

Les anomalies dans les recherches d'oscillations : au-delà des 3 saveurs ?

Guillaume Mention

CEA Saclay / Irfu / SPP

Journées de Prospective IN2P3-IRFU

Giens, 2 Avril 2012

Vue d'ensemble



Panorama et bilan actuel : Le mélange à 3 neutrinos répond-il à toutes les questions ?

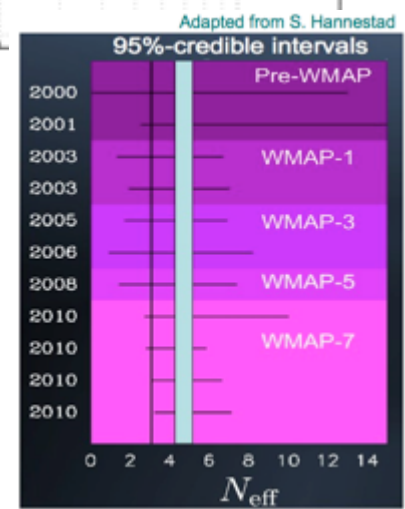
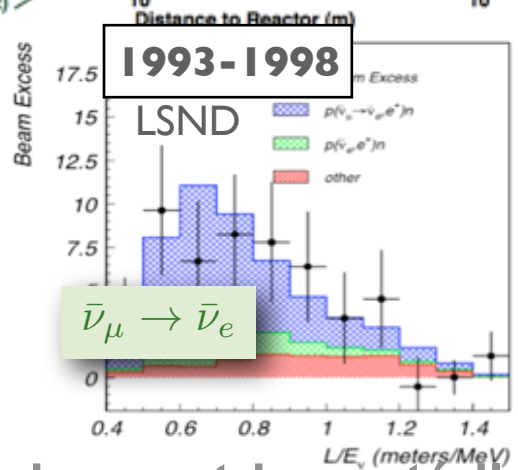
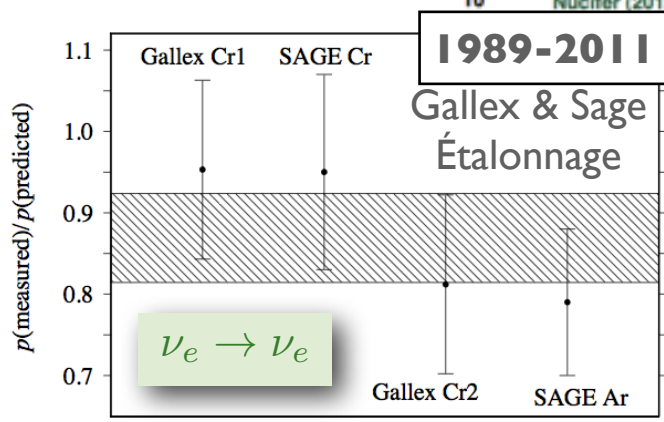
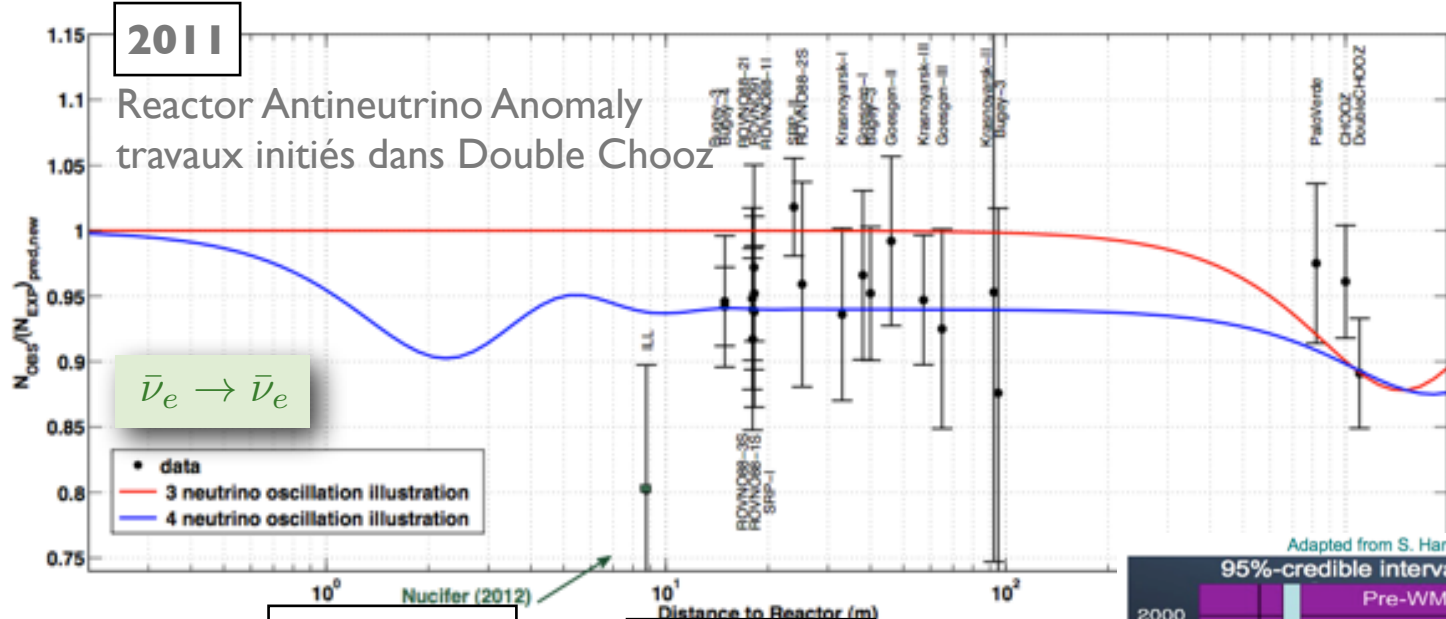
Très bref aperçu de l'**effervescence du domaine**

Les projets en cours et envisagés au sein de l'IN2P3 et de l'Irfu dans les 10 prochaines années

Motivations

Plusieurs indications compatibles avec $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$

Cosmologie : préférence du nombre de degrés de liberté relativiste > 3 dans les analyses



⇒ Hypothèse des neutrinos stériles

Bilan actuel



Accord entre les anomalies:

- LSND et MiniBooNE anti- $\nu_\mu \rightarrow$ anti- ν_e
- Gallium (ν_e) et Réacteurs (anti- ν_e)

Tensions expérimentales entre les anomalies:

- [LSND & MiniBooNE anti- $\nu_\mu \rightarrow$ anti- ν_e] vs. MiniBooNE $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$
- [LSND & MiniBooNE anti- $\nu_\mu \rightarrow$ anti- ν_e] vs. anti- ν_e & anti- ν_μ contraintes de disparition (KARMEN, Bugey, MINOS,...)

Cosmologie : BBN, CMB, formation structures : 4 espèces, et $\sum m \lesssim 1$ eV

Prises séparément ou en combinaison globale (oscillations en neutrinos stériles avec $\Delta m^2 \sim 1$ eV²), ces indications bien que non convaincantes, sont intrigantes et suscitent beaucoup d'intérêt dans la communauté mondiale !

⇒ Établir **l'existence** de neutrinos stériles serait un **résultat majeur** !

Effervescence des projets pour sonder $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$



▶ **Nombreux Ateliers en 2011-2012**

- **WSN & RAA** @ Munich Fév. 2011,
- **SBNW** @ **Fermilab**, Mai 2011,
- **SNAC** @ **Virginia Tech**, Sept. 2011, préparation d'un « *livre blanc* »
- **FSBNE** @ **Fermilab**, Mars 2012, ...

▶ « **Livre blanc** », première version publique le 20/03/2012 :

http://cnp.phys.vt.edu/white_paper/whitepaper.pdf

▶ **Anomalie Réacteur :**

Nucifer, petit détecteur à liquide scintillant à $L = 7\text{m}$ (France, CEA, Osiris)
[Lasserre, talk at EPS-HEP 2011], **SCRAAM** (USA) @ 24 m, **DANSS** (Russie), **STEREO** (France, ILL ?)
Expériences possibles auprès de réacteurs à neutrons rapides de petites tailles [O. Yasuda, arXiv:1107.4766] (Japon)

▶ **Anomalie Gallium :**

nouvelle expérience “**SAGE-2**” avec 2 couches séparées de Gallium [Gavrin et al, arXiv:1006.2103] (Russie).
Sources radioactives intenses, générateurs ν_e et anti- ν_e MCi ^{51}Cr , ^{37}Ar , [A. Ianni et al., Eur. Phys. J. C8, 609-617 (1999)] or kCi ^{144}Ce [M. Cribier et al., PRL 107 (2011) 201801] (France, Italie, Japon)

▶ **Accélérateurs :**

MiniBooNE continue à prendre des données en antineutrinos (Fermilab, USA).
MicroBooNE testera l'anomalie à basse énergie de MiniBooNE en mesurant le bruit de fond $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ (USA).
ICARUS planifie de s'installer au **CERN-PS**, expérience à 2 détecteurs sur faisceau : $L \sim 1 \text{ km}$, $E \sim 1 \text{ GeV}$
[C. Rubbia et al. Proposal, CERN-SPSC-2011-012] recherche canaux ν_μ & ν_e

▶ **Expériences non initialement dédiées mais avec potentiel :**

KATRIN, désintégration β ,
IceCube, (échelle du TeV avec les ν atm. et les effets de matière)

▶ **Nouveau principe de détection :** diffusion cohérente par courant neutre ν -noyau (USA)

Les projets en cours et envisagés à l'IN2P3 et l'Irfu



Trois projets au sein de l'Irfu/IN2P3 pour étudier ces anomalies

► **En cours :**

Nucifer 2008-2013 :

originellement conçu pour la non-prolifération nucléaire et pour la mesure de puissance thermique. Potentiel sur l'anomalie des anti- ν de réacteurs.

► **Étude, en phase d'avant-projet :**

- **STEREO** 2011- ... :

nouvelle expérience réacteur à courte distance (~ 10 m) et auprès d'un réacteur compact

- **Ce-LAND** 2011- ... :

générateur d'anti-neutrinos, source radioactive intense au kCi (PBq).

Points communs de STEREO et Ce-LAND :

compacité de la source de neutrinos pour ne pas atténuer les potentielles oscillations (la phase des oscillations dépend de la distance et de l'énergie).

détecteur étendu pour observer les oscillations au sein même du détecteur en **distance et en énergie**.

Nucifer

Premier but : la non prolifération

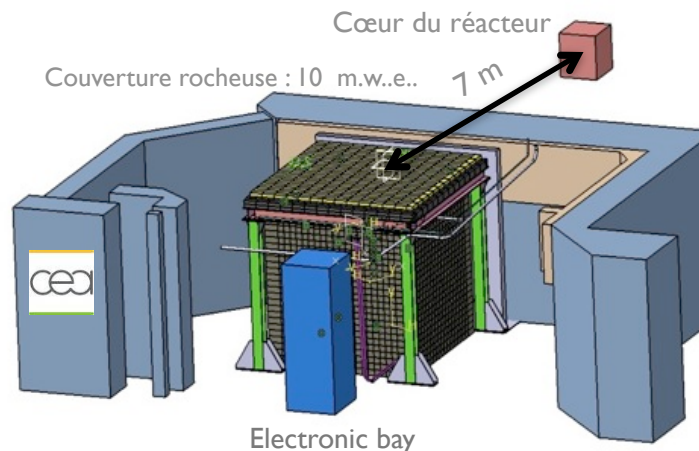
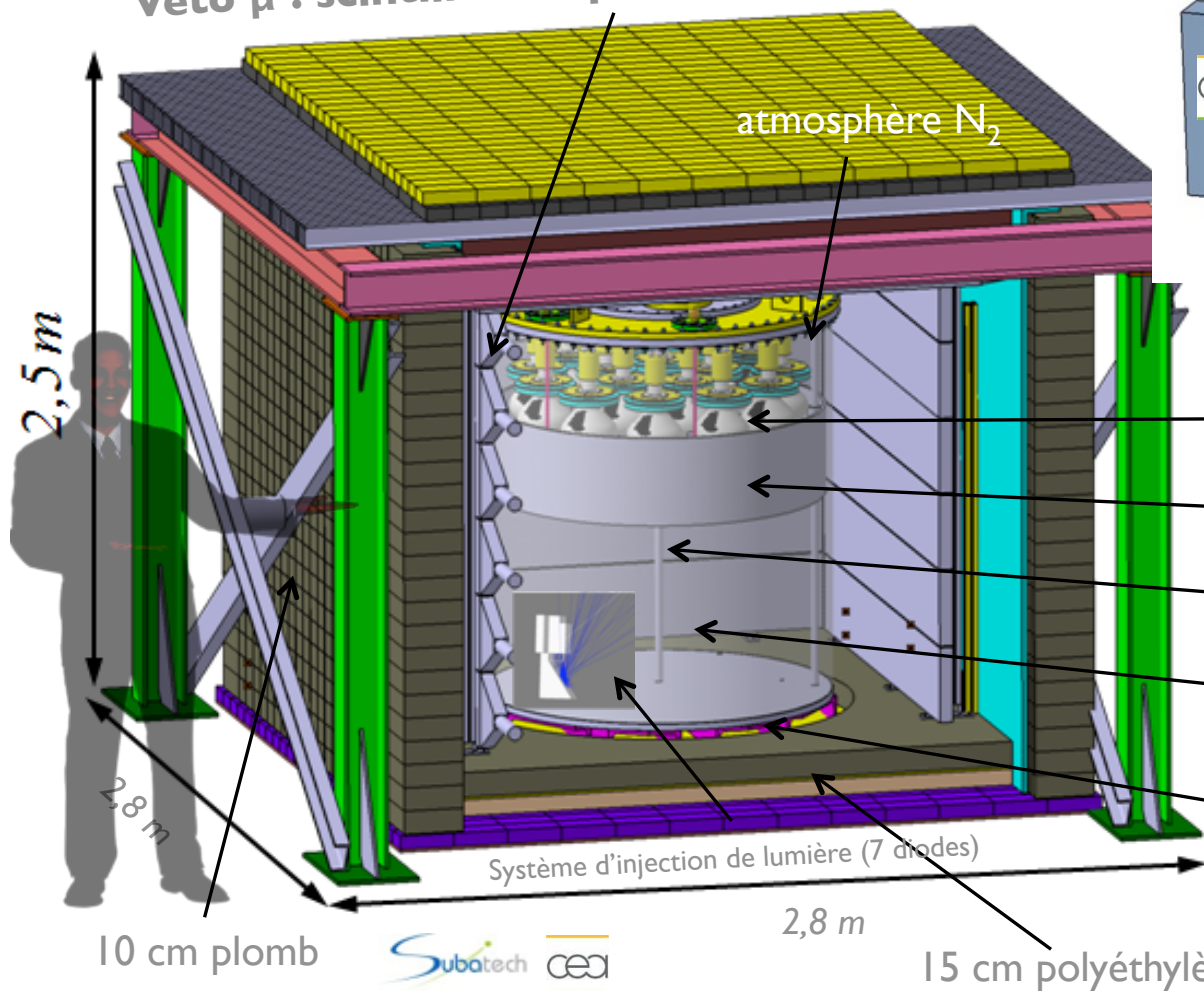
la mesure de puissance thermique

la mesure de la composition du combustible : U/Pu



énergie atomique - énergies alternatives

Veto μ : scintillateur plastique 4 π (30 PMTs)



Réacteur de recherche Osiris
CEA Saclay (600 v/jour)
collaboration CEA - IN2P3

16 x 8' PMTs bas bruit de fond

25 cm de buffer acrylique

Canne de calibration

Cible : 0,85 m³ Gd-LS (0.5%)

Double enceinte de retenue
couverte de Téflon blanc à l'intérieur
pour les réflexions de lumière.



Nucifer : Potentiel sur l'anomalie Réacteur

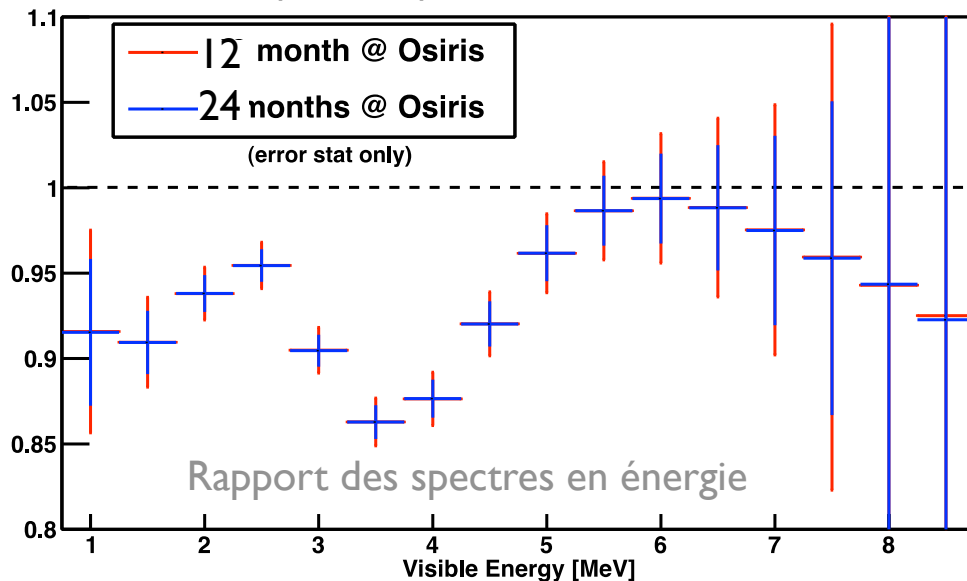
Détecteur installé à Osiris (site réacteur, CEA Saclay).
Opérationnel depuis le 14 mars 2012. Étalonnages en cours.



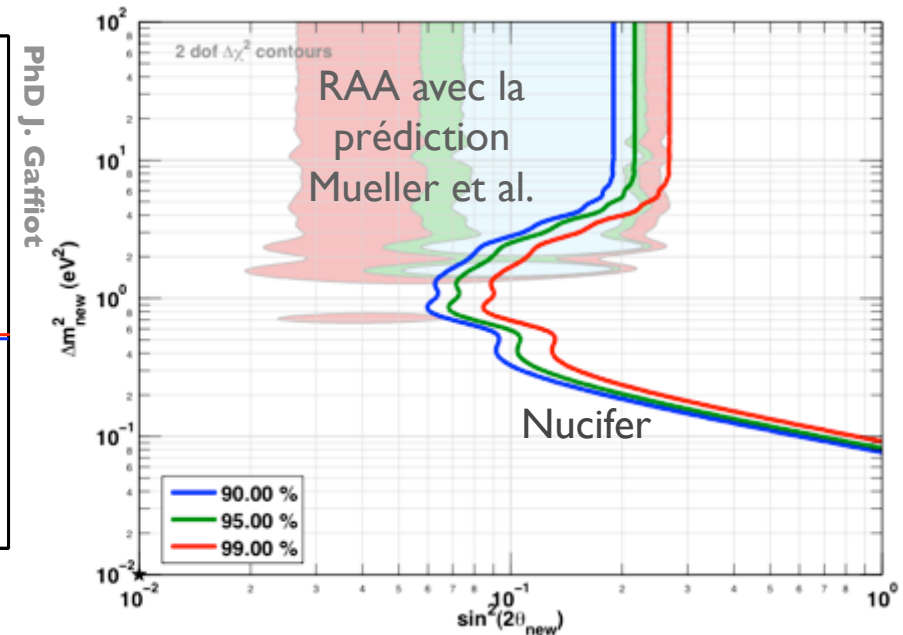
Illustrations : Contours de sensibilité avec 1 an de prise de données
(Attention : dépend des estimations de bruit de fond et des capacités de rejet de ces bdf).

Non optimisé pour une telle mesure MAIS peut apporter une information complémentaire sur la distorsion spectrale observée à l'ILL : PRD 24, 1097 (1981).

Nucifer = expérience la plus proche d'un cœur compact jamais réalisée => étude d'une nouvelle région de l'espace des paramètres d'oscillation.



- Simulation Geant4. Non encore optimisée.
- Incertitudes statistiques pour 12 & 24 mois de données
- $\Delta m^2 = 2.4 \text{ eV}^2$ & $\sin^2(2\theta) = 0.15$



Contours RAA (Anomalie des Anti-ν de Réacteur)

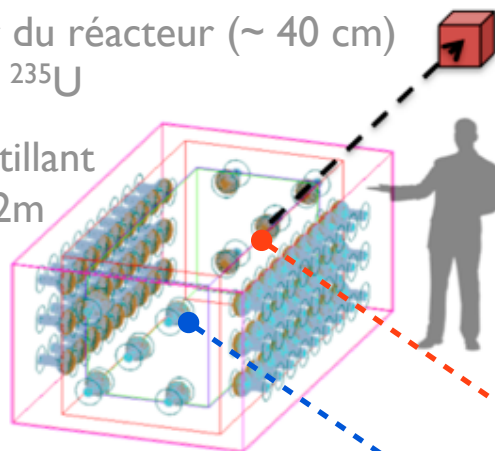
STEREO : Concept



Nouvelle expérience neutrino à courte distance auprès d'un réacteur compact
→ site potentiel : le réacteur de recherche de l'ILL (Grenoble, France) ; en cours d'investigation.

Compacité du cœur du réacteur (~ 40 cm)
Combustible pur en ^{235}U

Détecteur à liquide scintillant
dimensions 1m x 1m x 2m
équipé de 64 PMTs

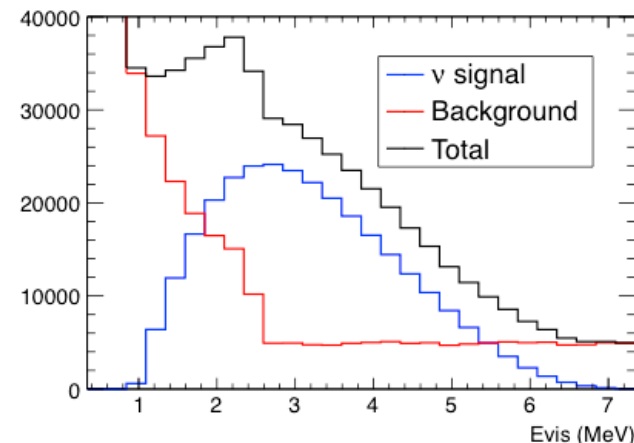


But : Focalisation sur la déformation spectrale induite par les oscillations de neutrinos

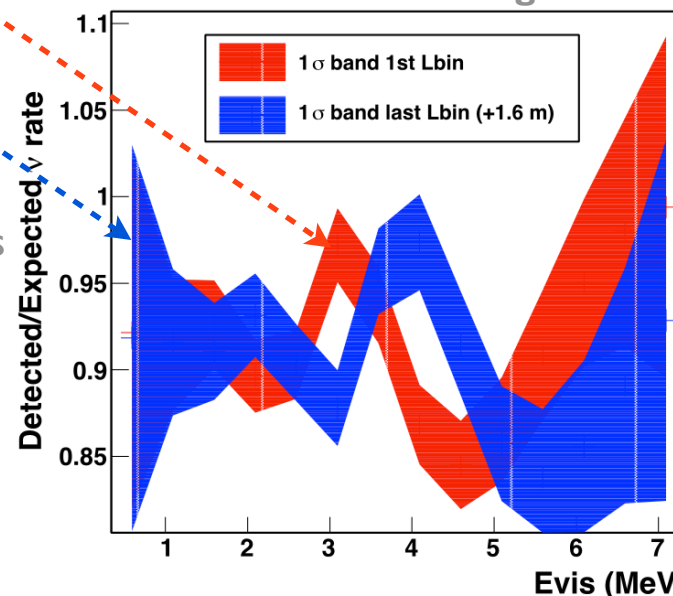
Cycles On/OFF : Réacteur à l'arrêt 30 % du temps
Bonne mesure des bruits de fond.

Expertise du groupe sur la détection des antineutrinos de réacteur (Double Chooz & Nucifer) et sur les éliminations des bruits de fond.

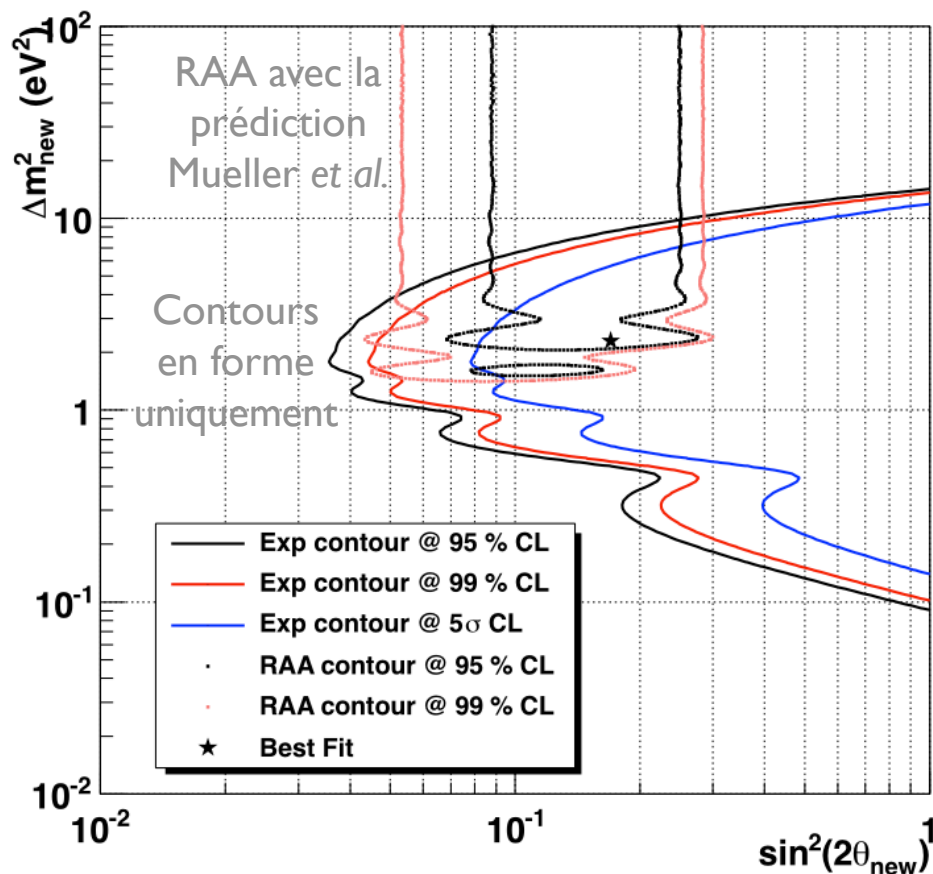
Proposition d'expérience en cours d'étude



Possibilité de voir les **oscillations** en **distance** & en **énergie**



STEREO : Prospectives



Contours RAA = Anomalie des Anti-ν de Réacteur, PRD 83, 073006 (2011).

Nouveaux spectres réacteur :
Th. A. Mueller *et al.*, PRC 83, 054615 (2011)

Contours en forme uniquement

= focalisation sur la **distorsion spectrale**

= pas de connaissance de la puissance réacteur nécessaire
=> ne dépend pas de la normalisation.

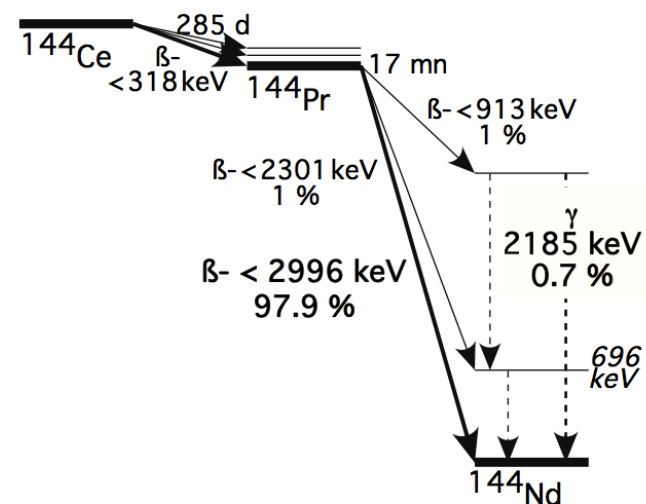
- ▶ 8 cycles ILL (1,5 année d'acquisition)
- ▶ $L_0 = 10$ m
- ▶ $S/B = 1,5$
- ▶ Seuil $E_{vis} > 2$ MeV
- ▶ Coupure neutron = 6 MeV
- ▶ 5 bins en distance de 40 cm
- ▶ Simulation réponse complète du détecteur
- ▶ Écart-type distribution en distances : 25 cm
- ▶ $\delta_{vertex} = 15$ cm
- ▶ 700 ν/d

Ce-LAND : Concept

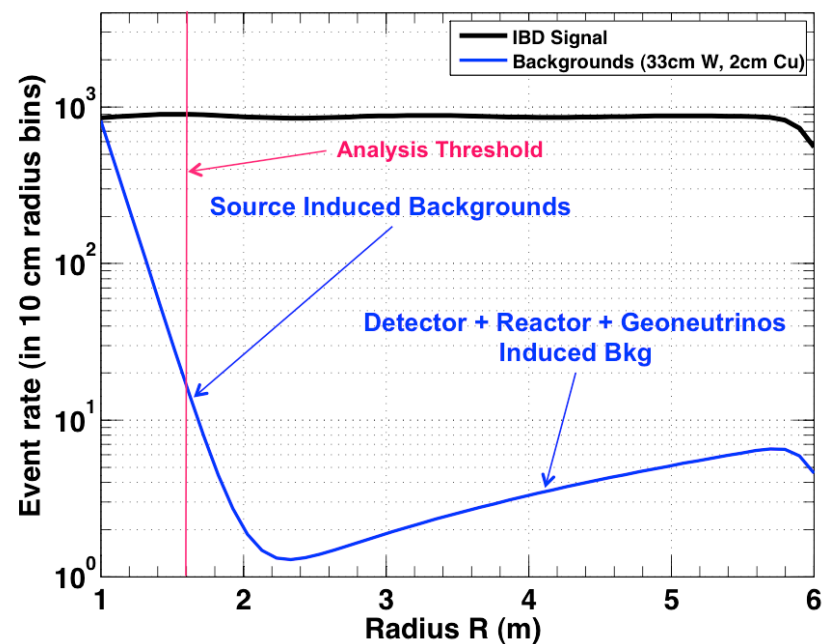
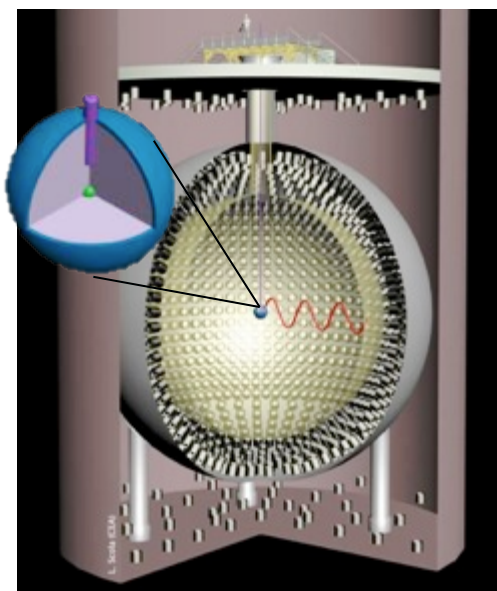
[M. Cribier, Th. Lasserre, M. Fechner *et al.*,
arXiv: 1107.2335 [hep-ex] (2011) - PRL 107 (2011) 201801]



- Source intense 50 kCi ^{144}Ce anti- ν_e au sein d'un grand détecteur à liquide scintillant
- Détection par réaction β inverse des anti- ν_e : 40 000 événements/an
- Bonne résolution en position (15 cm)
- Presque sans bruit de fond grâce aux coïncidences β inverse des anti- ν_e
- Durée de vie \sim 1 an (285 jours)
- Compacité de la source (rayon $<$ 7cm)
- W (33 cm) et écran en Cu (quelques cm)
- Signal d'oscillation en distance et en énergie

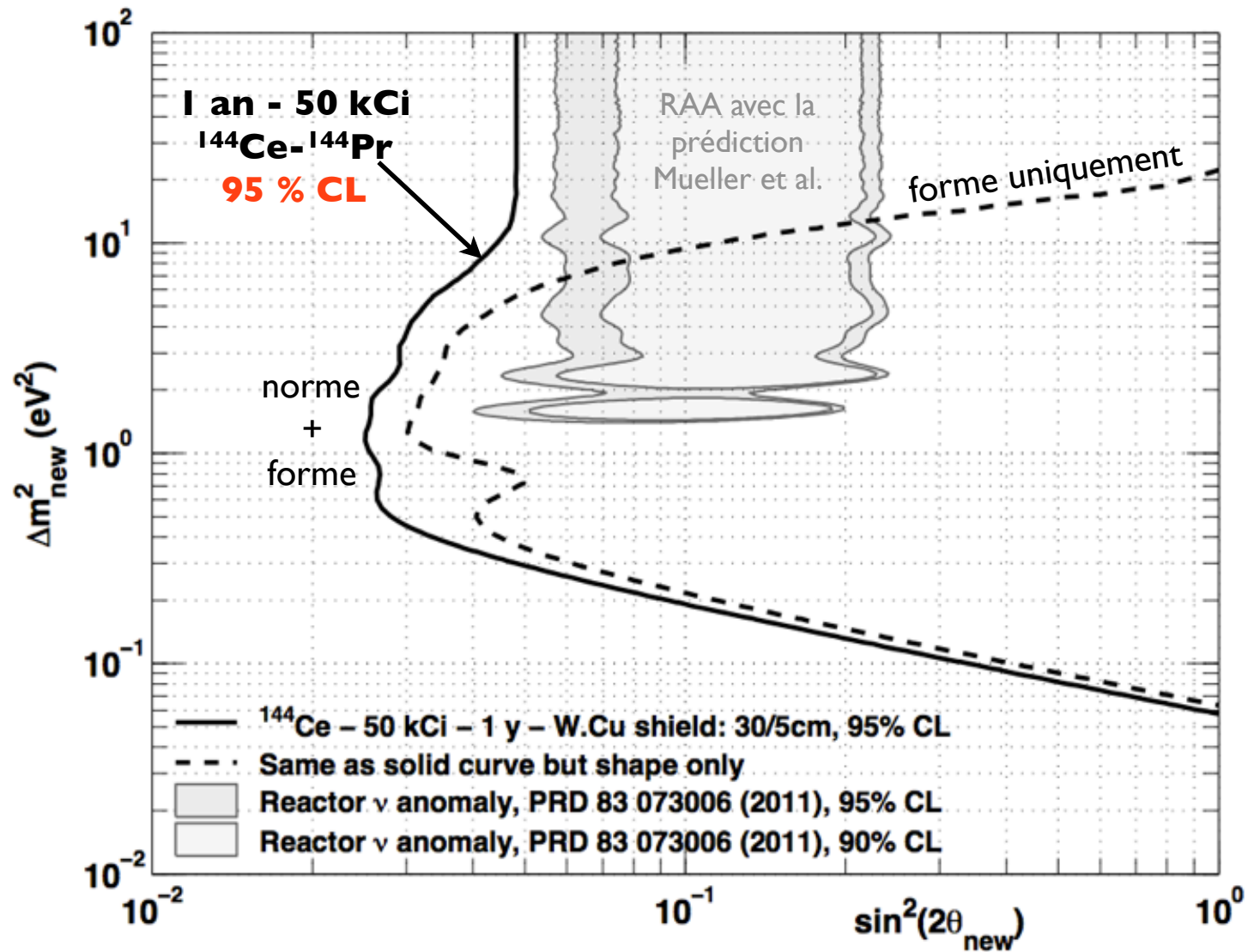


Source & blindage



Ce-LAND : Prospectives

[M. Cribier, Th. Lasserre, M. Fechner et al.,
arXiv: 1107.2335 [hep-ex] (2011) - PRL 107 (2011) 201801]



Ce-LAND : avancement

[M. Cribier, Th. Lasserre, M. Fechner *et al.*,
arXiv: 1107.2335 [hep-ex] (2011) - PRL 107 (2011) 201801]



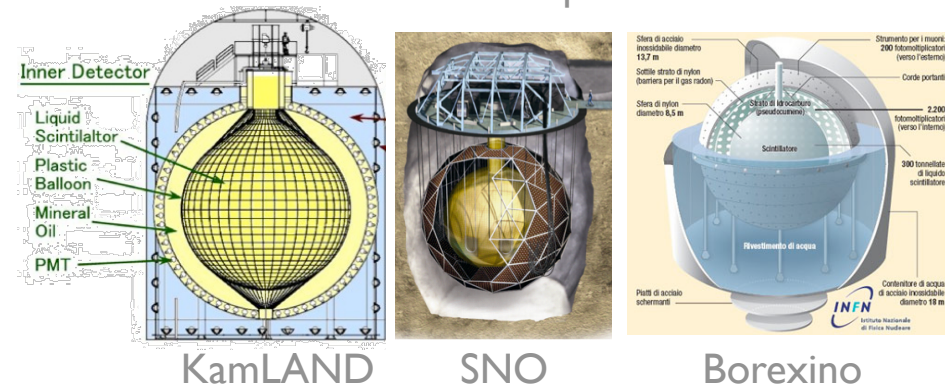
Insertion source dans un grand détecteur existant : peut nécessiter des changements, principalement sur le cheminée des détecteurs.

KamLAND & Borexino ont exprimé un intérêt pour Ce-LAND.
Étude conjointe en cours avec KamLAND.

Production de la source de ^{144}Ce : possible @ Mayak, Russia.
1 tonne de Combustible usagé => 2.8 kg de Ce avec 22 g de ^{144}Ce (> 60 kCi) sous forme de poudre de CeO_2 .
 ^{144}Ce = sphère de ~ 7 cm de rayon

Blindage : W (tungstène), 82 cm de diamètre ; environ 5 tonnes. Possibilité de réutiliser celui de Gallex.

3 détecteurs possibles



Avril. 2011 : Étude de la possibilité de déployer une source dans Borexino. Réunion à Paris.

Été 2011 : PRL Ce-LAND
[M. Cribier *et al.*, PRL 107 (2011) 201801]

Sept. 2011 : Demande de financement ERC Starting Grants. étape 1 franchie ; 2^{ème} étape mi-Avril 2012.

Déc. 2011 : Revue de projet pour évaluer la faisabilité avec des membres de KamLAND.

Feb. 2012 : Réunion d'étude de production de la source de ^{144}Ce à Paris avec Pr. V.M. Gelis (Inst. of Phys. Chem.) et V. Kornoukhov, ITEP & INR.

Mars 2012 : en contact avec la société Plansee pour le blindage W (technologie dispo).

Conclusion



Première version du « *livre blanc* », *participation française* ; disponible à http://cnp.phys.vt.edu/white_paper/whitepaper.pdf

Cette revue décrit le panorama actuel, le cadre théorique et les projets en cours d'étude pour rechercher ces potentiels neutrinos stériles.

Prises séparément ou en combinaison globale (oscillations en neutrinos stériles avec $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$), ces anomalies neutrino sont intrigantes et doivent être étudiées.

⇒ Établir l'existence de neutrinos stériles serait un résultat majeur !

De nouvelles expériences sont proposées dans le monde entier.

En France, les projets réacteur (**STEREO**) et la fabrication de sources radioactives intenses génératrices d'anti-neutrinos (**Ce-LAND**) ont un très bon potentiel pour apporter une réponse claire à l'existence ou non de neutrinos stériles avec un $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$

- avec un **signal** non ambigu : **oscillation** en **distance ET** en **énergie**
- avec une **haute signification statistique : 5σ**

Ces 2 projets sont **en cours d'étude** de faisabilité et s'insèrent **pleinement dans le cadre des prospectives à 10 ans**.

L'expérience **Nucifer** en cours de prise de données auprès du réacteur Osiris au CEA de Saclay pourrait bien donner des premiers indices expérimentaux complémentaires d'ici 2013-2014.