

Mesure de θ_{13} avec une nouvelle expérience de neutrinos réacteurs

Le projet « Double-Chooz »

Guillaume MENTION
Laboratoire de Physique Corpusculaire et
Cosmologie, Collège de France

Journées Jeunes Chercheurs 2003

Plan

- Qu'est-ce que θ_{13} ? La MATRICE
- Pourquoi chercher à mesurer ce paramètre ?
- Une expérience neutrinos réacteur dédiée à la mesure de θ_{13} : « Double Chooz »

La matrice MNSP

Maki Nakagawa Sakata Pontecorvo

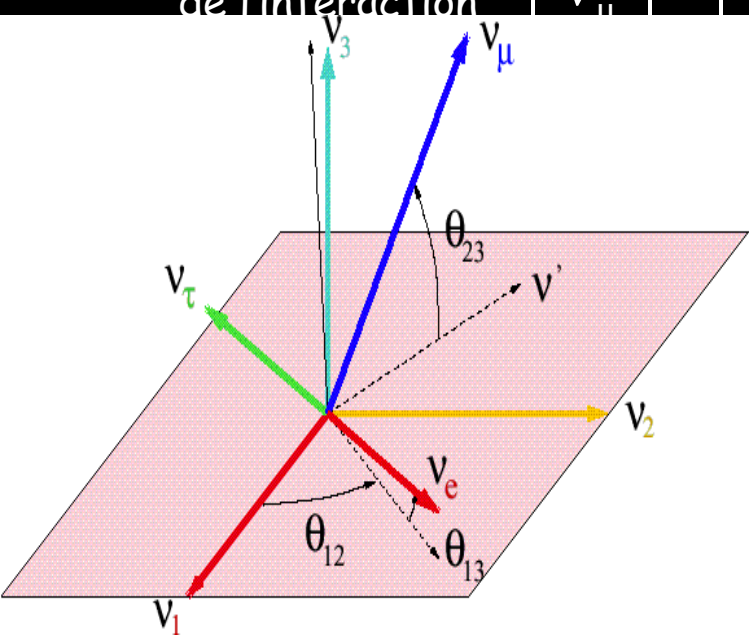
états propres
de l'interaction

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

$$\Delta m_{12}^2 = m_1^2 - m_2^2$$

$$\Delta m_{23}^2 = m_2^2 - m_3^2$$



3 paramètres + 1 phase
neutrinos
atmosphériques

états propres
de masse
neutrinos
solaires

$$\theta_{23} = 45^\circ$$

$$\Delta m_{23}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$$

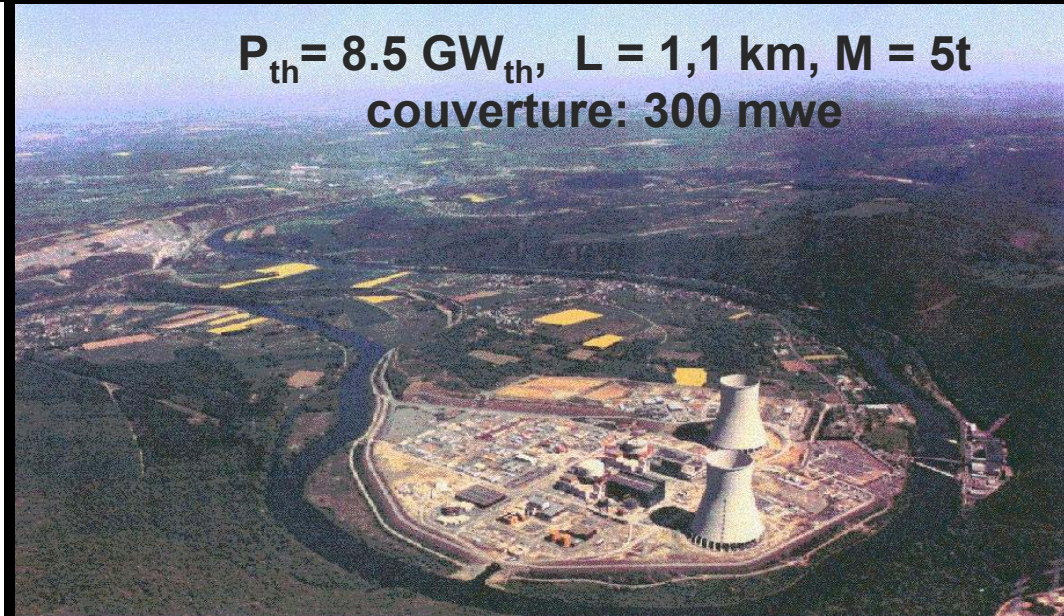
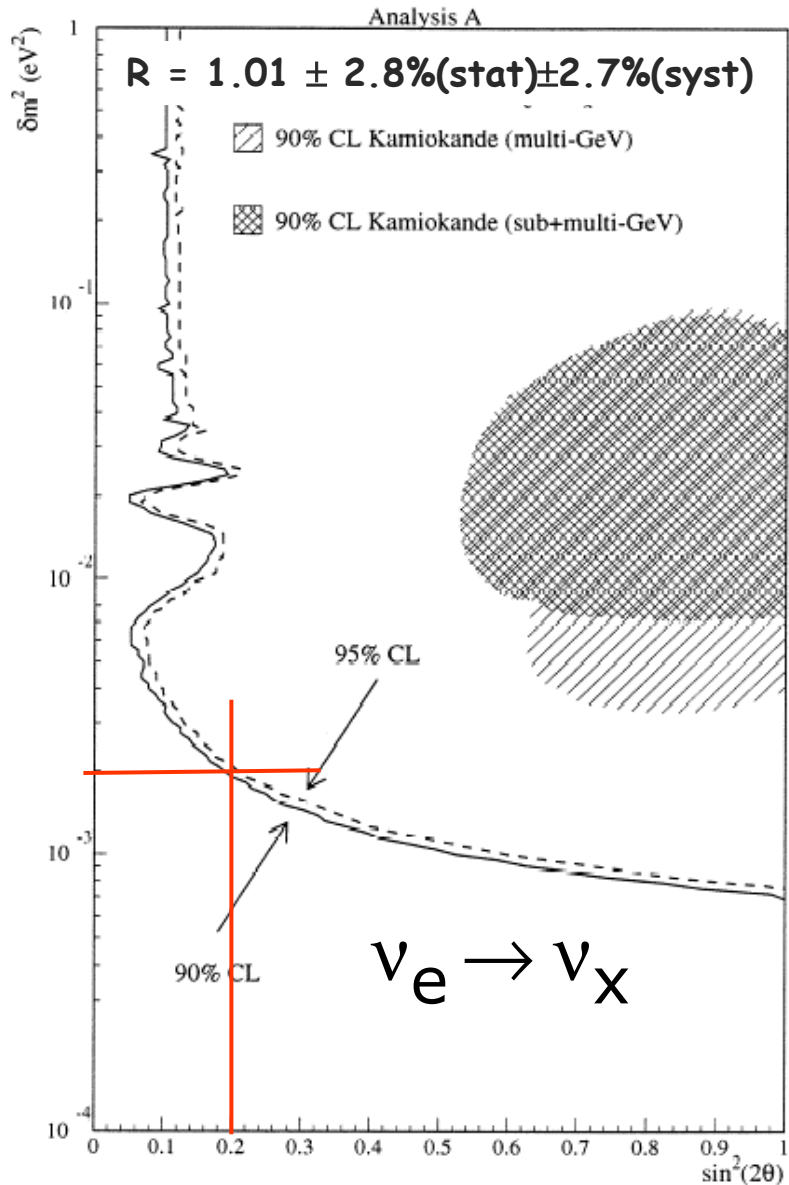
$$\theta_{13} ?$$

$$\delta ?$$

$$\theta_{12} = 30^\circ$$

$$\Delta m_{12}^2 = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$$

Meilleure contrainte actuelle : CHOOZ

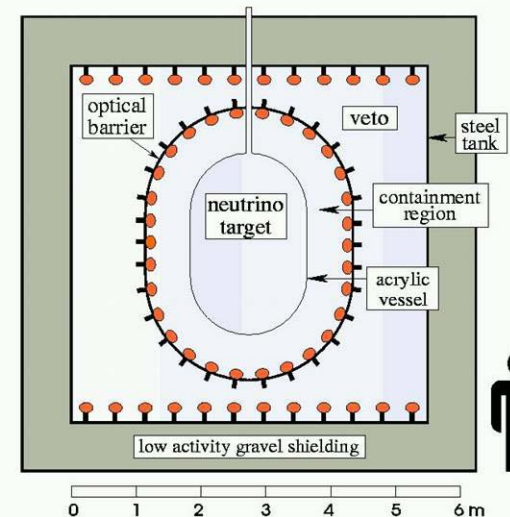


Meilleure contrainte mondiale !

@ $\Delta m^2_{\text{atm}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$

$\sin^2 2\theta_{13} < 0,2$

(90% C.L)



Comment améliorer CHOOZ ?

✓ Augmenter la luminosité intégrée $L = \Delta t \times P(\text{GW}) \times V_{\text{cible}}$

- CHOOZ : 2 700 événements $\rightarrow \sigma_{\text{stat}} = 2,7 \%$
- Projet réacteur/ θ_{13} avec 40 000 evts $\rightarrow \sigma_{\text{stat}} = 0,5 \%$
à 1 km, 40 000 evts pour 12,5 tonnes (scint. PXE) $\times 8,4 \text{ GW}_{\text{th}} \times 3 \text{ ans}$

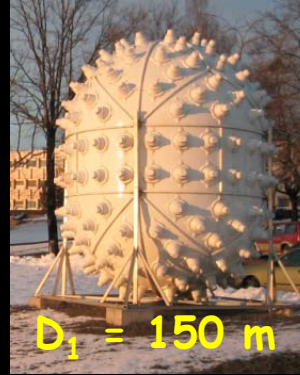
✓ Diminuer les erreurs systématiques

- Erreurs systématiques de l'expérience CHOOZ : $\sigma_{\text{sys}} \sim 2,8 \%$
- 1) Optimiser le détecteur pour θ_{13}
- 2) 2 détecteurs identiques \rightarrow vers $\sigma_{\text{sys}} \sim O(0,1 \%)$
- Stratégie: prévoir un gain de $\sim 10/\text{Chooz}$ pour assurer $\sigma_{\text{rel}} < 0,8 \%$

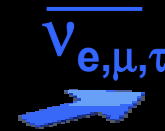
Préparation Expérience Chooz



Réacteur nucléaire
2 tranches



Détecteur proche
12,5 tonnes
> 50 mwe

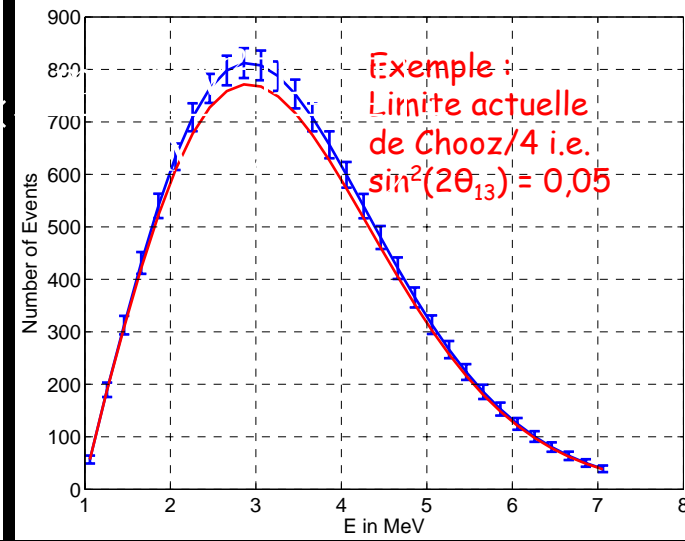
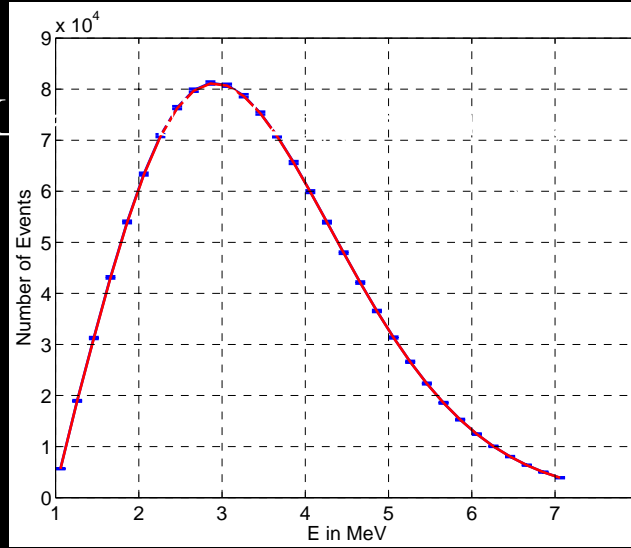
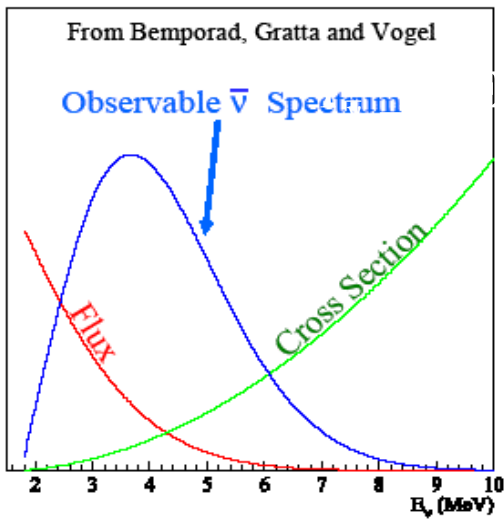


5 tonnes

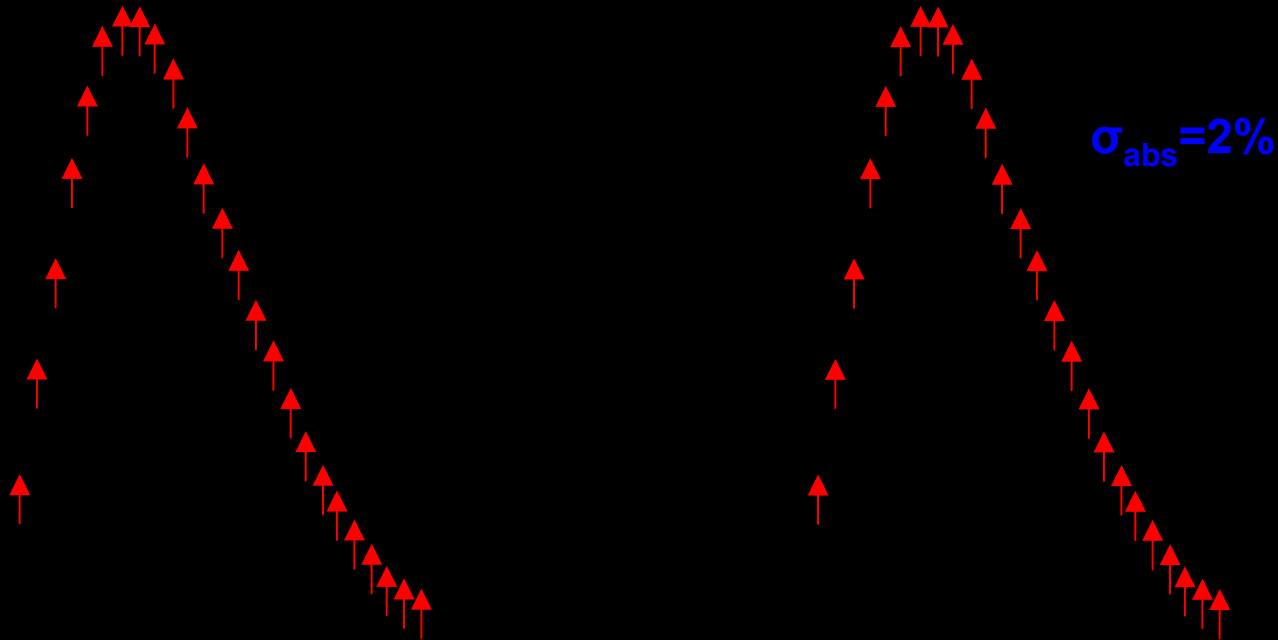


D₂ = 1 050 m

Détecteur lointain
12,5 tonnes
> 300 mwe



Erreur sur la normalisation absolue



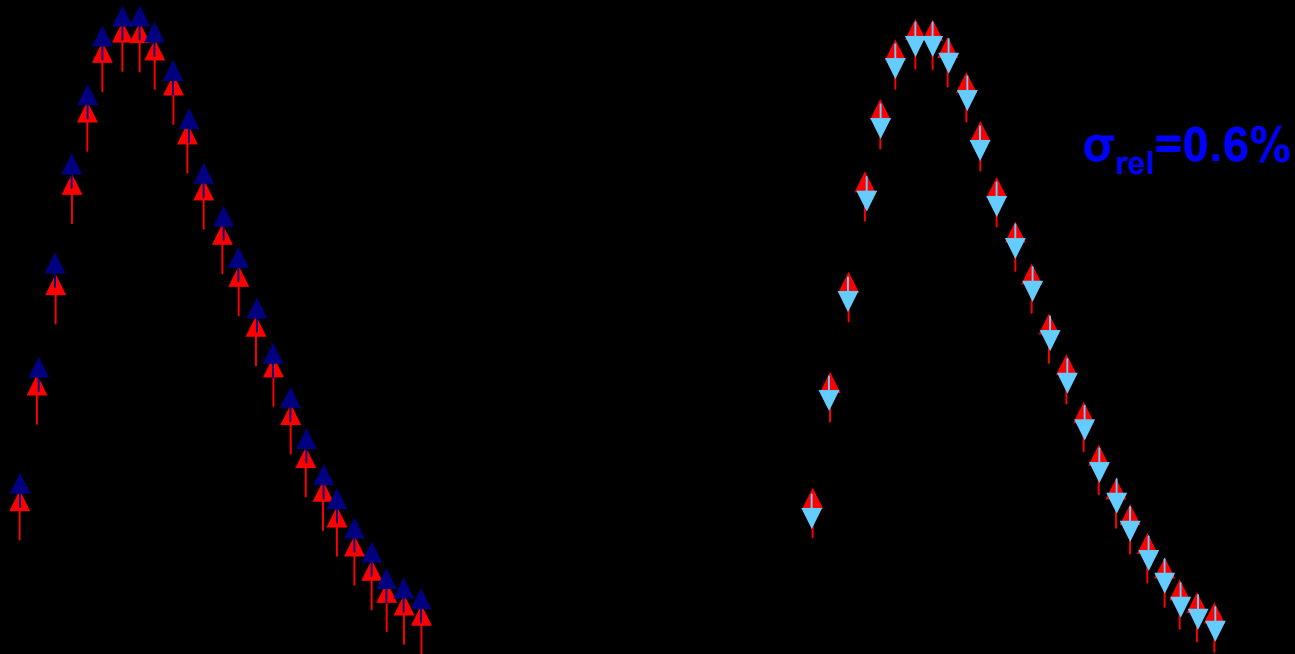
✓ **Origine physique :**

- Incertitude sur le flux des réacteurs
- Incertitude sur la section efficace

✓ **Effet sur les spectres :**

- Erreur sur la normalisation absolue des 2 détecteurs
- $\sim 2\%$ dans CHOOZ

Erreur sur la normalisation relative



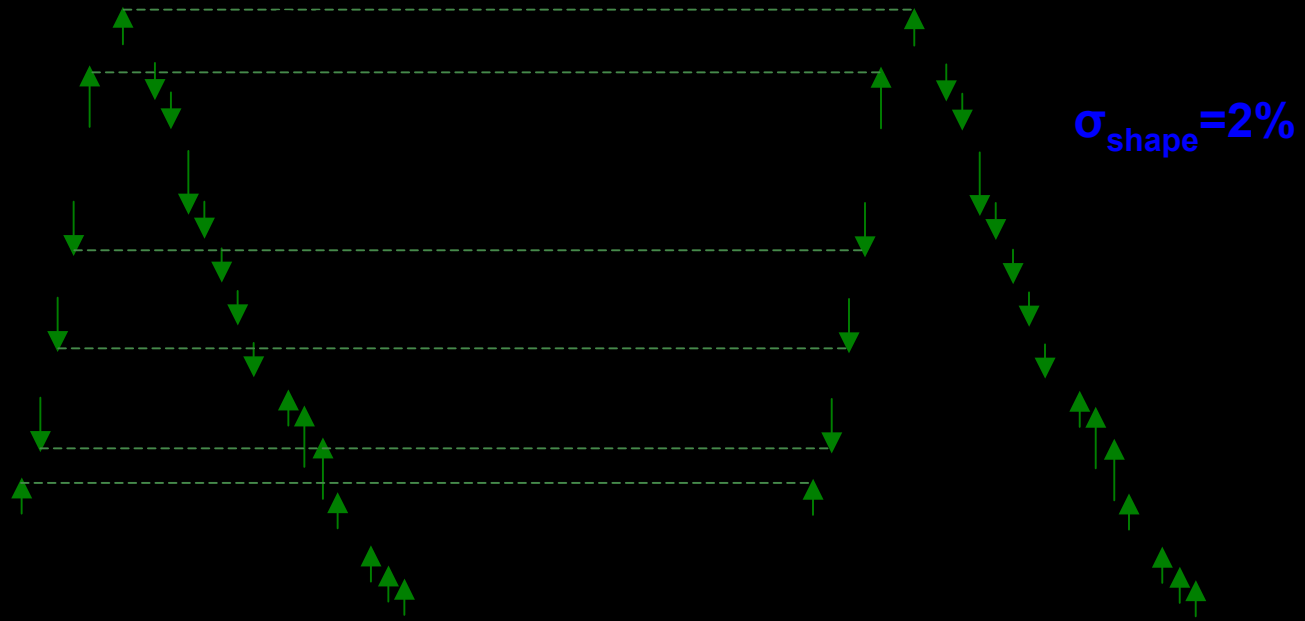
✓ Origine physique :

- Différence de volume fiduciel entre les 2 détecteurs
- Différence d'efficacité entre les 2 détecteurs ($\Delta\varepsilon_{\text{CHOOZ}} = 1.5\%$)

✓ Effet sur les spectres :

- Erreur de normalisation relative entre les deux détecteurs
- $< 1\%$ mais 0,6%, 0,8%, 1% ? → **Défit expérimental**

Erreur sur la forme du spectre

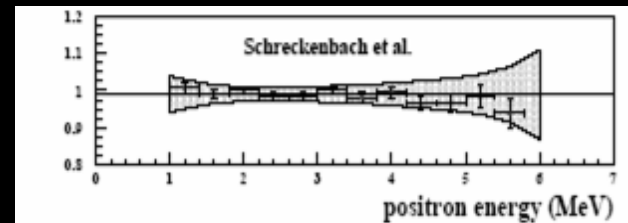


✓ **Origine physique :**

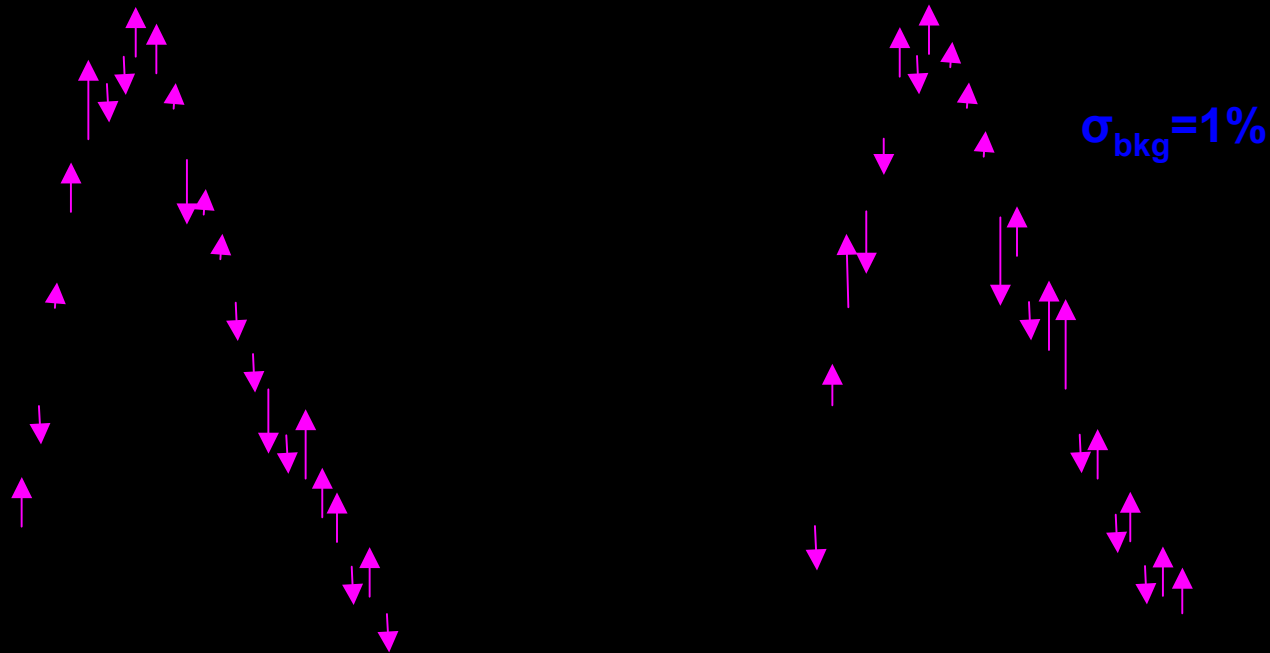
- Incertitude sur la forme du spectre
- BUGEY3 → 2%

✓ **Effet sur les spectres :**

- Erreur non corrélée bin-a-bin, mais 100% corrélée entre les 2 détecteurs
- Effet conservateur car cette erreur est en certainement corrélée bin-a-bin !

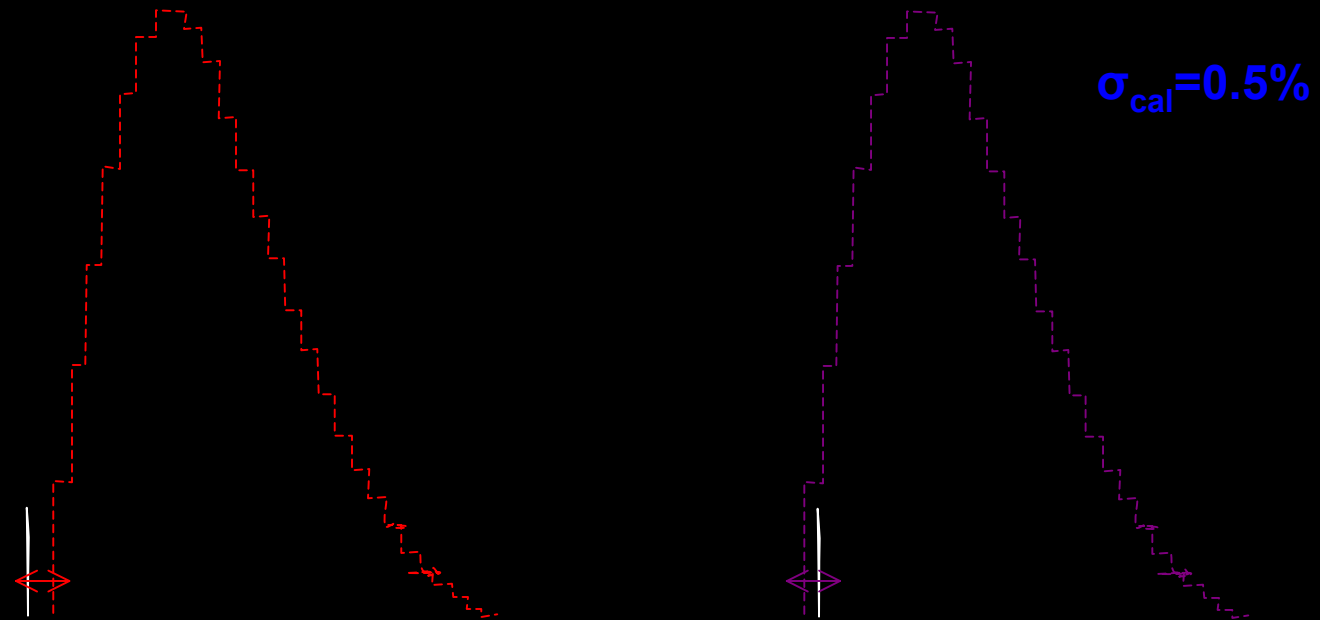


Erreur due au bruit de fond



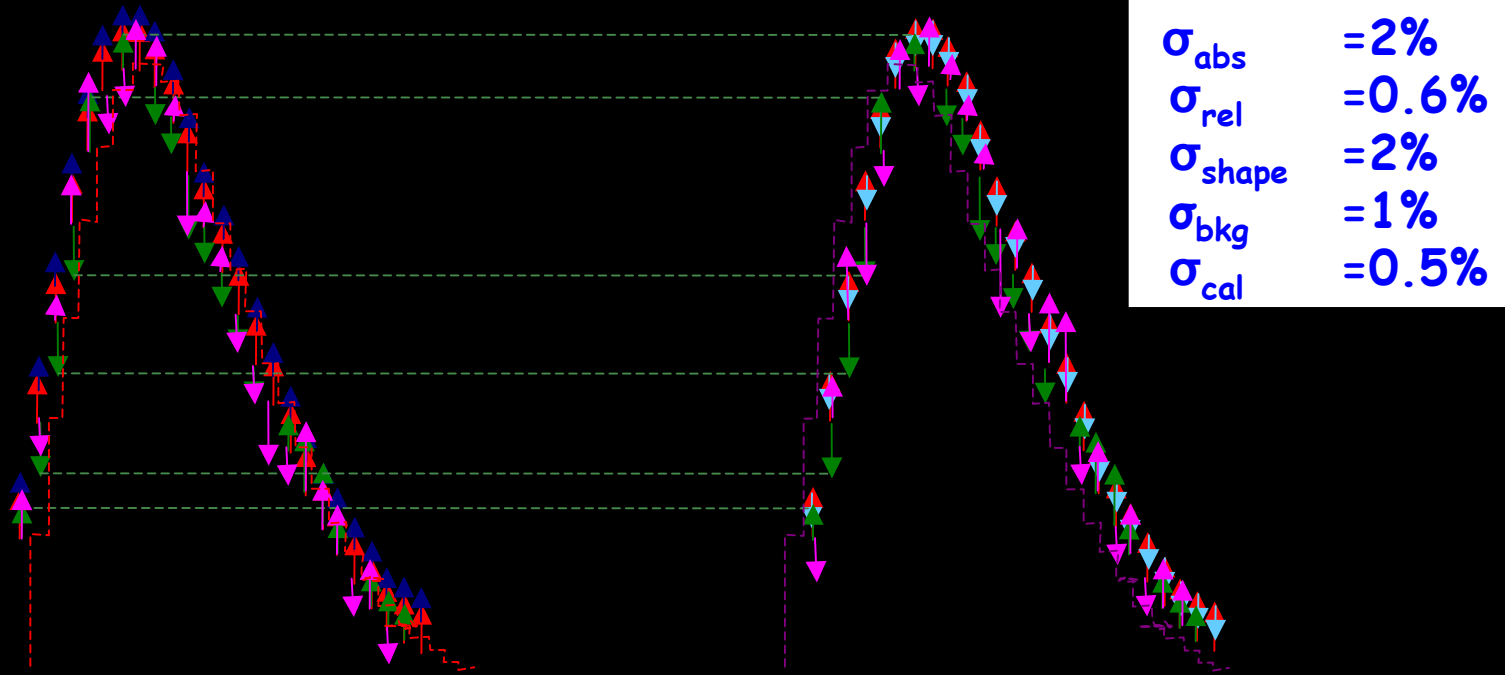
- ✓ **Origine physique :**
 - Bruit de fond de forme inconnue
- ✓ **Effet sur les spectres :**
 - Erreur non corrélée bin-a-bin, et non corrélée entre les 2 détecteurs
 - 3% dans CHOOZ, peut être amélioré $\rightarrow \sim 1\%$

Erreur sur l'échelle d'énergie



- ✓ **Origine physique :**
 - Erreur de calibration de l'échelle d'énergie entre les deux détecteurs
- ✓ **Effet sur les spectres :**
 - Légère translation des spectres sur l'échelle d'énergie
 - Typiquement $\sim 0,5\%$

Récapitulatif des erreurs ...

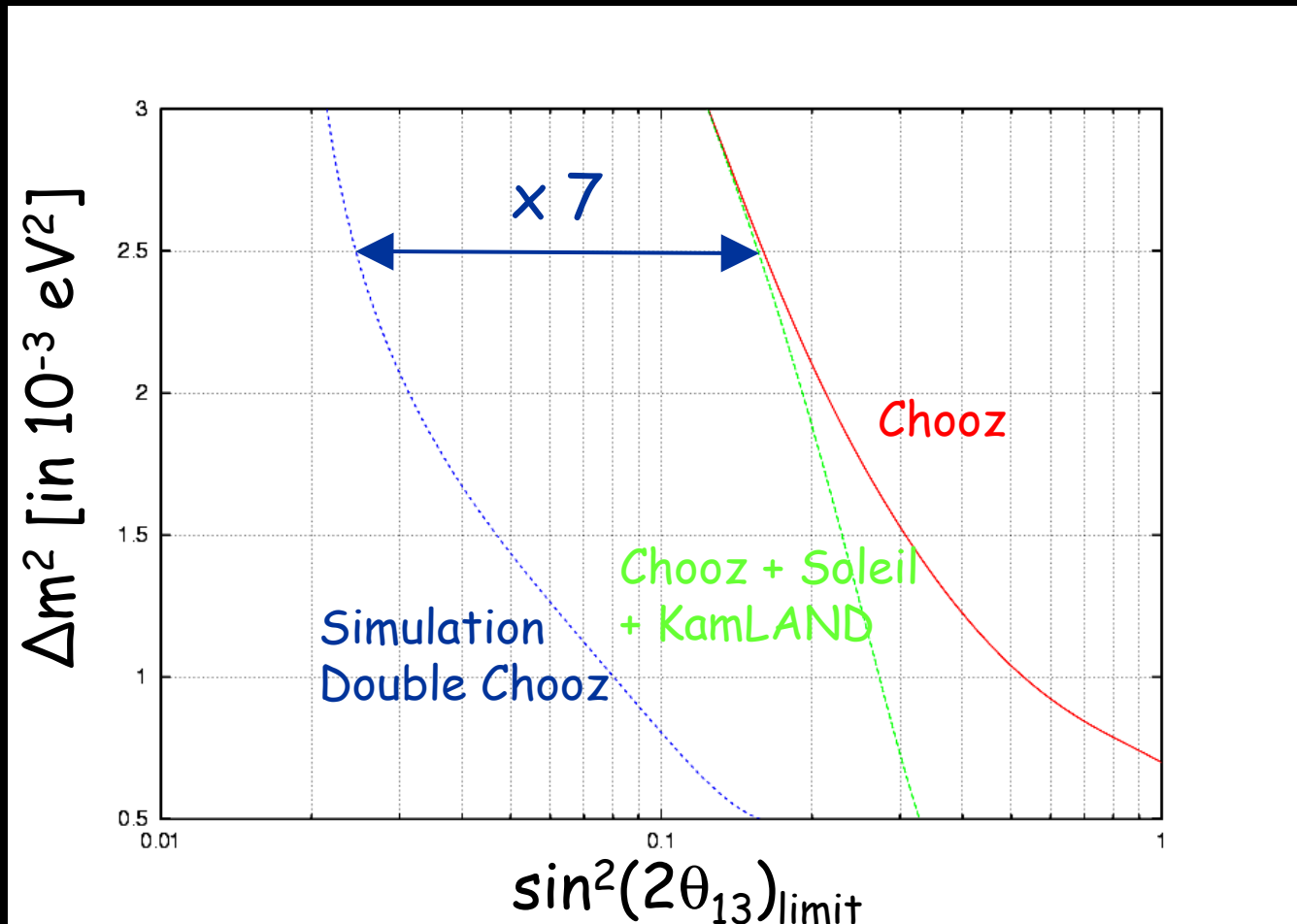


$$T_i^A = (1 + a + b^A + c_i) N_i^A (\sin^2(2\theta_{13}))$$

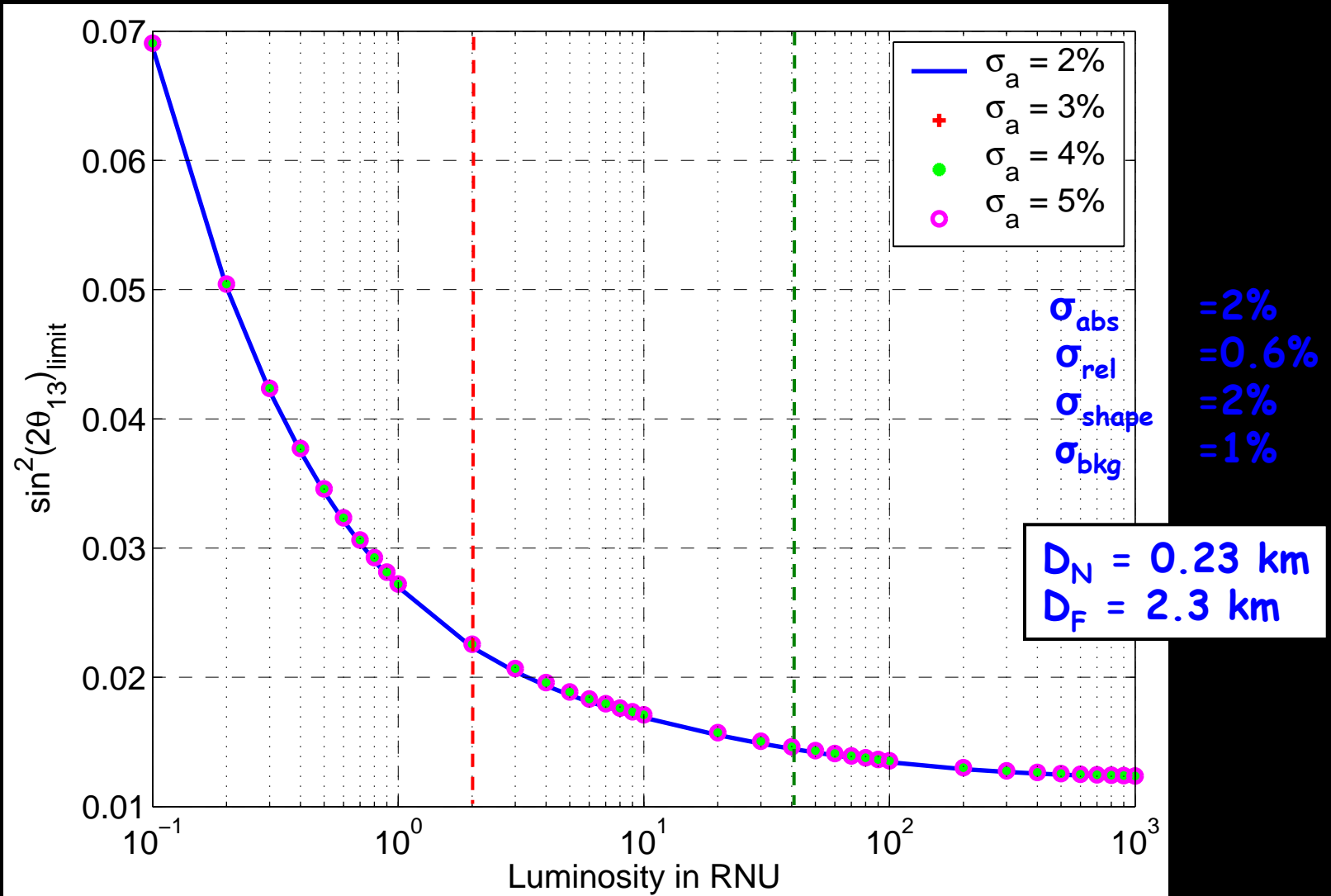
$$O_i^A = N_i^A (\sin^2(2\theta_{13}) = 0)$$

$$\chi^2 = \sum_{A=1,2} \left\{ \sum_{i=1}^{N_{\text{bins}}} \left[\frac{(T_i^A - O_i^A - f^A B_i^A)^2}{O_i^A + B_i^A + \sigma_{\text{bkg}}^2 (O_i^A)^2 + \sigma_{\text{bkg}}^2 (B_i^A)^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{c_i}{\sigma_{\text{shape}}} \right)^2 \right] + \left(\frac{b^A}{\sigma_{\text{rel}}} \right)^2 + \left(\frac{g^A}{\sigma_{\text{cal}}} \right)^2 + \left(\frac{f^A}{\sigma_{\text{bkg}}} \right)^2 \right\} + \left(\frac{a}{\sigma_{\text{abs}}} \right)^2 + \left(\frac{d - \Delta m_{23}^2}{\sigma_{\Delta m_{23}^2}} \right)^2$$

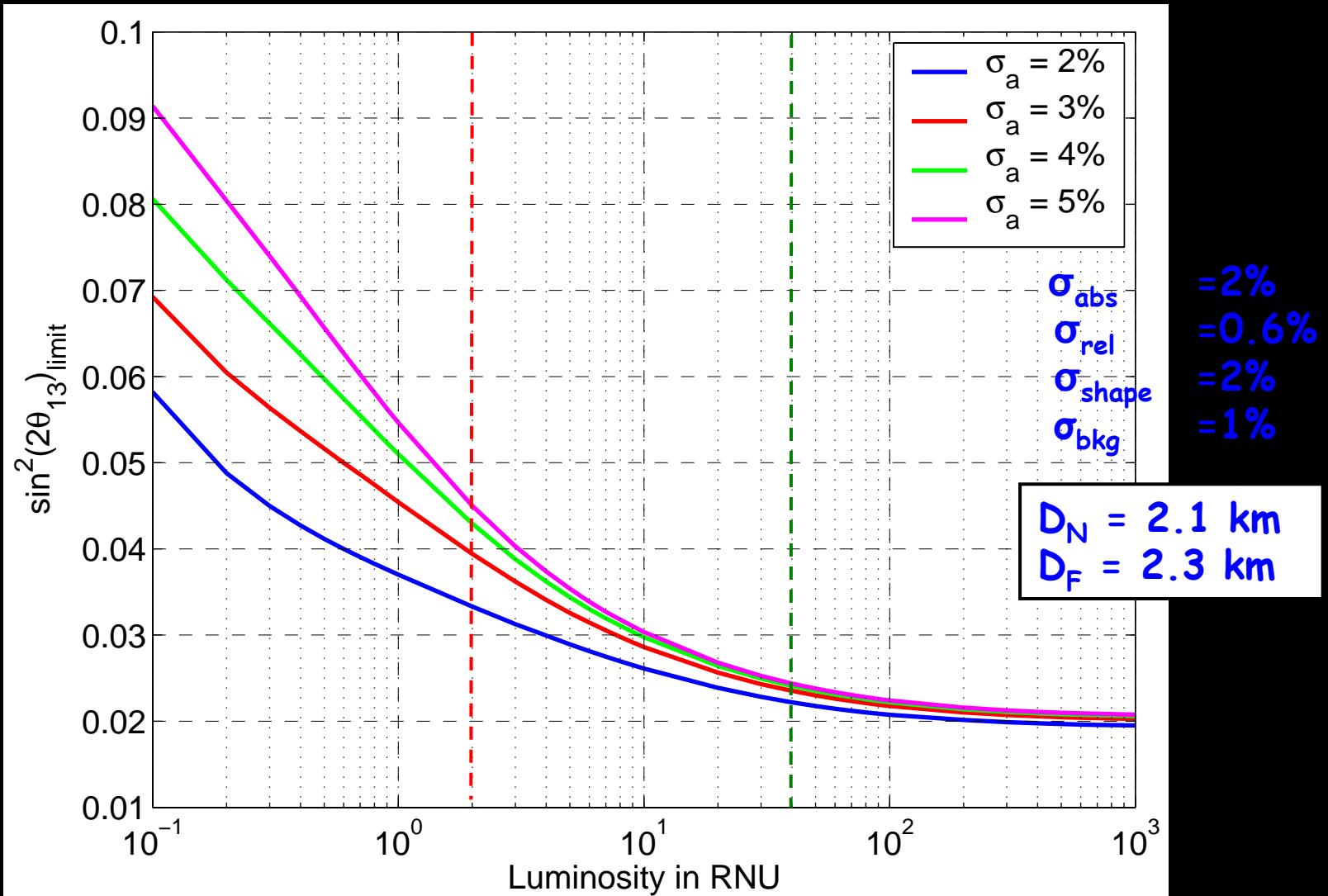
Limite potentielle sur $\sin^2(2\theta_{13})$ du projet Double Chooz



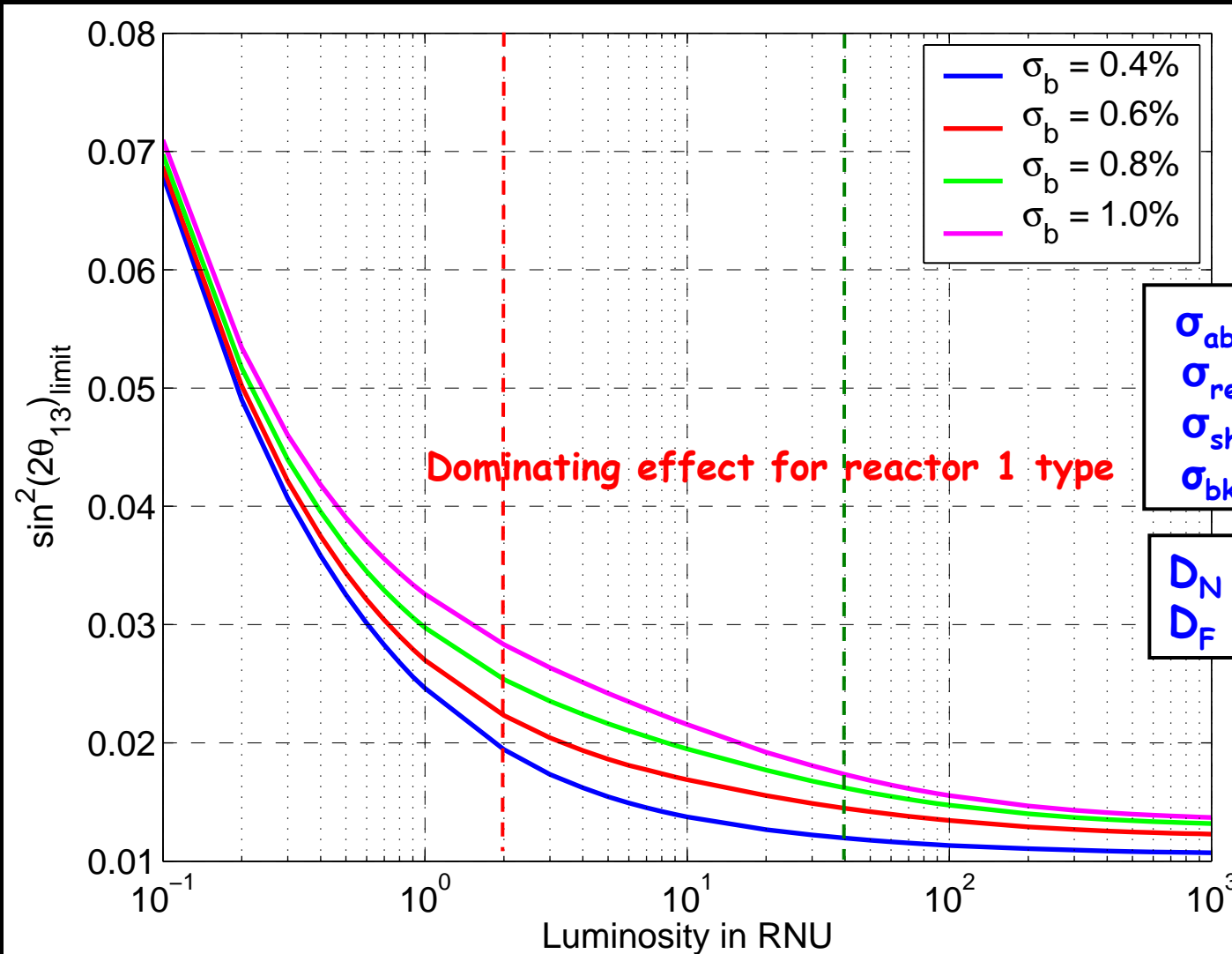
Influence of the global normalization error: near detector at 10% D_{Far}



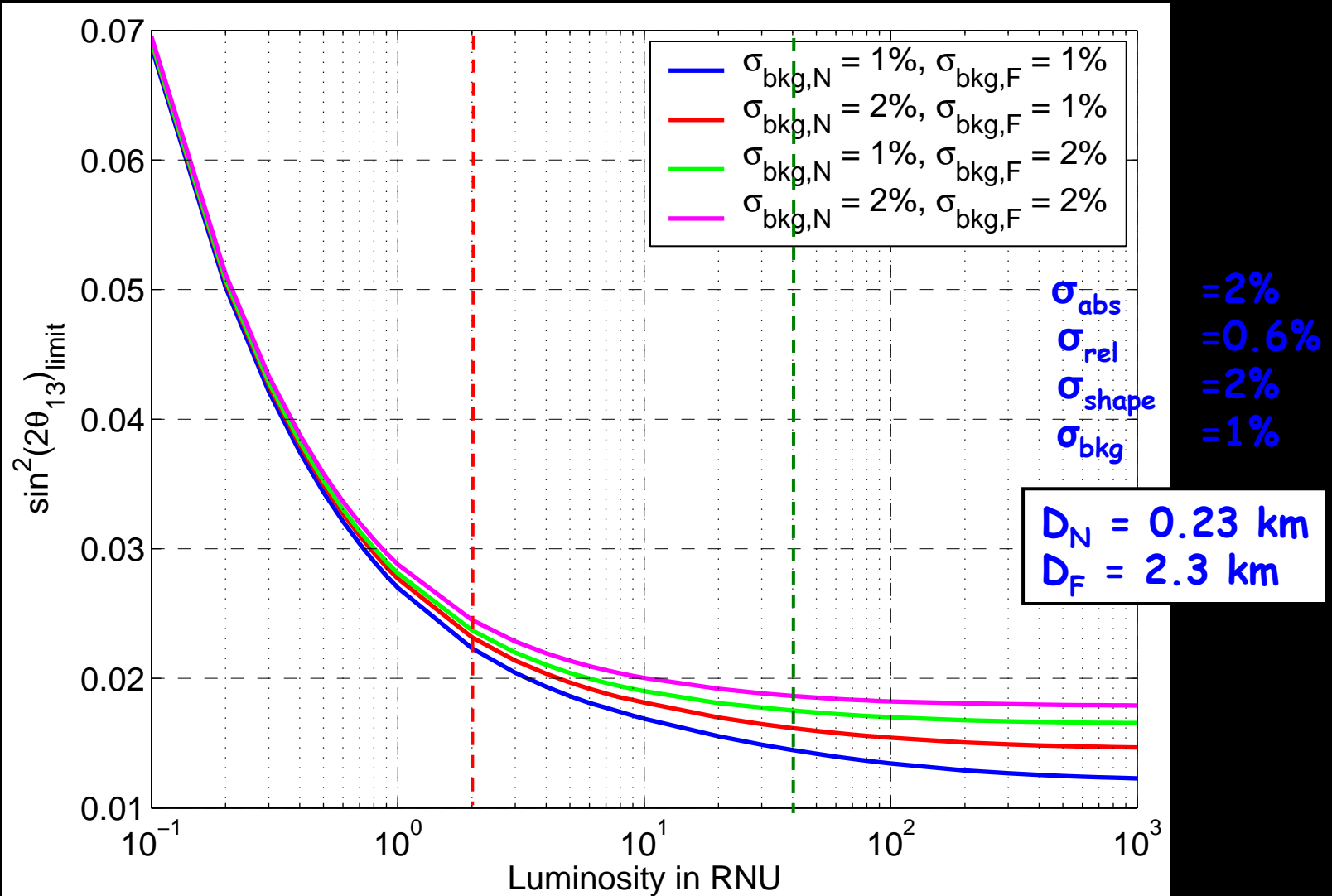
Influence of the global normalization: near detector at 90% D_{Far}



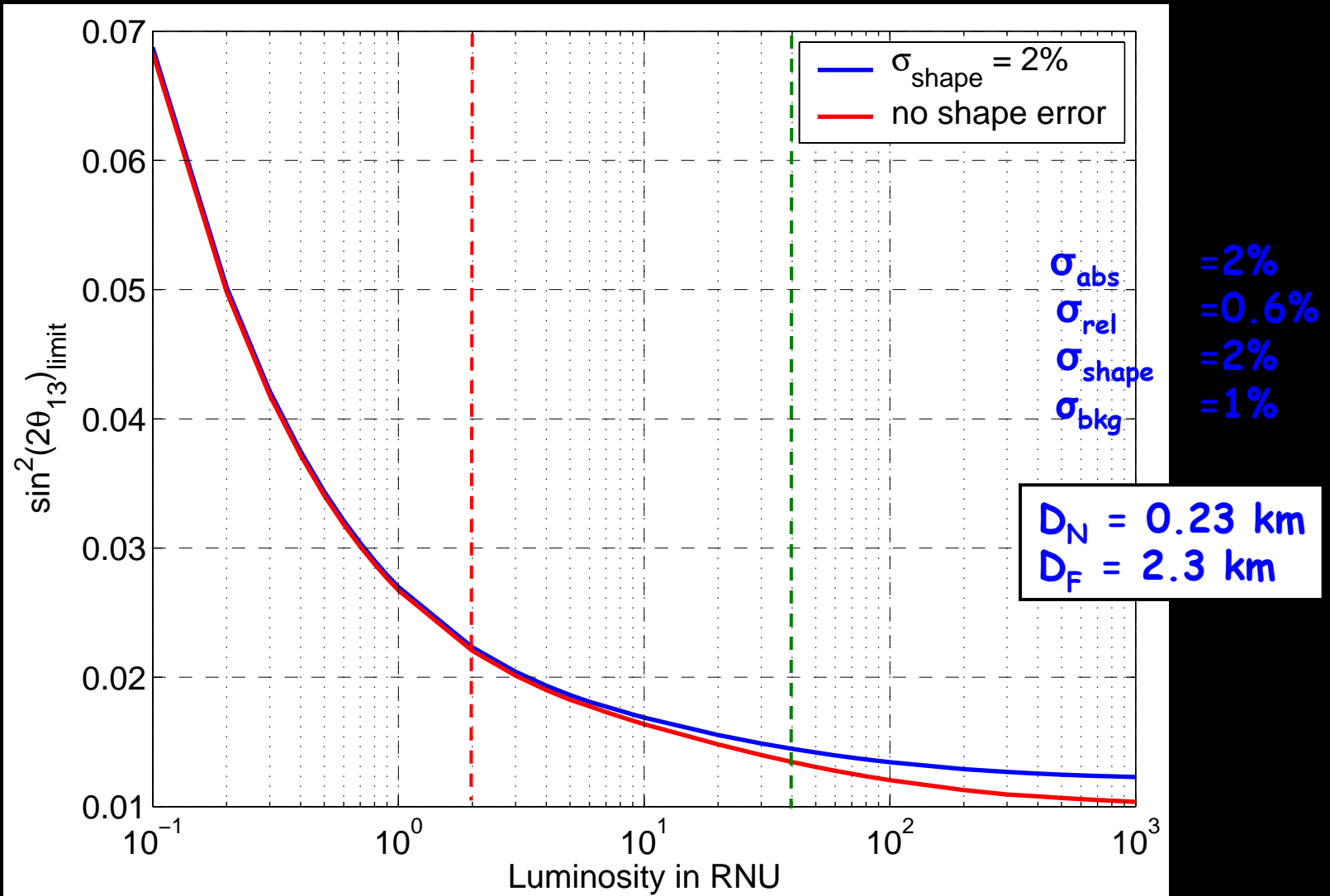
Influence of relative normalization



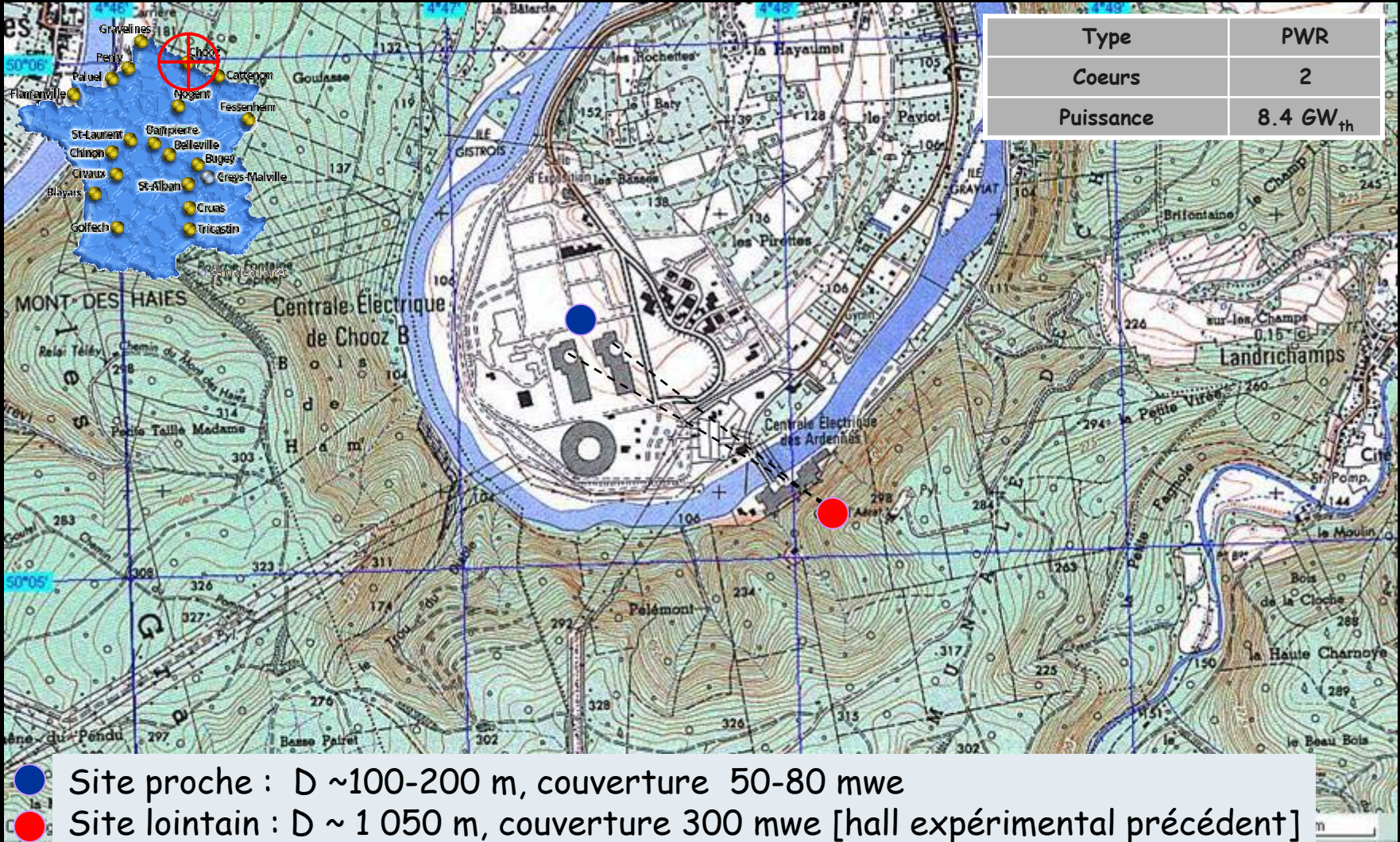
Influence of backgrounds



Influence of the shape error



Le site de Chooz



2x12,5 tonnes, D1 = 100-200 m, D2 = 1 050 m. Sensibilité :
 3 ans de prise de données $\rightarrow \sin^2(2\theta_{13}) < 0,03$

La proto-collaboration Double-CHOOZ



Collège de France/Saclay & APC, MPIK, TUM, Tubingen Univ., "Italy", Kurchatov

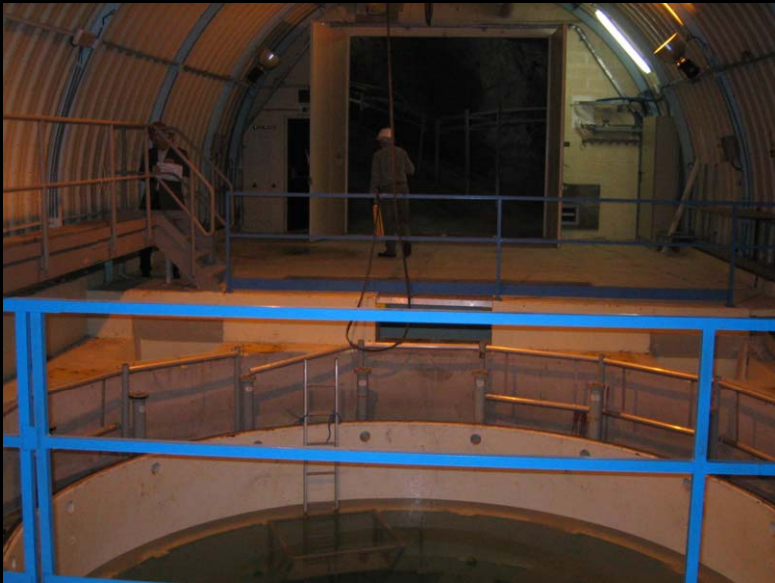
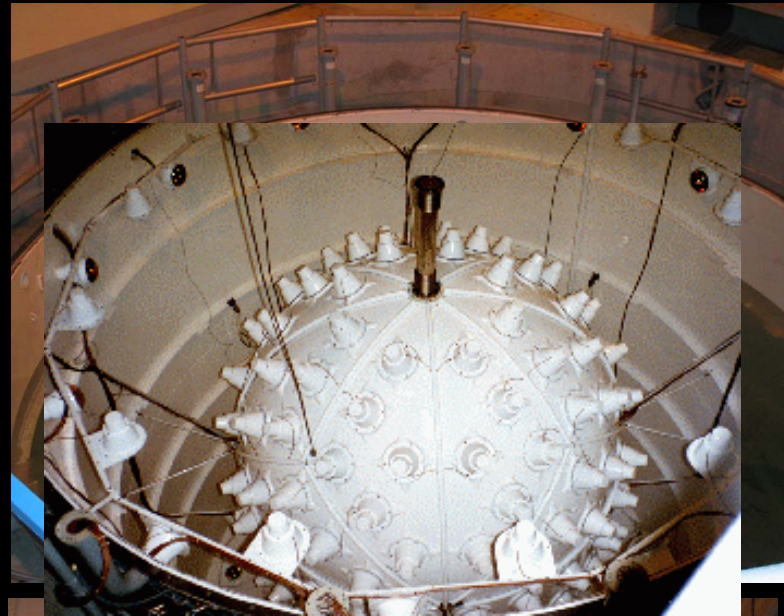
Double-CHOOZ meeting, 20-21/11/2003, Chooz

CHOOZ-Lointain... déjà prêt à être utilisé !

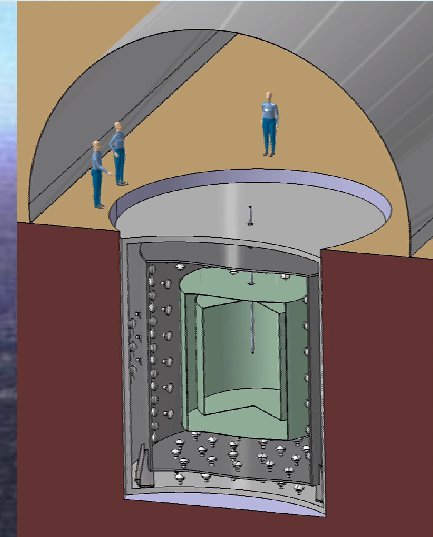
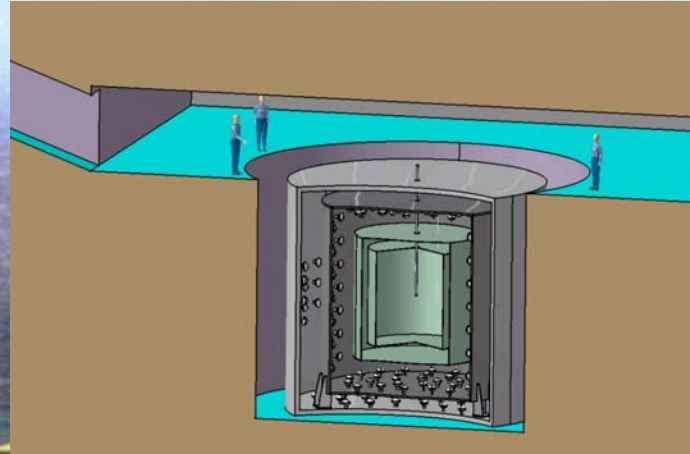


Photo prise en septembre 2003

CHOOZ-Lointain



Location des détecteurs



détecteur proche

détecteur lointain



Résumé & Perspectives

- ✓ Réacteurs: $\sin^2(2\theta_{13}) < 0.03$, 90% C.L. [CHOOZ : $\sin^2(2\theta_{13}) < 0.2$]
- ✓ Réacteurs & accélérateurs sont **complémentaires**
- ✓ Technologie connue & maîtrisée (Chooz, Borexino, KamLAND) → (presque) pas de R&D !
- ✓ Objectif: début de construction en 2005 (génie civil)
prise de données courant 2007 ?

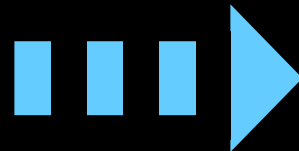
2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 an

Site

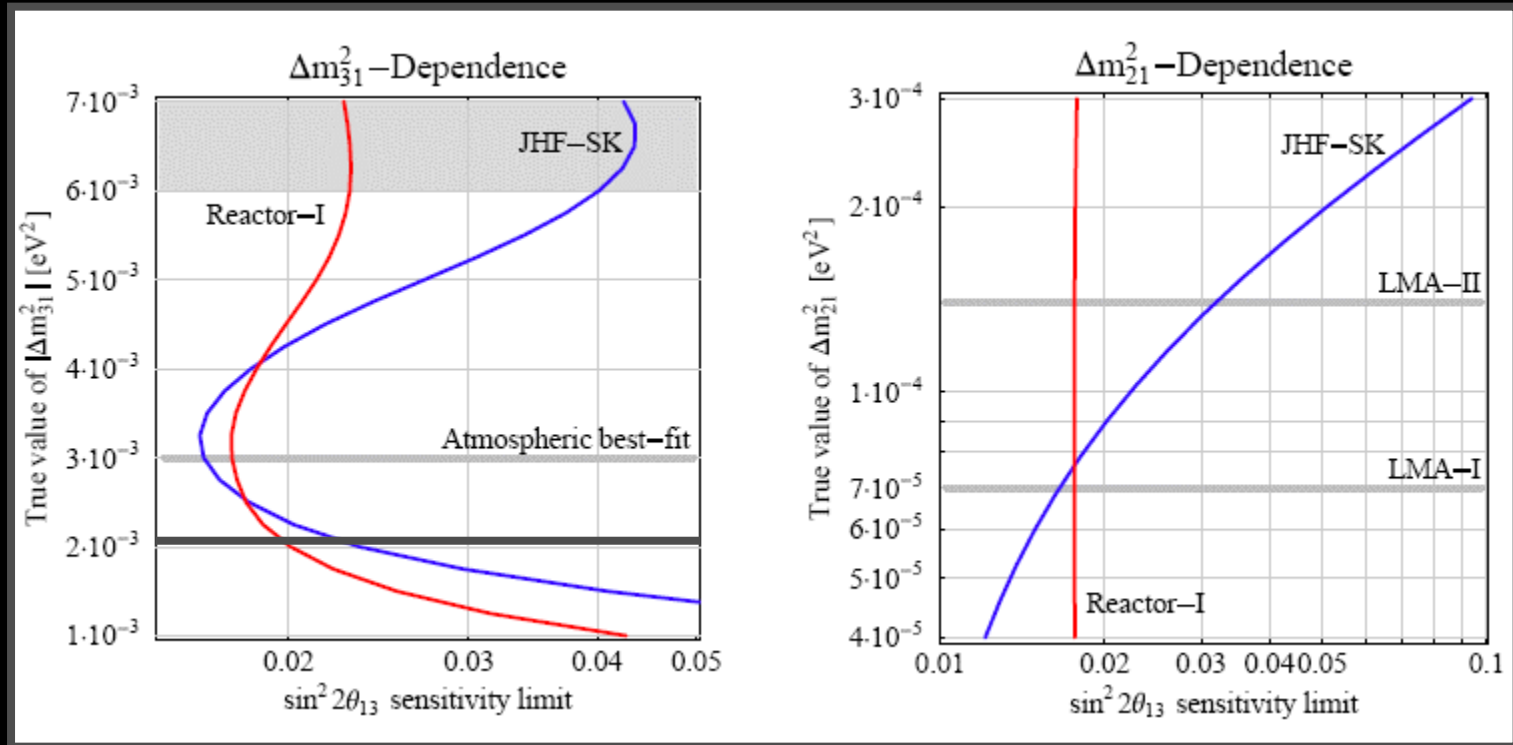
Proposal / Design

Construction

Prise de données



Dépendances en Δm^2_{atm} & Δm^2_{sol}



- ✓ Expérience « réacteur » moins sensibles aux variations de Δm^2_{31}
- ✓ Expérience en faisceaux très sensibles à Δm^2_{21} (solution LMA-II ?)