

Figure-6. 14 : Visualisation et capture du spectre du train de "Double Impulsions" sur le programme d'interface programmé sous Labview

2. MESURES COMPARATIVES AVEC SYSTEME STANDARD

2.1. Etalonnage en énergie (FWHM)

Le MIMCA utilise deux cartes UNIO52 enfichées dans un rack d'alimentation de type EURO. L'interconnexion avec le microordinateur hôte, est réalisée à travers un hub USB.

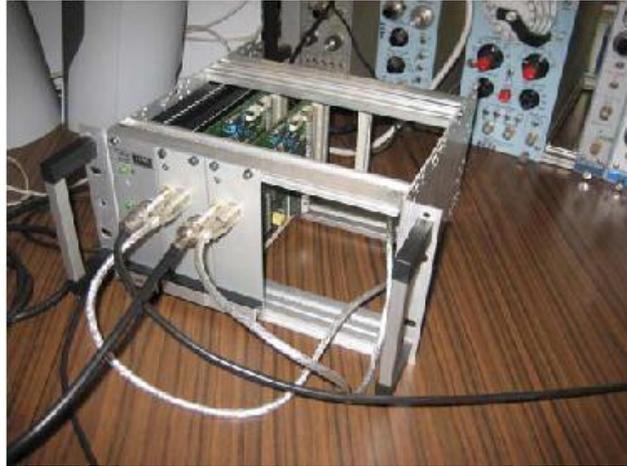


Figure-6. 15 : l'Analyseur personnalisé à plusieurs entrées (MIMCA)

Les signaux d'impulsions venant des modules de détection et de traitements analogiques, sont transmis à l'entrée du système de traitement numérique *MIMCA* à travers des connecteurs *BNC* standards.

Le contrôle du système d'acquisition et des manipulations expérimentales, est effectué avec un code de programme écrit sous Labview.

On peut gérer jusqu'à quatre acquisitions de spectres simultanées et afficher les différentes distributions d'énergies correspondantes sur une même fenêtre. Les données de spectres peuvent être enregistrées dans un disque dur, sous format Excel pour tout traitement ultérieur.

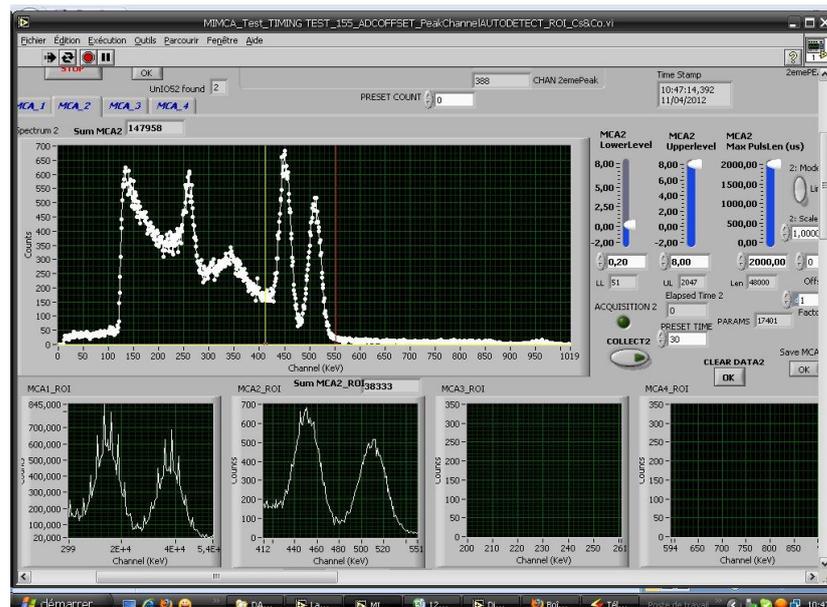
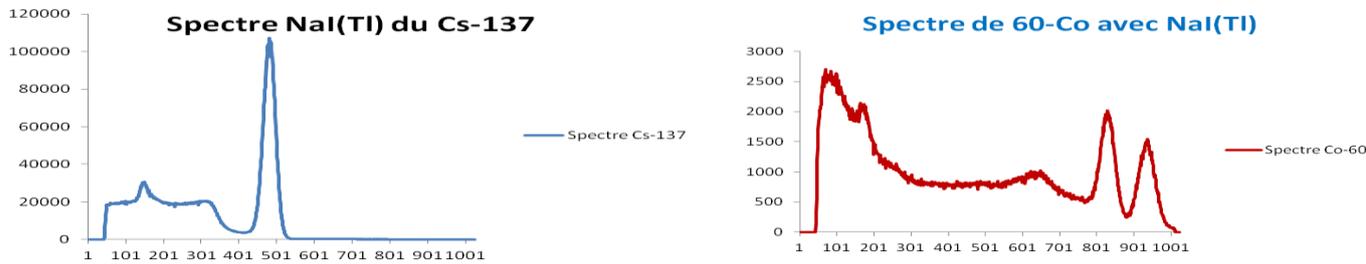


Figure-6. 16 : Spectre de ^{60}Co et ^{137}Cs traité par le MIMCA et affiché sur la fenêtre du programme de gestion écrit sous Labview

Des acquisitions de spectres *NaI(Tl)* des sources scellées de ^{137}Cs et de ^{60}Co ont été effectuées avec le *MIMCA*. Les spectres ci-dessous ont pu être reconstruits en utilisant les données enregistrées par le programme.



a) $CH_{Cs}= 481$ (0,662MeV)

a) $CH_{Co1}=829$ (1,17MeV)
 $CH_{Co2}=937$ (1,33MeV)

Figure-6. 17 : spectres *NaI(Tl)* avec a) le pic-canal du ^{137}Cs à 481 et b) les deux pic-canaux du ^{60}Co à 829 et 937

L'analyse des informations des deux spectres, enregistrées ont permis de déterminer la méthode utilisée par le système pour classer les pics d'impulsions : les canaux assignés pour les différentes énergies composant le rayonnement incident sont définis dans le tableau ci-dessous.

Tableau-6. 4 :Distribution des pics d'énergies dans le spectre *NaI(Tl)*

Pic du spectre	Energie (MeV)	N° Canal
0,662Mev Photopeak du ^{137}Cs	0,662	481
1,17Mev Photopeak du ^{60}Co	1,17	829
1,33Mev Photopeak du ^{60}Co	1,33	937

La droite d'étalonnage du système d'acquisition *MIMCA* est construite à partir de ces trois couples de points : (481 ; 0,662), (829 ; 1,17) et (937 ; 1,33).

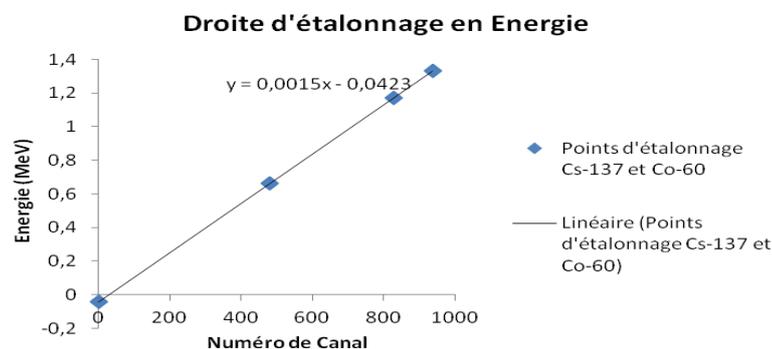


Figure-6. 18 : Droite d'étalonnage du système *MIMCA*, tracée à partir des sources ^{137}Cs et ^{60}Co

La droite d'étalonnage suit une tendance de regression linéaire d'équation:

$$E[MeV] = 0,0015 \cdot CH - 0,0423 \quad (6.4)$$

2.2. Etude comparative avec le modèle physique d'interaction des rayonnements avec la matière

La théorie de l'interaction d'un rayonnement gamma sur un matériau détecteur, introduit la présence de trois phénomènes qui sont en concurrence. Pour la détection de rayonnement gamma, les deux phénomènes qui sont les plus probables sont :

- L'effet photoélectrique responsable de la création du pic
- La diffusion Compton

Pour une énergie incidente E_γ donnée, la quantité d'énergie diffusée sous forme Compton E'_γ est donnée par la relation :

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + 2E_\gamma(1 - \cos\theta)} \quad (6.5)$$

La valeur minimum de ce spectre de Compton est obtenue pour une collision frontale emmenant à une diffusion de $\theta = 180^\circ$:

$$E'_{\gamma,MIN} = \frac{E_\gamma}{1 + 4E_\gamma} \quad (6.6)$$

Pour un rayonnement gamma de 0,662MeV (^{137}Cs), la valeur de cette énergie de diffusion Compton minimum est de :

$$E'_{\text{Cs}137,MIN} = \frac{0,662}{1 + 4 \cdot 0,662} = 0,181\text{MeV} \quad (6.7)$$

L'énergie restante contribuant à un phénomène photoélectrique, et responsable de la formation d'un pic d'énergie serait alors égale à :

$$E_\gamma^e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (6.8)$$

$$E_{\text{Cs}137}^e = 0,662 - 0,181 = 0,481\text{MeV} \quad (6.9)$$

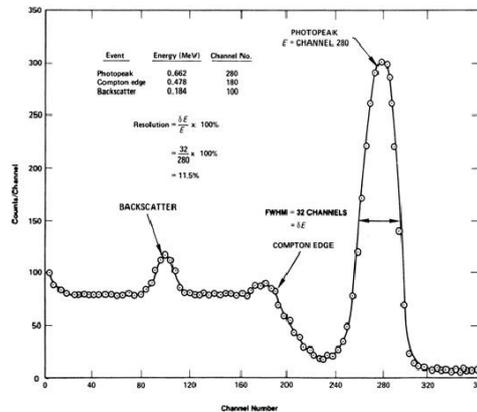


Figure-6. 19 : Spectre de ^{137}Cs avec détecteur NaI(Tl)
 (Source: Gamma-Ray Spectroscopy Using NaI(Tl), ORTEC AN34 Experiment-3)

Dans le spectre collecté, les pic1 (canal 149) et pic2 (canal 319) auront respectivement les valeurs d'énergies de 0,181MeV et de 0,463MeV feraient partie du spectre d'énergies du ^{137}Cs perdues sous forme de diffusion Compton à l'intérieur du scintillateur.

Tableau-6. 5 : Valeurs de conversions des pic1 et pic2 du spectre NaI(Tl) du ^{137}Cs

Pic du spectre	N° Canal	Energie (MeV) (*)
Pic1 du ^{137}Cs	149	0,181
Pic2 du ^{137}Cs	319	0,463

(*) : valeurs obtenues en utilisant la droite d'équation (6.4)

La méthode de traitement numérique des données pour une collection d'un spectre NaI(Tl) de ^{137}Cs , est bien conforme et correspond approximativement aux valeurs prédites par les expressions mathématiques.

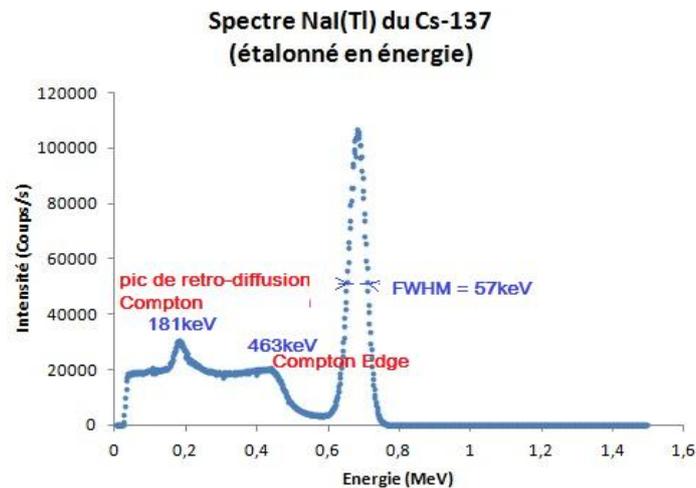


Figure-6. 20 : Spectre NaI(Tl) du ^{137}Cs avec MIMCA

La largeur à mi-hauteur ($FWHM$) du pic de ^{137}Cs (0,662MeV), mesurée est de 56keV. Ce qui donne une résolution relative en énergie de :

$$R_{\text{Rel}} = \frac{FWHM}{E_{\text{Cs-137}}} = \frac{56}{662} = 0,0846 \quad (6.10)$$

$$R_{\text{Rel}} = 8,46\% \quad (6.11)$$

A titre de comparaison, la résolution relative en énergie annoncée d'un analyseur dédié MCA35+ de CANBERRA serait de 7%.

La performance du MIMCA semble modeste à cause de la capacité de mémoires physiques de la carte UNIO52 limitée à 4ko. Cette capacité suffit juste à configurer un analyseur de 1k canaux de spectres, car il faut aussi tenir compte de l'espace mémoires nécessaires pour l'exécution du programme.

2.3. Intercomparaison des résultats de mesures avec l'analyseur MCA35 Plus

La méthode de comparaison consiste à réaliser un montage en parallèle entre le *MIMCA* et un analyseur standard de la firme *CANBERRA*, qu'est le modèle 35Plus. Le principe est d'utiliser les mêmes conditions d'expérimentation pour les deux analyseurs à comparer.

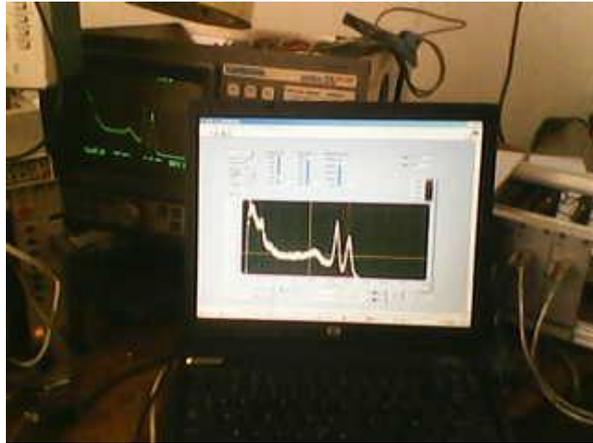


Figure-6. 21 : acquisition simultanée d'un spectre NaI(Tl) de source ^{60}Co , sur l'analyseur *MCA35Plus* et l'analyseur personnalisé *MIMCA*

On avait utilisé deux techniques pour avoir le spectre de ^{137}Cs : soit de procéder à proximité d'une jauge nucléaire de mesures de densité et humidité (gammadensimètre), soit l'utilisation d'une source scellée. Cette dernière pourrait introduire une dissymétrie dans la méthode étant donné sa structure d'émission dépendant de la direction (anisotrope). Cependant l'utilisation d'une source scellée est plus pratique car plus facile à contrôler.

A cause de la différence entre les impédances d'entrée des deux analyseurs à comparer, une certaine dissymétrie entre les signaux injectés réellement sur chaque entrée. On s'attend alors à une différence de valeurs entre les grandeurs mesurées par l'analyseur *MCA35Plus* et celles de *MIMCA*. Toutefois cela ne devrait pas trop influencer sur le calcul de la résolution relative à un pic d'énergie donnée.

Le spectre de ^{137}Cs collecté par le *MCA35Plus* présente un pic sur le canal 286. La largeur de ce pic à mi-hauteur est de 25 canaux. La résolution relative pour le pic de ^{137}Cs est alors de

$$R_{\text{rel}} = \frac{25}{286} = 0,0874 \quad (6.12)$$

Soit une résolution de **8,74%**.

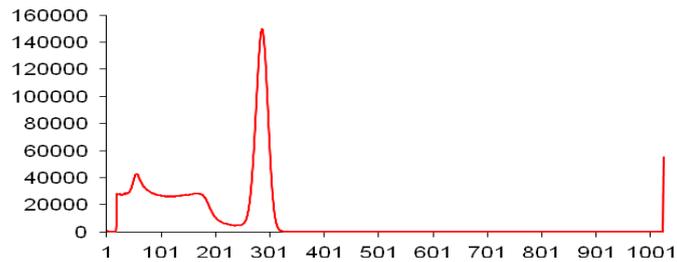


Figure-6. 22 : Spectre de ^{137}Cs collecté par le MCA35Plus

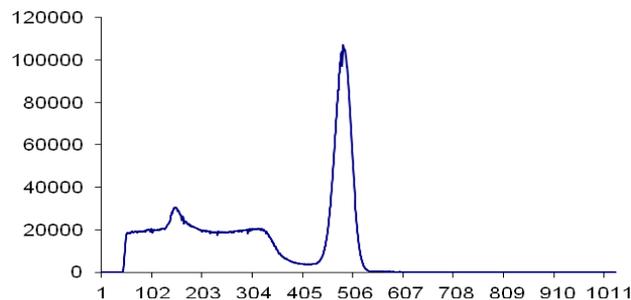


Figure-6. 23 : Spectre de ^{137}Cs collecté par l'analyseur personnalisé MIMCA

Pour l'analyseur MIMCA, le spectre présente un pic de ^{137}Cs de largeur à mi-hauteur de 38 canaux, sur le canal 481. Ce qui donne une résolution relative de **7,90%** pour le pic de ^{137}Cs .

On peut alors affirmer que la performance de l'analyseur numérique personnalisé, du point de vue résolution en énergie est comparable à celle des fabricants spécialisés.

3. VALIDATION DU MODELE DE TRAITEMENT NUMERIQUE (DSP)

La mise en œuvre d'un système de traitement numérique de mise en forme (*DSP*) est nécessaire pour les applications nécessitant des meilleures résolutions spectrométriques (chaîne de spectrométrie à détecteur solide). L'implantation d'un tel système numérique de traitement demande plus de ressources à la puce électronique. Elle n'était pas possible avec le *MIMCA*, étant donné la limitation des ressources disponibles sur ce système (*UNIO52*). Cependant le système de mise en forme numérique des signaux a pu être implanté et étudié sur l'analyseur personnalisé utilisant la carte *EFM01* de Cesium.

Dans le paragraphe 3 du chapitre 4, on avait montré que la méthode de traitement utilisant le filtrage Trapézoïdal (Triangulaire) est synthétisable numériquement et celle qui se rapproche le plus de la performance d'un filtrage en forme de CUSP (modèle purement mathématique) qui donnerait une réponse optimum au système de détection délivrant des impulsions à décroissance exponentielle.

Tableau-6. 6 : Comparaison de performances de quelques filtres en termes de ENC

Forme	ENC	Observations
CUSP	1	Réponse optimum. Seulement en <u>théorie</u> , irréalisable en pratique
CR-RC	1,36	Réponse médiocre. Plus simple à réaliser avec des circuits <u>analogiques</u>
Gaussienne	1,12	Réponse moyennement acceptable. Plus complexe à réaliser avec des circuits <u>analogiques</u>
Trapézoïdal/ Triangulaire	1,075	Forme donnant une réponse plus proche de celle du CUSP. Plus facile de synthétiser <u>numériquement</u>

Le système de traitement numérique et de filtrage trapézoïdal implanté sur l'analyseur *EFM01_MCA* a été testé et confronté à son modèle théorique et modèle *SIMULINK*.

3.1. Test de résolution avec des sources de références scellées

Le test a pour but de vérifier que l'ajustage du paramètre du filtre qu'est la durée de la période de mise au pic ("*peaking time*") permet d'optimiser la collection des spectres et pourrait minimiser l'effet de la déficience balistique.

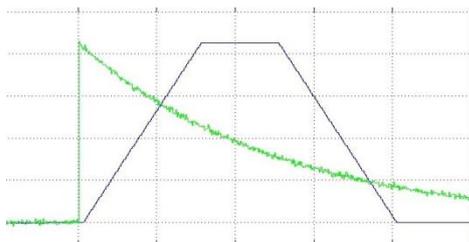


Figure-6. 24 : réponse d'un filtre trapézoïdal

Un spectre $NaI(Tl)$ de ^{137}Cs est collecté pour une durée de 300 secondes. La forme de l'impulsion analogique est taillée pour une décroissance de $4\mu s$.

Le paramétrage du filtre numérique est effectué en modifiant alternativement les valeurs du $Taupk$ (Temps de "peaking"), de la largeur du plateau trapézoïdal $Tauf$ ("Flat-top") et éventuellement du type de filtre utilisé.

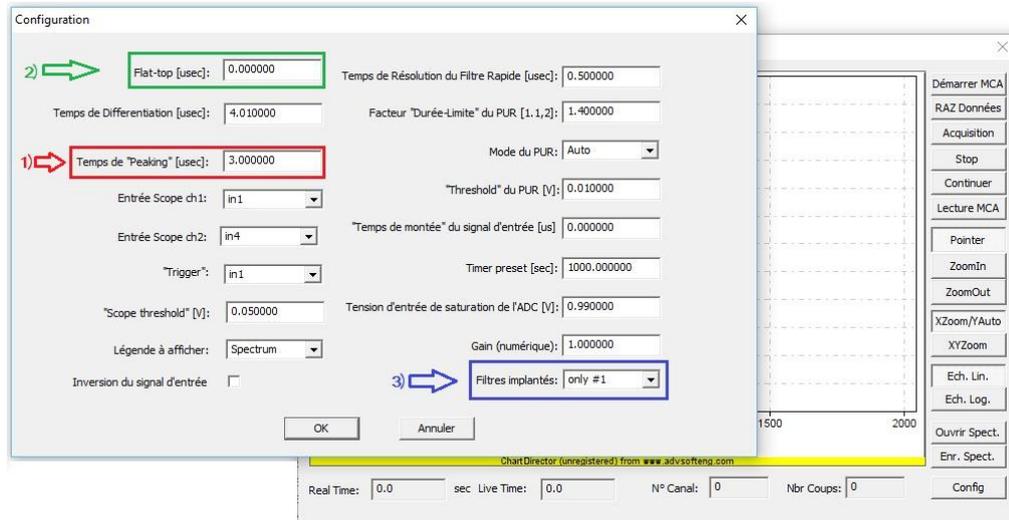


Figure-6. 25 : fenêtre de paramétrage du logiciel d'interface avec l'analyseur EFM01_MCA

On mesure l'influence du temps de "peaking" sur la résolution du spectre selon la largeur du plateau ($Tauf = 0\mu s$ pour une réponse triangulaire, et $Tauf = 3\mu s$ pour une réponse trapézoïdale).

La résolution relative est calculée pour le pic de ^{137}Cs , à partir des données spectrométriques collectées et enregistrées dans un fichier au format du tableur Excel. Les résultats de calculs sont groupés dans le *Tableau-6.7* ci-dessous. Les courbes de réponses sont tracées sur la *Figure-6.26*.

Tableau-6. 7 : Résultats des calculs de résolution du système en fonction du temps de "peaking"

Taupk [μsec]	Tauf = 0 (Gain numérique = 1)			Tauf = 3 (Gain numérique = 0,5)		
	Intensité Centroïde ($A(\tau_{pk})$)	FWHM	Résolution relative	Intensité Centroïde ($A(\tau_{pk})$)	Résolution relative (brute)	Résolution relative (corr)
1	104376		0,14179	21216	0,14429	0,12826
2	25045		0,14313	17942	0,14286	0,12458
3	13261		0,14477	13025	0,14159	0,12684
4	9634		0,14376	9652	0,14580	0,12930
5	7645		0,14632	9597	0,15144	0,13708
6	6844		0,14708	6714	0,16855	0,14214
7	6631		0,15443	6531	0,17016	0,15413
8.6	3388		0,19900	3824	0,20970	0,14788

```
%Gain numérique=1
tri_tauft_0 = [0.14179 0.14313 0.14477 0.14376 0.14632 0.14708
0.15443 0.19900];

% Gain numérique=0.5
tri_Tauft_3 = [0.14429 0.14286 0.14159 0.14580 0.15144 0.16855
0.17016 0.20970];
```

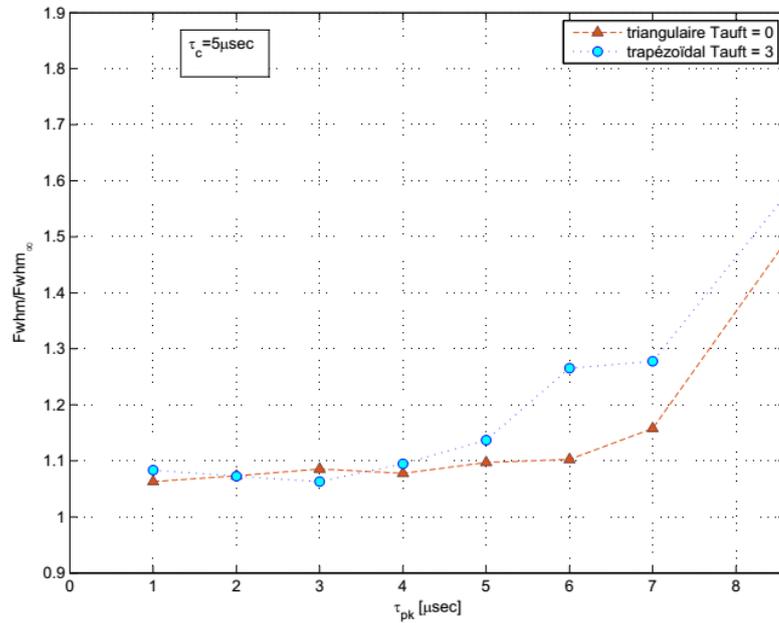


Figure-6. 26 : Courbes de réponses du système en fonction du temps de "peaking" $Taupk$ (τ_{pk})

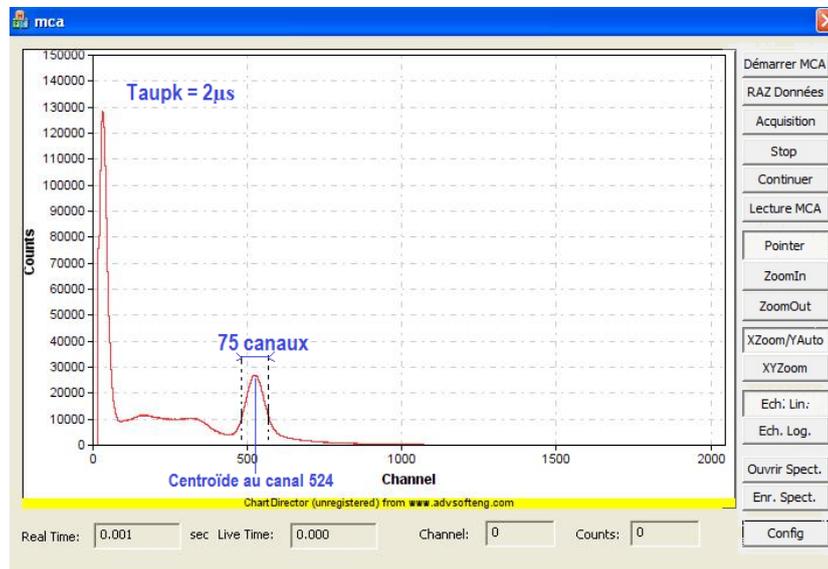


Figure-6. 27 : spectre $NaI(Tl)$ du ^{137}Cs pour un $Taupk = 2 \mu s$

3.2. Validation du modèle du système numérique

En traçant la courbe de variation de la résolution en fonction du temps de "peaking", on pourra conclure si le modèle numérique construit à l'intérieur du *FPGA* est conforme (implanté correctement) au modèle synthétisé et simulé par *SIMULINK*, et aussi conforme au modèle théorique de détection.

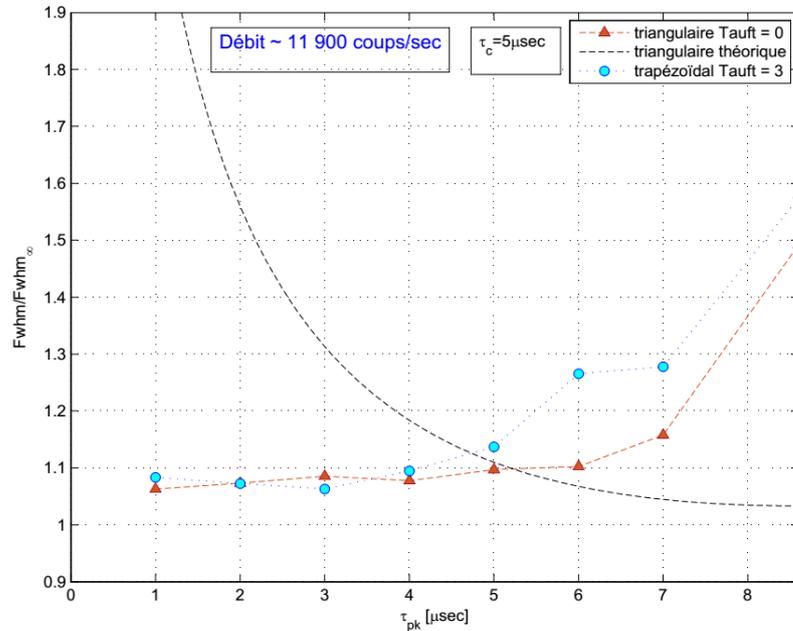


Figure-6. 28 : Comparaison des courbes de réponses avec des modèles de filtres simulés et celles du filtre reconstruit numériquement sur le *FPGA*

On observe des courbes de tendance linéaire à valeur de résolution uniformément constante pour un temps de "peaking" inférieur à $5\mu\text{s}$. La durée du temps de "peaking" n'influence pas sur la résolution du spectre *NaI(Tl)*. Par contre la résolution se dégrade exponentiellement pour un temps de "peaking" supérieur à $5\mu\text{s}$.

D'autre part la résolution d'amplitude se trouve affectée pour une durée de $Taupk$ inférieure à $2\mu\text{s}$.