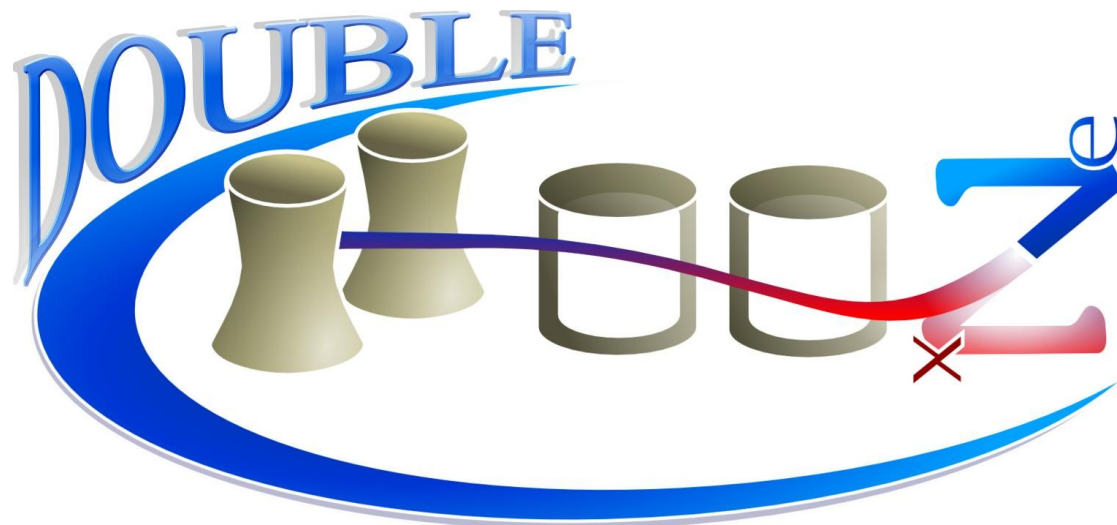




Réunion Double Chooz, Aix-la-Chapelle, octobre 2006

Double Chooz



Guillaume MENTION
(post-doc 2^{ème} année)

Séminaire SPP

18 décembre 2006

Sommaire

I. Les enjeux scientifiques du domaine

II. Double Chooz

le concept

les points clefs de l'expérience

III. Les contributions de Saclay

Bilan sur θ_{13}

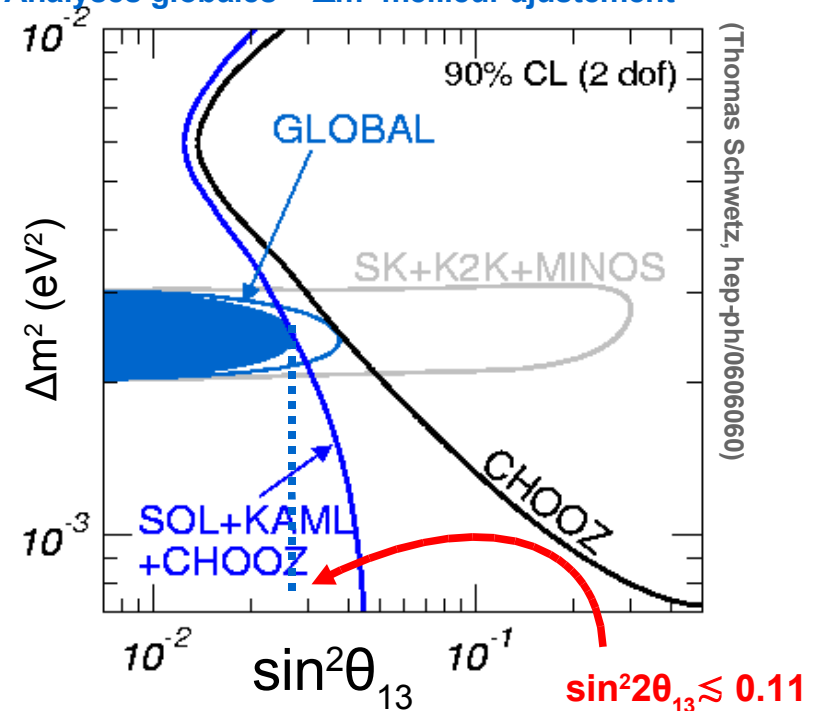
$$U_{\text{MNSP}} = U_{\text{atm}} \times \begin{pmatrix} \cos \theta_{13} & 0 & e^{-i\delta_{\text{cp}}} \sin \theta_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{i\delta_{\text{cp}}} \sin \theta_{13} & 0 & \cos \theta_{13} \end{pmatrix} \times U_{\text{sol}} \times U_{\text{Maj}}^{\text{diag}}$$

parameter	bf±1σ	1σ acc.	2σ range	3σ range
Δm_{21}^2 [10^{-5}eV^2]	7.9 ± 0.3	4%	7.3 – 8.5	7.1 – 8.9
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2]	$2.5^{+0.20}_{-0.25}$	10%	2.1 – 3.0	1.9 – 3.2
$\sin^2 \theta_{12}$	$0.30^{+0.02}_{-0.03}$	9%	0.26 – 0.36	0.24 – 0.40
$\sin^2 \theta_{23}$	$0.50^{+0.08}_{-0.07}$	16%	0.38 – 0.64	0.34 – 0.68
$\sin^2 \theta_{13}$	–	–	≤ 0.025	≤ 0.041

(Ajustement aux données globales, T. Schwetz, hep-ph/0606060)

Limite de CHOOZ : $\sin^2 2\theta_{13} \lesssim 0.14$

Analyses globales + Δm^2 meilleur ajustement

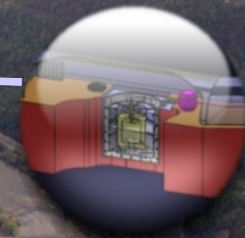
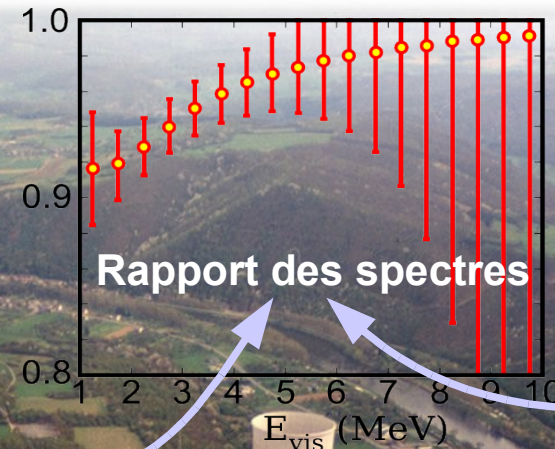


Le site, le concept de l'expérience



Site proche :

$L \sim 280 \text{ m}$ ($\sim 80 \text{ m}$ équiv. eau)
 $\sim 550 \text{ evt/j}$ (ϵ incluses)



Site loin :

$L = 1\,050$
($\sim 300 \text{ m.é.e.}$)
 $\sim 50 \text{ evt/j}$
(ϵ incluses)

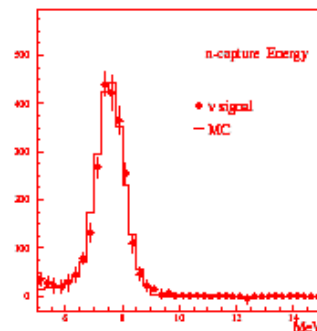
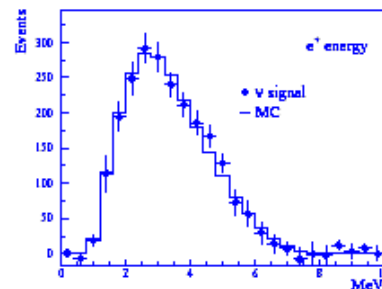
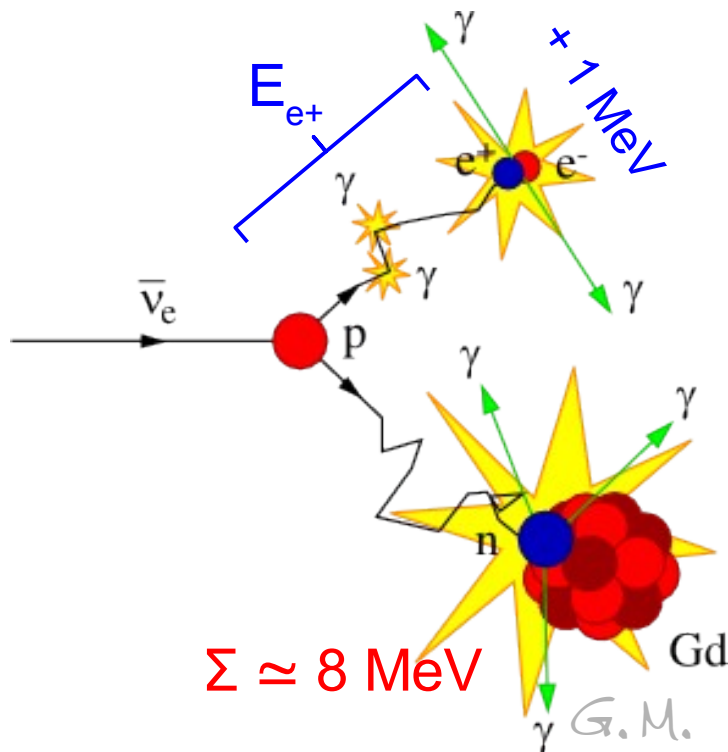
$P_{\text{th}} = 2 \times 4,7 \text{ GW}_{\text{th}}$
2 détecteurs 8,3 t

G.M.

Le canal $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$: pur, simple mais toujours porteur (50 ans de physique...)

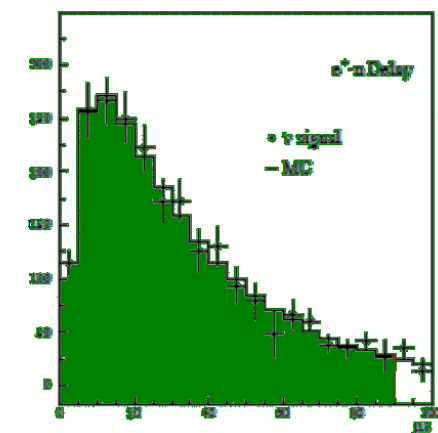
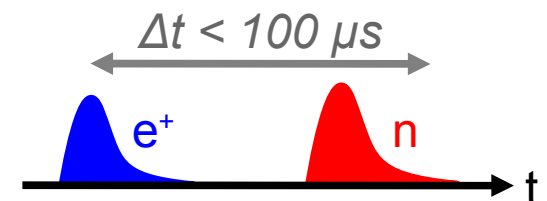
- ◆ Mesure « propre » de θ_{13} : $P_{ee} \simeq 1 - \sin^2(2\theta_{13}) \sin^2\left(\frac{\Delta m^2 L}{4E}\right)$
- ◆ Identification des $\bar{\nu}_e$: **en coïncidence** (permet de réduire fortement les bruits de fond)

(1) $0,5 < E_{\text{immédiat}} < 10 \text{ MeV}$



(2) $6 < E_{\text{retardé}} < 10 \text{ MeV}$

(3) $1 \mu\text{s} < \Delta t < 100 \mu\text{s}$



Conception des détecteurs

cible $\bar{\nu}_e$ (~ 8,3 tonnes LS dopé en Gd)

collecteur γ (55 cm, LS)

Buffer (105 cm, huile minérale)

Véto (50 cm, huile minérale + fluors)

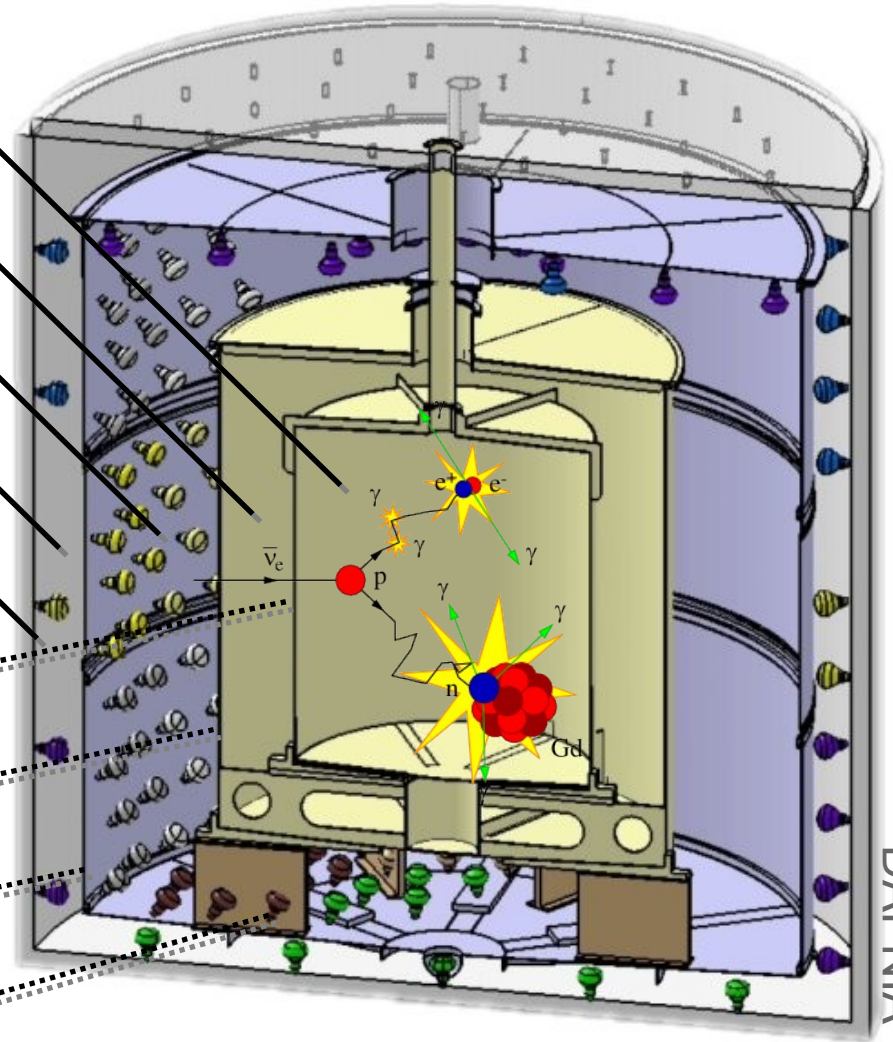
Blindage (17 cm acier)

Enceinte cible acrylique

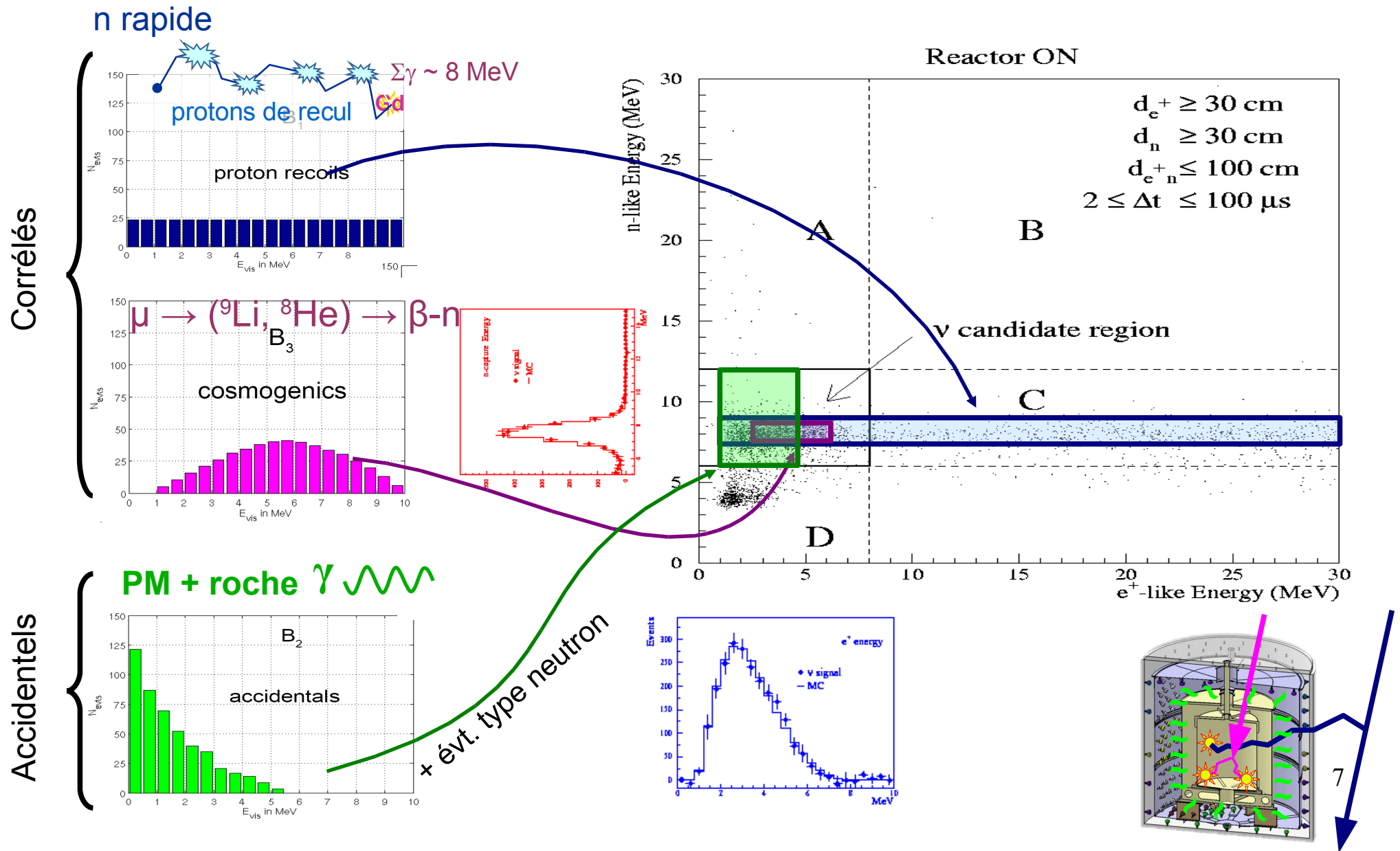
Enceinte collecteur γ acrylique

Réservoir du buffer (acier inox.)
& structure support PM

PM (354 + 80, 10")



Le signal et les bruits de fond



Les systématiques

Données-Théorie

Biais systématiques

méthode *paramétrique*

$$\chi^2 = \min_{\{\alpha_{i,k}^D\}} \sum_D \sum_{i=1}^{N_b} \left[\left(\Delta_i^D - \sum_{k=1}^K \alpha_{i,k}^D S_{i,k}^D \right)^2 + \sum_{k=1}^K c_{i,k}^D \left(\alpha_{i,k}^D \right)^2 \right]$$

Pondération

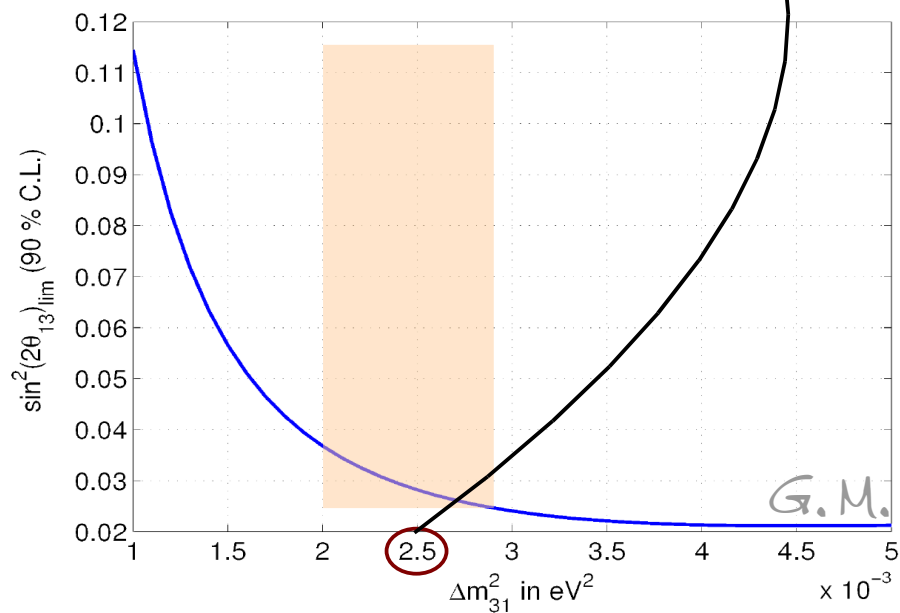
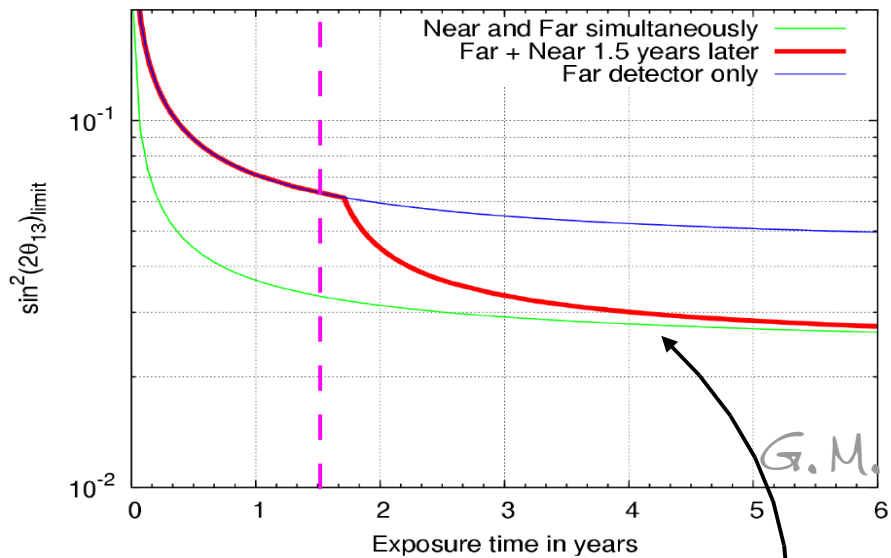
Error Source	Error Type	Error Description	CHOOZ Absolute	DC Absolute	DC Relative
Reactor	Reactor				
		Production Cross Section	1.90%	1.90%	
		Core Powers	0.70%	0.70%	
		Energy per Fission	0.60%	0.60%	
		Solid Angle/Bary. Displct.			0.20%
Detector	Detector				
	Free H in TG	Detection Cross Section	0.30%	0.10%	
		Volume	0.30%	0.20%	0.20%
		Fiducial Volume	0.20%	0.20%	
		Density		0.10%	0.01%
	H/C (Chemical Composition)	0.80%	0.80%	0.10%	
Electronics	Dead Time	0.25%		0.00%	
Analysis	Analysis				
	Particle Id Positron	Escape	0.10%		
		Capture	0.00%		
		Identification Cut	0.80%	0.10%	0.10%
	Neutron	Escape	1.00%		
		Capture (% Gd)	0.85%	0.30%	0.30%
		Identification Cut	0.40%	0.10%	0.10%
	Anti-neutrino	Time Cut	0.40%	0.10%	0.10%
		Distance Cut	0.30%		
		Unicity (neutron multiplicity)	0.50%		
		Efficiency uncert due to bkg			
	Total			2.90%	2.31%

- normalisation absolue
- " **relative**
- forme spectre
- combustible usagé
- puissance des réacteurs
- composition des coeurs
- soustraction bruits de fond
- connaissance du Δm^2
- ...

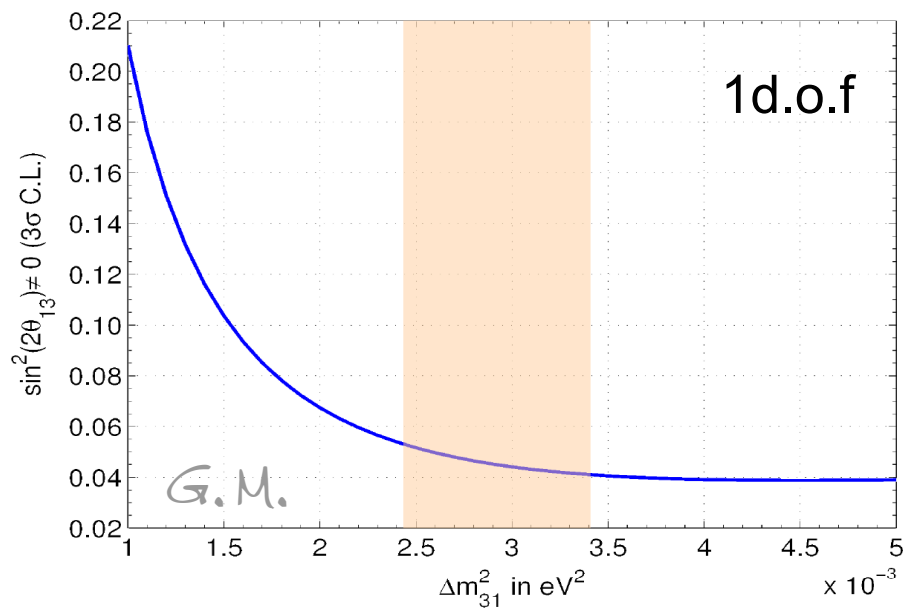
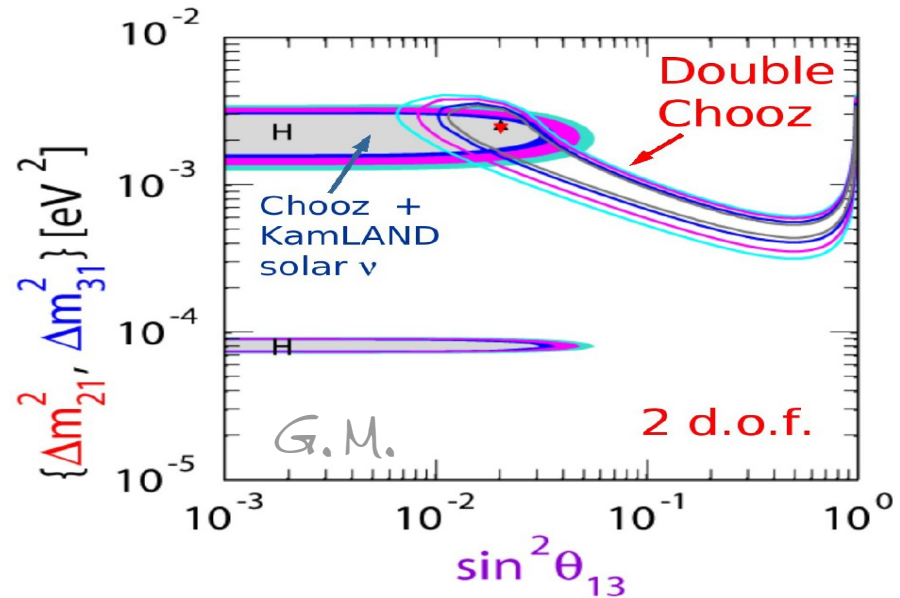
normalisation
relative

Sensibilité

18 months delayed scenario



Potentiel de découverte



La collaboration

(proposal hep/0606025)



Double Chooz, Aix-la-Chapelle, octobre 2006

Septembre 2006, les japonais de KASKA basent leur stratégie à court terme sur Double Chooz en nous rejoignant

- **France** (3 inst., 26 collab.)
- **Allemagne** (5 inst., 26 collab.)
- **Russie** (3 inst., 7 collab.)
- **États-Unis** (10 inst., 38 collab.) (=+Chicago/Columbia)
- **Espagne** (1 inst., 7 collab.)
- **Angleterre** (2 inst., 10 collab.)
- **Japon** (8 inst., 10 collab.)
- **activités Italie (LNGS)**
- *Arrivée du Brésil prévue mars 2007*

CEA

COMMUNIQUÉ DE PRESSE 14 10 novembre 2006

L'accord de l'existence - Double Chooz

Le CEA, l'EDF et le CNRS ont décidé de lancer la construction de l'expérience Double Chooz, destinée à étudier les réacteurs, les particularités expérimentales produites en abondance dans les réacteurs, les aspects des réacteurs nucléaires. Dans différents domaines, seront placés près de la centrale nucléaire de Chinon (Maine-et-Loire), à des distances appropriées des réacteurs. L'expérience permettra de mesurer avec précision la densité du neutron, et d'en tirer des conclusions.

Les réacteurs sont des machines complexes qui interagissent avec le monde extérieur. Ils sont en fait des systèmes ouverts et les réacteurs de notre pays ont une grande variété de configurations. Trois particularités sont à retenir : les réacteurs à eau pressurisée, les réacteurs à eau bouillante, les réacteurs à eau pressurisée à basse température. Les réacteurs à eau pressurisée à basse température ont des particularités qui leur confèrent une certaine originalité. Ils sont destinés à produire de la chaleur pour le chauffage et le chauffage industriel. Les réacteurs à eau pressurisée à basse température ont des particularités qui leur confèrent une certaine originalité. Ils sont destinés à produire de la chaleur pour le chauffage et le chauffage industriel.

Depuis 2006, une collaboration internationale, à l'initiative des groupes français du CEA, l'EDF et du CNRS, étudie une nouvelle expérience Double Chooz qui réalise le rêve de la communauté scientifique de construire une centrale de puissance sur le site de Chinon. La construction de cette expérience est financée par le CEA, l'EDF et le CNRS. L'expérience Double Chooz est destinée à produire de la chaleur pour le chauffage et le chauffage industriel. Les réacteurs à eau pressurisée à basse température ont des particularités qui leur confèrent une certaine originalité. Ils sont destinés à produire de la chaleur pour le chauffage et le chauffage industriel.

Double Chooz : www.doublechooz.eu

CEA/IN2P3

Projet CEA - EDF - CNRS

~120 collaborateurs
(physiciens, ingénieurs, techniciens)

Progression sur le site proche

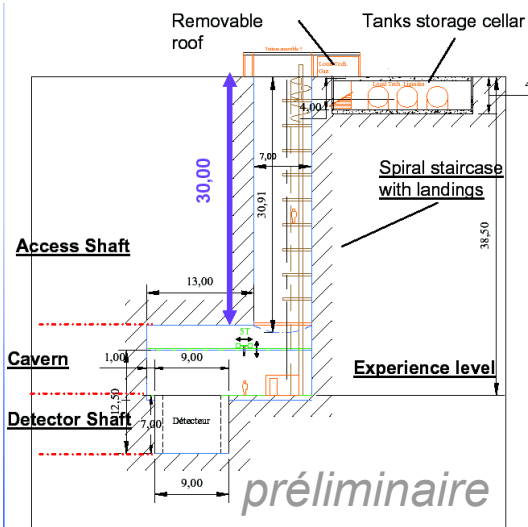
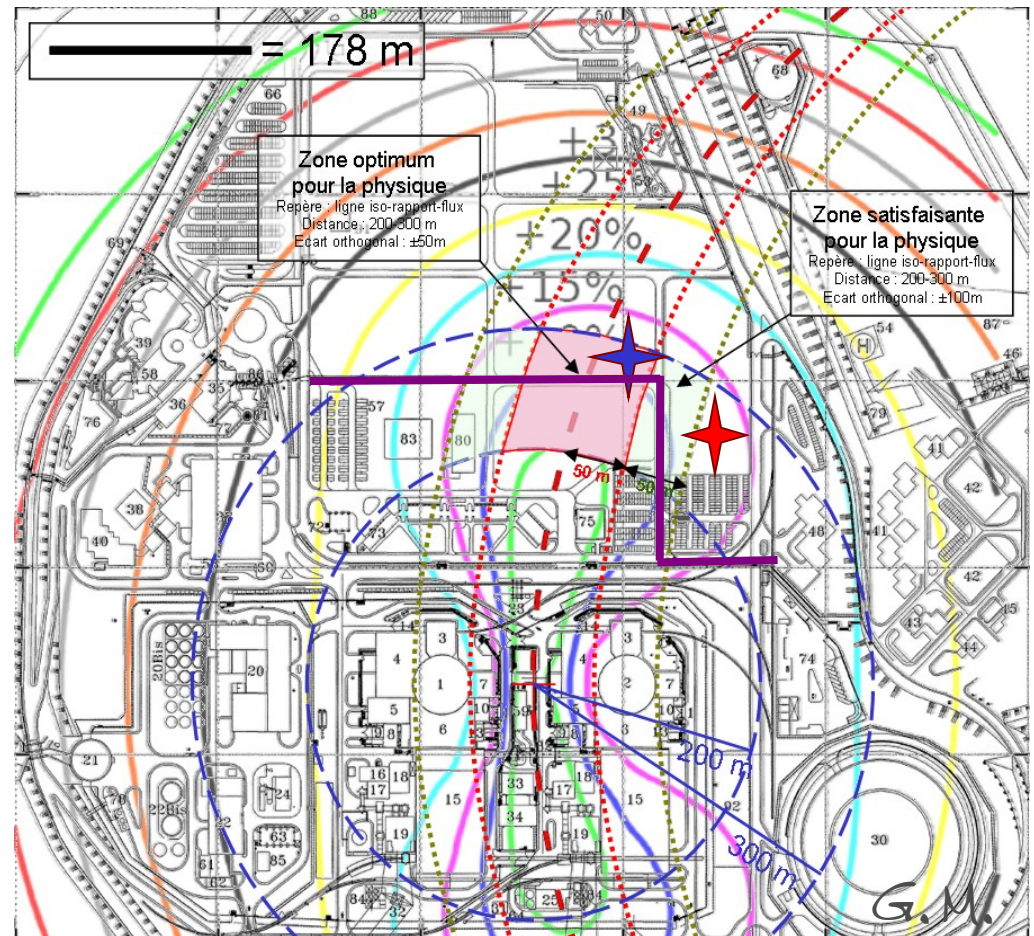
EDF a donné son accord en juin 2005 pour :

- la mise à disposition du site lointain
- du site proche
- des données techniques liées
- les autorisations de travaux liées à la construction

APS (Avant Projet Sommaire) en cours

étude géologique des sols en cours

1-2 forages en février 2007



Répartition des tâches

Porte-parole : H. de Kerret (APC)
Coordinatrice technique : F. Ardellier (Saclay)

- Mécanique → **Saclay**, APC, CIEMAT
- PM, support, blindage PM → Japon, CIEMAT, Angleterre
- Intégration & interfaces → **Saclay**
- Veto interne → Tübingen
- Veto externe → ANL
- LS dopé en Gd → Heidelberg, Gran Sasso, Russia
- Autres liquides, manipulations/tests → Heidelberg, Munich, **Saclay**, Tübingen
- Compatibilité des matériaux → **Saclay**
- Radiopureté, propreté → Sandia
- Électronique & DAQ → APC, Drexel, Aachen
- Calibration → Alabama, Russie, Angleterre
- Slow control → Kansas
- Simulation & Off-Line → **Saclay**, APC, Kansas, Notredame, Alabama, Tübingen
- Non prolifération & physique réacteur → **Saclay**, Nantes, LLNL

Les effectifs

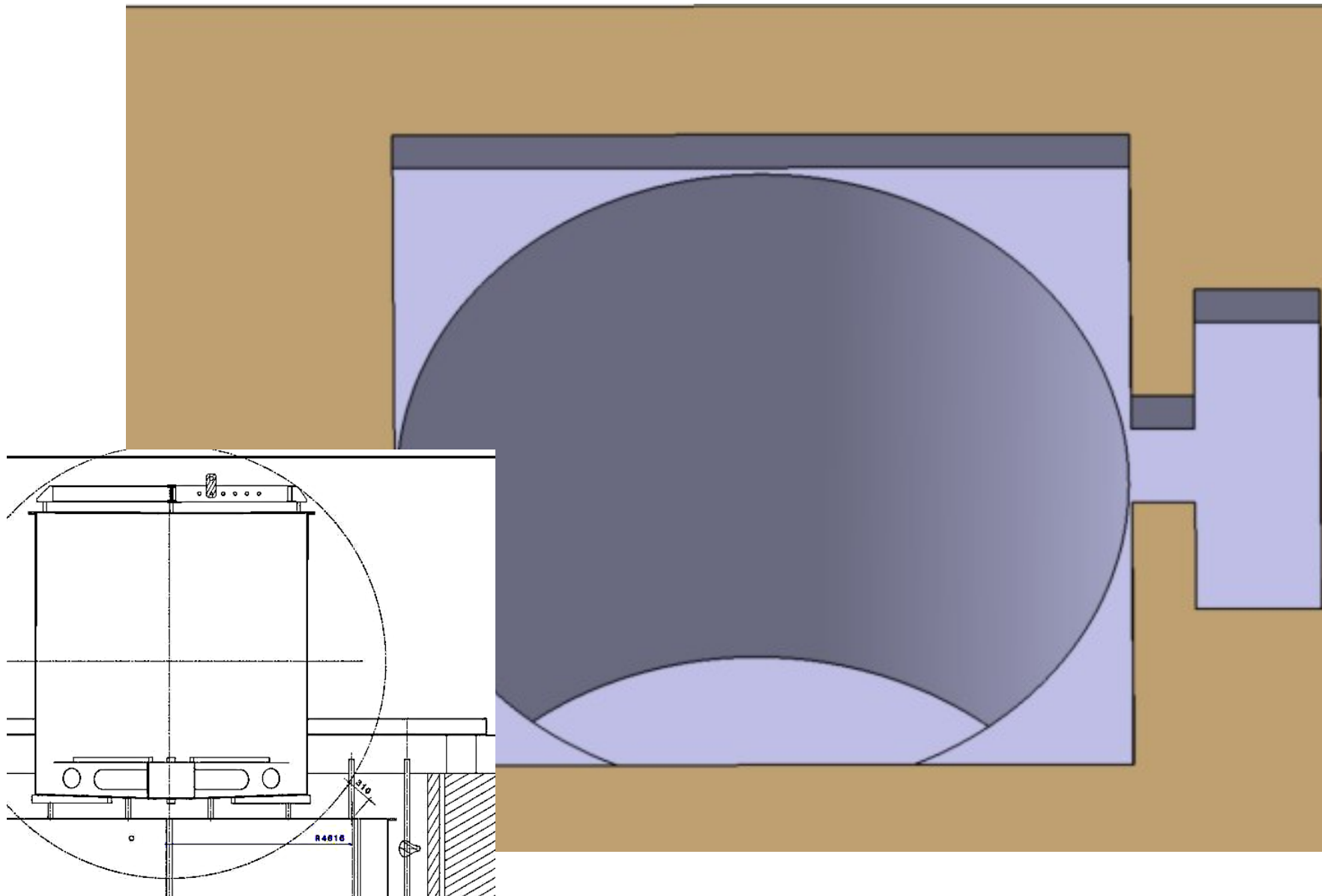
Les physiciens

- **SPP**
4 permanents
 - **Th. LASSERRE** (Chef)
 - M. CRIBIER (non-prolifération, scintillateurs)
 - A. MILSZTAJN (# de protons)
 - D. MOTTA (simulation, scintillateurs)
- 1 physicien invité (fin = février 2007)
V. SINEV (non-prolifération, physique des réacteurs)
- 1 post-doc (fin = septembre 2007)
G. MENTION (simulations, compatibilité des matériaux, scintillateurs)
- **SPhN**
2 permanents
 - A. LETOURNEAU (spectre antineutrinos)
 - D. LHUILLIER (spectre antineutrinos)

Les services techniques

- **SEDI**
 - **F. ARDELLIER** (Coord. technique)
 - J. BELTRAMELLI
 - S. HERVE
 - C. JEANNEY
 - F. MEIGNER (Assurance produit)
 - P. STARZYNSKI
- **SIS**
 - J. C. BARRIERE
 - S. CAZAUX
 - J. F. MILLOT
 - P. PERRIN
 - L. SCOLA
- **SENAC**
 - L. LATRON
- **STL**
 - J. M. ARZUL

Conception technique/Intégration



Double enceinte acrylique

Conception enceintes acryliques épaisseur 12 mm

- Simulations de contraintes dans les cas critiques (acrylique/acier) :
 - en phase de remplissage
 - différence de densité : cible/collecteur gamma/buffer

Marge sécurité :
Les contraintes doivent rester < 5 Mpa
confirmé par des tests d'échantillons
($\Delta H \sim 2$ cm pour le remplissage)

Tests d'échantillons

Nombreux tests de résistance/rupture :
Saclay, Röhm, Mines de Douai (20, 50 °C)

acrylique :
rupture flexion à $\sim 12 \pm 1$ Mpa
légère dépendance en température
avec colle : test traction : ~ 19 Mpa

Contact avec liquide : pas d'altération

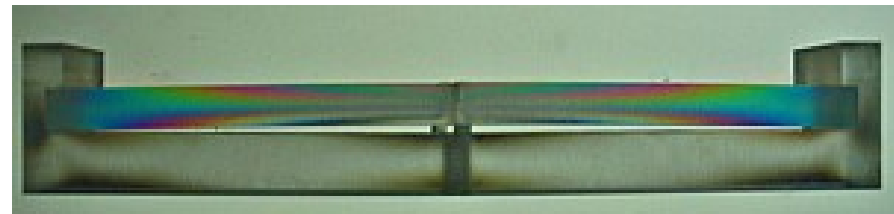
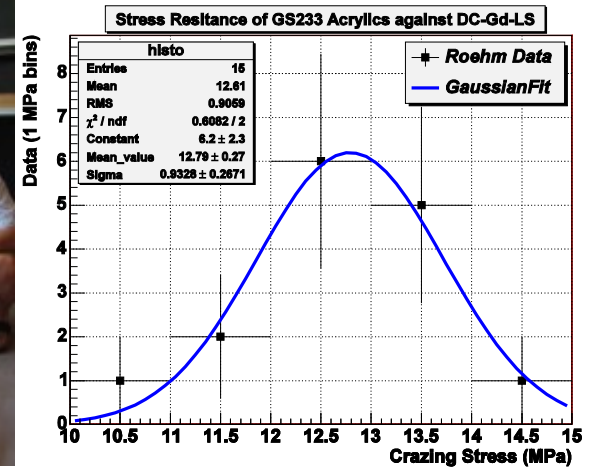


Photo lumière polarisée

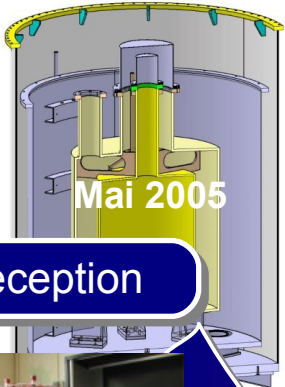
La maquette 1/5^{ème}

Enjeux techniques :

- **Valider** le concept des enveloppes en acrylique
- **Valider** les solutions mécaniques
- **Valider** le scénario d'intégration des détecteurs

- **Contrôle final** de compatibilité des matériaux
- **Definir** des procédures de contrôle des acryliques
- **Definir** les interfaces pour la manipulation des liquides
- **Préparer** le protocole de remplissage

Conception



Réception



Intégration



Remplissage



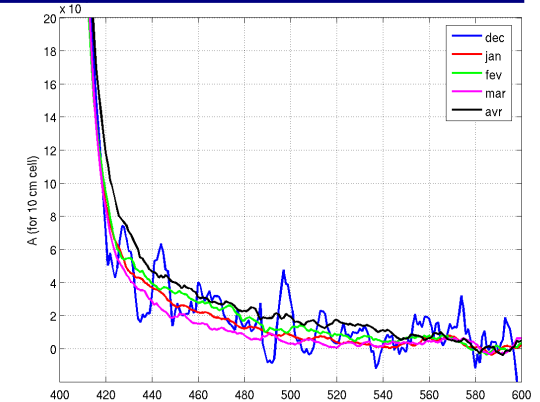
Prélèvement
échantillons
& analyses
= 6 mois

Démantèlement

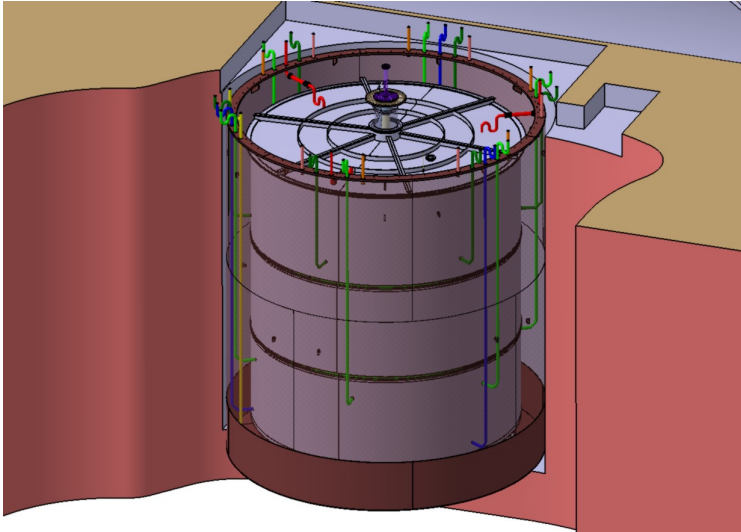


Nettoyage

Test fuite



Buffer acier inox



Conception

Réalisation

Intégration

Radiopureté

- Réception fin octobre 2006 de 9 tonnes d'acier inox 304 L en plaques de 3 mm prêtes à être courbées et découpées délivrées en 2 lots
- échantillons → 3 labos souterrains pour mesure radiopureté

		Modane	Gran Sasso	Oroville	Contraintes MC
Lot 1	Co-60 (mBq/kg)	13,6±2	19±2	5,5	15
	U-238 (10 ⁻¹⁰ g/g)	5±2	20±5	< 1	10 - 100
	Th-232 (10 ⁻¹⁰ g/g)	5,5±1,3	< 8,1	< 1	5 - 50
	K-40 (mBq/kg)	<15	<11		
Lot 2	Co-60 (mBq/kg)	11,2±2,5	9,6±1,2	12,6±1,2	15
	U-238 (10 ⁻¹⁰ g/g)	< ?	< 3	< 2	10 - 100
	Th-232 (10 ⁻¹⁰ g/g)	< ?	< 15	<6	5 - 50
	K-40 (mBq/kg)	< 15	< 9,8		

Le contrôle du nombre de protons dans la cible

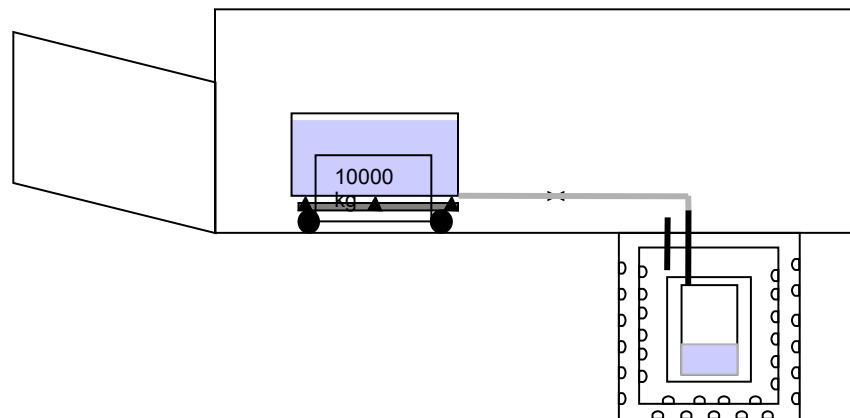
Nombre de protons de la cible

L'une des systématiques dominantes sur le plan de la normalisation relative des deux détecteurs

On veut cette incertitude la plus petite possible

Mesures les plus performantes = par pesées (+ mesures gravimétrie, ~ 20 points autour du site)

prototype tests



Systématique

Systématique ~ 0,2 %

= peser 8,3 t à mieux que 16 kg près en relatif sachant qu'il peut y avoir des pertes dans les tubes de circulation du liquide

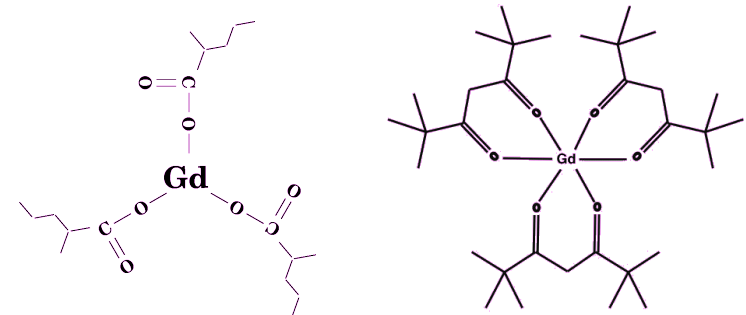
Tests des liquides scintillants dopés en Gd

Transport optique, absorbance

Requis : 1 g/l de Gd dans solvant stable et robuste, optique ok

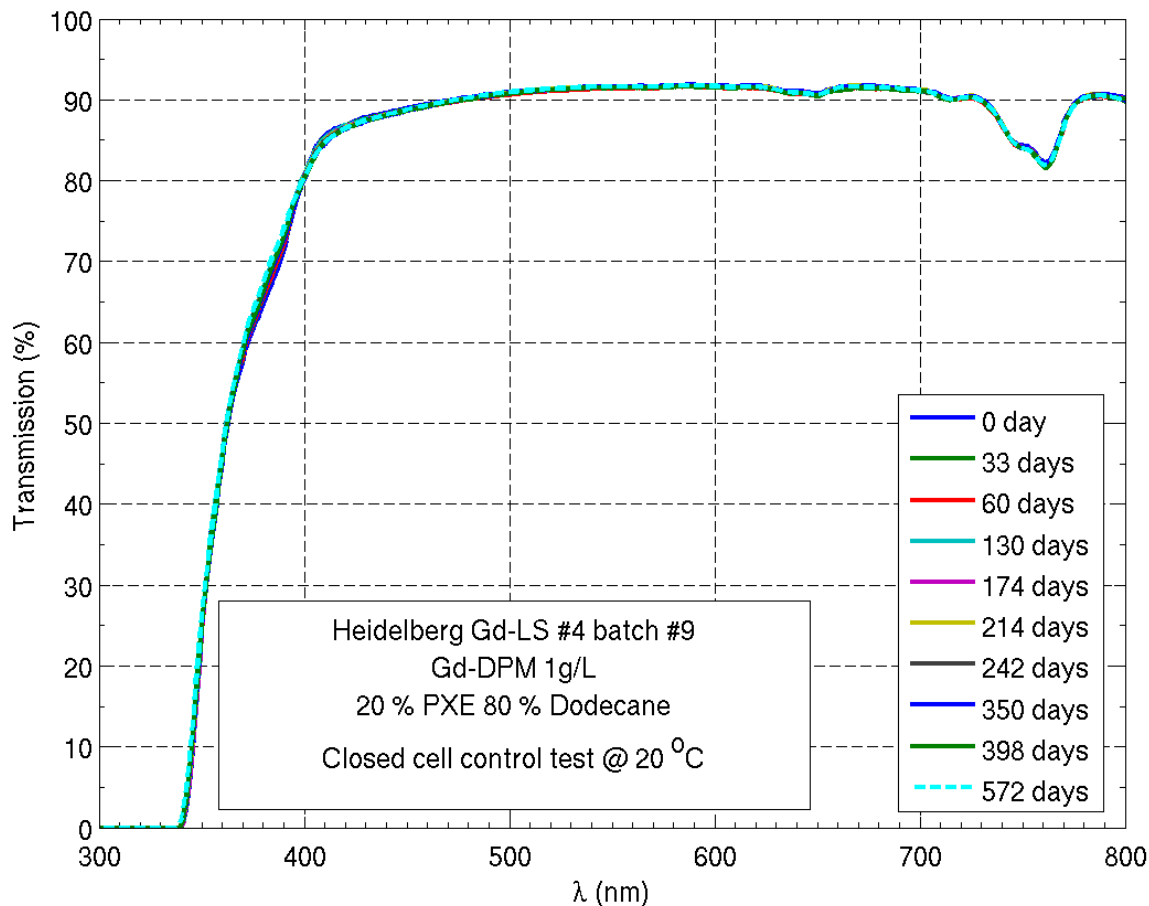
Deux familles développées pendant la R&D de Double Chooz :

- les **carboxylates** (+ stabilisateurs)
- les **beta-diketonates** (i.e. Gd-DPM)



carboxylate

DPM



LS - Gd R&D : les dates

- 100 L, prod à gde échelle : 08/2005
→ test prototype (maquette), stable 6 mois
- 30 L Gd-CBX: 12/2005
→ stable sur 11 mois
- Le DPM: 05/2006
→ stable sur 5 mois

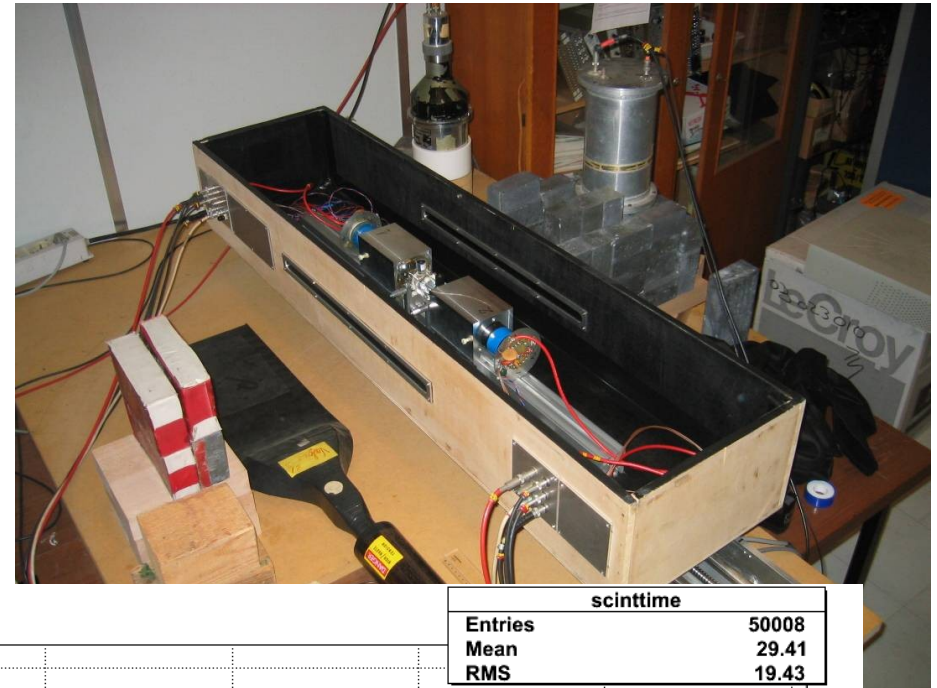


Tests des liquides scintillants dopés en Gd

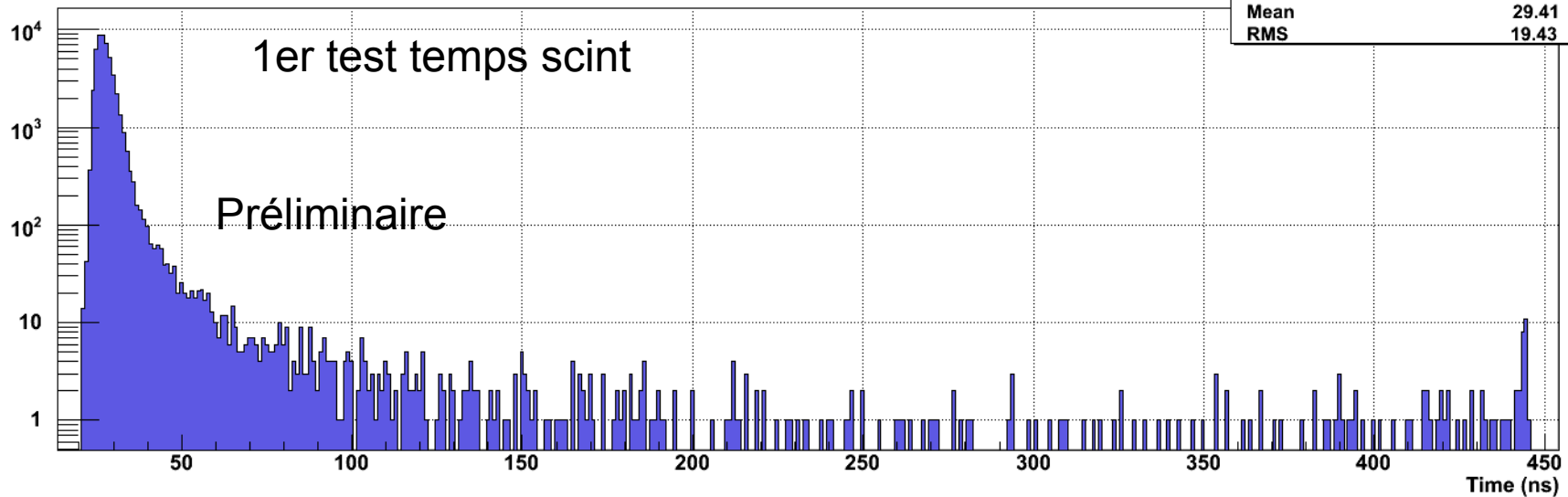
Rendement lumineux/temps de réponse

Mesure et suivi

- rendement lumineux
 - TP DEA, mini-stages associés*
- propagation lumière
- temps de réponse du scintillateur



scinttime



Compatibilité des liquides

Absorbance ΔA in 10 cm	Perte lum.	
	10 cm	1 m
1.0E-3	0.23%	2.28%
2.0E-3	0.46%	4.50%
1.0E-2	2.28%	20.57%

Définition

Les matériaux en contact avec les liquides ne doivent pas affecter le transport de la lumière dans les liquides

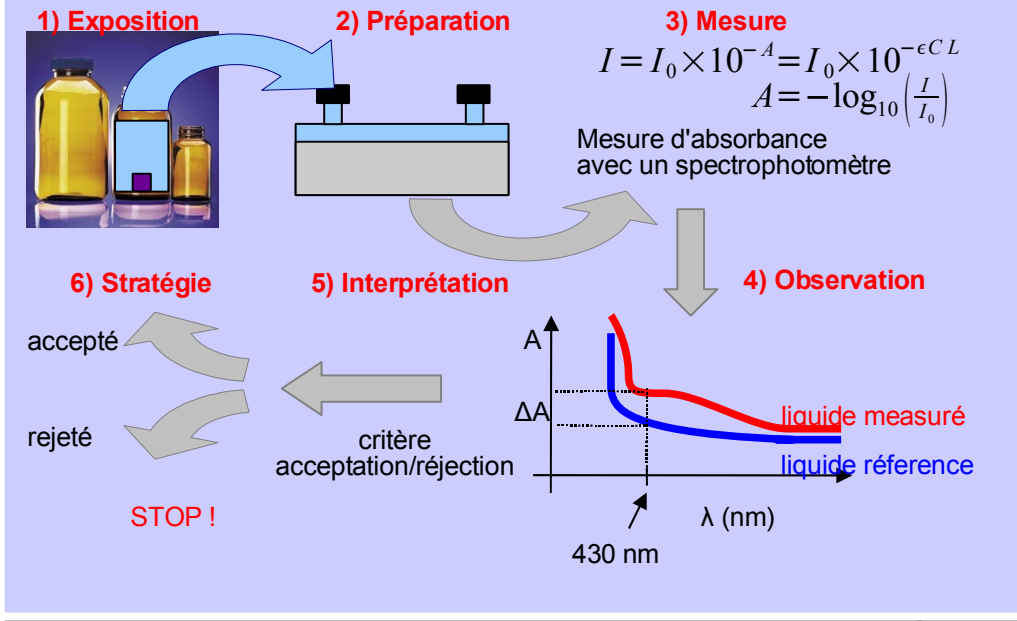
Tests en cours avec DPM :

- acrylique (GS 233)
- colle
- acier inox (304 L)
- Delrin

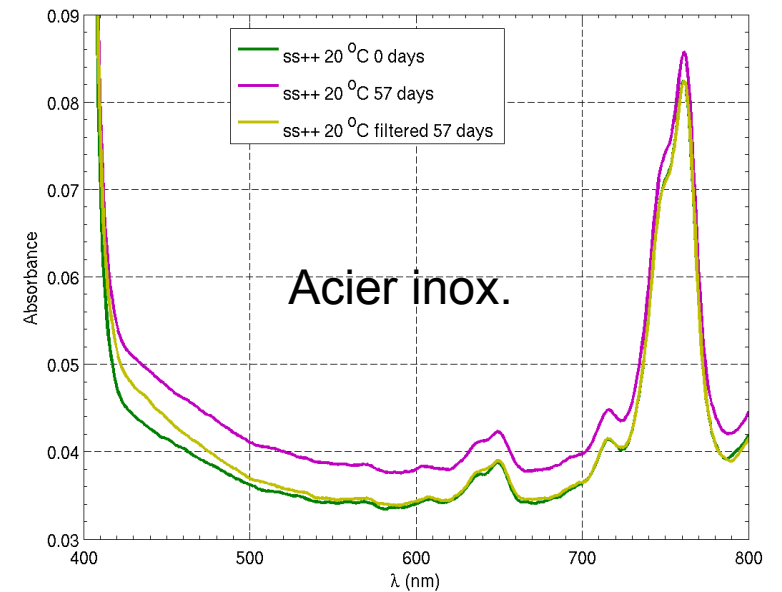
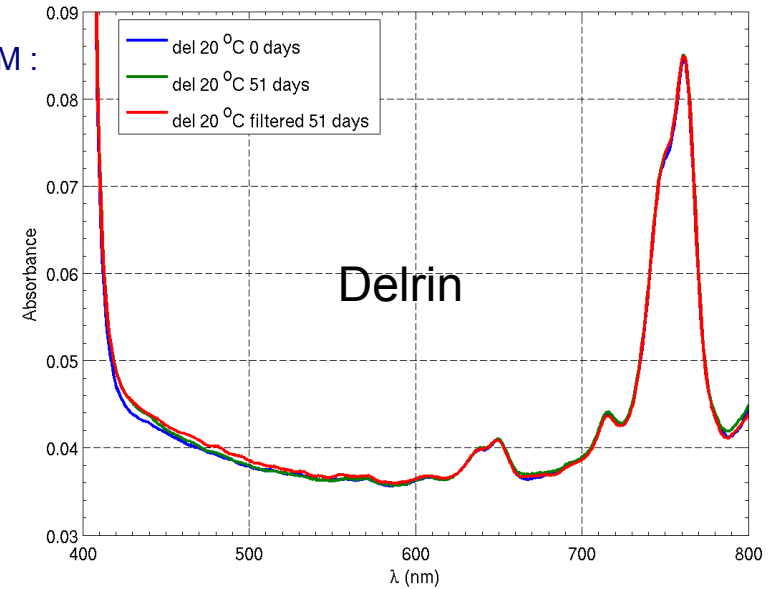
Objectif

Certifier la stabilité des liquides par rapport au transport de lumière sur une période donnée.

Définition & mise en œuvre protocole

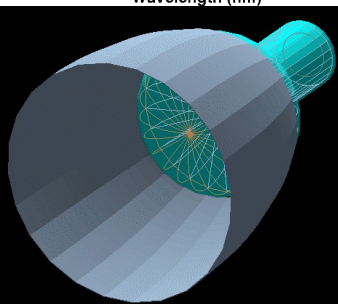
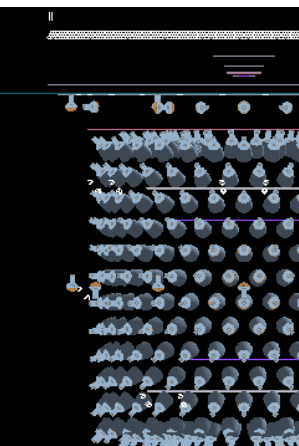
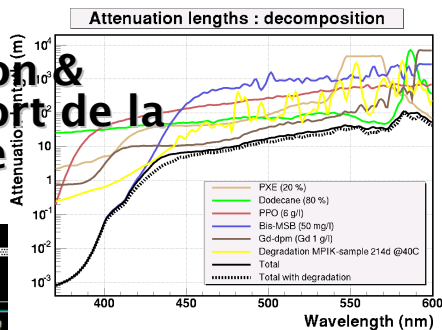


G.M.

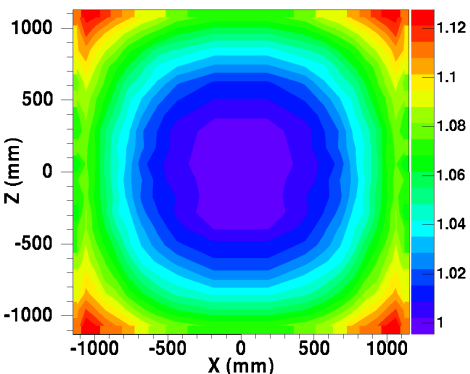


Simulation

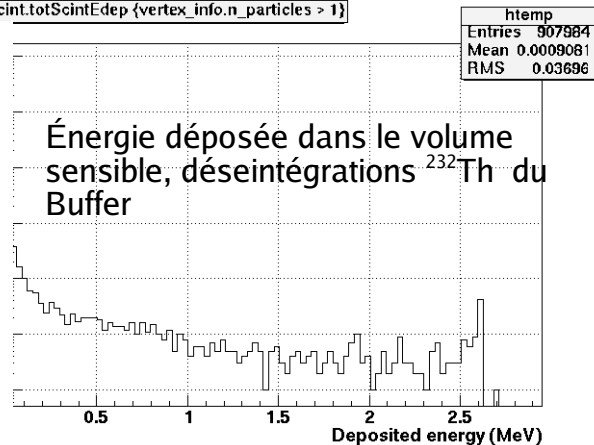
Émission & transport de la lumière



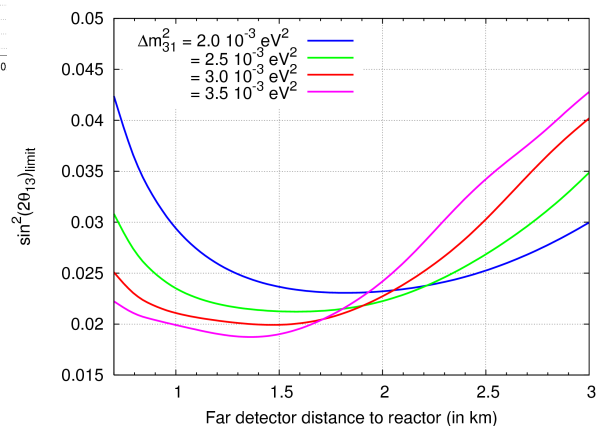
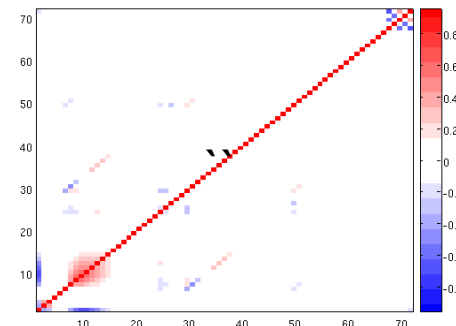
DChooz normalized response to 2 MeV positrons



GLG4scint.totScintEdep {vertex_info.n_particles > 1}

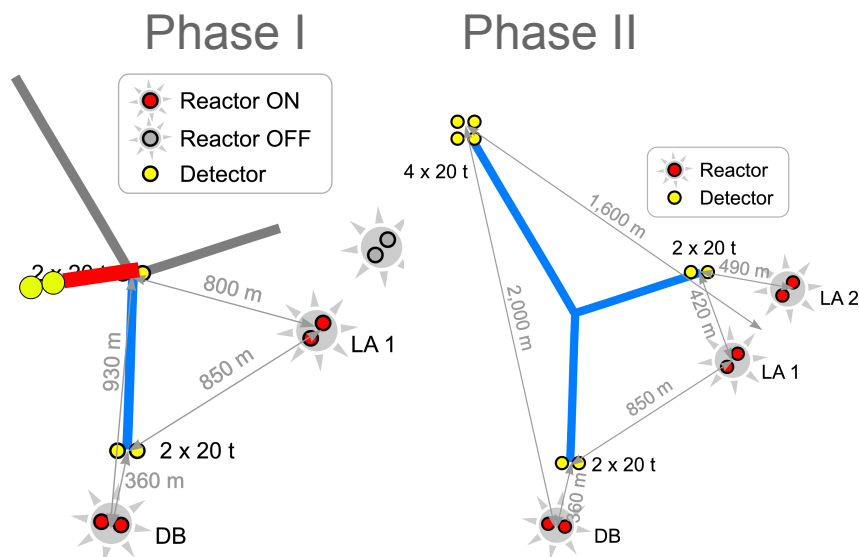


Error Source	Error Type	Error Description	CHOOZ	DC	DC	DB	DB (No R&D)	DB (Claim)
			Absolute	Absolute	Relative	Absolute	Relative	Relative
Reactor		Reactor						
		Production Cross Section	1.90%	1.90%		1.90%		0.13%
		Core Powers	0.70%	0.70%		0.70%		
		Energy per Fission	0.60%	0.60%		0.60%		
		Solid Angle/Bary. Displct.			0.20%		0.08%	0.08%
Detector	Free H in TG	Detector						
		Detection Cross Section	0.30%	0.10%		0.30%		
		Volume	0.30%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.02%
		Fiducial Volume	0.20%	0.20%				
		Density		0.10%	0.01%		0.01%	0.01%
		H/C (Chemical Composition)	0.80%	0.80%				
Electronics		Dead Time	0.25%					
Analysis		Analysis						
		Par						
		Pos						
		s_abs						
		s_rel						
		s_scl						
		s_scln						
		s_sclf						
		s_sclfn						
		s_sclif						
		s_sclfn						
		s_sclif						
		s_sclfn						
		s_sclif						
		s_sclfn						
Anti								
s_b2bn								
s_b2bi								
s_bkgm1								
s_bkgf1								
s_b2b_bkgm1								
s_bkgm2								
s_bkgf2								
s_b2b_bkgm2								
s_bkgm3								
s_bkgf3								
s_b2b_bkgm3								
s_b2b_bkgf3								



Les expériences concurrentes

Daya Bay

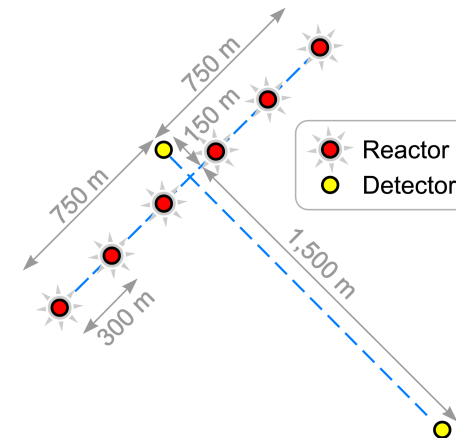


- Nécessite 160 t de LS dopé en Gd stable (10 x la production de Double Chooz !)
- Que faire si un des LS dans les détecteurs montre une instabilité ?
 - 1 ou 2 x 20 t sur chaque site proche
 - => ne change pas la sensibilité
 - site lointain en 1 an

	1 x 20 t	2 x 20 t	3 x 20 t	4 x 20 t
LA 2 OFF	0,023	0,018	0,015	0,014
LA 2 ON	0,021	0,017	0,015	0,014

- LA 2 « ON » dégrade légèrement la sensibilité (en tout cas pas d'impact positif du supplément de puissance).

RENO



- Site étendu (ligne de 1,5 km de réacteurs)
- Les détecteurs « ne voient pas » le même flux de chacun des réacteurs :

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Proche	3,00%	8,00%	39,00%	39,00%	8,00%	3,00%
Loin	15,00%	17,00%	18,00%	18,00%	17,00%	15,00%

- La sensibilité dépend des incertitudes sur les puissances et les composition de chacun des coeurs

	Composition		Puissance	
Incertitude	5%	10%	1%	3%
Sensibilité	0,022	0,028	0,021	0,024
	Puissance à 2%		Composition à 5%	

La non-prolifération (AIEA)

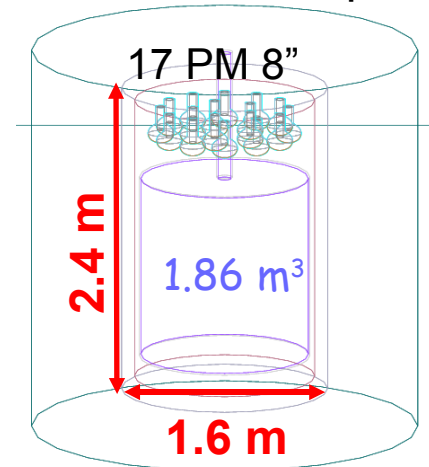
Précision (1-2 %) sur # d'antineutrinos émis par un réacteur nucléaire en fonction de sa puissance thermique.

Puissance thermique : les moyens classiques
- bilan thermique circuits refroidissement
- mesure des neutrons sortant du cœur.

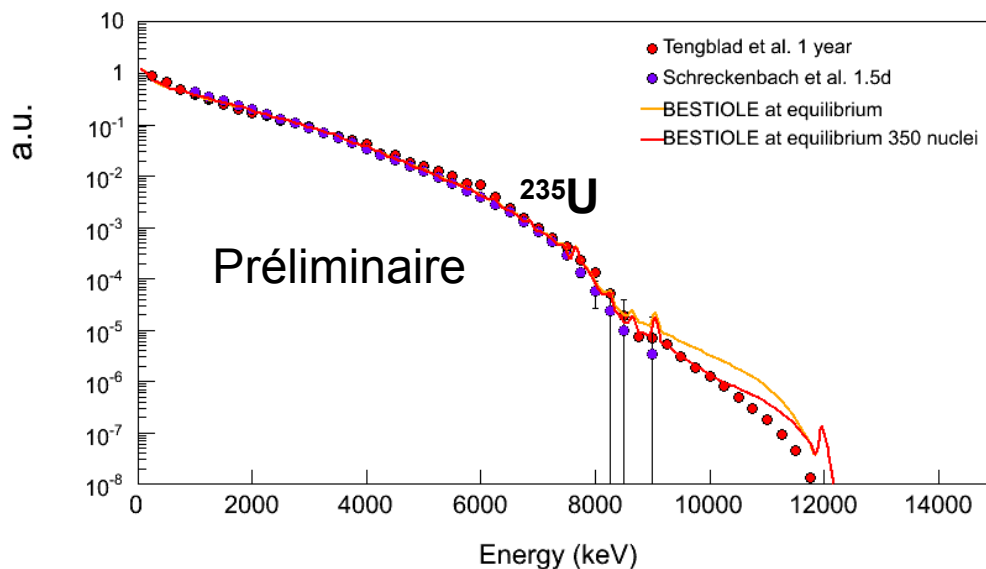
antineutrinos : une manière très complémentaire d'accéder à la puissance thermique.

Possibilité exploitation différence spectrale entre U235 et Pu239

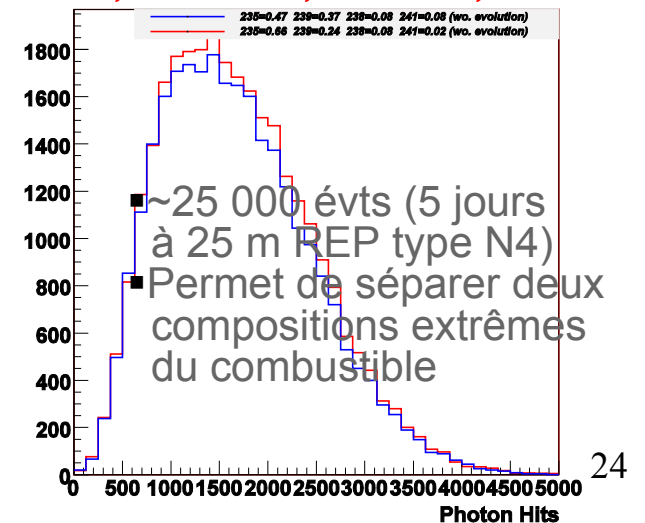
Protoype mesure puissance thermique



Simulation des spectres à partir des BR β



$^{235}\text{U}=0.47$, $^{239}\text{Pu}=0.37$, $^{238}\text{U}=0.08$, $^{241}\text{Pu}=0.08$
 $^{235}\text{U}=0.66$, $^{239}\text{Pu}=0.24$, $^{238}\text{U}=0.08$, $^{241}\text{Pu}=0.02$



Conclusion

Financement détecteurs => Ok.

Intégration détecteur lointain
automne 2007, début prise de
données fin 2008

Intégration détecteur proche
2009-2010 ?

