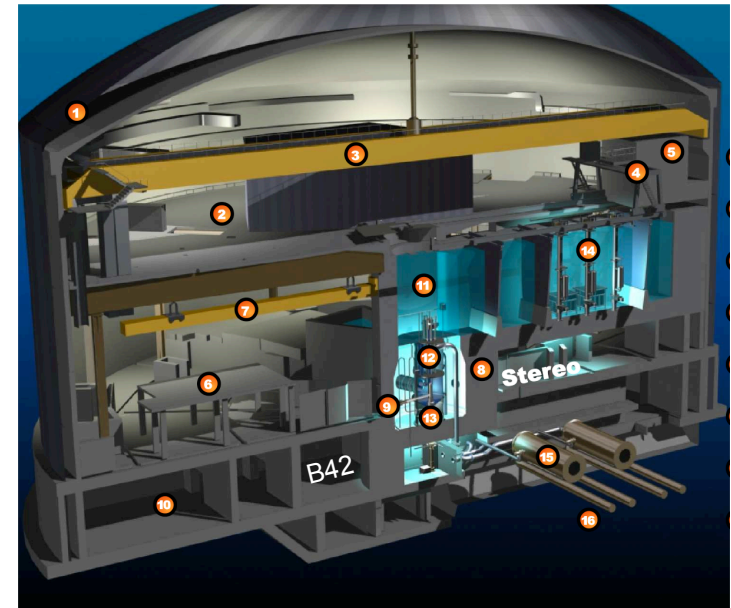
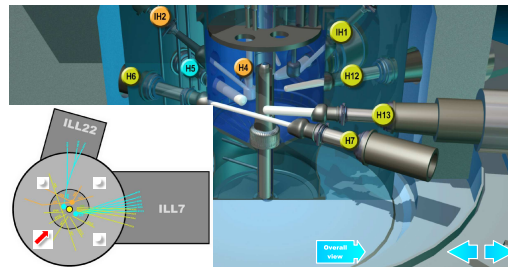
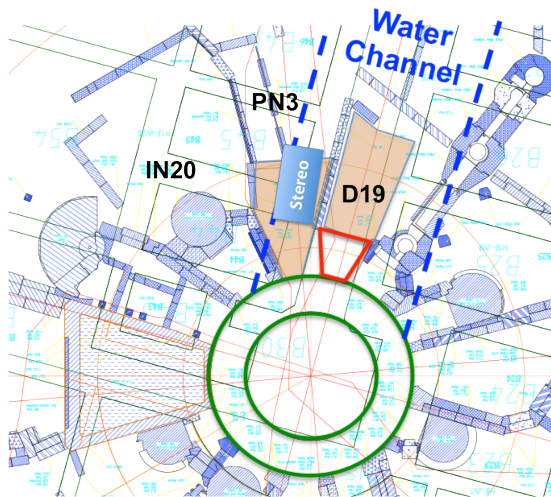
- 4 cycles de 50 jours par an ≈ 200 jours ON



Le réacteur de l'ILL

Plusieurs possibilités d'accès à très courte distance, mur du réacteur à 5 m

- B42 : expérience précédente 8.78 m
- Niveau C
 - Axe du réacteur
 - Protection canal d'eau

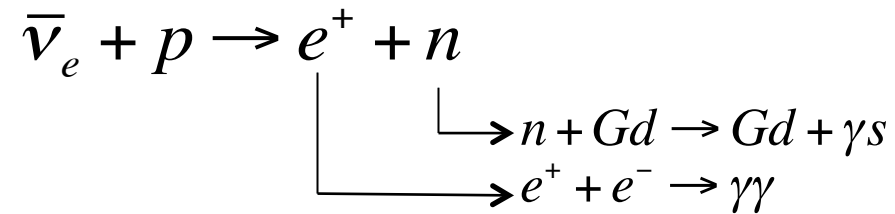


Evaluation de STEREO par le conseil scientifique de l'ILL en avril 2013

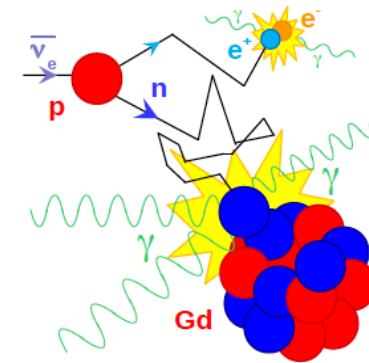
→ Accord pour une installation au niveau C en PN3

Le principe de détection

Détection par désintégration β inverse dans du scintillateur dopé au Gd :



- Seuil : $\Delta + m_e = 1.804 \text{ MeV}$ ($\Delta = M_n - M_p$)
- $E_n \approx 25 \text{ keV}$
- $E_{\text{vis}} \approx E_\nu - \Delta + m_e \approx E_\nu - 0.782 \text{ MeV}$



Signature en coïncidence temporelle :

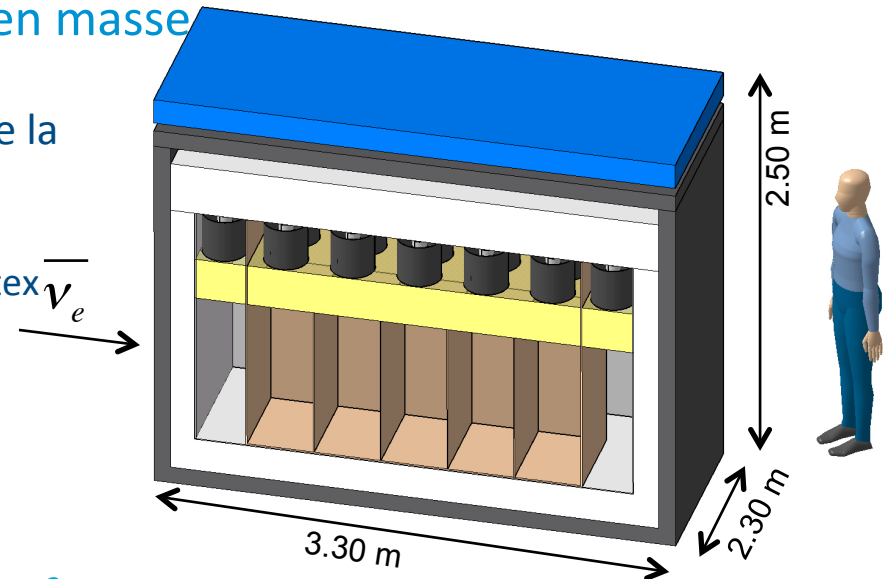
- Signal prompt : Ionisation du positron + γ d'annihilation
- Signal retardé : capture du neutron sur Gd
 - Cascade de gammas, énergie totale $\approx 8 \text{ MeV}$ (\gg radioactivité naturelle ^{208}Tl à 2.6 MeV)
- $\Delta T \approx 15 \mu\text{s}$ (0.2% Gd)

Le détecteur

2m³ de scintillateur liquide dopé à 0.2% Gd en masse

- Cible + capture du neutron
- 5 cellules de 40 cm de profondeur le long de la direction du cœur
 - 90 cm haut, 1.10 m de large
 - Détermination passive de la position du vertex \vec{v}_e
 - Profondeur comparable à la taille du cœur

→ $\delta L_{osc} = 32 \text{ cm } (1\sigma)$

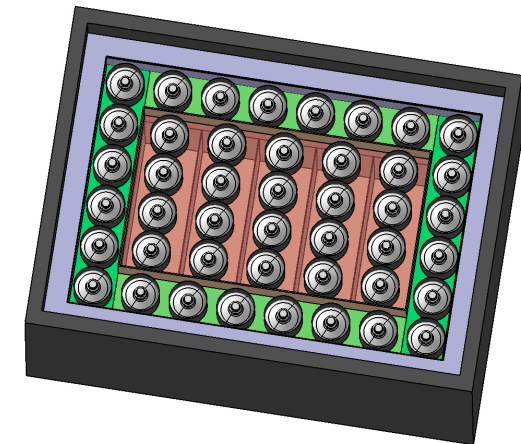


Couronne 30 cm scintillateur non dopé (1.7 m³)

- Améliore la résolution en énergie et l'efficacité neutron
- Veto actif pour le bruit de fond externe

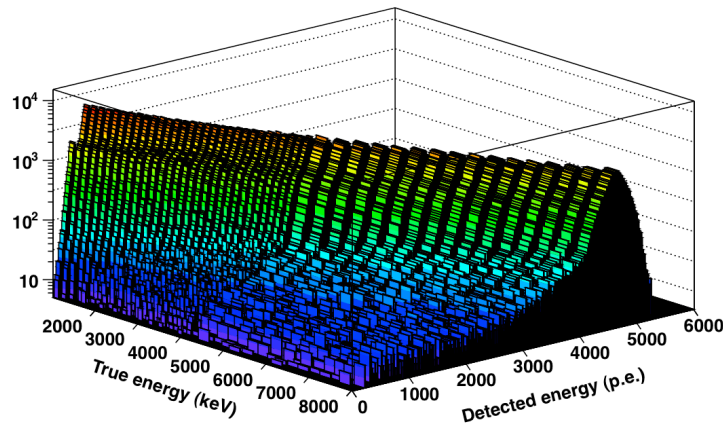
Collection lumière

- Par le dessus avec 44 PMTs 10'' (50% surface)
- Buffer en acrylique 20 cm
 - Homogénéité de la réponse de la cellule dans tout le volume
- Contact optique Buffer/PMT avec huile minérale



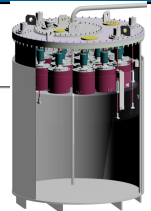
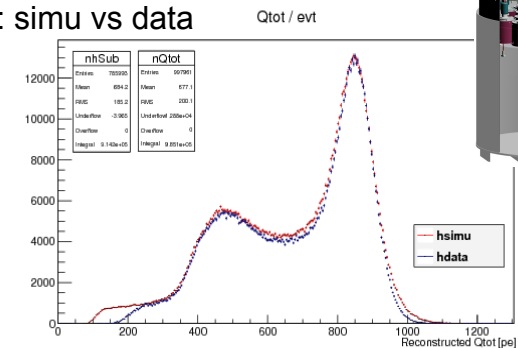
La réponse en énergie

- Réponse en énergie estimée par simulation Geant4
 - simulation adaptée de DC et Nucifer
 - modèle de scintillation détaillé et validé
- ≈ 460 pe /MeV (5%), Effet haut/bas $\approx 3\%$ / m
- Résolution dominée par échappement 511 keV
- Réponse homogène centre/bord grâce à la couronne externe
 - $\delta E/E \approx 10\%$ $e^+ 2$ MeV (≈ 3.02 MeV $E_{\text{déposée}}$)

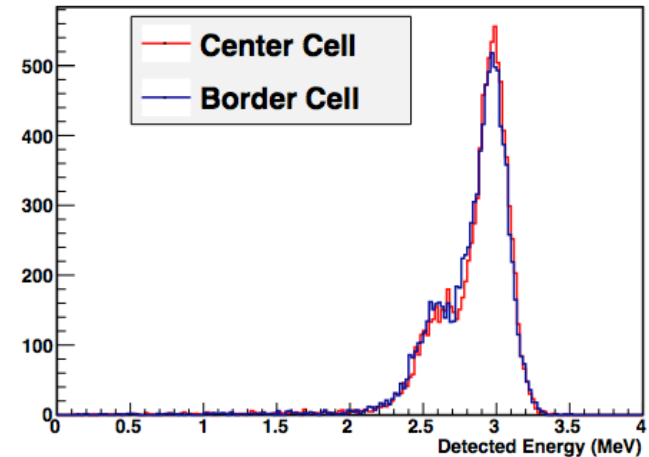


- Calibration individuelle de chaque cellule avec des sources
 - Dispositif automatique de déplacement
 - Précision de 2% sur l'échelle d'énergie
- Contrôle du gain des PMTs et transmission optique
 - système d'injection de lumière par LED et fibres
 - Précision de 1% sur la stabilité du détecteur

^{60}Co Nucifer : simu vs data

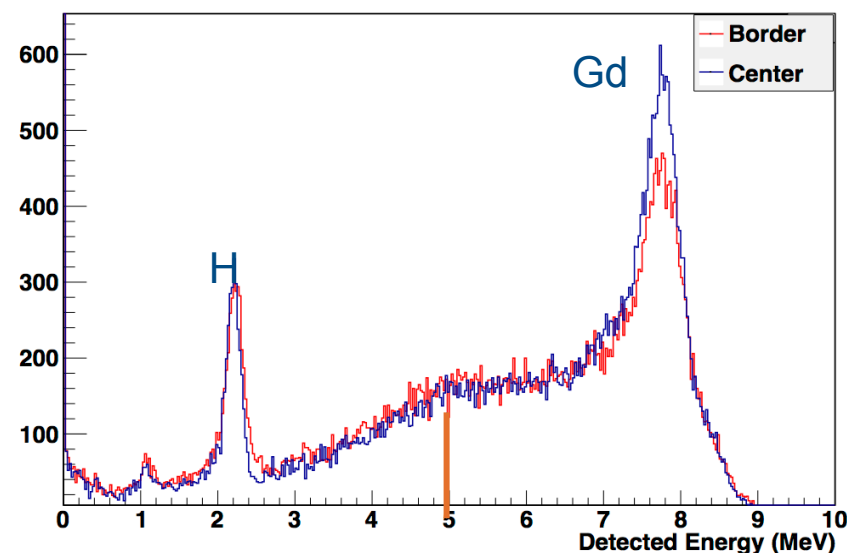


Cible + couronne e^+ de 2 MeV



L'efficacité de détection neutron

- $\approx 90\%$ des captures sur Gd
- Temps de capture $\approx 15\ \mu\text{s}$ Gd vs $200\ \mu\text{s}$ H
- Cascade de gammas d'énergie totale 8 MeV
 - $\approx 30\ \text{cm}$ dans le scintillateur
 - Couronne externe réduit les fuites de γ
- Efficacité de détection moyenne
 - 64 % pour $E_{\text{dep}} > 5\ \text{MeV}$
 - 51 % pour $E_{\text{dep}} > 6\ \text{MeV}$
- Effet centre/bord
 - Cellule centre : 66 %
 - Cellule bord : 62 %
- Etalonnage avec source Am-Be
 - Corrélation neutron et γ de 4.4 MeV
 - Précision 2 % sur l'efficacité de détection



Bruit de fond corrélé au réacteur

- Gammas et neutrons thermiques -> **Bruit de fond fortuit**
- Neutrons rapides (signal prompt = proton de recul + signal retardé = capture du neutron)
 - **bruit de fond corrélé** → **Doit être rendu négligeable**
- Protection par des blindages lourds
 - la tenue de la dalle est suffisante 10 à 20 t/m² (étude ILL 2010)

Bruit de fond indépendant du réacteur

- Neutrons rapides induits par interactions des muons -> **bruit de fond corrélé**
- Protection par le canal d'eau et un véto muon
- Radioactivité des matériaux -> **bruit de fond fortuit**
- Test des matériaux

Le bruit de fond fortuit est mesuré en ligne avec une grande précision

- $R_p \times R_d \times \Delta t < R_v$
- Signal prompt : $E_{\text{dep}} > 2 \text{ MeV}$ (γ s) → $R_p < 200 \text{ Hz}$
- Signal retardé : $5 < E_{\text{dep}} < 10 \text{ MeV}$ → $R_d < 1 \text{ Hz}$
-

Le bruit de fond corrélé est mesuré pendant les périodes de réacteur OFF

- OFF $\approx 45 \%$ du temps
- Corrélés avant PSD $< 5.10^{-3} \text{ Hz}$

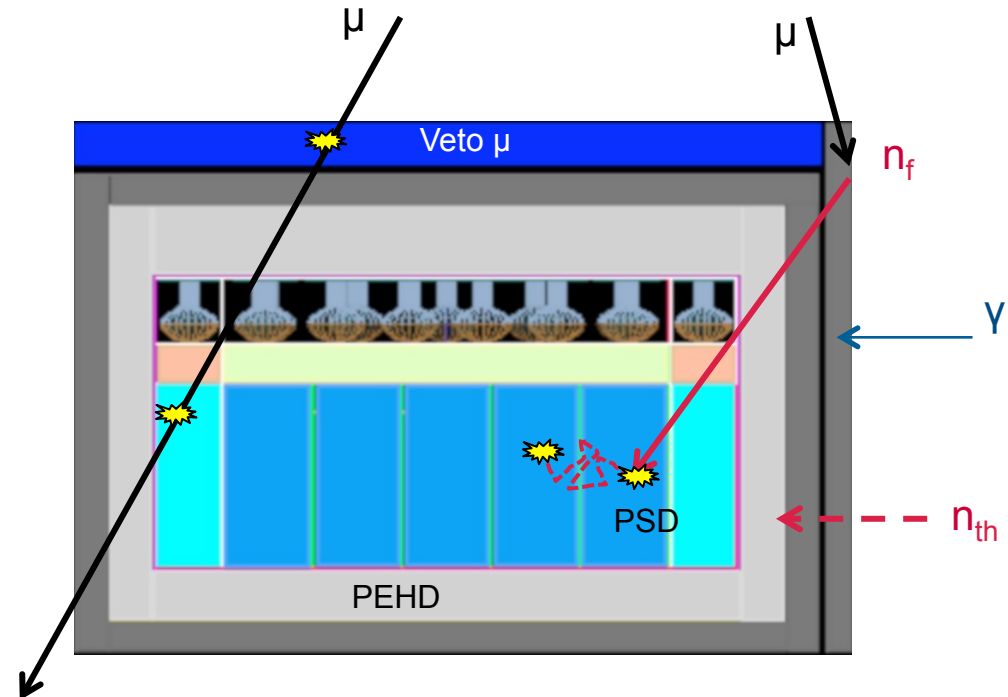
Les blindages

Blindage passif

- Pb 10 cm
- Mur frontal Pb 10 cm coté réacteur
- Polyéthylène boré 15 cm faces latérales
20 cm en bas, 30 cm en haut

Blindage actif

- Veto muon : Cerenkov à eau 20 cm
- Couronne externe 30 cm LS



Aménagement de la casemate PN3 pour STEREO

- Opportunité offerte par l'arrêt prolongé du réacteur de l'ILL du 9 août 2013 -> juin-juillet 2014

Validation des protections nécessaires

- Mesures sur sites avec détecteurs Ge et ^3He : 4 campagnes depuis juin 2012
- Comparaison avec des expériences similaires ILL-1@B42 Nucifer@OSIRIS
- Simulations Geant4 MCNPX

Contraintes d'installation

- Sécurité sismique
- Sécurité incendie
- Dossier ASN à déposer fin 2013
- Travail en cours avec expert incendie et ingénieure de sécurité ILL

Modification du détecteur par rapport au projet initial

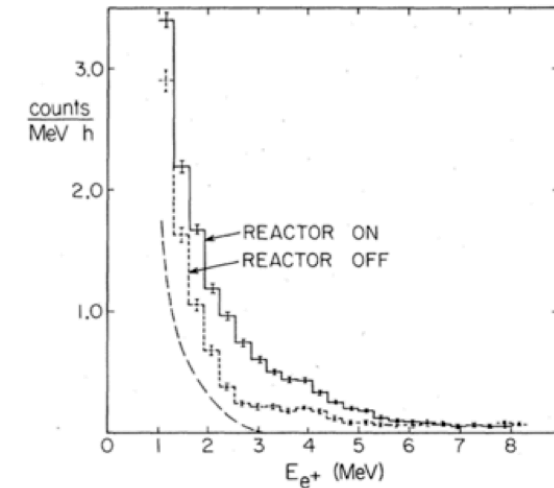
- Distance STEREO/réacteur : 10 m
- Largeur de la cible réduite de 1.1 à 0.9 m
- 6 cellules au lieu de 5

Caractéristiques principales de STEREO

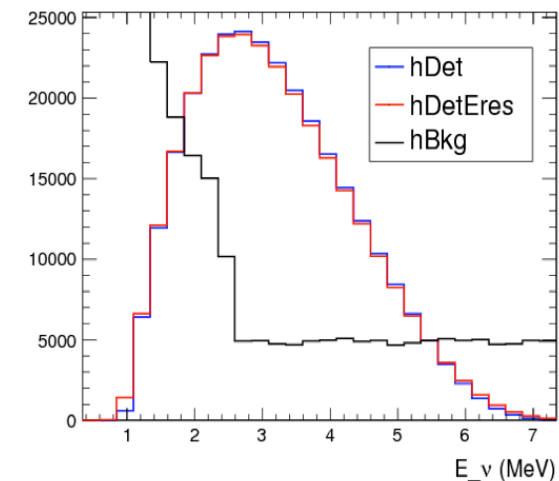
Puissance du réacteur	57 MW
σ (^{235}U) /fission	$6.69 \cdot 10^{-43} \text{ cm}^2$
Distance moyenne au cœur	10 m
Nombre de protons cibles	$1,3 \cdot 10^{29}$
Seuil Evis à 2 MeV ($E_\nu > 2.8 \text{ MeV}$)	81 %
Efficacité neutron ($E_{\text{dep}} > 5 \text{ MeV}$)	64 %
Temps mort	5 %
$\delta E/E$ @ 2 MeV	10 %
δL evt by evt	32 cm

Signal attendu 480 v/ jrs

Challenge : $S/B > 1.5$ (\approx ILL-1)

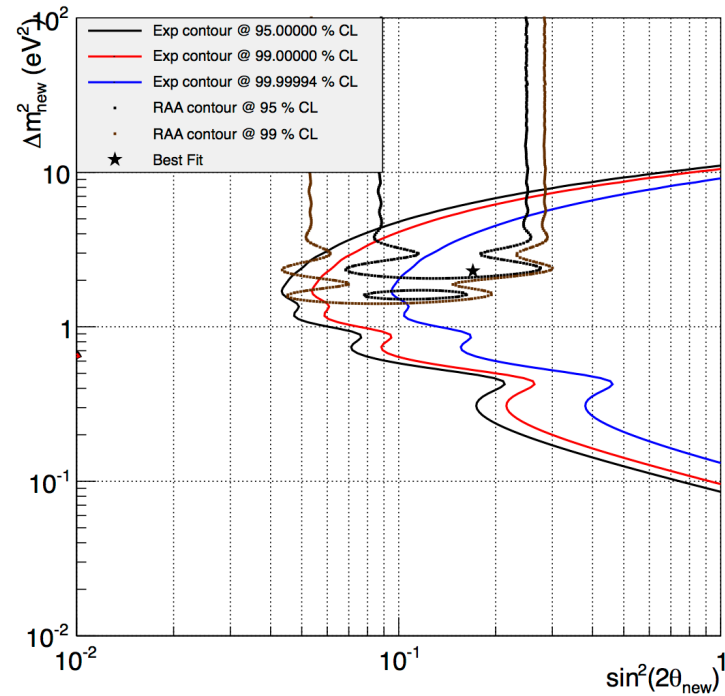


Phys. Rev. D 24.1097 1981



- 300 jours de réacteur ON - 160 jours de OFF - S/B= 1.5

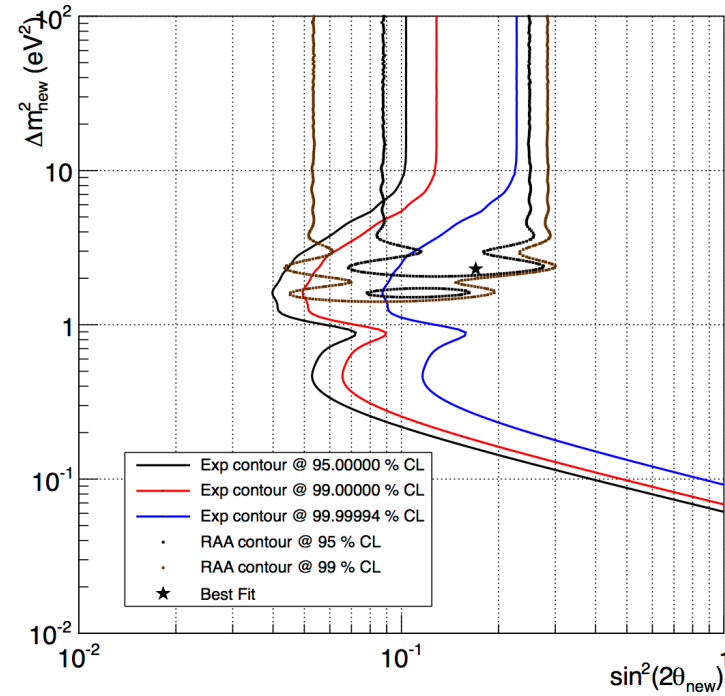
Analyse de forme



Erreurs systématiques

- Spectre de fission 0.7 -> 4 %
- Magnétisme faible (E-1.0)*1.0%/MeV
- Distance evt/evt $\delta L = 32$ cm
- Calibration énergie sources 2.0 %
- Monitoring 1%

Analyse de forme + norme



Erreurs systématiques normalisation 3.5%

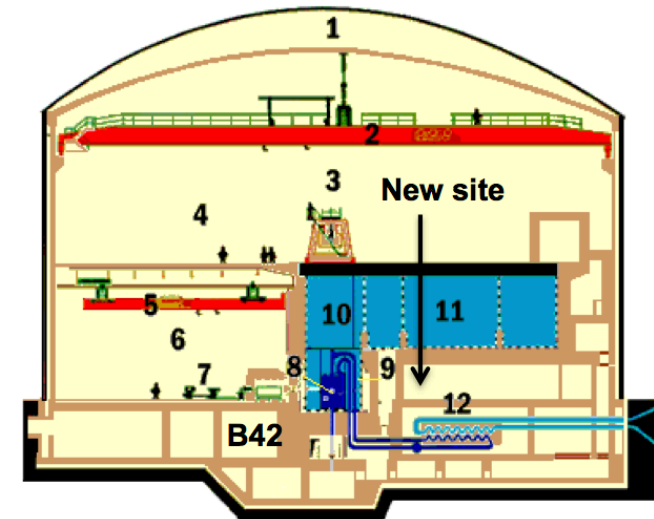
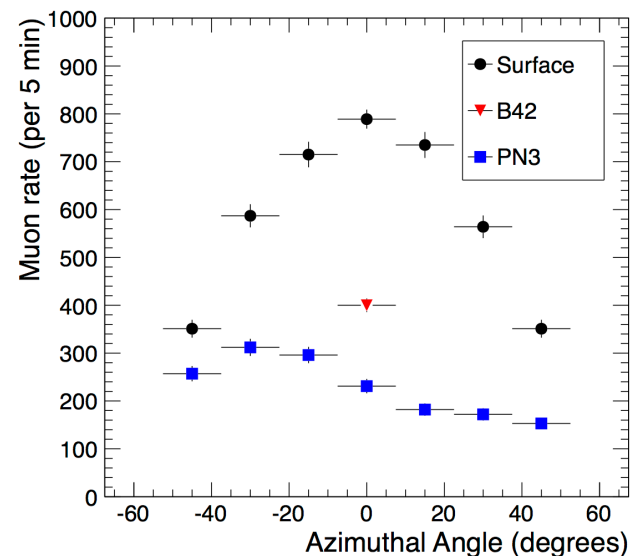
- N_p 0.5%
- Spill in Spill out 1%
- Efficacité de détection 2%
- Puissance thermique 2.0 %
- Spectre de fission 1.8 %



Mesures sur site

Neutrons rapides induits par les muons

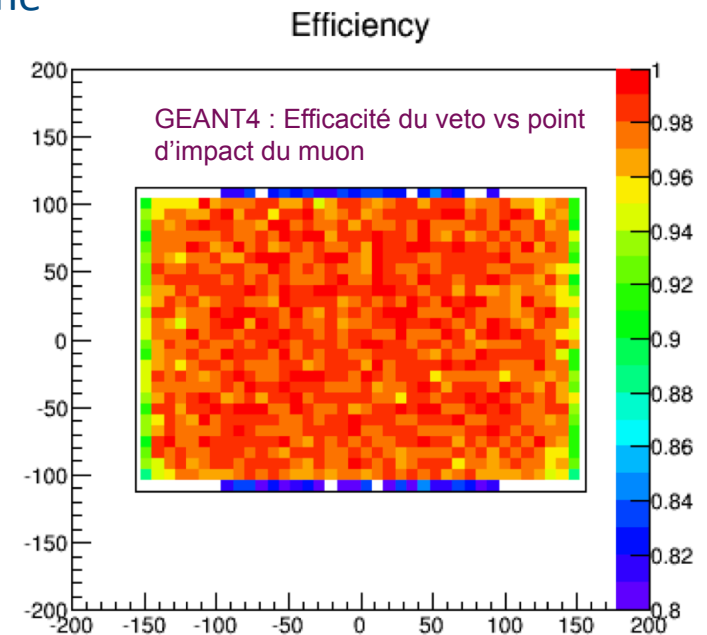
- Muons induisent des neutrons rapides dans les matériaux lourds
 - Limiter les épaisseurs de Pb proches du détecteur au strict nécessaire
- Protection avec canal d'eau
 - U 1.9 m de béton + 6 m d'eau, 7.8 m de large
 - Suppression de la composante hadronique
- Mesure du flux de muons in situ
 - Roue cosmique : dépendance azimuthal
 - Réduction du flux de muon X 4 par rapport à la surface (X 2.7@Osiris et \approx mieux que B42)



Neutrons rapides induits par les muons

- Taux de muon estimé : 70 Hz/m² → 500 Hz dans Stereo
- Veto actif 100 μs → 5 % temps mort
 - Cerenkov à eau 20 cm, 3.3 m X 2.3 vu par des PMTS
 - Efficacité > 95 % aux muons, peu sensible aux gammas
 - 1ere simulation GEANT4 → réponse homogène
 - Prototype en cours
- Couronne externe joue aussi le rôle de veto
 - Muon : E_{dep} > 60 MeV -> saturation

→ Mesure en réacteur OFF (160 jours)



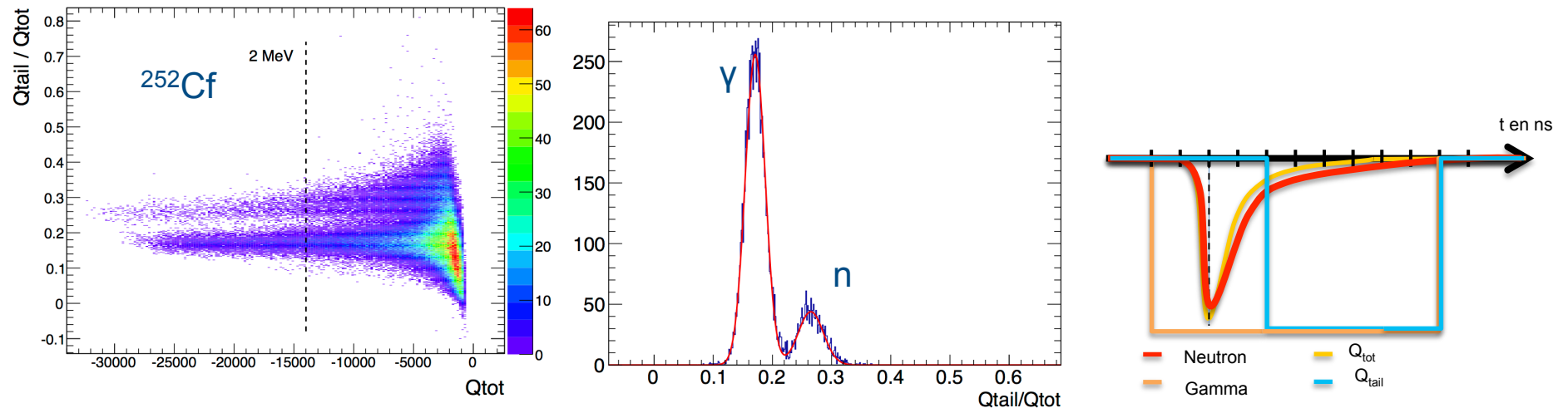
Discrimination de forme du proton de recul

Utilisation des propriétés de discrimination de forme du scintillateur (PSD)

- Rejection d'un facteur 20 des protons de recul pour un rejet de 1% des positrons

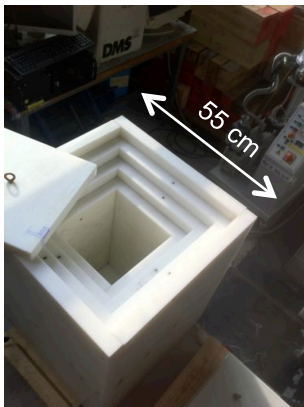
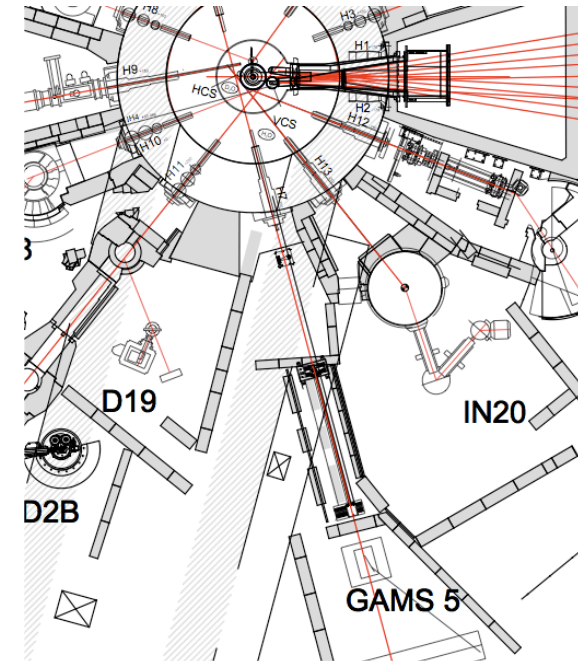
1^{er} échantillon du scintillateur testé en juin : les résultats sont très satisfaisants !

- Bénéfice des développements faits pour Double Chooz (20% PXE + 80% LAB)
 - Scintillateur stable : DC pendant 5 ans, Nucifer depuis 8 mois
- Rendement lumineux ≈ 7500 ph/MeV, Longueur d'atténuation ≈ 5 m
- Analyse de la forme du signal (PSD) pour discrimination n, γ
 - Facteur de mérite en cellule test de 1.05 vs 0.8 Nucifer (Delta_Mean/Sum_FWHM)



Neutrons rapides du réacteur

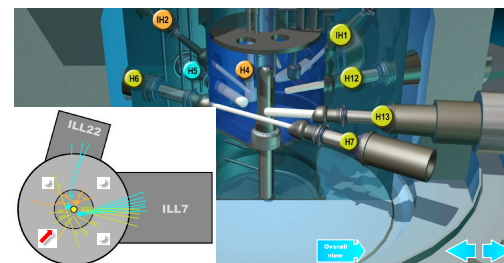
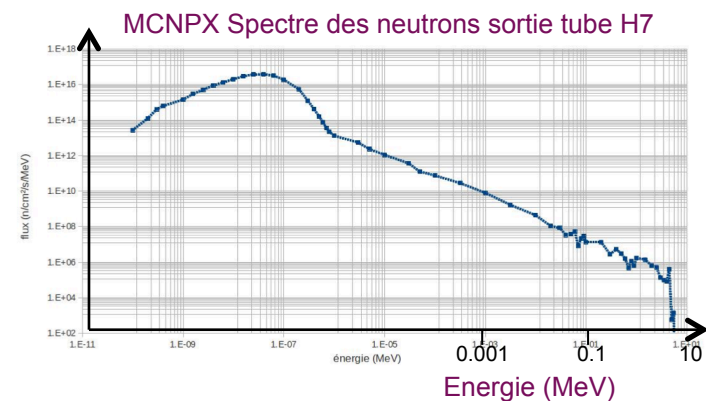
- Nombreux faisceaux de neutrons dans le hall C
- Caractérisation du flux par des mesures sur sites
 - Tube ^3He (10 bar, $\Phi=25$ mm, $L=300$ mm)
 - Ouverture/fermeture des faisceaux IN20 et D19
 - Réalisation une maquette de blindage pour tests
 - Modulaire et hermétique
 - PEHD (4X5 cm + 15 cm + B4C 5 mm)
 - Équivalente au blindage prévu pour Stereo (MCNPX)
- Simulation MCNPX des différentes configurations



- Identification d'une composante de neutrons rapides venant du tube H7
 - Réduction d'un facteur 100 nécessaire

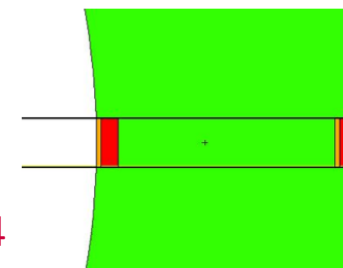
Neutrons rapides du réacteur

- Simulation MCNPX
 - Géométrie détaillée du cœur
 - Calcul du flux en sortie du tube H7
 - Intégrale : $3.5 \pm 0.5 \cdot 10^7 \text{ n/cm}^2/\text{s}$
 - Chute brutale pour $E > 5 \text{ MeV}$
- Présence de ${}^6\text{Li}$ dans collimateur de H7
 - flux $10^{10} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2/\text{s}$
 - neutrons rapides au delà de 10 MeV
 - $\text{n}_{\text{th}} + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{t}$, $\text{t} + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be} + \text{n}_{\text{fast}}$



→ Remplacement du collimateur de H7 par un bouchon plein

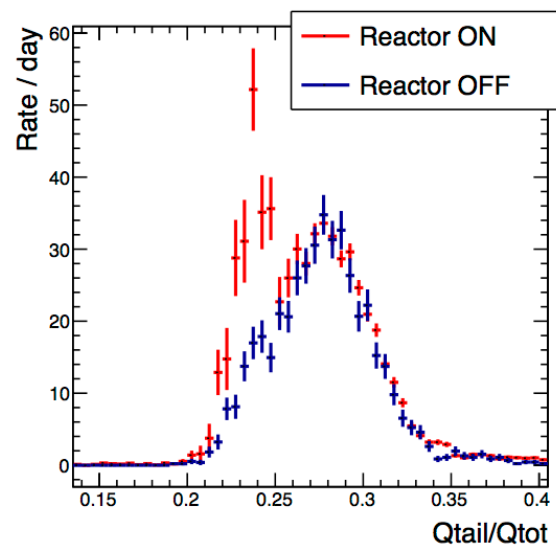
- Suppression du ${}^6\text{Li}$ par du boral
- 2cm B4C + 8cm Pb + 1 m de béton lourd + 2cm B4C + 8cm Pb
- Réduction flux neutrons 10^9 et gammas de hautes énergies 10^6
- Spécifications ont été transmises au BE ILL
- Installation prévue en avril 2014 pendant grand arrêt 2013-2014



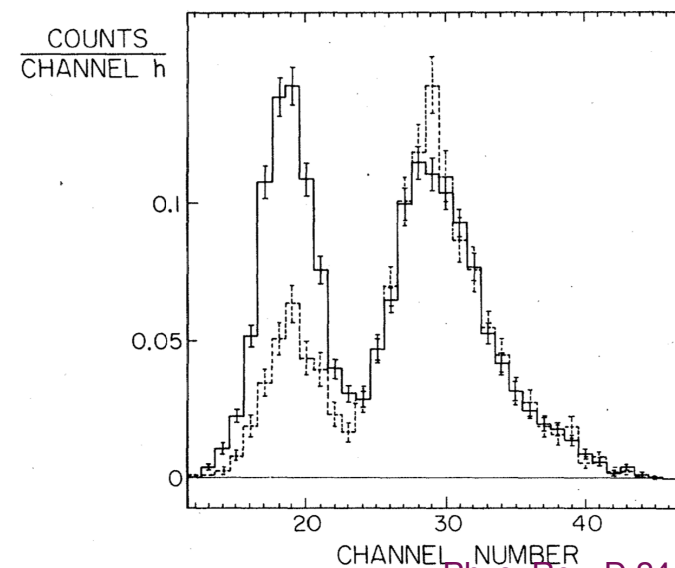
Bruit de fond corrélé associé au réacteur

- Non observé ni à ILL-1@B42 ni à Nucifer@Osiris
- Flux de neutrons du réacteur < 5 MeV
- Effet de quenching dans les scintillateurs $\rightarrow E_{\text{dep}}$ (proton recul) < 2 MeV
- Vérification en relâchant la coupure PSD, comparaison ON/OFF

Nucifer@Osiris



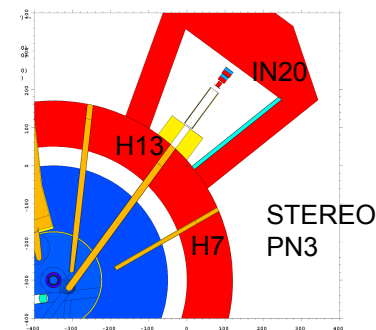
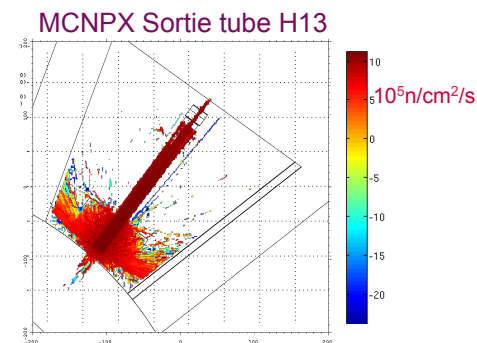
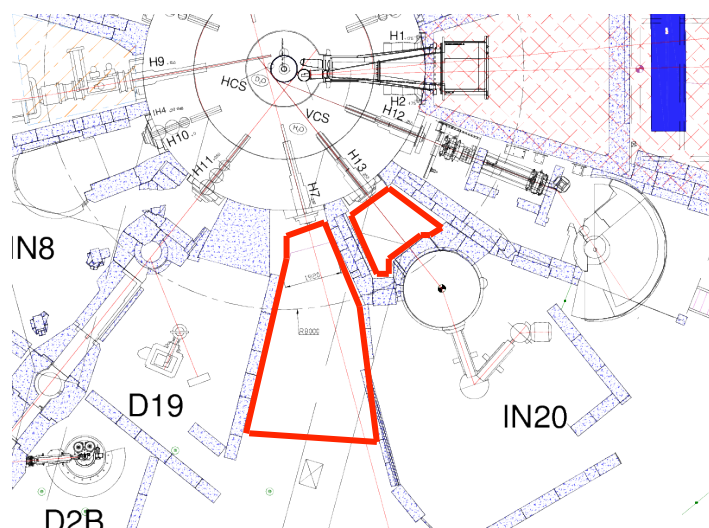
ILL-1@B42



Phys. Rev. D 24.1097 1981

Bruit de fond neutron thermique

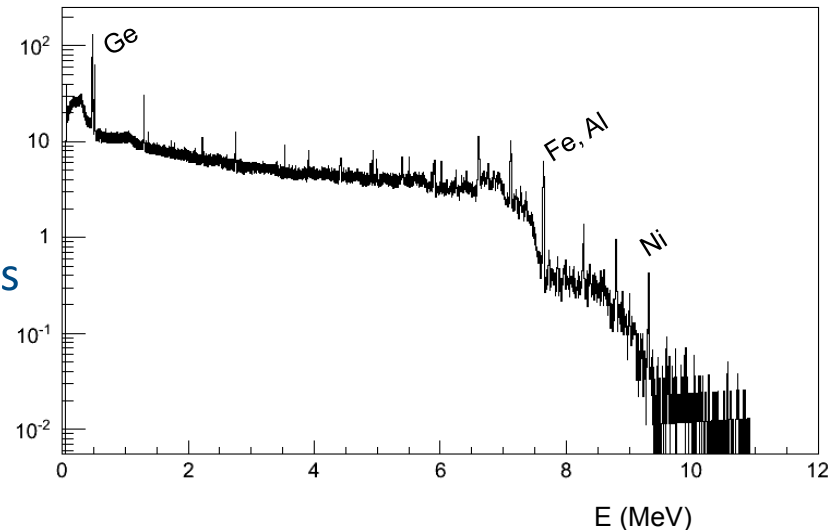
- Hall C baigne dans un gaz de neutrons thermiques
 - Fuites identifiées en provenance du tube H7 et coté IN20
 - Simulation MCNPX identifie la bride du tube H13
- Couverture des surfaces de la casemate avec B4C 5 mm
- Tests d'efficacité du B4C validé coté mur réacteur
 - Programmé pendant le grand arrêt arrêt réacteur 2013-2014



- Atténuation du blindage est validée par les mesures avec à la maquette ($\approx 10^5$)
 - Signal estimé dans STEREO inférieur à 10^{-4} Hz

Mesure in situ avec détecteur Ge

- Le taux de comptage pour $E > 2$ MeV
 - 2 X moins important qu' à Nucifer
 - 10 X plus élevé qu'en B42
- Ouverture/fermeture des faisceaux voisins IN20 et D19
- Mesures directionnelles avec blindage Pb
- Identification des sources
 - Mur réacteur coté H7 et casemate IN20
 - Gammas de hautes énergies associés aux captures de neutrons sur Fe, Ni, Al
 - Réduites par le blindage B4C

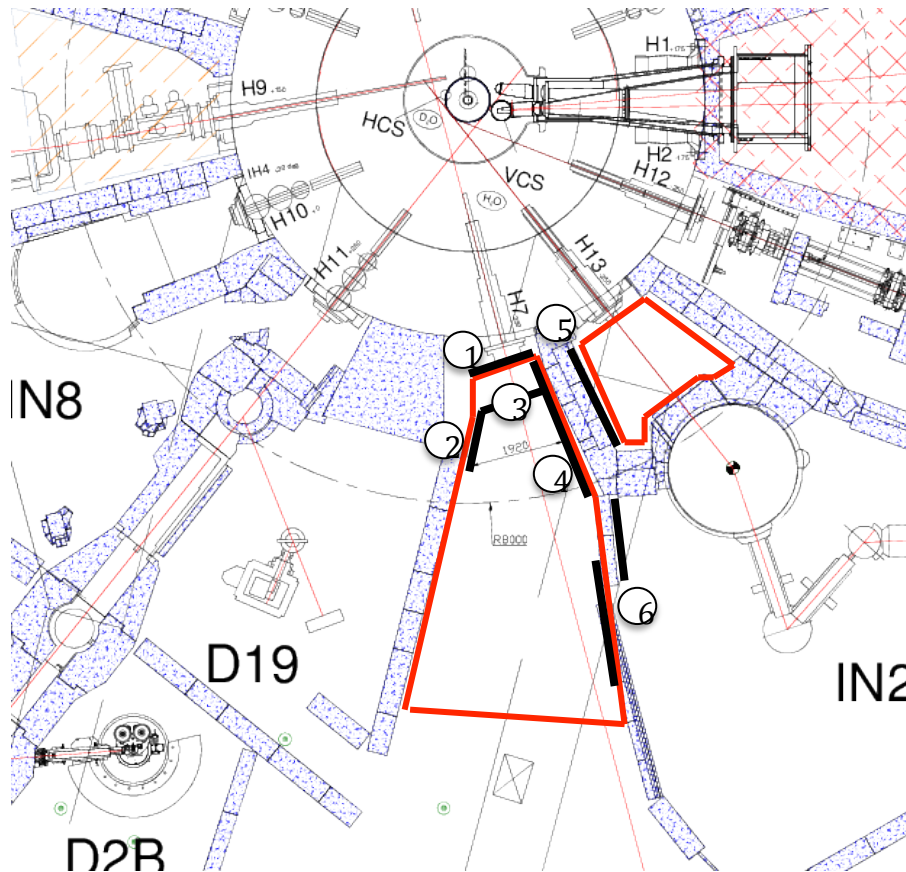


→ Mise en place d'importants blindages additionnels au plus près des sources

Aménagement de la casemate pour STEREO

Objectif : protéger le détecteur des sources identifiées par 20 cm de plomb

- ILL-1 : les taux de comptage single sont indépendants de l'état du réacteur

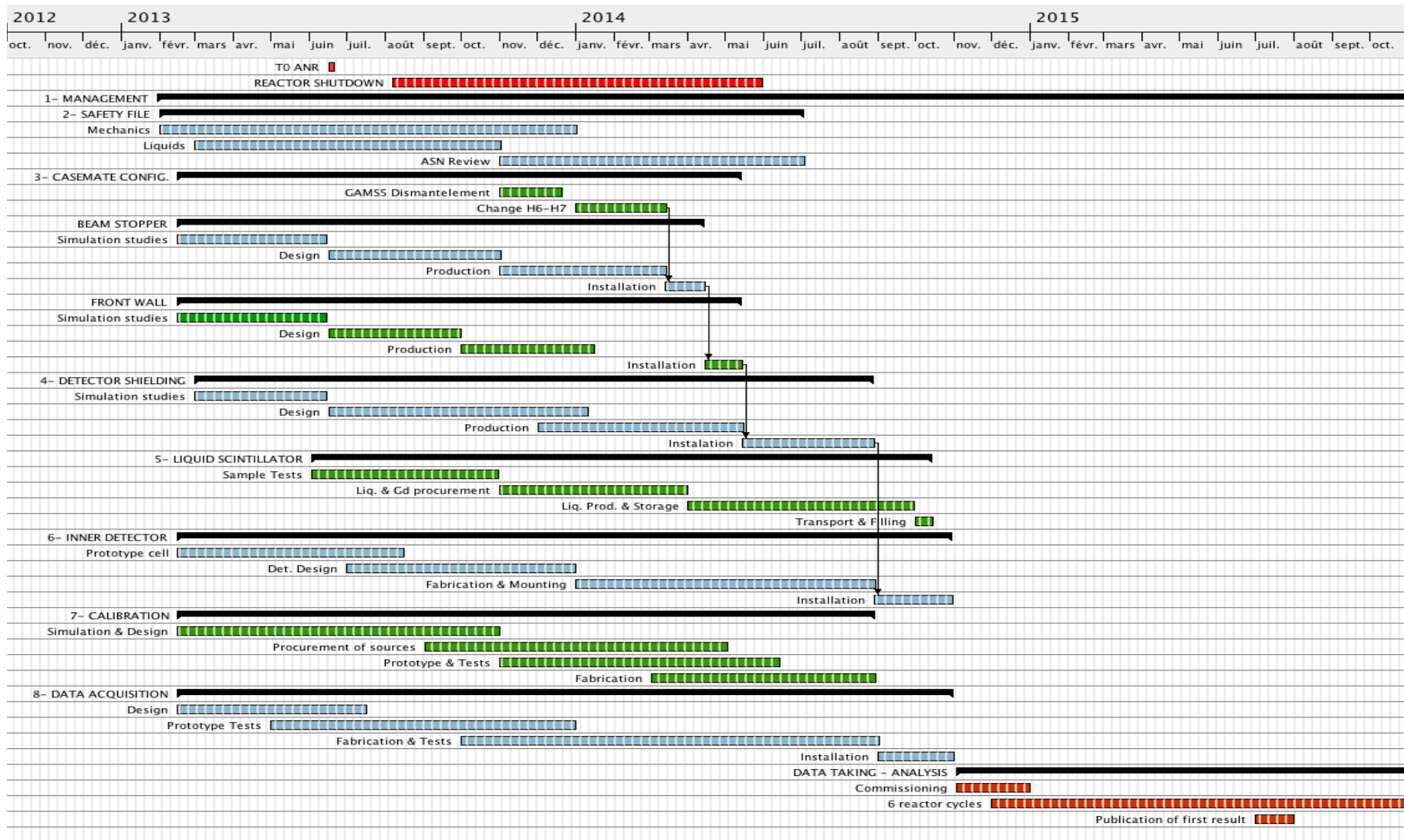


- Mise en place durant le grand arrêt du réacteur
- Profiter des premiers cycles pour valider et optimiser l'installation des blindages avant d'installer le détecteur

- 1 10 cm Pb à compléter
- 2 10 cm Pb : 5 cm existant + 5 cm
- 3 10 cm Pb existant prévoir une possible extension
- 4 Prévoir possibilité d'ajouter 5 cm Pb
- 5 15 cm Pb : 10 cm à compléter + 5 cm + marge de 5 cm

- Aout 2013- mi juin 2014 : Grand arrêt réacteur de 10 mois
 - Remplacement bouchon-collimateur
 - Couverture B4C des casemates PN3 et IN20
 - Montage des murs de plomb supplémentaires
- juin 2014 : 1 cycle court réacteur ON de 1 mois
 - test de bruit de fond de la casemate aménagée
- 3 cycles jusqu'à fin 2014
 - Installation de STEREO : blindages et détecteur
 - Tests de bruit de fond à chaque étape
- 2 cycles en 2015 pour comissionning
- 6 cycles d'avril 2105 à fin 2016 : Prise de données effectives
- Début 2017 : changement du tube H6-H7

Calendrier



Répartition des tâches

Partenaires (nb Phys. permanents)	Tâches
CEA/Irfu (7)	Coordination du projet Conception et réalisation du détecteur interne Calcul du spectre neutrino
IN2P3/LPSC (4)	Veto muon Electronique, acquisition de données et contrôle lent Fabrication et montage du blindage Coordination de la simulation
IN2P3/LAPP (2)	Dispositif de calibration Conception du blindage Fabrication de la structure du blindage
MPIK-Heidelberg (2)	Scintillateur liquide, système de remplissage, PMTs
ILL (4)	Conception et réalisation du bouchon Etudes de sécurité Aménagement de l'aire expérimentale, installation sur site
Casablanca Univ. (2)	Système d'injection de lumière

Investissement	Cout en k€
Détecteur interne	195
Scintillateur	250
Filling system	70
PMTs	125
Veto muon	45
Electronique et DAQ	176
Blindages	260
Calibration	131
Injection de lumière	10
Aménagement casemate	55
TOTAL	1 317

612 k€ LPSC/LAPP

- Demande ANR 2013 : 1 178 k€
 - Investissement : 612 k€ (IN2P3) + 195 k€ (CEA)
 - Missions 46 k€ (IN2P3) + 48 k€ (CEA)
 - 2 Postdocs LAPP et Irfu
 - Demande Postdoc LPSC : Labex ENIGMASS, réponse en juillet
- Financement à 85 % par l'ANR
- Recommandation d'un seul postdoc et réduction du budget blindage
- Demande à l'IN2P3 :
 - une partie du complément de l'ANR + cout des blindages supplémentaires
 - 70 k€ complément ANR concernant les blindages
 - 33 k€ murs de plomb supplémentaires
 - 20 k€ couverture B4C des 2 casemates
 - **TOTAL : 123 k€**

- STEREO propose une mesure de précision à moins de 10 m du cœur compact du réacteur de recherche de l'ILL de Grenoble.
- La recherche d'une distorsion du spectre en énergie le long de l'axe du détecteur offre une signature claire d'une possible nouvelle oscillation, indépendante des paramètres du réacteur.
- Le concept de la détection par désintégration β inverse dans un scintillateur liquide dopé au Gd est éprouvé.
- Fort bruit de fond gamma et neutron avec des sources identifiées par les mesures sur site.
- Aménagement des casemates PN3 et IN20 est en cours d'intégration dans le planning du grand arrêt de l'ILL (mi-2013, mi-2014). Des marges d'atténuation sont prévues par rapport aux retours d'expériences des mesures ILL-1@B42 et de Nucifer@Osiris.
- Le calendrier d'installation proposé et la sensibilité de la mesure offrent un potentiel de découverte élevé

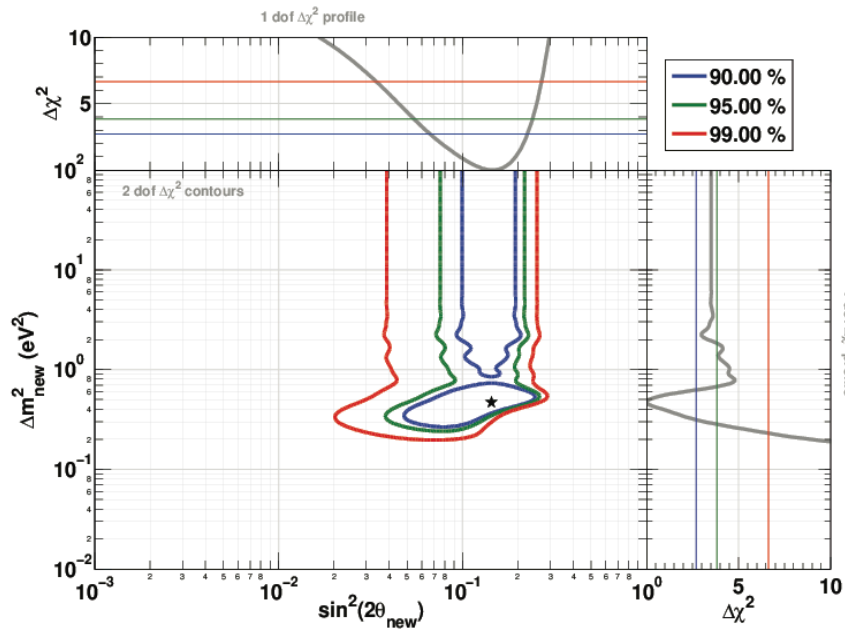


Backup

Analyse globale neutrinos de réacteur SBL

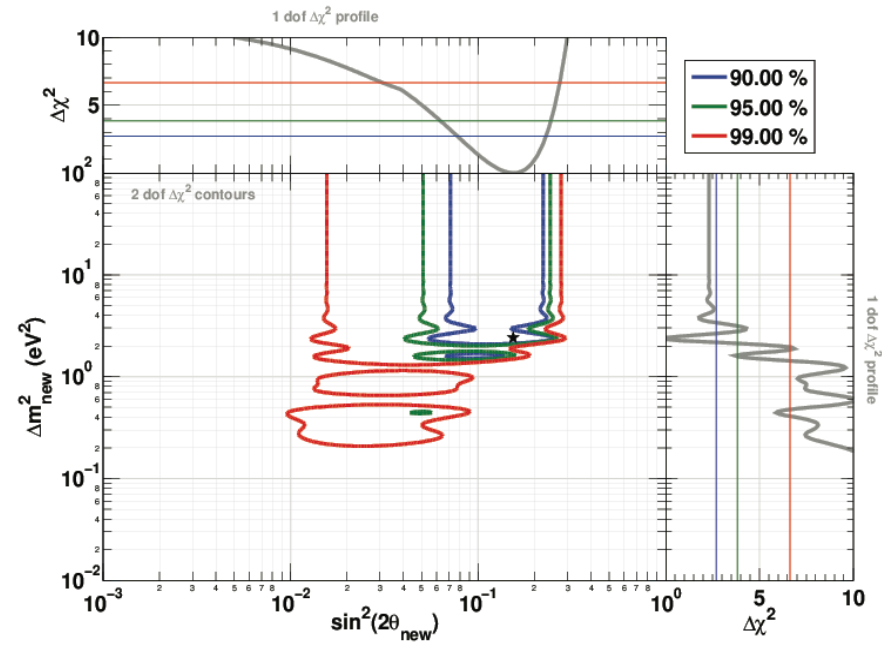
Norme

- $|\Delta m^2| = 0.5 \text{ eV}^2$
- $\sin^2(2\theta_{\text{new}}) \approx 0.14$

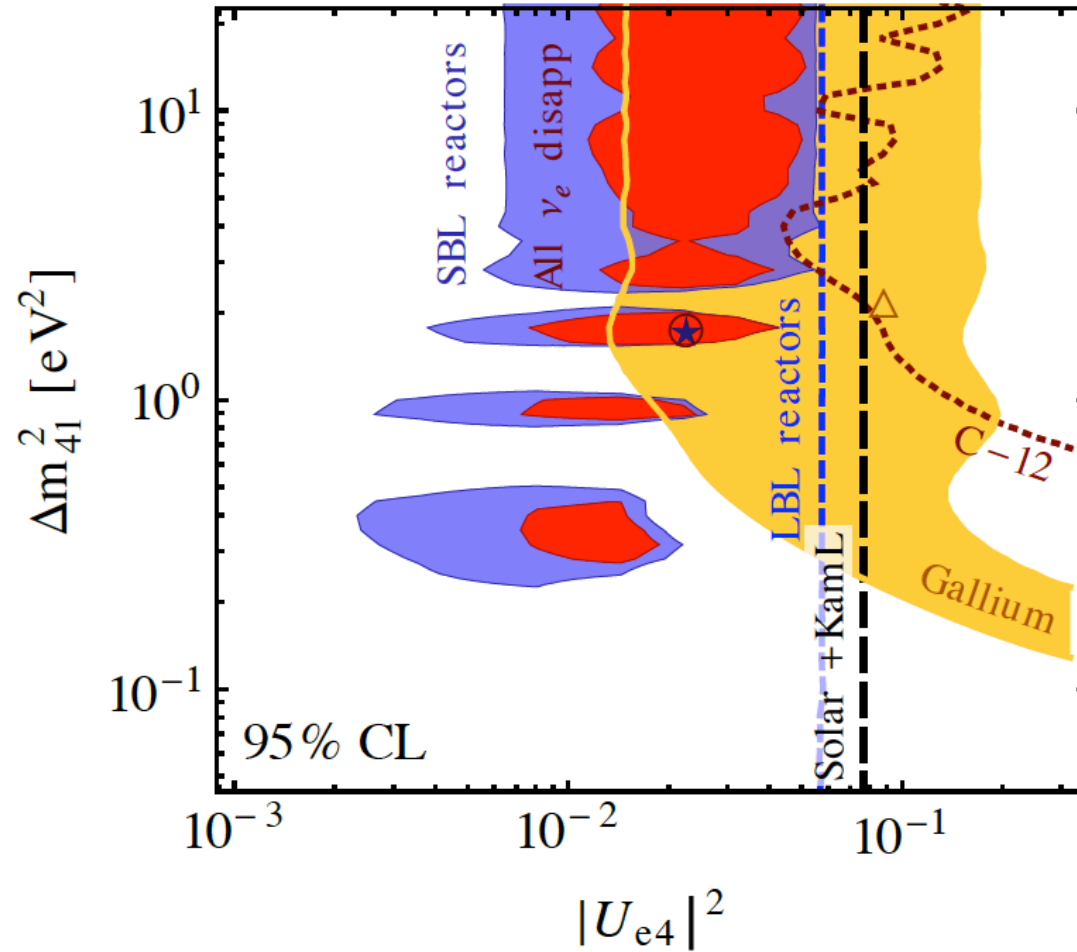


Norme + Forme (Bugey 3)

- $|\Delta m^2| = 2.4 \text{ eV}^2$
- $\sin^2(2\theta_{\text{new}}) \approx 0.14$



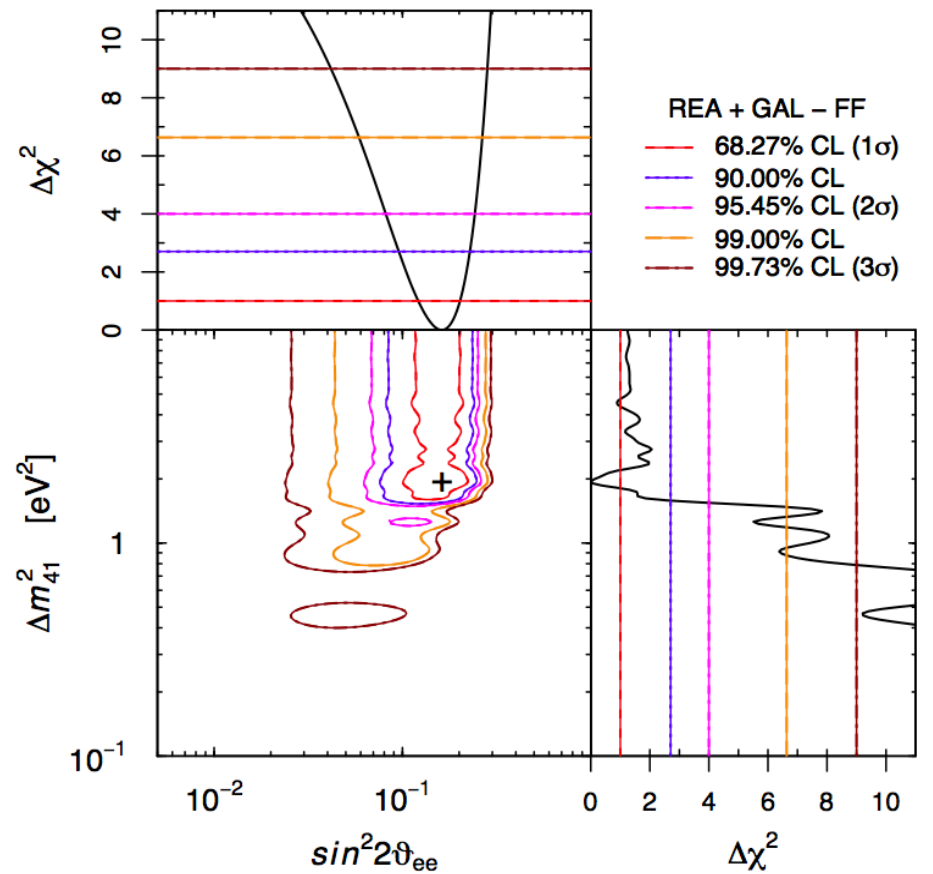
Analyse globale



	$\sin^2 2\theta_{14}$	$\Delta m^2_{41} [\text{eV}^2]$
SBL rate only	0.13	0.44
SBL + Bugey 3 spectrim	0.10	1.75
SBL + Gallium	0.11	1.80
SBL +LBL	0.09	1.78
Global disaprition	0.09	1.78

arXiv:1303.3011v2

Analyse globale Reactor Gallium

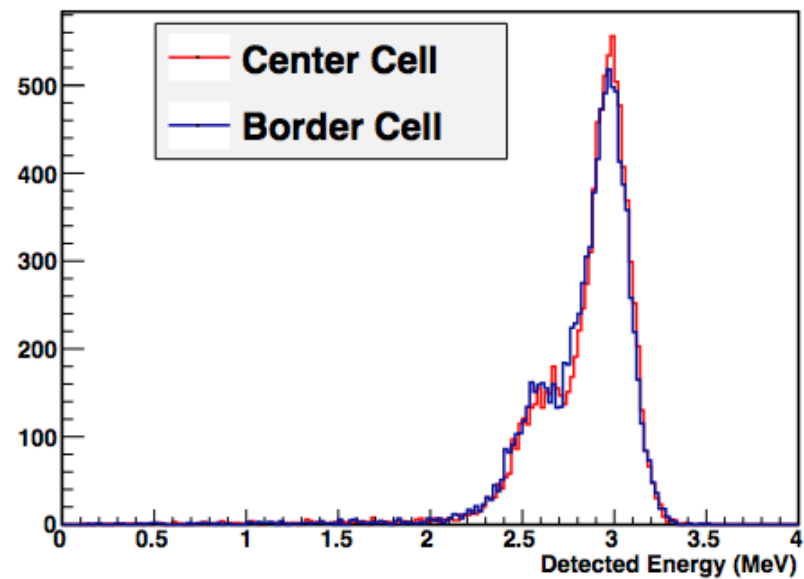
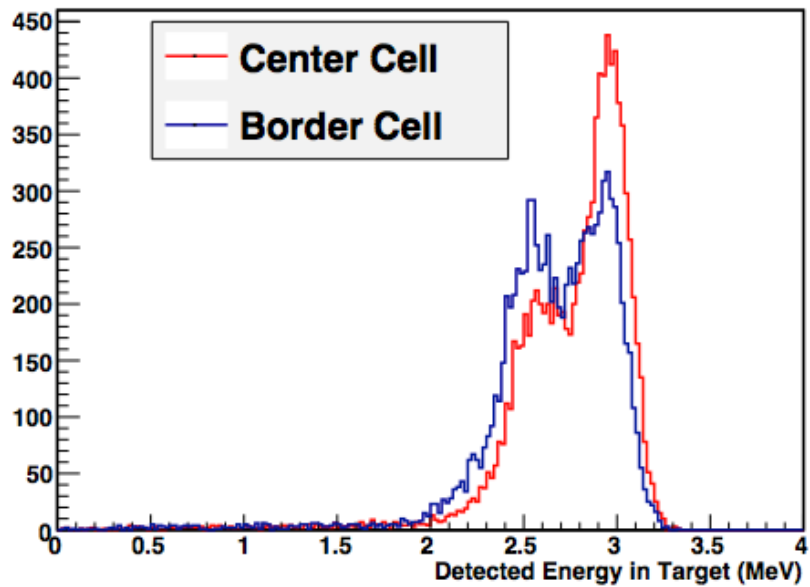


- $|\Delta m^2| = 1.95 \text{ eV}^2$
- $\sin^2(2\theta_{\text{new}}) \approx 0.16$

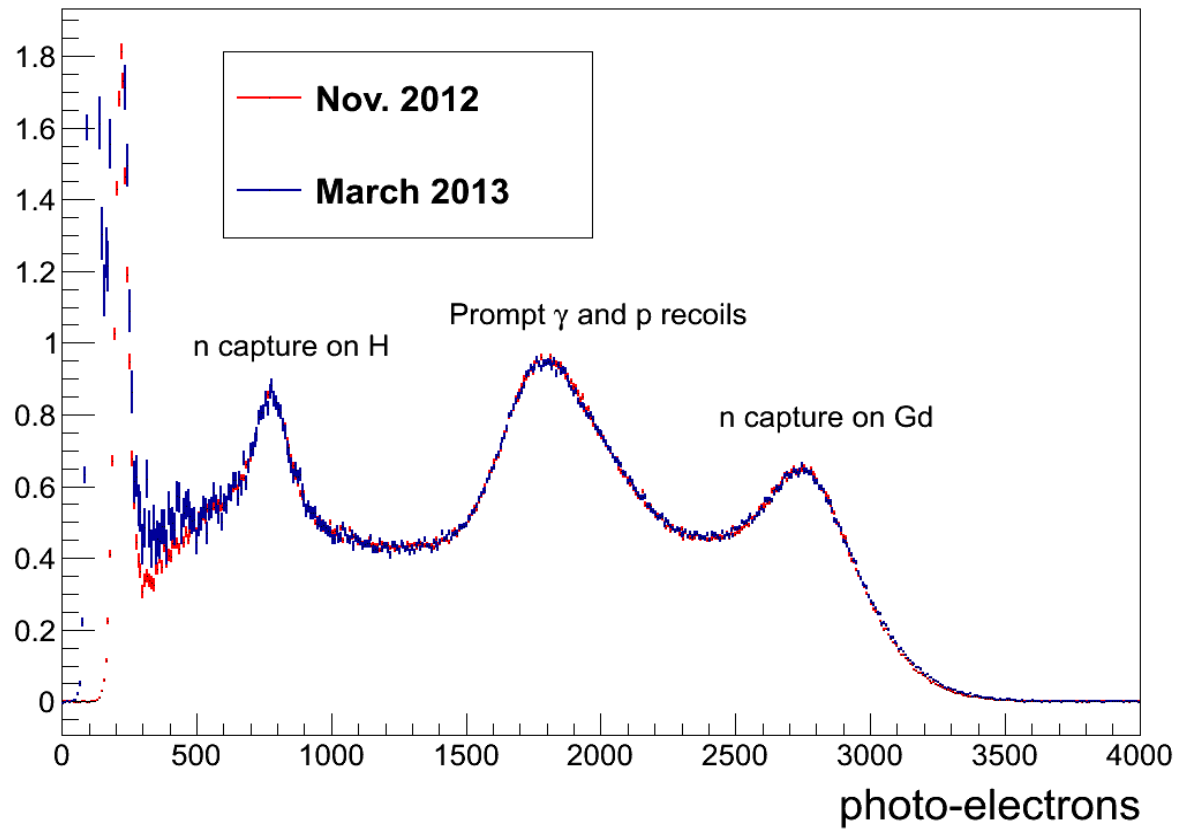
FIG. 8. Allowed regions and marginal $\Delta\chi^2$'s analogous to those in Fig. 7 for the FF case.

Les expériences à courte distance des réacteurs

Projets	Configuration	Sensibilité	Prise de données	Commentaires
Nucifer	7m Osiris, 1m ³ 70 MW, 10 mwe	2-3 σ	2013	Non segmenté
DANSS	11 m VVER, 1m ³ 3 GW, 50 mwe	?	Proto 2013	Cœur étendu Faible résolution énergie
STEREO	8 m ILL, 2m ³ 57 MW, 15 mwe	5 σ	2015	
SCRAAM	25 m ? , 2 m ³ 3 GW, 25 mwe	3 σ	?	
Neutrino-4	6-12 m SM, 7 m ³ 100 MW	5 σ	?	
Poseidon	5-8 m PIC, 4m ³ 100 MW	5 σ	?	
SOLID	8 m ILL, 2 m ³ 57 MW, 15 mwe	?	?	Nouvelle technologie

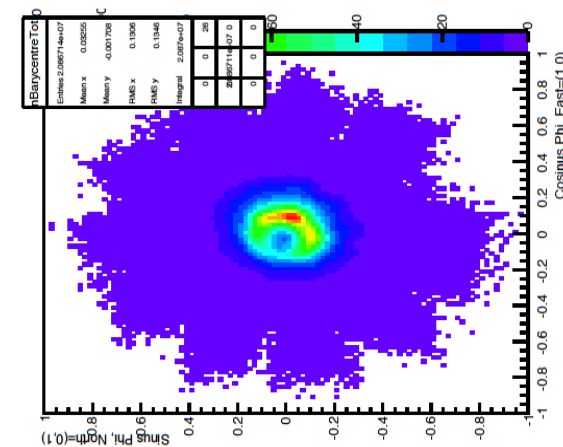
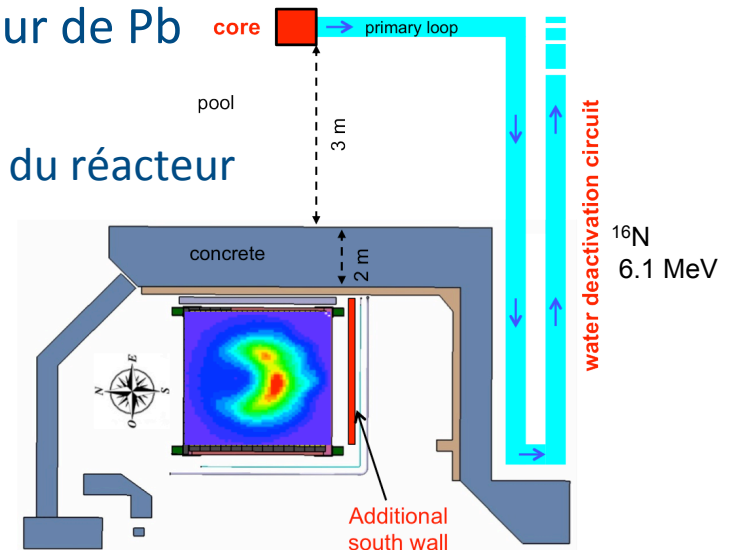
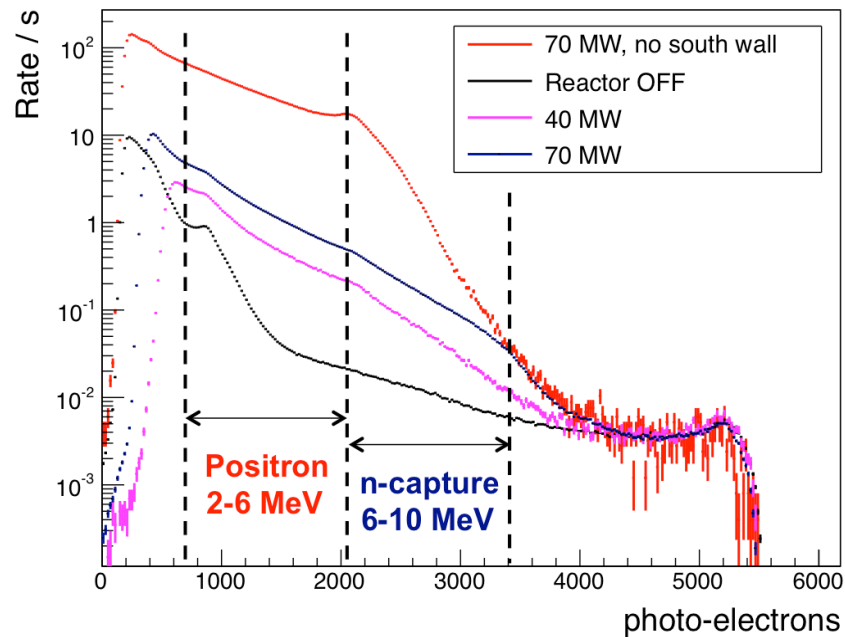


Stabilité du liquide de Nucifer



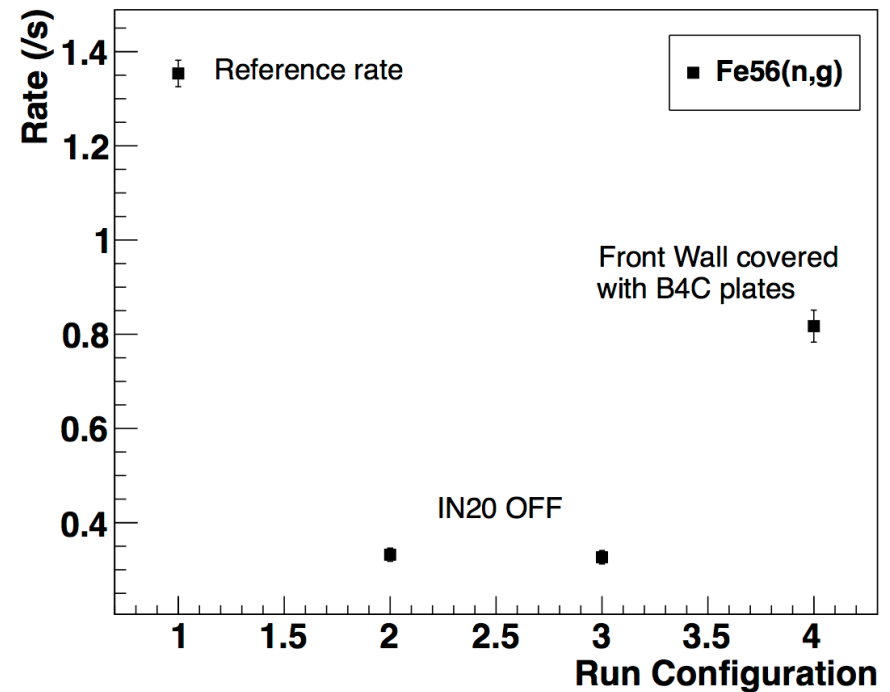
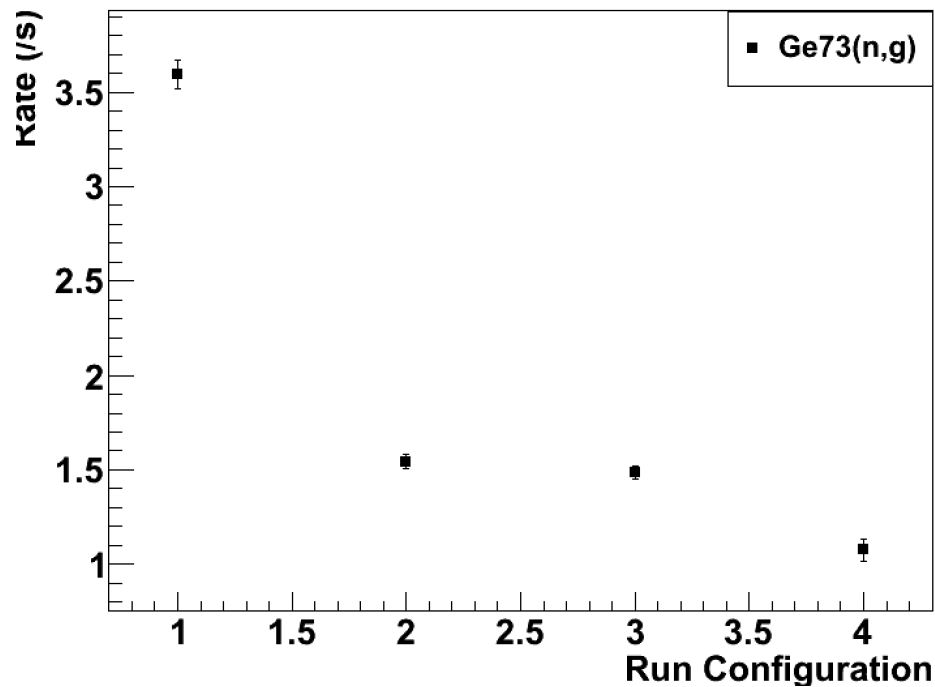
Bruit de fond Nucifer

- Après changement de liquide et ajout d'un mur de Pb
 - OFF 19 Hz, ON 135 Hz ($E > 2$ MeV)
 - Composante gamma de haute énergie venant du réacteur
 - fortuites 4372 ± 3 /jours
 - Upgrade prévu avec Fer coté réacteur



Raie de capture n_{th} sur ^{56}Fe

- Flux de gammas de hautes énergies est réduit par la suppression du flux de neutrons thermiques dans la casemate



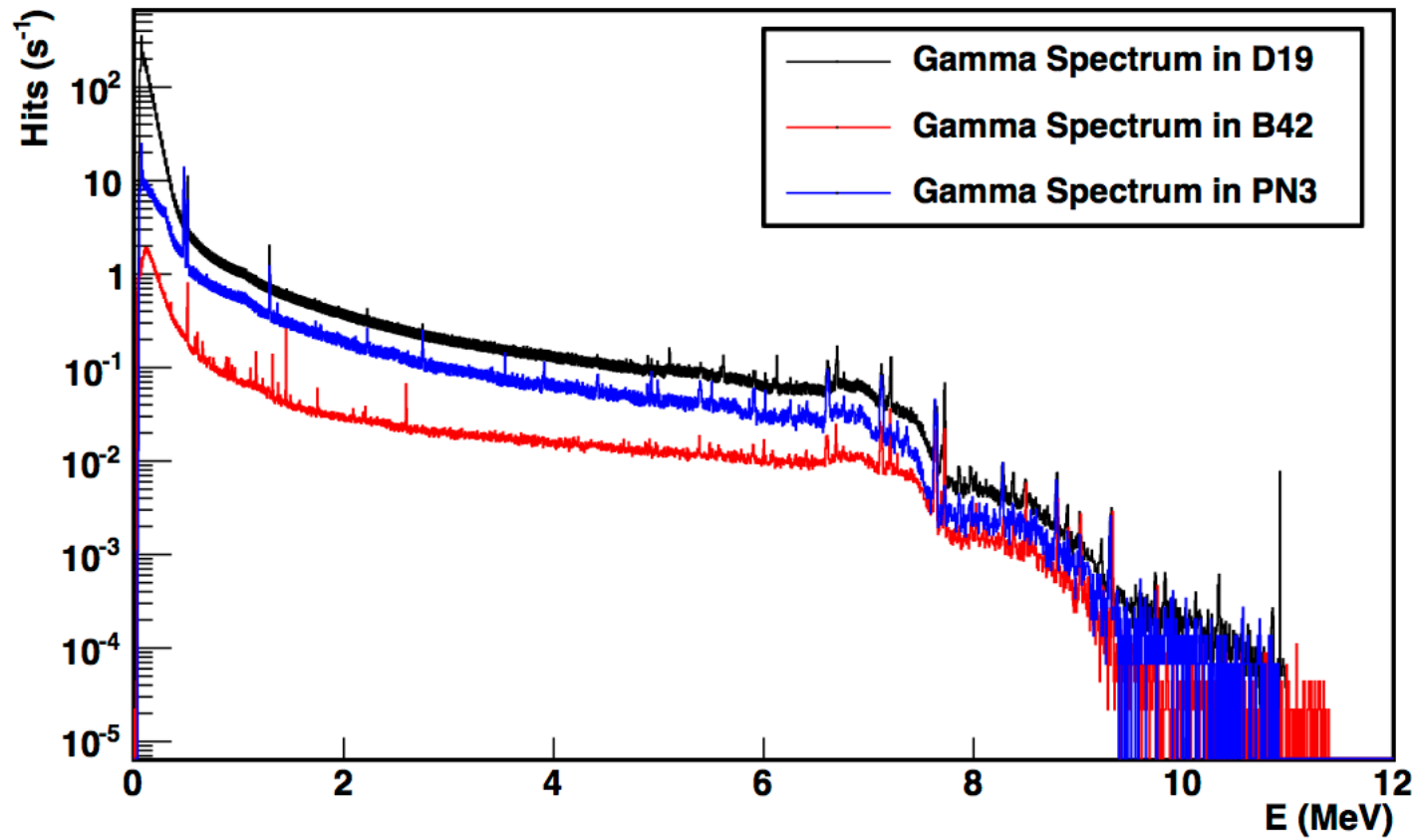
Février

- configuration 1 = sans blindage, IN20 (ON,OFF) D19 ON
- configuration 2 = sans blindage, IN20 (OFF,OFF) D19 ON
- configuration 3 = sans blindage, IN20 (OFF,OFF) D19 OFF

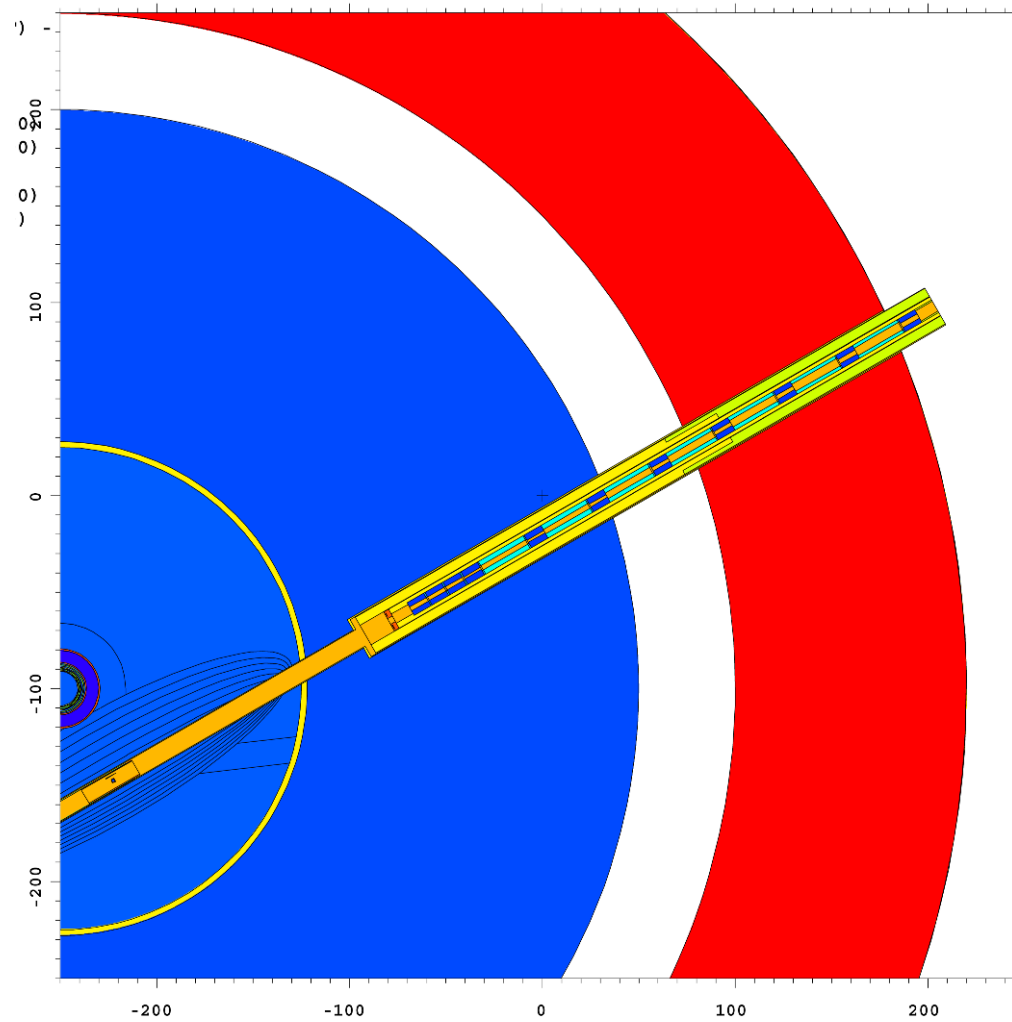
Juin

- Configuration 4 = sans blindage, IN20 (ON,ON) D19 ON

Comparaison des 3 sites

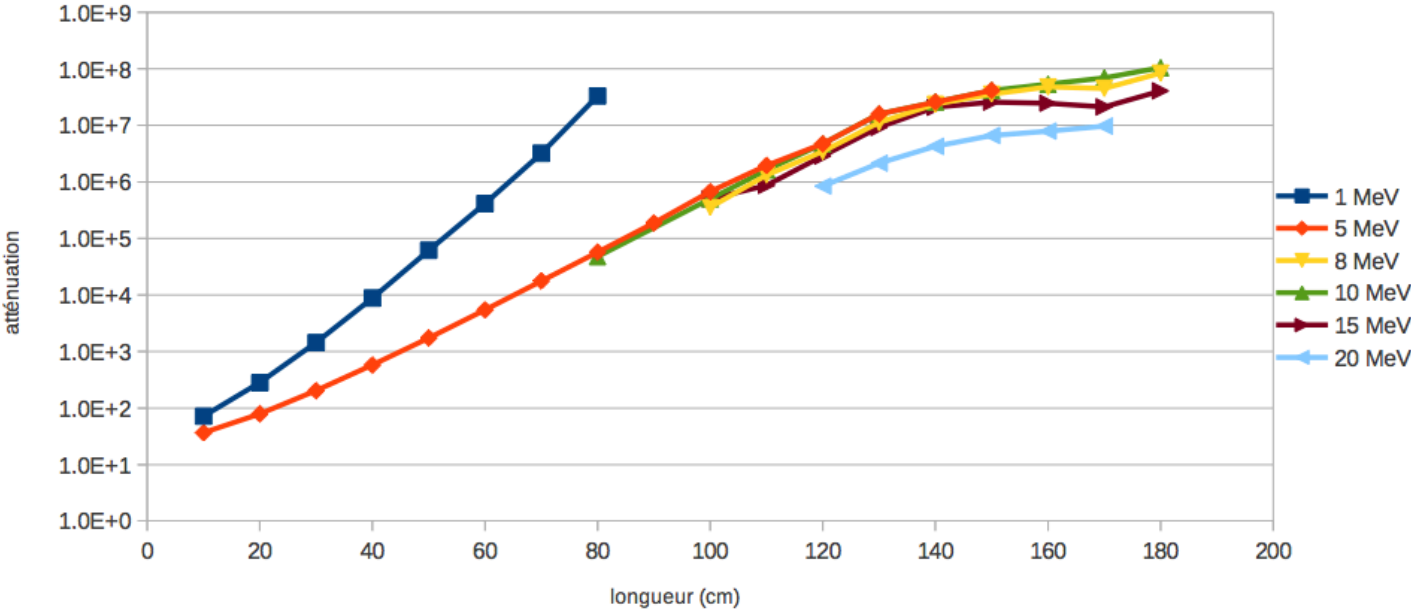


Collimateur de H7





Atténuations des neutrons dans du béton lourd de 5.5 g/cm²



Erreurs systématiques

$$\chi^2 = \sum_{l=1}^{Lbins} \sum_{i=i_{Thresh}}^{Ebins} \left[\frac{O_{l,i}(\Delta m_{new}^2, \theta_{new}) - T_{l,i} \left(1 + \alpha_i^{Spec} + (E_i - 1.) * \alpha^{WM} + \alpha^{Norm} \right) - d_i * \alpha_l^{cal}}{\sigma_{l,i}^{stat}} \right]^2 + \sum_i \left(\frac{\alpha_i^{Spec}}{\sigma_i^{Spec}} \right)^2 + \left(\frac{\alpha^{WM}}{\sigma^{WM}} \right)^2 + \left(\frac{\alpha^{Norm}}{\sigma^{Norm}} \right)^2 + \sum_l \left(\frac{\alpha_l^{cal}}{\sigma_l^{cal}} \right)^2 \quad (8)$$

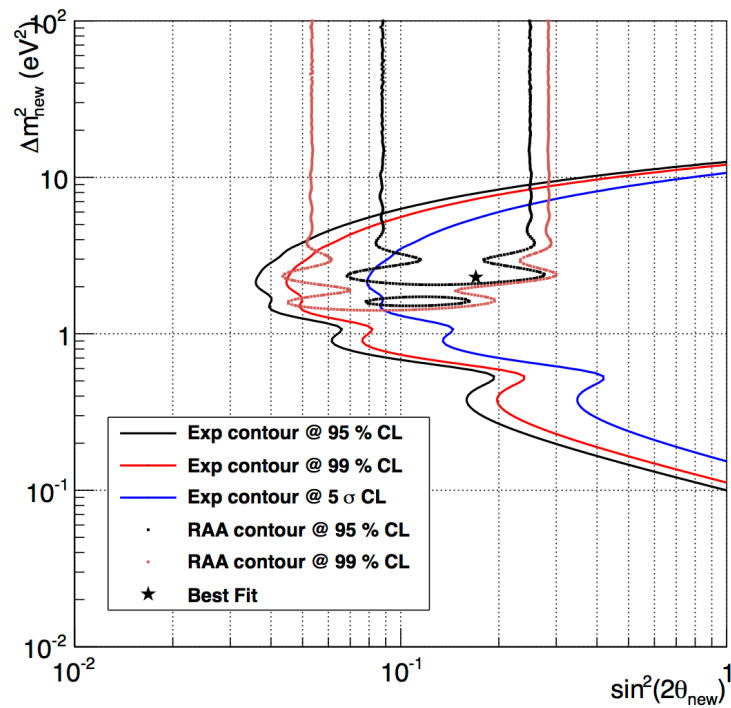
Non corrélées	
Spectre de fission	0.7 -> 4 %
Corrélées	
Magnétisme faible	(E-1.0)*1.0%/MeV
Distance evt/evt	$\delta L = 32$ cm
Calibration énergie sources	2.0 %
Monitoring	1%

Normalisation	
N_p	0.5 %
Spill in Spill out	1 %
Efficacité de détection	2%
Puissance thermique	2.0%
Spectre de fission	1.8%
Total normalisation	3.5 %

Comparaison sensibilité 8m à 10 m

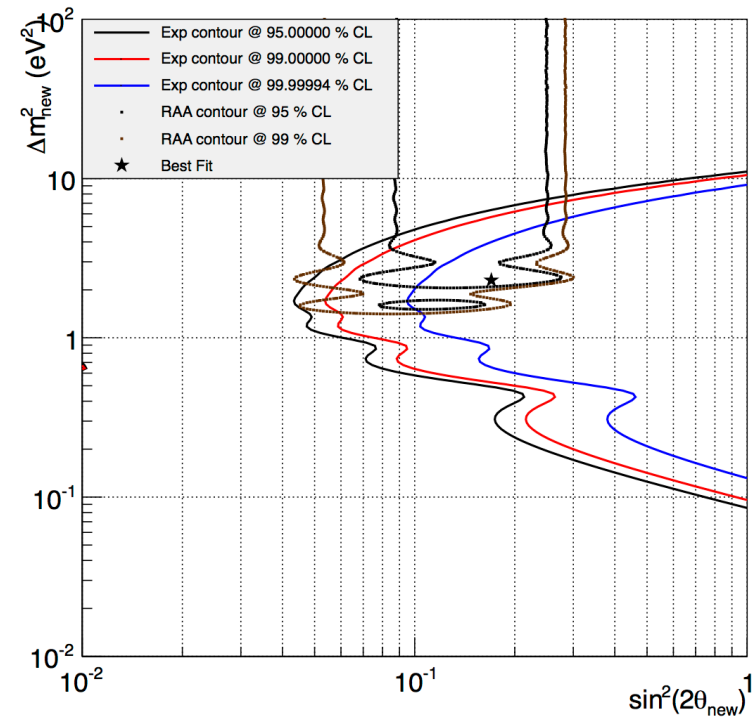
8 m

5 cellules 90X110X40 cm³



10 m

6 cellules 90X90X40 cm³



Les autres expériences

