

# Notion de Trigger

## Efficacité d'une Chaîne d'Acquisition

M. Arthaud, V. Rotival

DEA Noyaux, Particules, Astrophysique et Cosmologie (NPAC)

---

### Résumé

Cet article présente l'utilisation de techniques de détection et d'acquisition fondamentales pour étudier une source radioactive de Cobalt. Dans un second temps, divers systèmes de déclenchement, ou *triggers* ont été ajoutés au montage expérimental, dans le but d'optimiser la qualité des données produites, mais aussi de contourner des limites inhérentes à l'acquisition.

*Keywords* : Trigger, Acquisition, Efficacité, Résolution

---

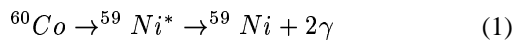
### 1. Introduction

La majorité des expériences de physique nucléaire utilisent des systèmes d'acquisition au format NIM ou CAMAC, progressivement remplacés par le standard VME, pour l'étude, entre autres, des propriétés des noyaux : désintégrations  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ... Par exemple, une chaîne d'acquisition au format NIM-CAMAC peut être utilisée pour visualiser les spectres de désintégration  $\beta$  d'espèces instables comme le  $^{60}\text{Co}$ . Plusieurs méthodes de détection existent dans ce but : détecteurs à semi-conducteurs (Si, Ge...), calorimètres électromagnétiques... mais aussi les plus simples, à savoir les scintillateurs. Ainsi deux types différents de scintillateurs (NaI et BaF<sub>2</sub>) ont été utilisés ici dans le but de caractériser une source de  $^{60}\text{Co}$ , mais aussi la chaîne d'acquisition elle-même.

### 2. Dispositif expérimental

#### 2.1. Sources

Le Cobalt 60 se désintègre spontanément par désintégration  $\beta$  selon la réaction suivante :



Les deux photons corrélés émis par désexcitation du Nickel sont alors émis des énergies respectives de :

1.  $E_1=1173$  keV
2.  $E_2=1332$  keV

Trois lots différents de sources de  $^{60}\text{Co}$  ont été utilisés lors des prises de données. Le tableau TAB.1 ci-après indique l'activité  $\mathcal{A}$  de ces lots à leur date de mise en service  $t_0$ . Une estimation de leur activité lors de la prise de données est alors obtenue par la formule :

$$\mathcal{A}(t) = \mathcal{A}(t_0)e^{-\ln 2 \frac{\Delta t}{\tau_{1/2}}} \quad (2)$$

Dans le cas du  $^{60}\text{Co}$ , le temps de demi-vie est de  $\tau_{1/2} \approx 5.2710$  ans.

N° Lot	$t_0$	$\mathcal{A}(t_0)$	$\mathcal{A}(t)$
20207	13-10-1997	442 kBq	176 kBq
50009	10-01-2002	114 kBq	79 kBq
50095	27-12-2001	394 kBq	274 kBq

TAB. 1 – Propriétés des sources utilisées

Cette donnée de l'activité  $\mathcal{A}(t)$  au moment de l'expérience permettra entre autres de calculer l'efficacité du scintillateur NaI.

#### 2.2. Détecteurs et montage expérimental

Le principe des détecteurs scintillants repose sur la photo-excitation d'un milieu semi-conducteur : un photon incident excite des électrons de la bande de valence du matériau, qui émettent des photons en se désexcitant. Ce signal lumineux est converti en électrons via une photocathode. Ceux-ci sont enfin multipliés en cascade par un photomultiplicateur. Le signal recueilli est alors proportionnel à l'énergie du photon incident.

Différents types de détecteurs existent, entre autre les scintillateurs au NaI, qui sont peu rapides mais ont une très bonne résolution en énergie. Au contraire, les détecteurs au BaF<sub>2</sub> ont une résolution en énergie moindre, et un temps de montée beaucoup plus court, ainsi qu'un taux de déclenchement plus élevé.

La résolution en énergie de ces deux types de détecteurs peut être comparée de façon qualitative à l'aide d'un montage permettant de tracer le spectre en énergie d'une source de  $^{60}\text{Co}$ . Ce montage est présenté FIG.1.

Ce montage permet une conversion analogique-numérique de l'amplitude du signal de sortie du scintillateur, au moyen d'un module CAMAC appelé ADC812F. Ce module convertit l'amplitude du signal d'entrée dès qu'un signal déclencheur, ou porte (*gate*) est à l'état haut.

Pour tracer le spectre en énergie, la sortie du scintillateur est reliée à l'entrée de l'ADC. La porte est réalisée avec cette même sortie à l'aide d'un discriminateur NIM appelé FCC8. Ce module permet de créer une porte dès que le signal d'entrée dépasse une valeur de seuil ajustable. Ainsi, il sera possible

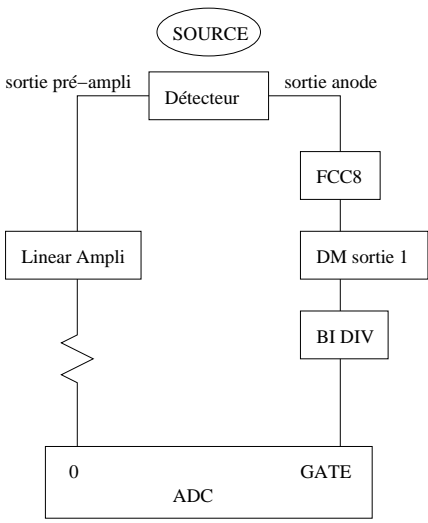


FIG. 1 – Montage permettant l’acquisition du spectre en énergie d’une source de  $^{60}\text{Co}$

de déclencher l’acquisition par l’ADC lorsque l’amplitude du signal détecté dépasse une valeur spécifiée en énergie, ce qui permet de rejeter le bruit de fond électronique du détecteur.

Les autres modules, Double Monostable (DM), Amplificateur Linéaire, Retards (symboles de résistances)... assurent la synchronisation et la bonne mise en forme des signaux.

### 2.3. Premiers résultats

Les spectres en énergie d’une source de  $^{60}\text{Co}$ , respectivement obtenus avec les scintillateurs NaI et  $\text{BaF}_2$ , sont présentés FIG.2. La meilleure séparation des deux photopics du  $^{60}\text{Co}$  par le scintillateur NaI montrent sa meilleure résolution en énergie.

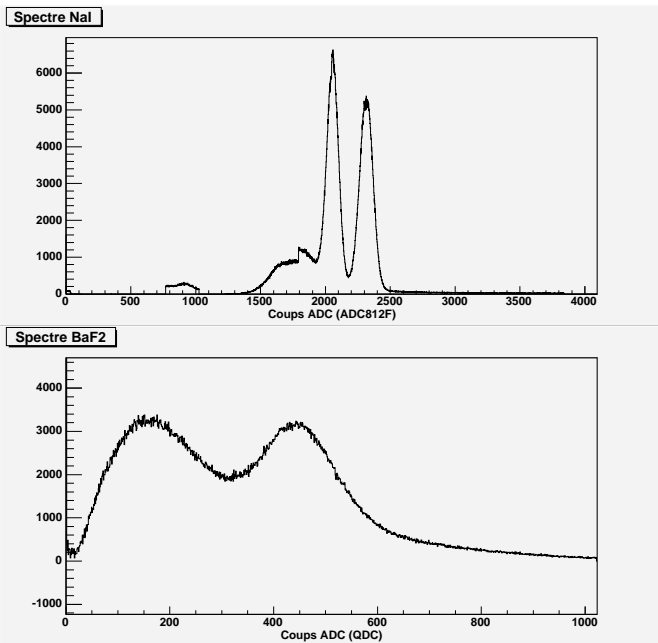


FIG. 2 – Comparaison du spectre en énergie du  $^{60}\text{Co}$  obtenu avec les scintillateurs NaI et  $\text{BaF}_2$

Les spectres obtenus permettent de calculer l’efficacité ainsi que la résolution des détecteurs, à une énergie donnée. Ces deux propriétés seront calculées dans le cas du NaI, à 1332 keV.

– L’efficacité est définie par :

$$\epsilon = \frac{N_{\text{photopic}}}{N_{\text{emis}}} \quad (3)$$

où  $N_{\text{photopic}}$  représente le nombre de photons de 1332 keV détectés et  $N_{\text{emis}}$  le nombre de photons émis par la source pendant la même durée.  $N_{\text{emis}}$  est obtenu à partir de l’activité de la source utilisée lors de l’acquisition :

$$N_{\text{emis}} \approx \mathcal{A}(t) \times \delta t \quad (4)$$

avec  $\delta t$  la durée de l’acquisition, dans l’approximation où  $\delta t \ll \tau_{1/2}$ .

– La résolution à 1332 keV est déterminée par la largeur à mi-hauteur du photopic obtenu à cette énergie. Ce calcul nécessite d’étalonner l’axe en énergie.

Un ajustement par une gaussienne des deux photopics du spectre du NaI donne les paramètres présentés TAB.2.

	Pic de 1173 keV	Pic de 1332 keV
Constante	2796±8	3063±7
Moyenne	1462.9±0.2	1656.2±0.1
Sigma	42.2±0.2	42.9±0.1

TAB. 2 – Paramètres des ajustements des photopics par une gaussienne

On suppose que le scintillateur NaI convertit linéairement en signal électrique l’énergie d’un photon détecté, c’est à dire que le gain de la cascade électronique d’amplification du signal est indépendant de l’énergie initiale. On peut alors supposer que l’étalonnage de l’axe en énergie est de la forme  $E = a \times c + b$ , où  $c$  représente le canal considéré, et  $a$  et  $b$  sont des constantes. Les deux ajustements précédents conduisent aux résultats suivants :

- $a = 0.82 \pm 0.04$  keV
- $b = -30 \pm 2$  keV

La résolution du NaI à 1332 keV s’en déduit :

$$R = 35.3 \pm 0.1 \text{ keV}$$

Un paramètre souvent utilisé pour décrire l’efficacité d’un détecteur est le rapport à énergie donnée

$$\rho = \frac{\text{Résolution pour le pic d’énergie } E_\alpha}{E_\alpha} \quad (5)$$

On obtient pour le pic d’énergie 1332 keV  $\rho \approx 3\%$ , ce qui est de l’ordre de grandeur du rapport  $\rho$  typique attendu pour un scintillateur NaI, de l’ordre de 6% à 660 keV.

La FIG.3 illustre le calcul de l’efficacité du NaI à 1332 keV. Celle-ci est de  $\epsilon \approx 5.1 \times 10^{-3}$ .

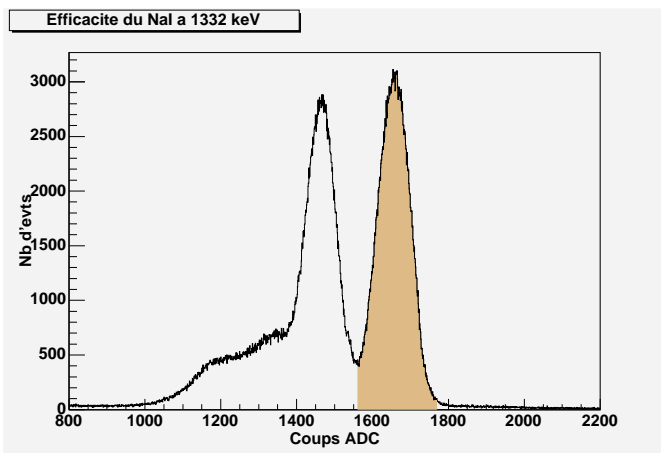


FIG. 3 – Nombre de photons émis à 1332 keV sur le spectre d'une source de  $^{60}\text{Co}$

#### 2.4. Limites de l'acquisition

Un compteur en amont de la porte logique envoyée à l'ADC (FIG.1) permet de constater une limite de l'acquisition : il y a saturation à fort taux de comptage. On observe sur la FIG.4 que l'efficacité de l'ADC chute dès que le taux de comptage dépasse quelques hertz de façon non régulière. Il est donc nécessaire de travailler à de faibles taux de comptage. Or, ce taux est de l'ordre de 100 Hz pour le montage précédent, l'ADC n'a donc pas travaillé efficacement. Il faudra par exemple tenir compte de cette limite de l'ADC pour pondérer la valeur de l'efficacité  $\epsilon$  précédemment trouvée.

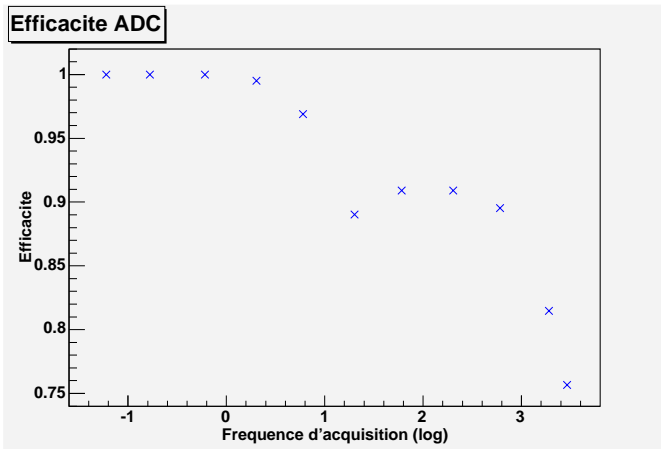


FIG. 4 – Efficacité de l'ADC812F en fonction de la fréquence d'acquisition

Les montages et acquisitions qui vont suivre ont pour objectif commun de réduire au mieux le taux de comptage, tout en conservant la meilleure efficacité possible.

### 3. Systèmes de Déclenchement

Pour améliorer la qualité des mesures, il est alors possible d'avoir recours à des systèmes de déclenchement, ou *triggers*. Leur fonction principale est de déclencher l'acquisition de données uniquement pour des événements jugés intéressants. Par exemple, le but de cette expérience est d'étudier quelques propriétés du  $^{60}\text{Co}$ , mais le comportement de l'acquisition à fort taux de comptage perturbe les mesures, notamment pour les calculs d'efficacité. Les triggers présentés ci-après permettent alors de réduire ce taux pour optimiser l'étude des produits de la

désintégration  $\beta$  du  $^{60}\text{Co}$ .

Les avantages d'avoir recours à de tels systèmes de déclenchement sont multiples. L'élimination du bruit de fond et le choix d'évènements spécifiques permet :

- d'en déduire le taux d'acquisition. Ainsi le comportement de la chaîne d'acquisition à haute fréquence d'acquisition n'est plus un facteur limitant. La probabilité de perdre des événements à cause de temps morts de l'acquisition est donc réduite.
- d'augmenter le rapport signal sur bruit des données. Ceci permet d'espérer une meilleure résolution dans un spectre en énergie.
- d'étudier des événements très spécifiques, donc rares, qui en temps normal sont cachés dans le bruit de fond. C'est pour cette raison que la totalité des expériences actuelles en physique des particules, qui recherchent des événements rares, ont recours à des triggers très sélectifs.

Il existe deux grandes familles de triggers :

- les triggers dits *online*. Ceux-ci déclenchent l'acquisition lorsque un ou plusieurs sous-détecteurs ont rempli les conditions imposées, par exemple la détection d'une particule après une couche d'absorbeur.
- les triggers dits *offline*, utilisés après l'acquisition des données. Ils permettent une sélection des données sur des critères qui ne sont pas accessibles en temps réel lors de l'expérience : énergie des particules, charge...

#### 3.1. Triggers Utilisés

Trois triggers *online* différents ont été étudiés lors de la prise de données. Le but principal de cette expérience est d'utiliser les différents modules NIM-CAMAC afin de donner un ordre de grandeur des efficacités des différents triggers.

##### 3.1.1. Déclenchement par le Scintillateur BaF<sub>2</sub>

Le scintillateur BaF<sub>2</sub> a une sensibilité et un taux de comptage plus élevé que le NaI. Alors, si l'acquisition est déclenchée lorsque le BaF<sub>2</sub> détecte un  $\gamma$ , deux situations sont possibles :

- le  $\gamma$  provenait d'un rayon cosmique. Dans ce cas, aucun signal ne sera détecté par le scintillateur NaI<sup>1</sup> : on observera sur le spectre en énergie donné par le NaI la croissance du piédestal.
- le  $\gamma$  provient de la désintégration du  $^{60}\text{Co}$ . Cette désintégration  $\beta$  a donc émis un second photon corrélé. Si celui-ci est détecté par le NaI, l'énergie lue par l'ADC correspondra à coup sûr à l'un des deux pics du  $^{60}\text{Co}$ . Dans le cas contraire, on observera également une croissance du piédestal.

Ainsi l'utilisation de ce trigger, noté **Trigger BaF<sub>2</sub>**, permet théoriquement de réduire le bruit de fond du spectre en énergie du  $^{60}\text{Co}$  donné par le NaI, l'ensemble du bruit de fond étant rejeté dans le piédestal. Par contre, le scintillateur BaF<sub>2</sub> ayant un taux de déclenchement plus élevé que le NaI, une croissance importante du piédestal est à attendre.

##### 3.1.2. Déclenchement par les Coïncidences entre les Deux Scintillateurs

L'acquisition est à présent déclenchée lorsque les deux scintillateurs NaI et BaF<sub>2</sub> ont détecté un  $\gamma$  de façon simultanée. On peut alors admettre que ces deux photons détectés constituent la

<sup>1</sup>On peut considérer que la probabilité que deux rayons cosmiques atteignent les deux scintillateurs de façon simultanée est négligeable.

paire corrélée de  $\gamma$  issus de la désintégration  $\beta$  du  $^{60}\text{Co}^2$ .

Le spectre en énergie du NaI donné par l'action de ce trigger, noté **Trigger Coïncidence**, ne contient donc plus aucun bruit de fond cosmique. Contrairement au trigger BaF<sub>2</sub>, les événements indésirables ne sont pas rejetés au piedestal, mais simplement éliminés. On s'attend donc à un taux d'échantillonnage beaucoup plus faible, mais à une forte diminution du bruit de fond. Par contre, ce système ne déclenchera que lorsque les deux  $\gamma$  auront été détectés. Du fait de la faible couverture en angle solide des deux scintillateurs, et de la loi de corrélation angulaire des deux  $\gamma$ , qui indique qu'ils ne sont pas forcément émis dos à dos, on s'attend donc à perdre un grand nombre d'événements, c'est à dire à une efficacité plus faible au profit d'un meilleur rapport signal sur bruit.

Une des applications du trigger coïncidence est la mesure de la vitesse de la lumière  $c$  dans l'air. Pour cela, les deux détecteurs sont dans un premier temps placés symétriquement par rapport à la source ( $d1 = d2$ ). Le détecteur au BaF<sub>2</sub> est ensuite éloigné d'une distance mesurée ( $d1 = d2 + 75$  cm). Pour chacune de ces applications, la différence de temps entre les signaux des deux détecteurs est mesurée par un module CAMAC appelé TAC (Time to Amplitude Converter). Celui-ci renvoie un signal analogique dont l'amplitude est proportionnelle à la durée séparant le signal Start du Stop, si elle est inférieure à un seuil. Sinon, le TAC sature et renvoie une valeur fixée qui conduira à la croissance d'un piedestal. Le Start est réalisé avec le signal provenant du NaI, et le Stop avec le signal du BaF<sub>2</sub>. On choisit en effet toujours comme Stop le signal qui déclenche le plus souvent, pour éviter des déclenchements intempestifs du TAC.

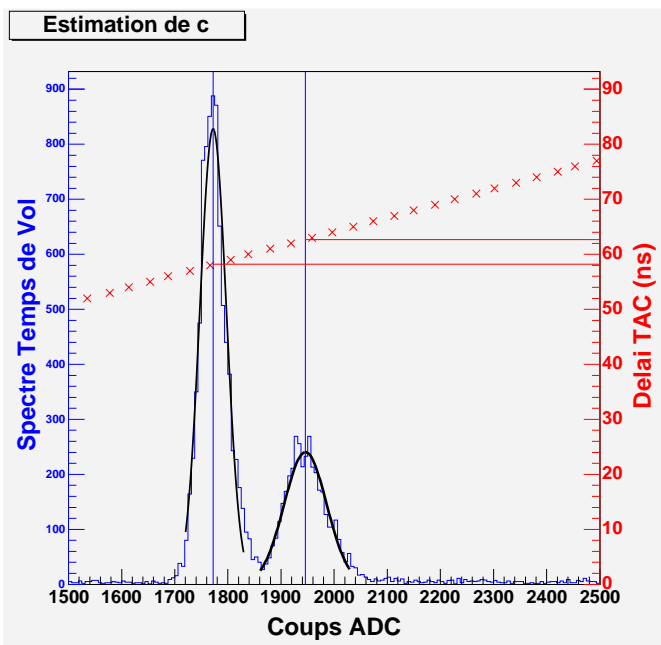


FIG. 5 – Mesure de la vitesse de la lumière

La mesure effectuée avec  $d1 = d2$  fournit donc un premier pic sur le spectre en temps. Lorsque le scintillateur BaF<sub>2</sub> est éloigné, le temps de vol des  $\gamma$  détectés par ce détecteur augmente, donc le signal délivré par le TAC aussi : le second pic est décalé par rapport au premier d'une distance inversement proportionnelle à  $c$ .

Un étalonnage du TAC permet de calculer la valeur expérimentale de  $c$  :

<sup>2</sup>On peut considérer que la probabilité qu'un rayons cosmiques atteigne l'un des scintillateurs au moment où l'autre détecte un  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  est négligeable.

$$c = (1.68 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ m/s} \quad (6)$$

Cette mesure pourrait être effectuée sans trigger de coïncidence, mais tous les photons détectés par le NaI, et ne correspondant pas à une coïncidence provoqueraient la croissance du piedestal. Pour des durées de prise de données égales, la proportion de signal intéressant serait alors nettement plus faible. Un problème de taille de fichiers d'acquisition se poserait alors pour obtenir le signal nécessaire à une bonne exploitation.

### 3.1.3. Déclenchement sur la Raie à 1332 keV du $^{60}\text{Co}$

L'acquisition est déclenchée lorsqu'un  $\gamma$  a été détecté par le scintillateur NaI à une énergie compatible avec la raie à 1332 keV du  $^{60}\text{Co}$ . Le spectre en énergie donné par le NaI ne sera donc plus exploitable. Par contre, on attend une meilleure résolution dans le spectre en temps de vol grâce à ce trigger noté **Trigger 1332 keV**. En effet, le module TAC de la chaîne de mesure du temps de vol est alors déclenché à coup sûr par ce  $\gamma$  à 1332 keV provenant du  $^{60}\text{Co}$ . Si le photon corrélé n'est pas détecté par le BaF<sub>2</sub> (à cause de son acceptance angulaire trop faible), on observera une croissance du piedestal sur le spectre en temps de vol. Dans le cas contraire, c'est le  $\gamma$  à 1122 keV qui servira de signal STOP au module TAC : ce trigger élimine une grande partie du bruit de fond dans le spectre TAC.

Ce trigger a été réalisé ici de façon *online*, mais il est également possible de le simuler *offline*.

### 3.2. Dispositif Expérimental

Le dispositif expérimental donné par la FIG.6 permet de mettre en oeuvre les trois systèmes de déclenchement *online* présentés ci-dessus, en utilisant la source du lot n°50009. La connaissance de l'activité de cette source au moment de l'expérience permet de déterminer l'efficacité du scintillateur NaI pour les divers systèmes de déclenchement utilisés.

- Le trigger BaF<sub>2</sub> est obtenu à partir de la sortie du discriminateur FCC8 pour la voie BaF<sub>2</sub>, qui nous indique si un  $\gamma$  a été détecté par ce scintillateur.
- Le trigger coïncidence est obtenu à l'aide d'un module NIM qui réalise un "ET" logique entre les sorties du FCC8 pour les voies NaI et BaF<sub>2</sub>. Ce module ne sera à l'état haut que si deux  $\gamma$  ont été reçus simultanément par les deux scintillateurs.
- Le trigger 1332 keV est obtenu à l'aide d'un module NIM appelé **Timing SCA**. Ce module est à l'état haut si le signal d'entrée (ici le signal du NaI) se situe dans un intervalle d'amplitude spécifié ici pour contenir la raie à 1332 keV du  $^{60}\text{Co}$ .

Un point notable dans le schéma de la FIG.6 est la présence de retards sur les signaux lus par l'acquisition. Ce retard est essentiel au fonctionnement de la prise de donnée, et rendu nécessaire par le **temps de décision des triggers**. En effet chaque module de déclenchement a besoin de temps pour déterminer si l'évènement en cours remplit les critères voulus, ce qui constitue un temps mort pour la chaîne d'acquisition. Ce phénomène de temps de décision n'est pas propre à cette expérience, et se retrouve dans toute expérience ayant recours à un trigger *online*.

Ces trois triggers ont été utilisés de façon simultanée lors de la prise de donnée : chaque trigger définit son propre signal de déclenchement, et l'acquisition est commandée par un "OU" logique de ces trois signaux. Un module CAMAC, appelé **Status A**, permet lors de l'exploitation des données de déterminer pour chaque évènement le (ou les) trigger(s) qui ont déclenché l'acquisition.

### 3.3. Résultats

TAB. 3 – Effets des différents triggers.

	Sans Trigger	
	Spectre Energie	Spectre TAC
$\tau$ (Hz)	91.5	-N/A-
$\epsilon$ (%)	0.51	-N/A-
$R_E$ (keV)	$35.3 \pm 0.1$	-N/A-
$A_E$	30.26%	-N/A-
$P_E$	57.61%	-N/A-
$BdF_E$	12.13%	-N/A-
$S/B_E$	2.49	-N/A-
$R_{TAC}$ (ns)	-N/A-	$0.630 \pm 0.006$
$A_{TAC}$	-N/A-	2.54%
$P_{TAC}$	-N/A-	97.17%
$BdF_{TAC}$	-N/A-	0.29%
$S/B_{TAC}$	-N/A-	8.95

	Trigger		
	Coïncidence	1332 keV	BaF <sub>2</sub>
$\tau$ (Hz)	1.0	4.6	185.7
$\epsilon$ (%)	$3.1 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-2}$	$4.6 \times 10^{-4}$
$R_E$ (keV)	$34.9 \pm 0.6$	-N/A-	$38.0 \pm 0.5$
$A_E$	49.09%	-N/A-	1.39%
$P_E$	34.97%	-N/A-	92.84%
$BdF_E$	15.94%	-N/A-	5.77%
$S/B_E$	3.08	-N/A-	0.24
$R_{TAC}$ (ns)	$0.876 \pm 0.007$	$0.867 \pm 0.002$	$0.876 \pm 0.007$
$A_{TAC}$	55.60%	66.29%	1.03%
$P_{TAC}$	39.12%	27.40%	98.87%
$BdF_{TAC}$	5.28%	6.31%	0.10%
$S/B_{TAC}$	10.53	10.51	10.53

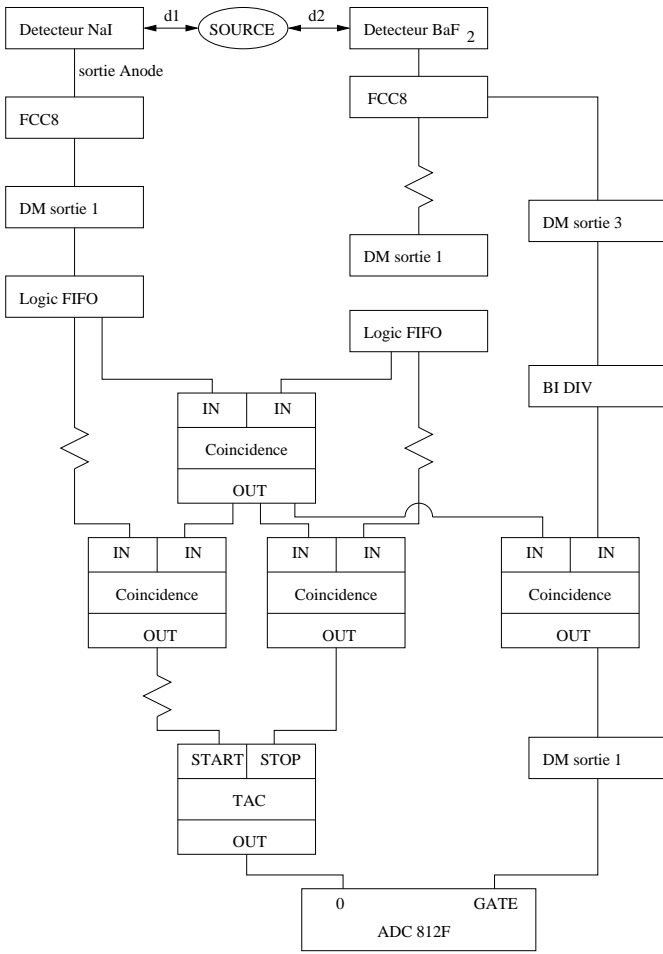


FIG. 6 – Dispositif expérimental avec les trois différents triggers

Le tableau suivant résume les effets des différents triggers sur les données acquises, sur des variables estimées représentatives :

- le taux de comptage  $\tau$ .
- l'efficacité  $\epsilon$ , donnée par la formule 3 donnée précédemment.
- la résolution  $R_E$  du spectre en énergie, calculée sur le pic à 1332 keV.
- la résolution  $R_{TAC}$  du spectre en temps de vol.
- l'amplitude relative du signal, pour les spectres en énergie ( $A_E$ ) et en temps de vol ( $A_{TAC}$ ), déterminée comme le rapport entre le nombre d'événements compris dans le signal (dans les deux pics du  $^{60}\text{Co}$  pour le spectre en énergie, dans le pic unique pour le spectre en temps de vol) et le nombre total d'événements.
- l'amplitude relative du piédestal pour les spectres en énergie ( $P_E$ ) et en temps de vol ( $P_{TAC}$ ), ainsi que celle du bruit de fond ( $BdF_E$ ) et ( $BdF_{TAC}$ ), déterminées de la même manière.
- les rapports signal sur bruit  $S/B_E$  et  $S/B_{TAC}$  des deux spectres, en estimant le bruit hors du piédestal.

Les résolutions des spectres en énergie et en temps de vol ne sont donc que très peu modifiées lors de l'introduction d'un trigger : l'adjonction d'un système de déclenchement à l'expérience n'a pas modifié de façon conséquente les paramètres du système. Cette vérification était par contre nécessaire. En effet, il est possible que l'utilisation d'un trigger ait des conséquences sur l'efficacité d'un système de détection en fonction d'un autre paramètre de l'évènement<sup>3</sup>.

On note également que les taux d'acquisition de chaque trigger

<sup>3</sup>Par exemple le trigger niveau 2 de l'expérience PHENIX à Brookhaven introduit un biais qui entraîne une chute des courbes d'efficacité en fonction de la centralité de la collision ou de l'impulsion transverse  $p_T$  des particules détectées.

sont compatibles avec la définition de chaque système de déclenchement. Ainsi le trigger coïncidence est le trigger le plus sélectif, le trigger BaF<sub>2</sub> étant le moins sélectif.

Ce trigger BaF<sub>2</sub> est en fait un prétexte pour utiliser expérimentalement le module Timing SCA. En effet, avec l'action de ce trigger, même si on observe effectivement une réduction du bruit de fond dans les spectres en énergie ( $BdF_E$ ) et en temps de vol ( $BdF_{TAC}$ ), le taux d'acquisition  $\tau$  augmente par rapport à une étude avec le scintillateur NaI seul. Ainsi, on se trouve dans une zone en fréquence où l'acquisition est encore plus limitée par ses temps morts.

Par contre, l'intérêt d'utiliser ce trigger coïncidence est par contre prouvé. En effet, par rapport au cas où le scintillateur NaI est utilisé seul :

- le taux d'acquisition est inférieur, et on se trouve alors dans une zone où l'ADC fonctionne de façon efficace.
- le rapport signal sur bruit du spectre en énergie est augmenté, et l'importance relative du piédestal est divisée par deux au profit principalement du signal.
- la réjection du piédestal est encore plus importante pour du spectre en temps de vol.

On peut également remarquer que le rapport  $\epsilon/\tau$  n'est pas conservé entre les expériences sans et avec trigger :

$$\frac{(\epsilon/\tau)_{sans}}{(\epsilon/\tau)_{coinc}} \approx 18 \quad (7)$$

En effet, la probabilité de détecter une coïncidence entre les deux  $\gamma$  issus de  $^{60}\text{Co}$  est inférieure à celle de n'en détecter qu'un seul dans le scintillateur NaI, du fait des acceptances angulaires limitées du NaI et du BaF<sub>2</sub>, et de la loi de corrélation des deux photons émis par désintégration  $\beta$ . La connaissance de cette loi angulaire de corrélation permettrait d'estimer le rapport attendu.

Par contre dans le cas du trigger 1332 keV, ce même rapport est de l'ordre de 2. En effet, la probabilité de détecter l'un des deux photons émis par  $^{60}\text{Co}$  est évidemment la moitié de celle d'en détecter un en particulier.

$$\frac{(\epsilon/\tau)_{sans}}{(\epsilon/\tau)_{1332\text{ keV}}} \approx 1.4 \quad (8)$$

Si on tient compte de la réponse en fréquence de l'ADC pour pondérer les efficacités  $\epsilon$ , ce rapport se rapproche de sa valeur théorique de 2.

On remarquera enfin que le trigger 1332 keV augmente encore la réjection du piédestal dans le spectre en temps de vol, comme on pouvait s'y attendre.

#### 4. Conclusion

Si le but principal de ce travail en laboratoire était de se familiariser avec les techniques de détection couramment utilisées en physique nucléaire, l'expérience réalisée a permis de montrer qualitativement l'intérêt d'utiliser des triggers pour des expériences de physique, nucléaire ou des particules. En effet, malgré les nombreux soucis lors de la mise en place de l'expérience (scintillateurs défectueux, dysfonctionnements de nombreux modules NIM-CAMAC, erreurs de l'acquisition...), il a été montré que le recours à un système de déclenchement permet d'améliorer la qualité des données, sans introduire de biais sur celles-ci.

Une amélioration supplémentaire du rapport signal sur bruit du spectre en énergie peut être envisagée en éliminant lors du traitement des données le bruit de fond d'origine cosmique. Pour cela, il suffit de retirer la source de son emplacement et d'enregistrer le spectre en énergie, qui correspondra au spectre énergétique des  $\gamma$  cosmiques. La soustraction de ce spectre de bruit de fond au spectre initial, normalisé vis à vis du rapport des temps d'acquisition, permettra d'améliorer la qualité du spectre du  $^{60}\text{Co}$ .

Il peut également être envisagé, pour aller plus loin, de mesurer avec le même dispositif expérimental la section efficace d'absorption d'un  $\gamma$  dans un milieu matériel. En effet, lorsqu'aucun obstacle n'est présent entre le scintillateur et la source, le taux d'acquisition est facilement mesurable. Si un milieu photoabsorbant est ensuite intercalé, on attend une diminution de ce taux d'acquisition à cause de l'influence du milieu, reliée à son coefficient d'absorption de photons. La relation sera par contre non triviale, d'autres phénomènes entrant en jeu, comme la diffusion Compton.