

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

# CAFÉ DU SEDI -STEREO-

Recherche du neutrino stérile auprès d'un réacteur nucléaire



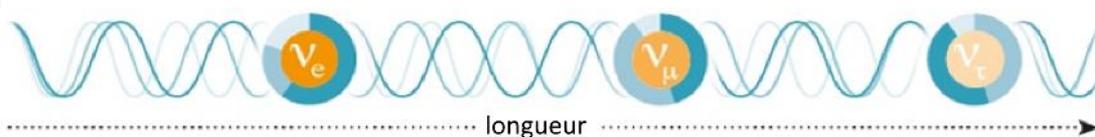
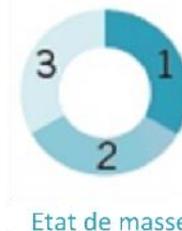
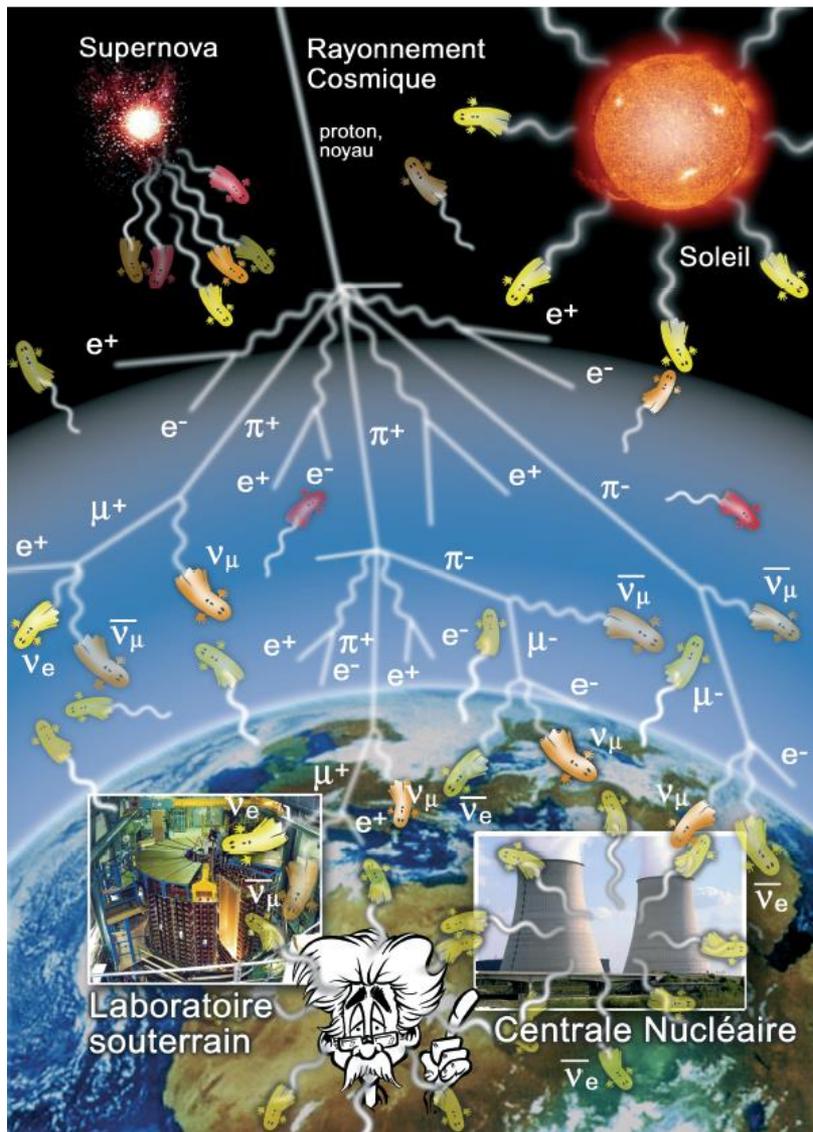
Caroline Lahonde-Hamdoun et Loris SCOLA, pour l'équipe stéréo

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)



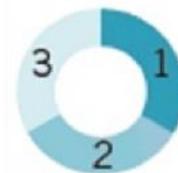
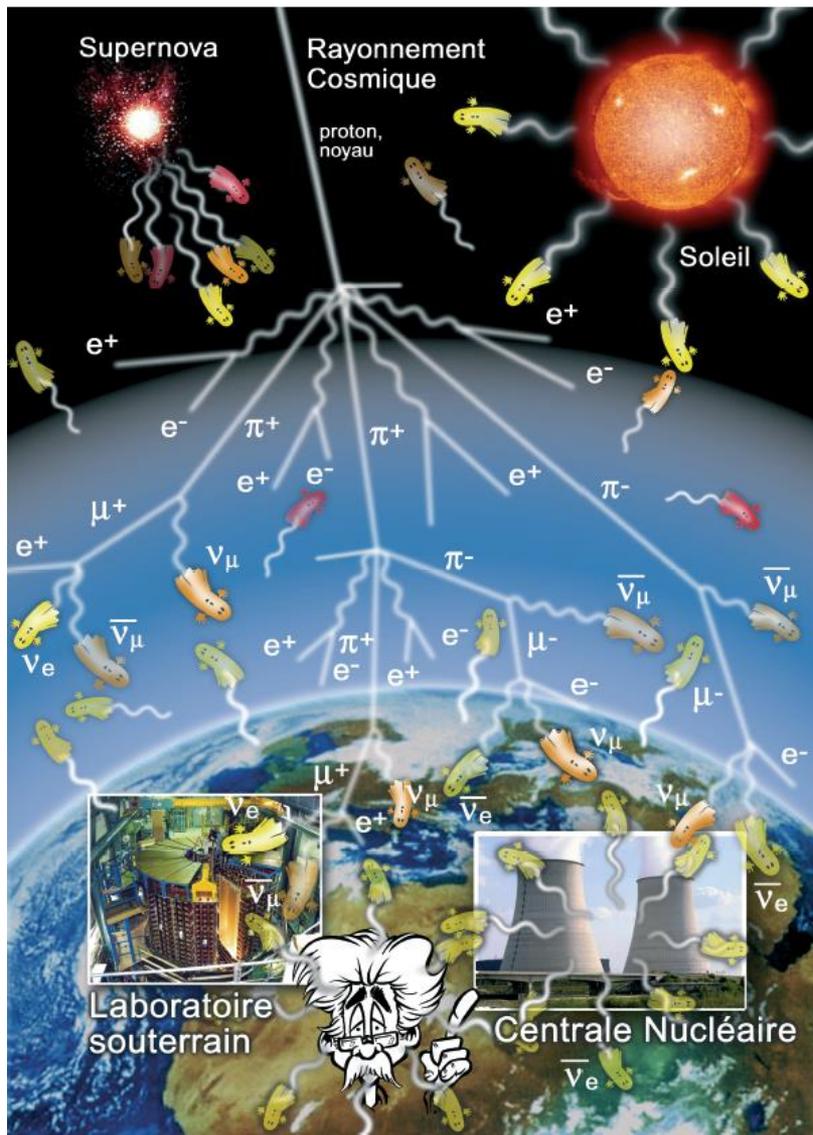


- 3 familles / 6 particules / interaction faible / phénomène d'oscillation / 5 prix Nobel

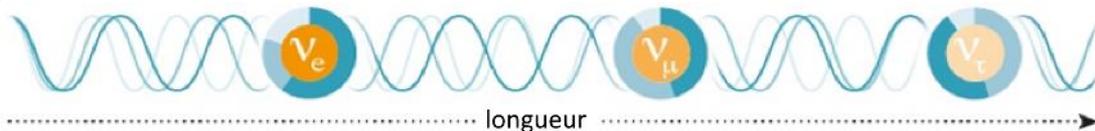




- 3 familles / 6 particules / interaction faible / phénomène d'oscillation / 5 prix Nobel

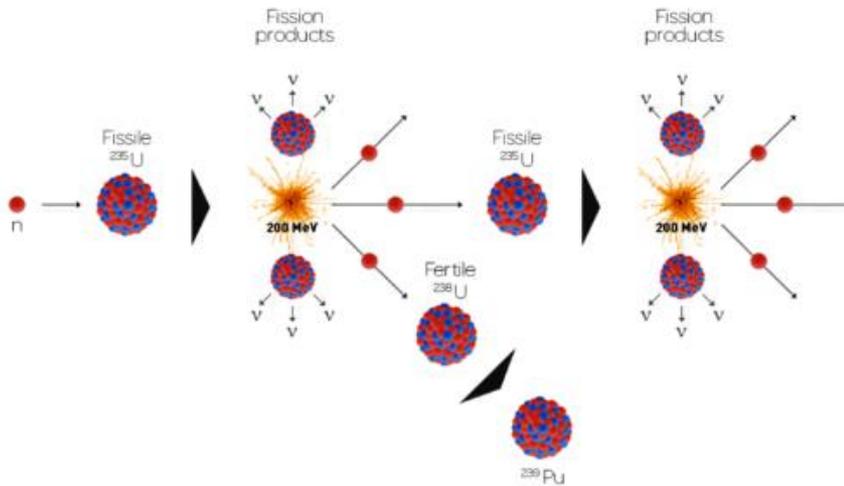


Etat de masse



- Fissions nucléaires dans le réacteur suivies de désintégrations beta des produits de fission :

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

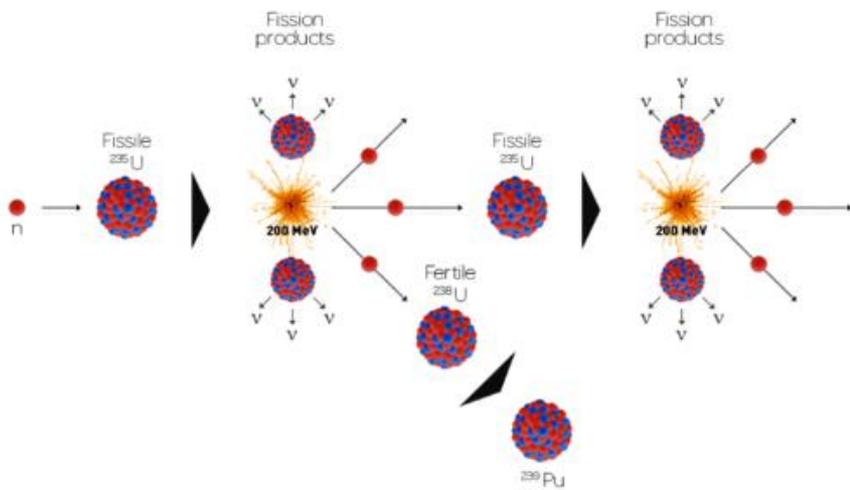
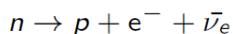


- Production intense et pure d'anti-neutrinos électroniques :

$$\rightarrow \sim 1,9 \times 10^{20} \bar{\nu}_e/\text{s}/\text{GW}_{th}$$



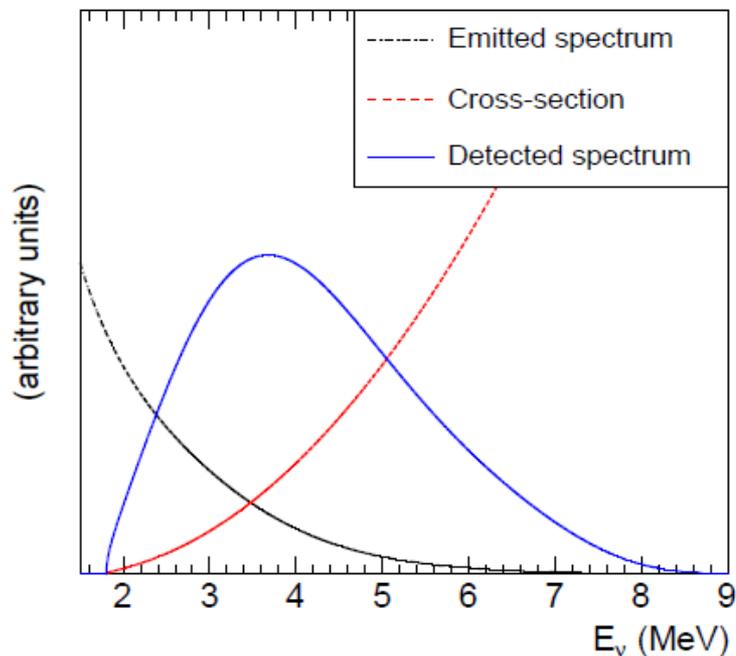
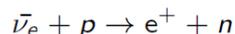
- Fissions nucléaires dans le réacteur suivies de désintégrations beta des produits de fission :



- Production intense et pure d'anti-neutrinos électroniques :

$$\rightarrow \sim 1,9 \times 10^{20} \bar{\nu}_e/s/GW_{th}$$

- Détection par la réaction de désintégration beta inverse dans du liquide scintillant :

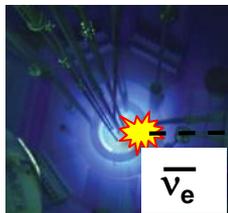


- $E_\nu \in [0-8]$  MeV
- Très faible section efficace :  
 $\sigma_{interaction} \sim 10^{-43} \text{ cm}^2 @ E_\nu = 1\text{MeV}$

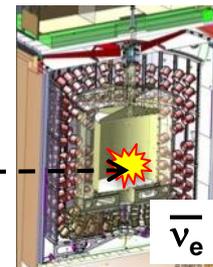
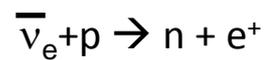




Probabilité de disparition:

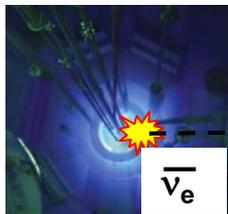


$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = f(\Delta m^2, L, E)$$

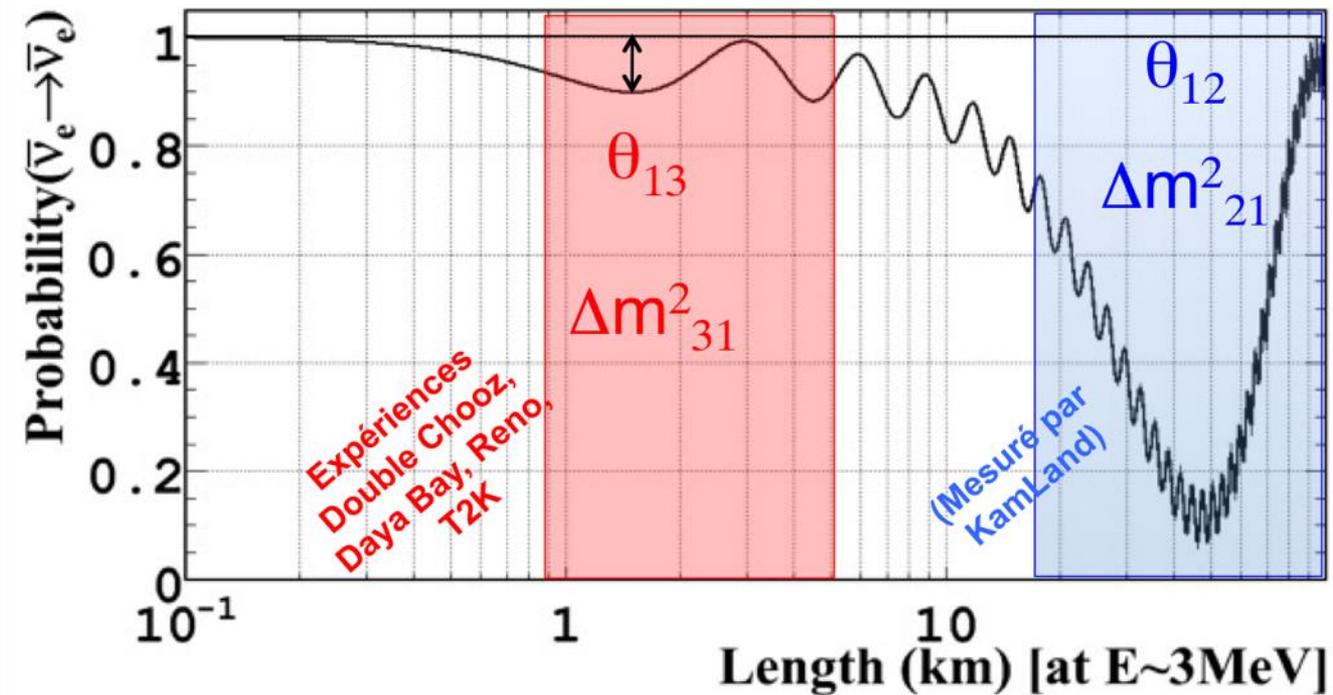
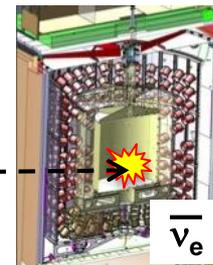
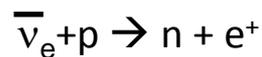




# Probabilité de disparition:



$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = f(\Delta m^2, L, E)$$



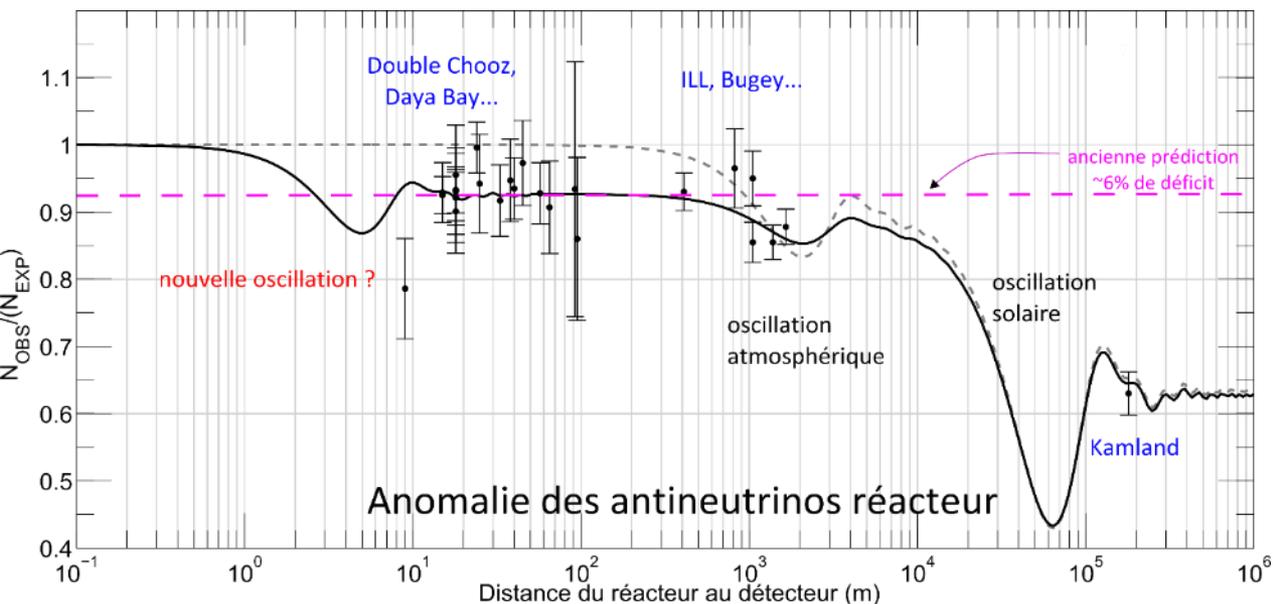
Nouveaux calculs de spectre simulation réacteur + Mise à jour des paramètres de la section efficace

→ Déficit d'anti neutrino de  $\sim 6\%$  @ 2,7 sigma sur le nombre observés

→ Anomalie renforcée par le déficit observé dans les expériences SAGE et GALLEX

→ Hypothèse d'une nouvelle oscillation à courte distance, vers un neutrino stérile





2 articles (IRFU) en 2011, 461 citations

Phys. Rev C83, 054615 (2011)

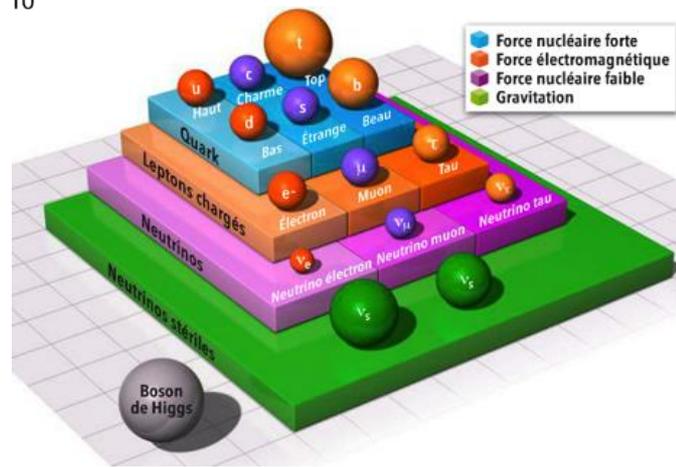
Phys. Rev D83, 073006 (2011)

Nouveaux calculs de spectre simulation réacteur + Mise à jour des paramètres de la section efficace

→ Déficit d'anti neutrino de ~6% @ 2,7 sigma sur le nombre observés

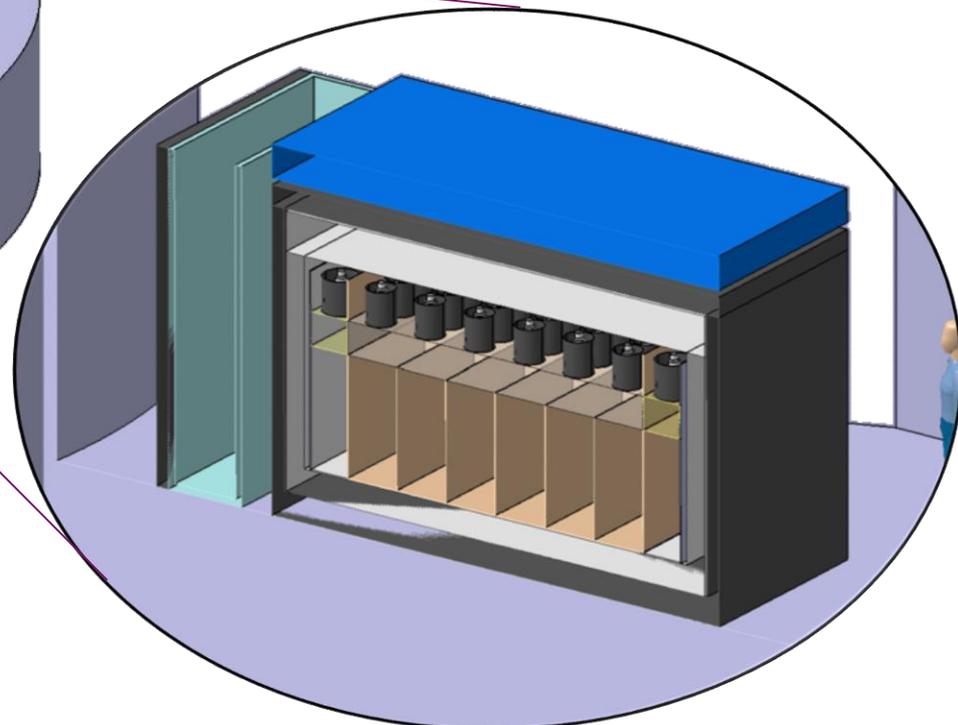
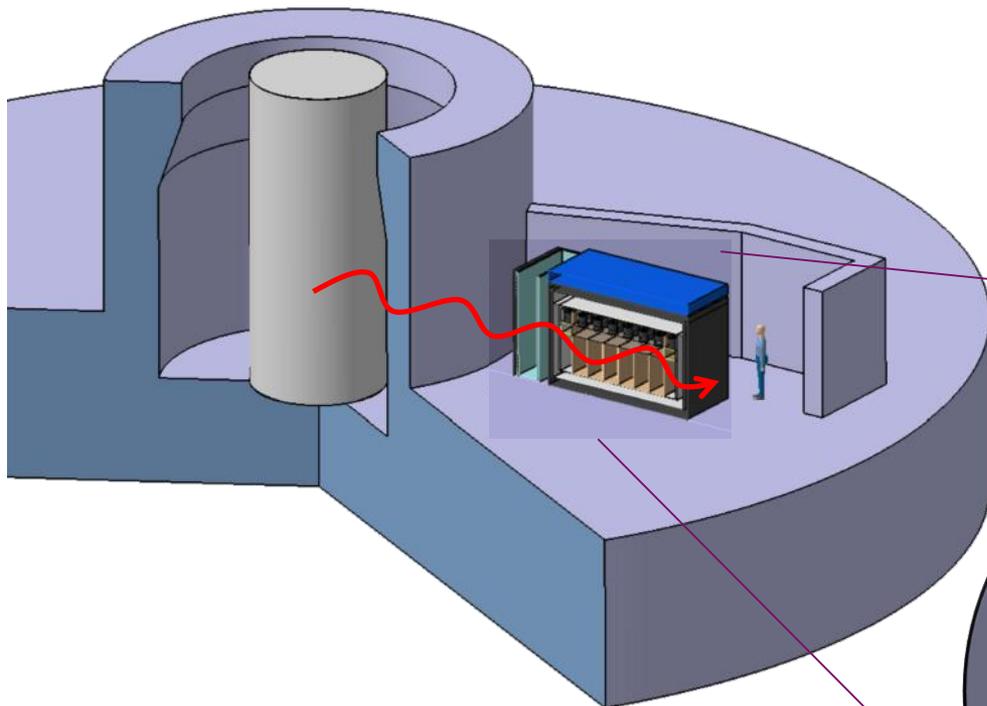
→ Anomalie renforcée par le déficit observé dans les expériences SAGE et GALLEX

→ Hypothèse d'une nouvelle oscillation à courte distance, vers un neutrino stérile





Observer une nouvelle figure d'oscillation,  
au-delà du simple déficit global de  $\nu_e$   
Potentiel de découverte du neutrino stérile  
auprès du réacteur ILL de Grenoble



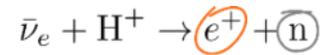
**Financement ANR 2013**  
**990 k€**





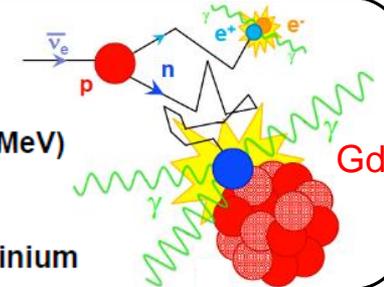
Détection dans liquide scintillant | signature du  $\nu$   
: 2 signaux de qq MeV corrélés en temps

Réaction beta inverse :



Prompt signal (ns):  $E_{\text{prompt}} \propto E_\nu$  (1 - 8 MeV)

Delayed signal ( $\mu\text{s}$ ):  $E_{\text{delayed}} \sim 8 \text{ MeV}$  on Gadolinium





Détection dans liquide scintillant | signature du  $\nu$   
: 2 signaux de qq MeV corrélés en temps

Réaction beta inverse :



Prompt signal (ns):  $E_{\text{prompt}} \propto E_{\nu}$  (1 - 8 MeV)

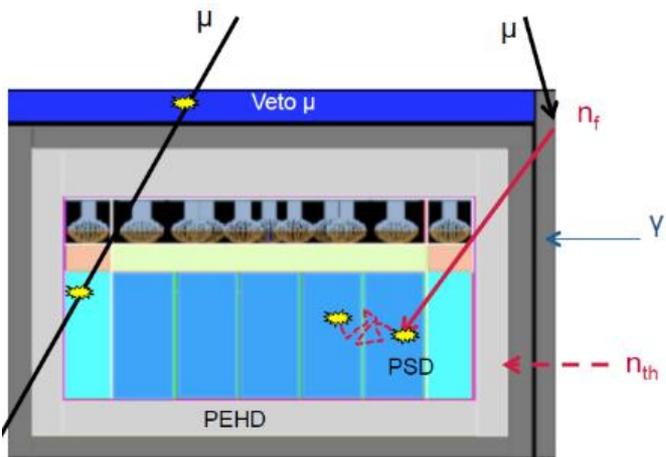
Delayed signal ( $\mu\text{s}$ ):  $E_{\text{delayed}} \sim 8 \text{ MeV}$  on Gadolinium



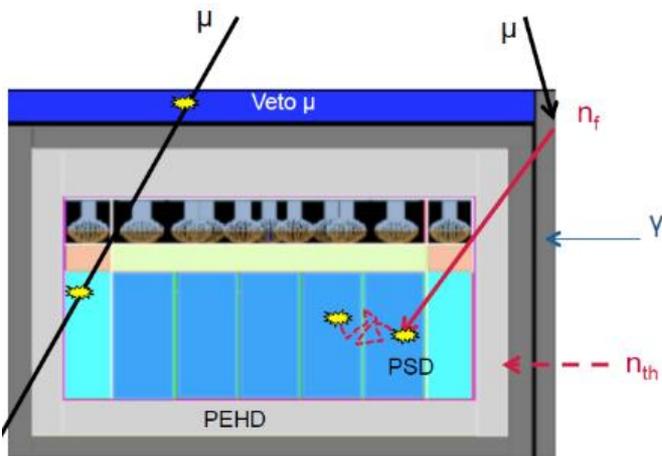
## • Difficulté : extraire le signal (BF)

- BF aléatoire (accidentel) :
  - Gamma et neutron
  - du réacteur / environnement
- ⇒ Blindage passif en plomb (gamma) et PE boré (neutrons)
- ⇒ Utilisation de matériaux bas bruit de fond (campagne de mesure avant fabrication)
  
- BF corrélé :
  - rayonnement cosmique
  - ⇒ Enfouissement du détecteur + canal d'eau
  - ⇒ Utilisation d'un veto actif
- ⇒ Mesure en réacteur off
- ⇒ Pulse shape discrimination (PSD) en ligne

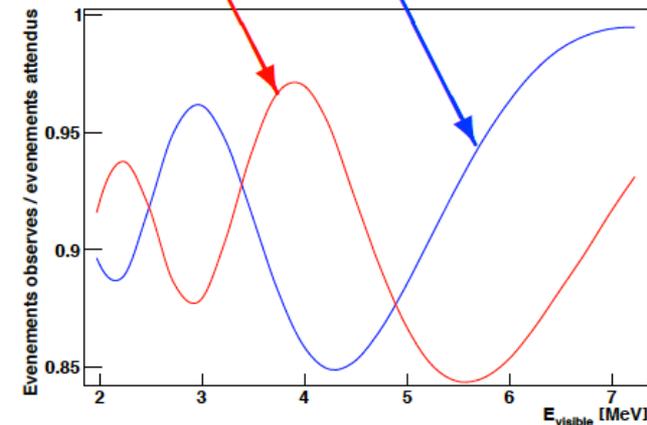
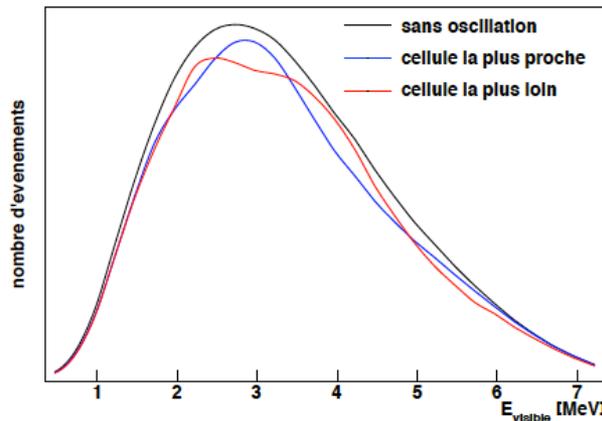
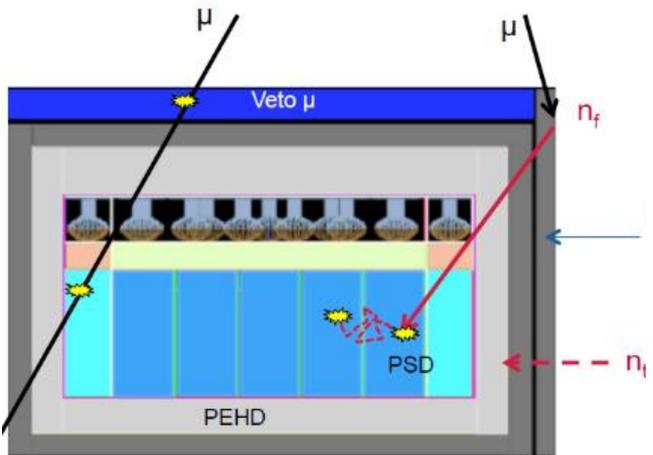
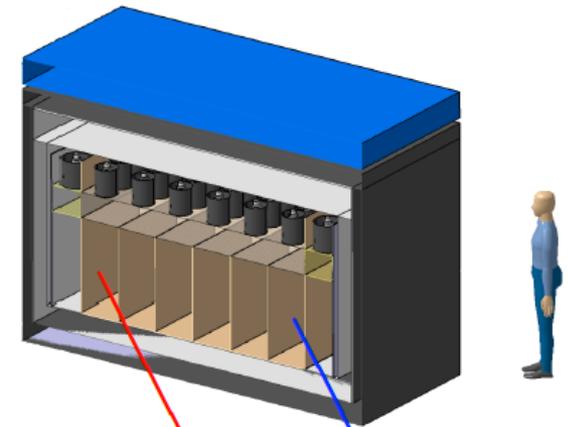


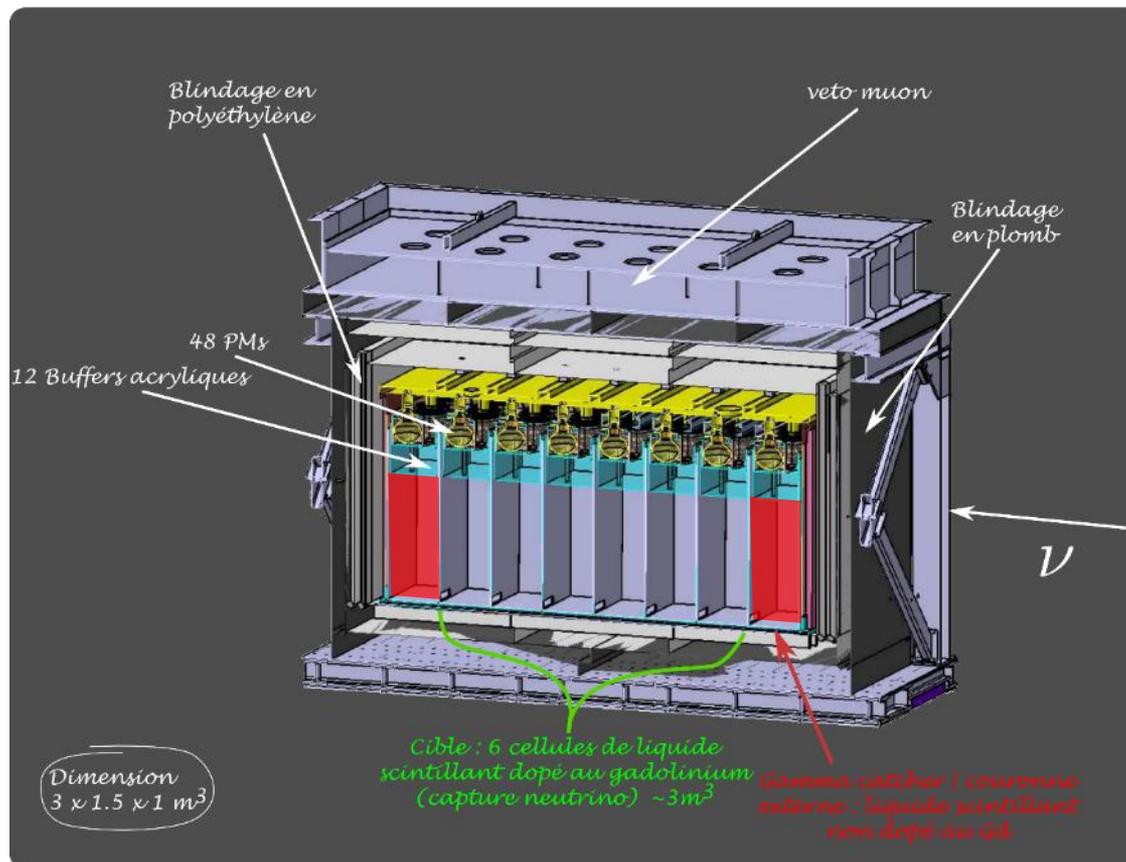


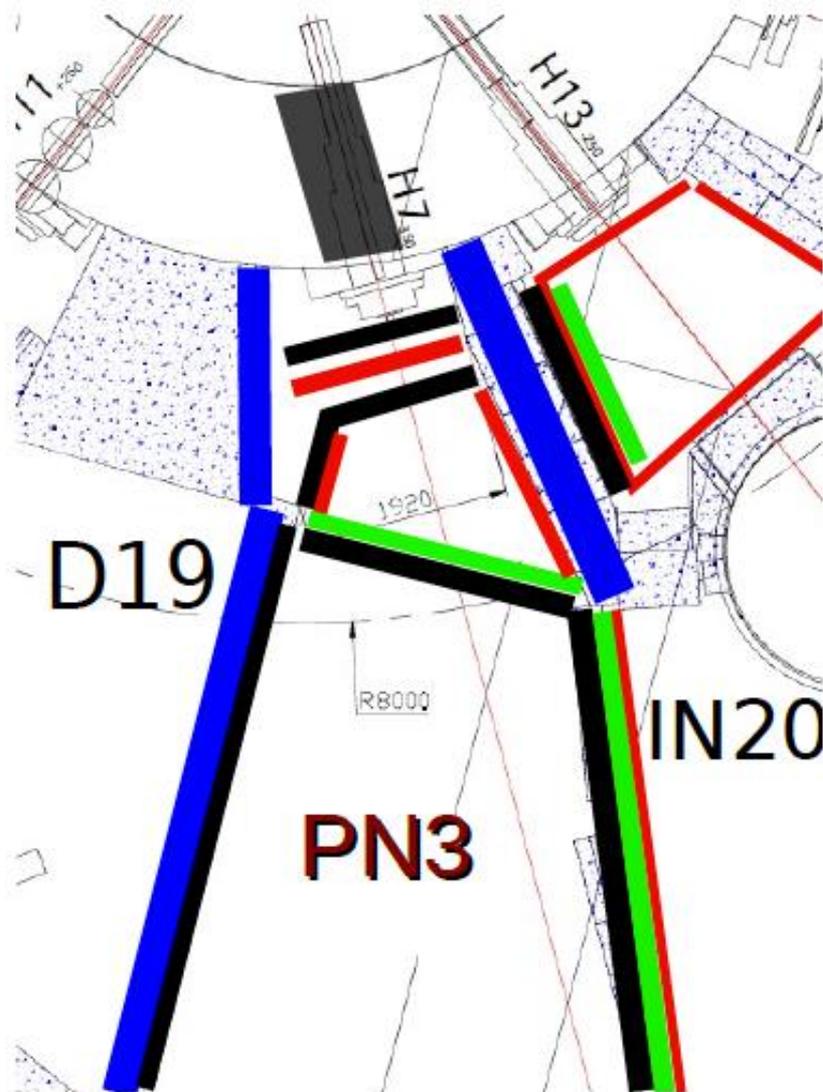
- Détection dans 2m<sup>3</sup> liquide scintillant dopé au Gd
- Exploite l'oscillation en E et en L dans 6 cellules identiques
- Couronne externe optiquement fermée (gamma catcher) : retient les fuites d'énergie et veto actif pour un BF externe
- Collection lumière
  - PMs en haut du détecteur
  - Surface couverte ~50%
  - Film réfléchissant pour atténuer effet H/B
  - Tampon (buffer) en acrylique



- Détection dans 2m<sup>3</sup> liquide scintillant dopé au Gd
- Exploite l'oscillation en E et en L dans 6 cellules identiques
- Couronne externe optiquement fermée (gamma catcher) : retient les fuites d'énergie et veto actif pour un BF externe
- Collection lumière
  - PMs en haut du détecteur
  - Surface couverte ~50%
  - Film réfléchissant pour atténuer effet H/B
  - Tampon (buffer) en acrylique







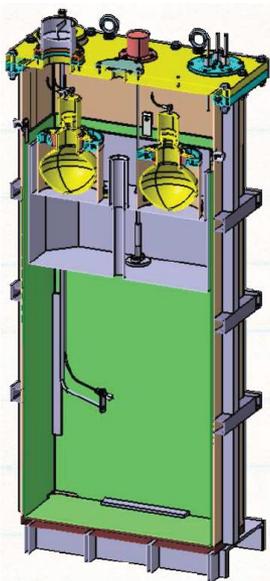
- **Beton**
- **Plomb**
- **PE**
- **Bore**





	Laboratoire	Responsable	Tâches
ANR			
	CEA/Irfu - Saclay	David Lhuillier	Coordination Det interne Dossier sécurité Prédictions réacteur
	IN2P3/ LPSC - Grenoble	Anne Stutz	Acquisition Véto muon Montage blindages
	IN2P3/LAPP – Annecy	Pablo Del Amo Sanchez	Réalisation blindages Calibration
Associés			
	MPIK - Heidelberg	Manfred Lindner	Liquides PMTs
	ILL - Grenoble	S. Fuard	Coord. Technique Aménagement casemate Dossier sécurité
	Univ. Casablanca	Abdeslam Hoummada	Blindages

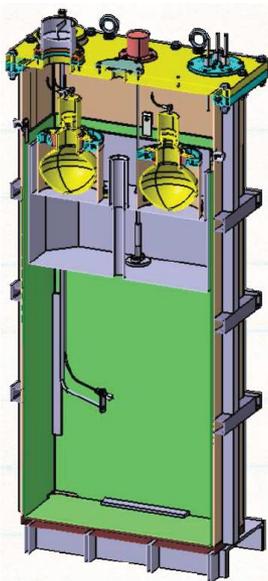




Réalisation d'une demi cellule  
 → développement de plaque réfléchissante  
 (plaque d'acrylique / VM2000® / gap d'air / plaque d'acrylique)

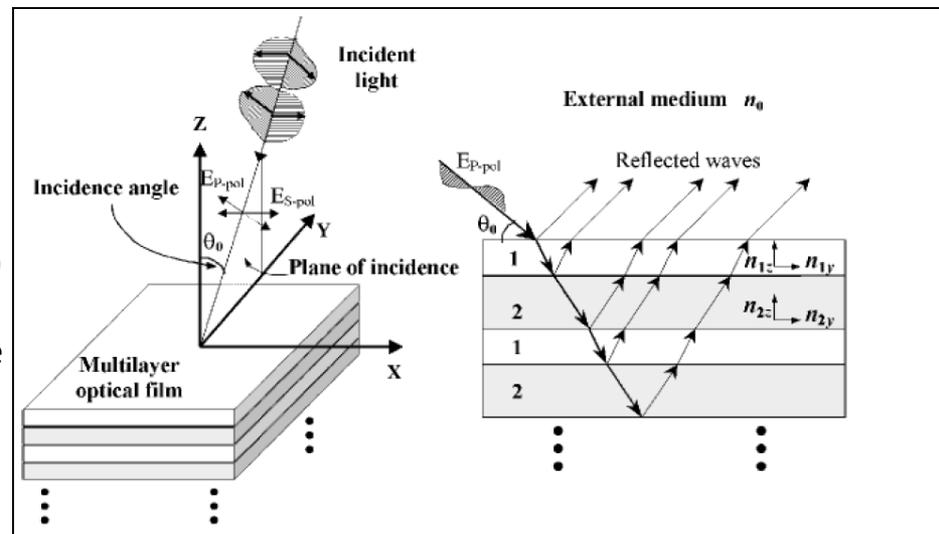
Caractérisation via une source lumineuse émise au bout d'une  
 perche amovible

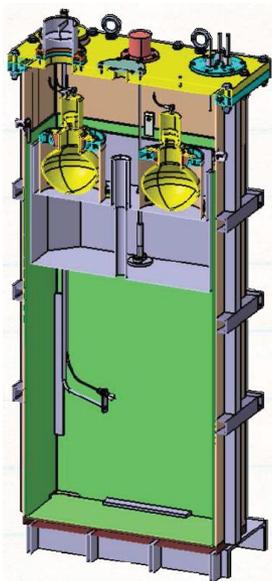




Réalisation d'une demi cellule  
 → développement de plaque réfléchissante  
 (plaque d'acrylique / VM2000® / gap d'air / plaque d'acrylique)

Caractérisation via une source lumineuse émise au bout d'une perche amovible

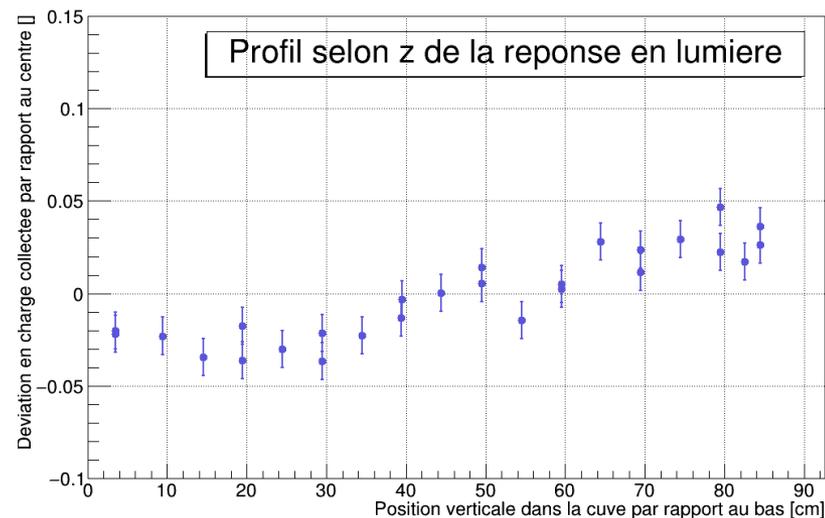




Bonne homogénéité de réponse (  $\sim 5\%$  de déviation entre le bas et le haut de la cellule, plus d'inhomogénéité pour les angles de  $20^\circ$  ou  $90^\circ$  )

- Réflexion totale dans l'air
- Dans le liquide scintillant il y a une perte de réflexion à grand angle
  - combinaison de VM2000® et d'un gap d'air

→ le principe est validé



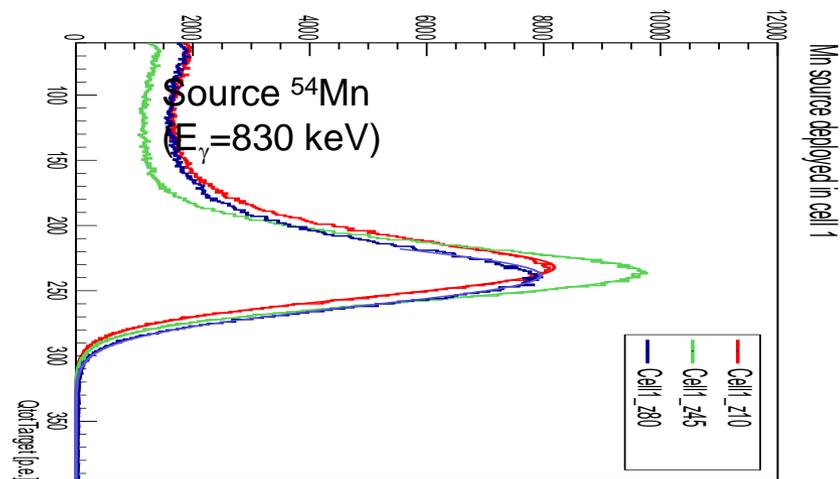


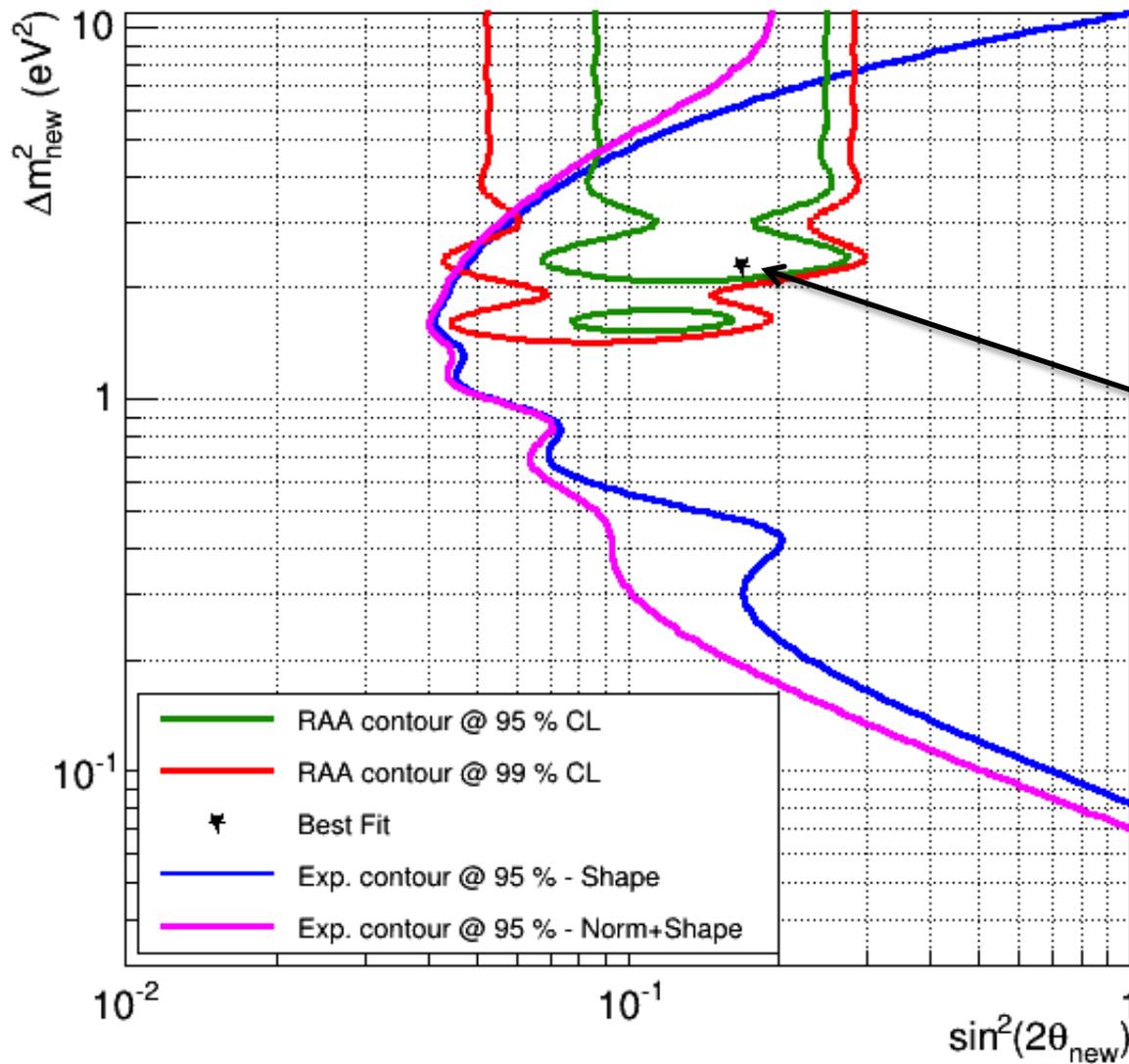


- Accord de l'ASN!
- Remplissage dans la foulée des volumes cible, gamma-catcher et des 12 buffers
- Commissioning du détecteur en cours
- Premières calibrations confirment les propriétés attendues du liquide et de la collection de lumière ( $\sim 300$  photo-electrons /MeV).

### Spécifications:

- $\Delta E/E = 6\%$  à 1MeV
- $\Delta x/x = 20$  cm en position
- $\epsilon_{\text{eff}} = 50\%$
- 400 v/jour
- S/B = 1,5





Sensibilité attendue pour 300 jours (6 cycles de réacteur)

La zone du “best fit” pourrait être testée avec les données de fin 2016.





2013

sept. 2014 juil. déc. 2015 oct. 2016 août 2017 juin nov. 2018

2018

Aujourd'hui

9/15/2013 - 9/15/2015

Prototype

9/15/2013 - 12/15/2013

Design



11/15/2013 - 8/15/2014

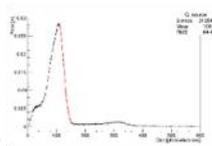
Fabrication

8/15/2014 - 11/15/2014

Intégration

11/15/2014 - 9/15/2015

Prise de données

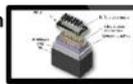


10/15/2013 - 7/15/2018

Détecteur final

10/15/2013 - 4/15/2015

Design



10/15/2014 - 7/15/2015

Appel d'offre

7/15/2015 - 4/30/2016

Fabrication



1/15/2016 - 5/3/2016

Intégration LPSC



5/4/2016 - 9/15/2016

Intégration ILL



11/15/2016 - 7/15/2018

Prise de données

1/15/2014 - 7/23/2018

ILL

1/15/2014 - 11/15/2016

ASN



11/4/2016 - 12/22/2016

Cycle 180

1/17/2017 - 3/8/2017

Cycle 181

8/28/2017 - 10/15/2017

Cycle 182

3/15/2017 - 8/20/2017

Changement tube H7 réacteur





Adrien



