



Faculté

de **physique** et **ingénierie**

Université de Strasbourg



STABILITE EN TEMPS ET UNIFORMITE DE LA REPONSE DU DETECTEUR STEREO

Sous la supervision de Pablo del Amo Sánchez

LABIT Loïc-René

20/06/2018



GENERALITES SUR LE NEUTRINO

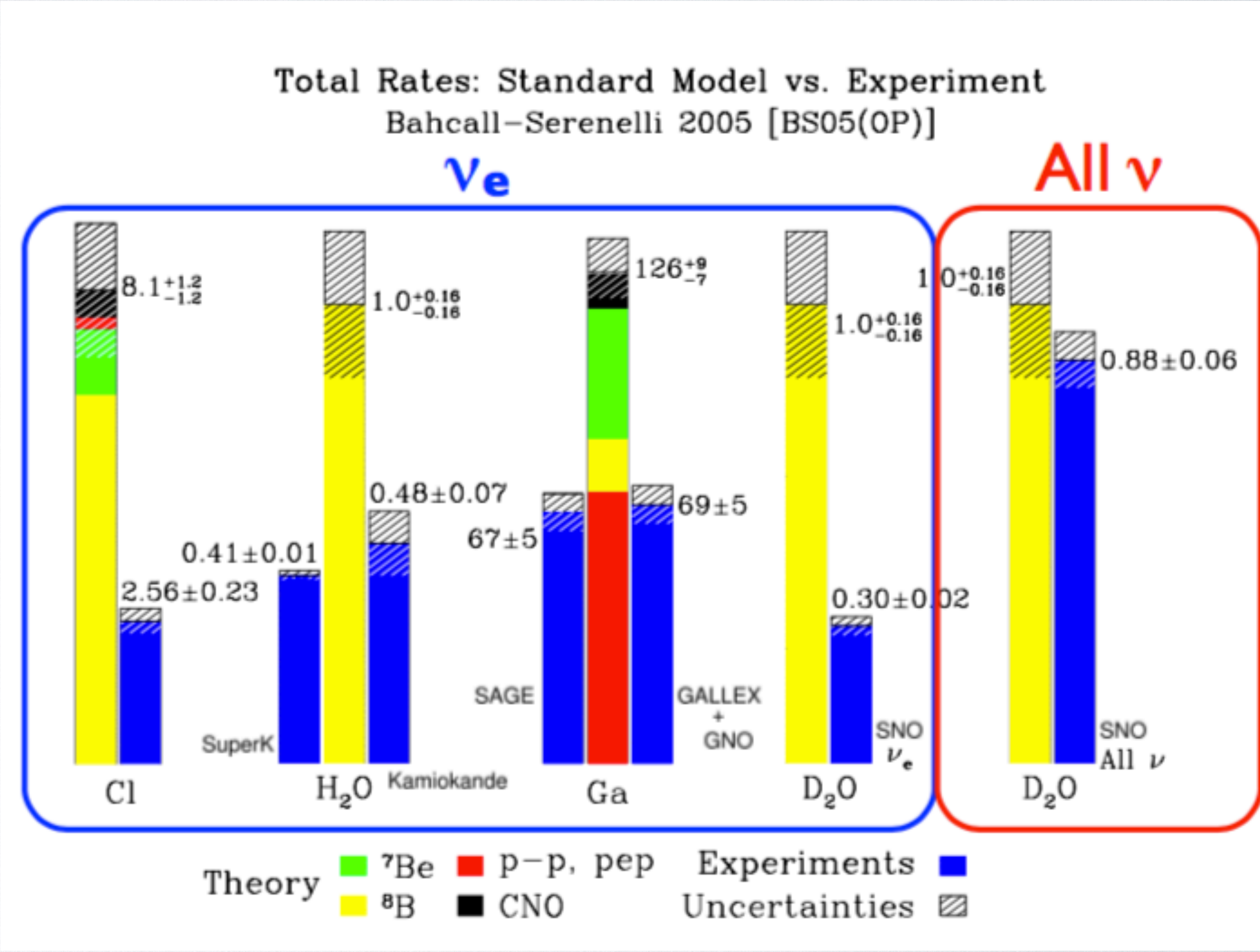
CARTE D'IDENTITE DU NEUTRINO

- Lepton neutre
- Sensible uniquement à l'interaction faible
 - $\sigma_{IBD} \sim 10^{-43} \text{ cm}^2$
- Masse très faible mais non nulle

	fermions (3 générations de la matière)			bosons (forces)	
	I	II	III		
masse →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0	électromagnétisme
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
nom →	u up	c charm	t top	γ photon	
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0	interaction forte
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV	interaction faible
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	Z^0 boson Z^0	
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV	interaction faible
	-1	-1	-1	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e électron	μ muon	τ tau	W^\pm boson W	

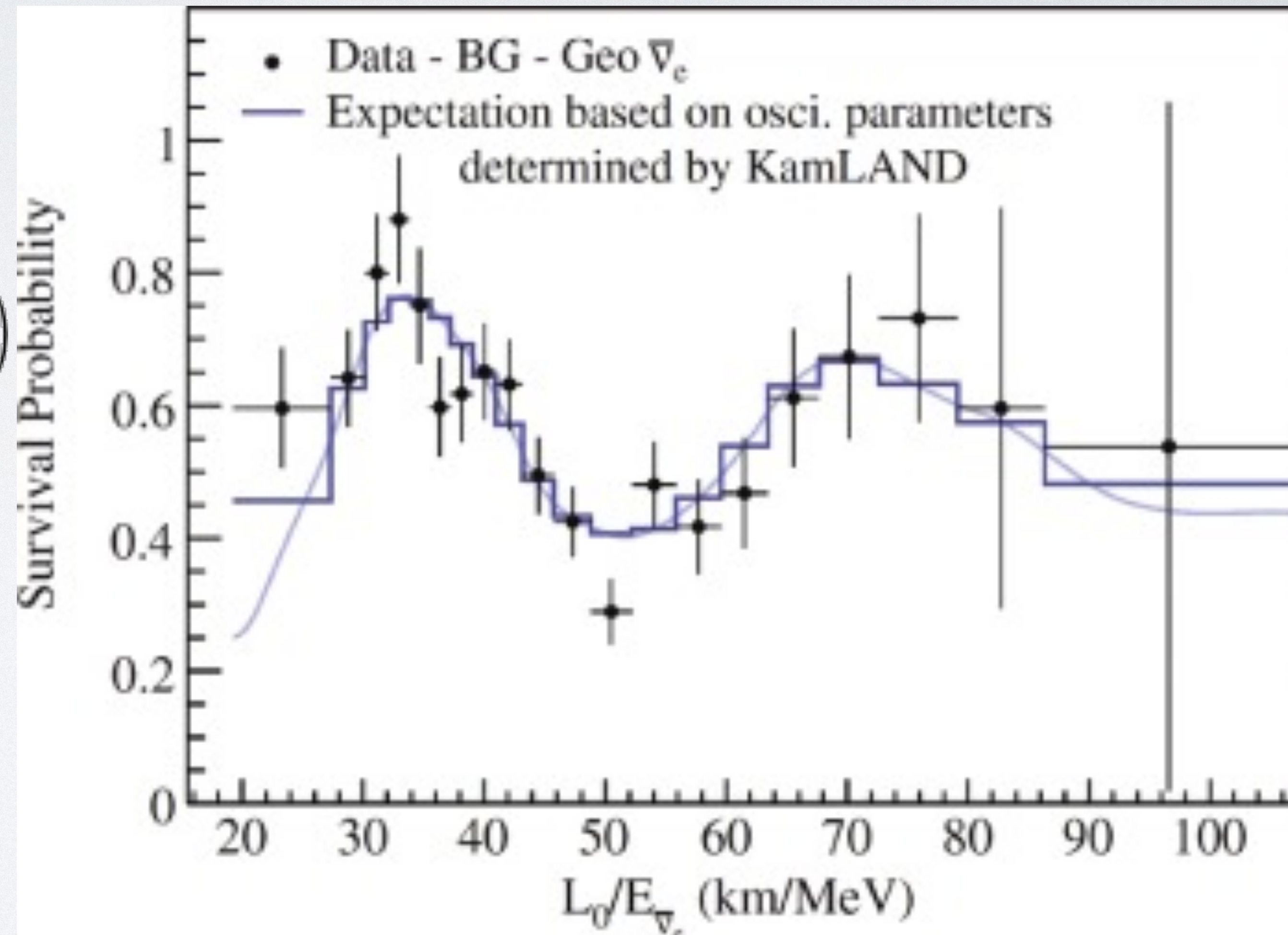
L'ANOMALIE DES NEUTRINOS SOLAIRES

- 1960-1990: Déficit de neutrinos électronique solaires par rapport aux attentes théoriques
- Expliquée par l'oscillation entre les 3 saveurs de neutrinos
- Récompensé par le prix Nobel de Physique en 2015



L'OSCILLATION DES NEUTRINOS

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m^2 [eV^2] L [m]}{E [MeV]} \right)$$



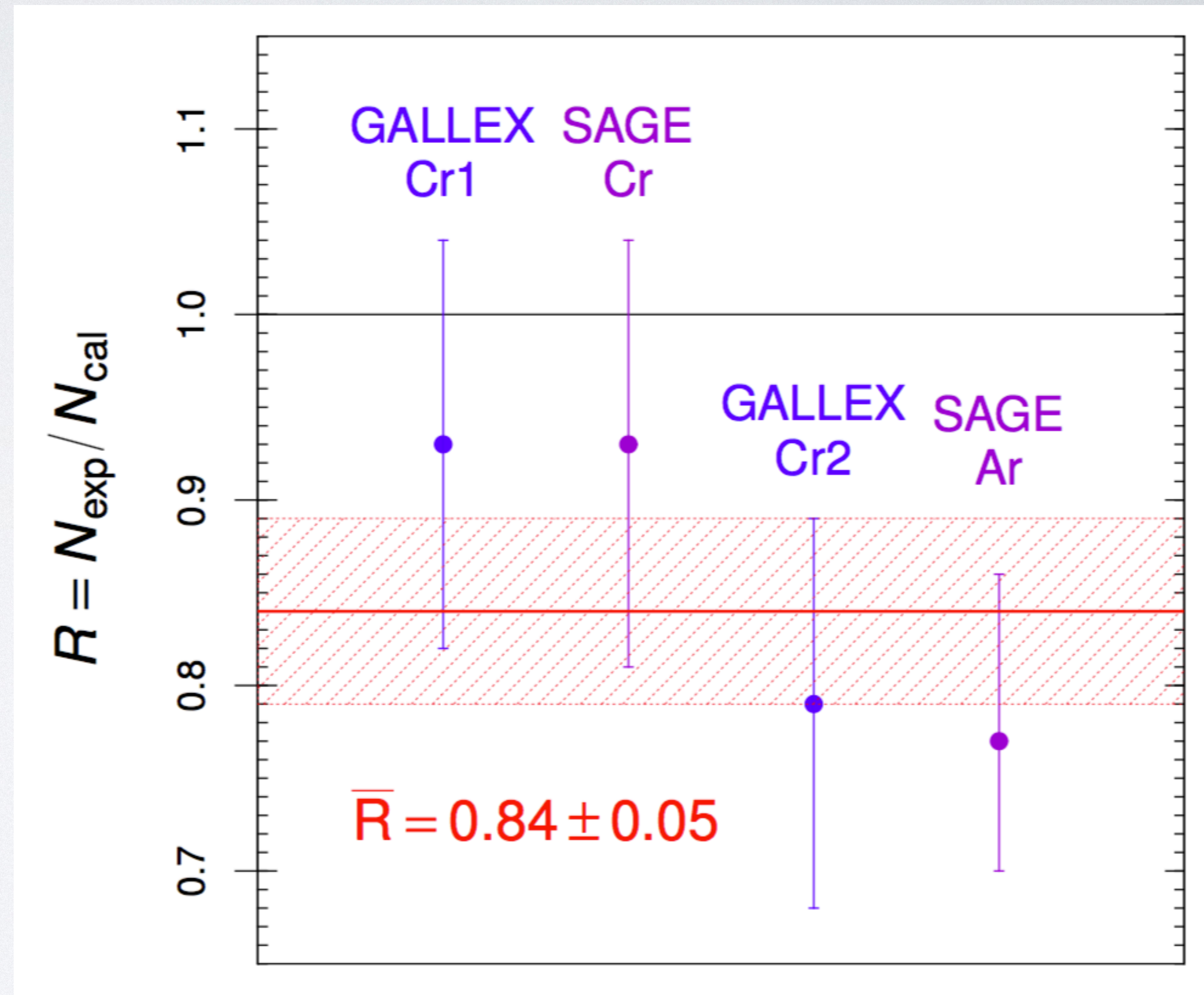
ANOMALIE GALLIUM

- GALLEX et SAGE étaient des expériences visant à évaluer le flux de neutrinos solaires

- Calibration de GALLEX et SAGE

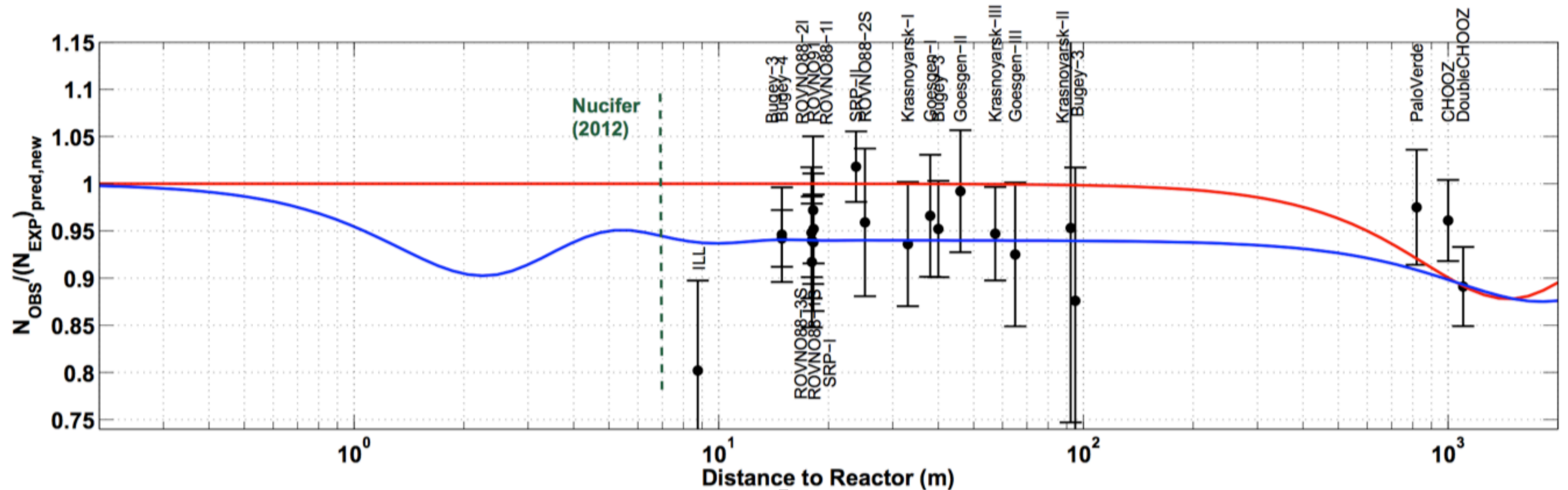
$$R = 0.84 \pm 0.05$$

→ taux de neutrinos observé inférieur au taux attendu ($\sim 3\sigma$)



ANOMALIE REACTEUR

- Déficit de 7% ($\sim 2.6 \sigma$) entre les flux d'antineutrinos issus des réacteurs observés et attendus

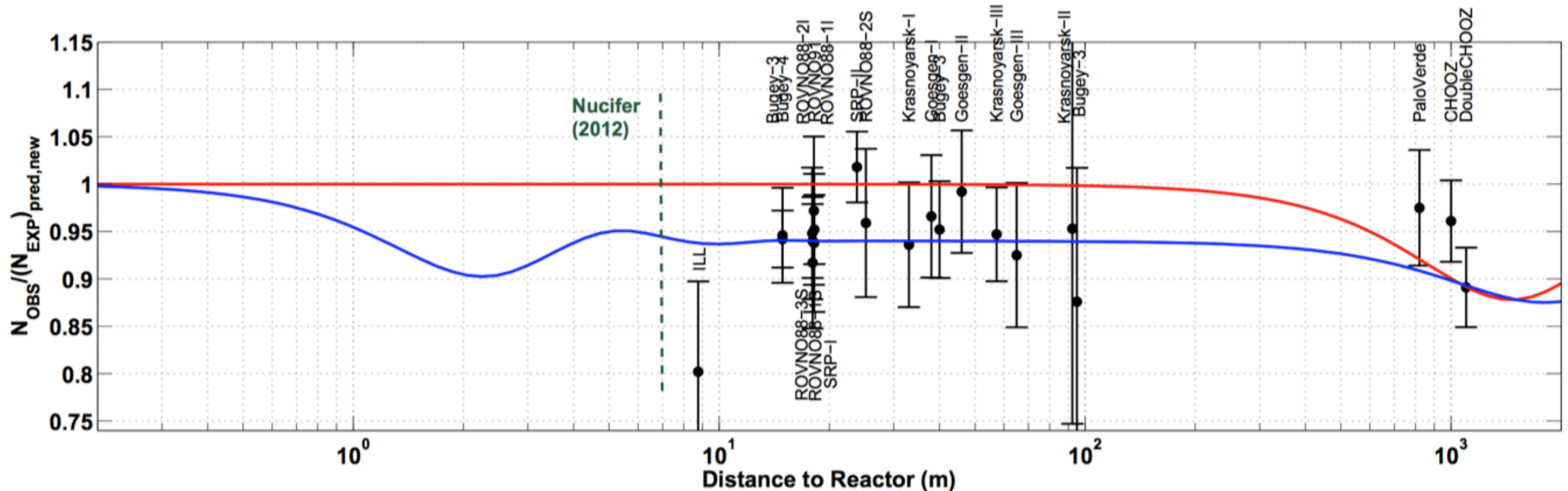


NEUTRINO STERILE

- Anomalies explicables par l'oscillation vers un neutrino qui n'interagirait pas par interaction faible

➔ neutrino stérile

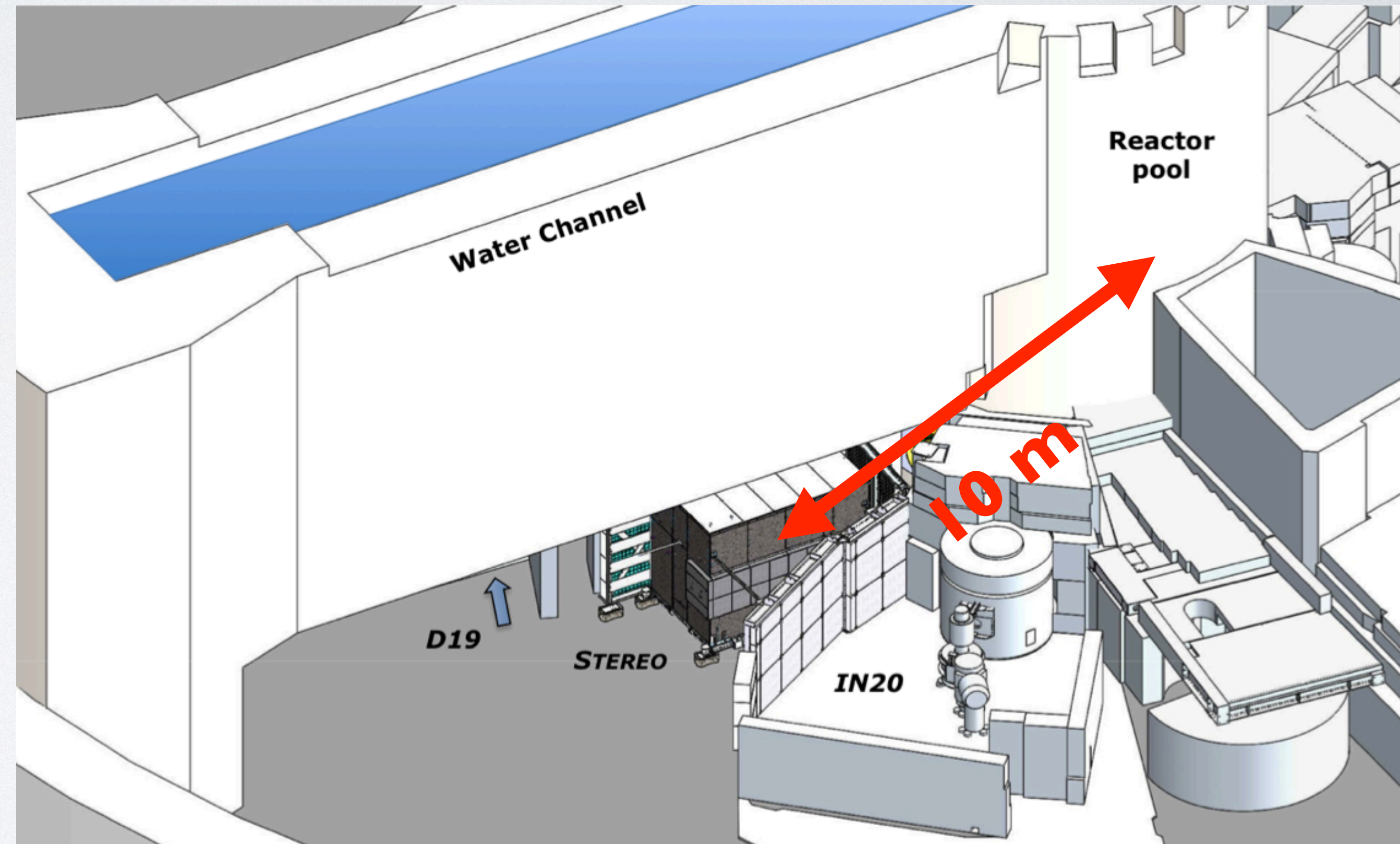
- Paramètres d'oscillations favorisés par anomalies réacteur et gallium : $\sin^2(2\theta) \sim 0.14$ et $\Delta m^2 \sim 2.4 \text{ eV}^2$ [1]



LE SITE DE L'ILL ET L'EXPERIENCE STEREO

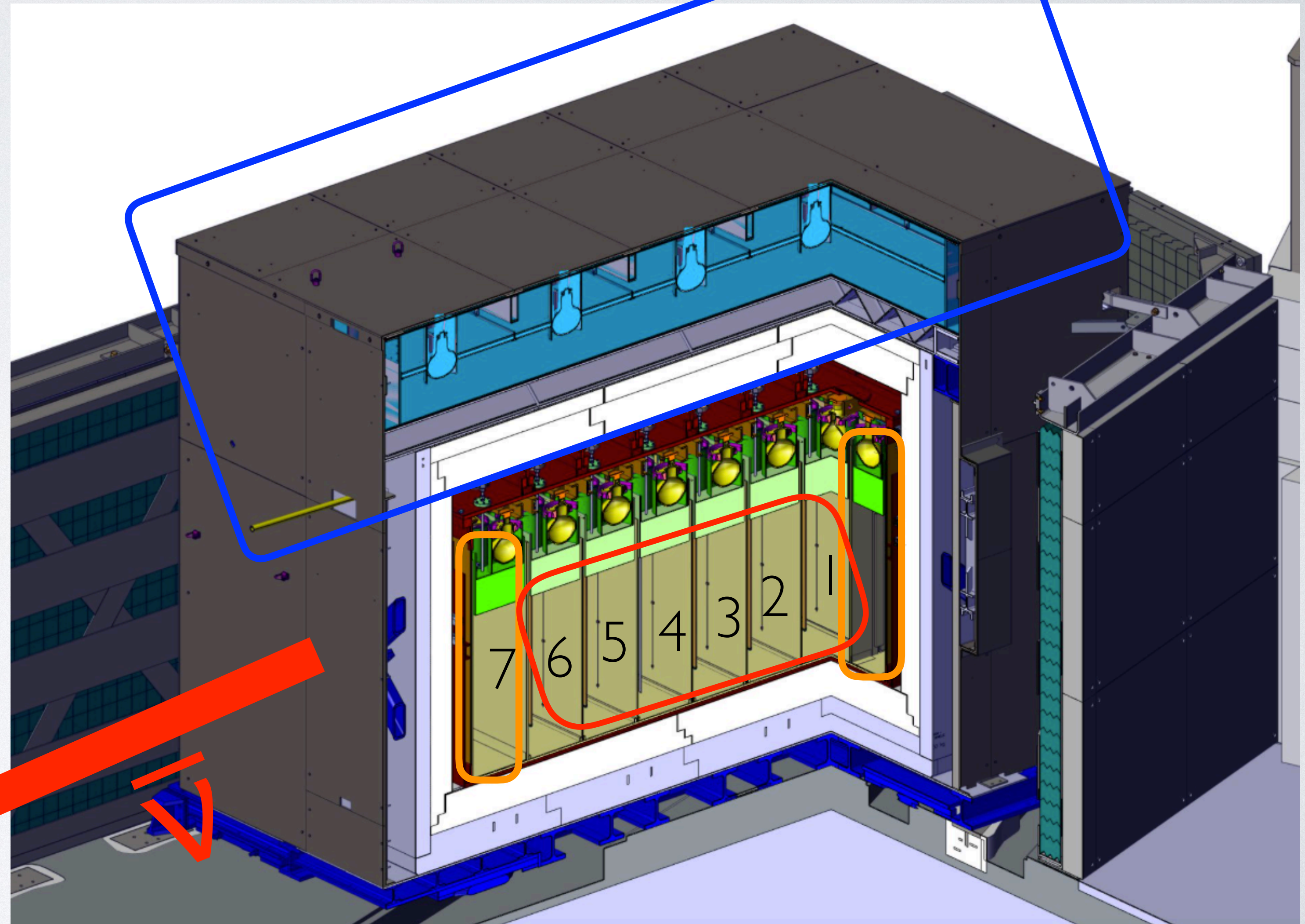
LE SITE DE L'ILL

- ~40 expériences dans des domaines variés
- Réacteur de recherche :
 - Cylindre de 40 cm \varnothing X 80 cm
 - Puissance de 57 MWth
 - Cycle de 45 jours
 - Combustible enrichi en ^{235}U à 93%



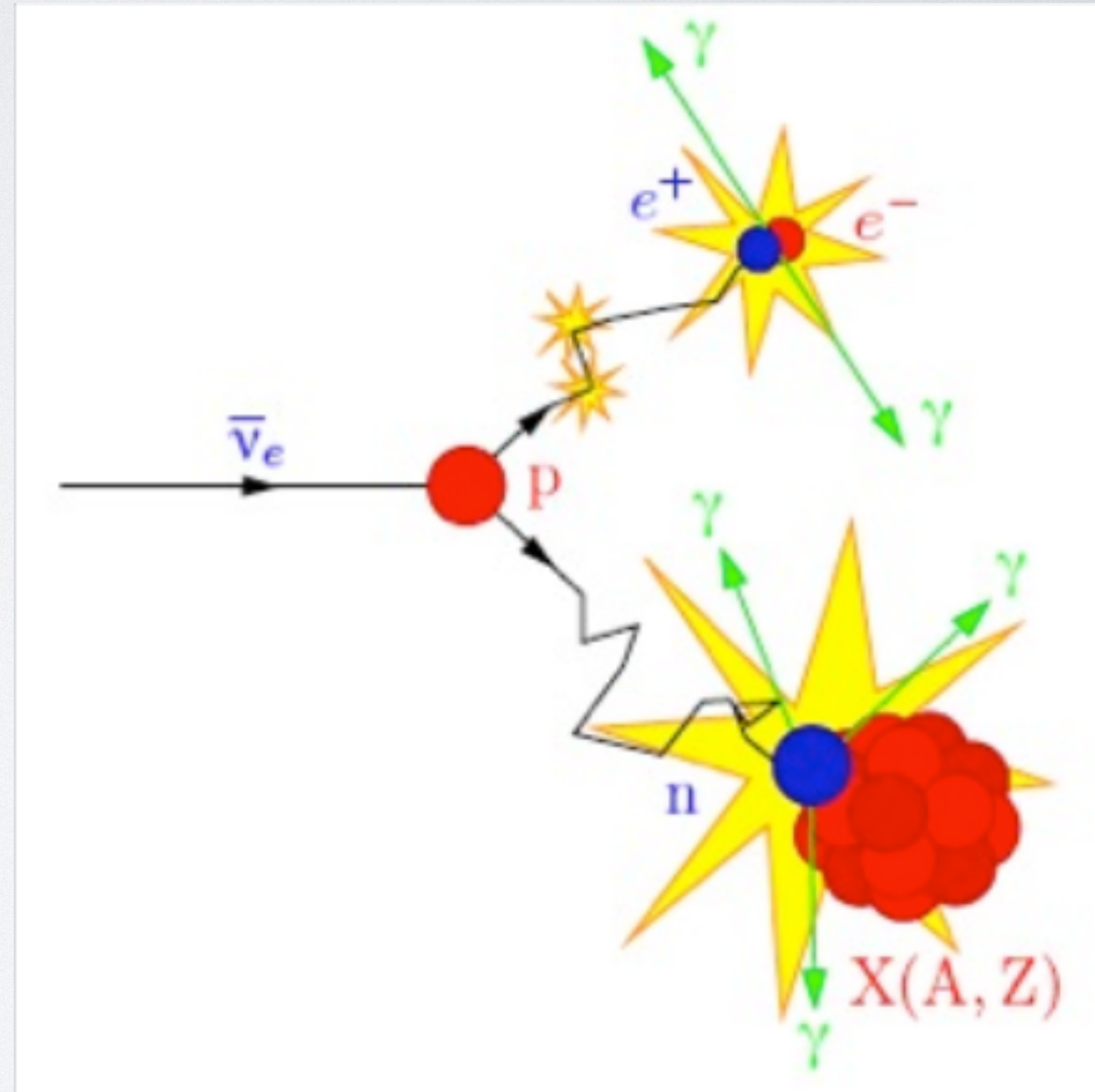
LE DETECTEUR STEREO

- L ~ 10m
- Target: liquide scintillant (LS) dopé au Gd
6 cellules identiques
- Gamma Catcher: LS non dopé
capture les γ échappant la Target
- Véro à muon
technologie Cherenkov
- 2 Phases de prise de données
 - Phase I de 11/2016 à 03/17
 - Phase II depuis 10/2017



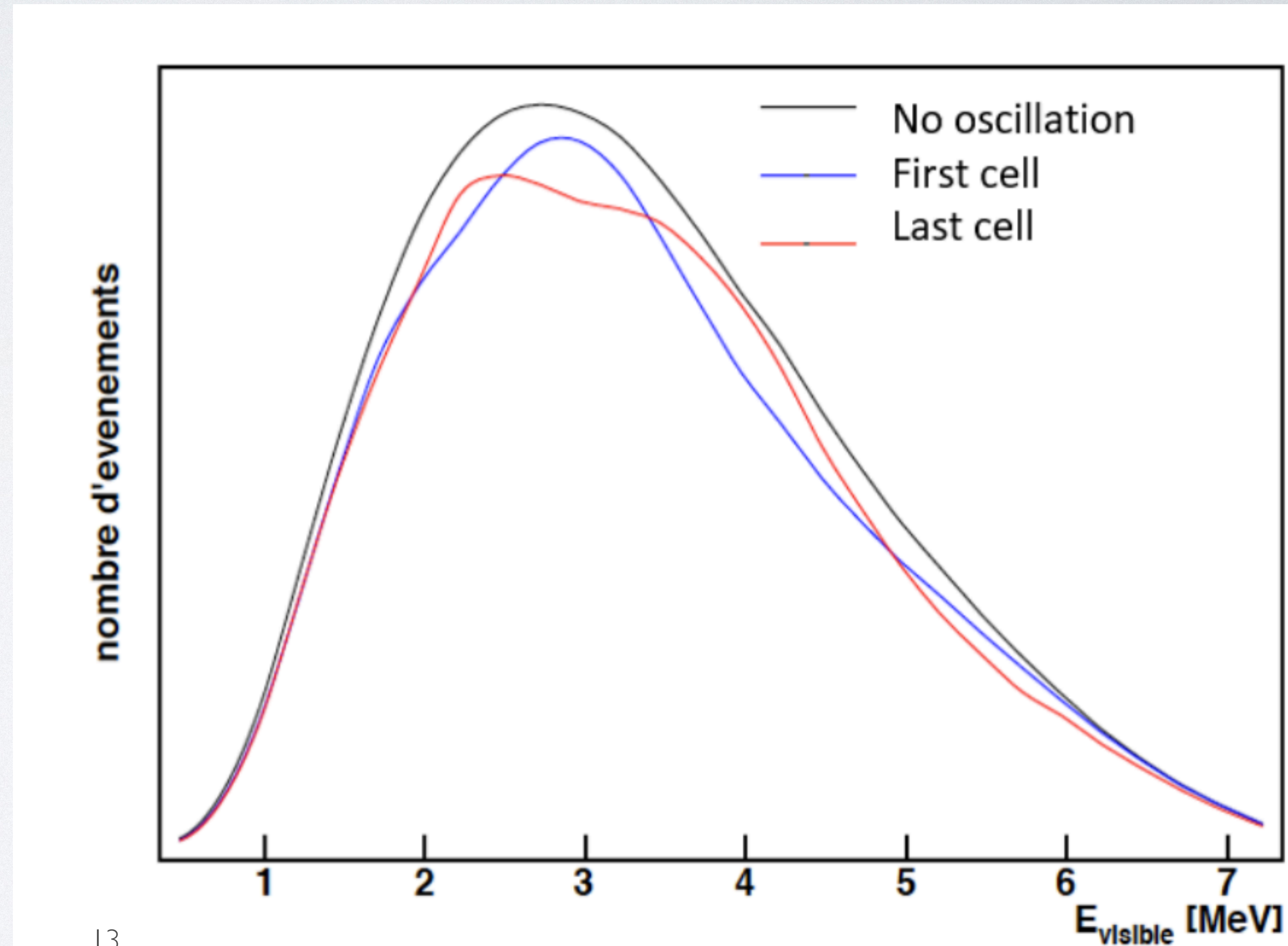
LE PRINCIPE DE DÉTECTION

- Interaction par désintégration β inverse (IBD) dans le LS
 - $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$
 - 1 signal prompt : ionisation et annihilation du positron
 - 1 signal retardé $\sim 15 \mu\text{s}$: capture du neutron par le gadolinium
- $E_{\nu} = E_{\text{visible}}^{\text{prompt}} - 0.782 \text{ MeV}$



SIGNATURE DE L'OSCILLATION VERS LE NEUTRINO STERILE

- Modulation du spectre en énergie en fonction de l'énergie et de la distance
- Effet $\leq 10\%$ **➡** bien caractériser la réponse du détecteur



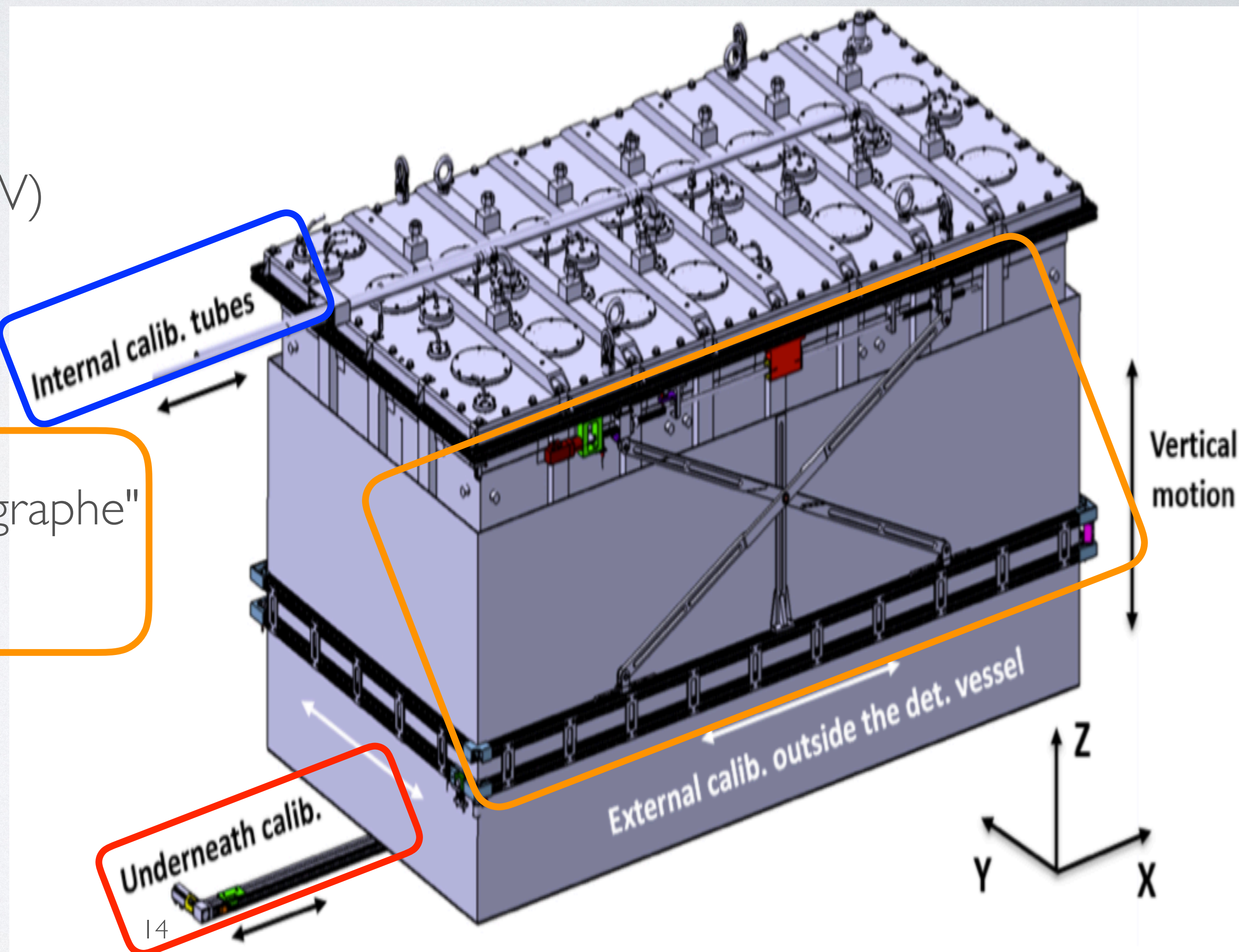
LES SYSTEMES DE CALIBRATION

- Calibration par source radioactives à différentes énergies (de 0.511 à 4.44 MeV)

- Système de calibration interne :
 - tubes de calibrations dans les cellules

- Système de calibration externe : "pantographe"
 - autour du détecteur


- Système de calibration en dessous
 - sous l'axe central



ETUDE DE LA STABILITE DANS LE TEMPS ET DE L'UNIFORMITE DE LA REPONSE

BUTS

Pour la reconstruction en énergie :

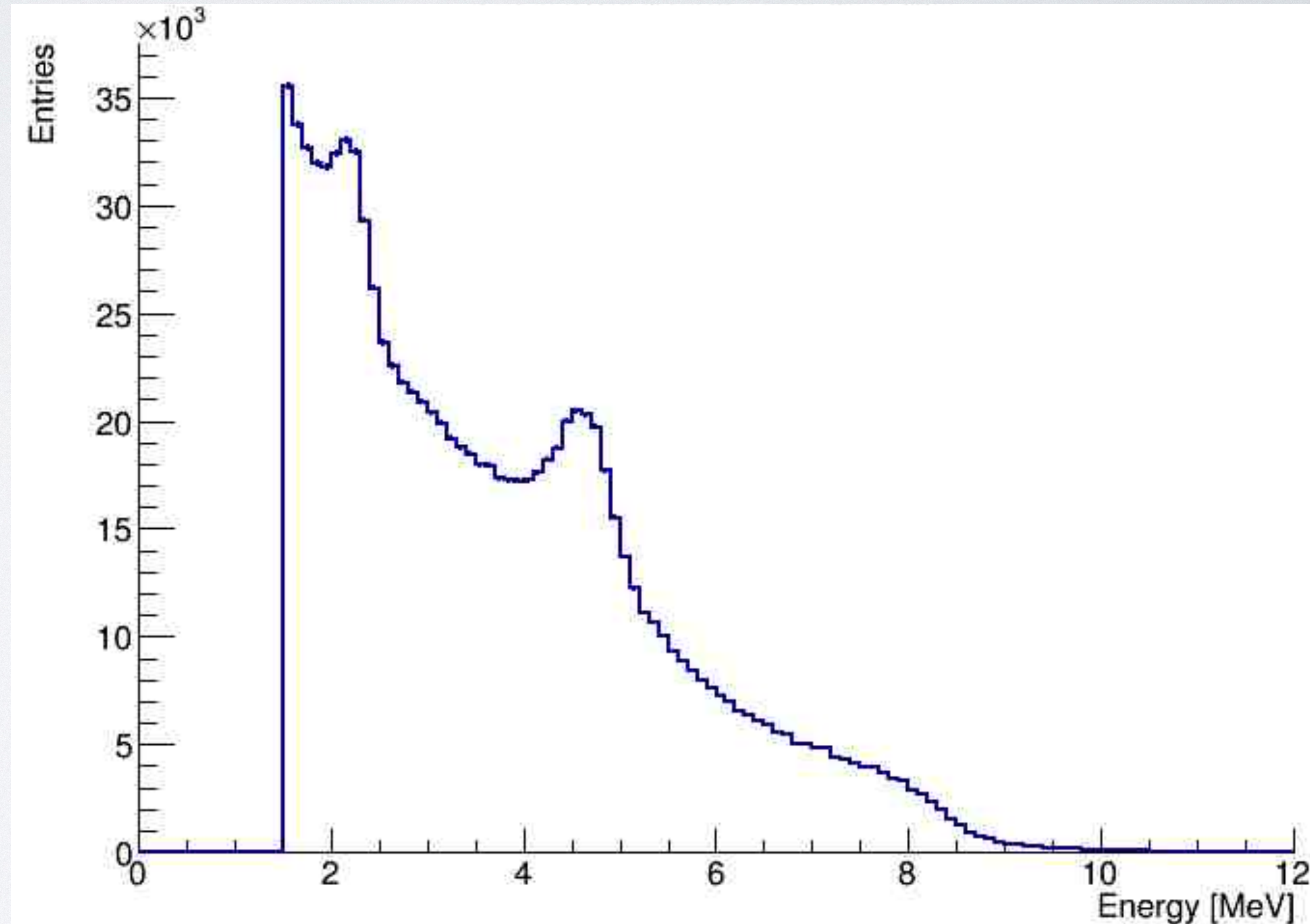
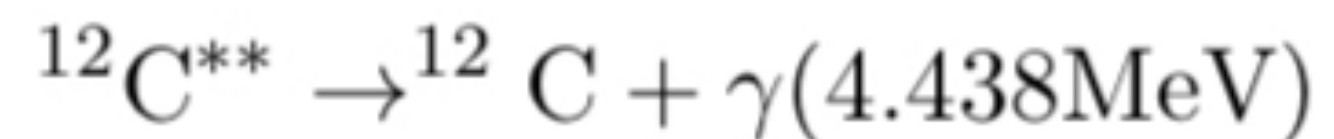
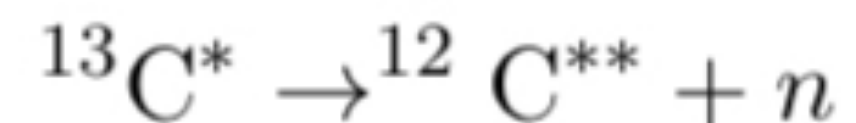
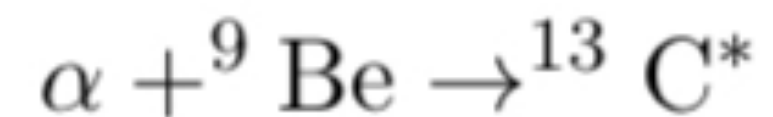
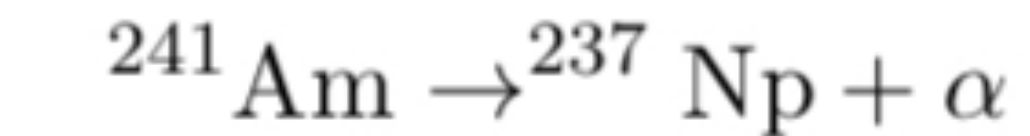
- Etudier la stabilité dans le temps depuis le début de l'expérience
- Etudier l'uniformité de la réponse:  nécessite de tester la réponse de chaque cellule dans des conditions similaires
- Dériver les erreurs systématiques liées à la stabilité et l'uniformité

SOURCE AM-BE PAR LE DESSOUS

- Possibilité d'étudier toutes les cellules dans des conditions similaires (source centrée en dessous de chaque cellule)
- Pas de Gamma Catcher sous le détecteur donc pas besoin de corriger pour l'énergie perdue dans le Gamma Catcher
- La source Am-Be permet d'étudier plusieurs énergies (2.2, 4.44, 8 MeV)
- Run de calibrations en dessous avec la source Am-Be depuis le début de l'expérience

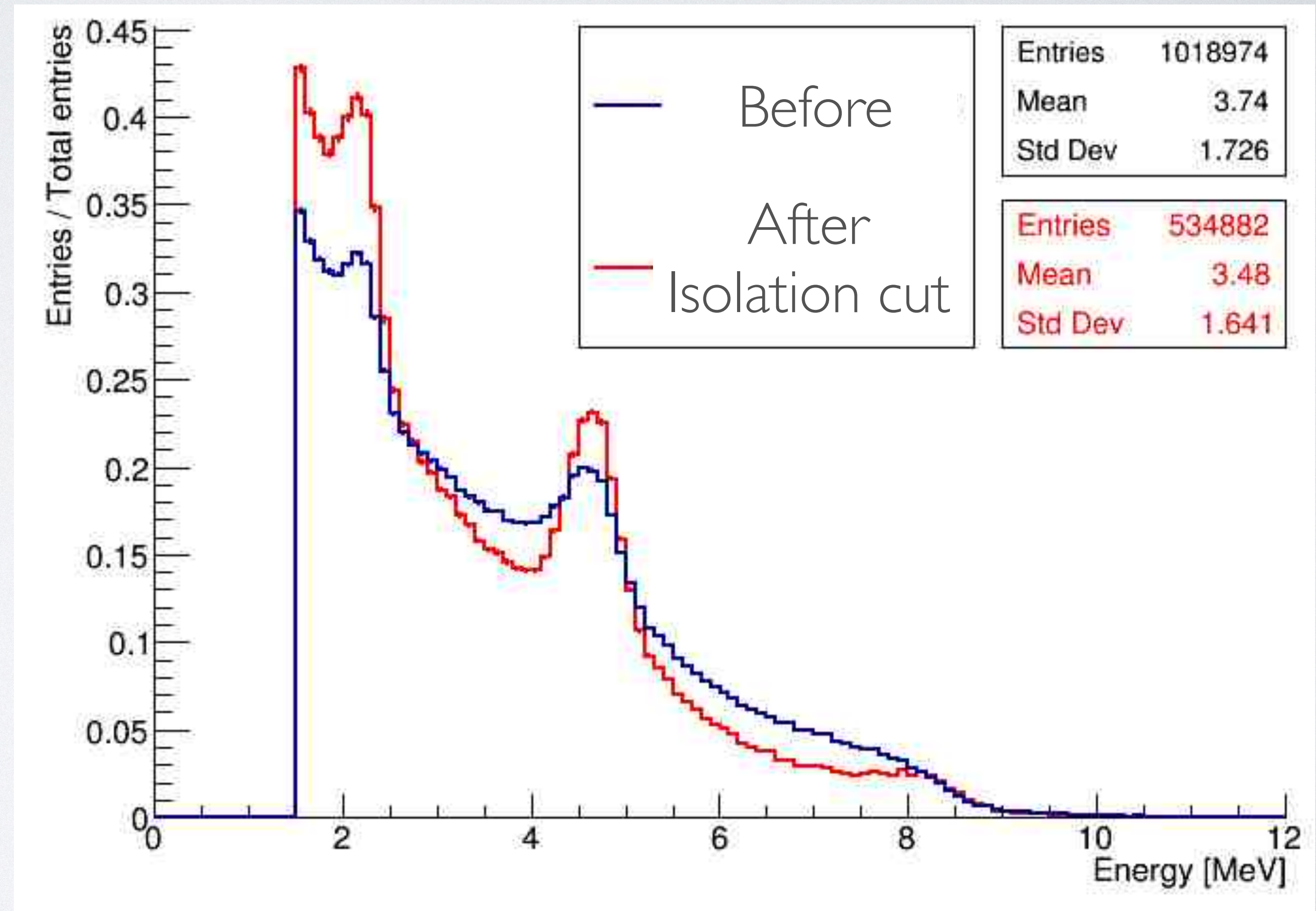
LA SOURCE AM-BE

- Spectre en énergie de la source Am-Be en dessous de la cellule I:
 - pic à 2.2 MeV (capture n-H)
 - pic à 4.4 MeV (γ de 4.4 MeV)
 - bosse à 8 MeV (capture n-Gd)



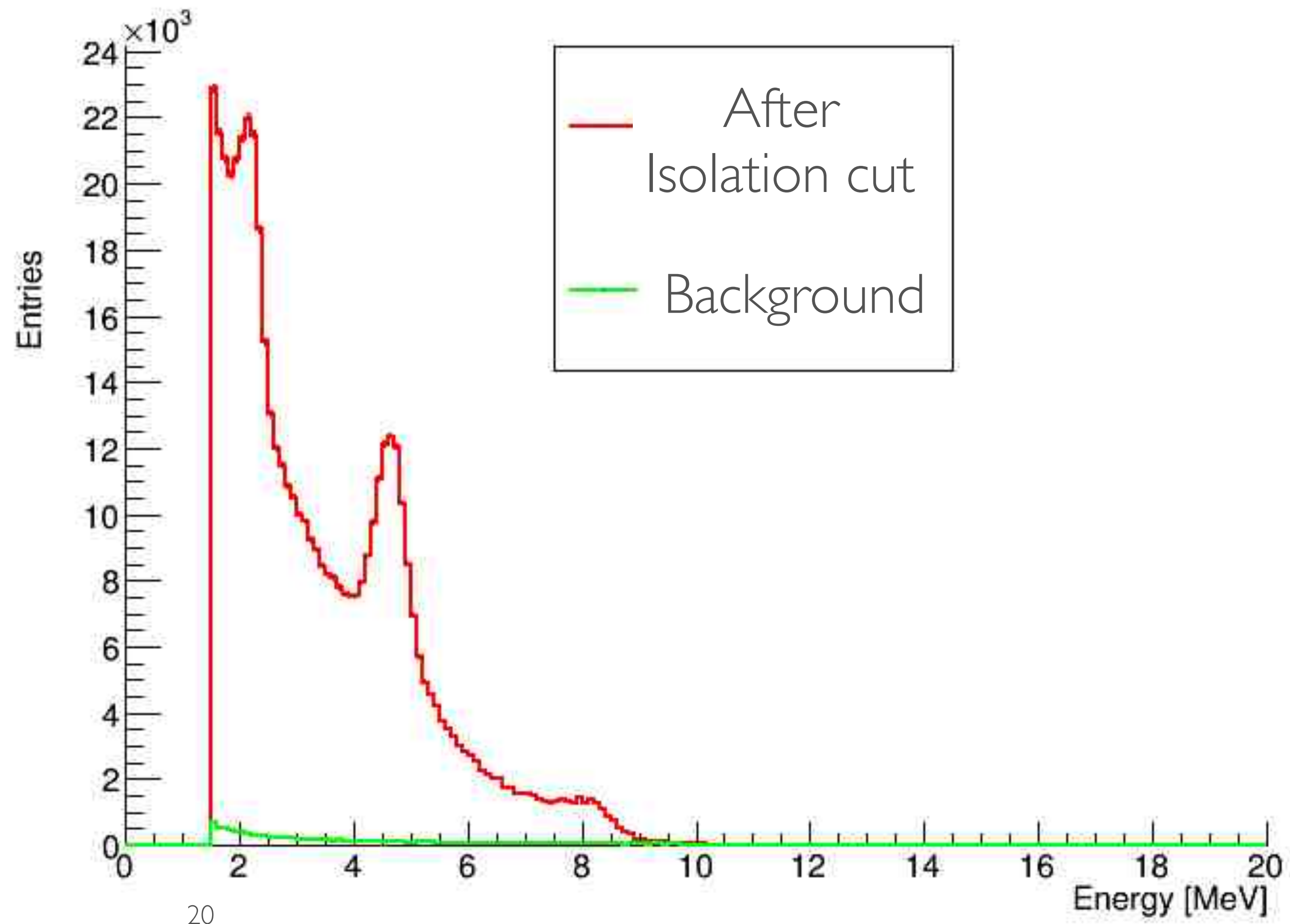
COUPURE D'ISOLATION

- Etudier chaque cellule de manière indépendante donc on s'intéresse aux événements dont l'énergie est contenue dans une cellule
- Coupure d'isolation
 - L'énergie reconstruite dans les cellules adjacentes doit être inférieure à 0.5 MeV
- Meilleure discrimination du pic à 4.4 MeV



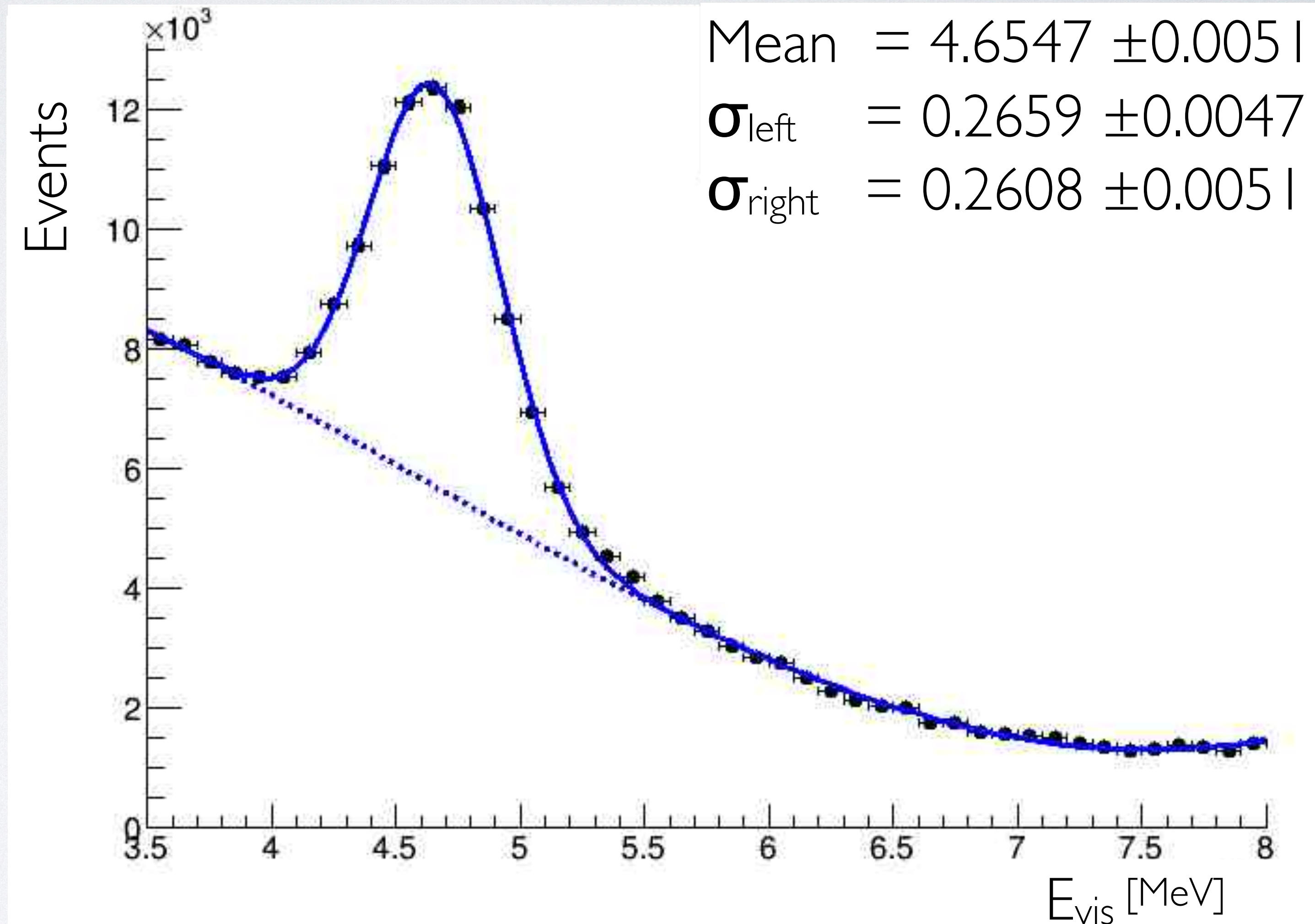
EVALUATION DU BRUIT DE FOND

- Bruit de fond évalué lorsque la source est située 3 cellules plus loin
- $\sim 3\%$ des événements
- Spectre du bruit de fond quasiment plat



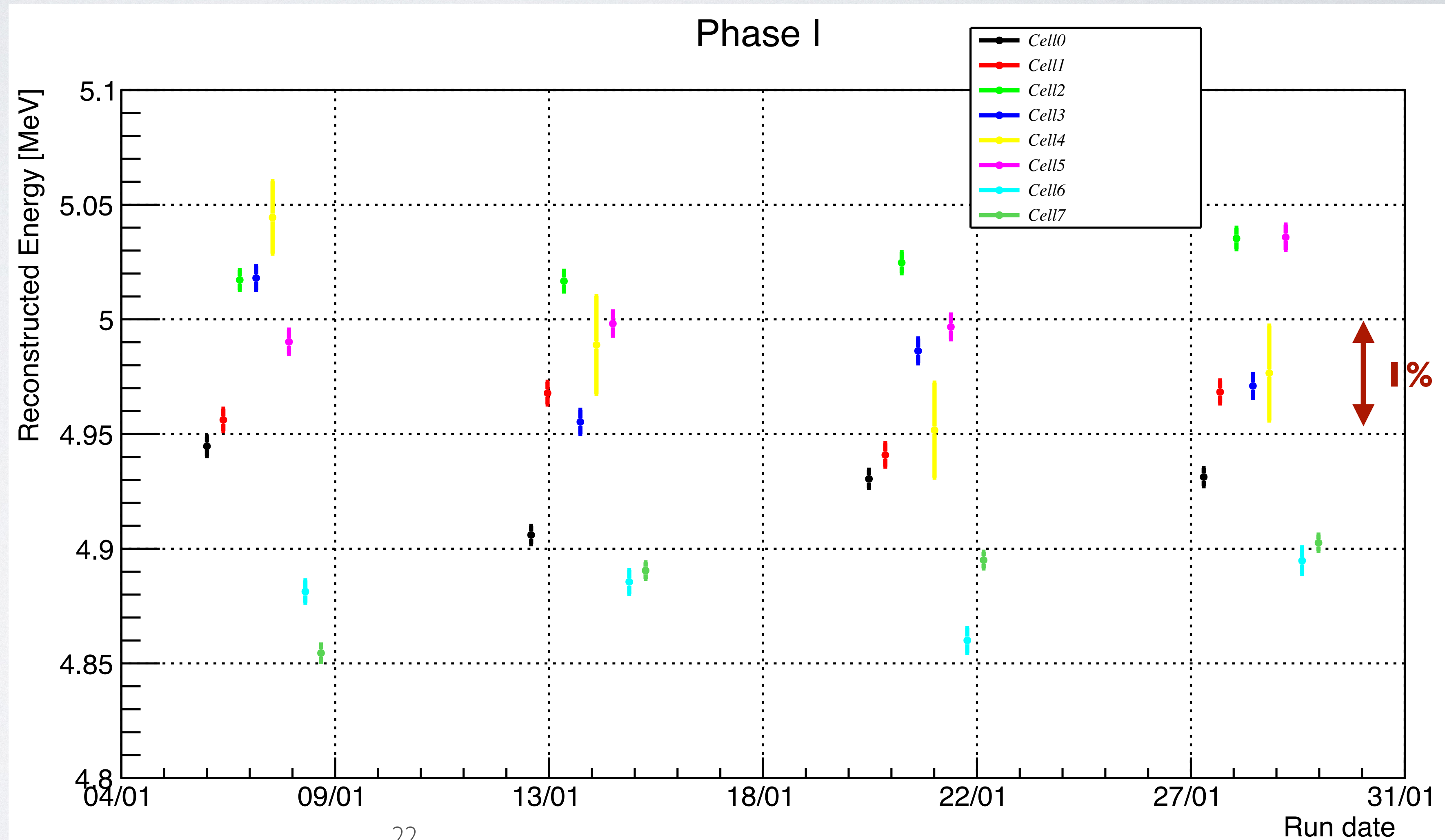
MESURE DE LA MOYENNE ET DE LA LARGUEUR DES PICS D'ENERGIE

- Valeurs du pic extraites par ajustement avec une gaussienne asymétrique et un polynôme



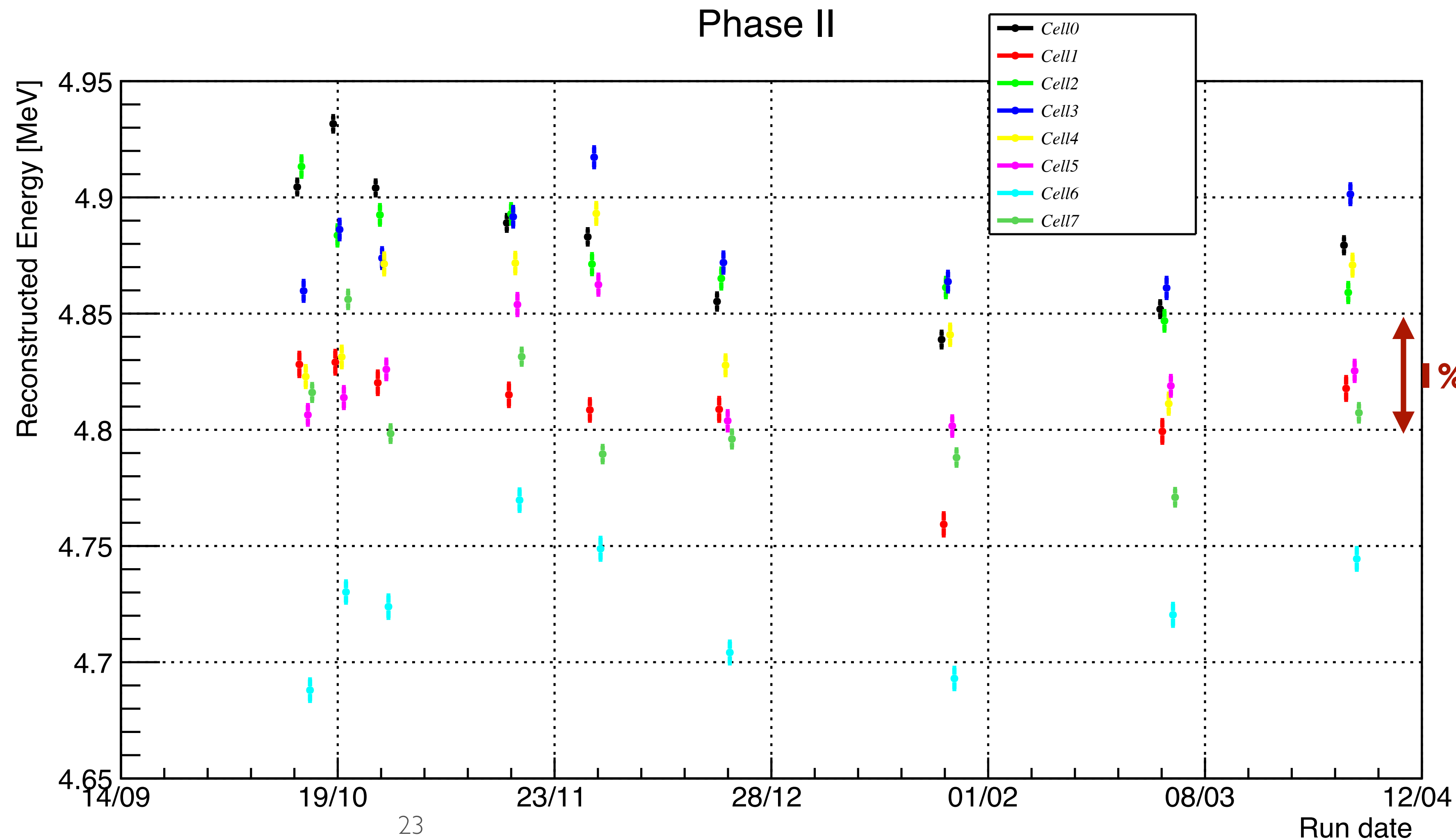
RESULTATS : PHASE I

- Variation de $\sim 1\%$ au cours du temps pour la reconstruction de chacune des cellules sauf la cellule 4 (défectueuse pendant la phase I)
- Ecart maximum de $\sim 4\%$ de l'énergie reconstruite entre les différentes cellules



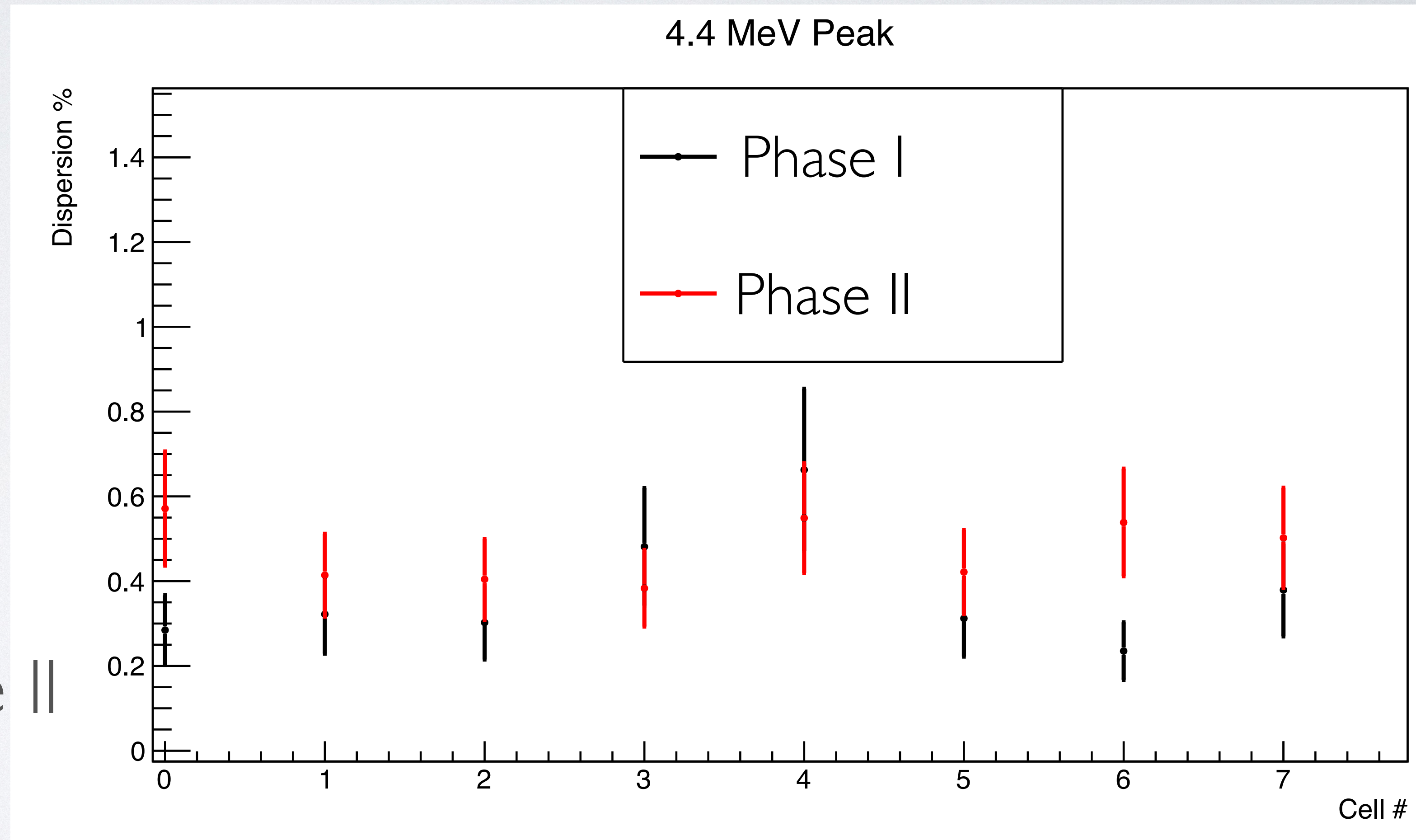
RESULTATS : PHASE II

- Même tendance de variation au cours du temps pour chaque cellule que lors de la phase I
- Variation de l'énergie entre les cellules similaire à la phase I



STABILITE DANS LE TEMPS

- Dispersion (écart-type) de l'énergie reconstruite au cours du temps pour chaque cellule
~0.35% pour la phase I
et ~0.45% pour la phase II



UNIFORMITÉ DE LA RÉPONSE

- Dispersion (écart-type) de la moyenne temporelle de l'énergie reconstruite pour les cellules $\sim 1.15\%$ pour les phases I et II

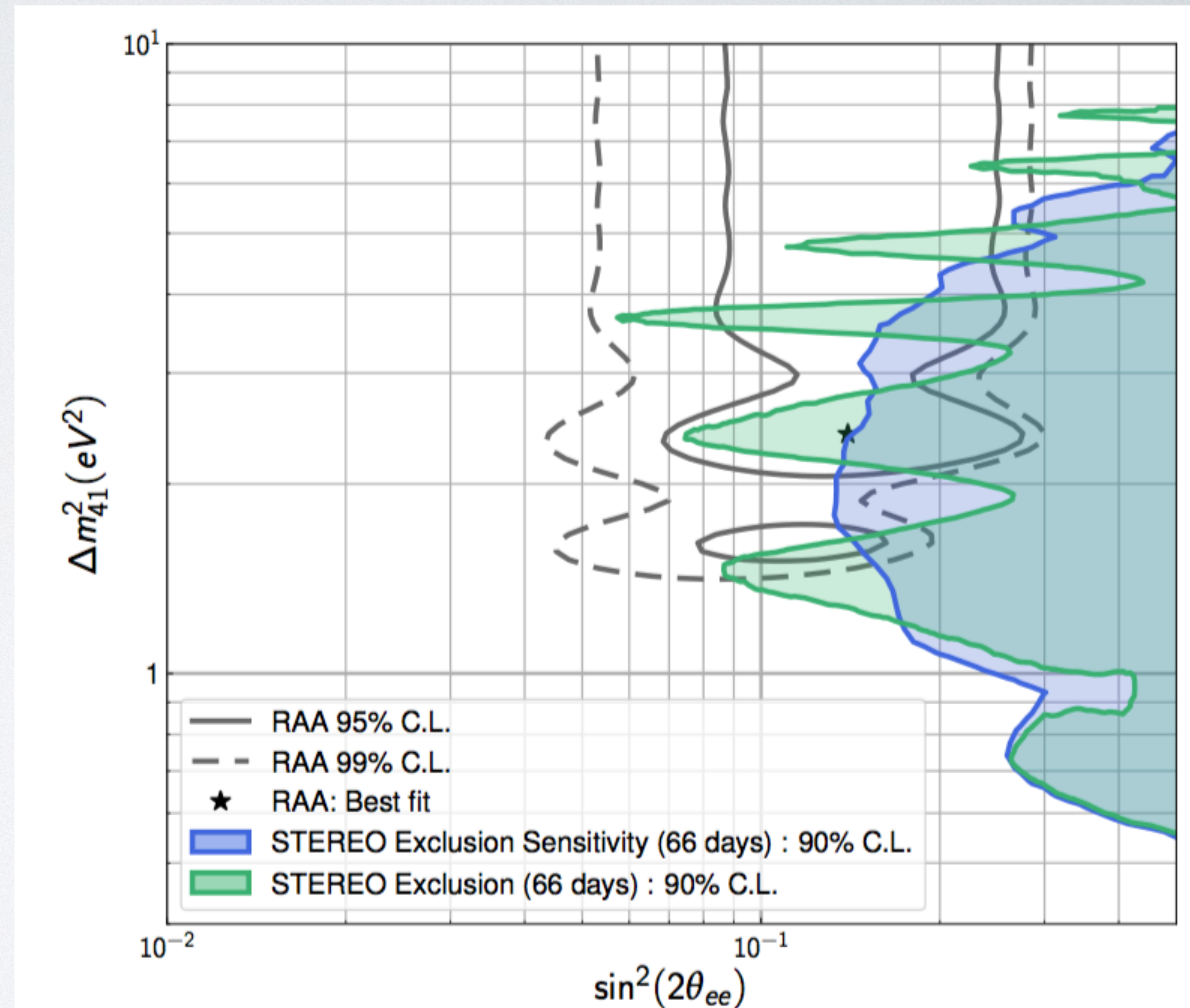
Phase	Cell 0	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Cell 5	Cell 6	Cell 7	All Cells
Phase I (%)	0.28±0.08	0.32±0.09	0.30±0.09	0.48±0.14	0.66±0.19	0.31±0.09	0.23±0.07	0.38±0.11	1.15±0.12
Phase II (%)	0.57±0.13	0.41±0.10	0.40±0.10	0.38±0.09	0.55±0.13	0.42±0.10	0.54±0.13	0.50±0.12	1.18±0.10

CONCLUSION

- La stabilité dans le temps et l'uniformité de la réponse sont des éléments nécessaires dans l'analyse des données d'oscillation.
- Cette étude a permis de dériver les incertitudes liées à la non-uniformité de la réponse et à la variation dans le temps qui sont respectivement de l'ordre de $\sim 1.15\%$ et $\sim 0.45\%$

CONCLUSION

- Les résultats présentés ici ont été utiles dans la recherche de neutrino stérile présentée à la conférence Neutrino 2018_[2]
- Valeurs privilégiés par RAA rejetés à 97.5% CL



[1] G. Mention, M. Fechner, Th. Lasserre, Th. A. Mueller, D. Lhuillier, M. Cribier, and A. Letourneau. The Reactor Antineutrino Anomaly . Phys. Rev., D83 :073006, 2011.

[2] J. Lamblin on behalf of the STEREO collaboration. Latest Results of the STEREO Experiment. <https://zenodo.org/record/1286998#.Wx-QL2Z7Ek8>, DOI : 10.5281

BACKUP

VALEURS DE DISPERSION

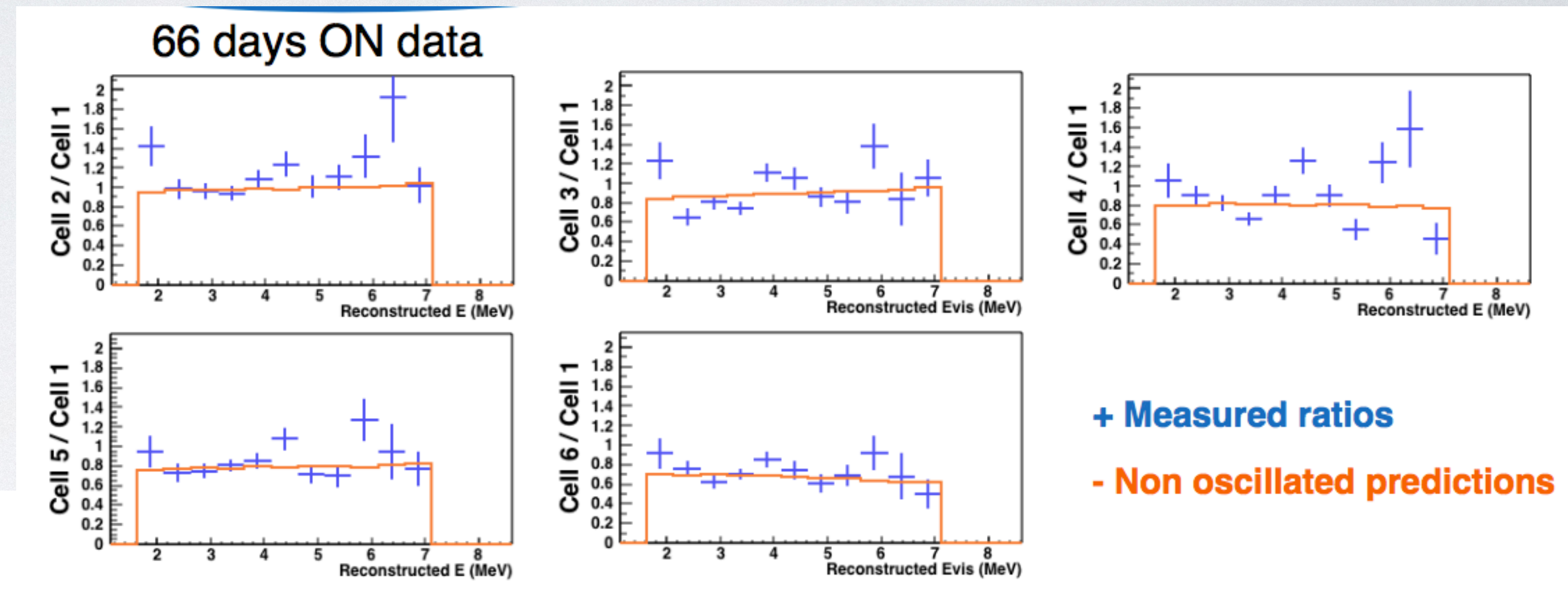
Phase	Cell 0	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Cell 5	Cell 6	Cell 7	All Cells
Phase I (%)	0.28± 0.08	0.32± 0.09	0.30± 0.09	0.48± 0.14	0.66± 0.19	0.31± 0.09	0.23± 0.07	0.38± 0.11	1.15± 0.12
Phase II (%)	0.57± 0.13	0.41± 0.10	0.40± 0.10	0.38± 0.09	0.55± 0.13	0.42± 0.10	0.54± 0.13	0.50± 0.12	1.18± 0.10

SOURCE DE CALIBRATION

Source	⁶⁸ Ge	¹²⁴ Sb	¹³⁷ Cs	⁵⁴ Mn	⁶⁵ Zn	⁶⁰ Co	²⁴ Na	AmBe
γ -ray energies (MeV)	0.511	0.603	0.662	0.835	1.11	1.17	1.37	2.22 (H(n, γ))
	0.511	1.69	-	-	-	1.33	2.75	4.43
Initial Activity (kBq)	90	2.4	37	90	3.3	50	5.9	$250 \cdot 10^3$ (²⁴¹ Am)

Table 3. γ -ray and neutron sources used for calibration of the STEREO experiment.

ANALYSE DES OSCILLATION PAR MÉTHODE DES RATIO



Cell 1 taken as reference

→ compare measured and simulated **ratios**

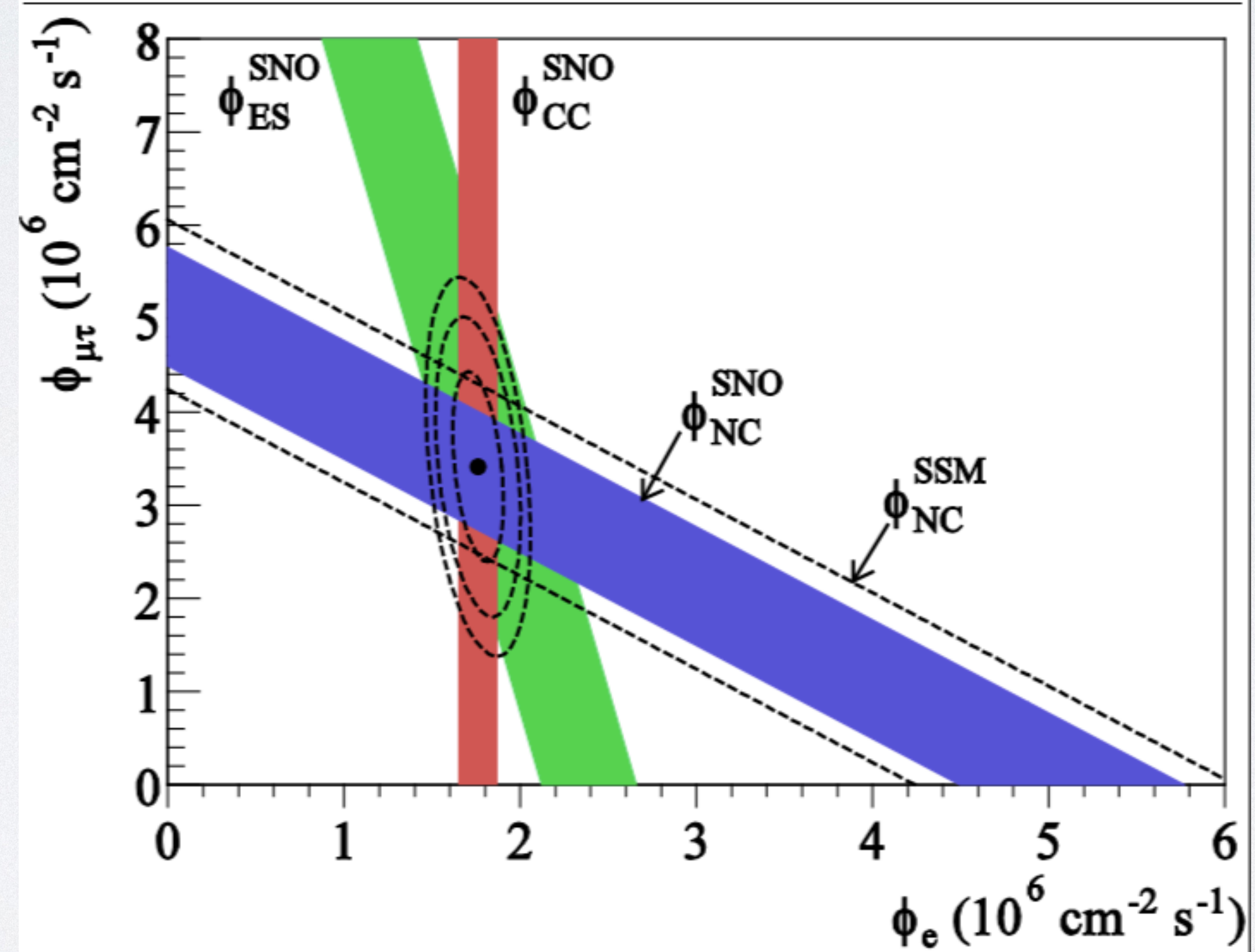
$$R_{i,l}^{\text{Data}} = \frac{\text{Data}_{i,l}}{\text{Data}_{i,1}} \quad R_{i,l}^{\text{MC}} = \frac{\text{Model}_{i,l}(\alpha)}{\text{Model}_{i,1}(\alpha)}$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_{\text{Ebin}}} \left(\overrightarrow{R_i^{\text{Data}}} - \overrightarrow{R_i^{\text{MC}}(\alpha)} \right)^t V_i^{-1} \left(\overrightarrow{R_i^{\text{Data}}} - \overrightarrow{R_i^{\text{MC}}(\alpha)} \right) + \sum_{l=1}^{N_{\text{Cells}}} \left(\frac{\alpha_l^{\text{Norm}}}{\sigma_l^{\text{Norm}}} \right)^2 + \sum_{l=0}^{N_{\text{Cells}}} \left(\frac{\alpha_l^{\text{Escale}}}{\sigma_l^{\text{Escale}}} \right)^2$$

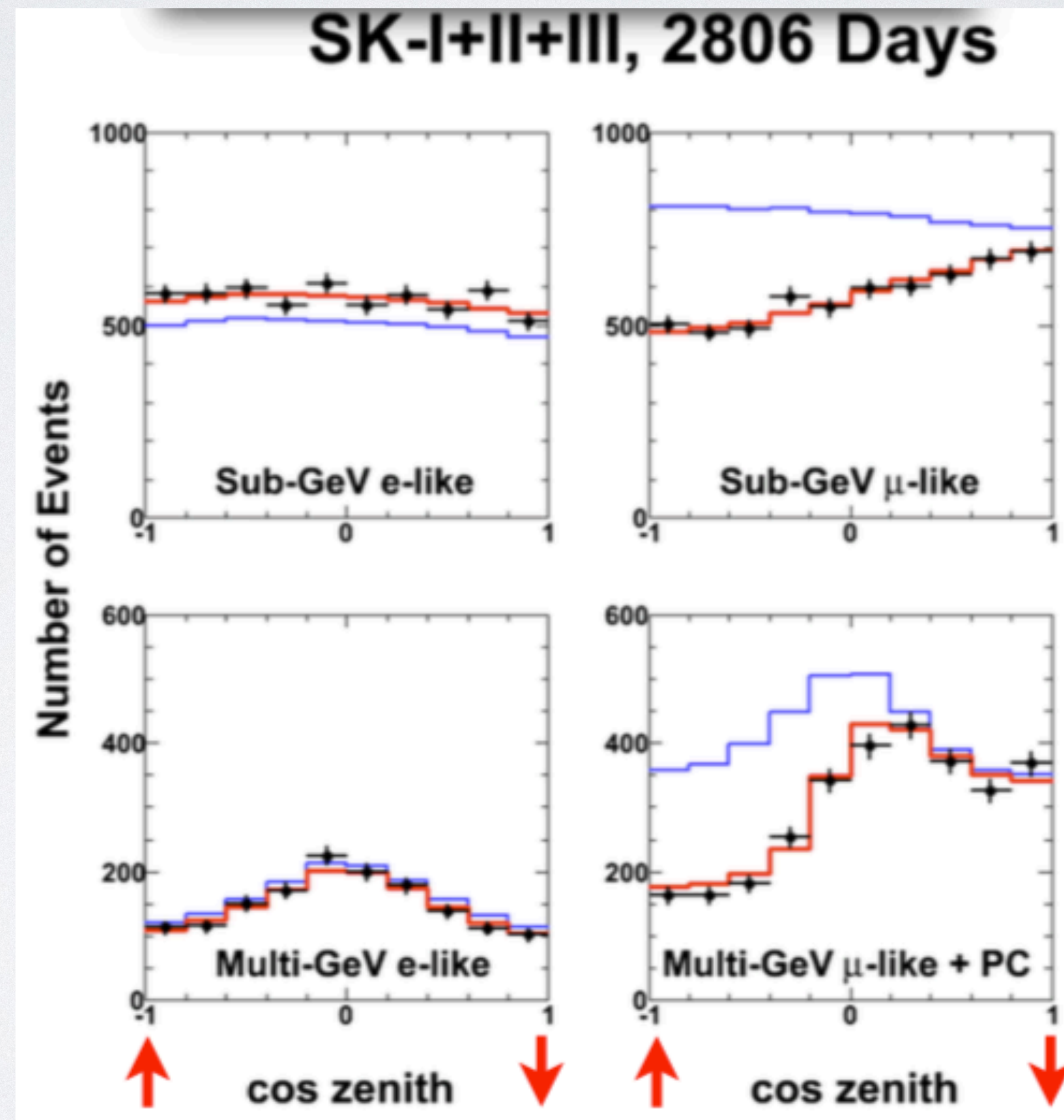
V_i : covariance matrix accounting for the reference cell common to all ratios.

SNO

$$\Phi_{\text{ssm}} = 5.05^{+1.01}_{-0.81} \quad \Phi_{\text{sno}} = 5.09^{+0.44+0.46}_{-0.43-0.43}$$



SUPERKAMIOKANDE



MODELE STANDARD SOLAIRE

