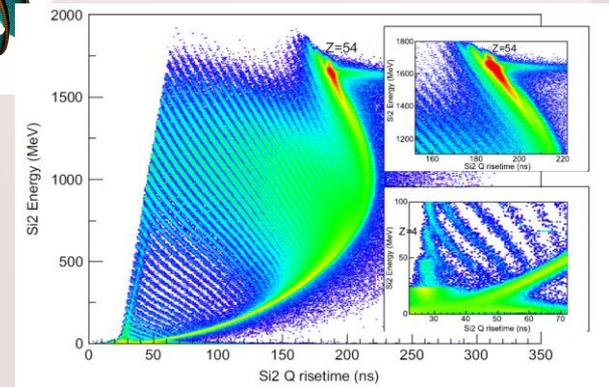
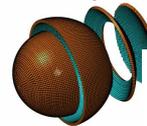
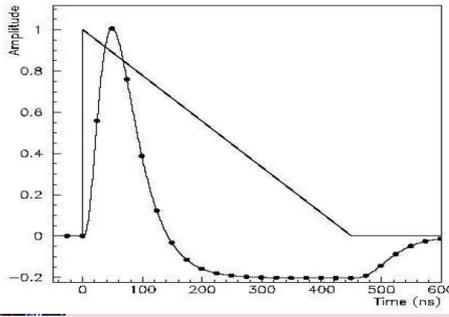
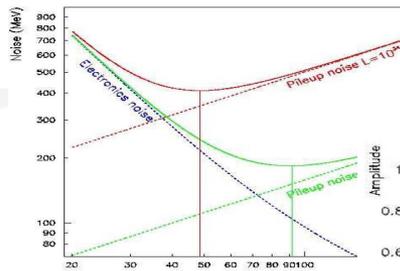


TRAITEMENT DU SIGNAL À L'IN2P3 UTILISATION DANS DES EXPÉRIENCES

29 novembre 2012

Exemples d'application des méthodes de traitement du signal dans des expériences de l'IN2P3, en particulier de traitement *numérique* du signal.

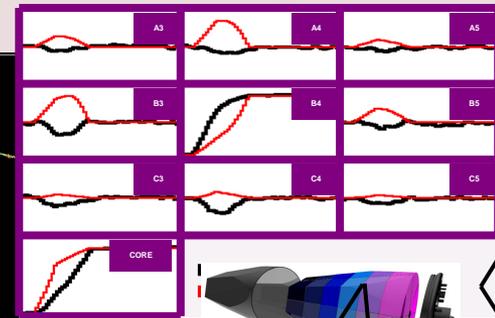
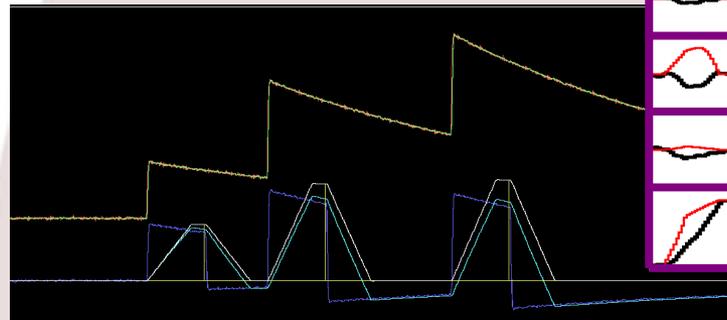


B. Genolini
genolini@ipno.in2p3.fr
<http://ipnweb.in2p3.fr>

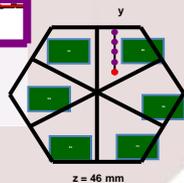
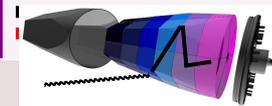


Unité mixte de recherche
CNRS-IN2P3
Université Paris-Sud

91406 Orsay cedex
Tél. : +33 1 69 15 73 40
Fax : +33 1 69 15 64 70
<http://ipnweb.in2p3.fr>



(10, 10, 46)



DÉROULEMENT

29 nov. 2012

LHC/ATLAS : calorimètre à Argon liquide

Mesure de la charge et du temps à partir de 5 points de numérisation

FAZIA

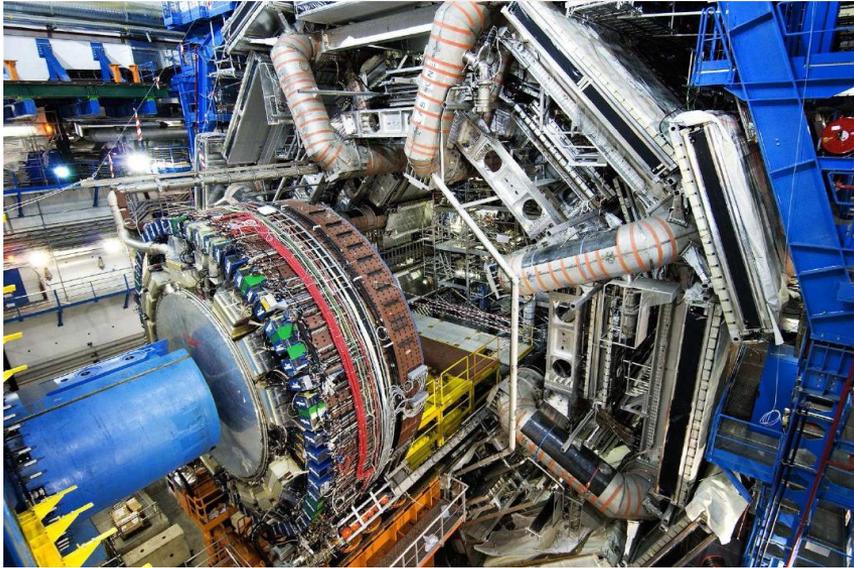
Identification d'ions lourds dans des détecteurs silicium

AGATA

Trajectographie de rayonnement gamma dans du Germanium

ATLAS : CALORIMÈTRE À ARGON LIQUIDE

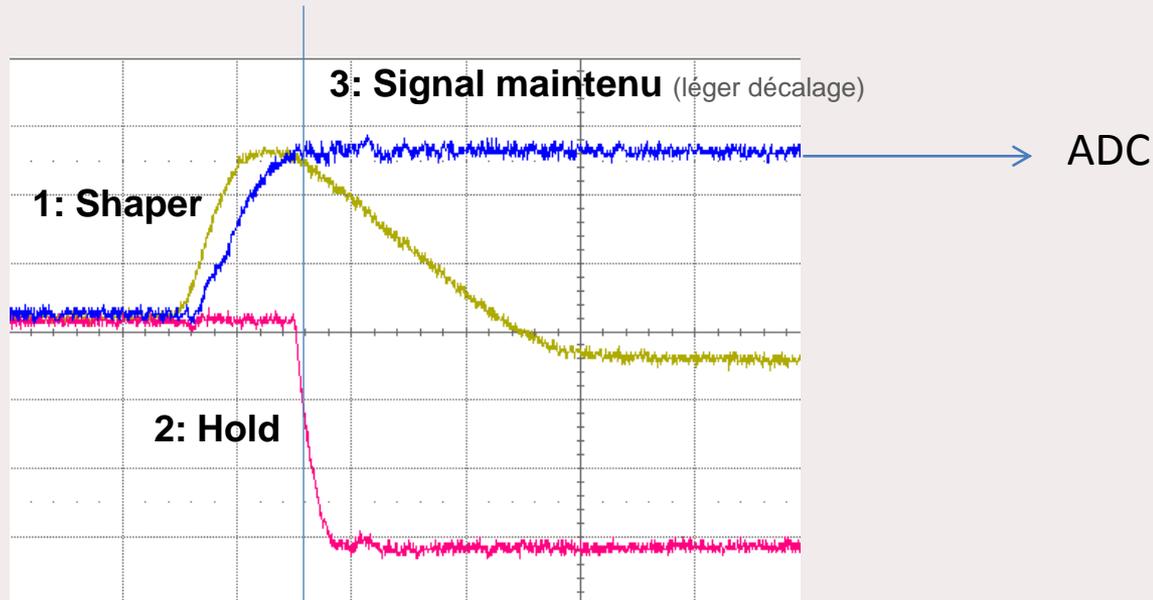
29/01/2012



Source : Présentation de Christophe de La Taille – Journées Thématiques de l'IPN d'Orsay, 2009

<https://indico.in2p3.fr/getFile.py/access?contribId=10&sessionId=3&resId=0&materialId=slides&confId=2463>

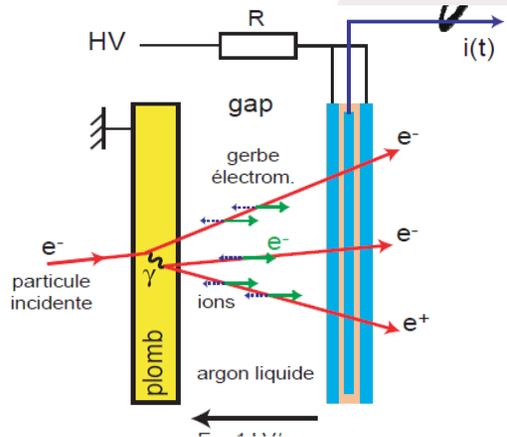
PRINCIPE DE LA NUMÉRISATION AVEC UN SHAPER (RAPPEL)



Le signal de hold doit être synchrone avec le signal.

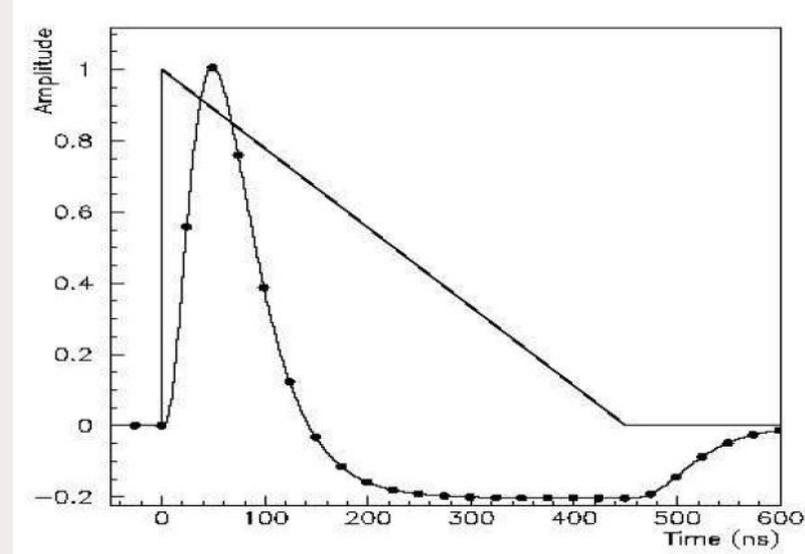
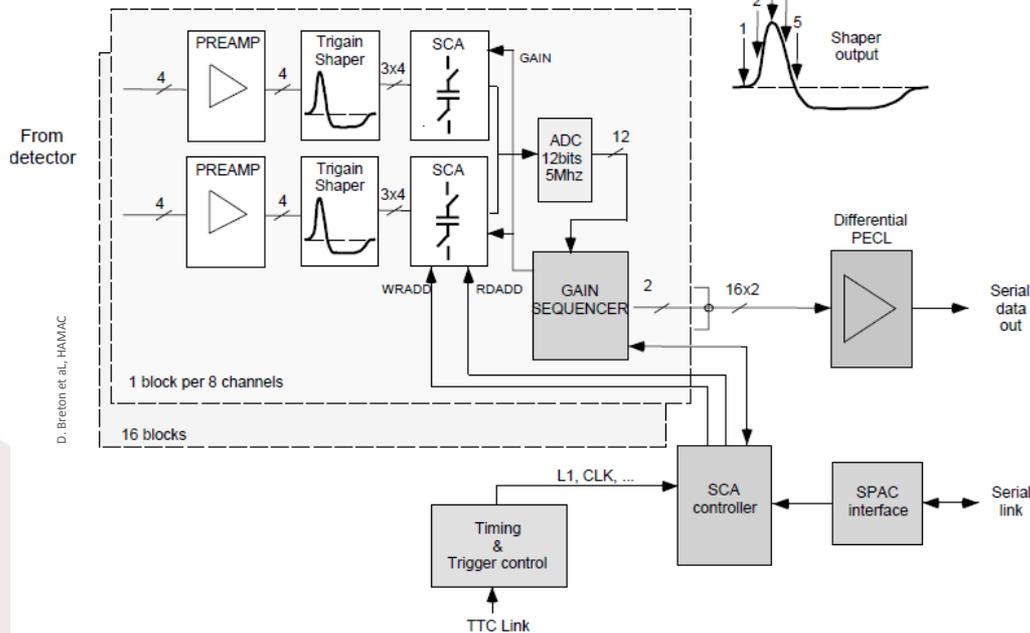
Un des enjeux des expériences du LHC est la fabrication d'un trigger qui commande les signaux de « hold »... dont font partie les horloges des FADC.

LECTURE DU CALORIMÈTRE À ARGON LIQUIDE D'ATLAS

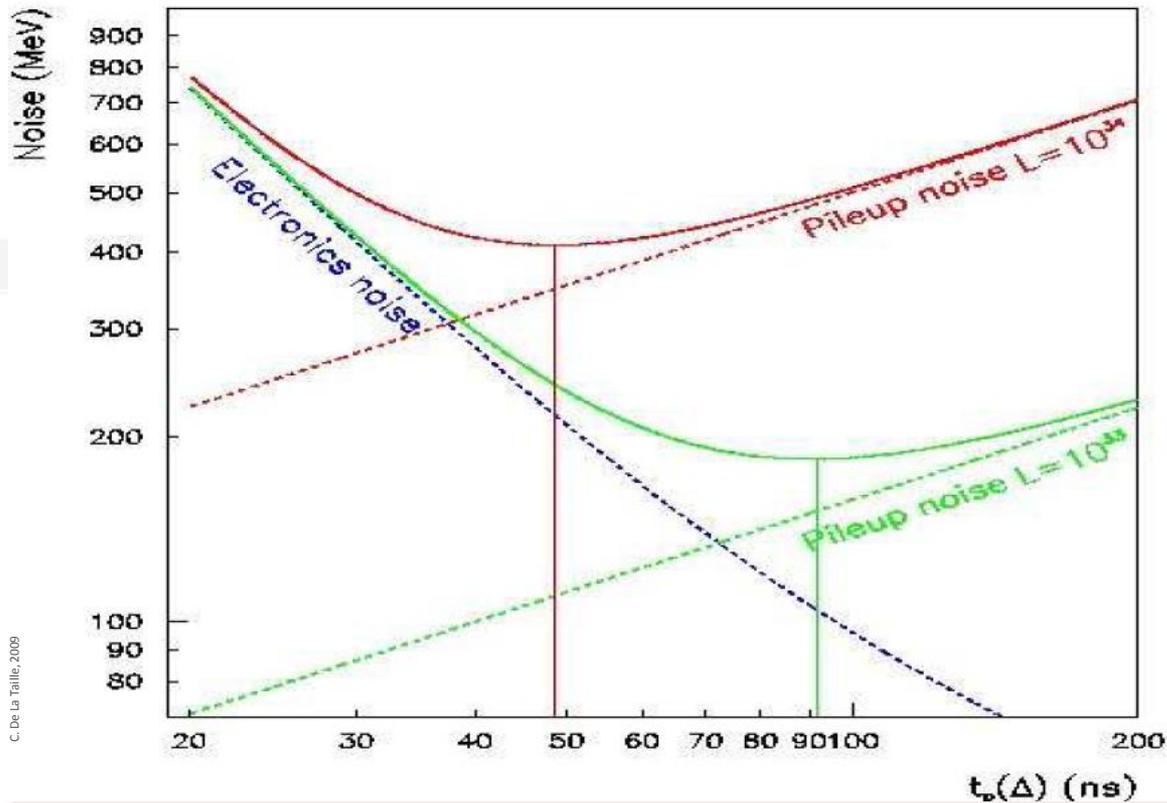


- Taux de comptage élevé : empilement
- Echantillonnage : 40 MSPS (25 ns)
- Grande gamme dynamique : trois gains
- Horloge synchrone avec le signal dans certaines configurations pour la mesure du maximum + temps

Synopsis of Atlas Calorimeter Front-end Board



OPTIMISATION DU FILTRE ANALOGIQUE



C. De La Taille, 2009

C. De La Taille, 2009

Le temps caractéristique optimum du filtre analogique dépend du taux de comptage

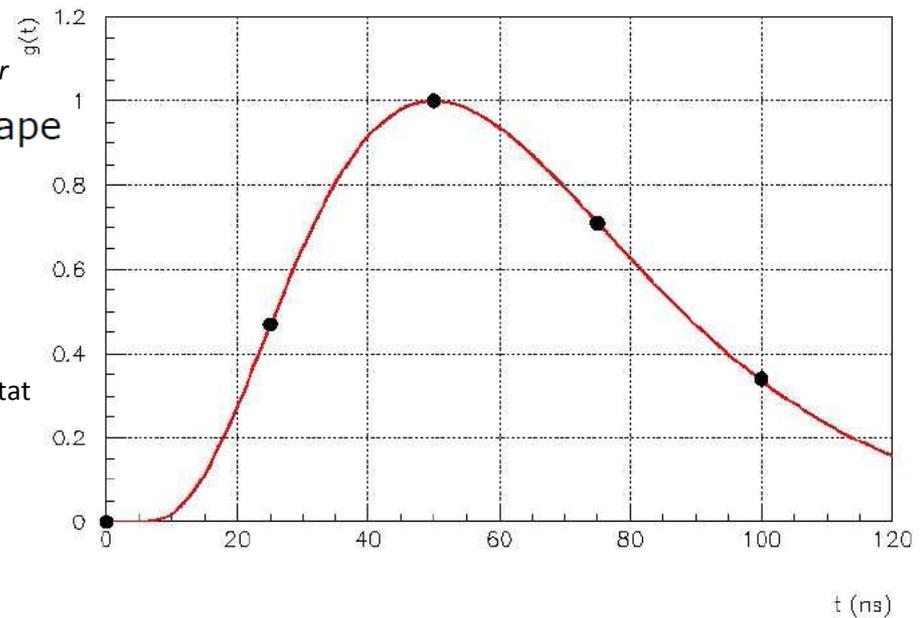
FILTRAGE NUMÉRIQUE (1)

- Multiple Sampling technique [Cleland NIM A338 (1996)]
 - Linear combination of N samples on waveform to optimize noise
 - Finite Impulse Filter

- Signal : $s(t) = Ag(t) + b(t)$
 - A : amplitude *Valeur à déterminer*
 - $g(t)$: normalised signal shape
 - $b(t)$: noise
 - Sampled signal : $s_i = Ag_i + b_i$

- Filter : weighted sum $\sum a_i s_i$
 Objectif = minimiser la variance (bruit) du résultat

- Normalization :
 - $\langle S \rangle = A$
 - $\sum a_i g_i = 1$



Sampled signal shape

FILTRAGE NUMÉRIQUE (2)

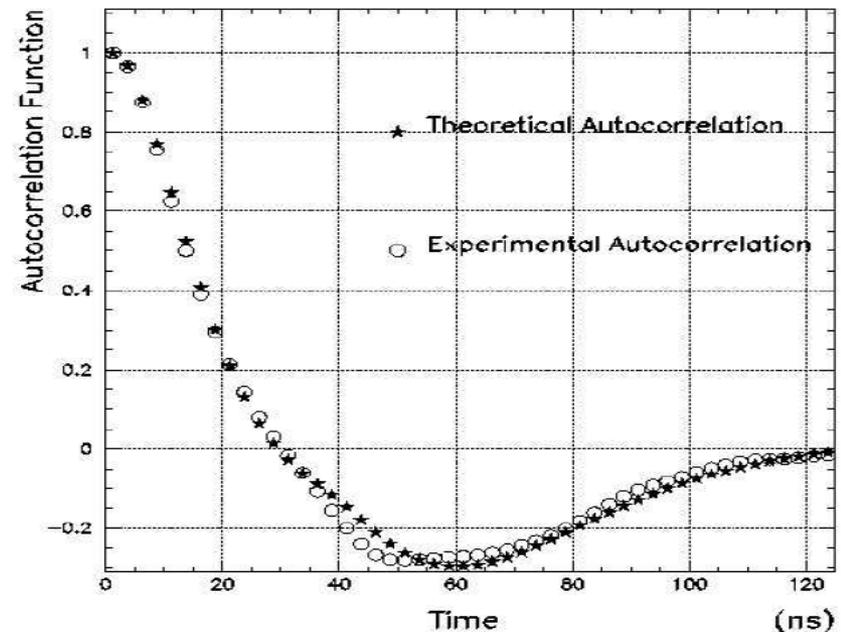
- Searching Amplitude A, minimizing Variance
 - $\sigma^2 = \sum a_i a_j R_{ij}$
 - R_{ij} = autocorrelation matrix = $\langle b_i b_j \rangle$
 - Finite Impulse Filter

- Lagrange multiplier : λ
on constraint $\sum a_i g_i = 1$

- Minimize
 $\sum a_i a_j R_{ij} - \lambda (\sum a_i g_i - 1)$

- $a_i = \sum R^{-1}_{ij} g_j$
 - R_{ij} = autocorrelation matrix
 - g_j = signal shape

C. De La Taille, 2009



Autocorrelation function

Mesurée lors des phases d'étalonnage pendant l'expérience

APPLICATION NUMÉRIQUE

- Example

$g_i = (0, 0.63, 1, 0.8, 0.47)$ gives $a_i = (0.17, 0.34, 0.40, 0.31, 0.28)$

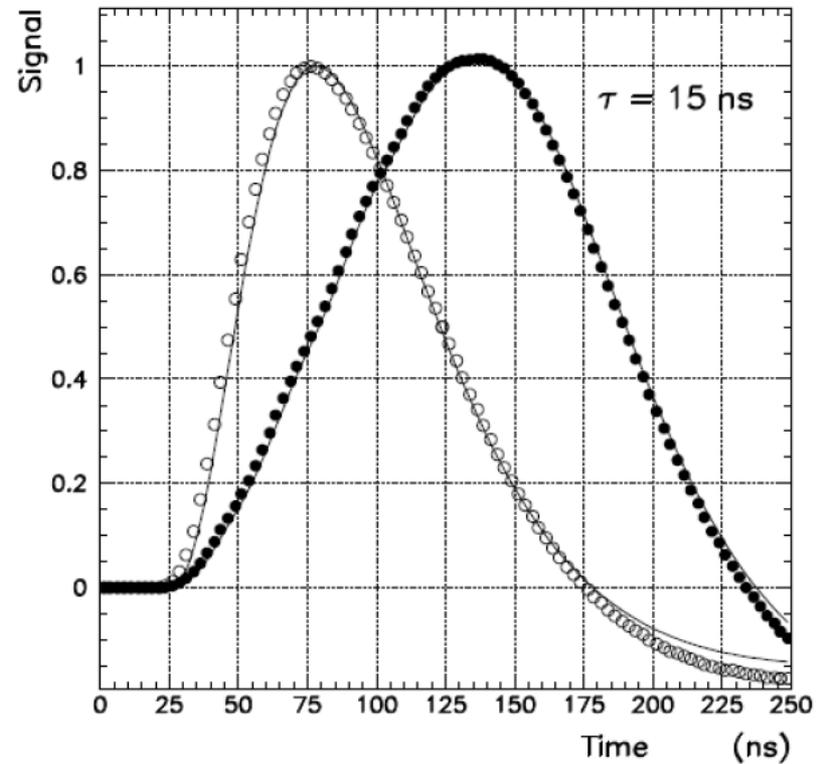
- **Effect on signal :**
Low pass filter

- **Reduction of electronics Noise**

- **$T_p : 50 \text{ ns} \rightarrow 100 \text{ ns}$**

- **Expect noise / 3**

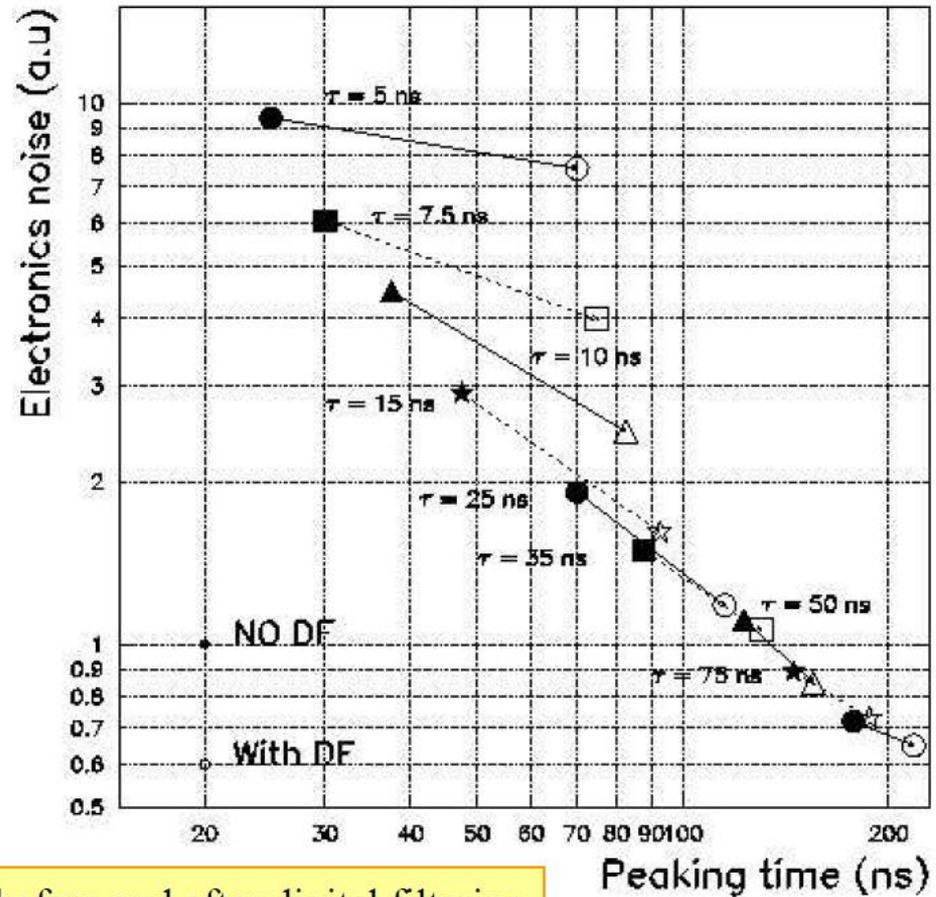
- **Get 1.8 !...**



C. De La Taille, 2009

RÉSULTAT : AMÉLIORATION DU BRUIT

- Measured values, for various peaking times



noise before and after digital filtering

C. De La Taille, 2009

A QUOI BON TOUT ÇA ?

29 nov. 2012

Que gagne-t-on vraiment avec cette méthode ?

Peut-on faire mieux ? A quel prix ?

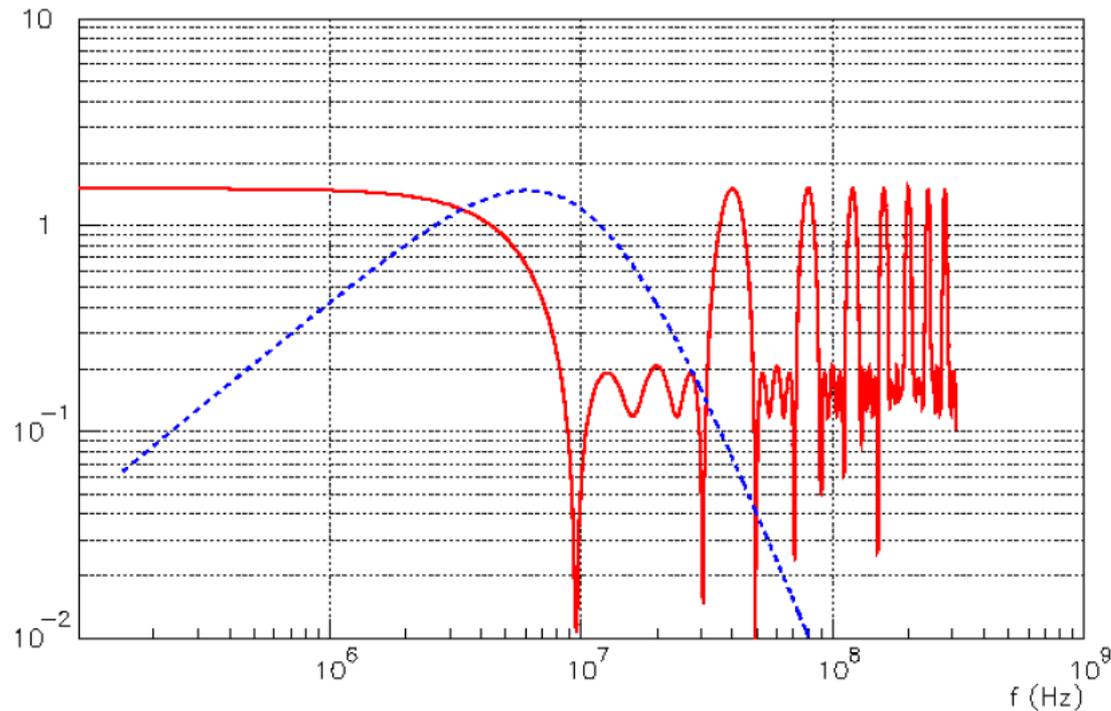
A-t-on besoin du filtre numérique ? Du filtre analogique ?

De quelle précision avons-nous besoin sur les coefficients ?

Peut-on faire des mesures de temps avec cette méthode ?

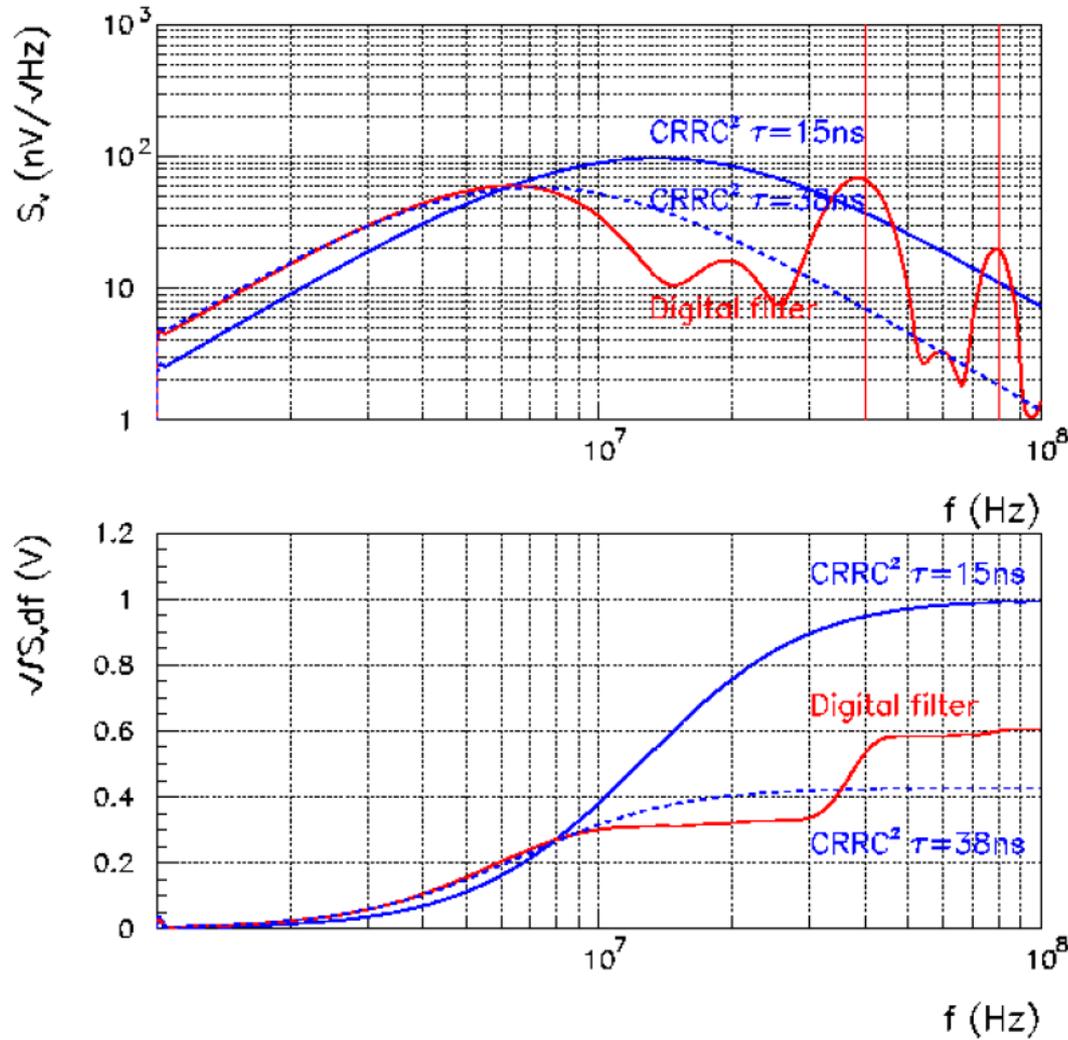
CALCUL DE LA FONCTION DE TRANSFERT

- Using Z-transform : $H(Z) = \sum a_i Z^{-i}$ with $Z = \exp(j\omega T_{ech})$
- Low pass filter, $f_0 = 4$ MHz
- Aliasing at multiples of sampling frequency $F_{ech} = 40$ MHz



Rouge = numérique
Bleu = analogique

AMÉLIORATION DU BRUIT

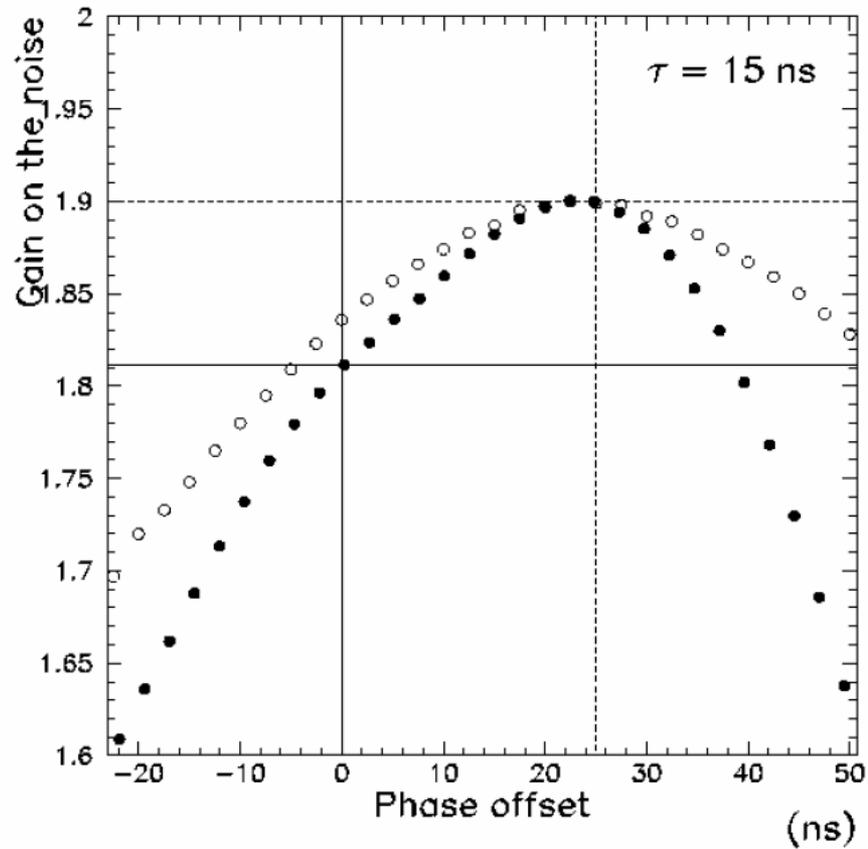


Densité spectrale de puissance

Densité spectrale de puissance

VARIATION AVEC LA PHASE

Optimum phase with one sample at signal peak



C. De La Taille, 2009

MESURE DE TEMPS (1)

- Signal becomes $S_i = Ag(t_i - T) + n_i$
Expand to $S_i = Ag(t_i) + ATg'(t_i) + n_i$

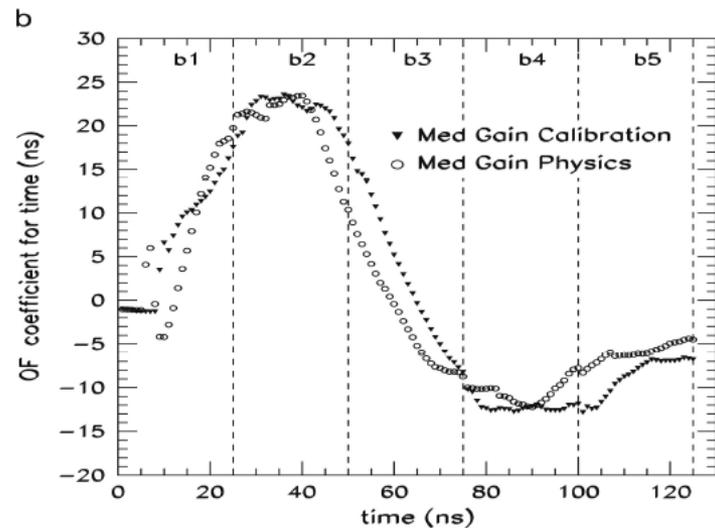
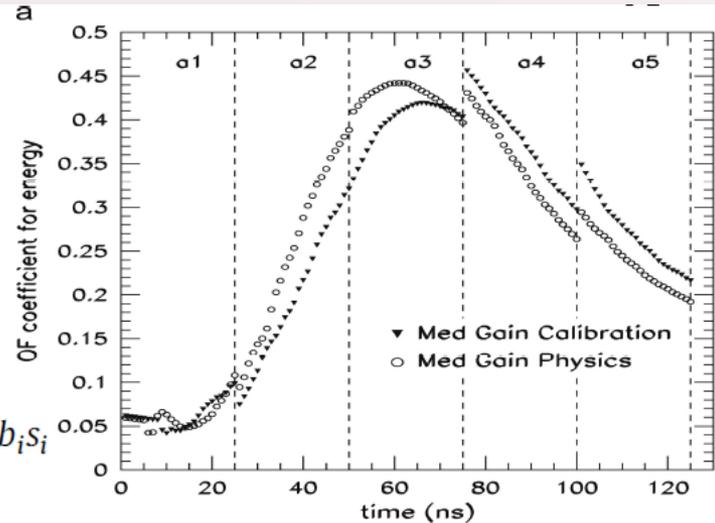
développement limité (Taylor expansion)

- Optimization of A and AT terms with 2 Lagrange multipliers

- New set of coefficients b_i : $\tau = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n b_i s_i$

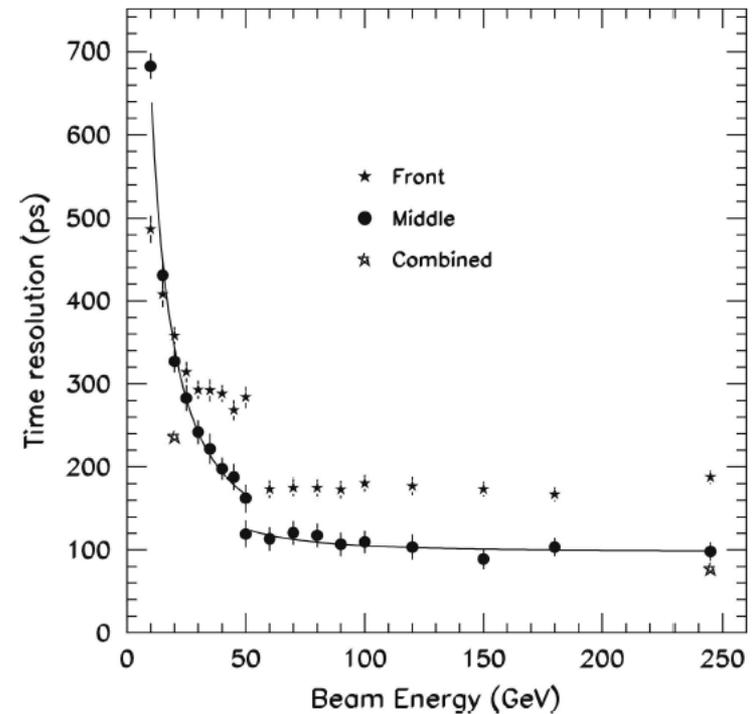
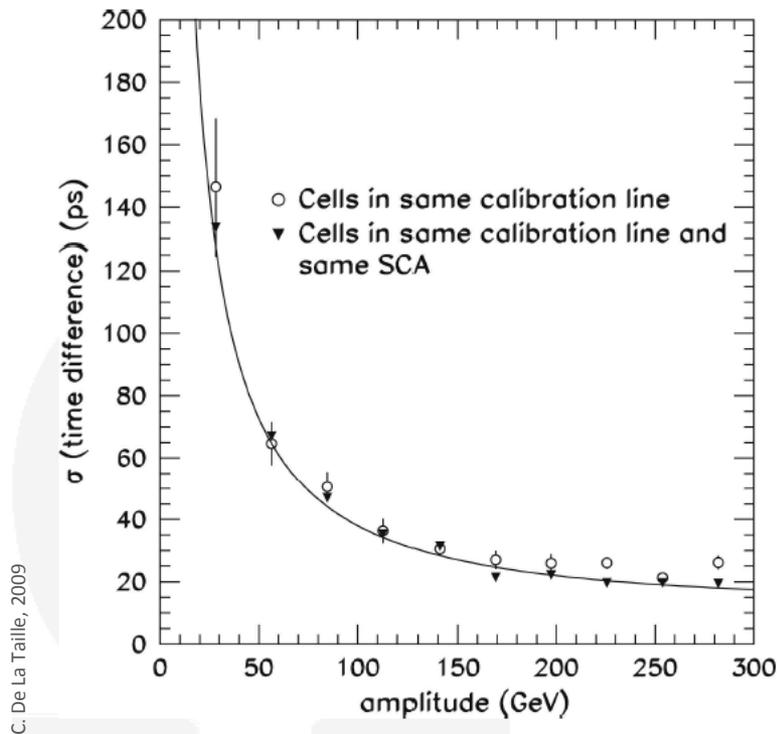
- b_i proportionnal to signal derivative $g'i$

C. De La Taille, 2009



MESURE DE TEMPS (2)

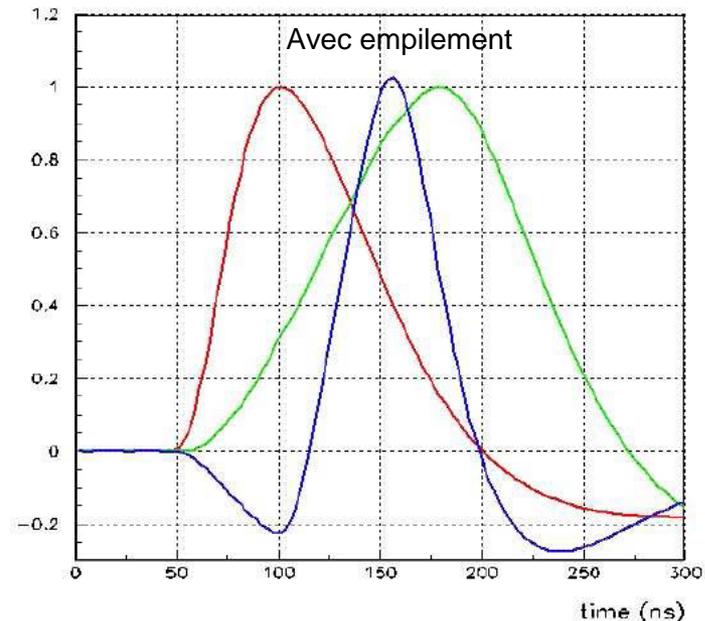
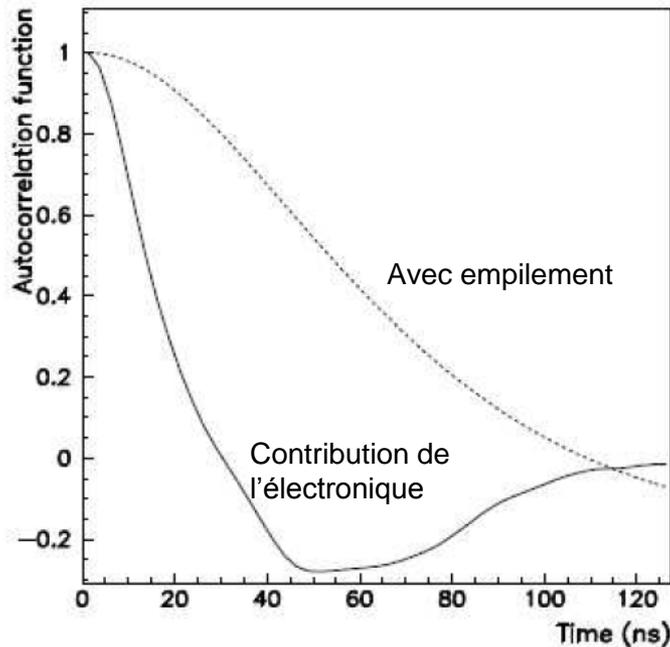
- Time resolution, measured on calibration and physics data



ADAPTATION À L'EMPILEMENT

- Change of autocorrelation function with pileup noise
- New coefficients : $A = (-0.75, 0.47, 0.75, 0.07, -0.19)$
- Accelerates (and symetrizes) the signal

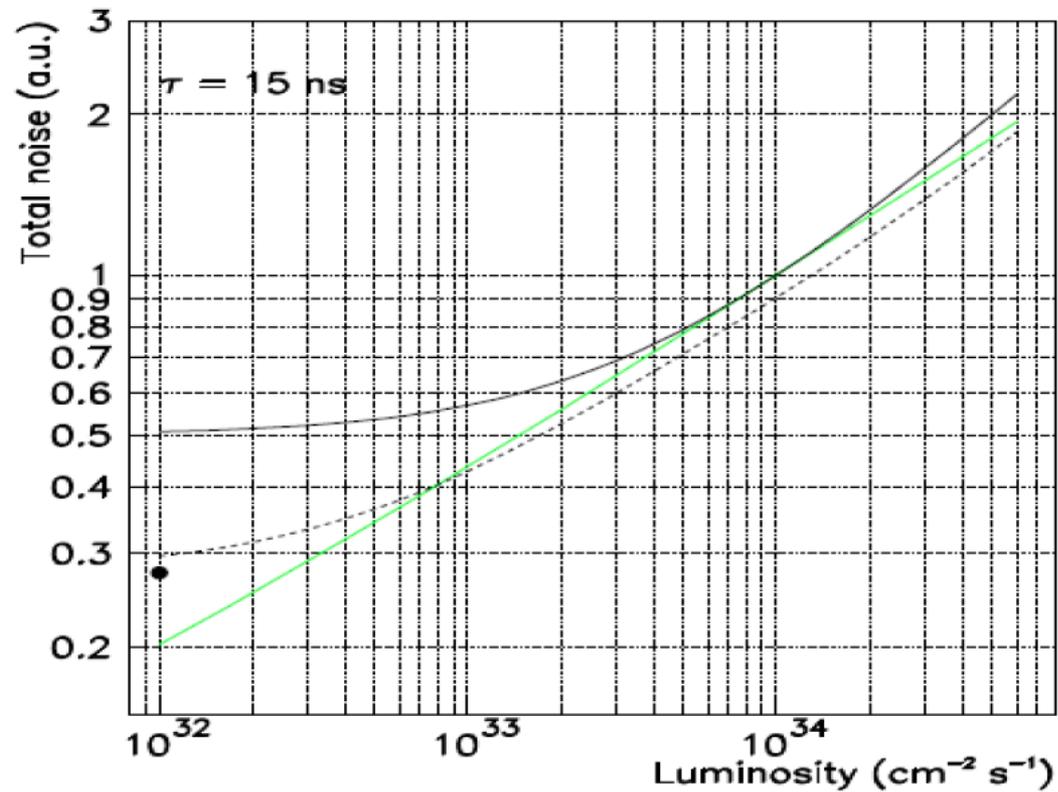
$$A = (-0.75, 0.47, 0.75, 0.07, -0.19)$$



C. De La Taille, 2009

EFFET DU FILTRAGE NUMÉRIQUE

- Black curve : constant analog filtering ($t_p = 50$ ns)
- Green curve : digital filtering
- Dotted curve : optimum analog filter



C. De La Taille, 2009

À RETENIR

29 nov. 2012

Utiliser plusieurs gains d'électronique analogique quand il n'y a pas assez de bits d'ADC

Il faut une sérieuse étude des performances analogique pour avoir de bonnes performances numériques

Le filtrage numérique permet d'avoir dans certains cas des performances que l'analogique ne permet pas d'atteindre

Plus grande souplesse d'utilisation que les circuits analogiques

Pour en savoir plus

B. Cleland, W. Stern NIMA 338 (1996) (opt. filter)

C. De La Taille, L. Serin, ATLAS Internal note LArG 80 (1998) (analog vs digital)

M. Aharrouche et al., NIMA 597 (2008) (timing)

Identification de particules par discrimination de forme

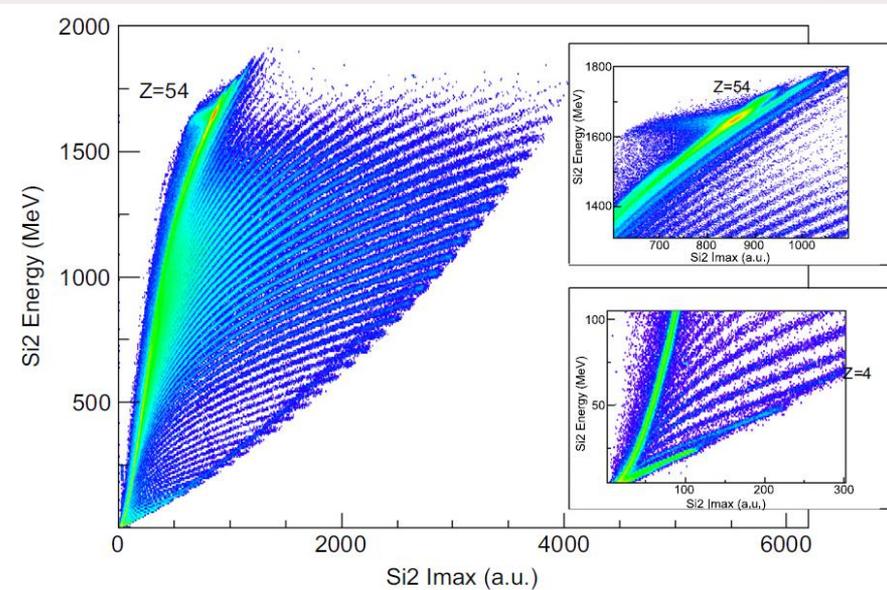
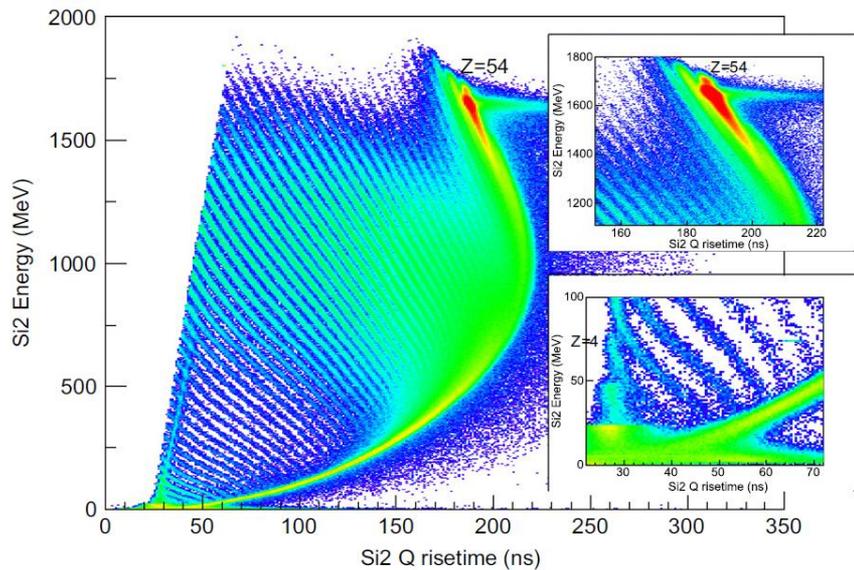
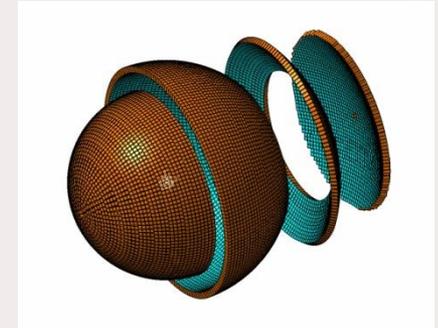
Présentation schématique

L'acquisition des données

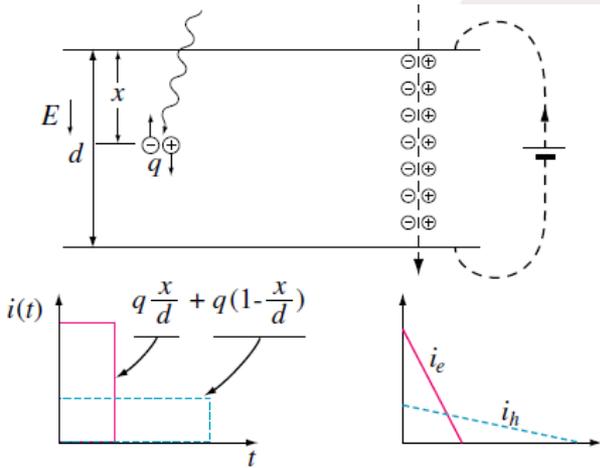
Un trigger utilisant un traitement simplifié du signal

Reconstruction d'événements près de Nyquist

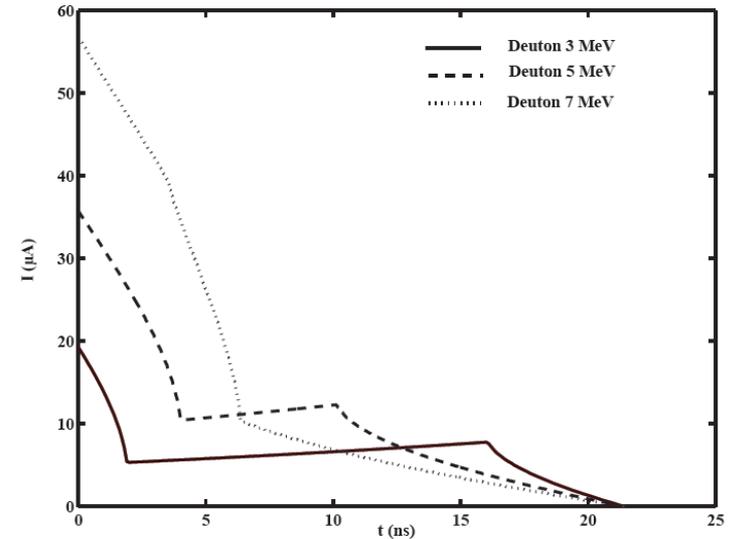
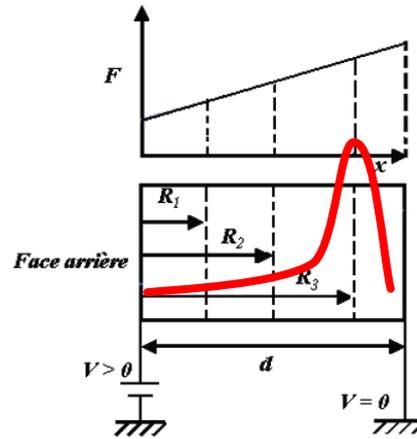
Combinaison d'événements



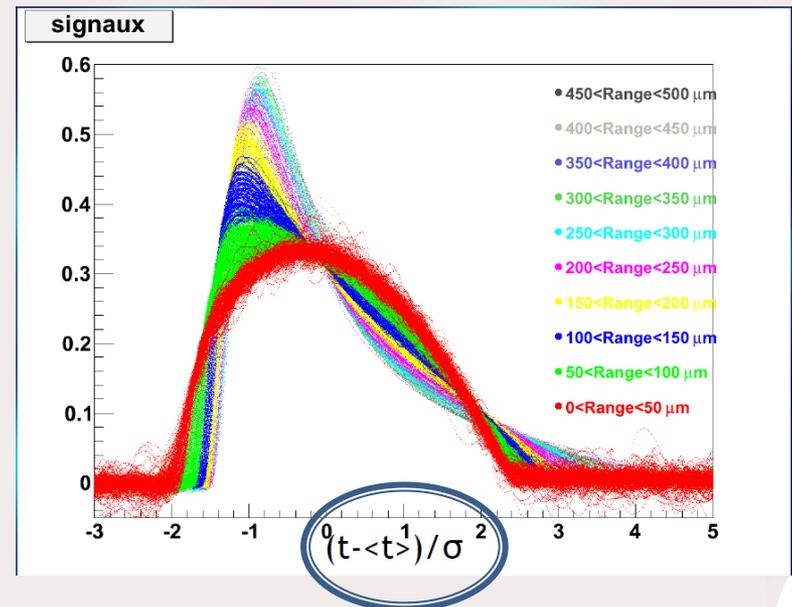
INTERACTION DES IONS LOURDS DANS LE SILICIUM



H. Haritaa, PHD 2005

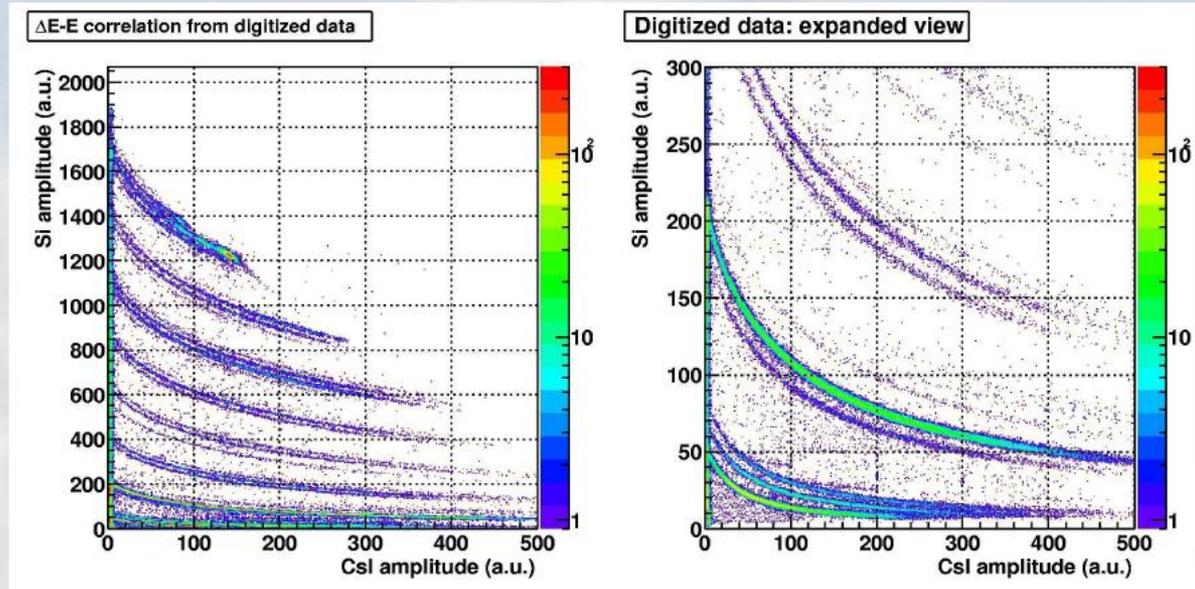
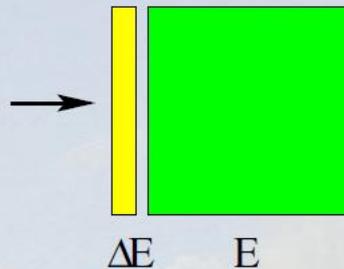


Facteurs jouant sur la forme :
 Position du pic
 Effet de charges d'espace (dit « plasma »)
 Sortie du pic (punch-through)



LA MÉTHODE ΔE -E

The ΔE -E method is a very common particle identification solution:



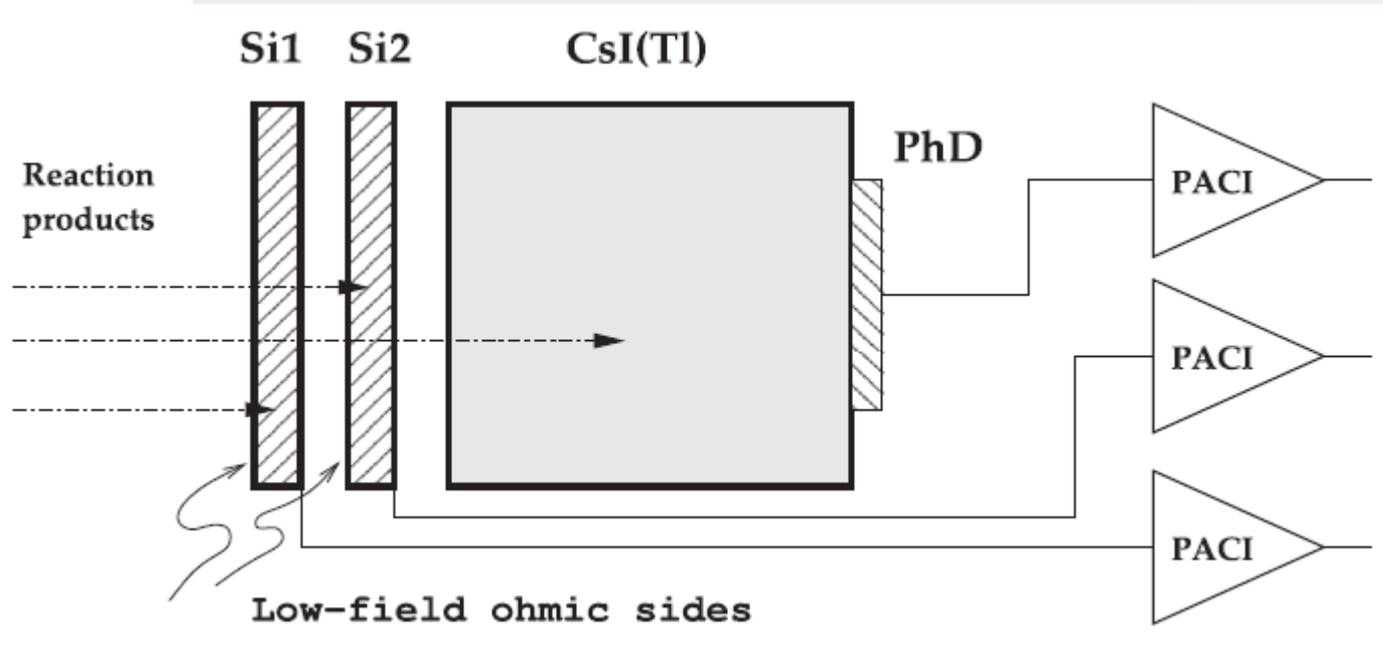
L. Bardelli *et al.*, Nucl. Phys. **A746** (2004) 272.

Problem: high thresholds \leftrightarrow punch through ΔE

Limitation : épaisseur du silicium ΔE

+ utilisation du temps de vol entre les deux (à cause des masses importantes des ions)

PRINCIPE DE FAZIA

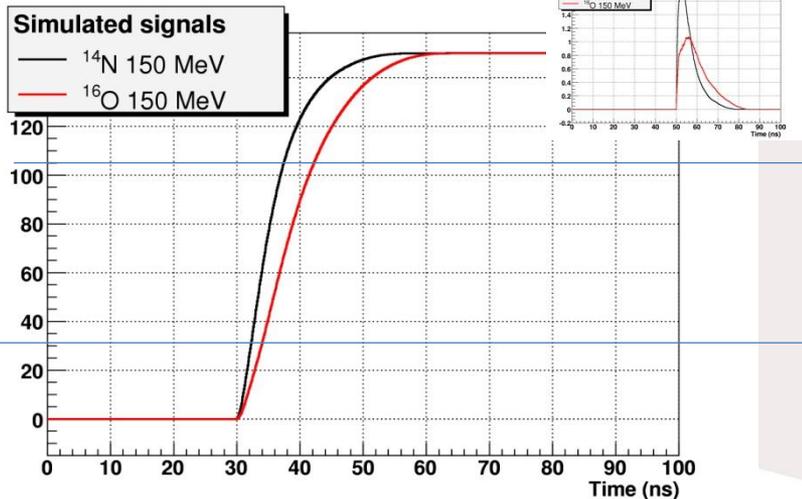
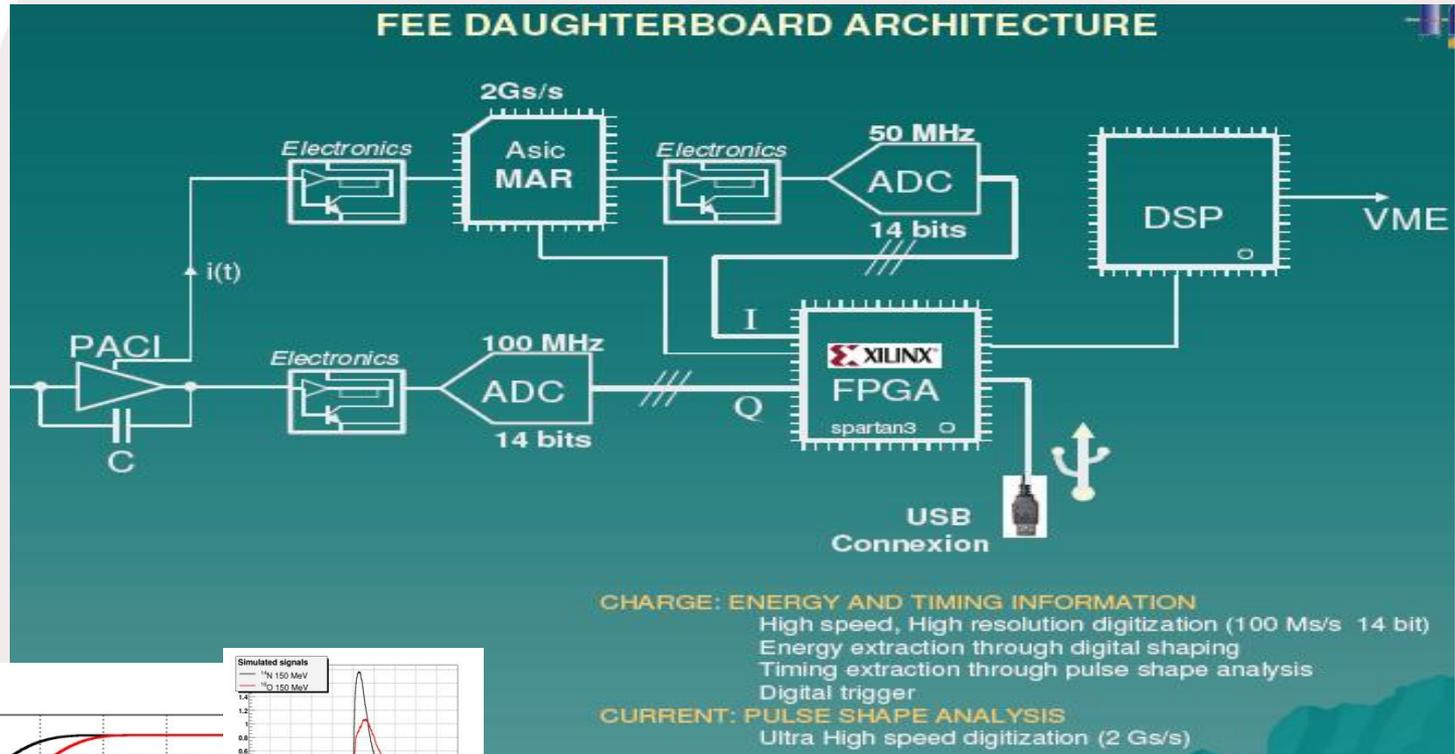


S. Carboni et al., doi:10.1016/j.nima.2011.10.061

$$Si1 = \Delta E$$

Mesures maximum du courant, charge par traitement numérique

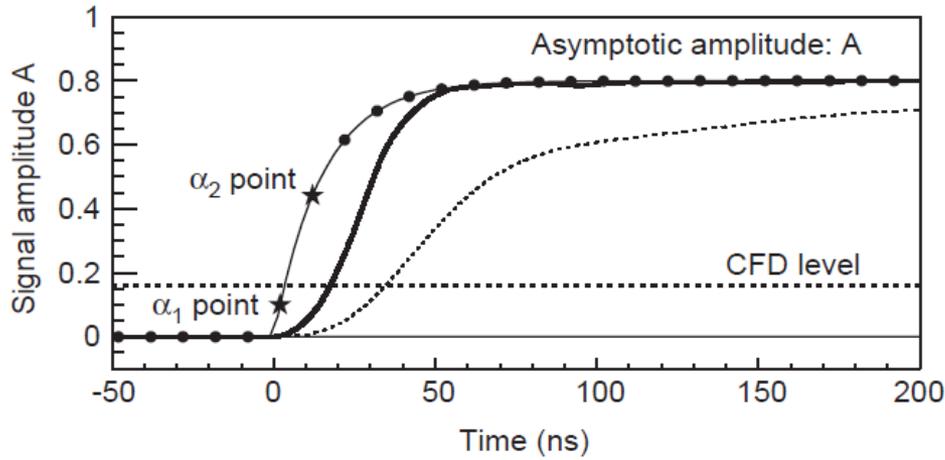
ARCHITECTURE DU TRAITEMENT DES DONNÉES DU SILICIUM



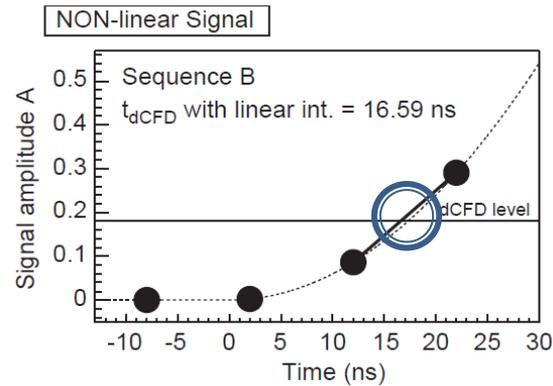
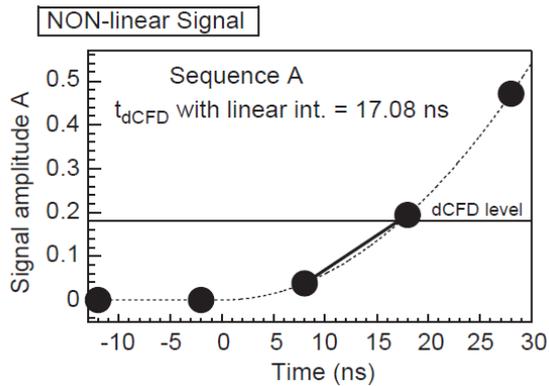
70 %

20 %

D-CFD

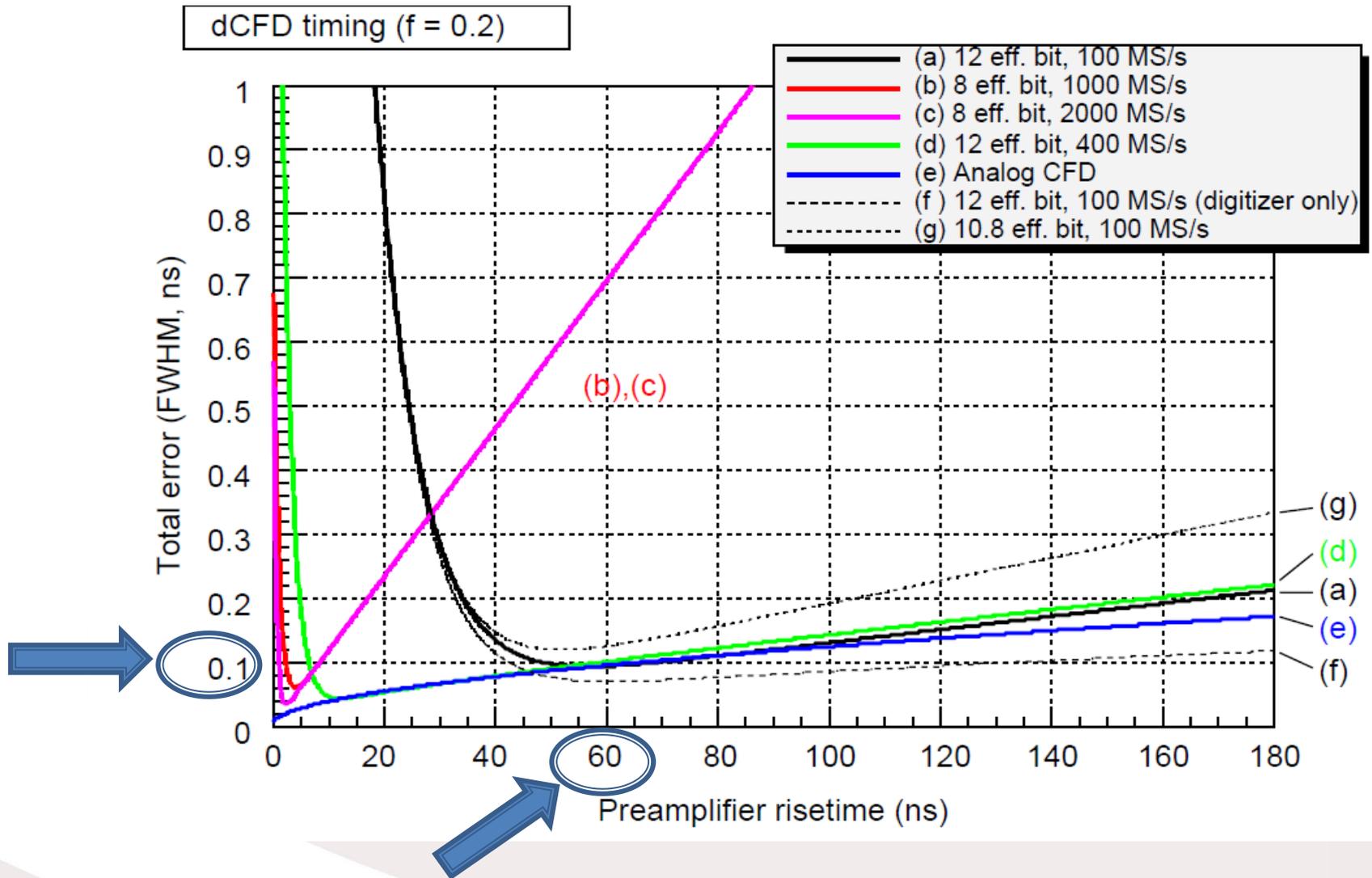


Interpolation linéaire

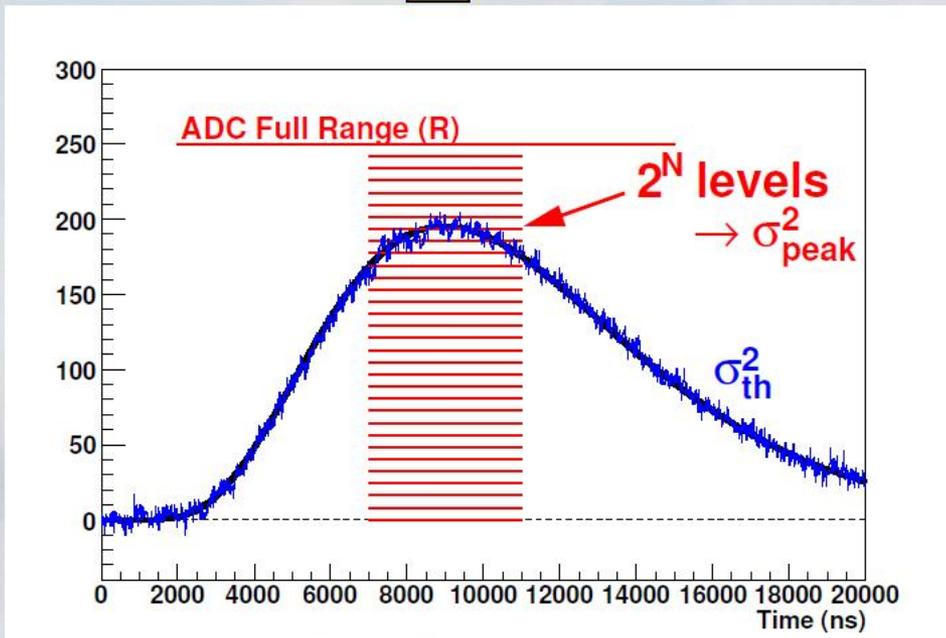
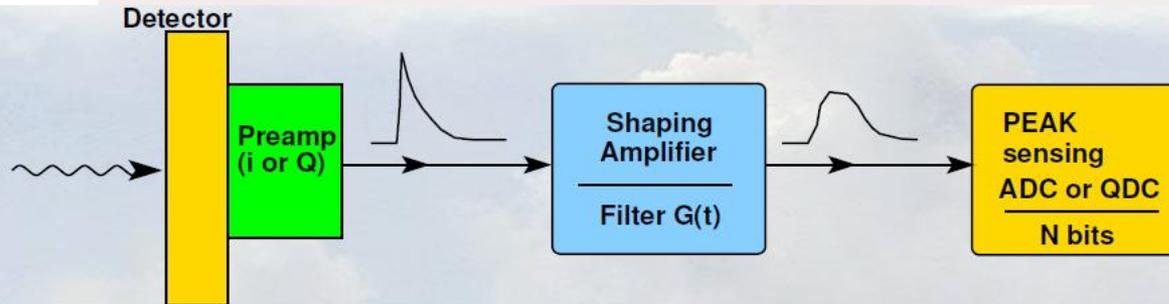


Interpolation cubique
(polynômes de Lagrange)

PERFORMANCES EN TEMPS



RÉSOLUTION DE LA MESURE DU MAXIMUM



$$\sigma_{exp}^2 = \sigma_{th}^2 + \sigma_{peak}^2$$

PEAK-sensing contribution to the resolution:

$$\frac{\sigma_{exp}^2}{\sigma_{th}^2} = 1 + \frac{9}{12} \cdot \left(\frac{R}{3\sigma_{th}} \right)^2 \frac{1}{4^N}$$

AMÉLIORATION DE LA RÉOLUTION

Peak-Sensing-Equivalent Number of Bits

- depends on the ADC ENOB value
- depends logarithmically on $f_S \cdot \tau_C$ (detector corner time)
- depends on the used filter G with k_G ($\simeq 1$ for common filters)

$$\text{PSENOB} = \text{ENOB} + \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{f_S \tau_C}{k_G^2} \right) - \frac{1}{2}$$

Some numerical examples (using $\tau_C = 5\mu s$):

ENOB	Bits	f_S (MS/s)	PSENOB
12.0	14	100	16.2
10.0	12	400	15.3
10.8	12	100	15.0
10.0	12	200	14.7
7.0	8	2000	13.4

Le filtre numérique permet de réaliser du dithering. L'augmentation de la fréquence (oversampling) permet d'augmenter la statistique.

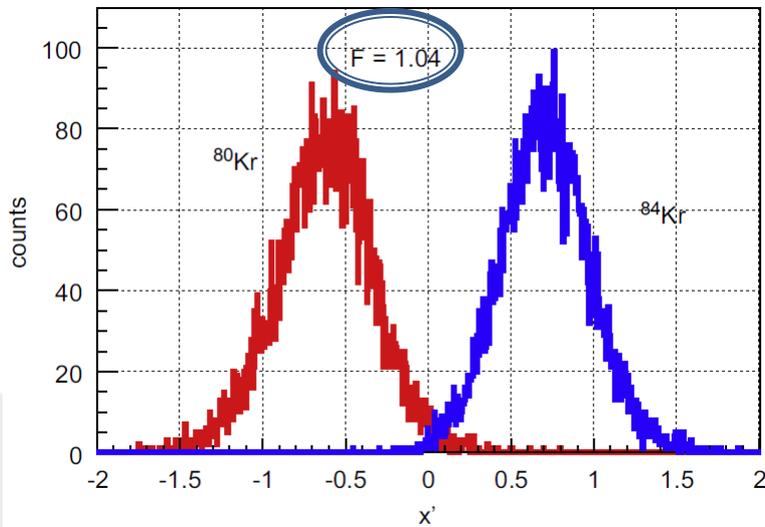
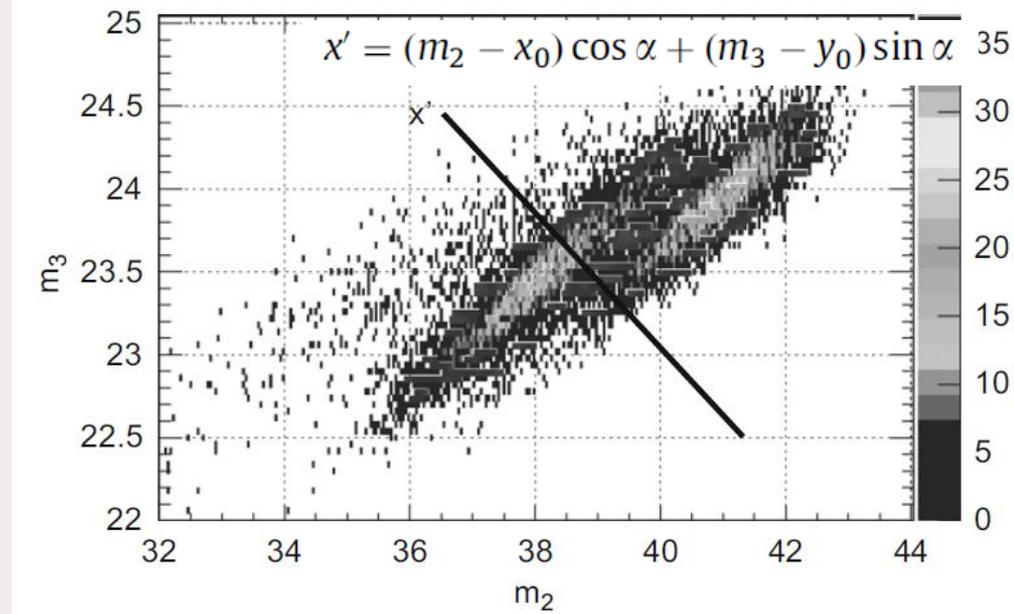
Modern fast sampling ADCs → **wide dynamic ranges!**
details in: L.Bardelli and G.Poggi, NIM A560 (2006) 517 and 524

UTILISATION DE LA STATISTIQUE

$$m_0(i) = \int i(t) dt$$

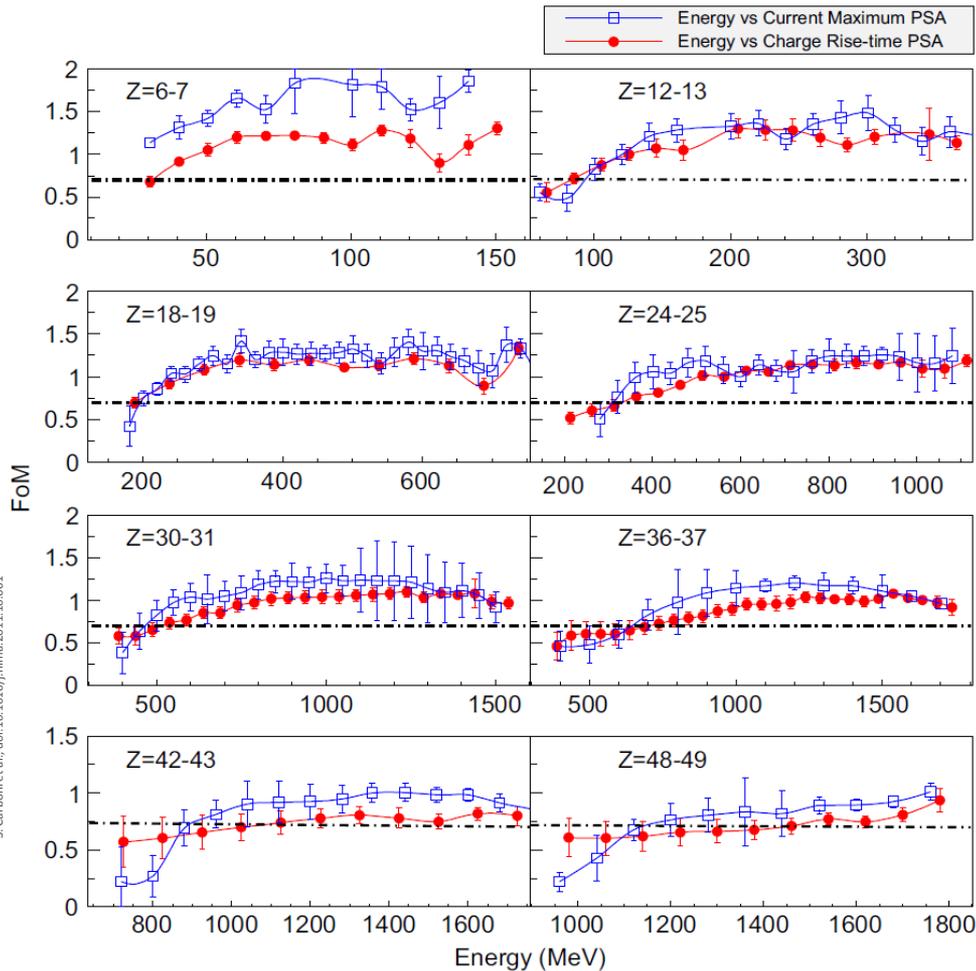
$$m_1(i) = \frac{1}{m_0} \int ti(t) dt$$

$$m_n(i) = \left| \frac{1}{m_0} \int (t - m_1)^n i(t) dt \right|^{\frac{1}{n}} \quad n \geq 2$$

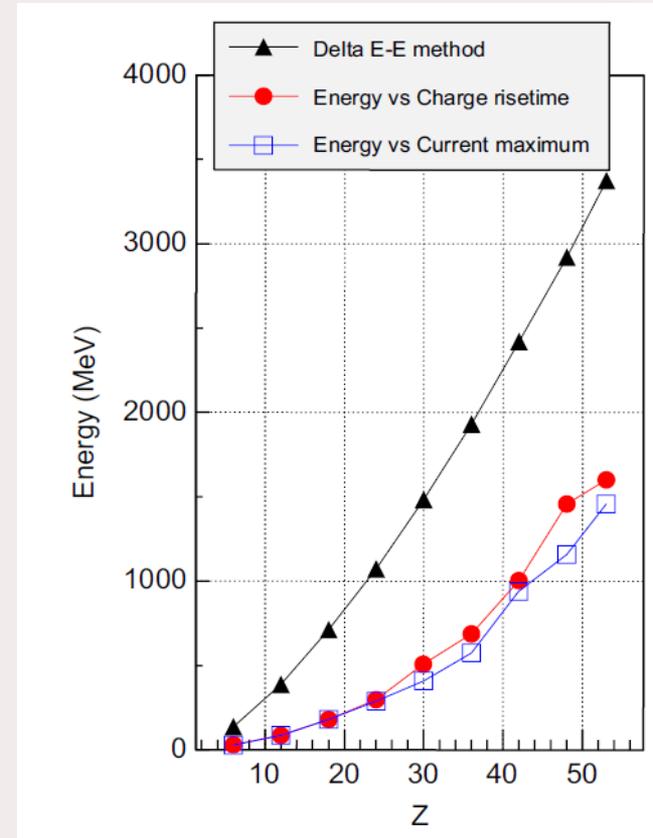


COMPARAISON DES MÉTHODES

$$FoM = \frac{|PID_2 - PID_1|}{FWHM_1 + FWHM_2}$$



S. Carbonnetal., doi:10.1016/j.nima.2011.10.061



À RETENIR

29 nov. 2012

La bonne vieille méthode « current amplitude vs charge » donne les meilleurs résultats... parce qu'il y a un bon filtrage avant.

Ce projet a fait grandement progresser les méthodes d'analyse des formes, en particulier les mesures en temps

Les conclusions restent optimistes pour les basses énergies : on pourrait réduire le nombre de détecteurs – l'idéal étant d'identifier les particules avec un seul détecteur.

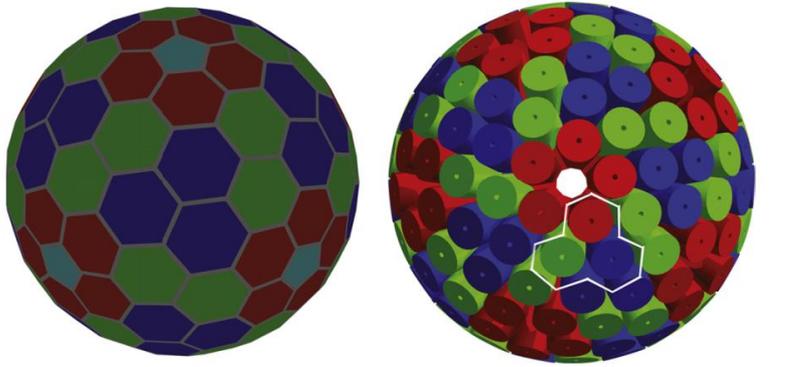
AGATA : TRAJECTOGRAPHIE HPGE

Identification complexe de la position d'interaction

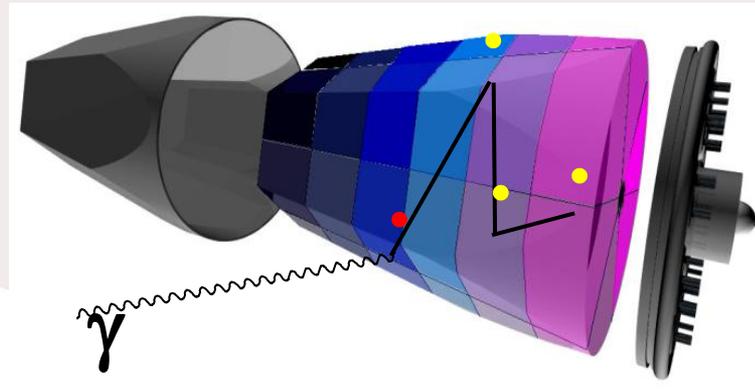
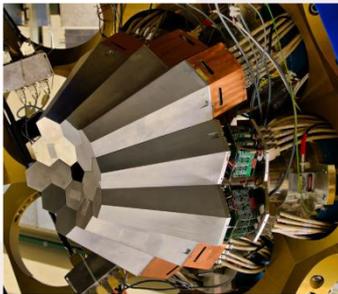
Présentation schématique

Détection de rayonnement gamma avec du Germanium

Le principe retenu



Gamma, 0.1 – 10 MeV



DES FORMES TRÈS VARIABLES SELON LA POSITION

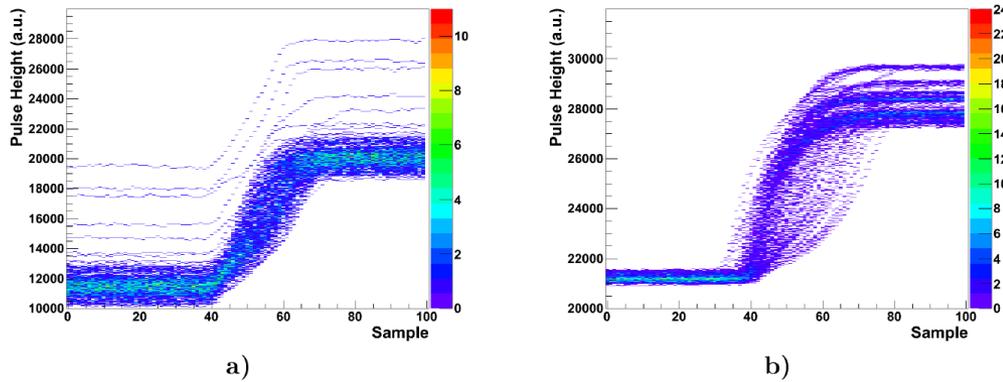
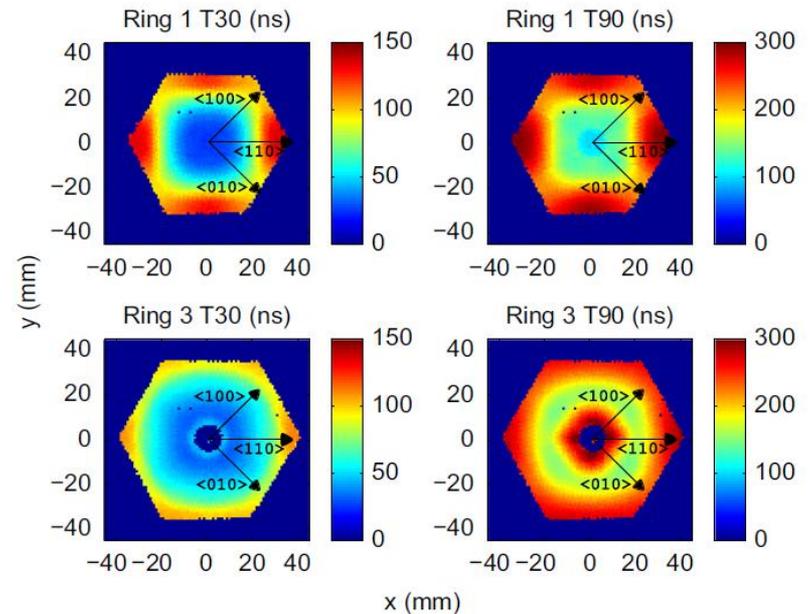


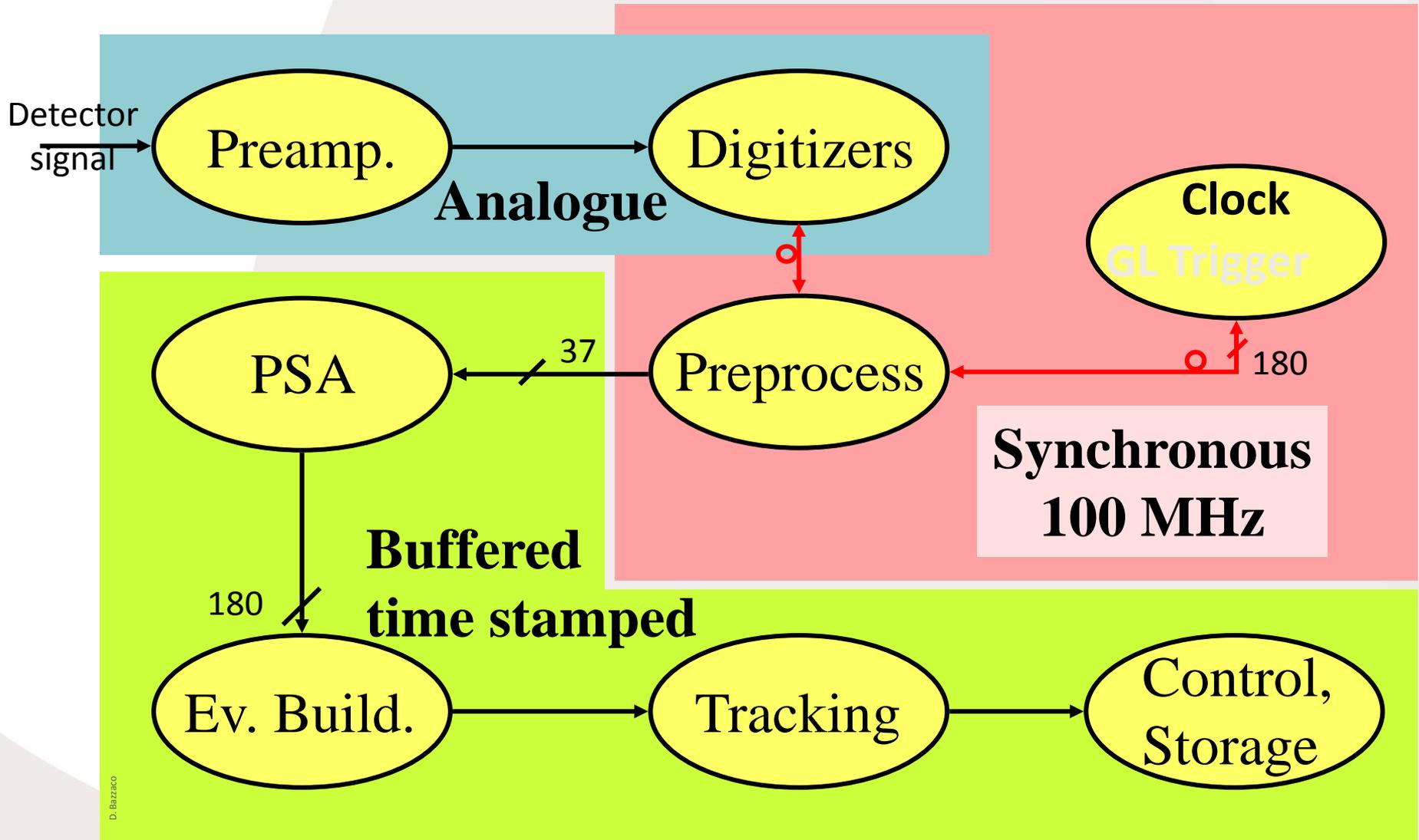
Fig. 3.1: 1000 raw pulse shapes of the A001 crystals as a function of ADC samples. **a)** The superposition of the core traces. **b)** The superposition of the hit segment traces. All included events feature a core energy E_{core} between $E_{core} = 500$ keV and $E_{core} = 520$ keV. The total energy is deposited in a single segment. One sample corresponds to 10 ns.

S. Klupp, Diplôme de Bachelier, 2011

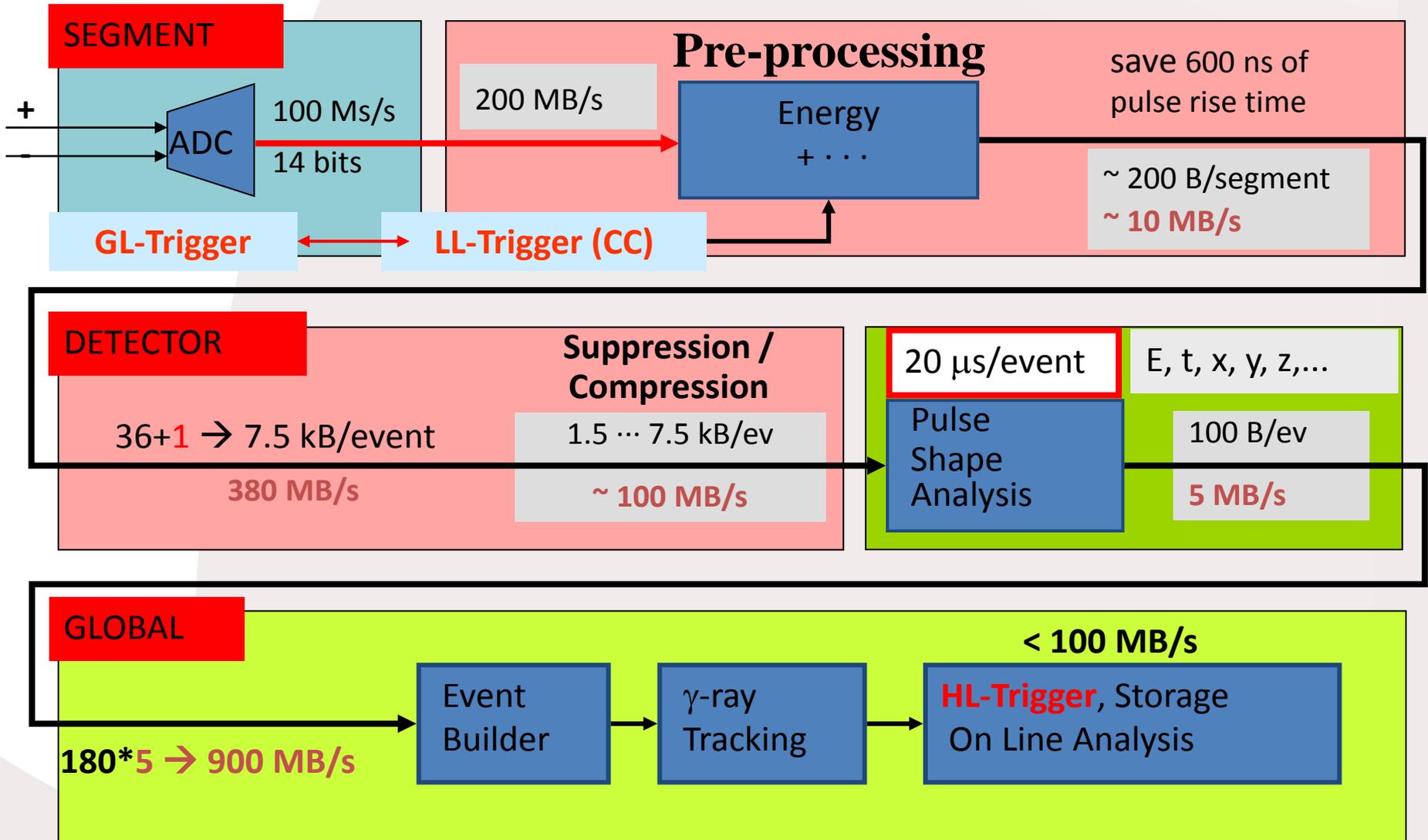


S. Akkoyun et al., doi:10.1016/j.nima.2011.11.081

PRINCIPE DE L'ÉLECTRONIQUE

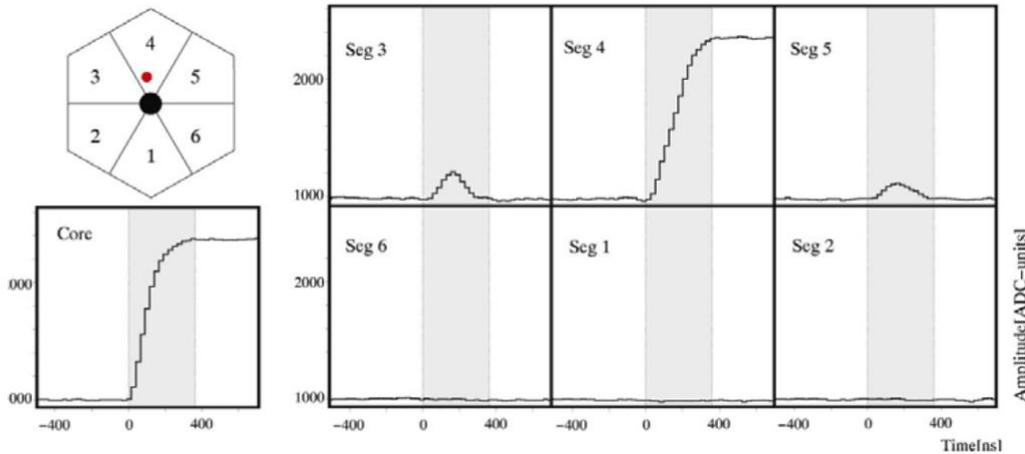
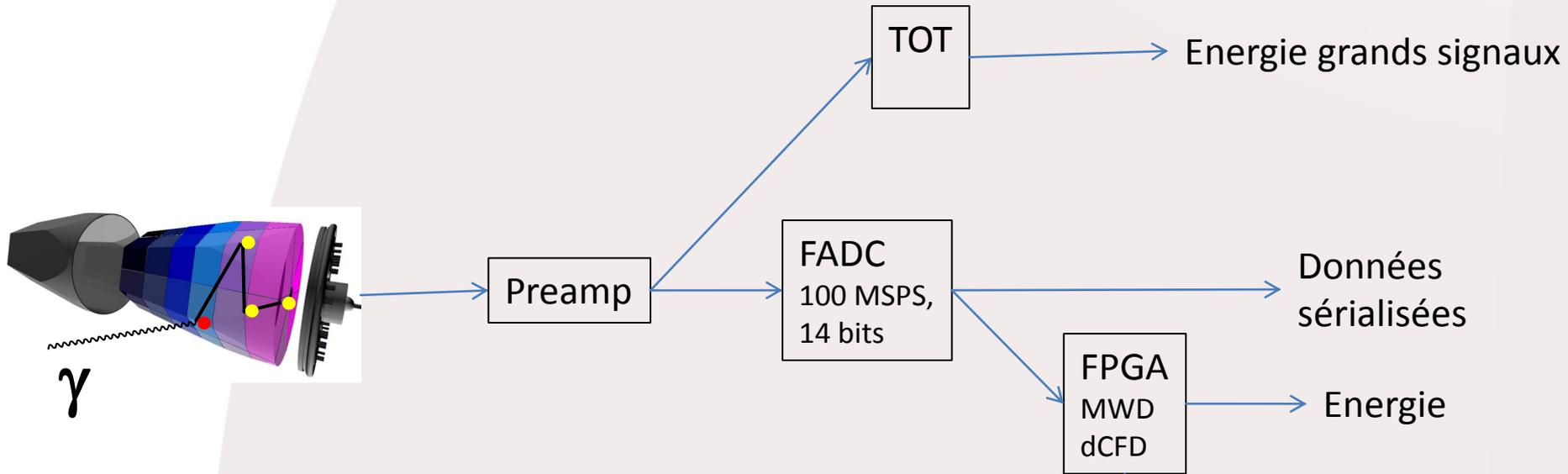


UN DES ENJEUX : LE FLOT DE DONNÉES

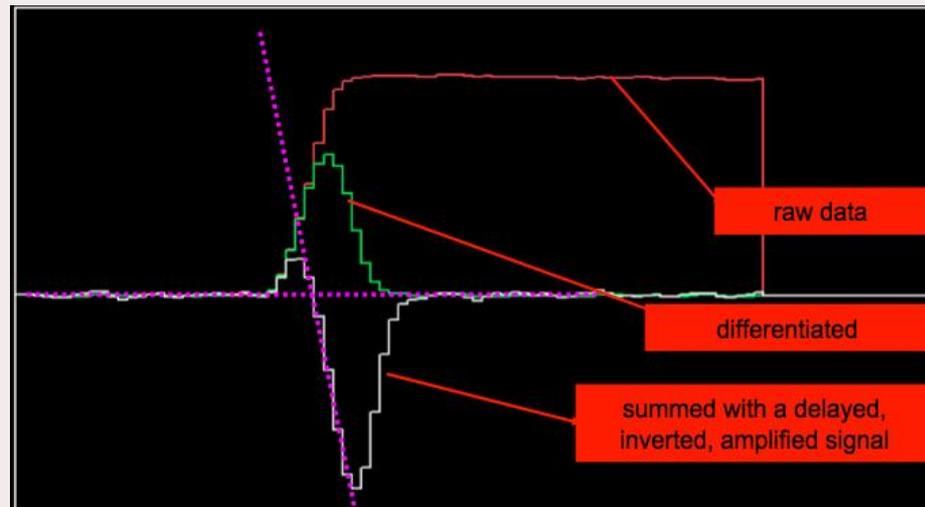
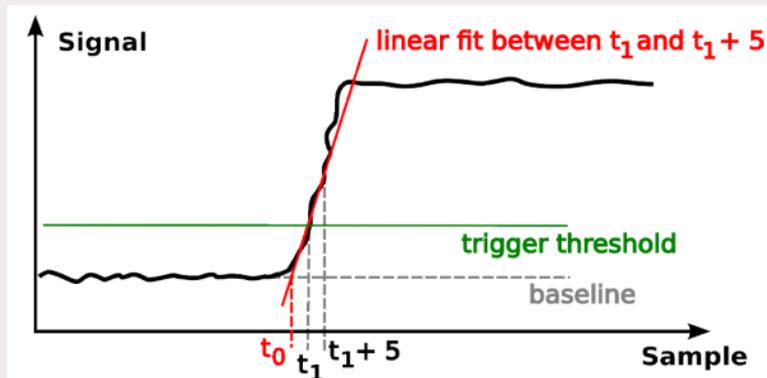


GL-Trigger to reduce event rate to whatever value PSA will be able to manage

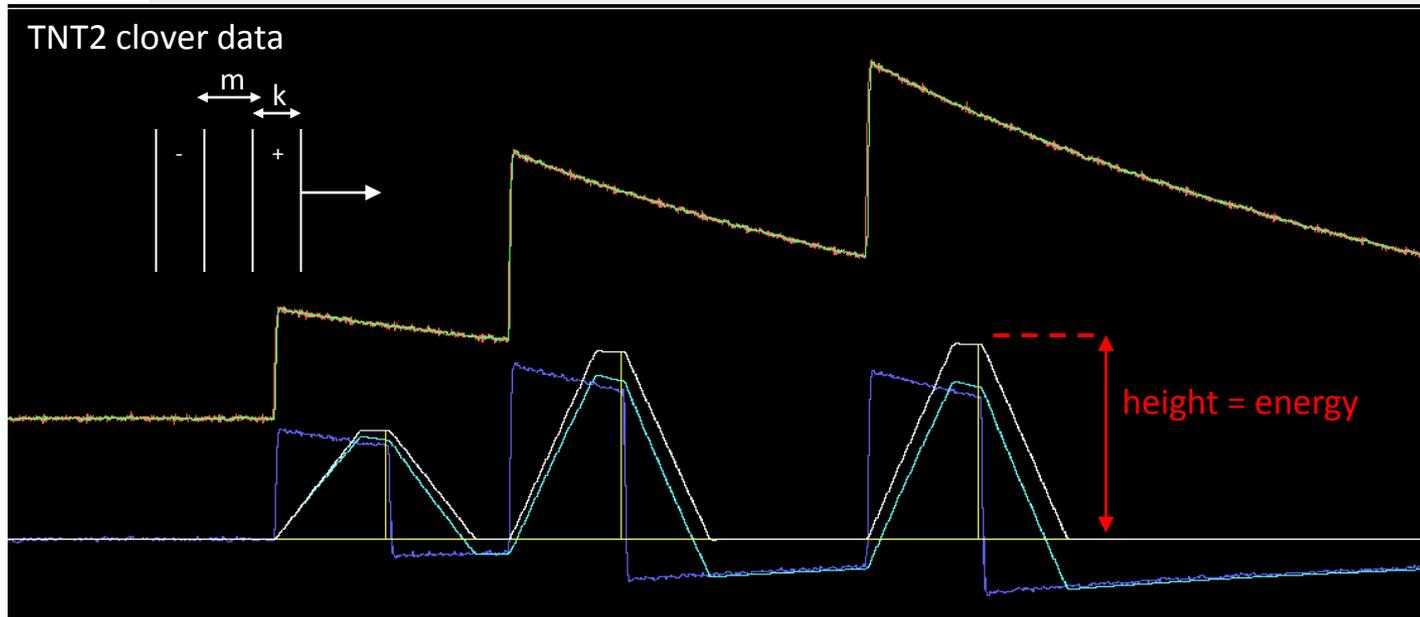
PRE-PROCESSING



MESURE DE TEMPS



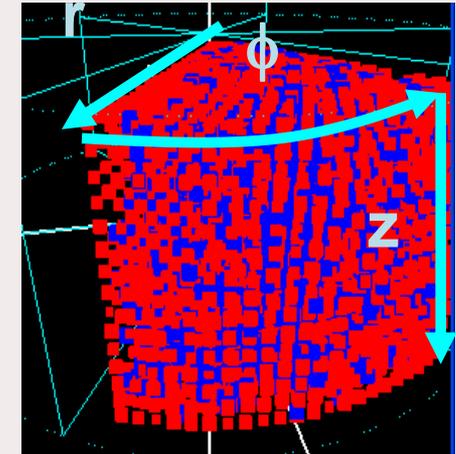
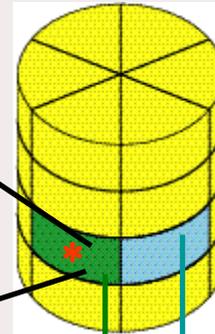
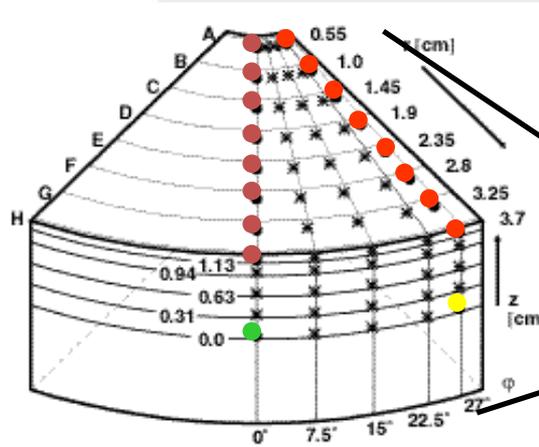
MOVING WINDOW DECONVOLUTION



A. Georgiev, W. Gast and R.M. Leider, IEEE Trans. Nucl. Sci. 41(1994) 1116
 V.T. Jordanov and G.F. Knoll, Nucl. Instr. Meth. A 345 (1994) 337

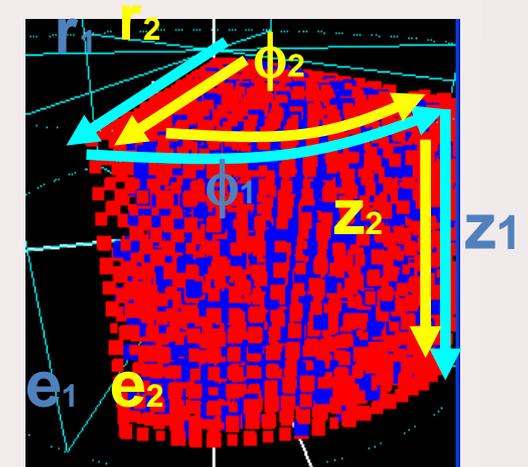
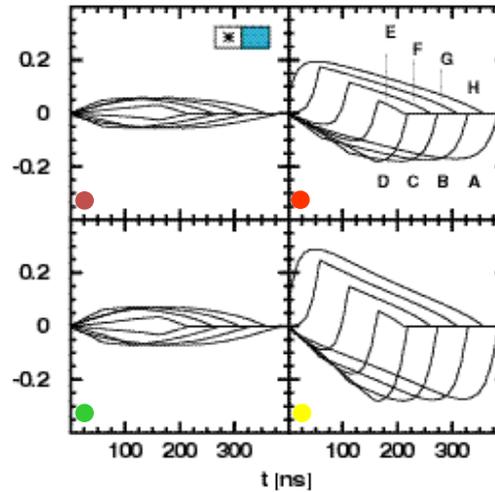
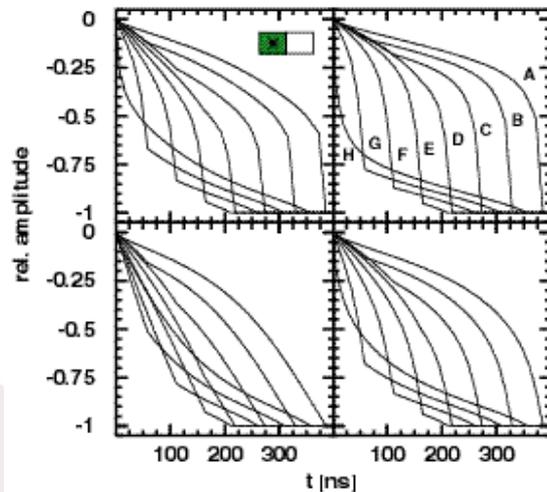
PRINCIPE DU « GRID SEARCH ALGORITHM »

Puisque la forme dépend de la position, on compare les formes obtenues avec les formes simulées



net charge signals

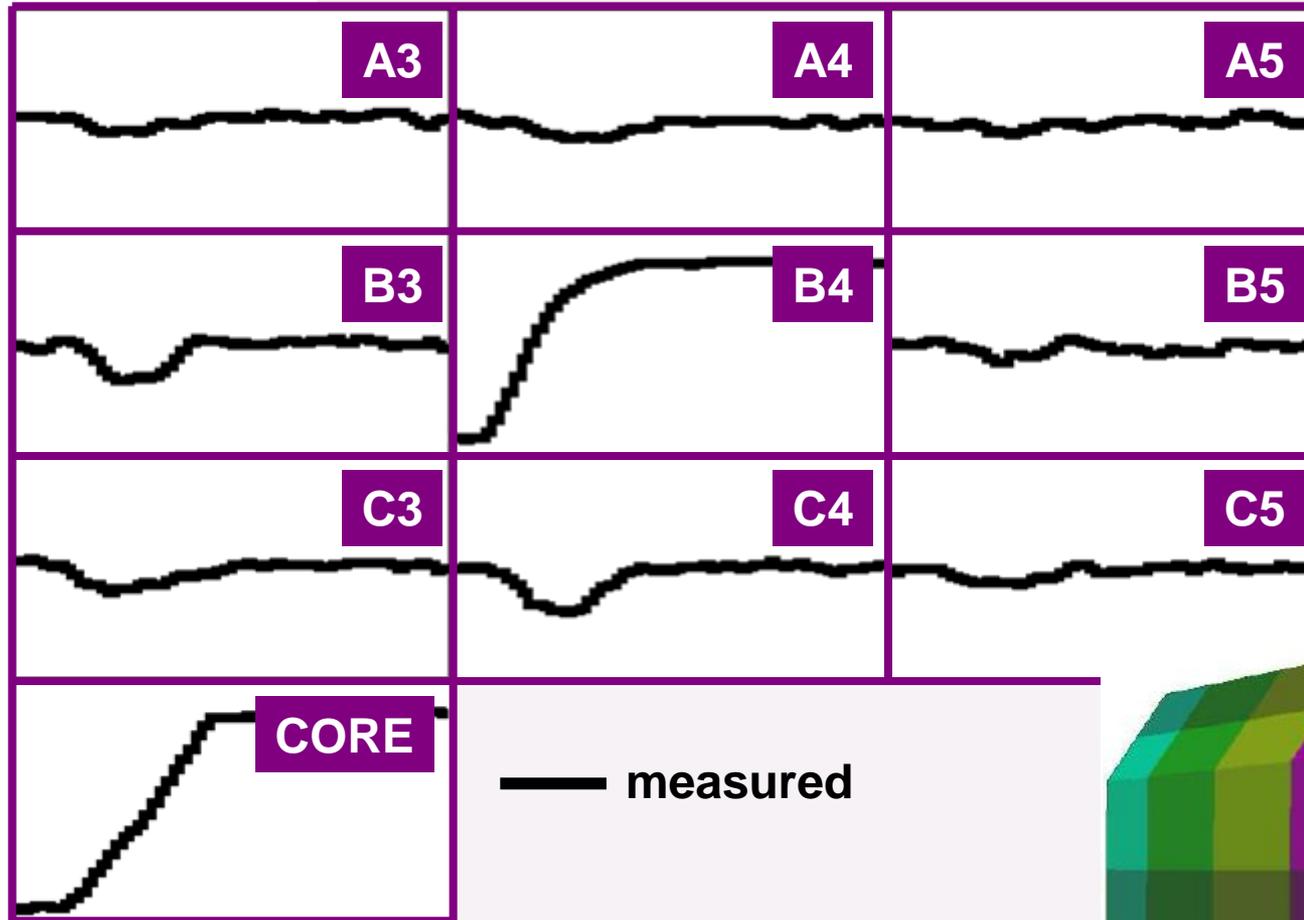
transient signals



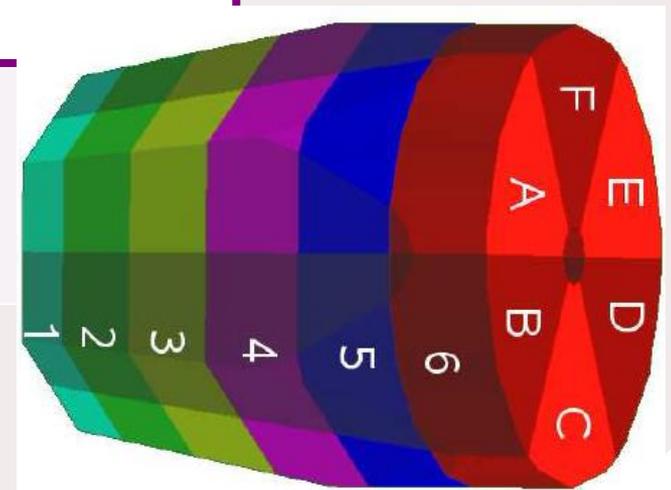
Th. Kröll, NIM A 463 (2001) 227

Ecole d'électronique numérique de l'IN2P3 (2012)

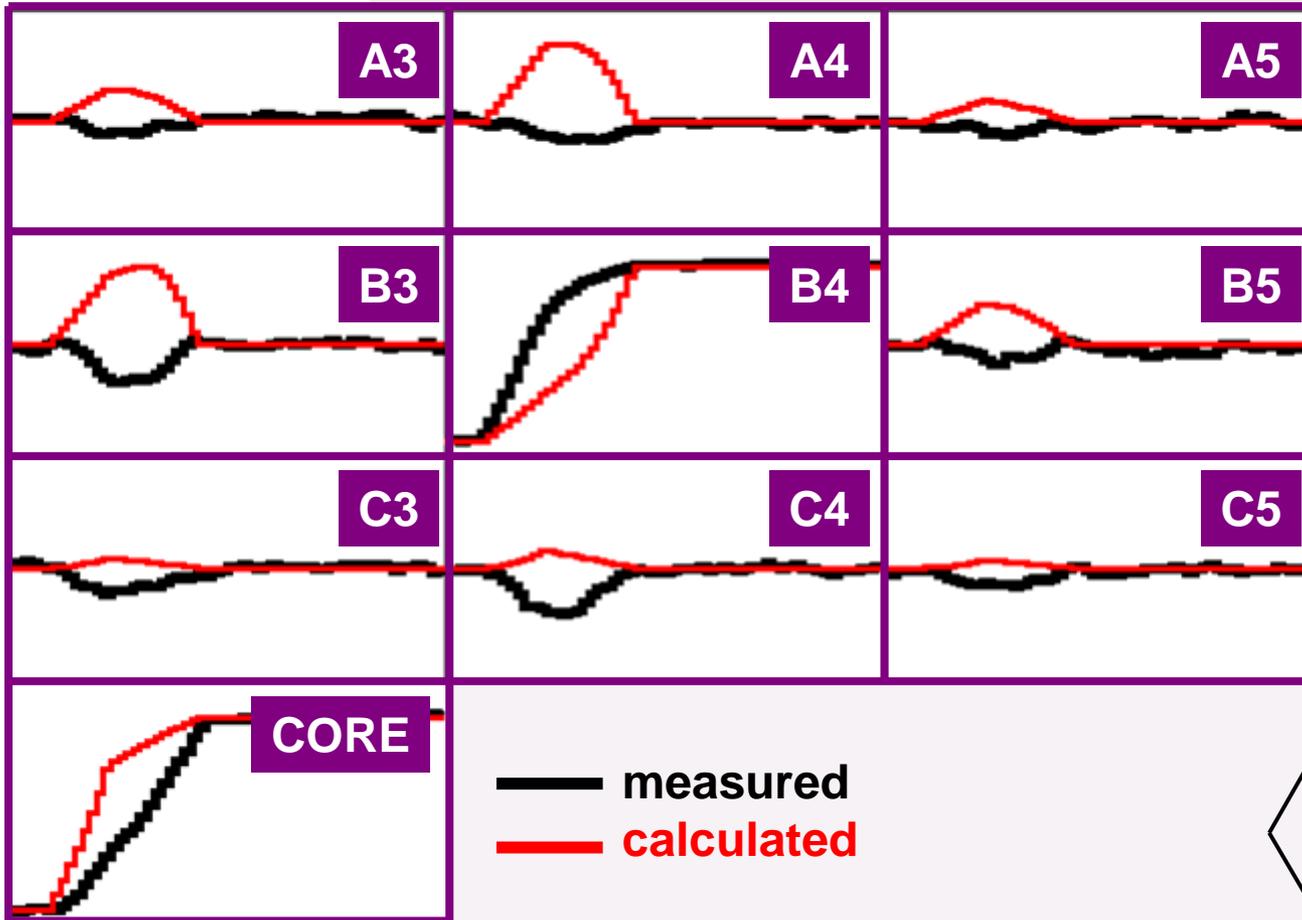
EXEMPLE D'ÉVÉNEMENT



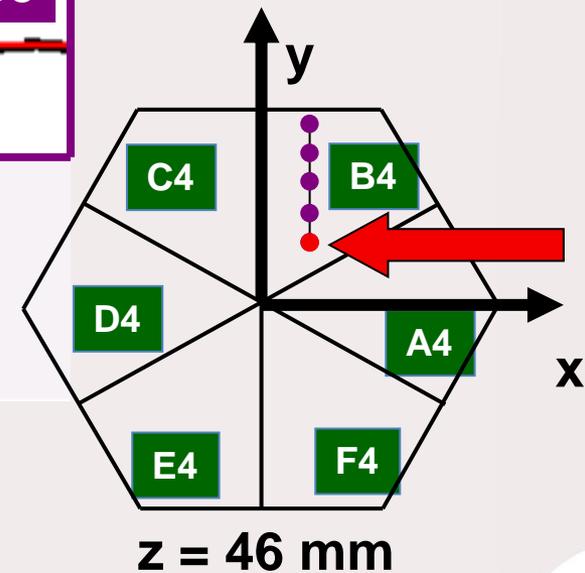
791 keV deposited in segment B4



GRID SEARCH ALGORITHM - 1

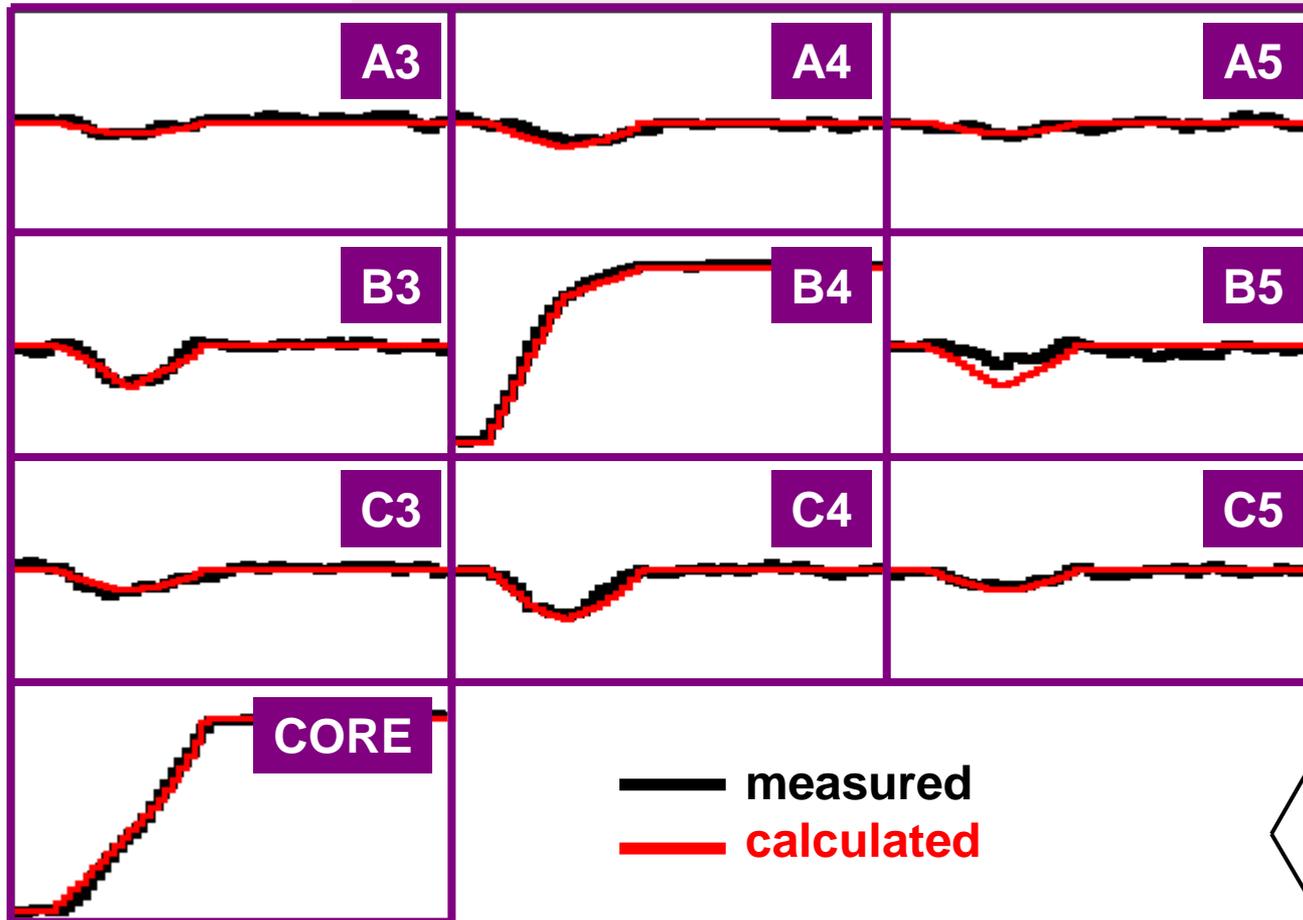


(10, 10, 46)

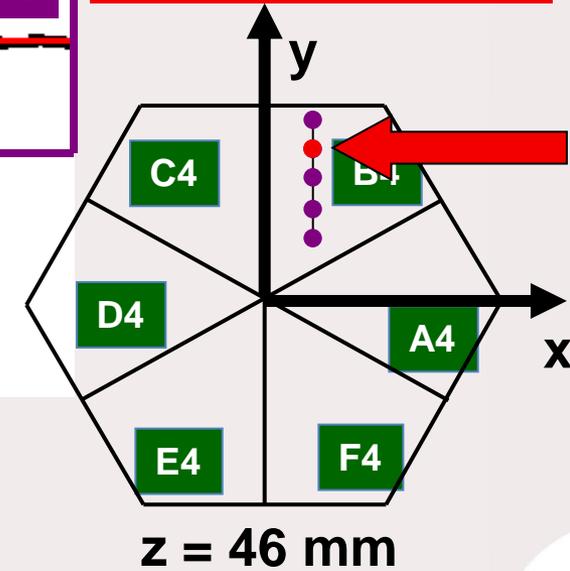


791 keV deposited in segment B4

GRID SEARCH ALGORITHM - 2



**Result of
Grid Search
Algorithm**
(10, 25, 46)



791 keV deposited in segment B4

LA DISTANCE ENTRE COURBES, EN PRATIQUE

F. Recchia, doi:10.1016/j.nima.2009.02.042

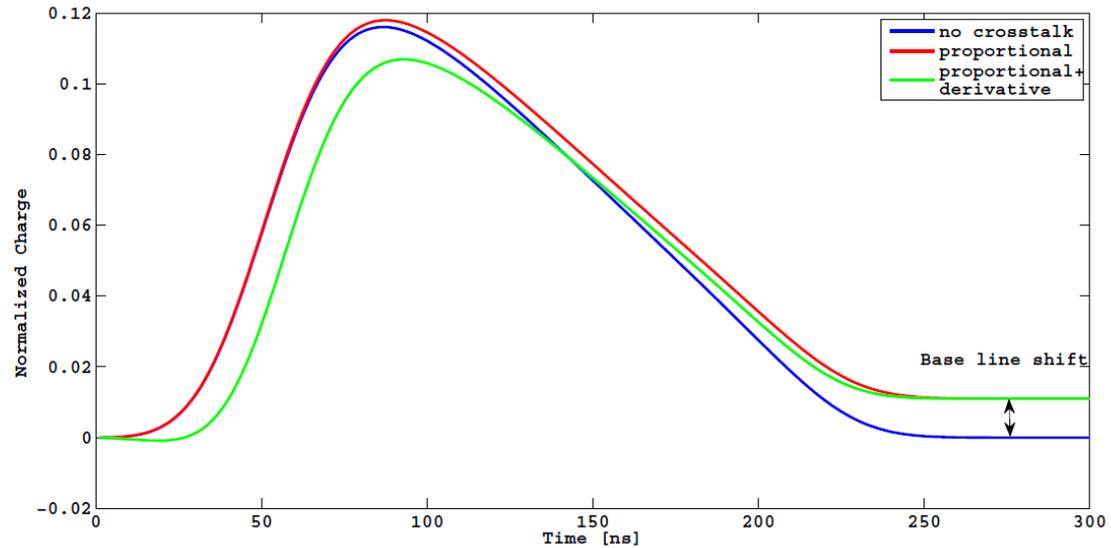
$$F.O.M. = \sum_{j \in NS} \sum_{i=T_0}^{T_{end}} |V_{ij}^m - V_{ij}^c|^p$$

Facteur de mérite : somme des différences sur un **segment**

$$F.O.M. = \sum_{j \in NS} \sum_{i=T_0}^{T_{end}} |V_{i,j}^m - V_{i+\Delta i,j}^c|^p$$

Il faut prévoir de compenser en temps...

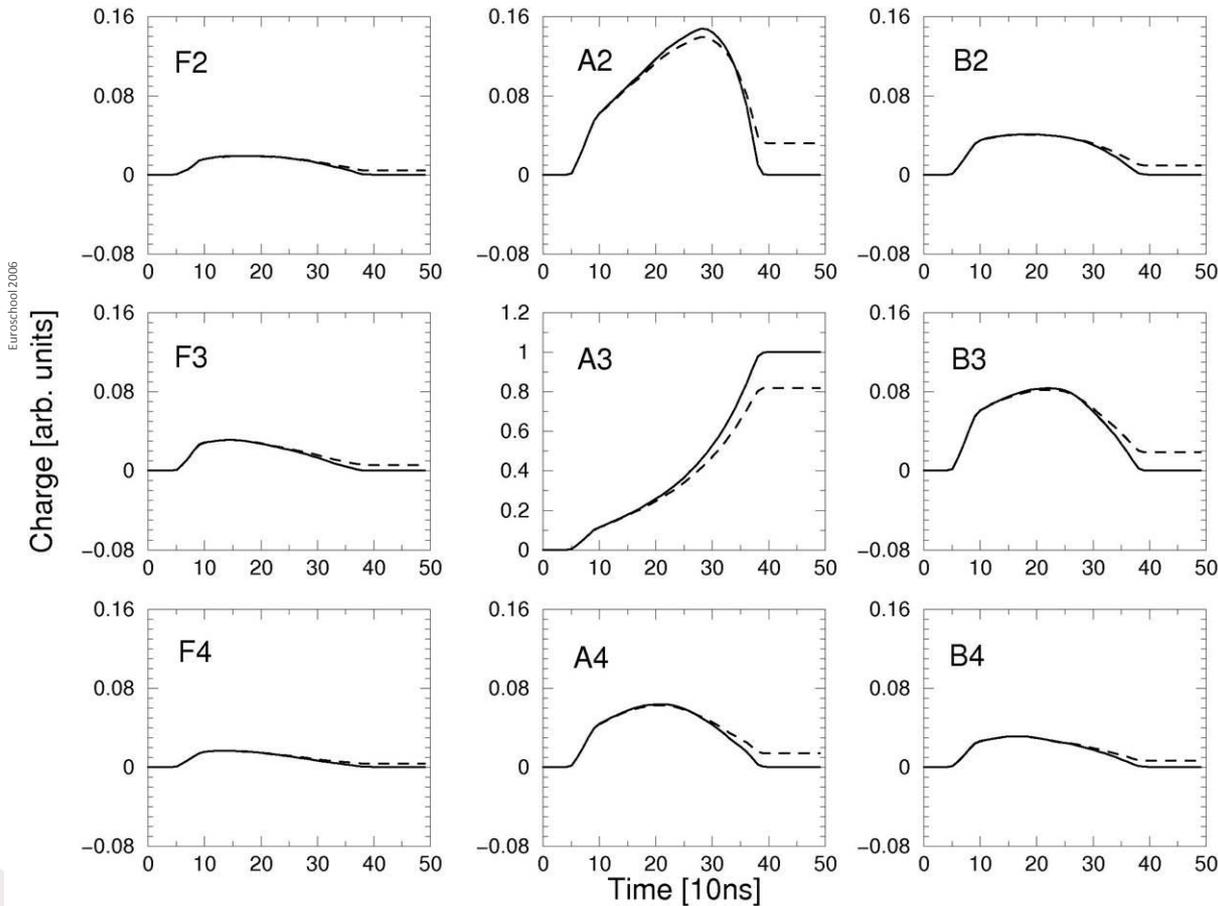
COUPLAGE



Effets exagérés sur les formes des signaux

Compensation numérique des différents effets

DÉTÉRIORATION PAR NEUTRONS



Pulse shapes from an undamaged detector (solid) and a neutron damaged detector after 10^{10} n/cm² (dashed)

Neutrons cause:

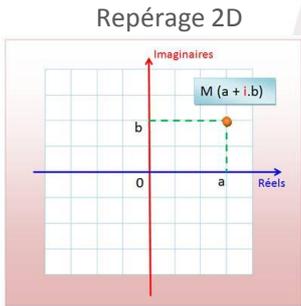
- 1) Reduction of charge collection efficiency
- 2) Residual charge in neighboring segments

ANNEXE / AUTRES MÉTHODES : ONDELETTES

Principe : utilisation d'une base de fonction pour décomposer une fonction (comme les signaux périodiques décomposent une fonction dans la transformée de Fourier)

Décomposition selon une forme de base localisée en temps et en largeur d'impulsion.

Adapté aux phénomènes non stationnaires



Transformée de Fourier

$$i(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{i}(\nu) \exp(2\pi j \nu t) dt$$

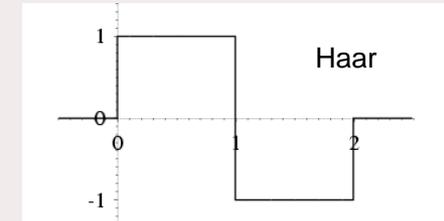
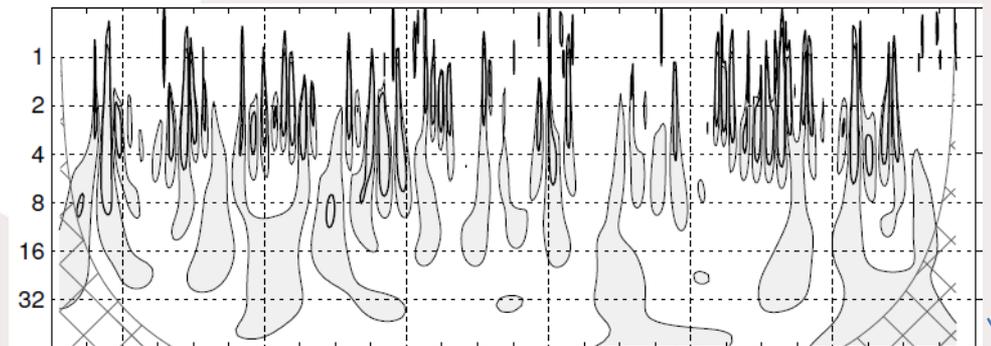
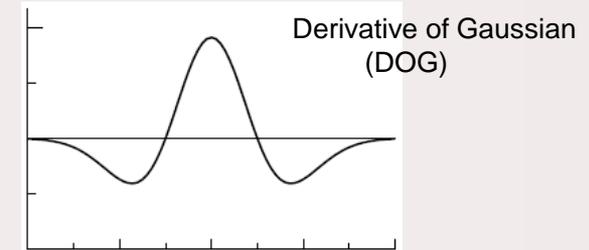
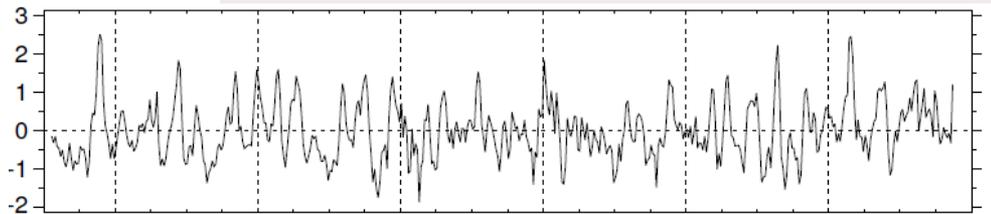
$$\hat{i}(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} i(t) \exp(-2\pi j \nu t) dt$$

Transformée en ondelettes

$$f(t) = \iint \gamma(s, \tau) \psi_{s, \tau}(t) d\tau ds$$

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s, \tau}^*(t) dt$$

$$\psi_{s, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right)$$



Dilatation

CHIFFRER LES PERFORMANCES

Table 4

Overview of the performance of different PSA algorithms derived from tests using simulated data. The performance is quoted relative to the grid-search algorithm for single interactions and relative to the particle swarm algorithm for multiple interactions. The position resolution is quoted in as FWHM values.

Algorithm	Single interaction		Multiple interactions	
	CPU time (norm/GS)	Resolution (mm)	CPU time (norm/PS)	Resolution (mm)
Grid search (GS) [57]	1	2	–	4 ^a
Extensive GS [75]	2.7	1	6×10^4	4
Particle swarm (PS) [75]	0.1	2	1	4
Matrix method [77,78]	6.7	2.4	10	10
Genetic algorithm [76]	330	1.9	2×10^2	8.1
Binary search	0.06	1	Not adapted	Not adapted
Recursive subtraction [84,85]	Not evaluated	3 ^b	Not evaluated	5 ^b
Neural network [75]	2	1.5	Not adapted	Not adapted
Wavelets	Not evaluated	2.3	Not adapted	Not adapted

^a Only neighbouring segment hits.

^b Only radial coordinate.

À RETENIR

La complexité de la tâche nécessite encore des études sur les algorithmes, mais aussi sans doute leur implémentation dans des architectures parallèles.

En plus du traitement du signal, la gestion des flux de données est un enjeu, et pas seulement pour AGATA. Cela pousse à la réduction de données en temps réel, ou en fonction de plusieurs niveaux de trigger

CONCLUSIONS / PERSPECTIVES

29 nov. 2012

Le traitement du signal en temps réel a sans doute de beaux jours devant lui à cause des besoins de réduction de flux de données.

Il faut aussi avoir bien étudié l'électronique analogique pour optimiser les performances (précision de numérisation, réduction du flux de données)

Les algorithmes évoluent, et l'apparition de machines massivement parallèles pourrait changer la donne en termes de performances (en particulier pour l'application au temps réel).

Le dialogue entre différents éléments de hardware, la programmation des différents niveaux de traitement du programme vont alors logiquement continuer à nous occuper.