

TEST DES FLASH-ADCS,
OPTIMISATION DE LA CONCEPTION DU DÉTECTEUR,
DÉVELOPPEMENT D'UNE RECONSTRUCTION SPATIALE
DANS L'EXPÉRIENCE DOUBLE CHOOZ

Tarek Akiri

24 septembre 2010

APC, salle Klee

PLAN DE LA PRÉSENTATION

Les oscillations de neutrinos

La chasse à l'angle de mélange θ_{13}

L'expérience Double Chooz

Optimisation de la conception du détecteur :
concentrateurs de lumière

Le test des Flash-ADCs

Une nouvelle reconstruction spatiale : RecoTOF

LES OSCILLATIONS DE NEUTRINOS

LE MODÈLE STANDARD

* Le modèle standard décrit les particules élémentaires et trois de leurs interactions

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

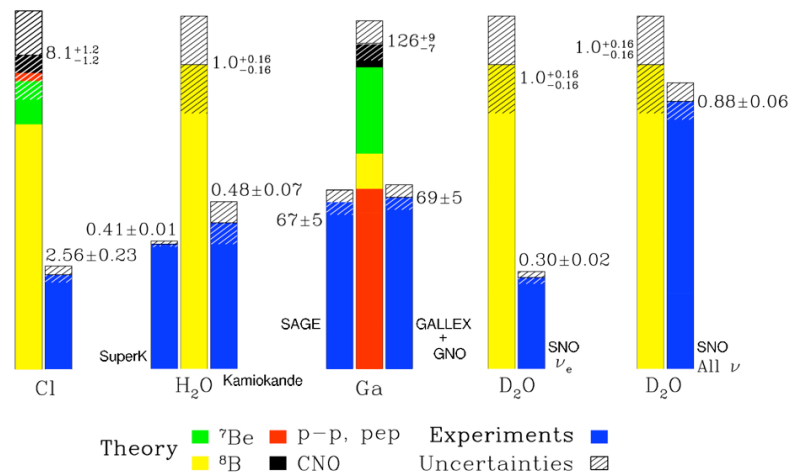
- ▣ Les neutrinos, étant sensibles seulement à l'interaction faible, ont permis l'élaboration du modèle standard
- ▣ Les neutrinos sont considérés sans masse (\neq oscillations)

L'HISTOIRE DES OSCILLATIONS DE NEUTRINOS

Les neutrinos solaires (ν_e)

<http://www.sns.ias.edu/~jnb/>

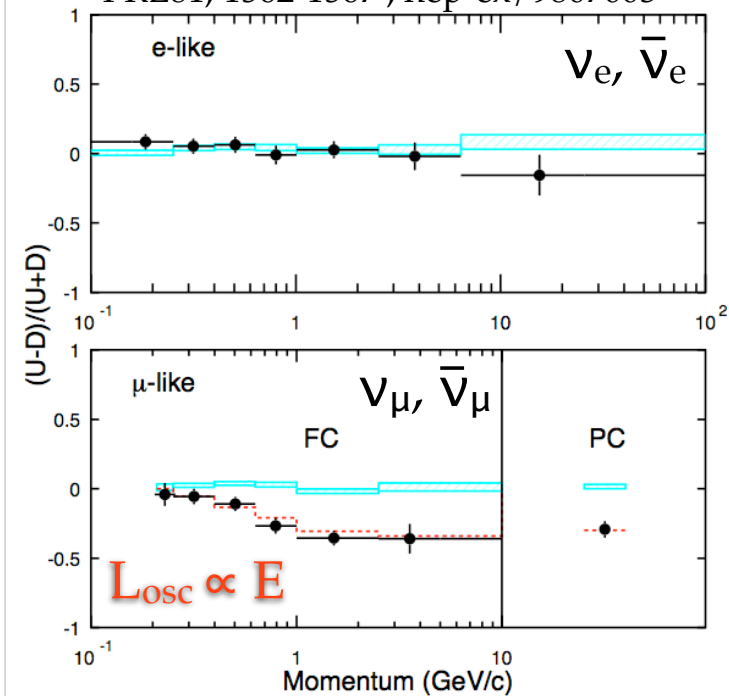
Total Rates: Standard Model vs. Experiment
Bahcall-Serenelli 2005 [BS05(OP)]



⇒ Les neutrinos changent d'espèce au cours de leur trajet vers la Terre

Les neutrinos atmosphériques

PRL81, 1562-1567 ; hep-ex/9807003



⇒ Le changement de nature des neutrinos est induit par des oscillations

LES OSCILLATIONS DE NEUTRINOS (1/2)

* Les neutrinos oscillent car les états propres d'interaction (ν_e, ν_μ, ν_τ) ne correspondent pas aux états propres de propagation (ν_1, ν_2, ν_3)

* Ces états propres sont reliés par la matrice de mélange leptonique U_{PMNS} (= U) :

$$|\nu_\alpha(x, t)\rangle = \sum_{k=1,2,3} U_{\alpha k} e^{-i(E_k t - p_k x)} |\nu_k\rangle$$

* En supposant les neutrinos relativistes : $t \approx x = L$, on obtient :

$$(E_k t - p_k x) = (E_k - p_k)L = \frac{(E_k^2 - p_k^2)}{(E_k + p_k)}L = \frac{m_k^2}{2E}L$$

avec L la distance de la source au détecteur, m_k la masse de l'état k et E son énergie

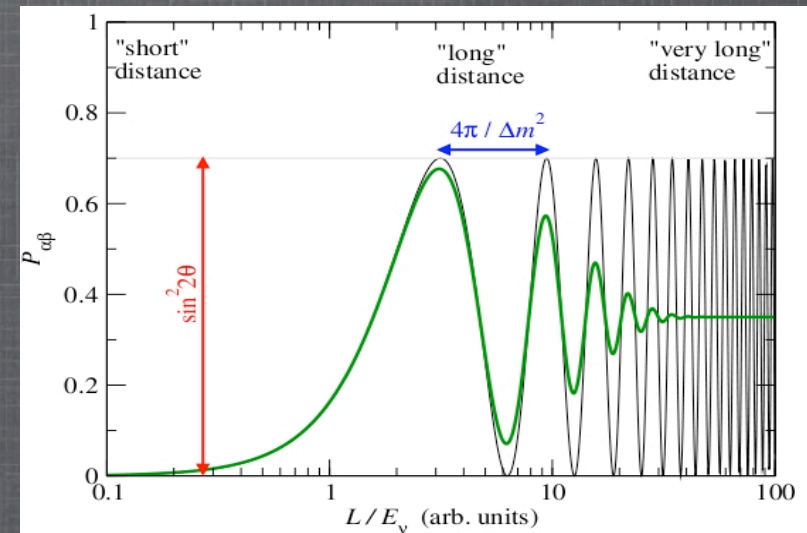
LES OSCILLATIONS DE NEUTRINOS (2/2)

* La probabilité d'oscillation dans le vide s'écrit alors :

$$P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta}(L, E) = \sum_{kj} \underbrace{U_{\alpha k}^* U_{\beta k} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*}_{\text{Amplitude}} \exp\left(-i \frac{\Delta m_{kj}^2 L}{2E}\right)_{\text{Période}}$$

* Les oscillations ne sont observables que si :

- Les $U_{\alpha i}$ ne sont pas triviaux
- Les $\Delta m_{kj}^2 = m_j^2 - m_k^2$ sont différents de 0
- La valeur de L/E est convenable



LA MATRICE U_{PMNS}

* La matrice U_{PMNS} dépend de 4 paramètres :

- 3 angles de mélanges : $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}$
 - 1 phase de violation CP : δ
- } seuls θ_{13}, δ inconnus

* Elle peut être factorisée en 3 matrices de rotation qui peuvent être considérées comme découplées car : $\Delta m_{23}^2 \gg \Delta m_{12}^2$ et $\theta_{13} \ll \theta_{12}, \theta_{23}$

$$U_{PMNS} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix}}_{\text{secteur atmosphérique}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}}_{\text{Le secteur } \theta_{13}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{secteur solaire}}$$

$s_{ij} = \sin\theta_{ij}$
 $c_{ij} = \cos\theta_{ij}$

LE SECTEUR ATMOSPHERIQUE

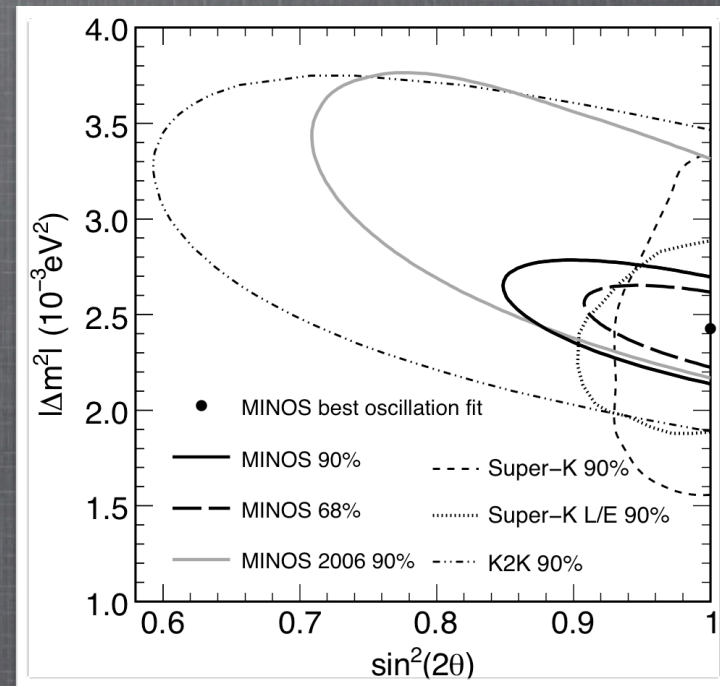
* Les oscillations ayant pour source les neutrinos atmosphériques ont été interprétées en terme de transition de ν_μ en ν_τ

* Elles ont ensuite été confirmées par des expériences $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ auprès d'accélérateurs : K2K et MINOS

* Les paramètres sont :

$$\sin^2 2\theta_{23} > 0.9 \quad (\theta_{23} > 36^\circ) \text{ à } 90\% \text{ C.L.}$$

$$|\Delta m_{32}^2| = (2.43 \pm 0.13) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$



arXiv: 0806.2237

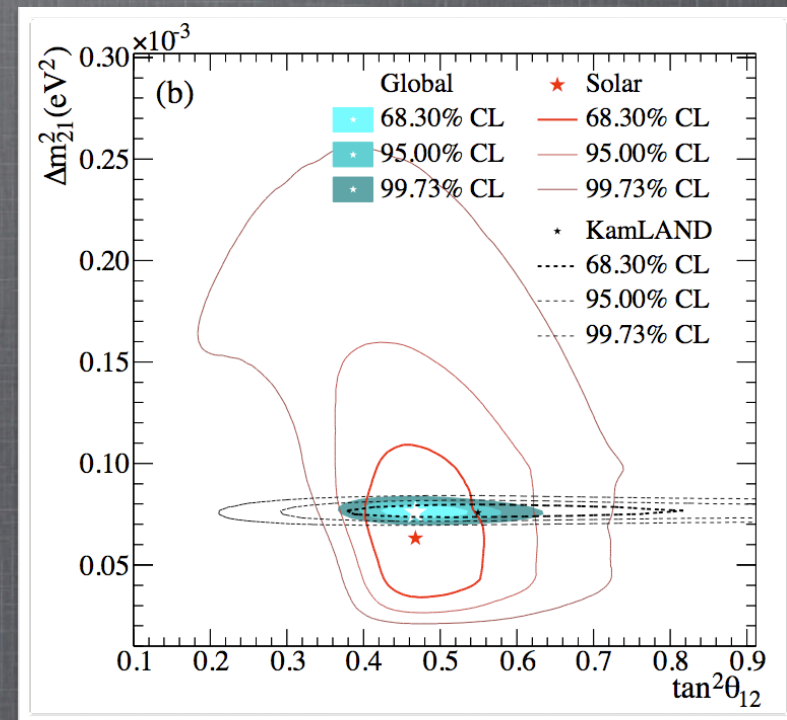
LE SECTEUR SOLAIRE

* Les oscillations ayant pour source les neutrinos solaires ont été interprétées en terme de transition de ν_e en ν_μ

* Elles ont ensuite été confirmées par l'expérience $\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ KamLAND auprès de réacteurs

* Les paramètres sont :

$$\tan^2 \theta_{12} = 0.457_{-0.029}^{+0.040} \quad (\theta_{12} \approx 34^\circ)$$
$$\Delta m_{12}^2 = 7.58_{-0.07}^{+0.10}(\text{stat.}) \pm 0.15(\text{syst.}) \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$



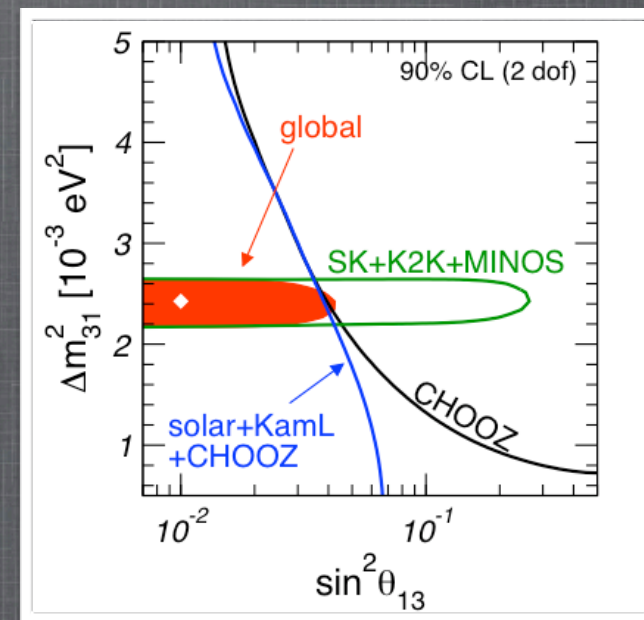
LE SECTEUR θ_{13}

* L'expérience CHOOZ qui était placée à 1 km de 2 réacteurs ($E_\nu \approx 3\text{MeV}$), était sensible aux oscillations d'amplitude $\sin^2 2\theta_{13}$ puisque :

- $\Delta m_{13}^2 = \Delta m_{12}^2 + \Delta m_{23}^2 \approx \Delta m_{23}^2 (\approx 2,4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2)$
- et $E/L \approx 3 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$

* Elle possède la meilleure contrainte à ce jour sur θ_{13} qui est :

$$\sin^2 2\theta_{13} < 0.14 (< 11^\circ) \text{ à } 90\% \text{ C.L.}$$



LA CHASSE À L'ANGLE DE MÉLANGE θ_{13}

DEUX TECHNIQUES POUR ACCÉDER À θ_{13} (1/2)

* Apparition de ν_e dans un faisceau de ν_μ auprès d'un accélérateur

$$P_{\nu_\mu \rightarrow \nu_e} \approx \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \theta_{23} \frac{\sin^2(A-1)\Delta}{(A-1)^2} + \alpha \sin 2\theta_{13} \sin 2\theta_{12} \sin 2\theta_{23} \cos(\Delta + \delta) \frac{\sin A\Delta \sin(A-1)\Delta}{A(A-1)} + \alpha^2 \sin^2 2\theta_{12} \cos^2 \theta_{23} \frac{\sin^2 A\Delta}{A^2}$$

arXiv: 1003.5800

avec $A=2EV / \Delta m_{13}^2$ ($V=\sqrt{2}G_F N_e$) et $\alpha=\Delta m_{21}^2 / \Delta m_{31}^2 \approx 0,03$

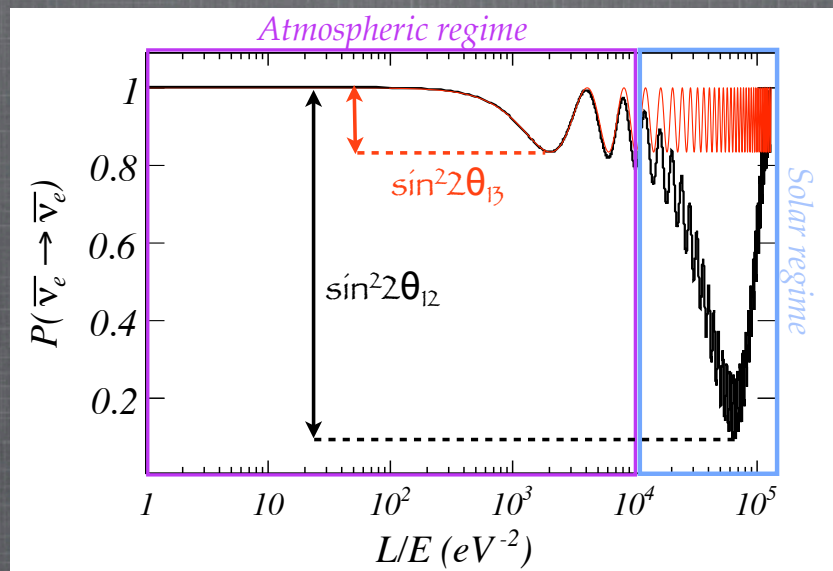
- ⇒ Multiple dégénérescences et corrélations mais un signal indiquerait que $\theta_{13} \neq 0$
- ⇒ Sensibilité à la phase de violation CP et au signe de Δm_{13}^2

* Expériences : T2K (a déjà débuté), NOvA (prévue pour 2012)

DEUX TECHNIQUES POUR ACCÉDER À θ_{13} (2/2)

* Disparition de $\bar{\nu}_e$ auprès de réacteurs comme l'expérience CHOOZ

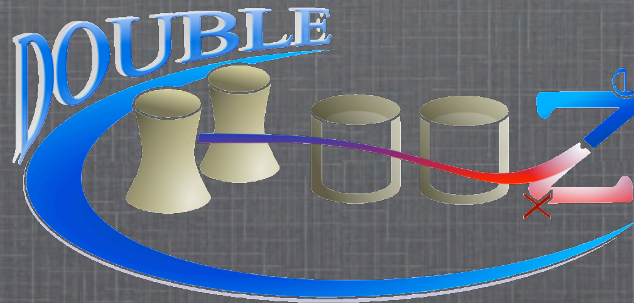
$$P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e} \simeq 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m_{31}^2 L}{E_{\bar{\nu}_e}} \right) - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m_{12}^2 L}{E_{\bar{\nu}_e}} \right)$$



⇒ Dépendance à θ_{13} uniquement

* Expériences : Daya Bay (fin 2012), RENO (fin 2010) et Double Chooz

L'EXPÉRIENCE DOUBLE CHOOZ



LA STRATÉGIE

* Amélioration de l'expérience CHOOZ :

$$N_{\text{obs}}/N_{\text{att}} = 1.01 \pm 2.8\% \text{ (stat.)} \pm 2.7\% \text{ (syst.)}$$

* Erreur statistique \Rightarrow 0.5%

- Plus grand volume (5.5 m³ \rightarrow 10.3 m³)
- Plus longue exposition (qq mois \rightarrow 3-5 ans)

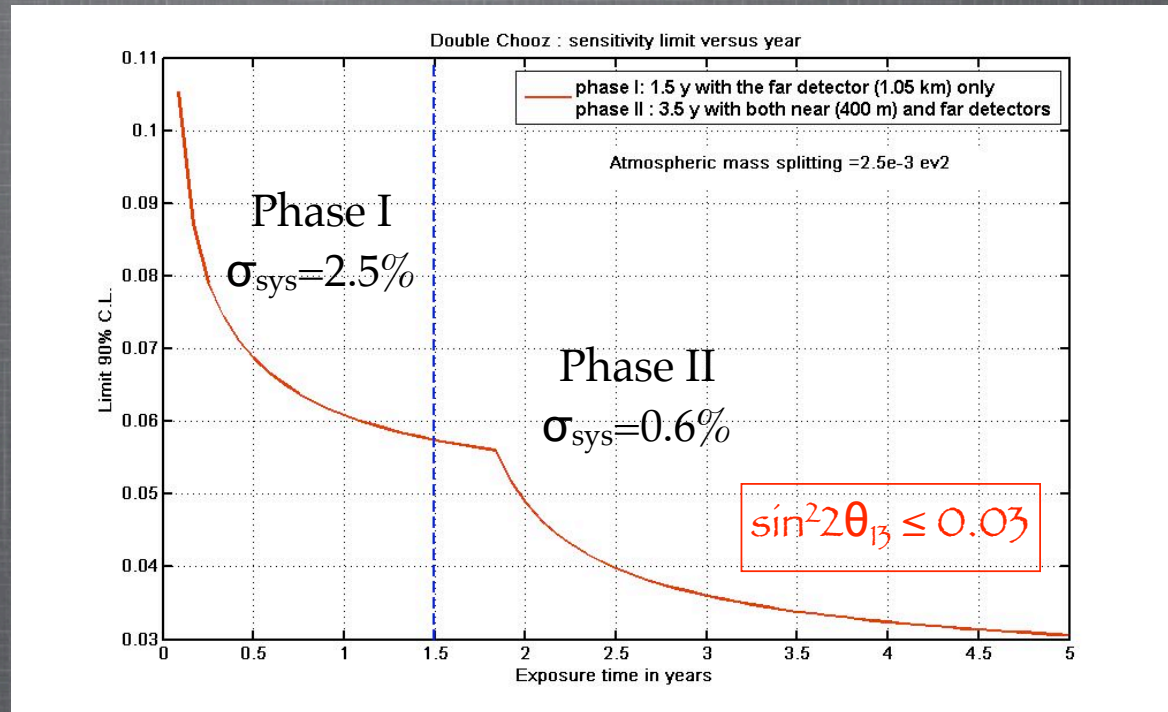
* Erreur systématique \Rightarrow 0.6%

- Mesure relative entre deux détecteurs
- Détecteurs identiques
- Réduction du nombre de coupures (de 7 à 3 coupures)
- Meilleur design du détecteur

LA SENSIBILITÉ

* Sensibilité à 90% C.L. pour $\Delta m_{31}^2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ si $\sin^2 2\theta_{13} = 0$

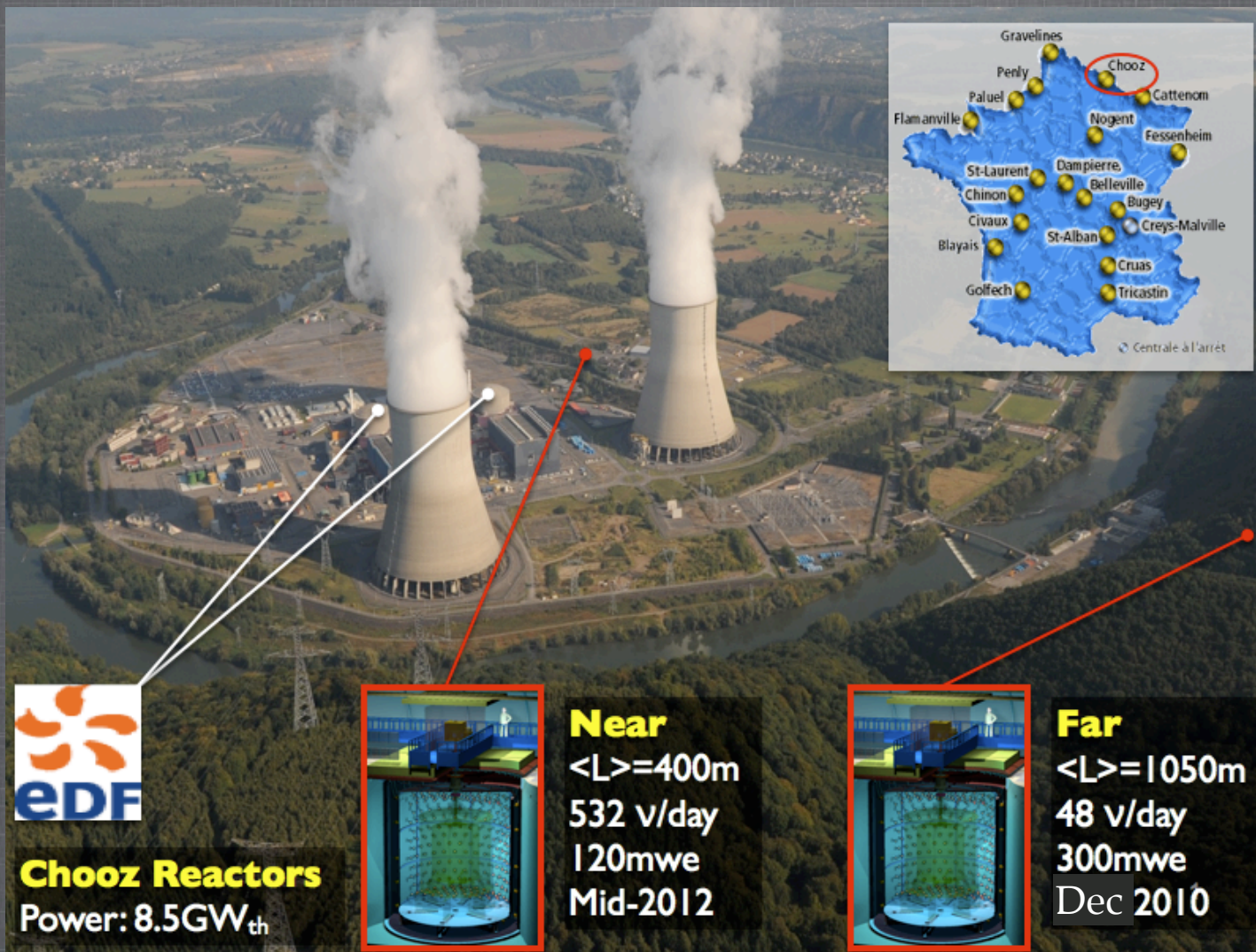
- Phase I :
détecteur lointain
- Phase II :
détecteur lointain
et détecteur proche



* La limite de CHOOZ ($\sin^2 2\theta_{13} < 0.14$) peut être atteinte en 2-3 mois

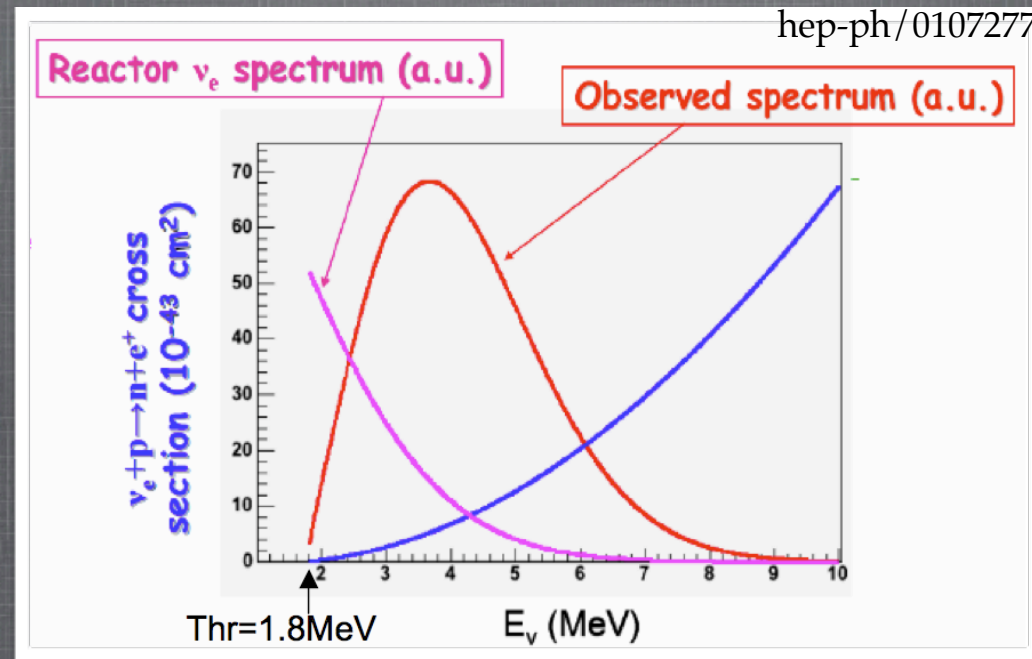
* Le potentiel de découverte est $\sin^2 2\theta_{13} > 0.05$ à 3σ après 3 ans avec les 2 détecteurs

CONFIGURATION



SIGNAL (1/2)

* Spectre de $\bar{\nu}_e$ va jusqu'à ~10 MeV



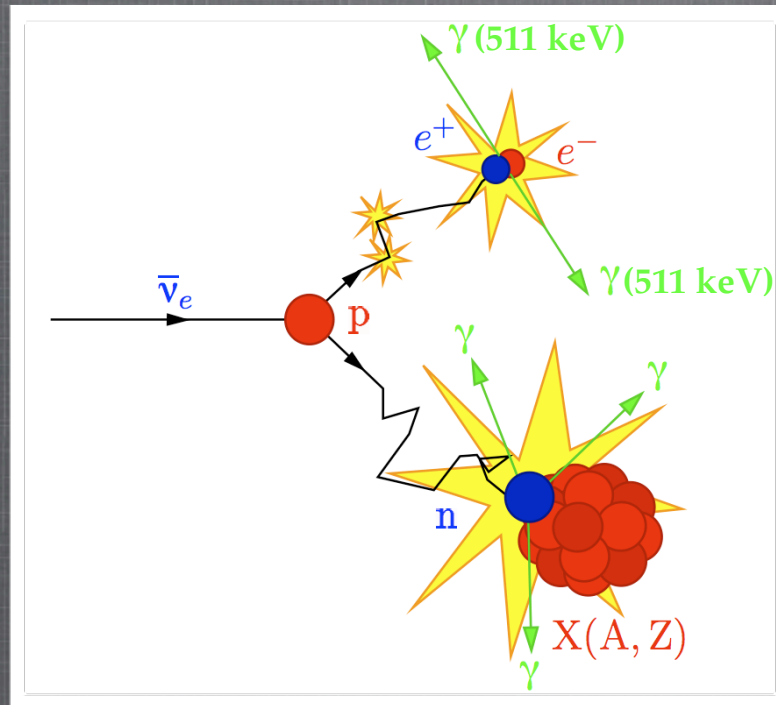
⇒ Détection avec la réaction β -inversée :



⇒ Utilisation de liquides scintillants

SIGNAL (2/2)

* Utilisation de Gadolinium (Gd) pour une signature claire



déposition d'énergie
du e^+ (prompte) :
 $E_{\text{vis}} \approx E_\nu - 0.8 \text{ MeV}$

capture du neutron
sur le Gd (retardée) :
 $E \approx 8 \text{ MeV}, \tau \approx 30 \mu\text{s}$

La sélection du signal est constituée de 3 coupures :

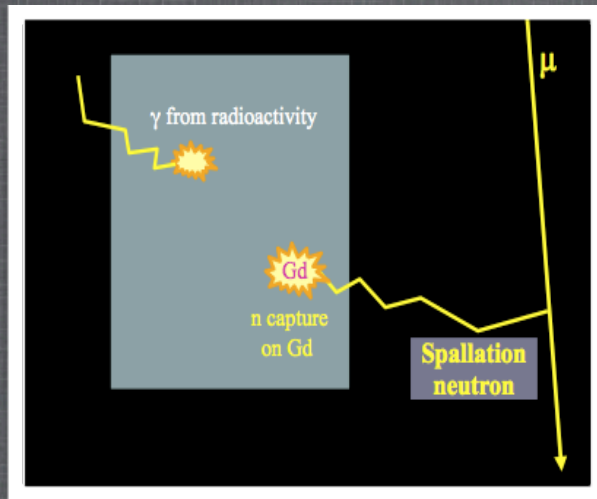
$$E_P \in [1,8] \text{ MeV} + E_R \in [7,9] \text{ MeV}$$

$$\Delta t \leq 100 \mu\text{s}$$

BRUITS DE FOND

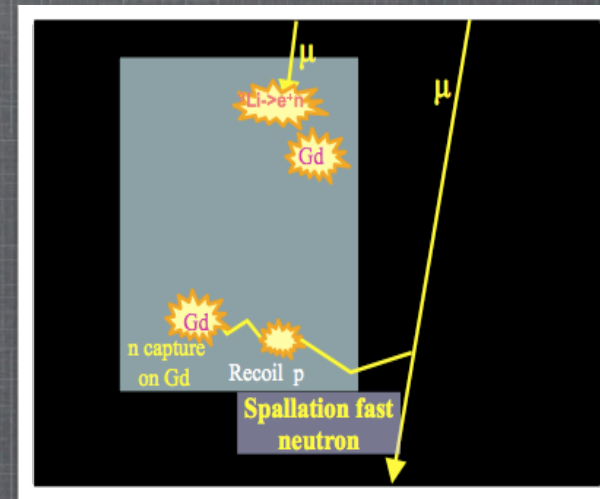
* Accidentel :

Déposition d'énergie induite par un γ de radioactivité suivie par une capture d'un neutron induit par un muon



* Corrélé :

- Neutrons rapides induits par des muons
- Isotopes avec cascade β -n et un long temps de demi-vie ($\tau \sim 150$ ms)



CONCEPTION DU DÉTECTEUR

Identiques aux
2 détecteurs

Veto Externe contre les muons :
Bandes de scintillateur
plastique

Veto Interne contre les muons :
90 m³ de scintillateur

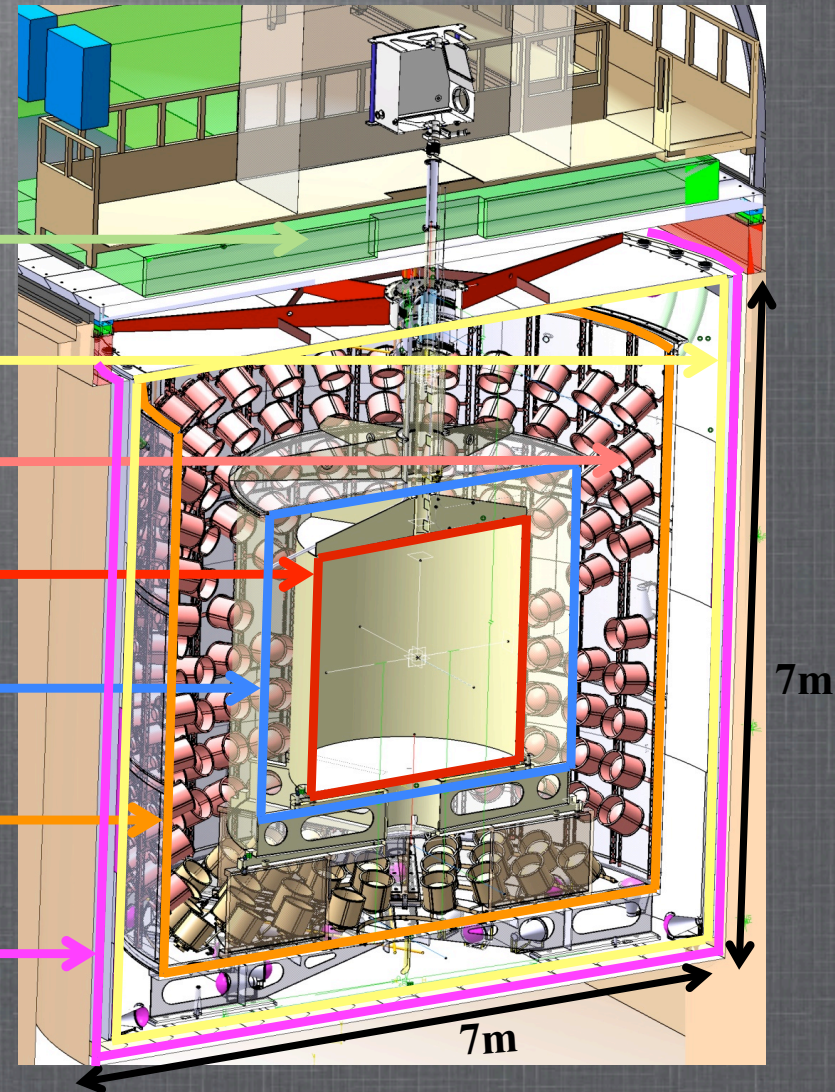
390 tubes photomultiplicateurs

Cible (Target) :
10 m³ de scintillateur liquide
dopé au Gd

Collecteur γ (γ -Catcher) :
23 m³ de scintillateur liquide
sans Gd

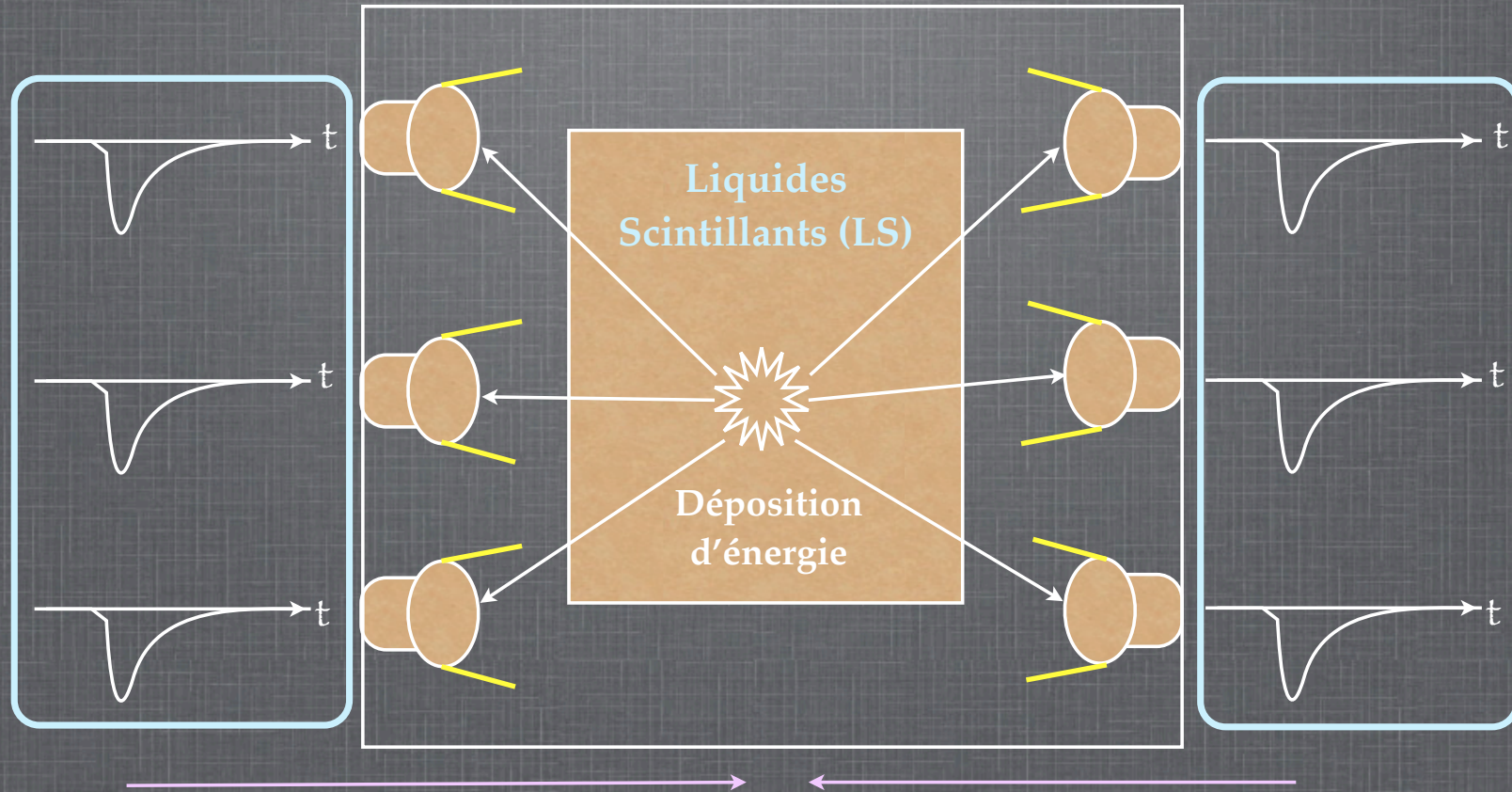
Volume tampon (Buffer) :
110 m³ d'huile minérale

Blindage :
Acier d'épaisseur 15 cm





ÉVÉNEMENT DANS LE DÉTECTEUR



1. **Concentrateurs de lumière** sur les PMTs ?
2. Enregistrement des signaux par les Flash-ADCs
3. **Reconstruction spatiale** des événements

OPTIMISATION DU DESIGN DU DÉTECTEUR

* Détermination des contraintes radioactives que doivent satisfaire des composantes du détecteur (Impact sur l'erreur systématique) :

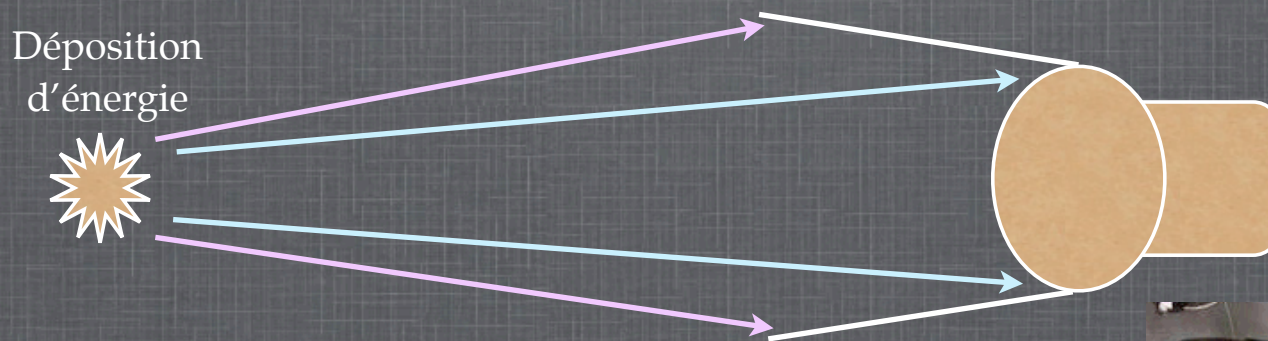
- Joint entre les barres du blindage
- Peinture réfléchive dans le volume de protection interne contre les muons

* Détermination de l'énergie

- L'ajustement de la production de lumière des liquides scintillants de la cible et du γ -catcher
- L'impact d'un déclenchement du système d'acquisition basé sur le nombre de PMTs touchés (\neq du nombre de PEs)
- L'apport de l'utilisation de concentrateurs de lumières

POURQUOI DES CONCENTRATEURS DE LUMIÈRE ?

* L'utilisation de concentrateurs de lumière permet d'obtenir davantage de PEs par MeV, menant à une meilleure résolution en énergie cruciale pour la réduction des erreurs systématiques

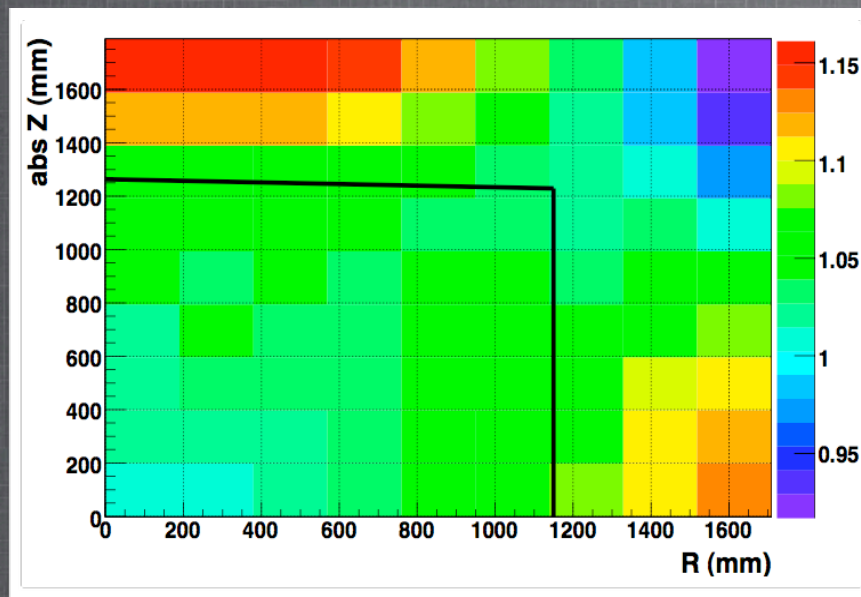


Mais il existe des non uniformités dans la réponse ...



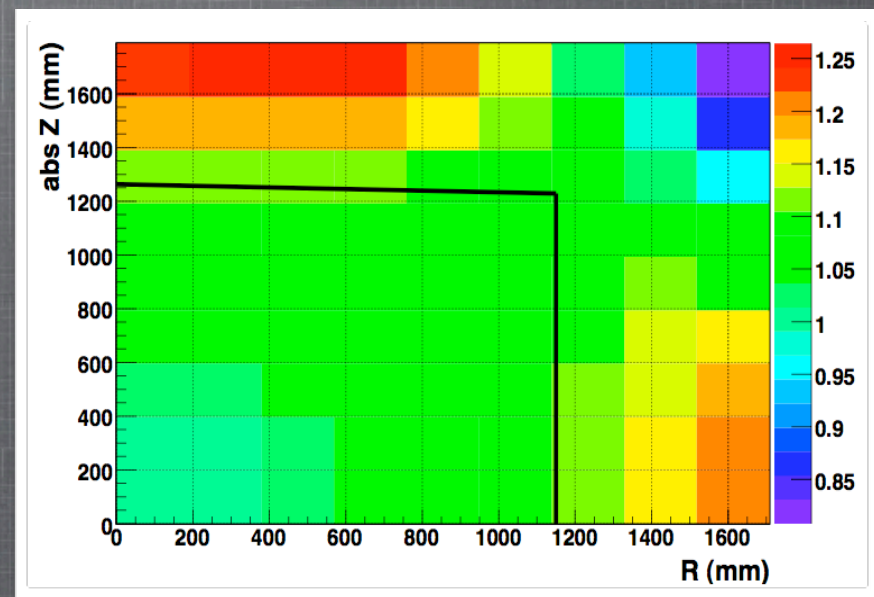
NON UNIFORMITÉS DU DÉTECTEUR

Carte de réponse du détecteur
sans concentrateurs



Cible uniforme à 5%, disparités dans le γ -catcher allant de +15% à -8%

Carte de réponse du détecteur
avec concentrateurs



Cible uniforme à 10%, disparités dans le γ -catcher allant de +25% à -13%

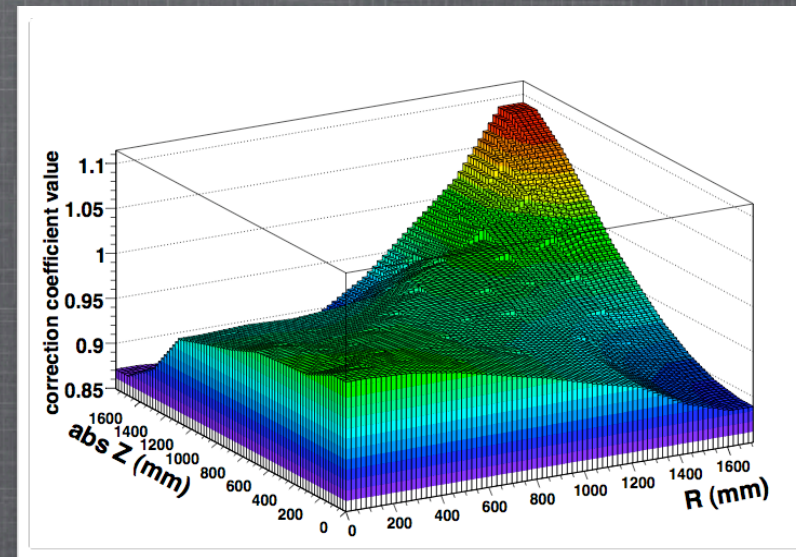
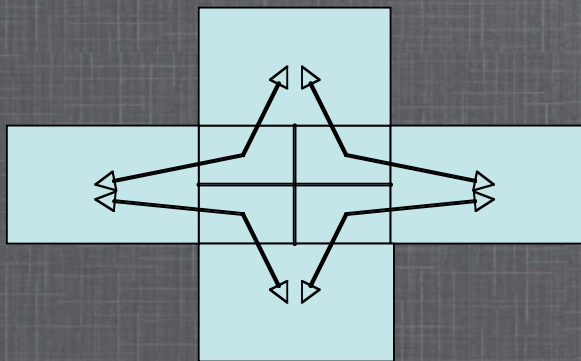
➡ Les concentrateurs amplifient les non-uniformités

ALGORITHME DE CORRECTION

* Détermination d'un coefficient de correction pour chaque bin :

$$NPE_{ref} / NPE_{bin}$$

* Interpolation linéaire entre les valeurs des bins en R et Z pour obtenir un coefficient de correction pour toutes les positions



ANALYSE

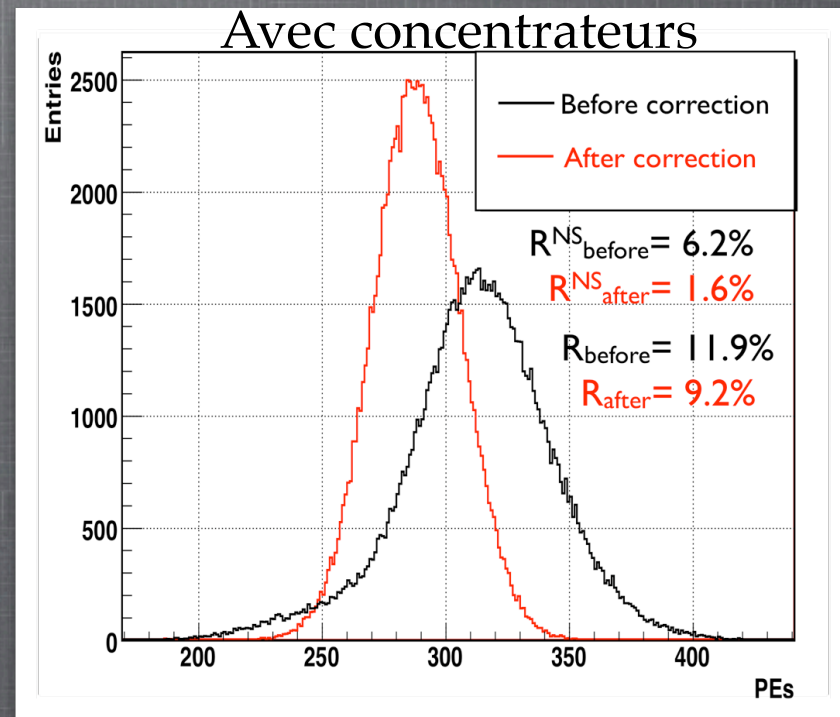
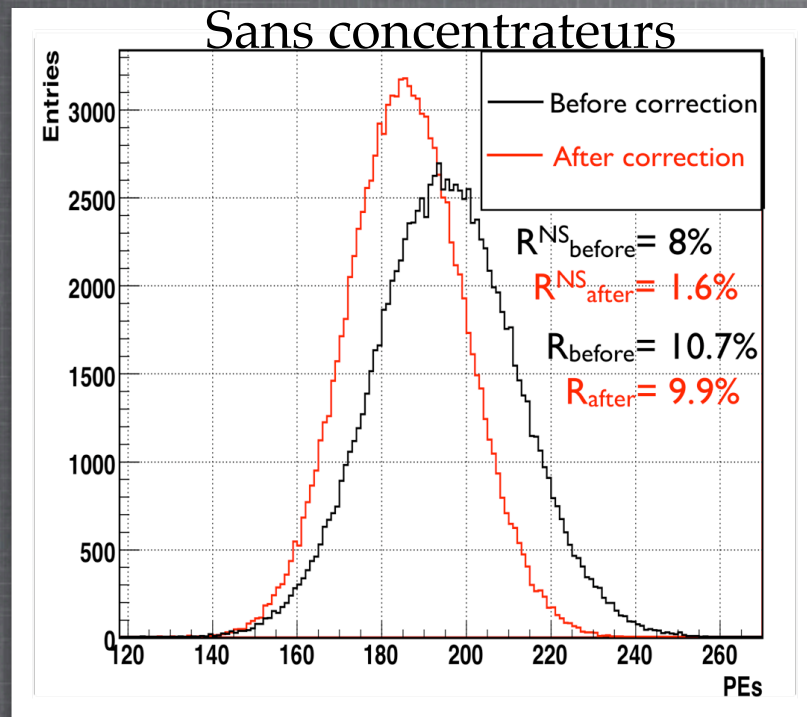
- * Evaluation de l'algorithme via la distribution corrigée de PEs avec :
 - la véritable position de la déposition
 - l'effet de la résolution spatiale a été simulé en tirant la position dans une distribution gaussienne autour de la vraie position

- * Comparaison des distributions avec et sans concentrateurs pour des e^- de 1 MeV et des e^+ de 3 MeV

- * Les critères d'évaluation sont :
 - la résolution (totale et non statistique), déterminée par l'écart-type divisé par la moyenne ($\sigma_{\text{stat}} = \sqrt{\text{moyenne}}$)
 - le kurtosis, une valeur supérieure à 0 indique une distribution plus piquée qu'une gaussienne mais avec des queues plus longues

RÉSULTATS POUR DES e^- DE 1 MEV (1/2)

* Distribution de PEs avant (noir) et après (rouge) correction

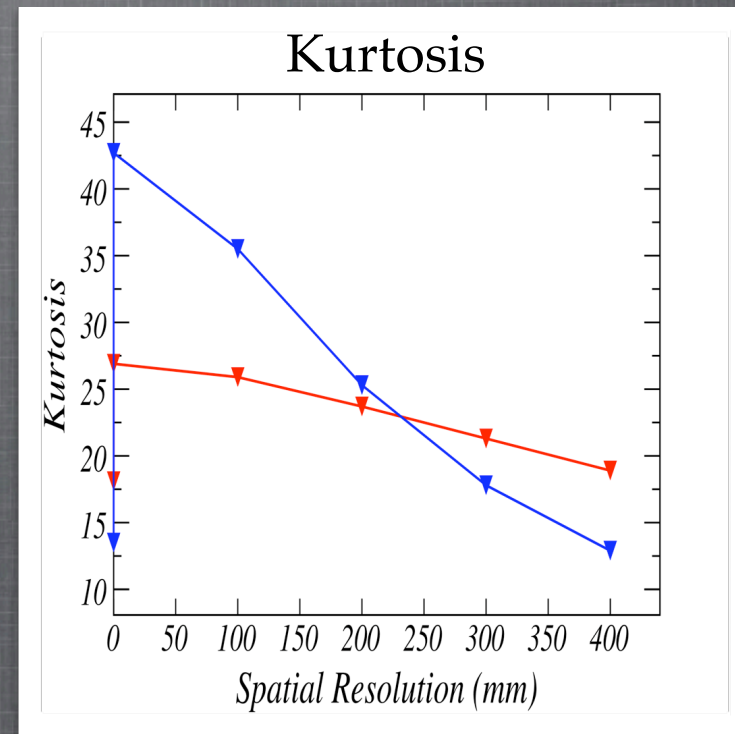
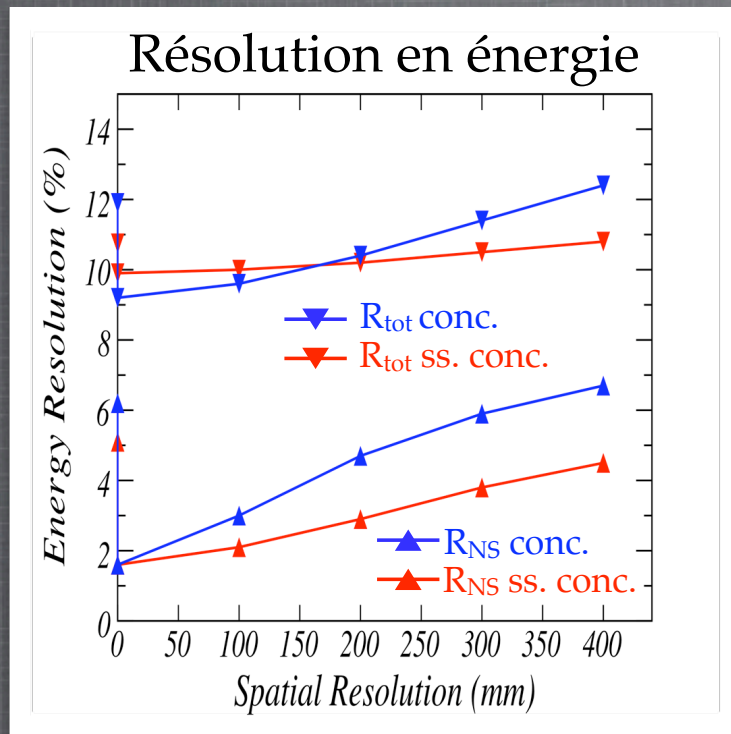


⇒ Les non-uniformités peuvent être efficacement corrigées

⇒ La meilleure résolution en énergie est obtenue avec des concentrateurs

RÉSULTATS POUR DES e^- DE 1 MEV (2/2)

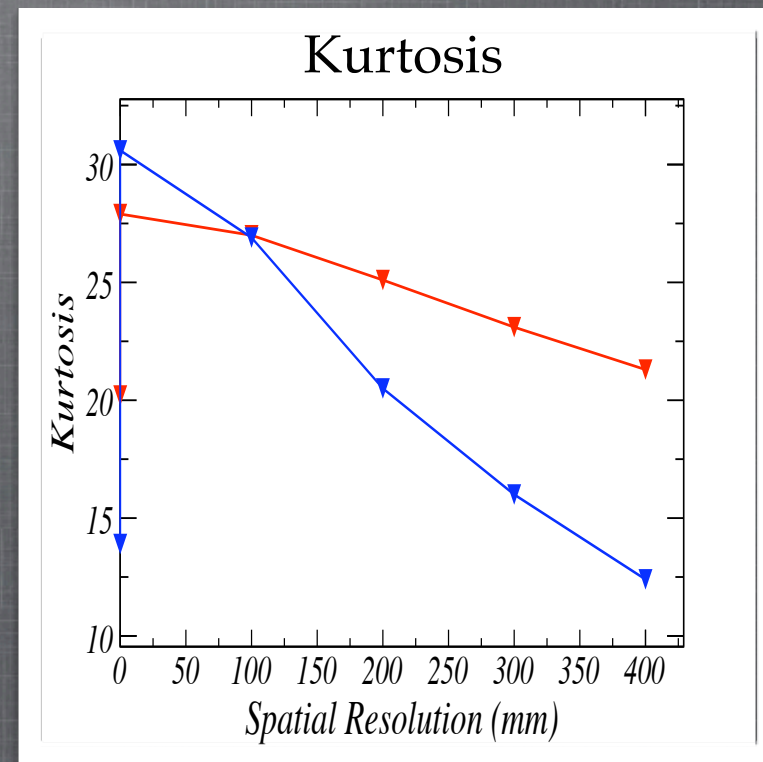
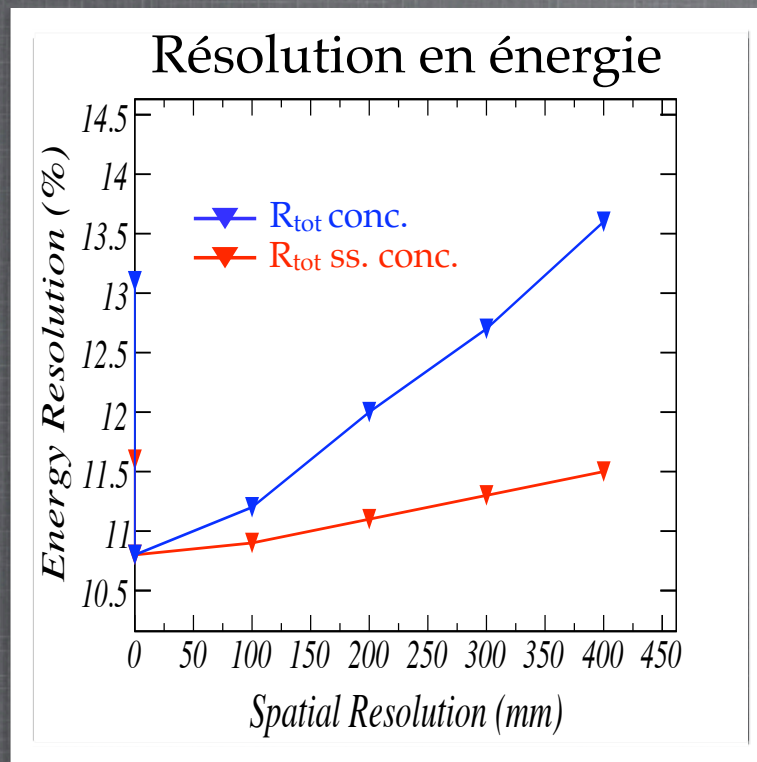
* Sans concentrateurs (rouge), avec concentrateurs (bleu)



⇒ La configuration sans concentrateurs est meilleure si la résolution spatiale est supérieure à ~20 cm

RÉSULTATS POUR DES e^+ DE 3 MEV

* Sans concentrateurs (rouge), avec concentrateurs (bleu)

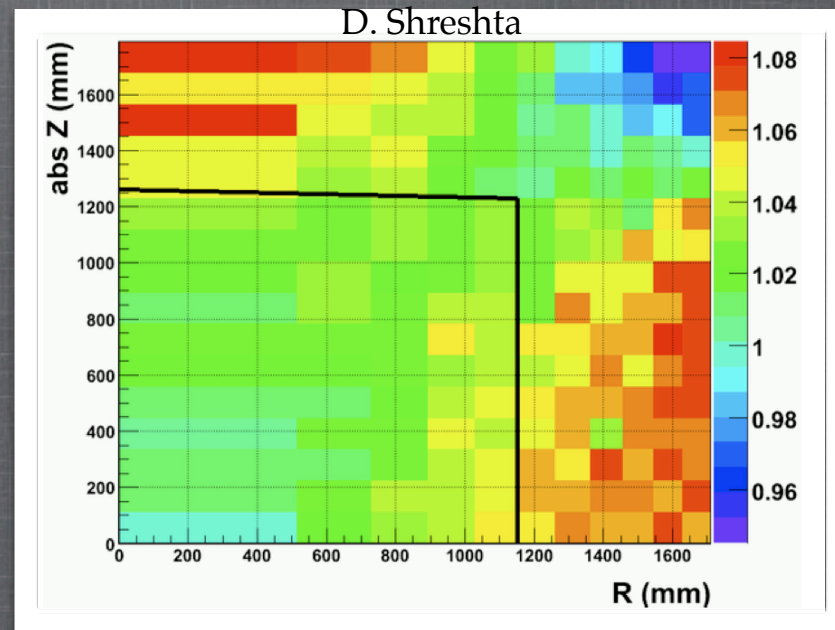


⇒ La configuration sans concentrateurs semble être toujours meilleure et moins dépendante de la résolution spatiale

RÉSUMÉ

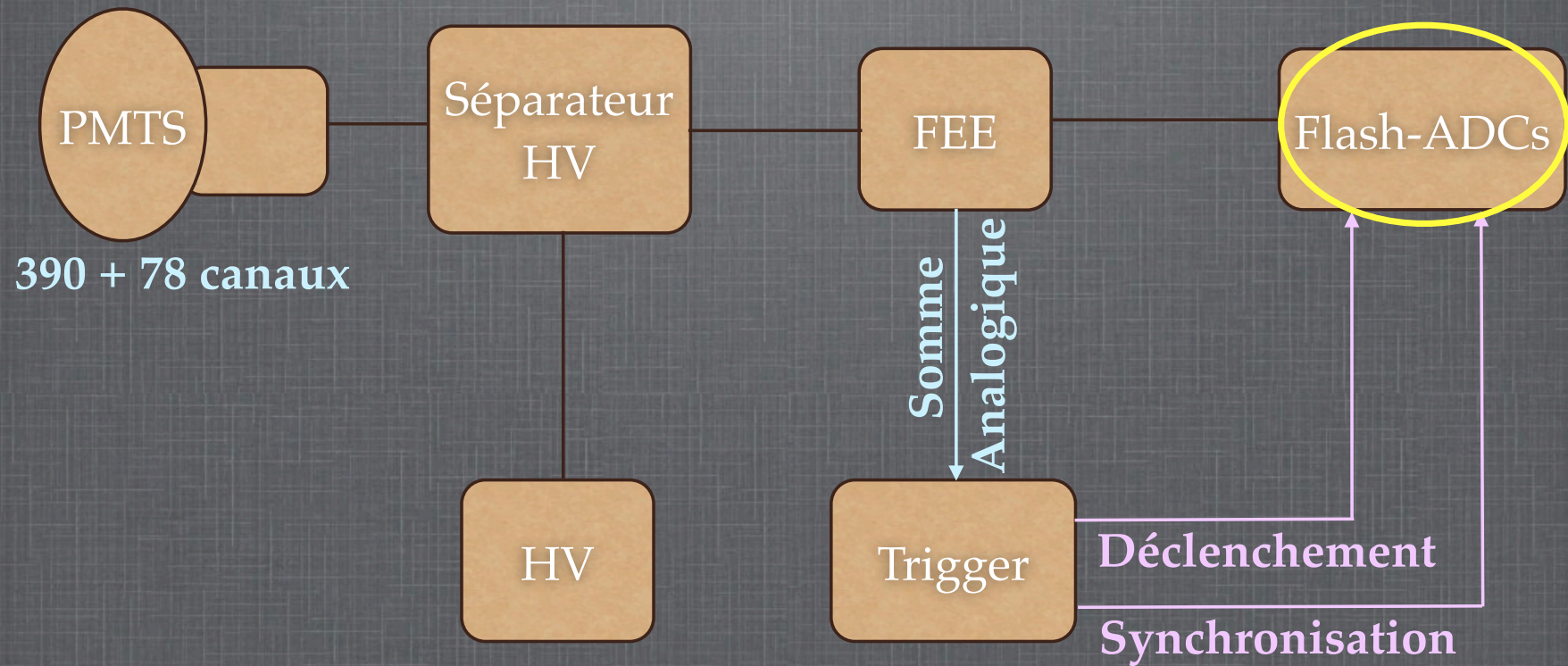
- * Les concentrateurs introduisent de dangereuses queues sur la distribution de PEs
- * Celle-ci est fortement dépendante des performances de la reconstruction spatiale
- ⇒ Cette étude a mené à l'abandon des concentrateurs

* Après ce travail, une réorganisation des PMTs et de leur orientation a eu lieu

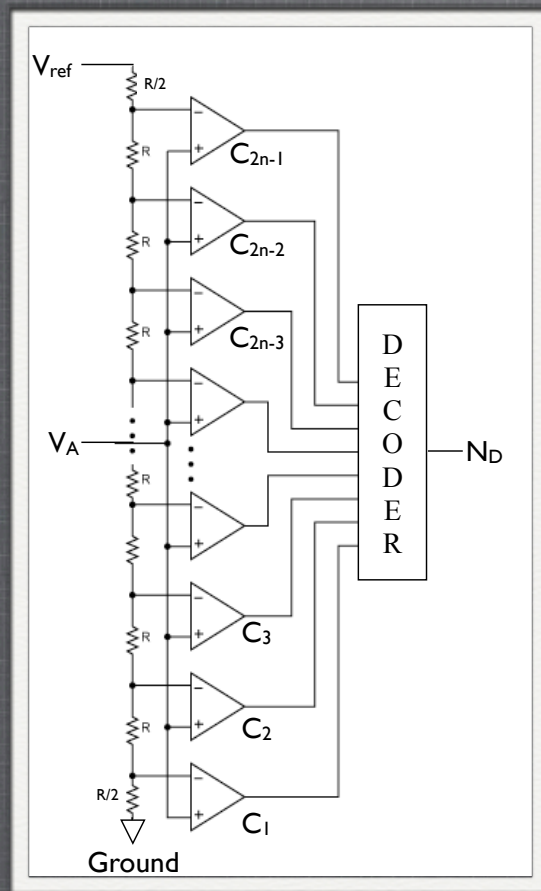


LE TEST DES FLASH-ADCS

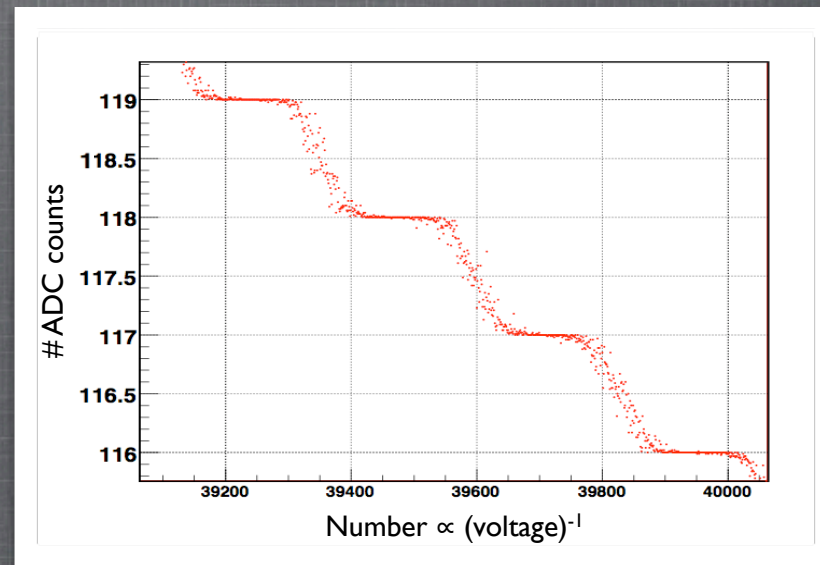
SYSTÈME D'ACQUISITION SIMPLIFIÉ



FONCTIONNEMENT D'UN FLASH-ADC

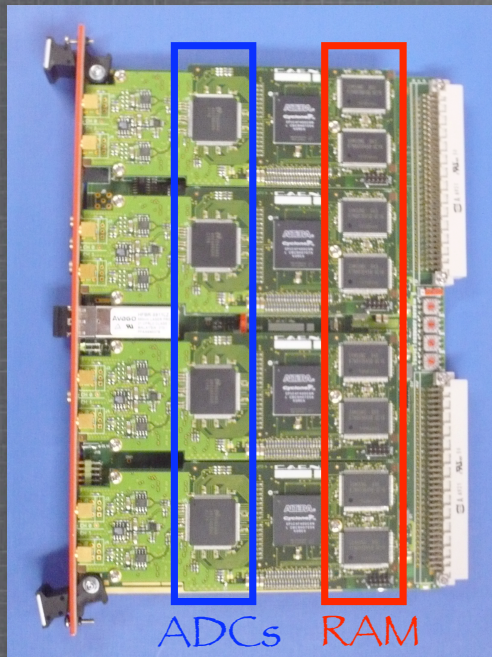


* Le nombre de coups d'ADC est proportionnel au voltage en entrée



LES CARTES FLASH-ADCS

Cartes CAEN VX1721 :

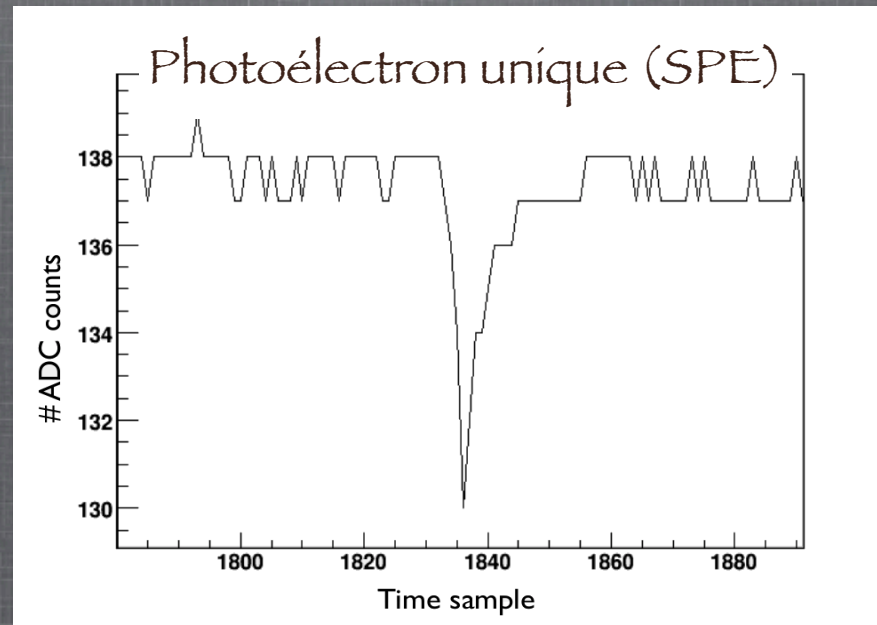


8 canaux / carte

- * Co-développé par l'APC et CAEN
- * Communication par VME
- * ADCs de 8 bits (256 coups d'ADC, $V_{ref}=1V$)
- * Echantillonnage à 500 MHz
- * 1024 pages de mémoire de 4 μ s
- * DAC de 16 bits délivrant entre -0.5 et 0.5 V pour régler individuellement les piédestaux

POURQUOI DES CARTES FLASH-ADCS (1/4)

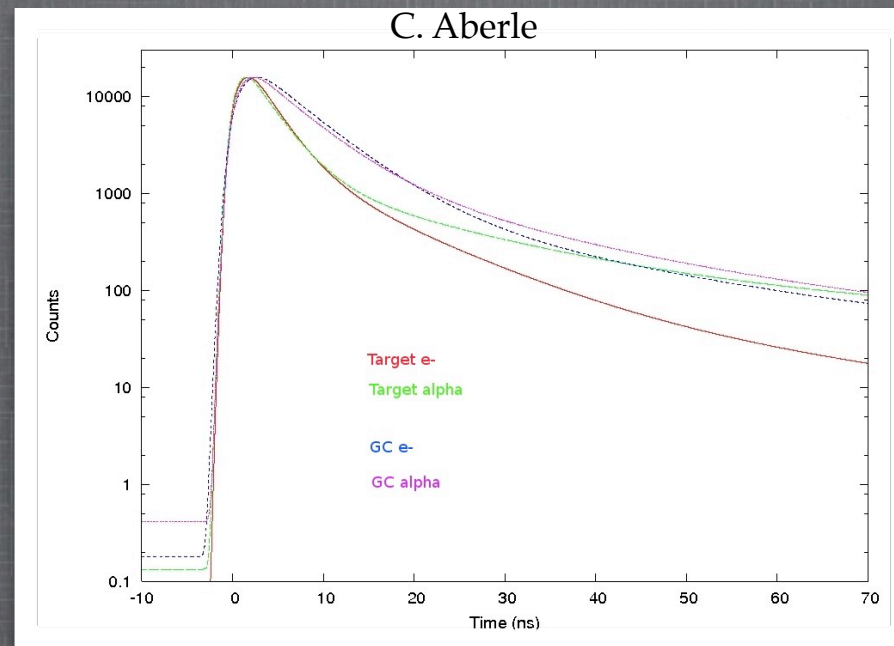
* Flash-ADCS (FADCs) digitisent toutes les 2ns sur 256 coups d'ADC



⇒ Forme précise des signaux sur les PMTs (pulses)

POURQUOI DES CARTES FLASH-ADCS (2/4)

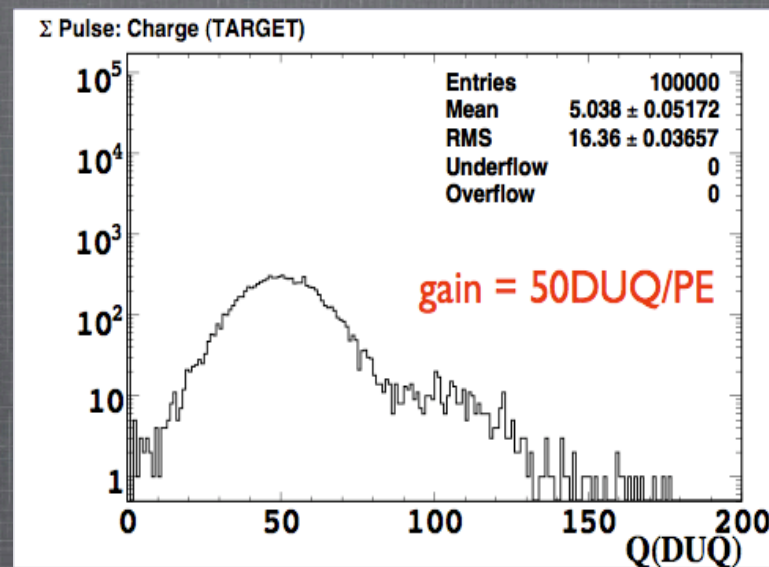
* Les caractéristiques temporelles précises des pulses permettent la reconstruction de la réponse en temps du scintillateur (via la reco. spatiale) :



⇒ Discriminations α / β (& $\beta / \text{protons ?}$) & Target/ γ -catcher

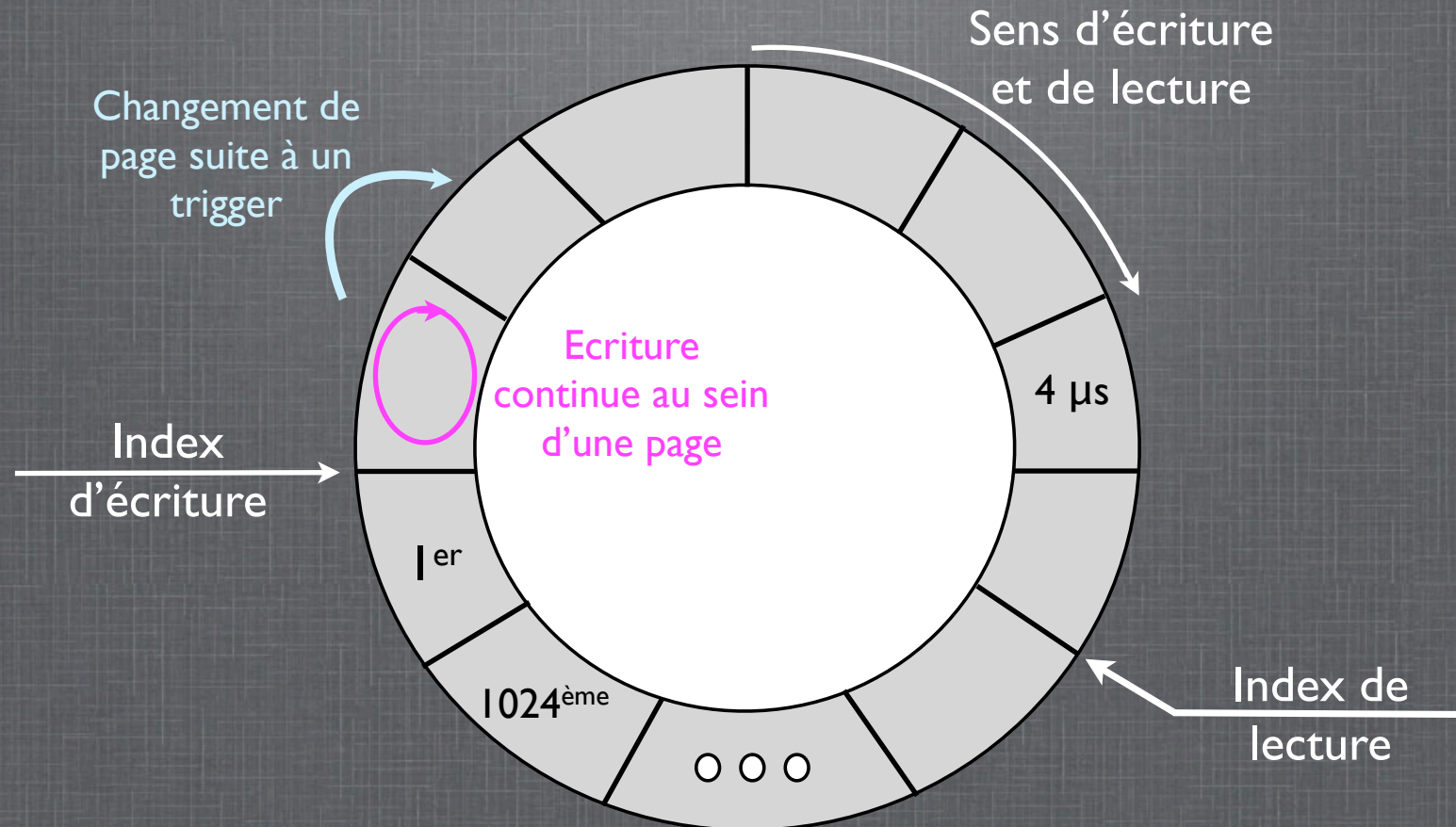
POURQUOI DES CARTES FLASH-ADCS (3/4)

* L'énergie est déterminée à partir du nombre de Photoélectrons (PEs) d'environ 180 PEs/MeV qui est déterminé à partir de la charge Q (exprimée en DUQ = # coup d'ADC \times fréq. échantillonnage) des pulses individuels



- ⇒ Détermination précise de $Q \Leftrightarrow$ détermination précise de l'énergie
- ⇒ Les Flash-ADCS (FADCs) ne doivent pas distordre les signaux

POURQUOI DES CARTES FLASH-ADCS (4/4)



⇒ Système d'acquisition virtuellement sans temps mort

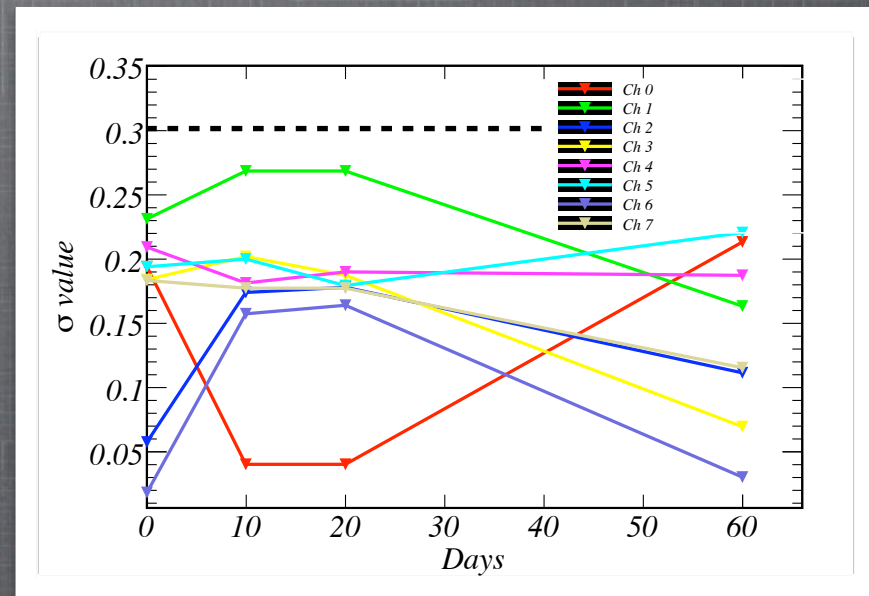
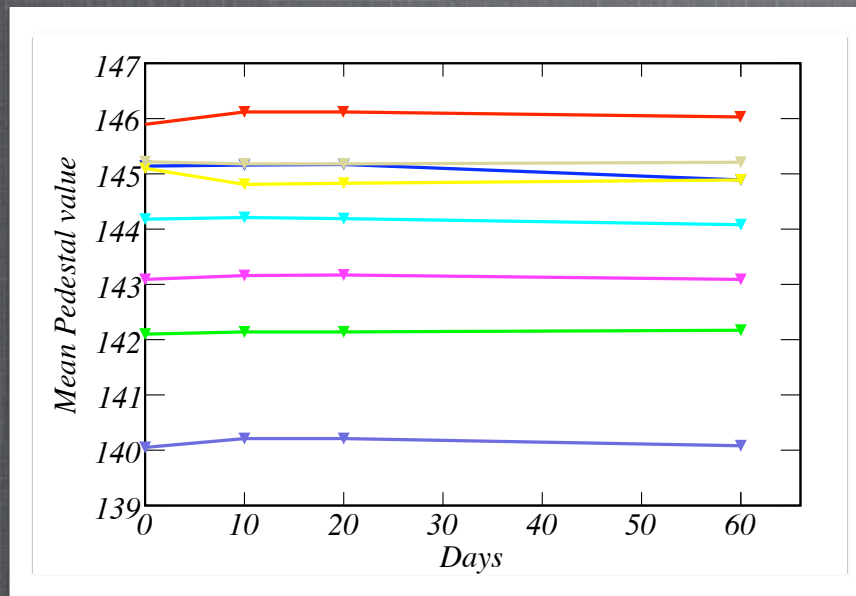
⇒ 4 μs minimum par événement pour une étude des bruits de fond

TRAVAIL EFFECTUÉ SUR LES FLASH-ADCS

- * Développement d'un système de lecture en ADA
- * Caractérisation de la carte
 - * Continuité entre les pages
 - * Bande passante
 - * **Bruit de la carte**
 - * **Linéarité**
- * Définition d'un protocole de test dont :
 - * Configuration des cartes
 - * Test et caractérisation des DACs de 16 bits
 - * **Test de la linéarité des canaux**

BRUIT DES CANAUX

* Suivi des piédestaux (moyenne et écart-type) d'une carte sur un mois

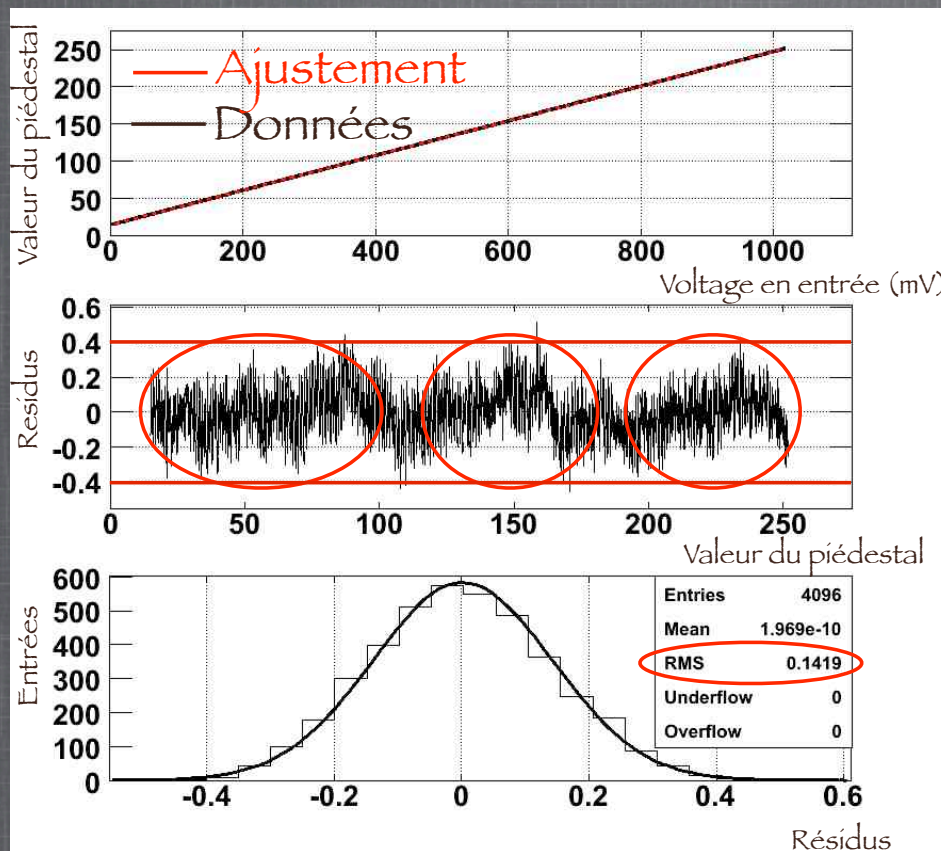


⇒ La moyenne des piédestaux est stable

⇒ L'écart-type demeure inférieur à 0.3 coups d'ADC

TEST DE LINÉARITÉ

* Test de linéarité avec un DAC de 12 bits calibré délivrant 1V
(4096 pas de 244 μV)



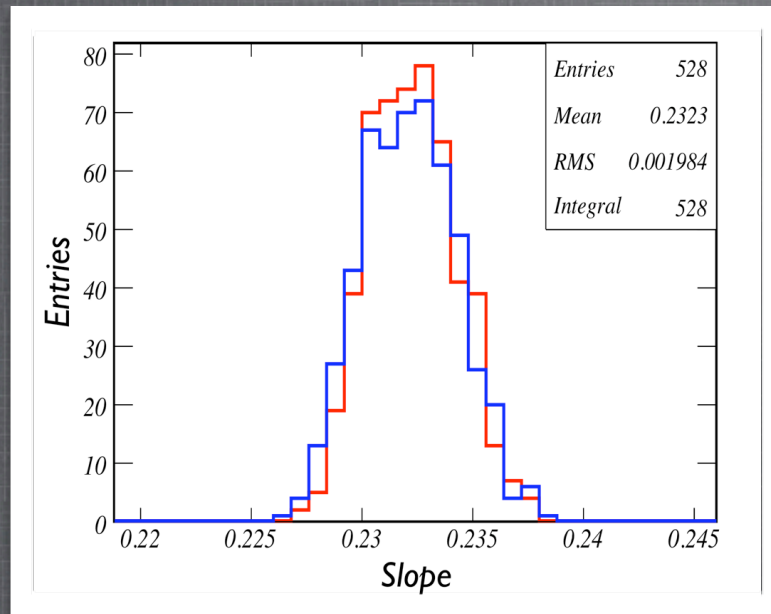
Coefficient directeur
 ≈ 0.233 (1 coup
d'ADC ≈ 4.3 mV)

Résidus $\in [-0.4, 0.4]$
zones avec tendance
→ Fit sur section

RMS = Non Linéarité
→ Canaux très linéaires

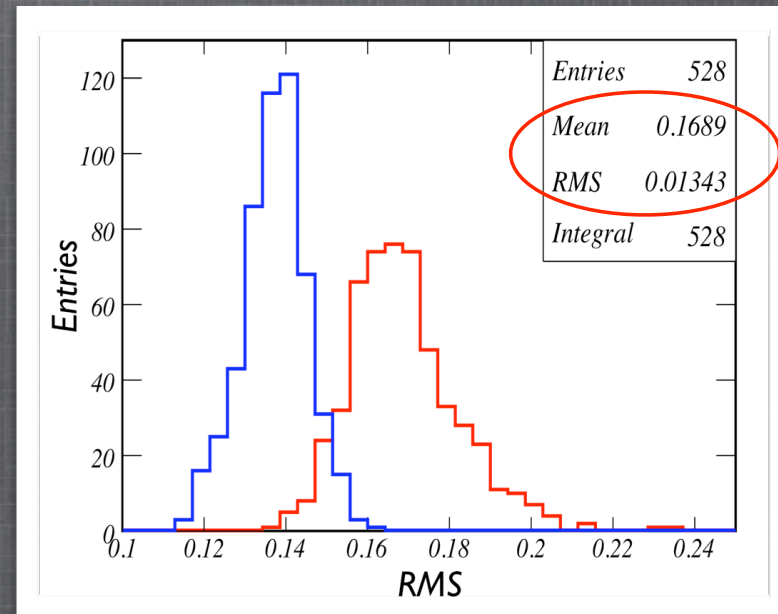
LINÉARITÉ DES CANAUX

* Distribution des coefficients directeurs



— Fit global (4096 valeurs)
— Moyenne des fits par section (256 valeurs)

* Distribution de la Non Linéarité

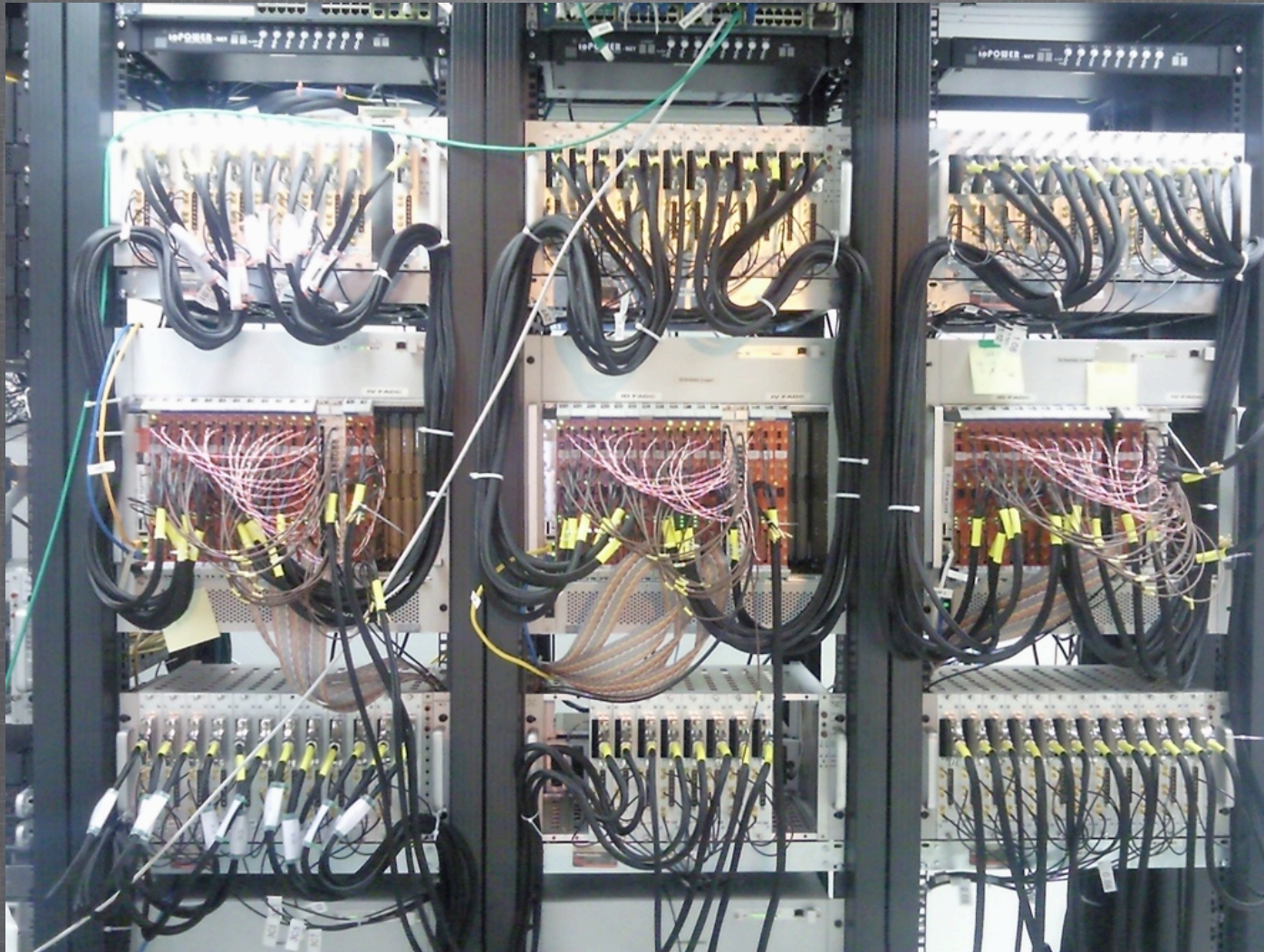


⇒ Pas de correction à apporter, les canaux sont linéaires et compatibles entre eux

RÉSUMÉ

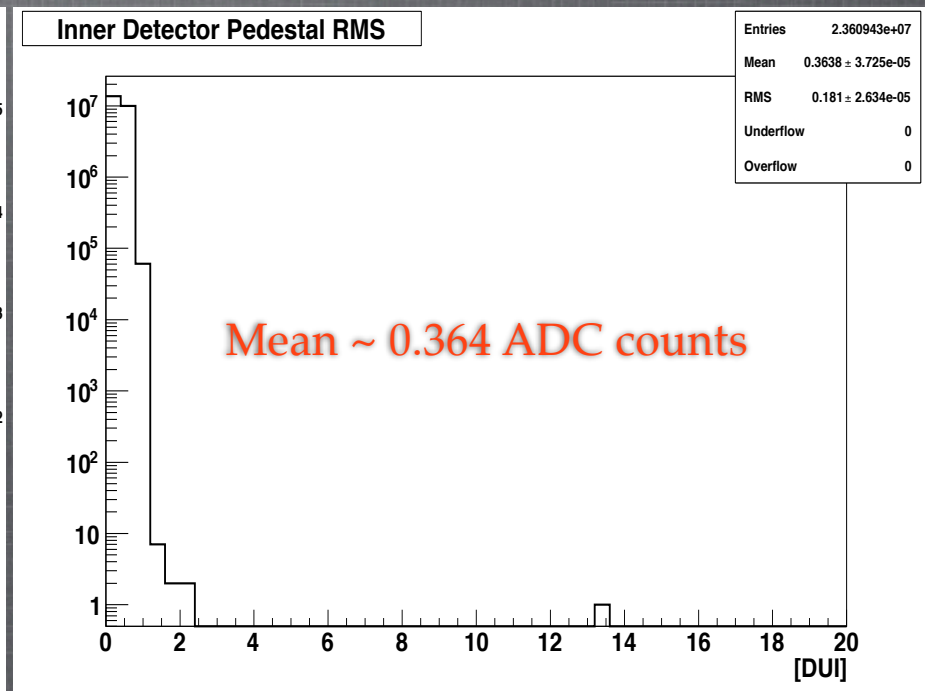
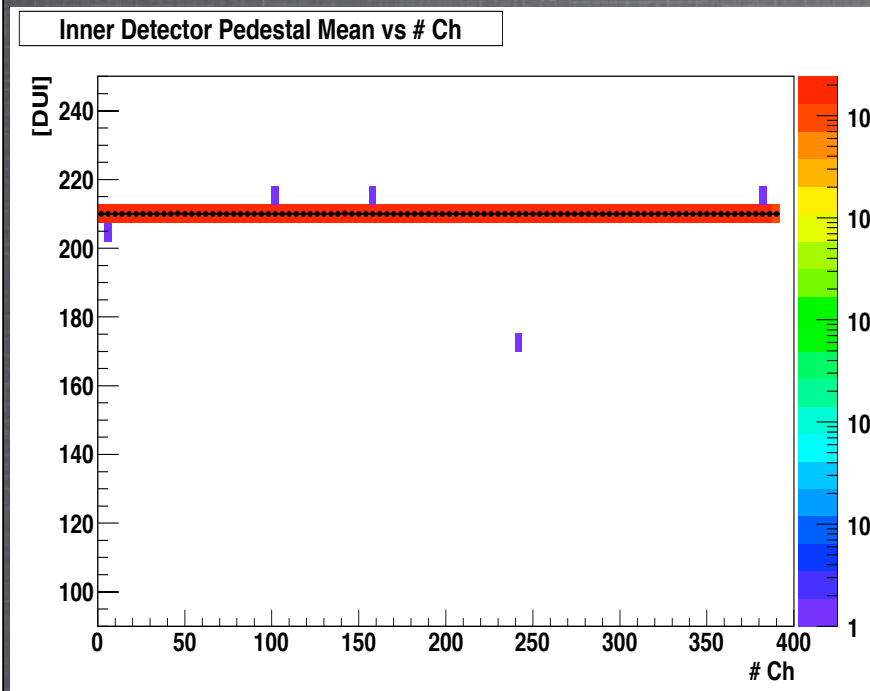
- * J'ai effectué le test de 67 cartes Flash-ADCs :
 - ⇒ Une seule carte a été rejetée car le DAC d'un canal ne fonctionnait pas correctement
 - ⇒ Pas de correction, les canaux sont linéaires et similaires
 - ⇒ Les piédestaux peuvent être réglés rapidement à mieux qu'un coup d'ADC
 - ⇒ Toutes les cartes nécessaires à la phase I (59) de l'expérience ont été testées et sont satisfaisantes

SYSTÈME D'ACQUISITION À CHOOZ



CALIBRATION DES CANAUX À CHOOZ

* Run 1001 le 17 septembre

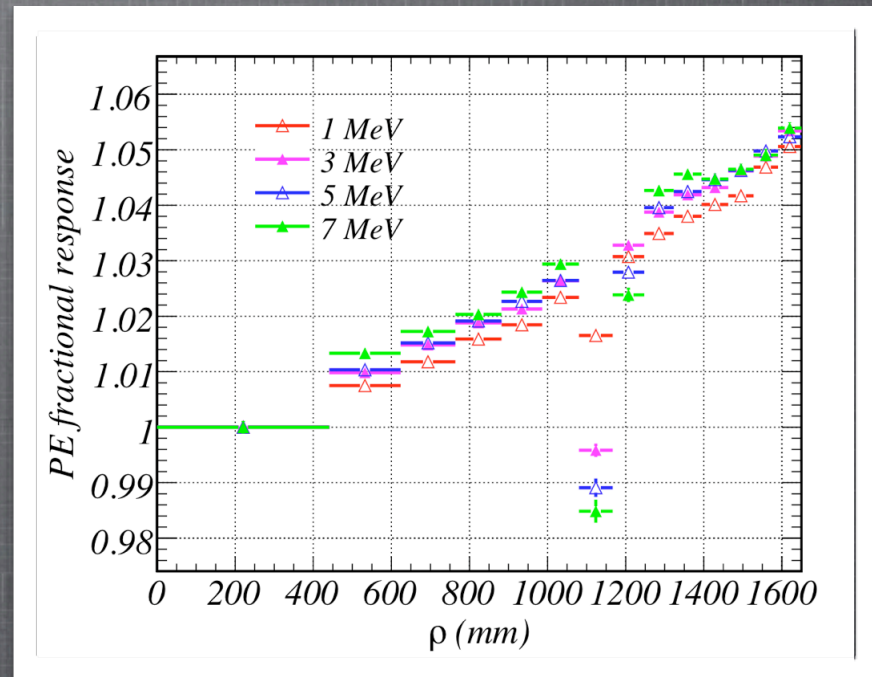


UNE NOUVELLE
RECONSTRUCTION
SPATIALE :
RECOTOF

MOTIVATIONS (1/2)

* Détermination de l'énergie :

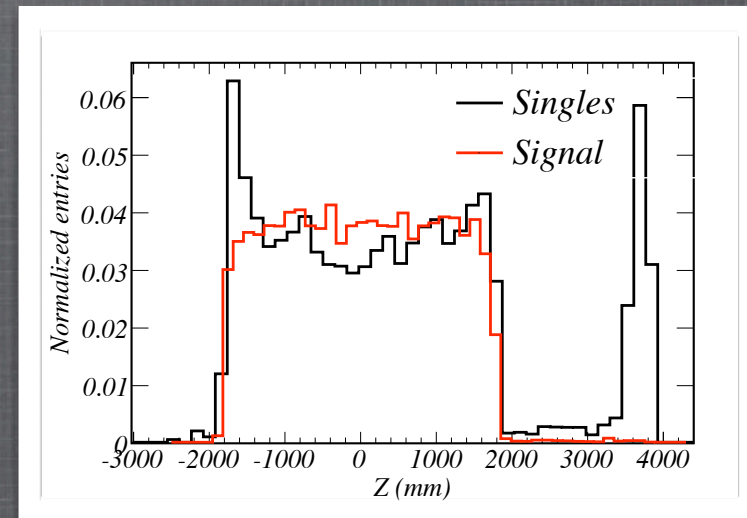
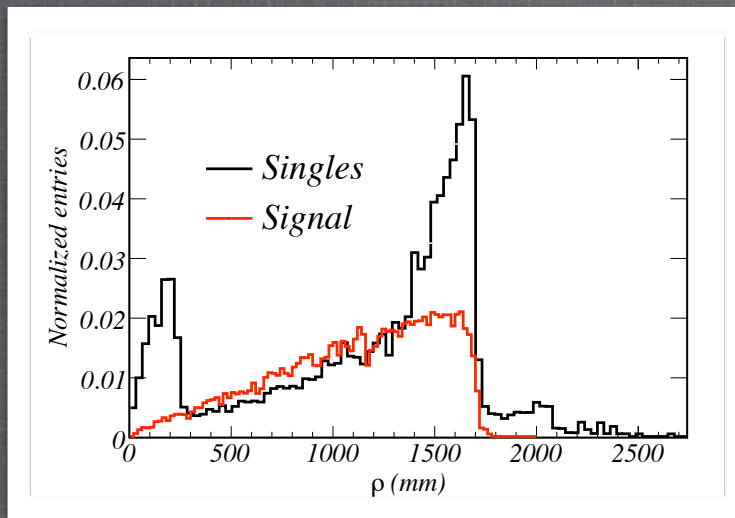
- La réponse en terme de PEs dépend du rayon de la même manière pour toutes les énergies
- Mesure des coefficients de correction à une énergie donnée peut suffire à la détermination de l'énergie



⇒ L'efficacité de l'algorithme de correction dépend de la précision de la reconstruction spatiale

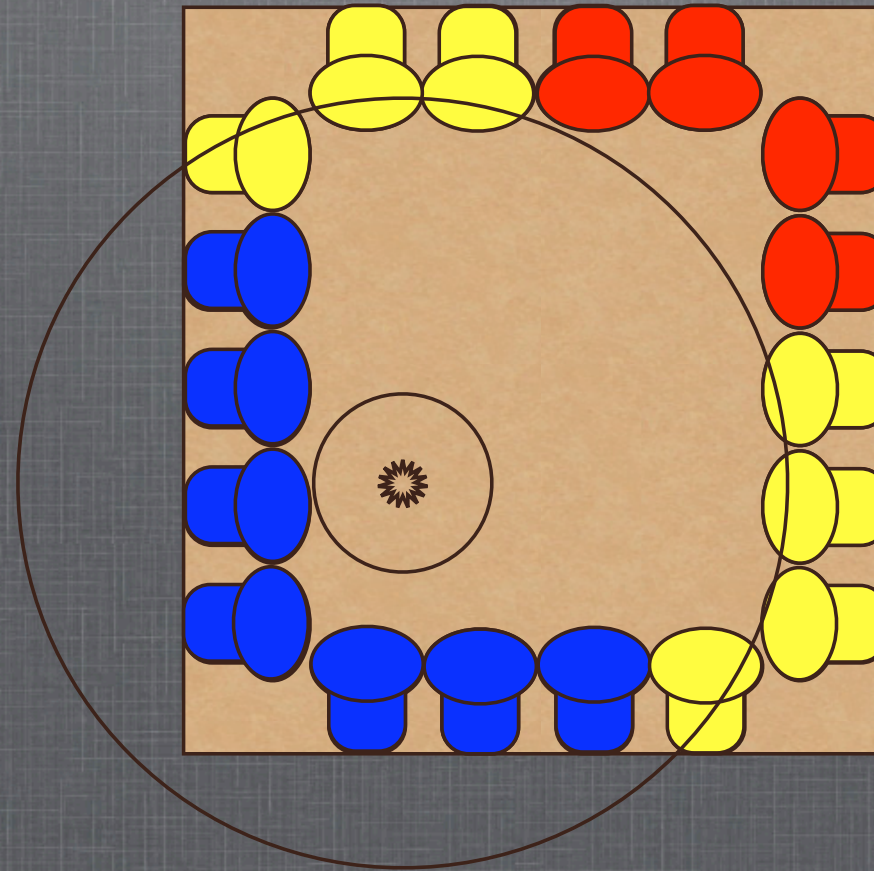
MOTIVATIONS (2/2)

- * L'identification des bruits de fond grâce à :
 - La forme de la réponse en temps du scintillateur
 - ⇒ Discriminations α/β (& β/proton) & Target/ γ -catcher
 - La localisation de la déposition d'énergie



Bdf et signal avec une déposition d'énergie >0.5 MeV dans la cible+ γ -catcher

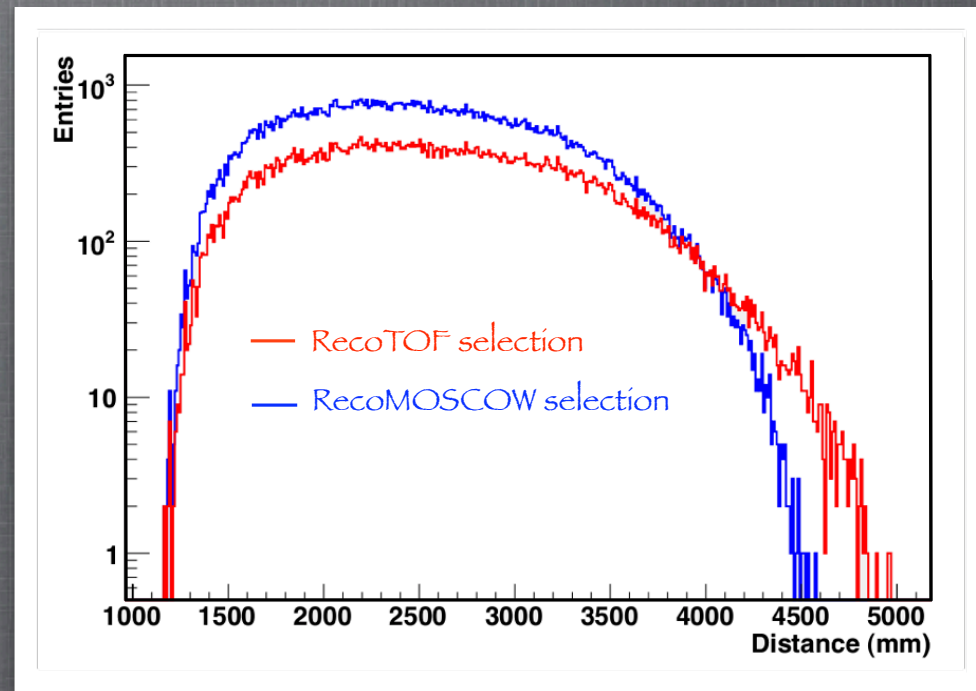
PRINCIPE DE RECONSTRUCTION (1/3)



⇒ Sélection des PMTs touchés basée sur le temps de vol

PRINCIPE DE RECONSTRUCTION (2/3)

- * La nouvelle idée de reconstruction est basée sur le temps de vol pour la sélection des hits (Time Of Flight = TOF) d'où le nom RecoTOF
- * Elle nécessite une première estimation de la localisation de la déposition d'énergie (Vertex)



Distance des PMTs sélectionnés au véritable vertex

RECONSTRUCTIONS DISPONIBLES

- RecoMOSCOW :

- Sélection dans une fenêtre de 15 ns après le 1^{er} PMT touché
- Maximum de vraisemblance avec une fonction de Landau

- RecoBAMA :

- Sélection dans une fenêtre de 1 μ s après le 1^{er} PMT touché
- Maximum de vraisemblance avec une fonction dépendante de la charge

- CocoReco :

- Ajustement de la charge observée sur chaque PMT en fonction de la position puis de l'énergie

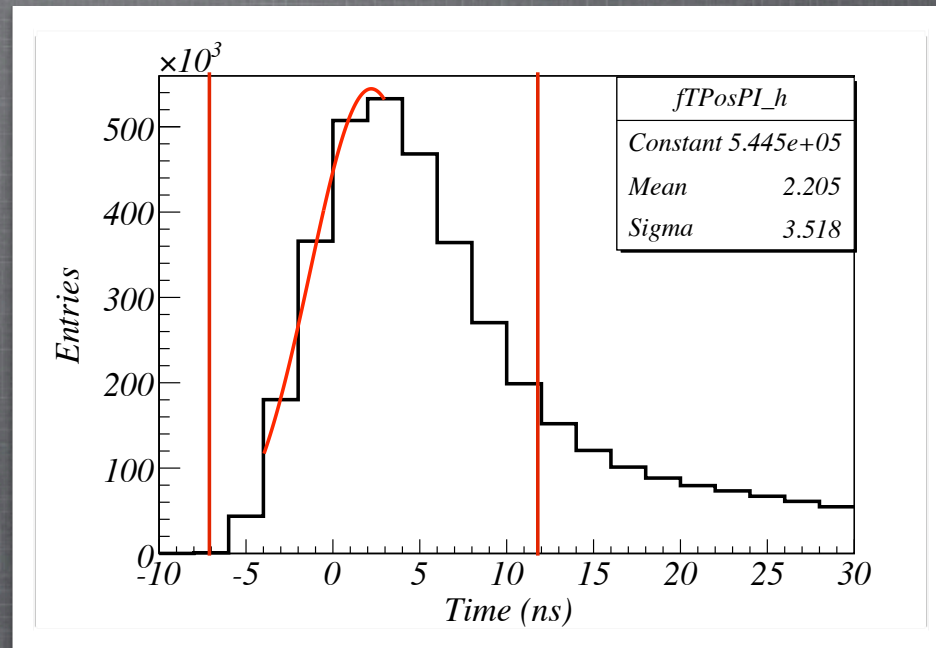
- Barycentre :

- Simple pondération par la charge : $X_j = (1 / Q_{\text{tot}}) \sum_i Q_i \times X_{\text{PMT}i}$

PRINCIPE DE RECONSTRUCTION (3/3)

$$T_{\text{scint_emiss}} = T_{\text{PMT}} - \text{distance}_{\text{PMT-Vtx}} / c_n$$

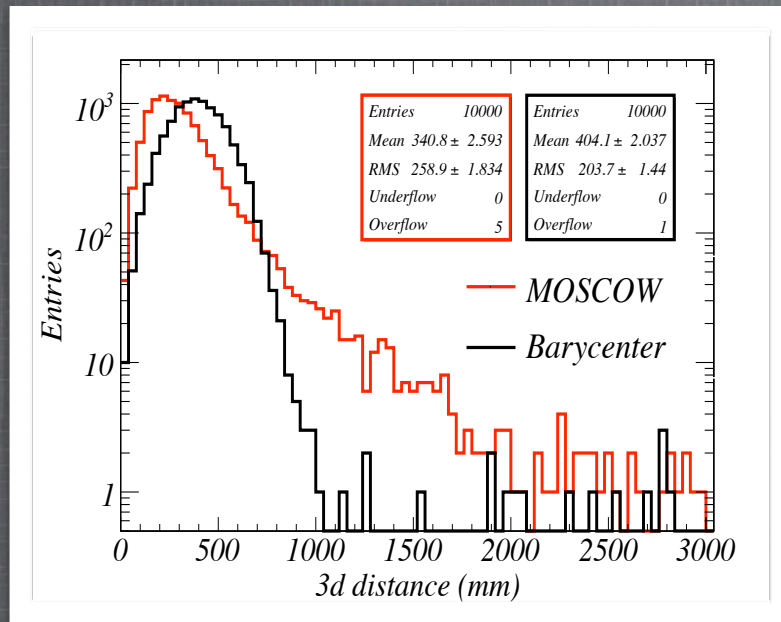
- * On sélectionne les PMTs touchés correspondant à la partie gaussienne de la réponse du scintillateur
- * On réalise un maximum de vraisemblance avec une fonction gaussienne



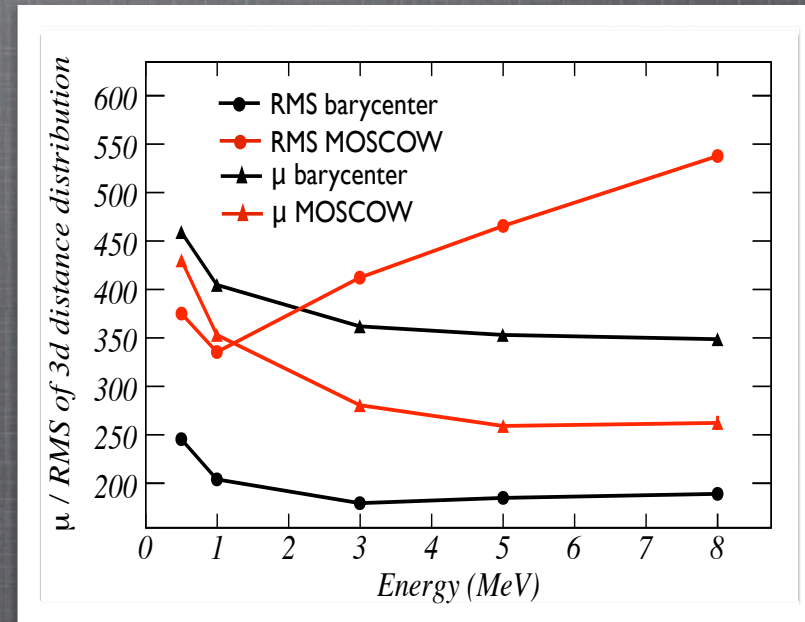
▣ Indépendance vis à vis de la particule et le volume dans une moindre mesure

PREMIÈRE ESTIMATION DU VERTEX

e^- de 1 MeV simulés uniformément dans la cible



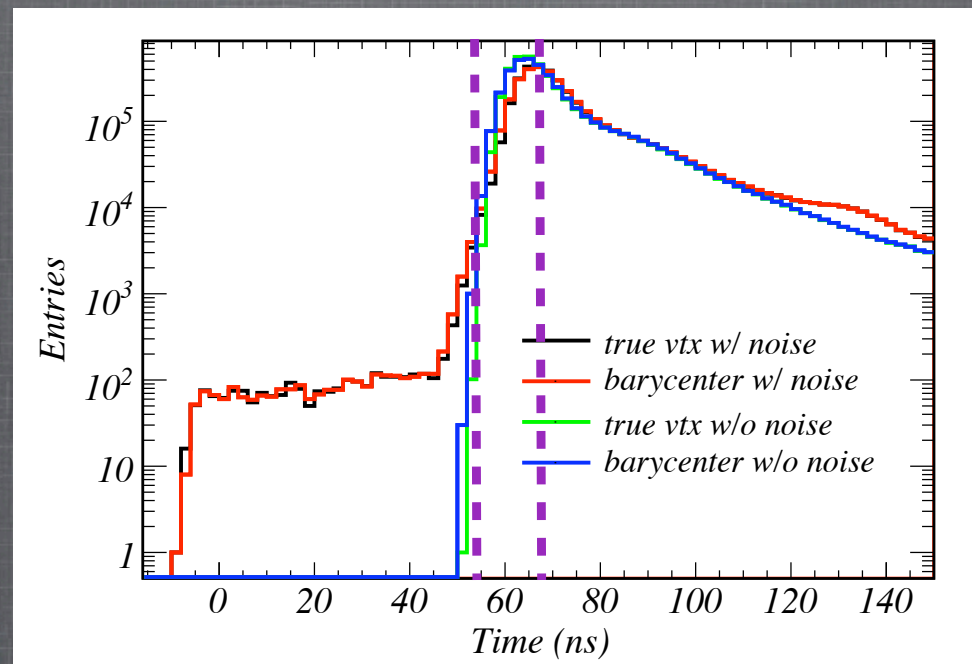
e^- simulés uniformément dans la cible



⇒ Utilisation du barycentre comme première estimation du vertex

PROTECTION CONTRE LE BRUIT ÉLECTRONIQUE

- * L'origine de la fenêtre de sélection des PMTs touchés peut être faussée par les bruits électroniques (bruit d'émission thermique, pulses de fluctuation du piédestal ou pre-pulses)



⇒ Origine de la sélection basée sur le maximum de la réponse reconstruite du scintillateur

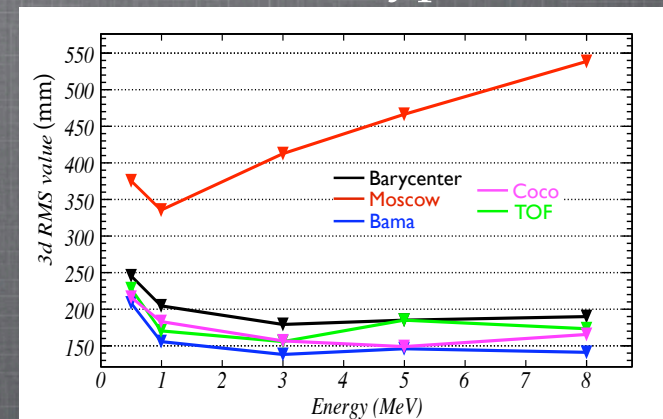
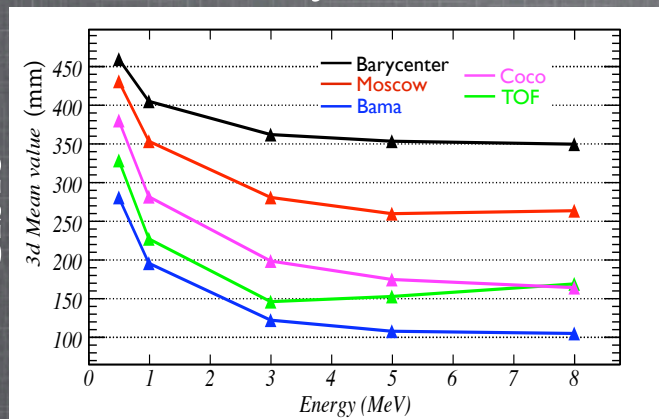
PERFORMANCES

- * Moyenne et écart-type de la distribution de la distance du vrai vertex au vertex reconstruit pour des e^- simulés uniformément dans le volume considéré

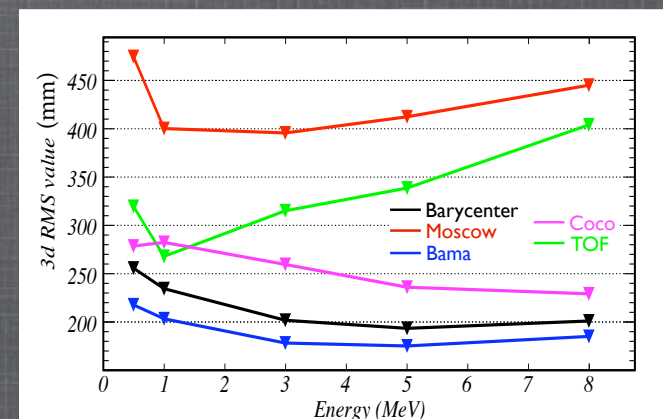
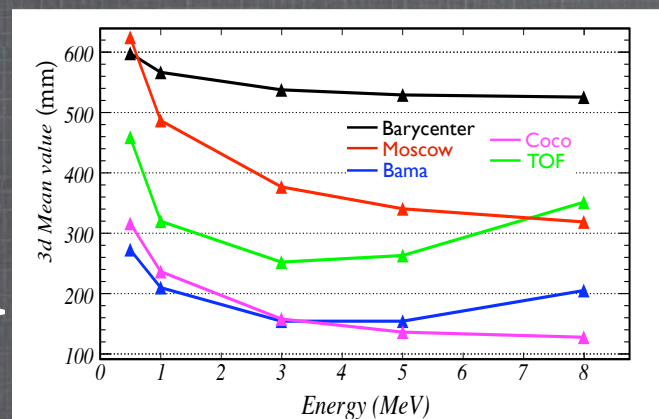
Moyenne

Ecart-type

Cible



γ-catcher

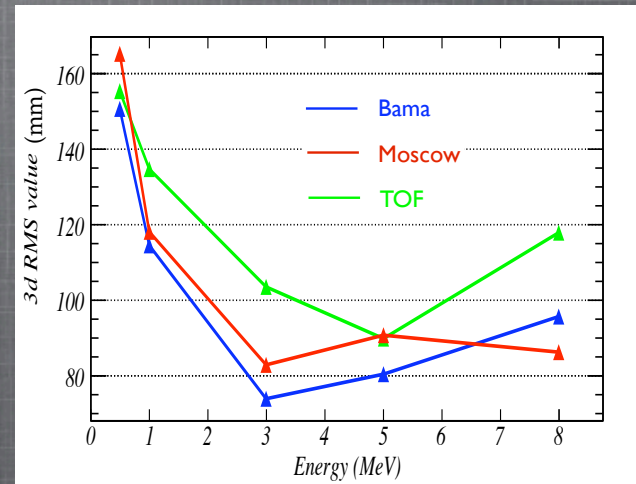
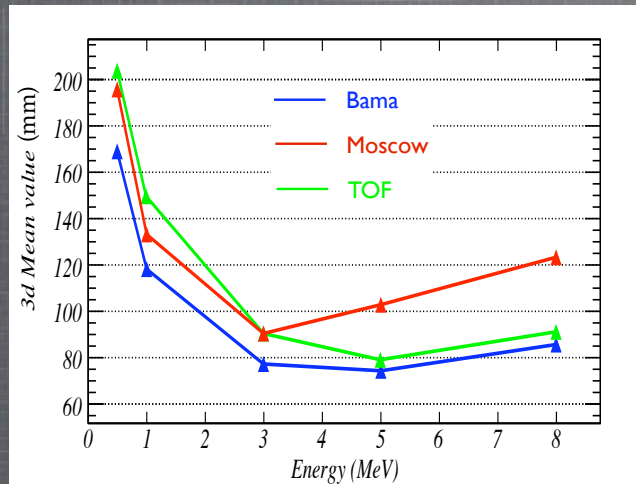


PERFORMANCES SANS LA RÉPONSE ÉLECTRONIQUE

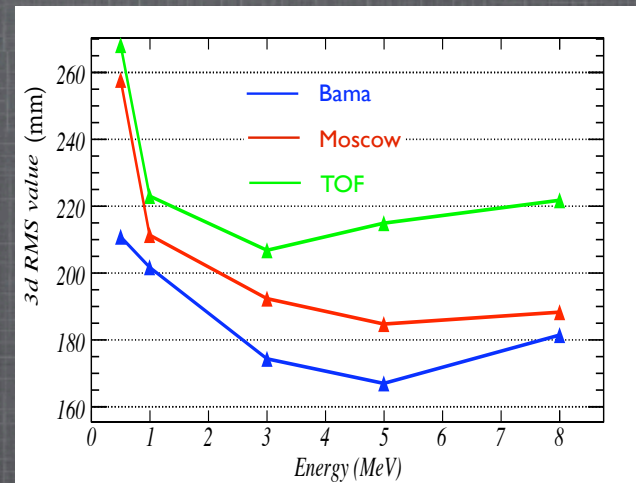
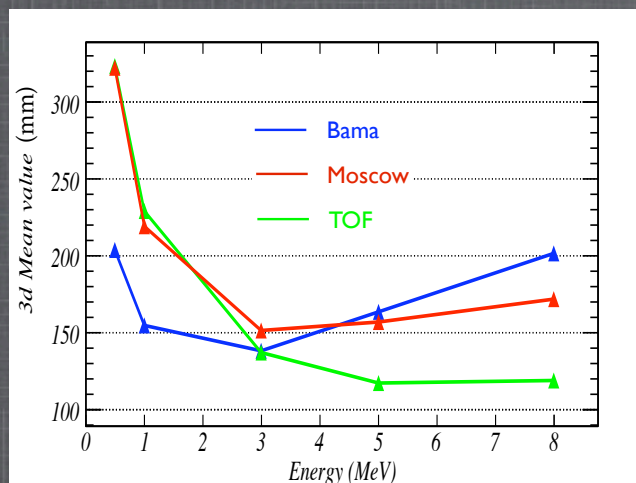
Moyenne

Ecart-type

Cible



Y-catcher



RÉSUMÉ

* Développement d'un nouveau concept de reconstruction spatiale basée sur le temps de vol pour la sélection des hits. Elle requiert uniquement :

- La vitesse de la lumière dans le scintillateur
- Les décalages en temps des PMTs dus à l'électronique

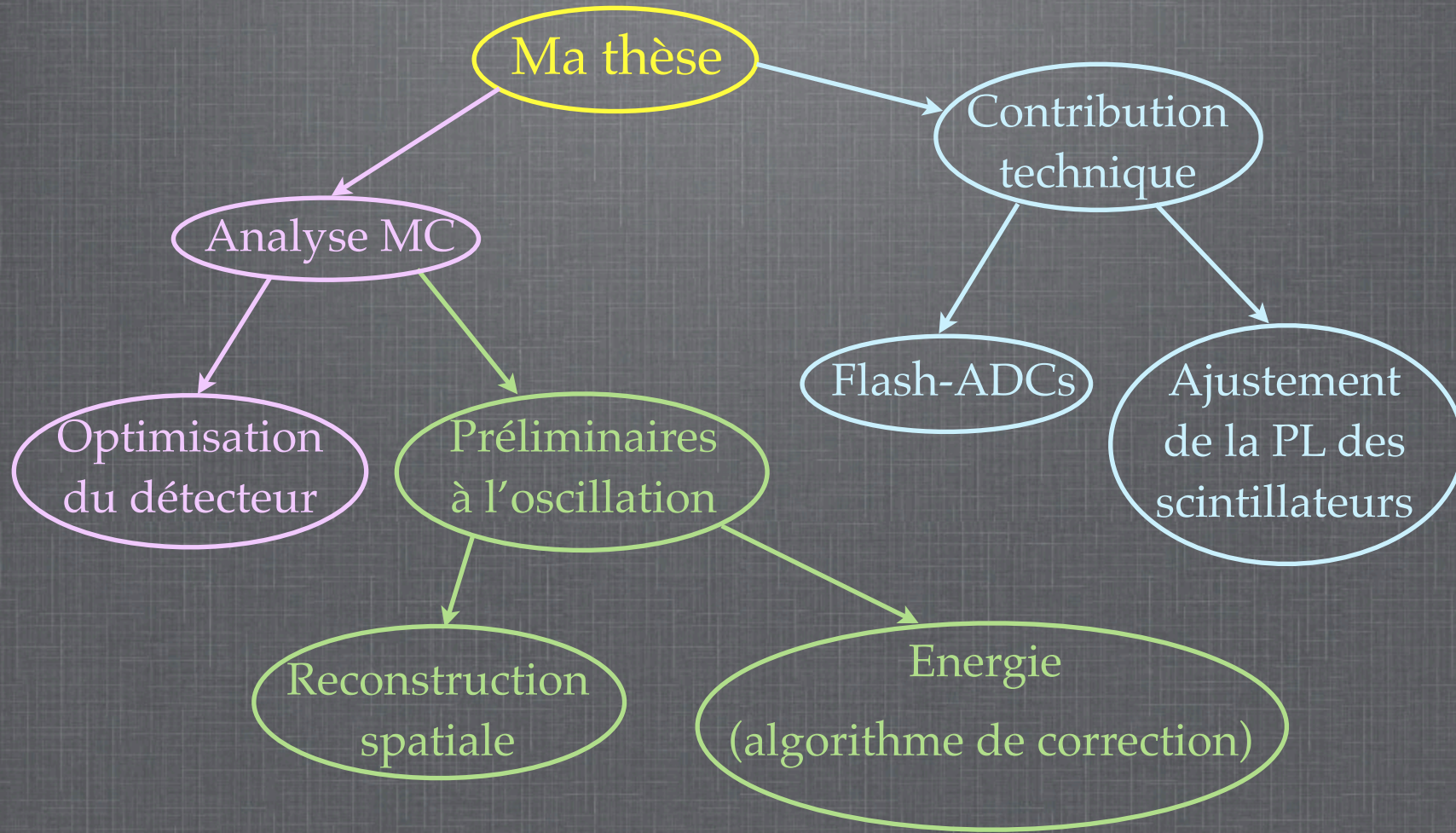
▣ Elle sera disponible dès le début de l'expérience

* Performances très intéressantes (15 cm à 3 MeV dans la cible), très proches de la meilleure reconstruction : RecoBAMA (13 cm à 3 MeV dans la cible) qui ne sera pas disponible au début de l'expérience

* De nombreuses améliorations peuvent être encore envisagées :

- Itérations
- Amélioration de la protection contre les bruits, etc ...

CONCLUSIONS



FIN

LES NEUTRINOS ET LE MS 1/2

- * 1930 : W. Pauli postule l'existence du 'neutrino' pour préserver le principe de conservation de l'énergie
- * 1933 : E. Fermi baptise la particule neutrino et l'intègre à sa théorie de l'interaction faible
- * 1956 : découverte du neutrino électronique par F. Reines et C. Cowan à Savannah River (USA)
- * 1957-1958 : les expériences de Wu et Goldhaber permettent de déterminer que la Parité est violée par l'interaction faible et plus particulièrement de manière maximale par le neutrino
- * 1962 : découverte du ν_μ par L. Lederman, M. Schwartz et J. Steinberger at Brookhaven National Laboratory (USA)

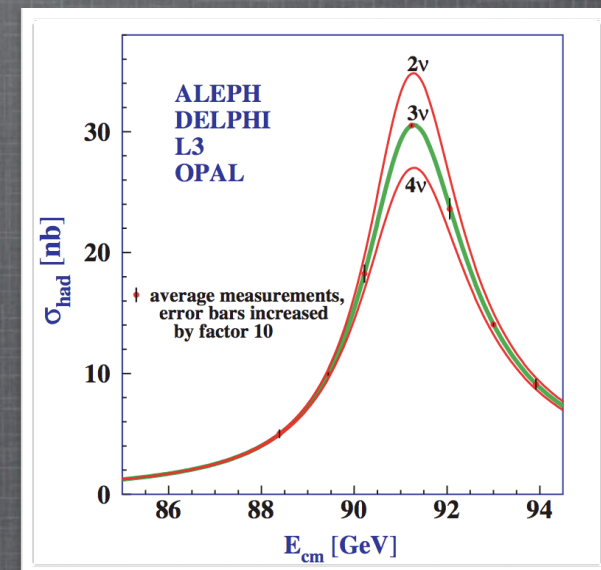
LES NEUTRINOS ET LE MS 2/2

* 1973-1974 : les neutrinos permettent la mise en évidence des courants neutres (découverte de l'existence du Z^0) au CERN (Suisse)

* 1983 : production des médiateurs de l'interaction faible W^\pm et Z^0 au LEP (CERN, Suisse)

* 1990 : la mesure de la courbe de résonance du Z^0 au LEP permet la détermination de 3 familles de neutrinos

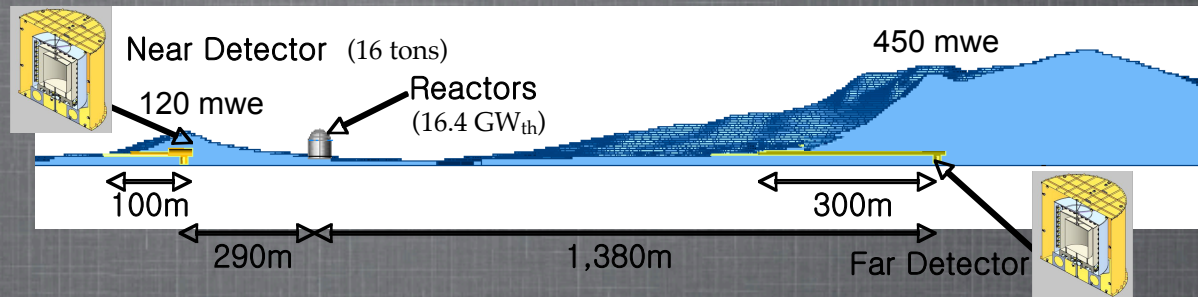
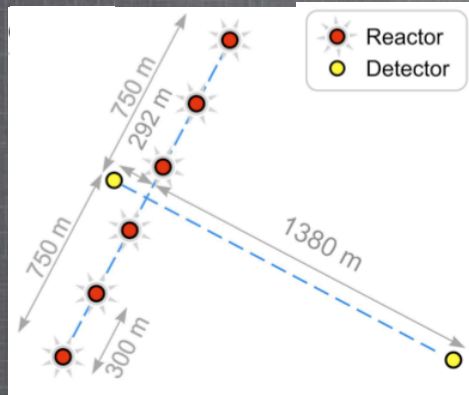
* 2000 : découverte du neutrino tauique par l'expérience DONUT à SLAC (USA)



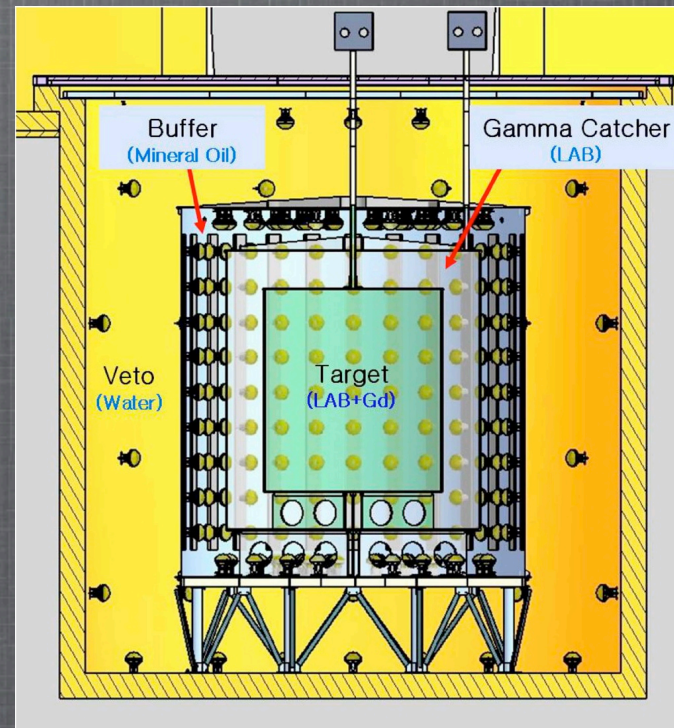
LES PHASES DE MAJORANA

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} e^{i\phi_1/2} & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\phi_2/2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

L'EXPÉRIENCE RENO

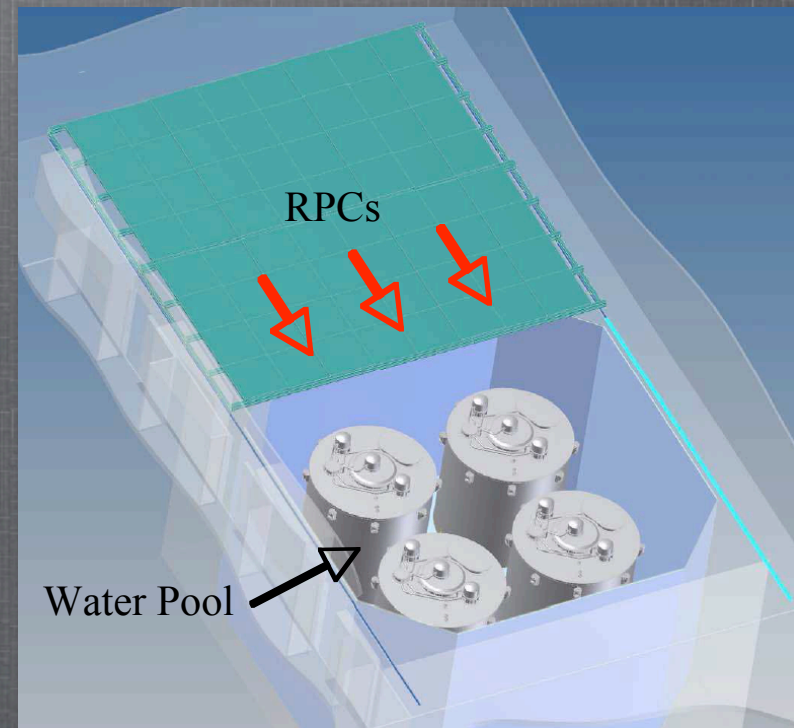
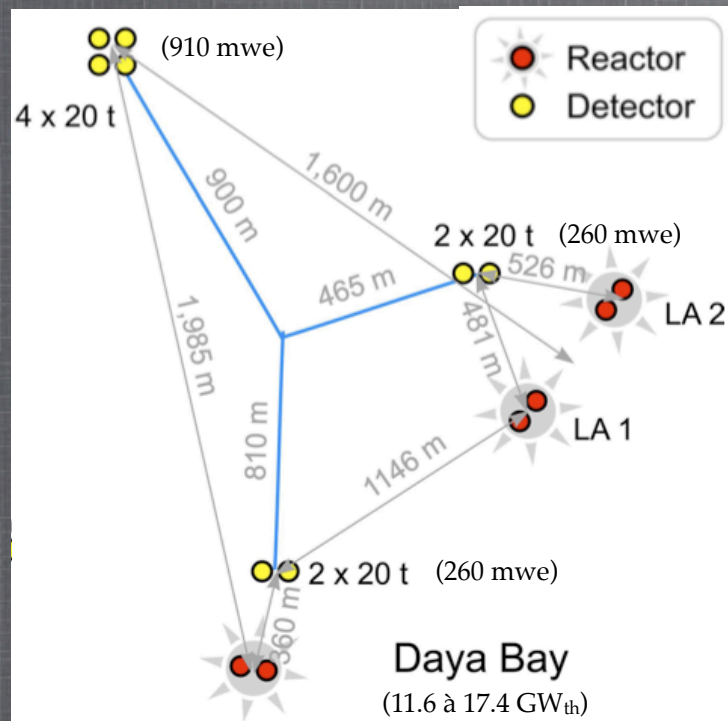


* Prise de données prévue pour début 2011 avec les 2 détecteurs



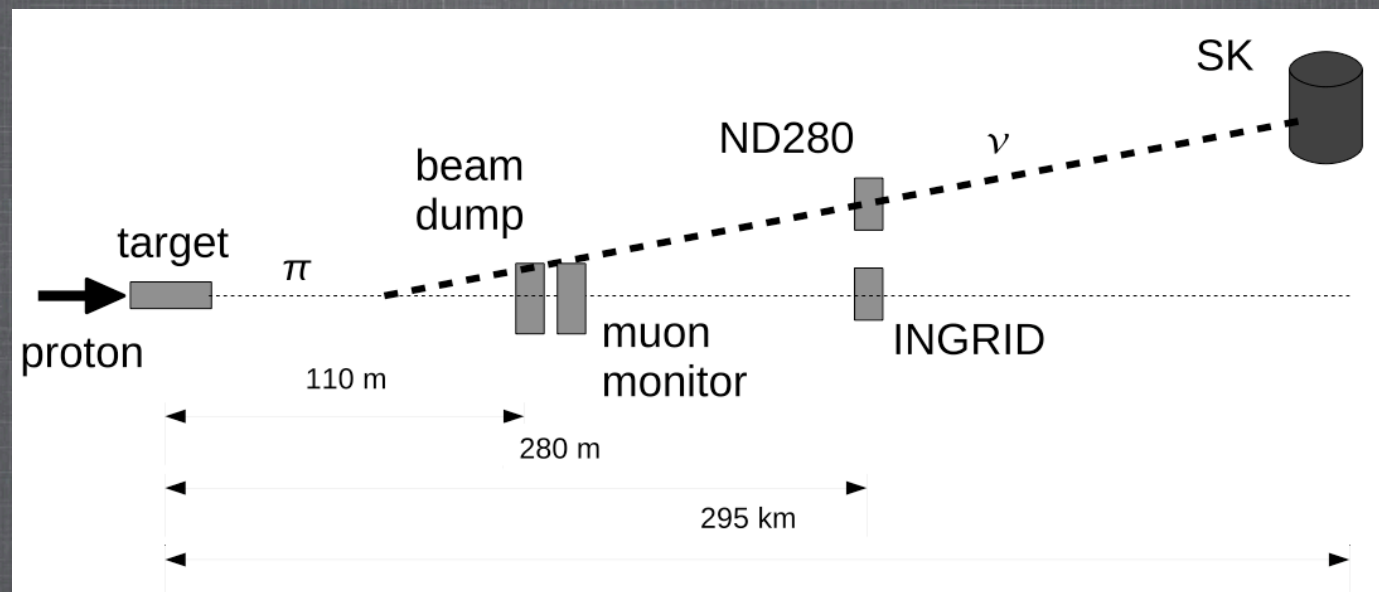
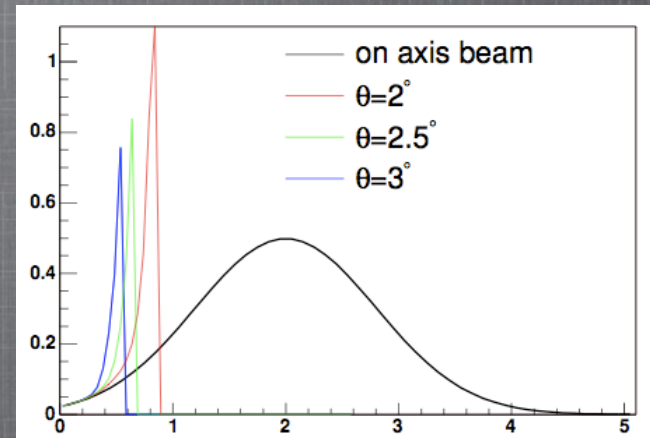
L'EXPÉRIENCE DAYA BAY

* Prise de données prévue pour l'automne 2012 avec les 2 détecteurs



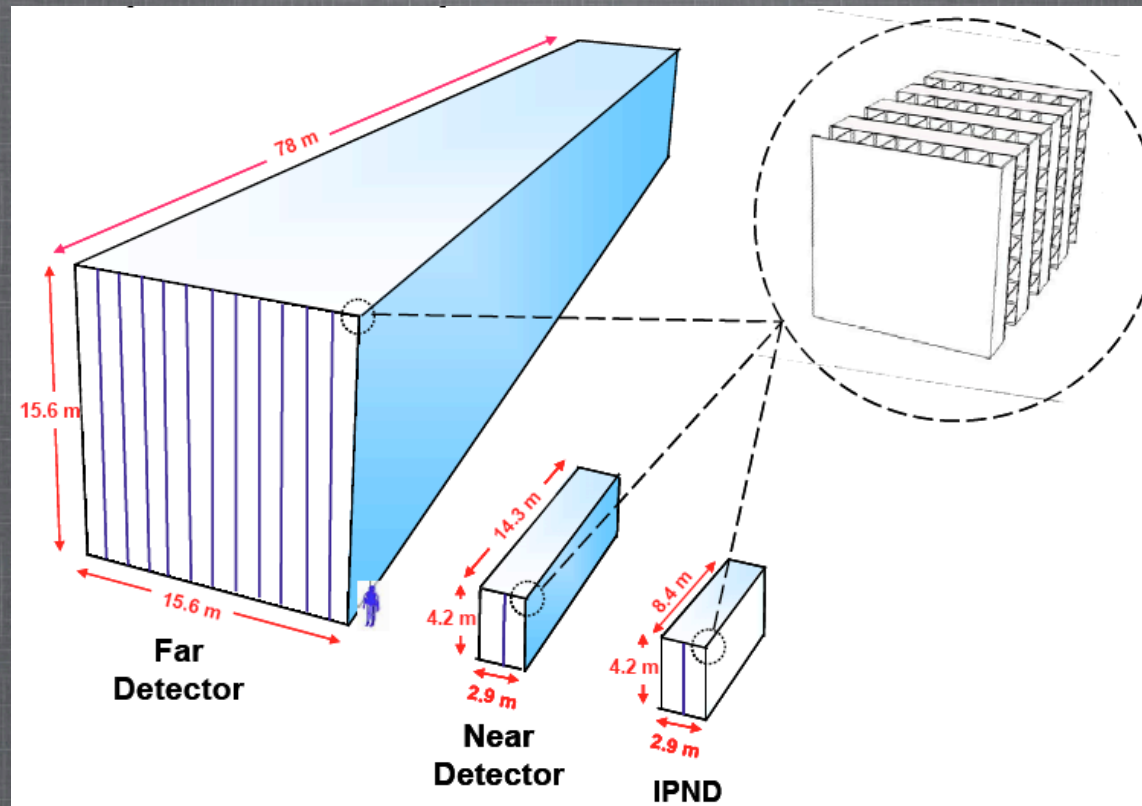
L'EXPÉRIENCE T2K

- * Utilise la technique hors-axe
- * Prise de données a commencé en janvier 2010



L'EXPÉRIENCE NOVA

- * Utilise la technique hors-axe
- * Prise de données est prévue pour 2012



COMPLÉMENTARITÉ DES DEUX TECHNIQUES

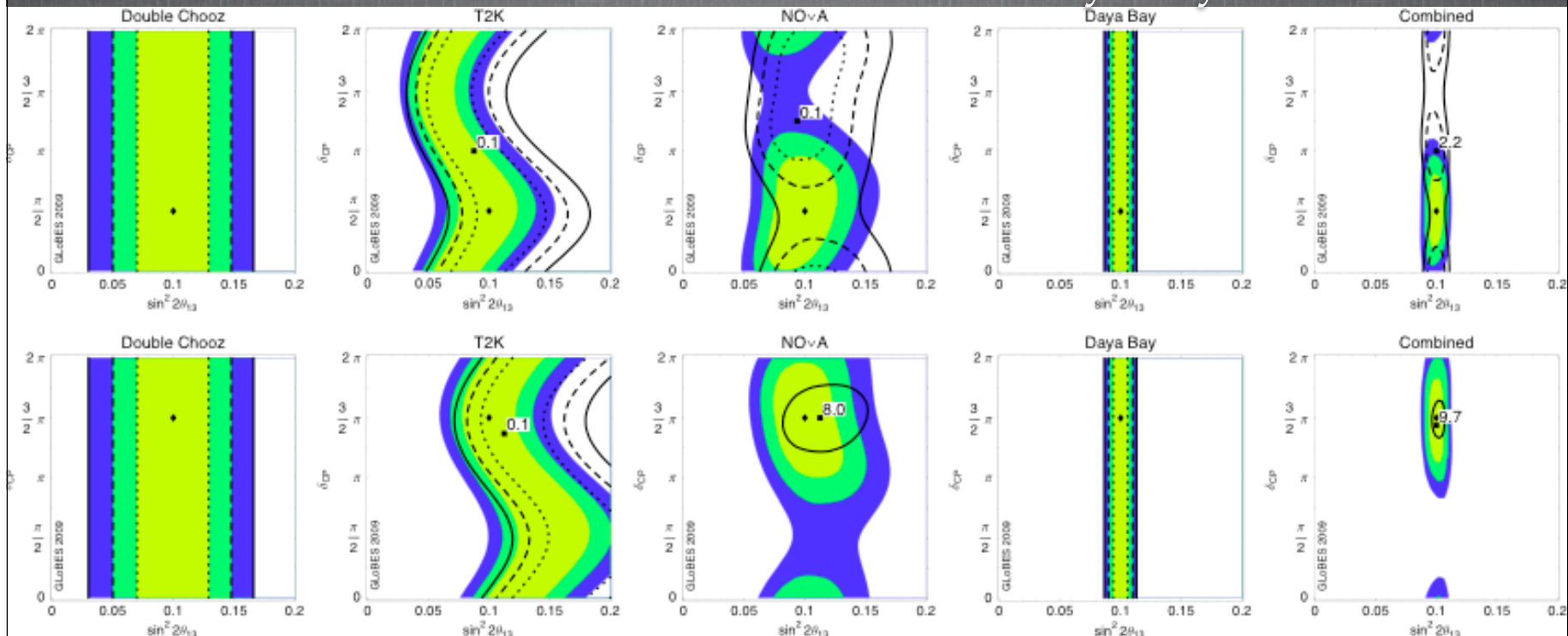
Double Chooz

T2K

NOvA

Daya Bay

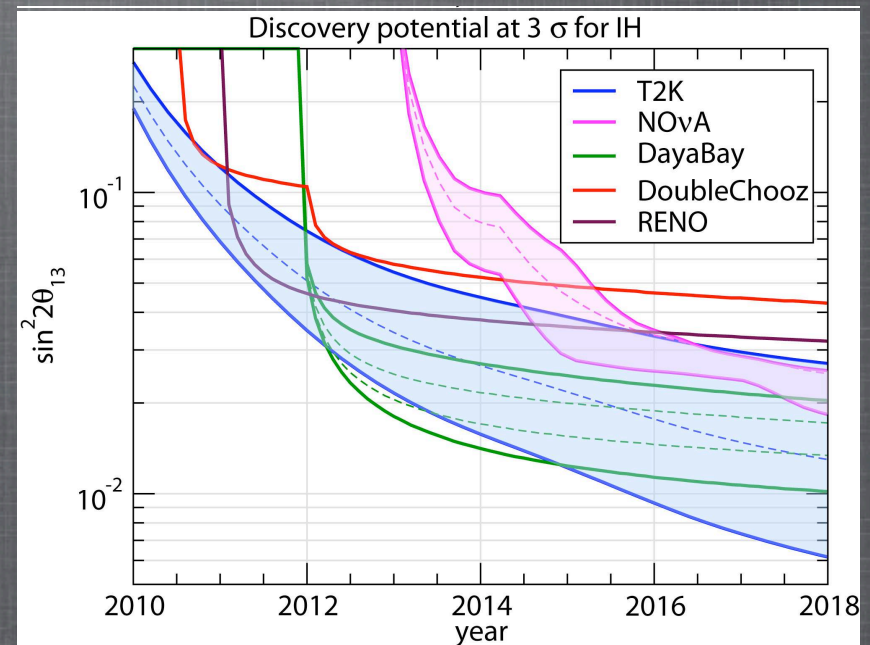
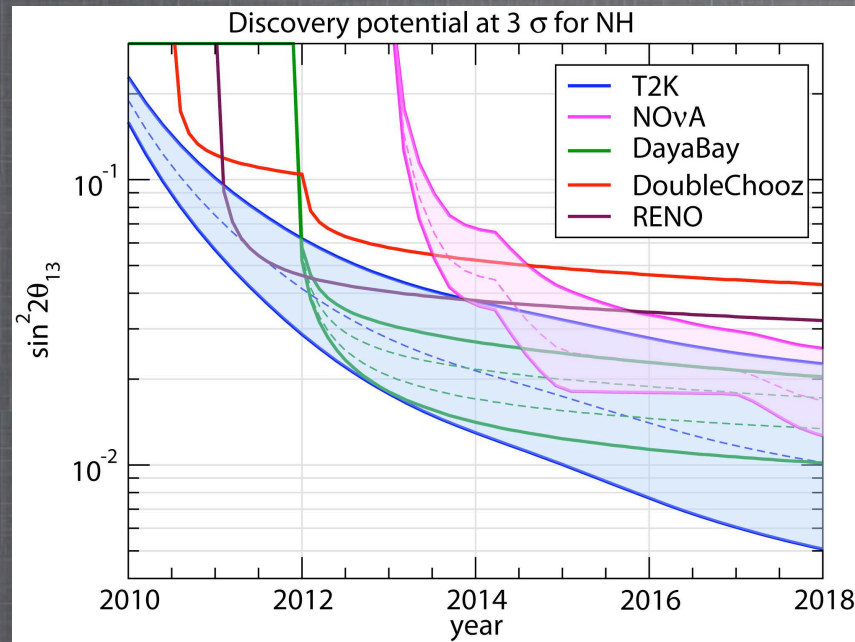
Combinées



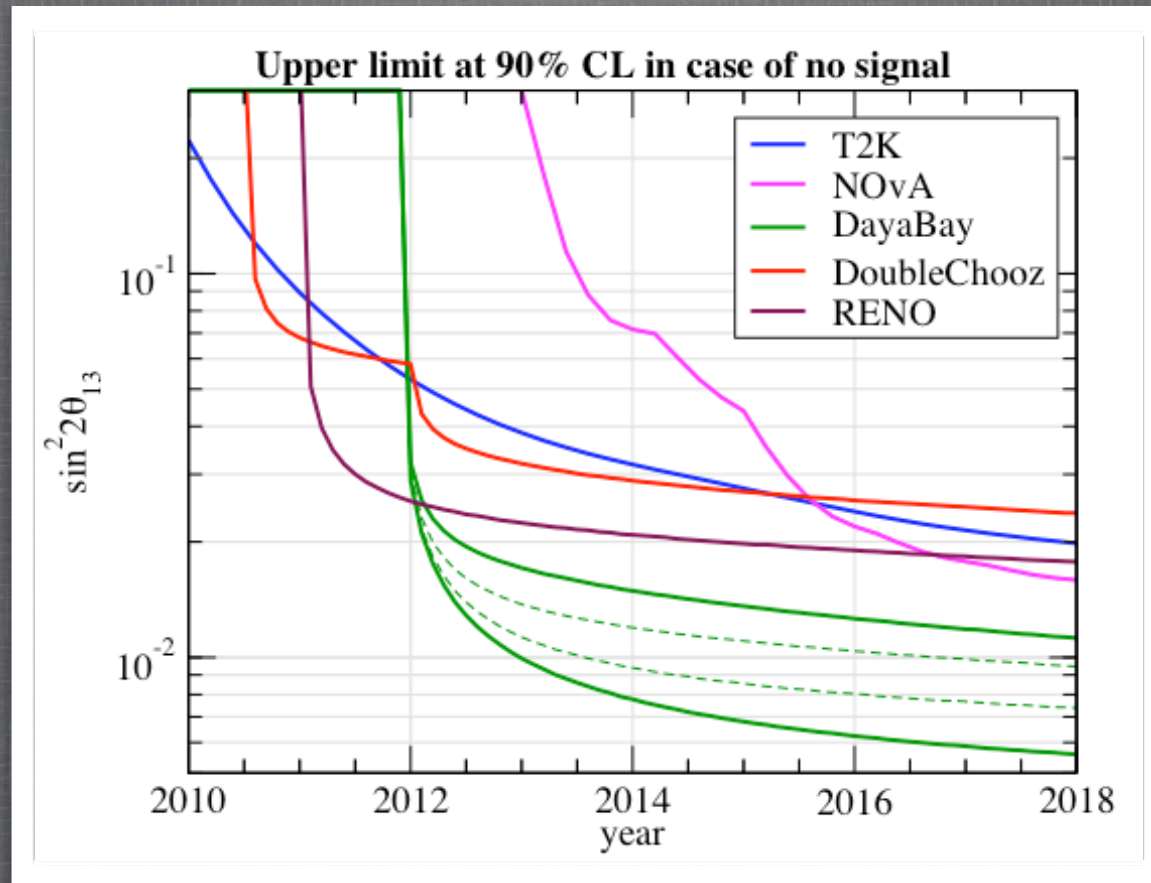
$\sin^2 2\theta_{13} = 0.1$, $\delta = \pi/2$ (haut) ou $\delta = 3\pi/2$ (bas)

$\text{sgn}(\Delta m^2_{31}) = +1$ (couleurs) ou $\text{sgn}(\Delta m^2_{31}) = -1$ (courbes)

POTENTIEL DE DÉCOUVERTE DE L'ANGLE θ_{13}



SENSIBILITÉ À L'ANGLE θ_{13}

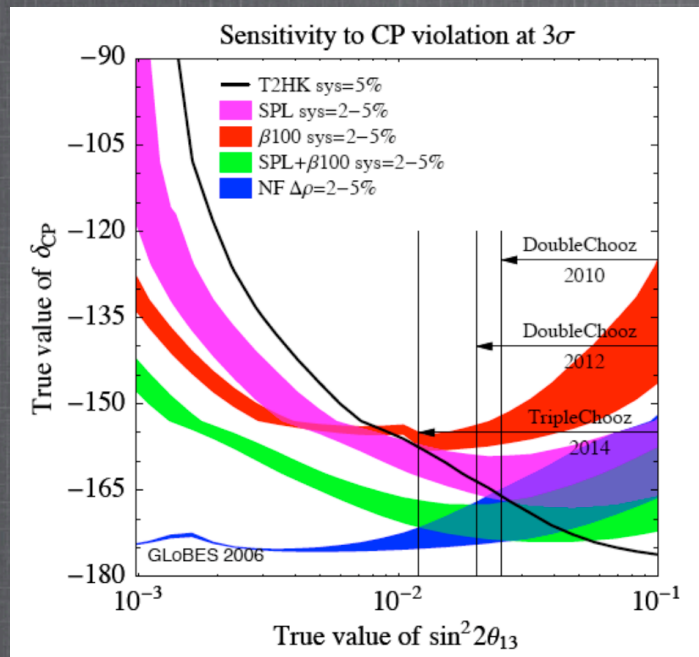


LE FUTUR θ_{13} et... δ_{CP} ?

* Faisceaux de neutrinos

- traditionnels de très haute intensité (SuperBeams-II)
- de nouvelle conception: composition pure et exactement connue (BetaBeam, Neutrino Factory)

Quelle stratégie ?



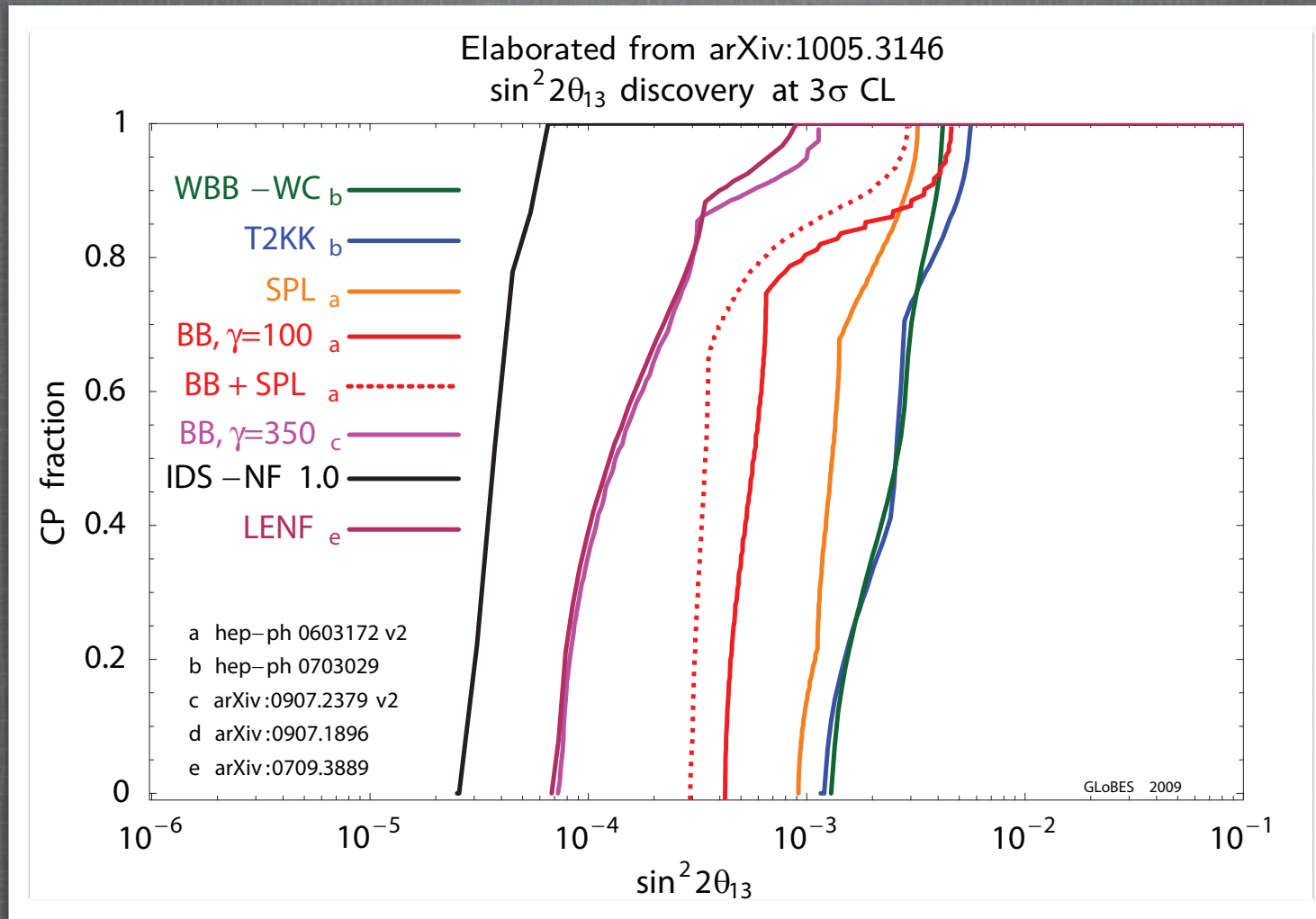
$\sin^2(2\theta_{13}) > \sim 10^{-1} \Rightarrow$ détecteur de grande taille avec faisceau traditionnel

$\sin^2(2\theta_{13}) > \sim 10^{-2-3} \Rightarrow$ détecteur de grande taille avec faisceau de nouvelle conception + synergie avec faisceau traditionnel

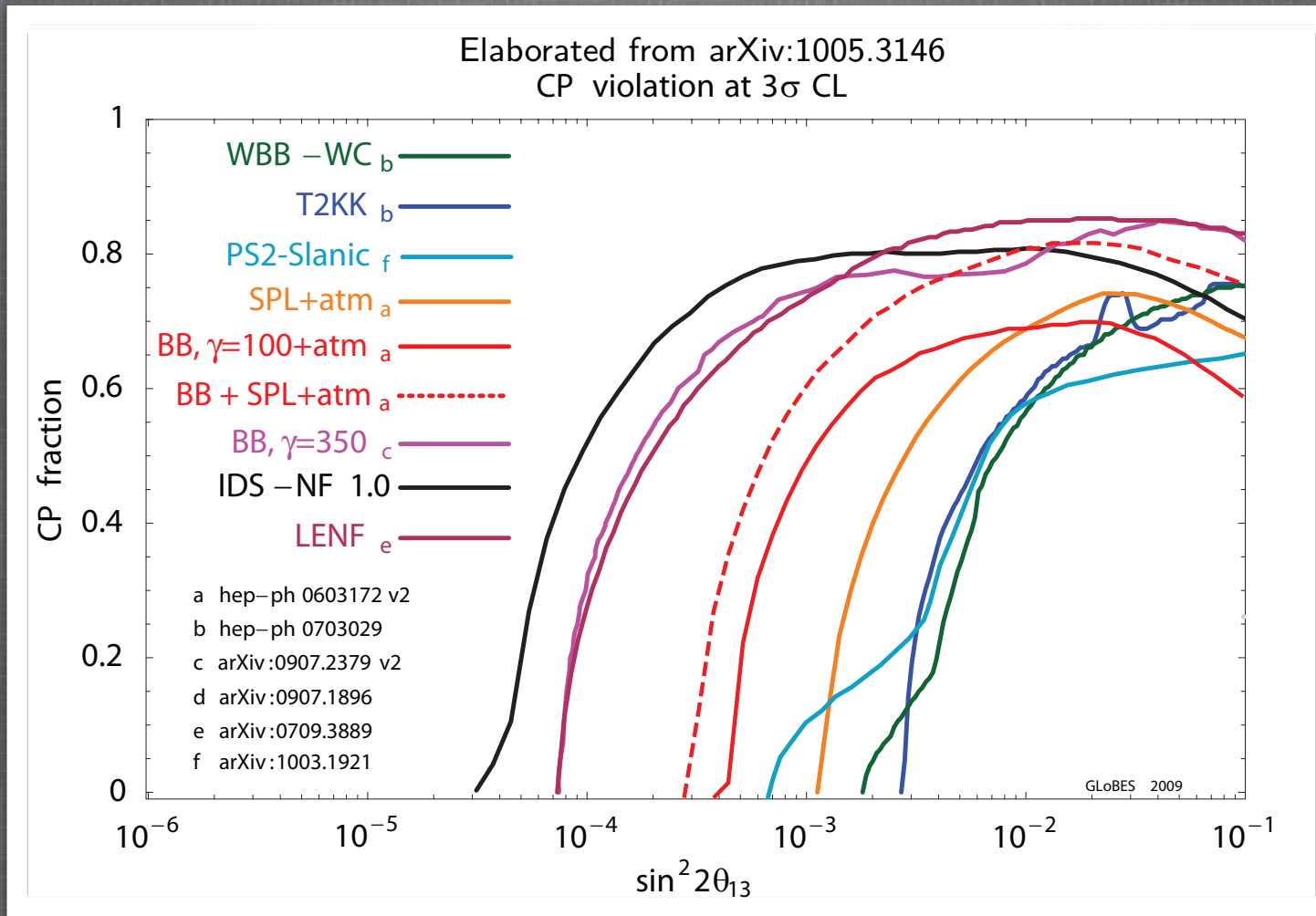
$\sin^2(2\theta_{13}) > \sim 10^{-4} \Rightarrow$ Neutrino Factory

$\sin^2(2\theta_{13}) < \sim 10^{-4} \Rightarrow \delta_{CP}$ non mesurable par les oscillations des neutrinos (\rightarrow nouvelle symétrie du secteur leptonique ?)

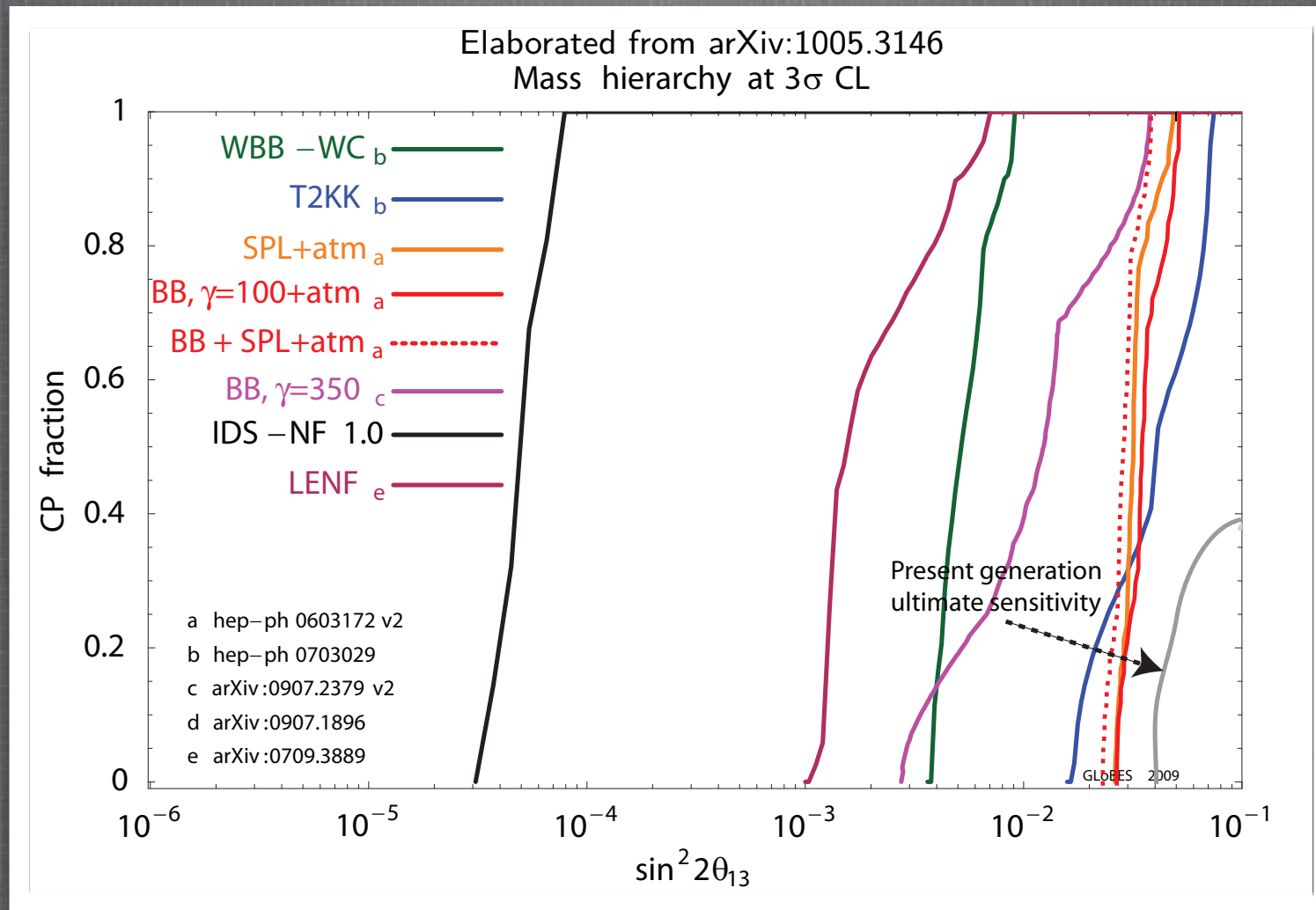
POTENTIEL DE DÉCOUVERTE DE θ_{13} EN FONCTION DE δ



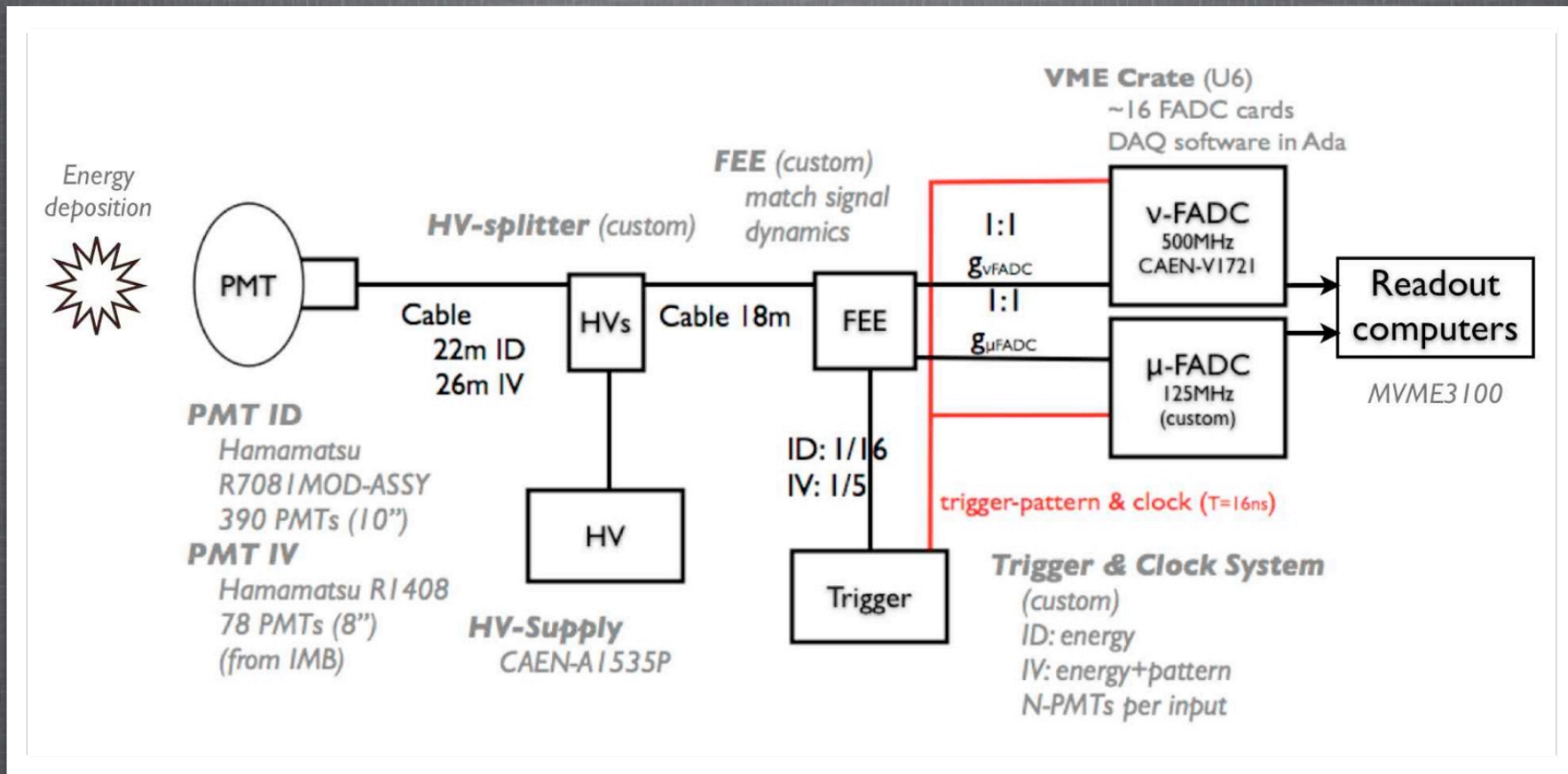
POTENTIEL DE DÉCOUVERTE DE δ EN FONCTION DE θ_{13}



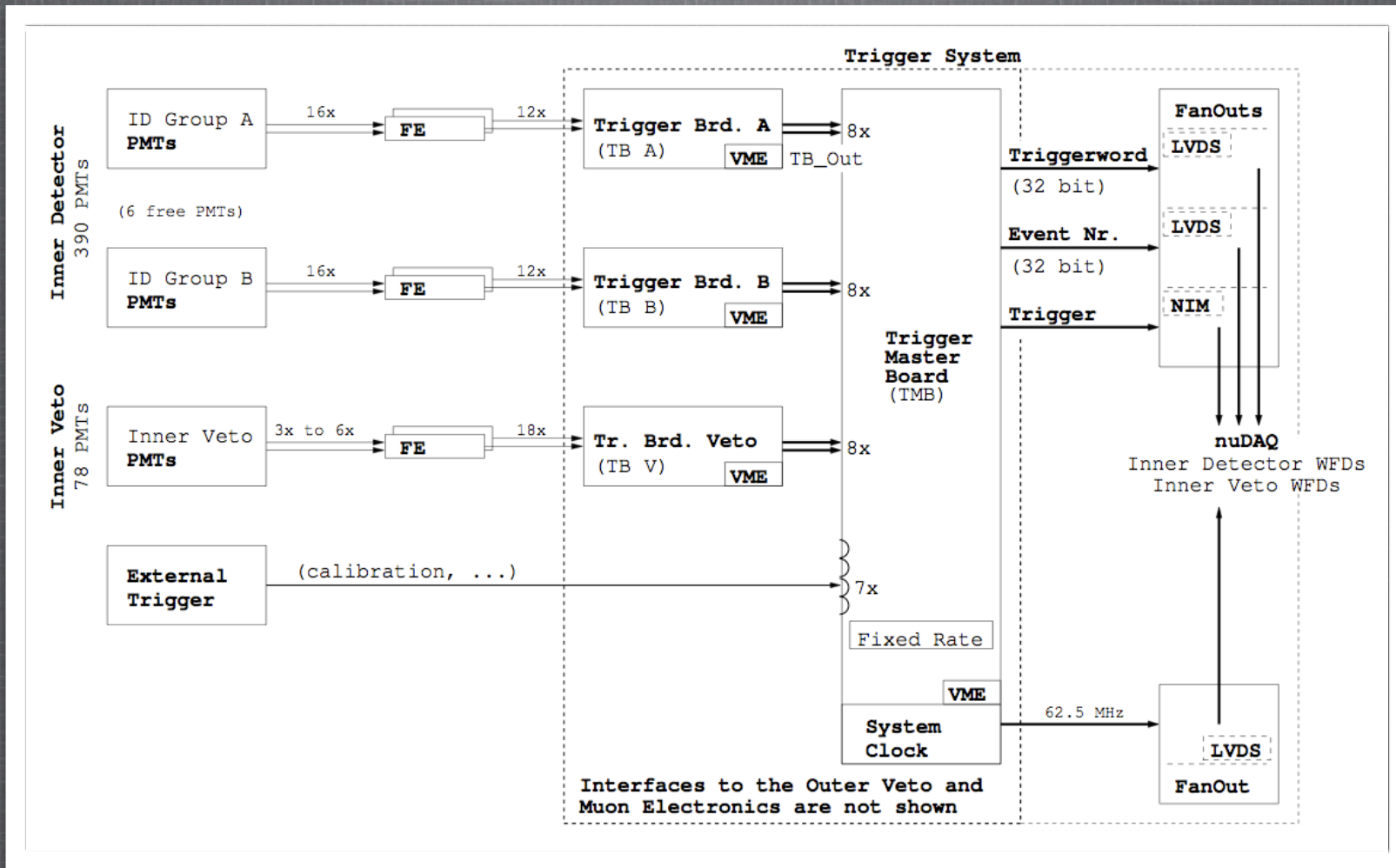
POTENTIEL DE DÉCOUVERTE DU SIGNE DE ΔM^2_{13}



SYSTÈME D'ACQUISITION

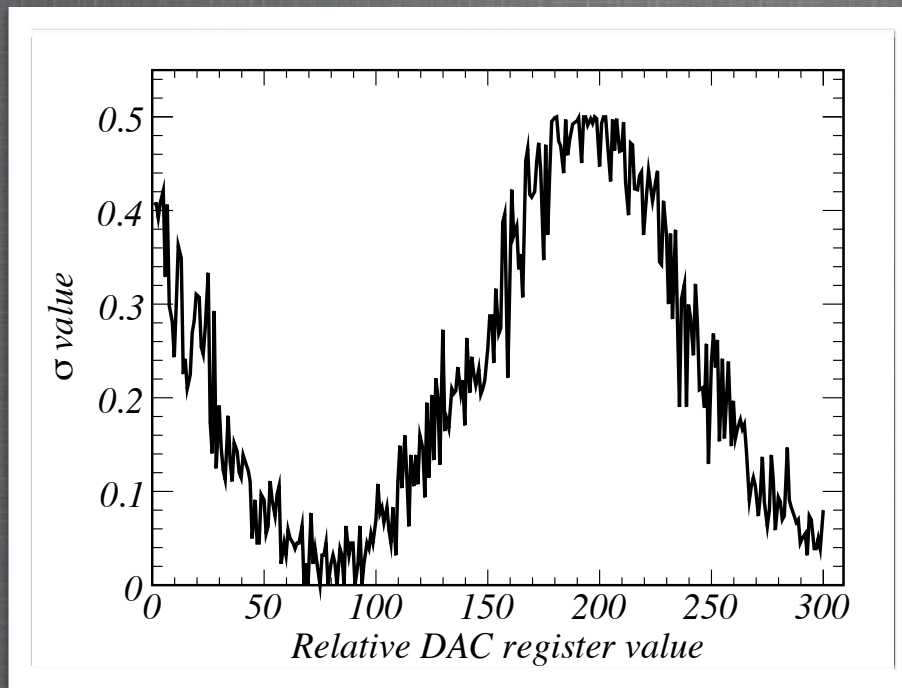


SYSTÈME D'ACQUISITION



BRUIT DES CANAUX

* Ecart-type en fonction de la valeur du DAC de 16 bits



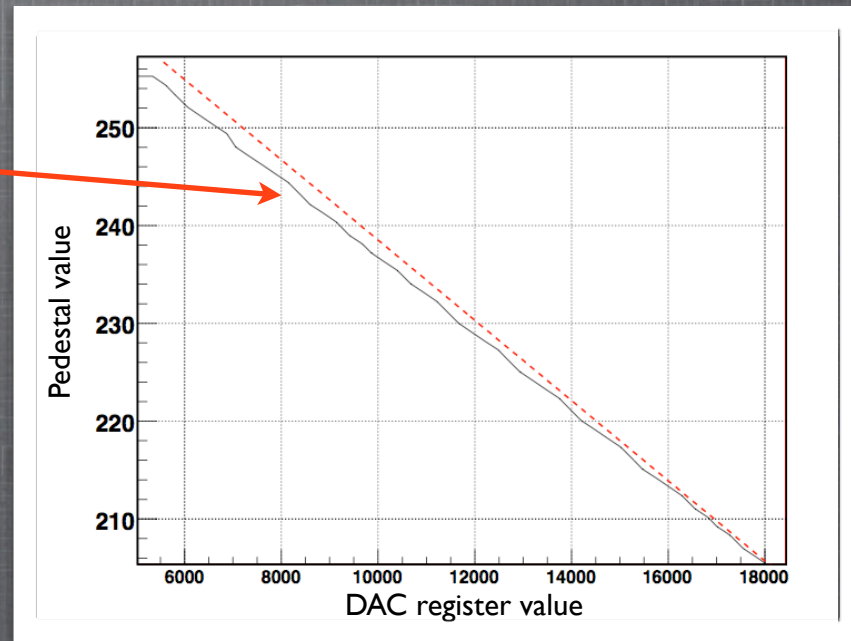
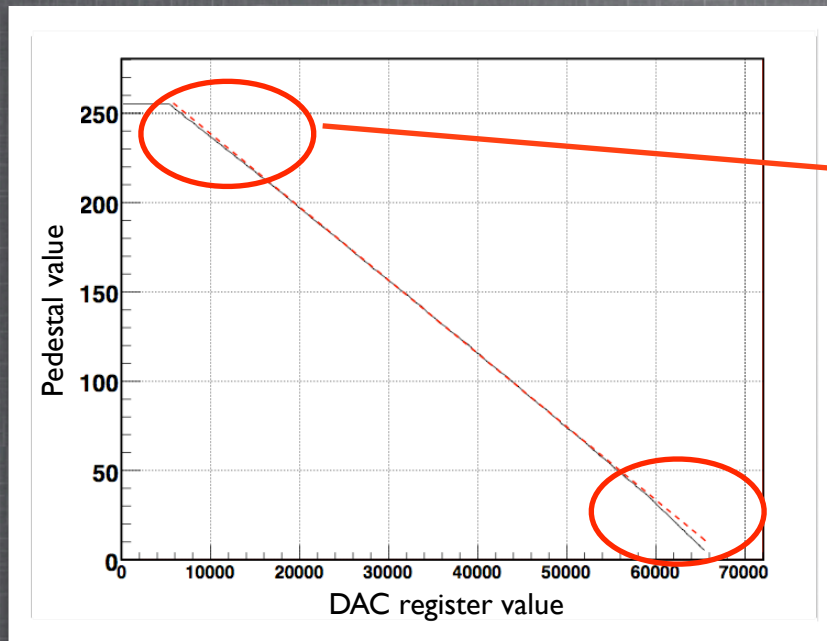
* 16 bits $\Rightarrow 2^{16} = 65536 =$
256 x 256 valeurs de DAC

⇒ 256 valeurs de DAC
pour régler précisément
un coup d'ADC

⇒ $\sigma < 0.5$ coup d'ADC, peut être réglé à 0 !

TEST DE LINÉARITÉ (1/2)

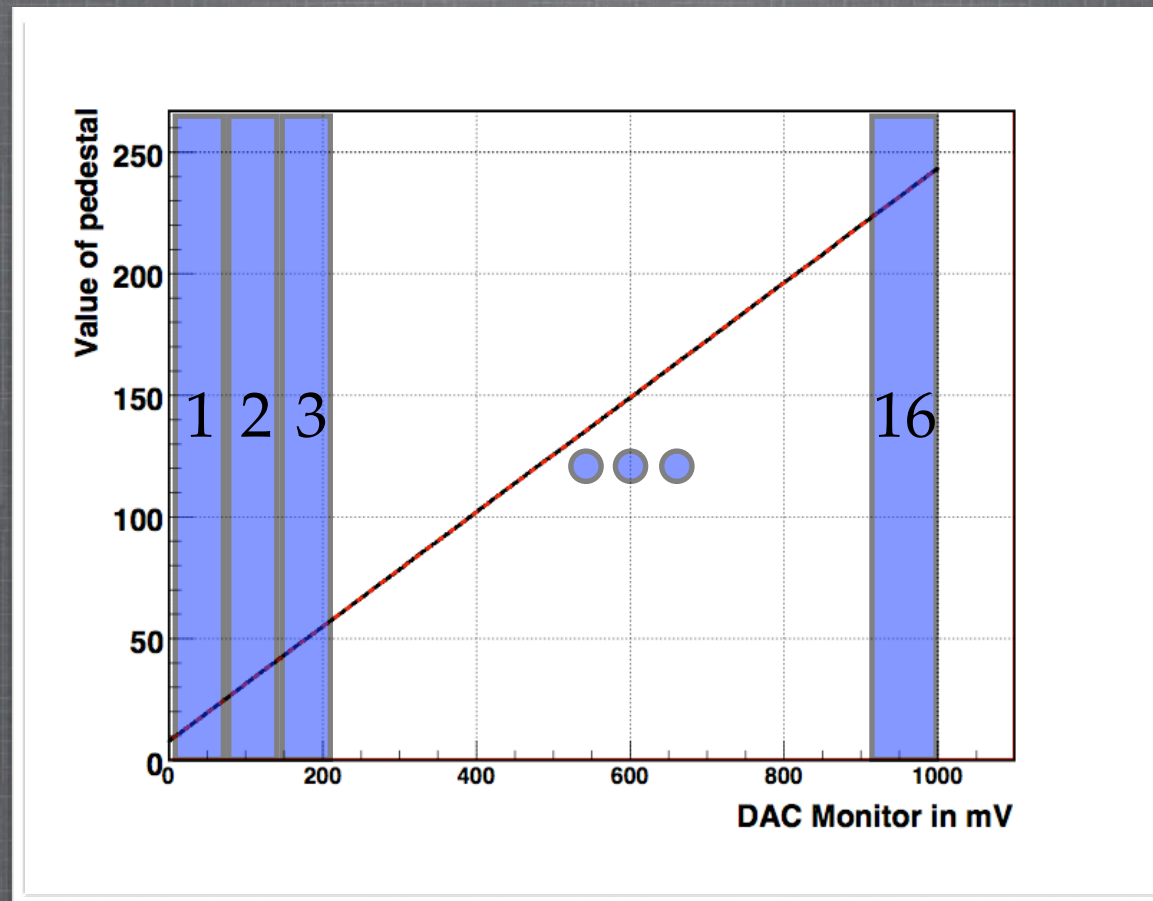
* Test de linéarité avec le DAC de 16 bits



⇒ Existence de non linéarités ! Dues au Flash-ADC ou au DAC ?

LINÉARITÉ DES CANAUX PAR SECTIONS (1/2)

* Test de linéarité additionnel avec un fit par section (16 sections)



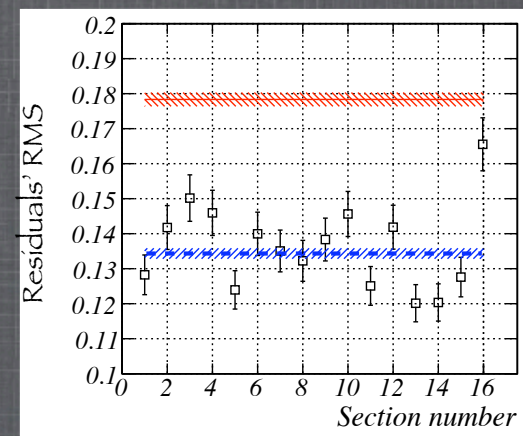
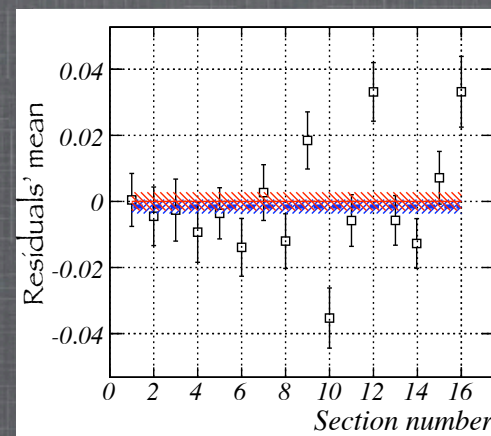
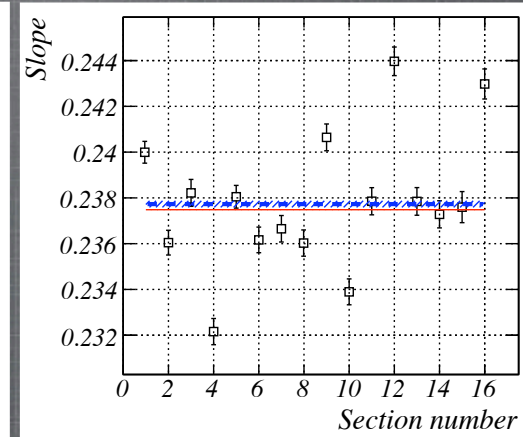
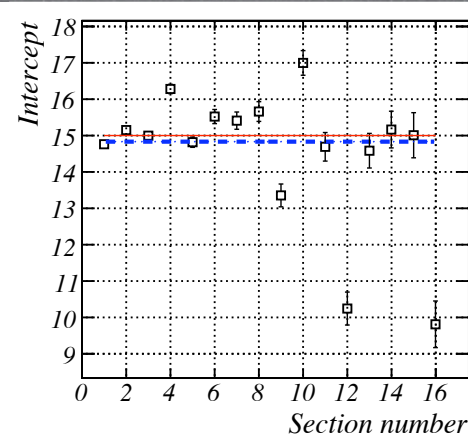
LINÉARITÉ DES CANAUX PAR SECTIONS (2/2)

* Test de linéarité avec le DAC de 12 bits

- Fit global : sur les 4096 valeurs (rouge)
- Moyenne des fits par section (bleu) : 16 sections de 256 valeurs

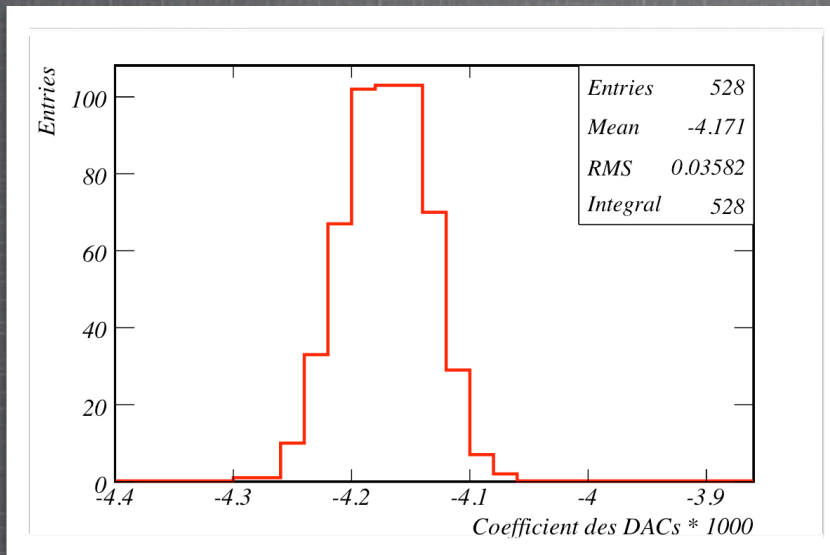
Ordonnée à l'origine

Coefficient directeur



RÉGLAGE DES PIÉDESTAUX

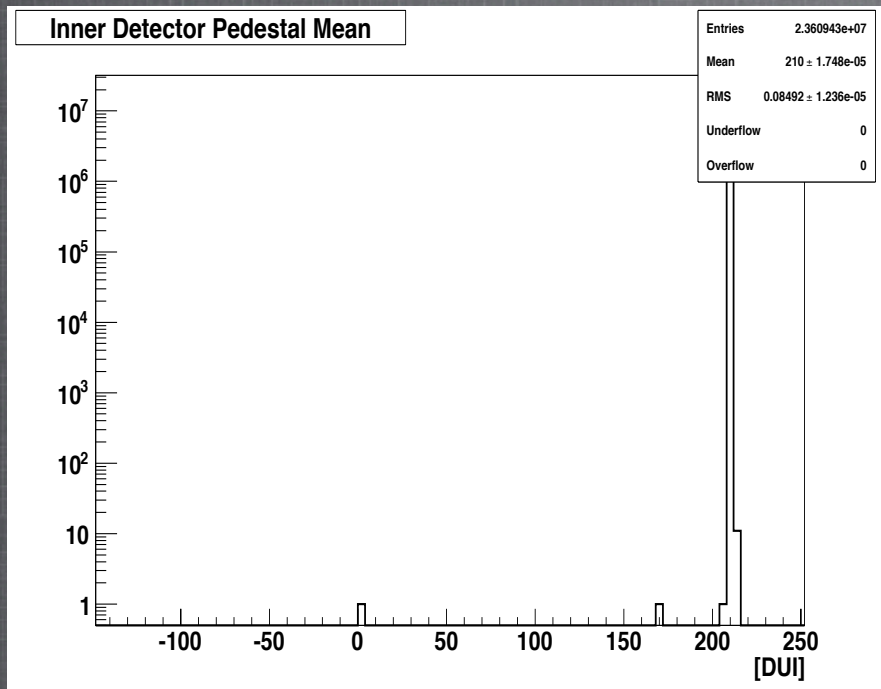
* On cherche à avoir la plus grande dynamique pour enregistrer les pulses



* Nouvelle méthode pour régler les piédestaux à partir du coefficient directeur (+ 1 événement en début de boucle)

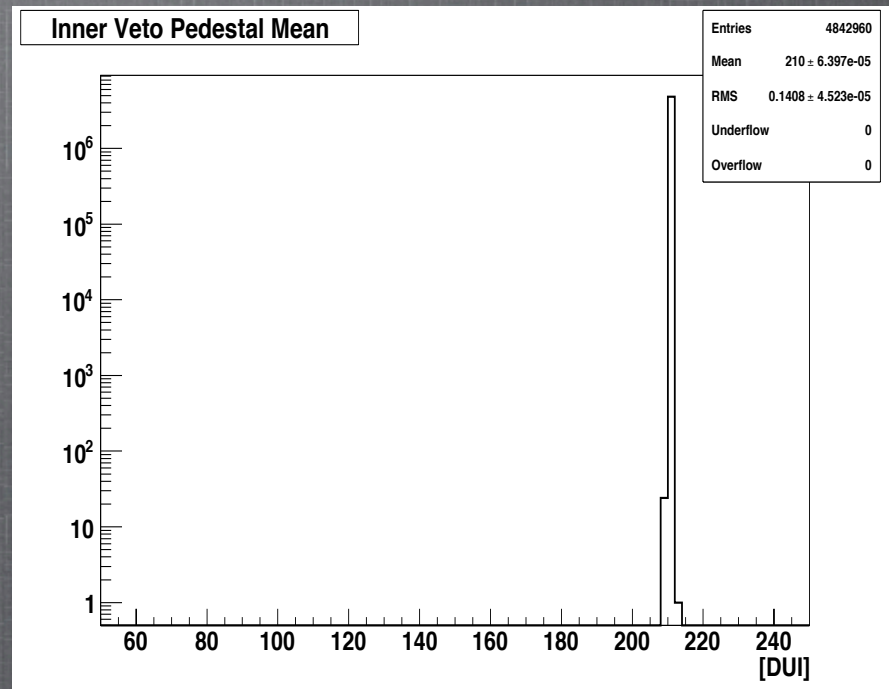
⇒ Réglage à mieux qu'un coup d'ADC

CALIBRATION DES CANAUX (2/3)



Mean = 210 ADC counts

$RMS_{\text{mean}} \sim 0.09$ ADC counts



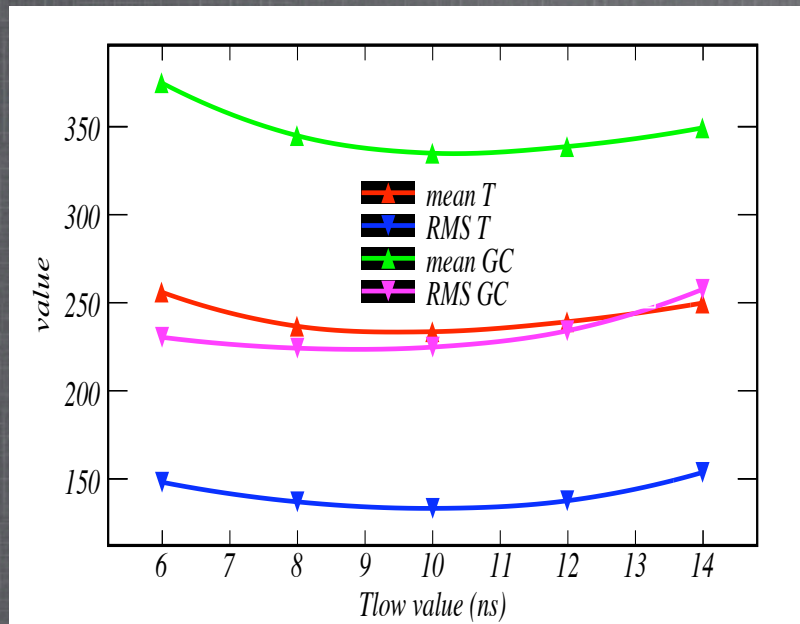
Mean = 210 ADC counts

$RMS_{\text{mean}} \sim 0.14$ ADC counts

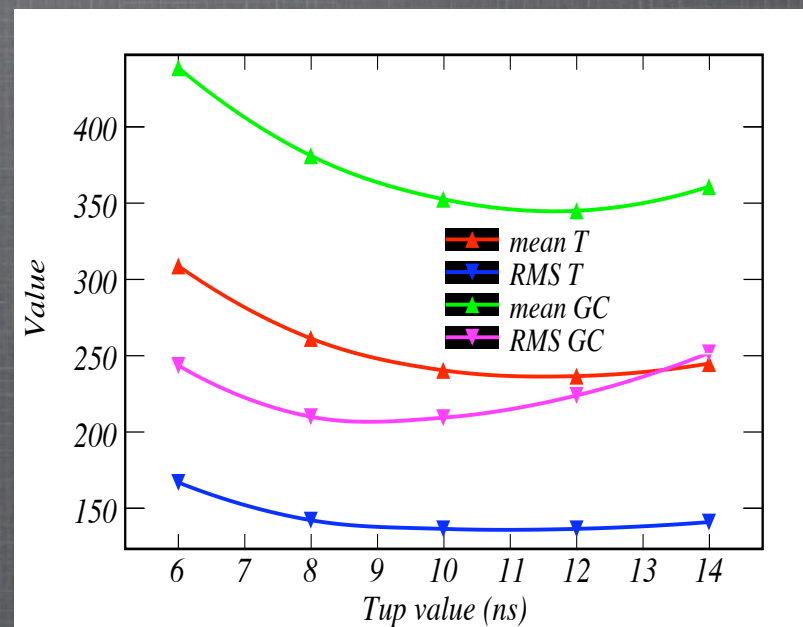
OPTIMISATION DES PARAMÈTRES DE SÉLECTION

* Utilisation de la distance du vertex reconstruit au véritable vertex pour estimer les performances de la reconstruction

T_{low} : protection contre les bruits

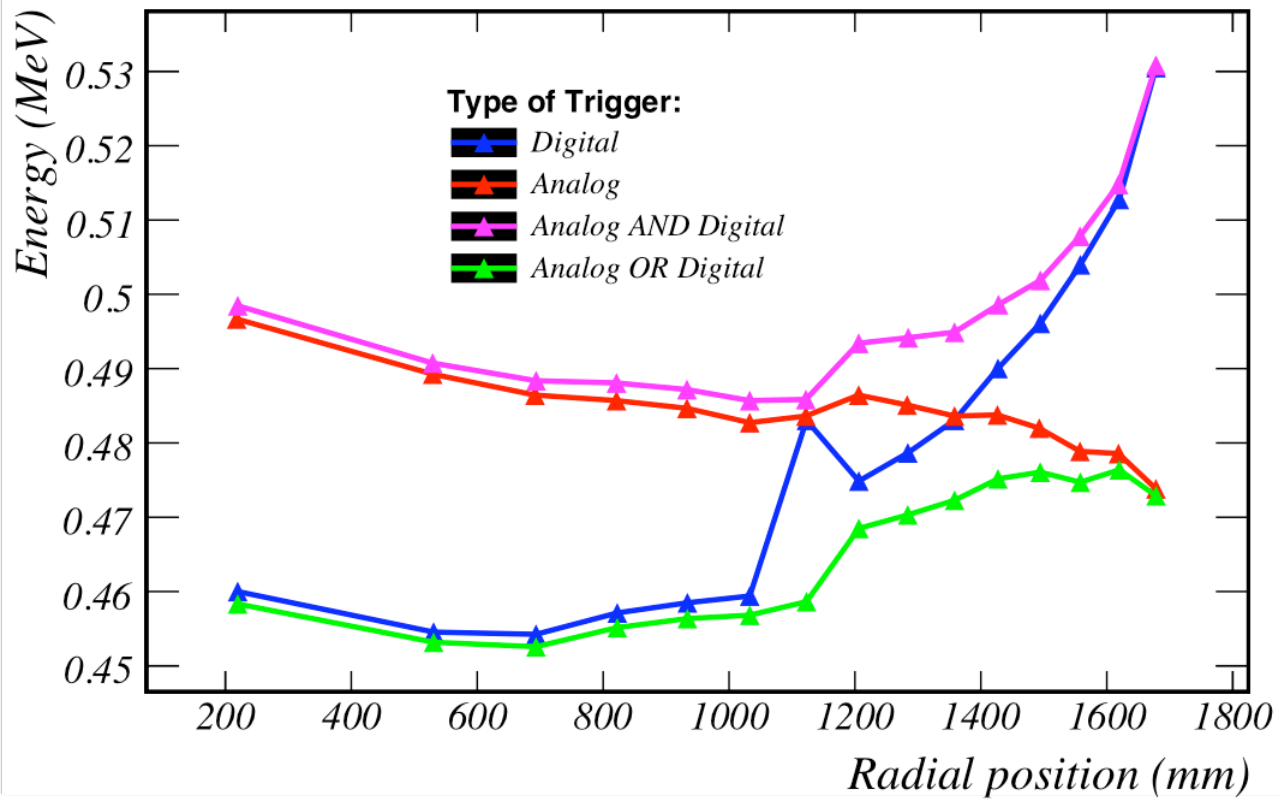


T_{up} : sélection de la gaussienne



⇒ Reconstruction dans la cible est faiblement dépendante des paramètres

DÉCLENCHEMENT 'DIGITAL' (1/2)



DÉCLENCHEMENT 'DIGITAL' (2/2)

