

Mesure de l'angle de mélange θ_{13} avec les deux détecteurs de Double Chooz

Valérian Sibille

encadré par David Lhuillier

IRFU/SPhN

2 juillet 2015



Outline

① Les neutrinos

Le neutrino, une particule singulière
Oscillations

② L'expérience

Un site avec deux détecteurs
Détection
Les bruits de fond

③ Le bruit de fond cosmogénique

Base de spectres
Outil de covariance
Sélection d'évènements dans les données
Sensibilité à l' ^8He

④ Autres contributions

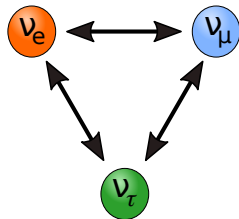
Mesure de pesée
Evolution du combustible réacteur

⑤ Conclusion

Le neutrino, une particule singulière

- Masse faible mais non nulle

⇒ Oscillations e, μ, τ



- États de saveur ν_e, ν_μ, ν_τ pas états propres de masse ν_1, ν_2, ν_3

$$U_{PMNS} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13} e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

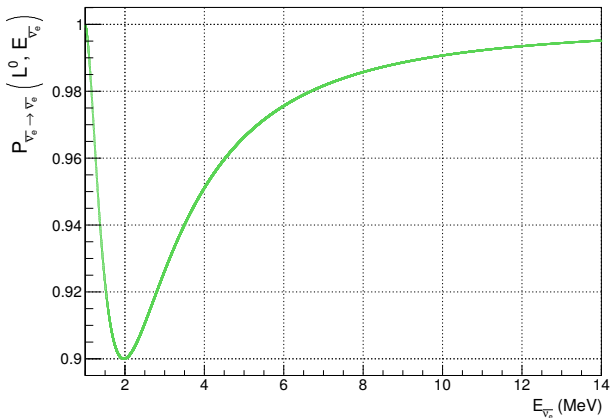


Les oscillations de $\overline{\nu}_e$

- Survie de $\overline{\nu}_e$ produit à $E_{\overline{\nu}_e}$ et détecté à L de la source

$$P_{\overline{\nu}_e \rightarrow \overline{\nu}_e}(L, E_{\overline{\nu}_e}) \simeq 1 - \sin^2(2\theta_{13}) \sin^2\left(\frac{\Delta m_{31}^2 L}{4E_{\overline{\nu}_e}}\right)$$

- $\theta_{13} \neq 0$: distorsion dans le spectre détecté à $L^0 = 1\text{km}$



Outline

① Les neutrinos

Le neutrino, une particule singulière
Oscillations

② L'expérience

Un site avec deux détecteurs
Détection
Les bruits de fond

③ Le bruit de fond cosmogénique

Base de spectres
Outil de covariance
Sélection d'évènements dans les données
Sensibilité à l' ^8He

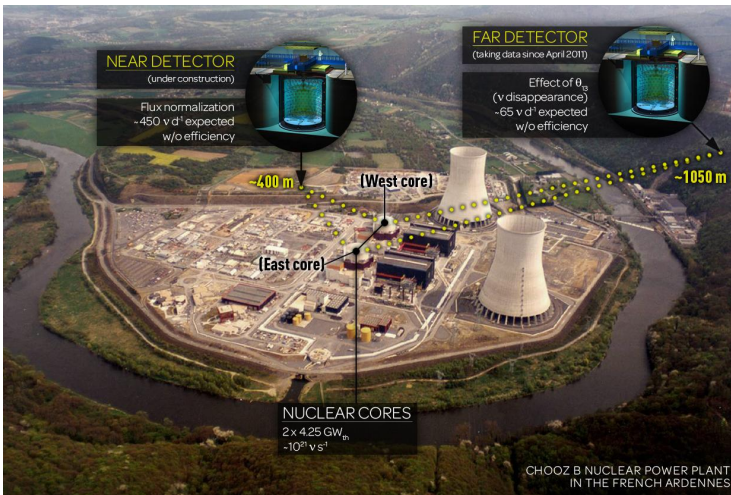
④ Autres contributions

Mesure de pesée
Evolution du combustible réacteur

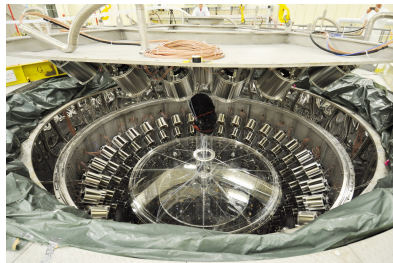
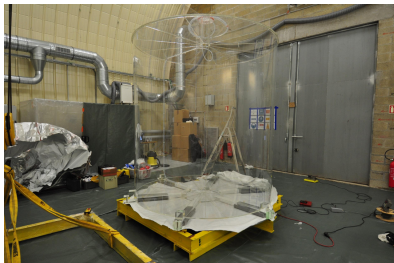
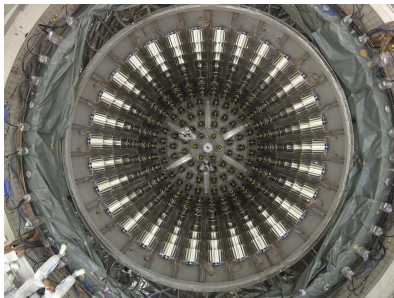
⑤ Conclusion

Une expérience de neutrinos de réacteurs

- Etudier la survie des $\bar{\nu}_e$ pour évaluer θ_{13}

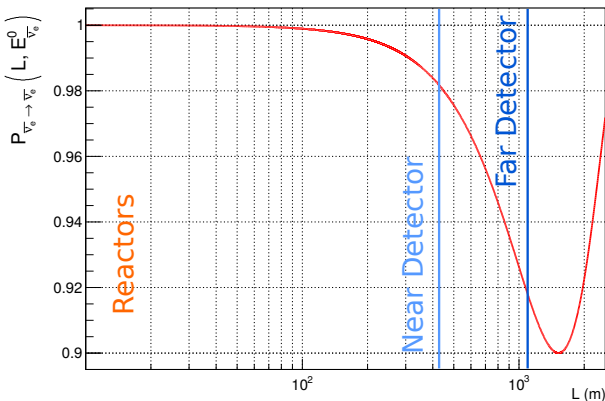


Le détecteur proche



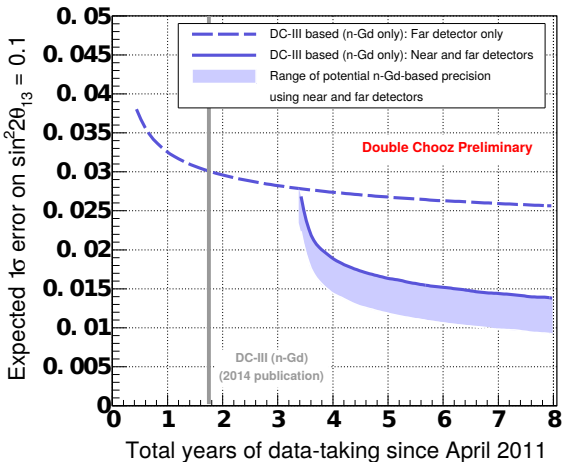
Vers une mesure différentielle

- Évaluation de la distorsion du spectre induite par θ_{13}
 - ⇒ Bonne connaissance du spectre centrale nécessaire
 - ⇒ S'affranchir de cette connaissance par un détecteur proche
- Oscillation $L \rightarrow P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e}(L, E_{\bar{\nu}_e}^0)$ avec $E_{\bar{\nu}_e}^0 = 3\text{MeV}$



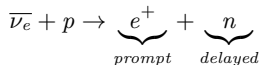
Potentiel de l'analyse

- Précision comparable à Daya Bay avec deux détecteurs



Détecter des antineutrinos

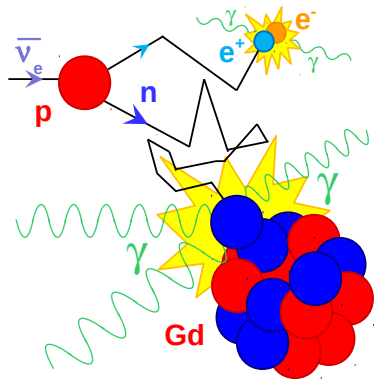
- Par courants chargés



- Liquide scintillant signale les dépôts d'énergie

- Signal retardé discriminant

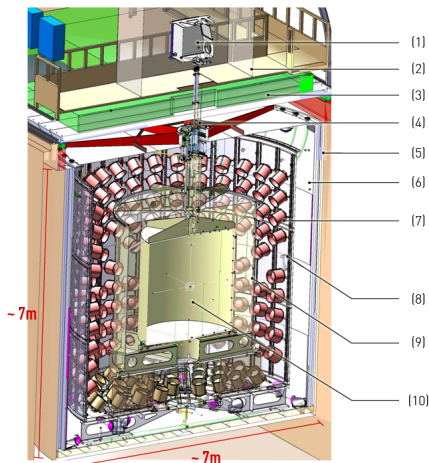
- ✓ énergie totale de $\sim 8\text{MeV}$ sous forme de quelques γ
- ✓ corrélation temporelle avec le "prompt" ($31.1\mu\text{s}$)
- ✓ corrélation spatiale avec le "prompt" ($\leq 1\text{m}$)



Un détecteur dans Double Chooz

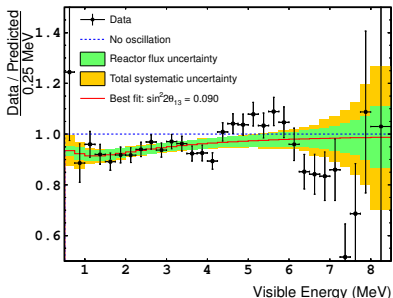
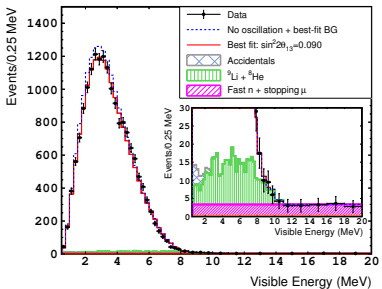
- Détecteur intérieur (ID) [7 → 10]
 - ✓ Cible [10] de 8t dopée au Gd
 - ✓ Récupérateur de γ [9] de 18t rempli de liquide scintillant
 - ✓ 390 PMT dans un tampon [8] non-scintillant
- Autres blindages
 - ✓ IV [6] séparé optiquement du ID pour détecter les μ
 - ✓ 15cm d'acier [5]
 - ✓ OV [3] meilleure précision sur les μ (et voisinage)

- | | |
|---------------------|--|
| (1) Glove Box (GB) | (6) Inner Veto (IV) |
| (2) Clean Tent | (7) Inner Detector
Photomultiplier (ID-PMT) |
| (3) Outer Veto (OV) | (8) Buffer Volume (BF) |
| (4) Chimney | (9) Gamma-Catcher (GC) |
| (5) Shielding | (10) Neutrino Target (NT) |



Résultats avec un seul détecteur

- Troisième publication (Gd-III) (JHEP 10 (2014) 086)

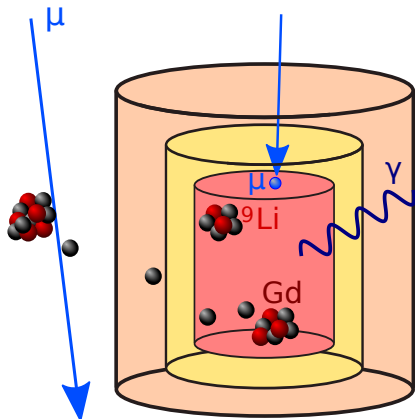


- Précision à 3- σ pour 467.9 jours : $\sin^2(2\theta_{13}) = 0.090^{+0.032}_{-0.029}$

⇒ Maîtrise des bruits de fond

Les bruits de fond dans Double Chooz

- Accidentel : évènements non reliés par un processus physique passant les coupures
- Corrélé : évènements reliés par un processus physique
 - ✓ neutrons rapides
 - ✓ muons s'arrêtant
 - ✓ noyaux cosmogéniques (^9Li et ^8He) : voie $\beta - n$



Outline

① Les neutrinos

Le neutrino, une particule singulière
Oscillations

② L'expérience

Un site avec deux détecteurs
Détection
Les bruits de fond

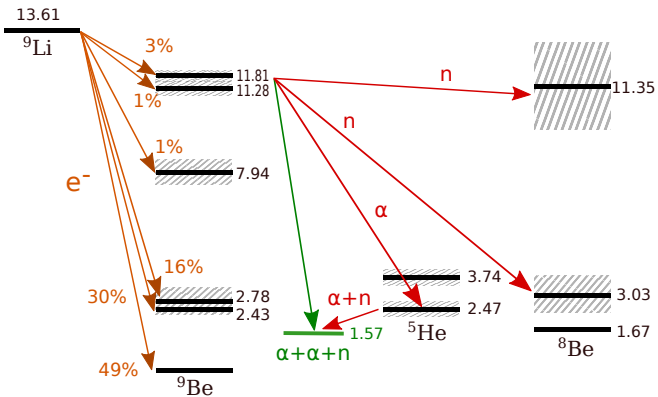
③ Le bruit de fond cosmogénique

Base de spectres
Outil de covariance
Sélection d'évènements dans les données
Sensibilité à l' ^8He

④ Autres contributions

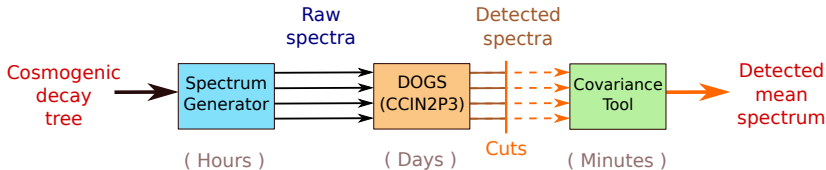
Mesure de pesée
Evolution du combustible réacteur

⑤ Conclusion

Aperçu du travail à réaliser : exemple du ^9Li 

- Prédire l'énergie de **toutes** les particules intervenant
- Modéliser les largeurs de désintégration
- Traiter les branchements inconnus (9 pour ^8He et 24 pour ^9Li)

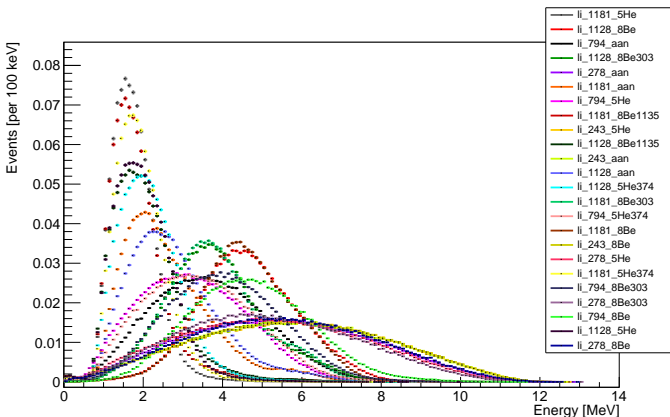
Architecture de la chaîne de simulation



- Le **Spectrum Generator** produit un spectre brut **par** branchement inconnu
 - ✓ Traitement relativiste complet
 - ✓ Désintégration à n - corps par récurrence
 - ✓ Largeurs gaussiennes
- Le **Covariance Tool** estime
 - ✓ L'effet des branchements inconnus
 - ✓ L'impact du magnétisme faible

Mélange de la base de données

- Après simulation du détecteur à Lyon



⇒ Reconstruire un arbre de désintégration (XML)

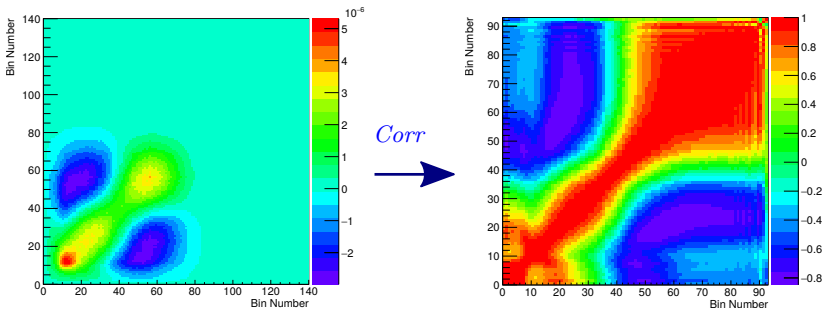
⇒ Estimer l'impact des paramètres inconnus sur l'arbre moyen

Matrices de covariance et de corrélation

- Calculer le spectre pour chaque jeu de paramètres (itération $n + 1$)
- Mettre à jour la matrice avec le vecteur de contenu \mathbf{X}_{n+1} de chaque nouveau spectre

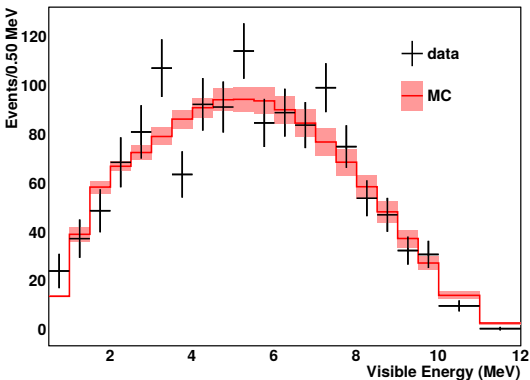
$$\widehat{Var}_{n+1}(\mathbf{X}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n+1} (\mathbf{X}_k - \bar{\mathbf{X}}_{n+1})^t (\mathbf{X}_k - \bar{\mathbf{X}}_{n+1})$$

- Arrêt lorsque les \widehat{Var}_{n+k} avec $k > 0$ sont proches de \widehat{Var}_n (\sim Cauchy)



Comparaison avec les données

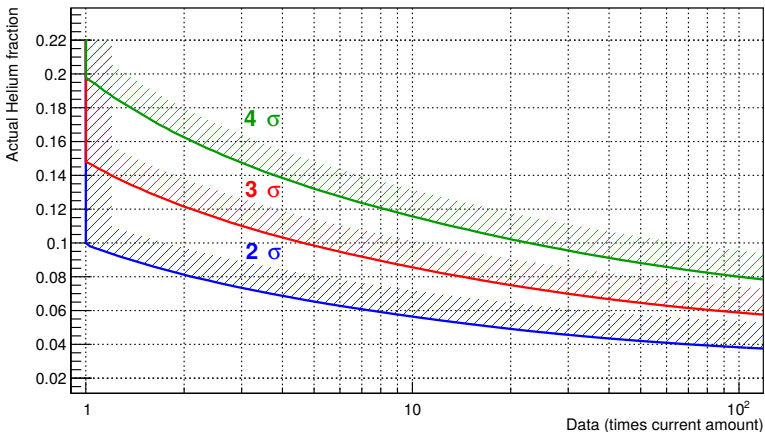
- Spectre moyen issue de l'outil de covariance et données (publication Gd-III)



- Sélection des données avec une fonction de vraisemblance
 - ✓ Distance candidat - μ
 - ✓ Nombres de captures neutroniques après μ

Contours d'exclusion

- Observation de la fraction d' ^8He dans les données



- S'il y a plus de $\sim 10\%$ d' ^8He on devrait l'observer en 2016 (3- σ)

Outline

① Les neutrinos

Le neutrino, une particule singulière
Oscillations

② L'expérience

Un site avec deux détecteurs
Détection
Les bruits de fond

③ Le bruit de fond cosmogénique

Base de spectres
Outil de covariance
Sélection d'évènements dans les données
Sensibilité à l' ^8He

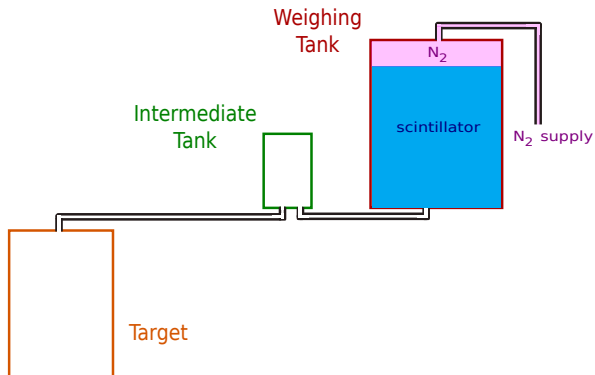
④ Autres contributions

Mesure de pesée
Evolution du combustible réacteur

⑤ Conclusion

Mesure de pesée

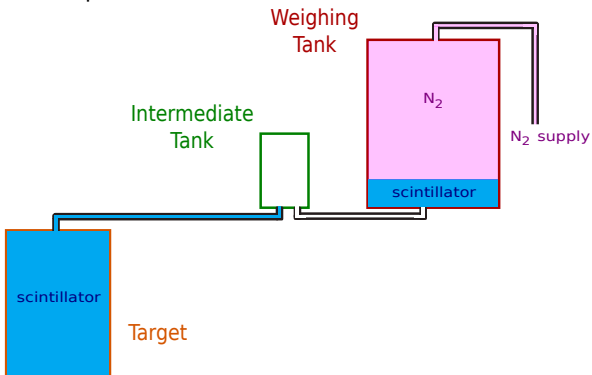
- Connaissance du nombre de ^1H cibles primordiale
⇒ Masse à 0.2% près



⇒ Première mesure $M_0 = 10638 \text{ kg}$

Système après remplissage

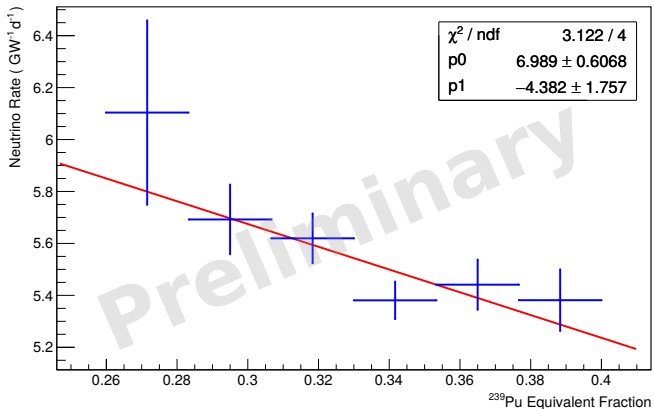
- Thermalisation
- Prise en compte de la masse d'azote
- Prise en compte des tubes
- Dérive des capteurs



⇒ Corrections sur $M_1 = 2334$ kg faites pour remplir le cahier

Evolution du combustible réacteur

- Fraction α_{Pu} effective pour les deux réacteurs obtenue par simulation



⇒ Le taux de $\bar{\nu}_e$ est bien corrélé à α_{Pu}

⇒ A renforcer avec les spectres et le détecteur proche

Outline

① Les neutrinos

Le neutrino, une particule singulière
Oscillations

② L'expérience

Un site avec deux détecteurs
Détection
Les bruits de fond

③ Le bruit de fond cosmogénique

Base de spectres
Outil de covariance
Sélection d'évènements dans les données
Sensibilité à l' ^8He

④ Autres contributions

Mesure de pesée
Evolution du combustible réacteur

⑤ Conclusion

Conclusion et perspectives

- ✓ Générateur de spectres cosmogéniques
- ✓ Outil pour estimer les corrélations au sein des spectres simulés
 - ⇒ Article sur les spectres des cosmogéniques (en rédaction)
- ✓ Etude de sensibilité à l' ^8He
- ✓ Détermination du nombre de ^1H dans la cible du second détecteur
- ✓ Sensibilité à la quantité de ^{239}Pu
- ✓ Enseignement (Optique, Plasmas, Quantique)
- Exploitation des données du détecteur proche
- Analyse en forme pour ^{239}Pu

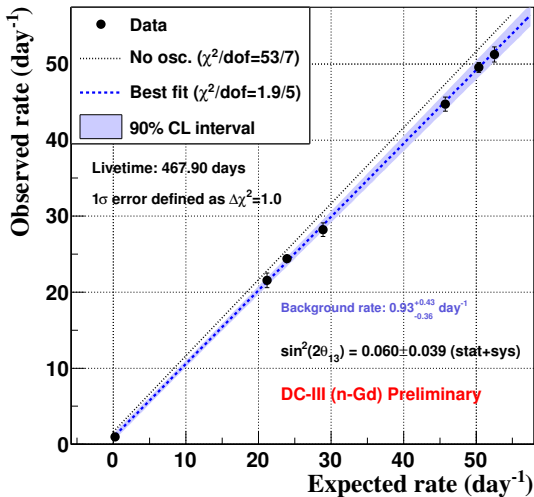
Merci

Merci pour votre attention

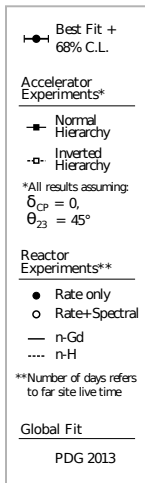
Background	Rate (d^{-1})	Gd-III/Gd-II
${}^9\text{Li} + {}^8\text{He}$	$0.97^{+0.41}_{-0.16}$	0.78
Fast-n + stop- μ	0.604 ± 0.051	0.52
Accidental	0.070 ± 0.003	0.27
${}^{13}\text{C}(\alpha, n){}^{16}\text{O}$ reaction	< 0.1	not reported in Gd-II
${}^{12}\text{B}$	< 0.03	not reported in Gd-II

Source	Uncertainty (%)	Gd-III/Gd-II
Reactor flux	1.7	1.0
Detection efficiency	0.6	0.6
$^9\text{Li} + ^8\text{He}$ BG	+1.1 / -0.4	0.5
Fast-n and stop- μ BG	0.1	0.2
Statistics	0.8	0.7
Total	+2.3 / -2.0	0.8

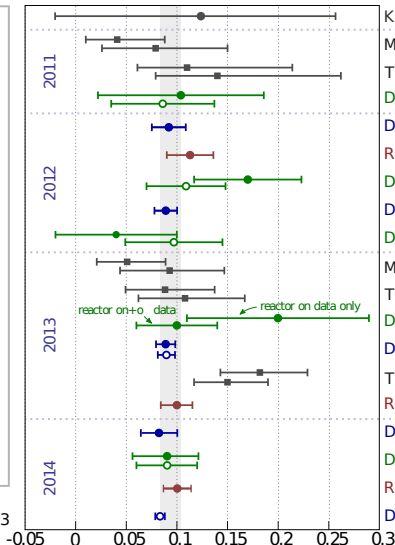
Reactor Rate Modulation



Comparaison avec les autres expériences



$\sin^2 2\theta_{13}$

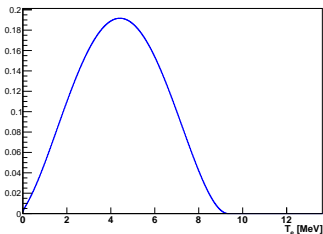
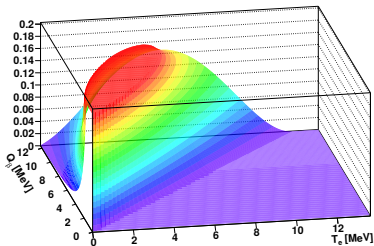


KamLAND	[1009.4771]
MINOS 8.2×10^{20} PoT	[1108.0015]
T2K 1.43×10^{20} PoT	[1106.2822]
DC 97 Days	[1112.6353]
Daya Bay 49 Days	[1203.1669]
RENO 222 Days	[1204.0626]
DC 228 Days	[1207.6632]
Daya Bay 139 Days	[1210.6327]
DC n-H Analysis	[1301.2948]
MINOS 13.9×10^{20} PoT	[1301.4581]
T2K 3.01×10^{20} PoT	[1304.0841]
DC RRM Analysis	[1305.2734]
Daya Bay 190 Days	[1310.6732]
T2K 6.57×10^{20} PoT	[1311.4750]
RENO 403 Days	[TAUP2013]
Daya Bay 190 Days n-H	[1406.6468]
DC 468 Days	[1406.7763]
RENO 795 Days	[Neutrino2014]
Daya Bay 563 Days	[Neutrino2014]

Ingrédients pour chaque désintégration

- Moment e^- avec BESTIOLE : génération de cartes (T_e, Q_β)

⇒ variation de l'énergie disponible Q_β



- Toutes les autres particules avec une cinématique relativiste

✓ Recul pris en compte par Boost

✓ Désintégration à n - corps par récurrence

$$M_3 = \sqrt{(P_3 + P_2 + P_1)^2}$$

