

Mesure du rayonnement gamma et de l'atténuation du plomb

Yohann Bertrand, William Trudel et Aubert Lamy

Université du Québec à Trois-Rivières

RÉSUMÉ

Une isotope radioactif émet des rayonnements de très haute énergie, ces rayonnements peuvent se trouver dans la plage des rayons gammas. Pour les observer, il faut un détecteur approprié qui est capable d'absorber les rayonnements et nous donner un signal que l'on peut associer à une énergie par la suite. Il est aussi possible de mesurer l'atténuation d'un matériau en plaçant le matériau entre le détecteur et la source radioactive et comparer l'intensité de ses rayonnements avec ou sans atténuation.

1. A) But de la manipulation

Cette expérience a pour but de mesurer les spectres gamma de plusieurs sources radioactives et en identifier les parties et de mesurer l'atténuation du rayonnement gamma par le plomb. Pour la première partie nous avons trouvé que le césium émet un photo-pic (dont nous connaissons l'énergie), un pic de backscatter et un maximum de Compton. Nous avons observé le photo-pic au canal 764 ± 1 , puisque nous savions que ce photo-pic avait pour énergie $0,662 \pm 0,001$ MeV. Nous avons pu calculer un facteur d'énergie par canal de $0,866 \pm 0,001$ keV. Nous avons aussi calculé la résolution du détecteur : $0,064 \pm 0,001$. Ensuite, nous avons aussi calculés et observés les différents pics du spectre. En effet, nous avons observé un pic « backscatter » au canal 224 ± 1 et nous avons calculé sa position au canal 212 ± 1 , de même nous avons observé le pic du maximum de Compton au canal 544 ± 1 et nous avons calculé sa position au canal 551 ± 1 .

Par la suite, nous avons mesuré le spectre du cobalt⁶⁰, du césium¹³⁷, du sodium²², du manganèse⁵⁴. Nous avons aussi trouvé la résolution de notre détecteur en le prenant sur le plus grand pic du Cobalt comme étant $0,058 \pm 0,001$.

Pour le Cobalt⁶⁰, nous avons observé, en tout, deux photo-pics, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Le photo-pic principal avait une énergie de $1,158 \pm 0,002$ MeV et le photo-pic secondaire avait une énergie de $1,311 \pm 0,002$ MeV. Le pic « backscatter » avait une énergie de $0,247 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton lui avait une énergie de $0,929 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 672 ± 1 et donc avoir une énergie de $0,950 \pm 0,002$ MeV.

Pour le Césium¹³⁷, nous avons observé, en tout, un photo-pic, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Le photo-pic principal avait une énergie de $0,662 \pm 0,001$ MeV. Le pic « backscatter » avait une énergie de $0,212 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton lui avait une énergie de $0,460 \pm$

0,002 MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 338 ± 1 et donc avoir une énergie de $0,478 \pm 0,002$ MeV.

Pour le Sodium²², nous avons observé, en tout, un photo-pic, une annihilation de positron, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Le photo-pic principal avait une énergie de $1,239 \pm 0,002$ MeV et l'annihilation de positrons avait une énergie de $0,521 \pm 0,002$ MeV. Le pic « backscatter » avait une énergie de $0,205 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton lui avait une énergie de $1,030 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 728 ± 1 et donc avoir une énergie de $1,027 \pm 0,002$ MeV.

Pour le Manganèse⁶⁰, nous avons observé, en tout, deux photo-pics, une annihilation de positron, un pic à deux échappés, deux pics « backscatter » et deux maximums de Compton. Le photo-pic principal avait une énergie de $0,373 \pm 0,002$ MeV et le photo-pic secondaire avait une énergie de $1,365 \pm 0,002$ MeV. L'annihilation de positrons avait une énergie de $0,511 \pm 0,002$ MeV. Le pic à deux échappés (du photo-pic secondaire) avait une énergie de $0,357 \pm 0,002$ MeV. Le premier pic « backscatter » avait une énergie de $0,154 \pm 0,002$ MeV. Le pic « backscatter » secondaire avait une énergie

de $0,223 \pm 0,002$ MeV. Le premier maximum de Compton lui avait une énergie de $0,222 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 157 ± 1 et donc avoir une énergie de $0,222 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton secondaire lui avait une énergie de $1,122 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 814 ± 1 et donc avoir une énergie de $1,150 \pm 0,002$ MeV.

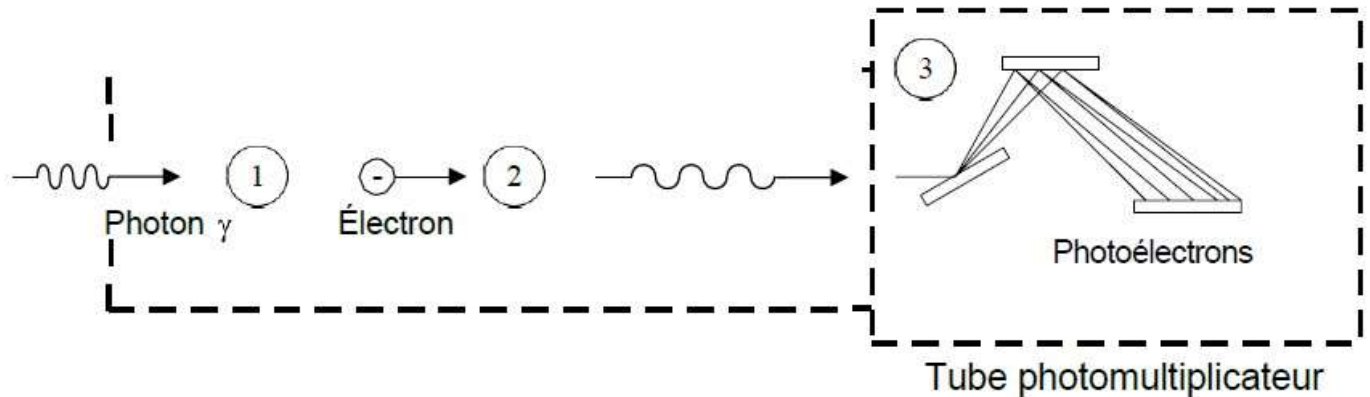
Pour la dernière partie, nous devons prendre l'aire sous la courbe du photo-pic du césium lorsque nous ajoutons des plaques de plomb pour en calculer le coefficient d'absorption μ . Nous avons calculé un coefficient d'absorption de $0,0958 \pm 0,0063$ cm²/ alors que la valeur théorique pour le plomb à cette énergie était de $0,0927 \pm 0,0002$ cm²/g.

B) schéma du montage

Matériel :

- Sources Radioactives (Co⁶⁰, Cs¹³⁷, Na²² et Mn⁵⁴)
- Plaquette de Plomb des différentes épaisseurs
- Pied à coulisse
- Détecteur de rayon Gamma (composé d'un cristal de NaI et d'un tube Photomultiplicateur)
- Analyseur Multicanaux

Figure 1 : Schéma du Détecteur de rayon gamma



C) Méthode utilisée

La détection des rayons gamma se fait en trois étapes à l'aide d'un cristal de NaI auquel a été ajouté un faible pourcentage de thallium et d'un tube photomultiplicateur (voir la figure 1):

1. Conversion à l'intérieur du cristal de l'énergie du photon gamma en énergie cinétique d'électrons qui sont produits par l'ionisation d'atomes qui interagissent avec le photon gamma.
2. Conversion à l'intérieur du cristal de l'énergie cinétique des électrons en photons lumineux (longueurs d'onde dans le visible).
3. Conversion sur la cathode du tube photomultiplicateur des photons visibles en photoélectrons et amplification du nombre de photoélectrons par les étages successifs du tube. Ces photoélectrons forment une impulsion électrique à la sortie du tube, impulsion qui est par la suite amplifiée et comptée par des circuits électroniques. L'amplitude de l'impulsion est proportionnelle à l'énergie totale déposée dans le cristal par le photon gamma initial; le comptage ou affichage final des impulsions peut donc être fait à base de la discrimination des amplitudes.

L'interaction 3 est l'effet photoélectrique habituel. L'interaction 2 est la capture de l'électron dans un piège de la maille cristalline. Pour l'interaction 1, il y a trois possibilités :

1. Effet photoélectrique

Lors de l'effet photoélectrique, la totalité de l'énergie du photon gamma, E_γ est transférée à l'électron; l'énergie cinétique de l'électron, K_e est donc égale à l'énergie du photon gamma moins son énergie de liaison à l'intérieur de l'atome et on peut écrire

$$K_e \approx E_\gamma$$

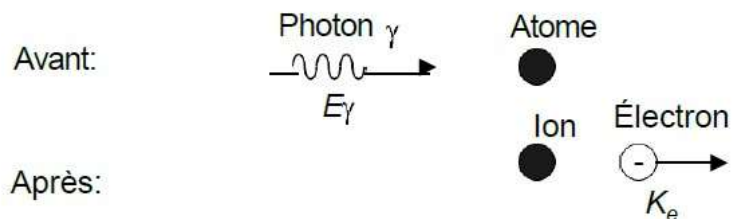


Figure 2 : Effet Photoélectrique

2. Effet Compton

Lors de l'effet Compton, une partie seulement de l'énergie du photon gamma incident est donnée à l'électron, le reste de l'énergie apparaissant sous forme d'un nouveau photon gamma. L'énergie de ce nouveau photon, $E_{\gamma'}$, est évidemment inférieure à celle du gamma incident. Dépendant de l'angle de diffusion θ du photon gamma (voir la figure), nous aurons

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{\varepsilon} (1 - \cos \theta)}$$

$$K_e = \left(\frac{\frac{E_{\gamma}}{\varepsilon} (1 - \cos \theta)}{1 + \frac{E_{\gamma}}{\varepsilon} (1 - \cos \theta)} \right) E_{\gamma}$$

$$= E_{\gamma} - E_{\gamma'}$$

Où ε l'énergie totale de l'électron (m_e , la masse de l'électron et c , la vitesse de la lumière) est donnée par

$$\varepsilon = m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$$

L'énergie cinétique maximum sera obtenue pour $\phi = 0$ et $\theta = \pi$ et

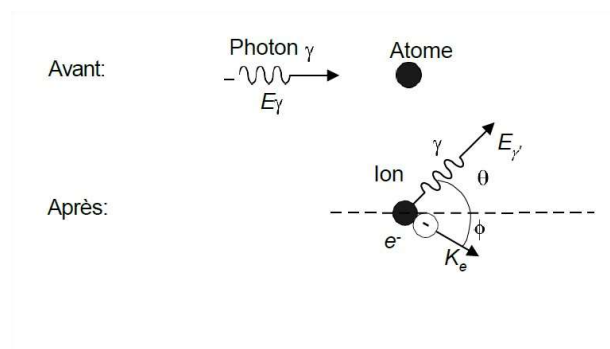


Figure 3 : Effet Compton

$$K_{e,max} = \frac{\left(\frac{2E_{\gamma}}{\varepsilon} \right) E_{\gamma}}{1 + \frac{2E_{\gamma}}{\varepsilon}}$$

L'énergie correspondante du photon gamma diffusé sera

$$E_{\gamma',min} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{2E_{\gamma}}{\varepsilon}}$$

Cependant le cas où $\theta = 0$, correspond au cas où le photon gamma n'interagit pas avec l'électron et, par conséquent, il ne perd pas d'énergie.

3. Production d'une paire électron-positron

On peut produire une paire électron-positron seulement si $E_{\gamma} = 1.022 \text{ MeV} = 2\varepsilon$. Le positron produit trouve, dans l'espace de quelques microsecondes, un électron avec lequel il s'annihile, leurs deux énergies de repos apparaissant sous forme de deux photons gamma d'une énergie de 0.511 MeV chacun.

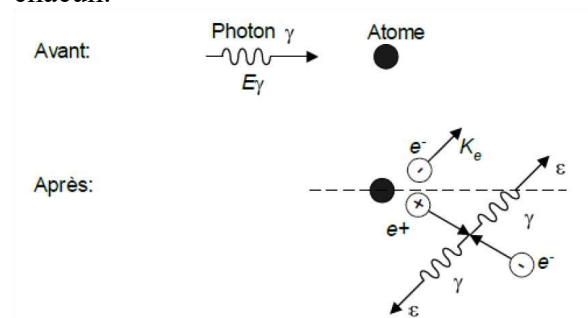


Figure 4 : Production d'une paire électron-positron

On pourrait donc retrouver certaines des caractéristiques suivantes sur le spectre de rayons gamma d'un noyau radioactif.

- Le photo-pic contient toute l'énergie du photon gamma original et est situé à $E = E_\gamma$,
- Maximum du continu de Compton situé à $E = K_{e, \max}$,
- Le continu de Compton est caractérisé par le fait que le photon diffusé s'échappe du cristal sans y avoir d'interaction, il comprend donc toutes les énergies pour lesquelles $E = E_\gamma + E_{\gamma'}$,
- Le pic à une échappée provient de la production de paires et contient toute l'énergie du photon gamma sauf ϵ il serait donc situé à $E = E_\gamma - \epsilon$
- Le pic à deux échappées provient aussi de la production de paires et contient toute l'énergie du photon gamma sauf 2ϵ il serait donc situé à $E = E_\gamma - 2\epsilon$
- Le pic du rayonnement de l'annihilation d'un positron localisé à $E = \epsilon$,
- Le pic « backscatter » situé à $E = E_\gamma - K_{e, \max}$

La figure suivante donne l'exemple d'un spectrogramme gamma sur lequel on retrouve certaines des caractéristiques discutées plus haut.

Absorption du rayonnement gamma par un milieu dense (par ex. le plomb)

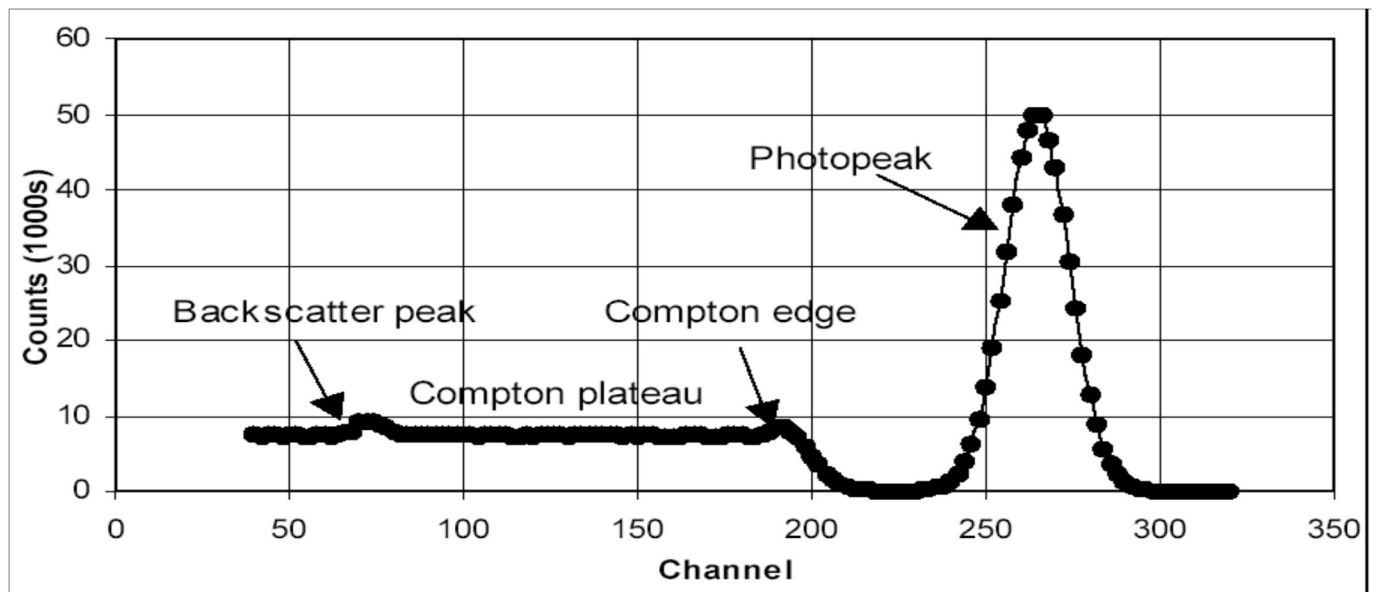
Quand un faisceau de rayons gamma traverse un milieu dense, chaque interaction d'un photon gamma avec un électron ou un noyau l'enlève totalement du faisceau incident. La perte d'intensité ΔI quand un faisceau d'intensité I (nombre de photons gamma par seconde) traverse une épaisseur Δx du milieu est donnée par

$$\frac{\Delta I}{I} = -\eta\sigma\Delta x$$

Où η est la densité d'électrons (nombre d'électrons/m³). σ , la section efficace pour une collision (m²/électron). L'intensité du faisceau après qu'il aura traversé une épaisseur x du matériel sera donc

$$\begin{aligned} I(x) &= I(0)\exp(-\eta\sigma x) \\ &= I(0)\exp\left(-\frac{\eta\sigma}{\rho}(x\rho)\right) \\ &= I(0)\exp(-\mu s) \end{aligned}$$

Où μ est le coefficient d'absorption de masse (m²/kg) et s , l'épaisseur massique du milieu traversé (kg/m²).



2.Déroulement des manipulations

Partie 1

- a) Il faut commencer par calibrer l'analyseur multicanaux. Pour ce faire nous utiliserons la source de Cs₁₃₇ dont nous supposons que nous connaissons l'énergie du photo-pic (.662 MeV). Prenez donc un spectre du Cs₁₃₇; déterminez le canal où se trouve le photo-pic, calculez le facteur énergie par canal (keV/canal) qui vous permettra de trouver les énergies correspondant à chacun des canaux.
- b) Calculez la résolution du détecteur qui est donnée comme étant le rapport de la largeur du photo-pic à mi-hauteur sur la position absolue du photo-pic.
- c) Calculez les canaux dans lesquels vous devriez trouver les énergies correspondant au maximum de Compton et au pic « backscatter ».
- d) Calculez les pourcentages

$$\frac{\text{Coups Compton}}{\text{Coups totaux}}$$

$$\frac{\text{Coups Photopic}}{\text{Coups totaux}}$$

Ainsi que le rapport

$$\frac{\text{Coups Photopic}}{\text{Coups Compton}}$$

Partie 2

- a) Enregistrez les spectres du Co₆₀, Cs₁₃₇, Na₂₂ et Mn₅₄, tous au même gain et sous les mêmes conditions de temps. Ajustez le gain sur le spectre du Co₆₀, qui a les rayons-gamme les plus énergétiques des 4 sources. Soyez sûr d'inclure tous les rayons gamma du Co₆₀ (ce noyau a deux photo-pics) avant de procéder à la série d'enregistrements.
- b) Étudiez ces quatre spectres. Sur chacun de ces spectres, calculez l'énergie des pics qui y apparaissent et identifiez leur origine (photo-

pic, pic d'échappement, etc.). Indiquez le canal où devrait être l'énergie maximale d'un électron Compton.

- c) Calculez la résolution du photo-pic le plus énergétique du spectre du Co₆₀ et comparez ce chiffre avec la résolution du pic du Cs₁₃₇ calculée précédemment.

Partie 3

- a) Placez la source de Cs₁₃₇ à 4 ou 5 centimètres du cristal. Ajustez le gain afin que le photo-pic soit aux environs du canal 800. Prendre un spectre pour une période déterminé et mesurez l'aire sous la courbe du photo-pic.
- b) Remesurez le spectre du Cs₁₃₇ avec le même gain et pour la même période mais en interposant à tour de rôle entre la source et le cristal six absorbeurs en plomb d'épaisseurs croissantes. Dans chacun des cas, calculez l'aire sous la surface du photo-pic.
- c) Pesez et mesurez les absorbeurs. Calculez l'épaisseur de chaque absorbeur en unités de gr/cm².
- d) Faites un graphique de du logarithme naturel l'aire sous la courbe du photo-pic en fonction de l'épaisseur de l'absorbeur (en gr/cm²). Calculez la valeur du coefficient d'absorption μ et comparez sa valeur à la valeur acceptée pour le plomb à cette énergie.

3.Résultats

Partie 1 :

Graphique 1 : Relevé du spectrogramme Gamma pour le Césium-127

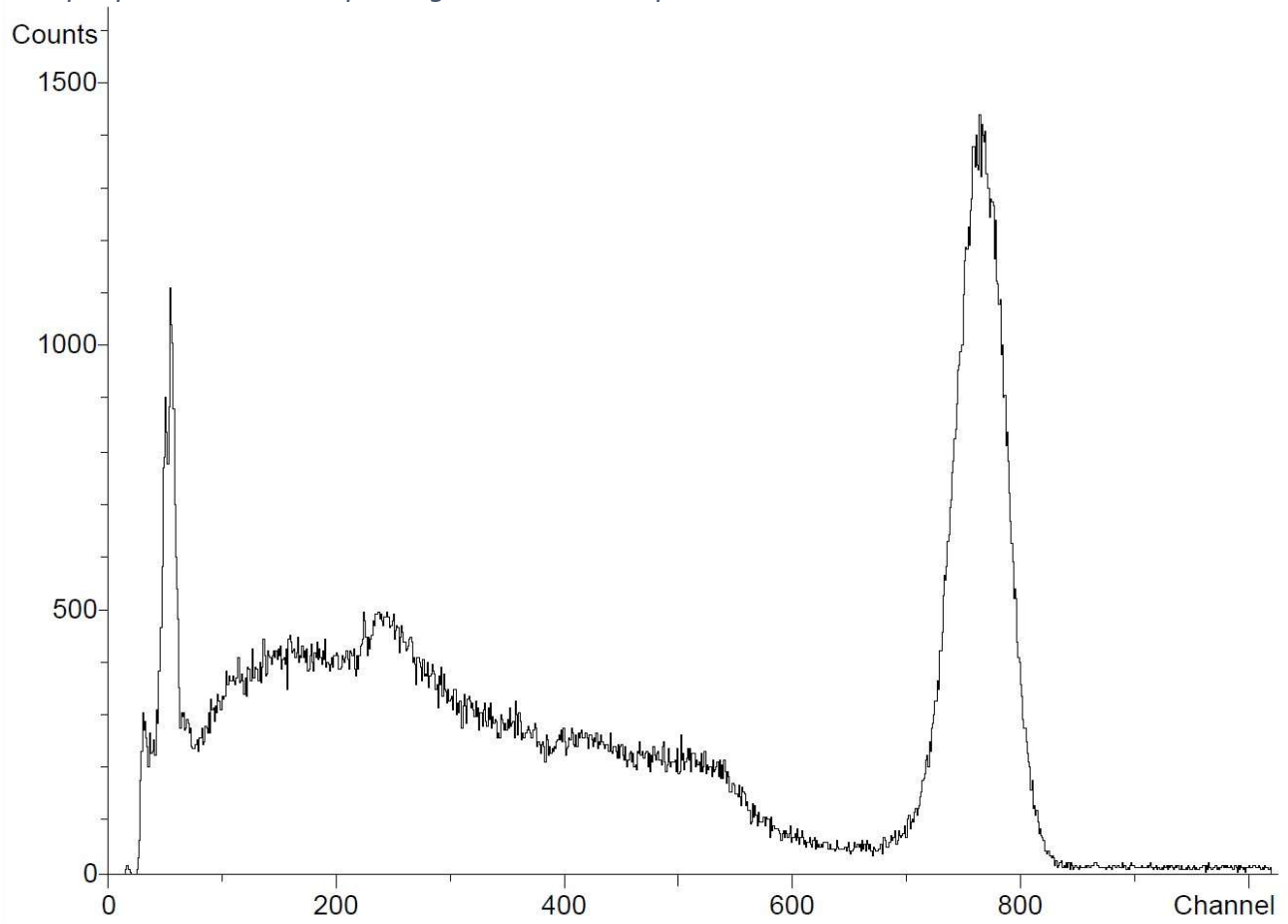


Tableau 1 : donnée de Calibration pour la partie 1

<i>Canal du Photo-pic</i>	764 ± 1
<i>Largeur mi-hauteur Photo-pic</i>	49 ± 1
<i>Énergie du Photo-pic (MeV)</i>	$0,662 \pm 0,001$
<i>Énergie par canal (KeV)</i>	$0,866 \pm 0,001$
<i>Résolution du Détecteur</i>	$0,064 \pm 0,001$

Tableau 2 : Position calculé et observé des Pics

	<i>Canal ± 1</i>
<i>Maximum Compton Observé</i>	544
<i>Maximum Compton Calculé</i>	551
<i>Pic backscatter Observé</i>	224
<i>Pic backscatter Calculé</i>	212

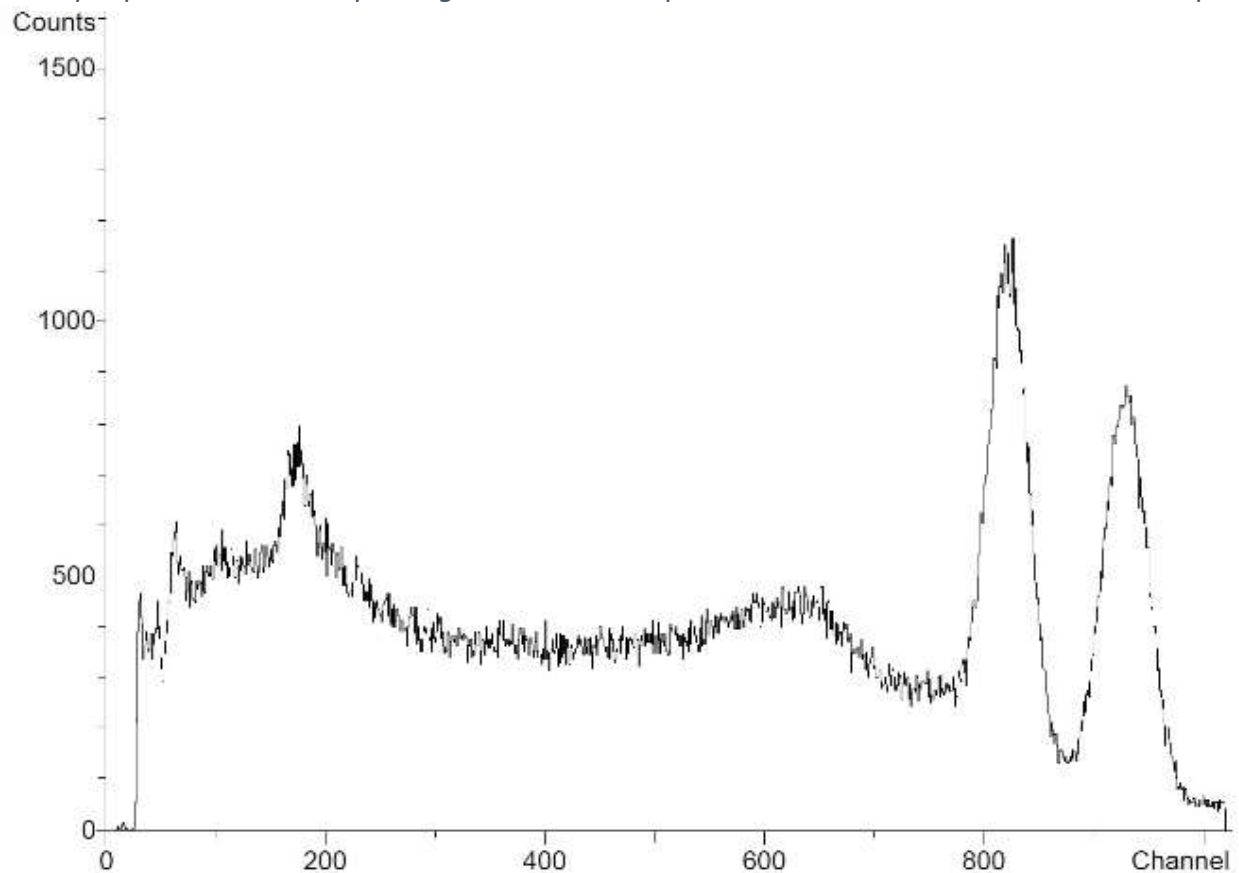
Tableau 3 : Rapport des Coups des pics et des coups totaux

Nb coups Compton ± 500	93100
Nb coups Photo-pic ± 500	78400
Nb coups totaux ± 1	240792
Pourcentage $\frac{\text{Coups Compton}}{\text{Coups totaux}}$	$38,7 \pm 0,2\%$
Pourcentage $\frac{\text{Coups Photo-pic}}{\text{Coups totaux}}$	$32,6 \pm 0,2\%$
Rapport $\frac{\text{Coups Photopic}}{\text{Coups Compton}}$	$0,842 \pm 0,007$:1

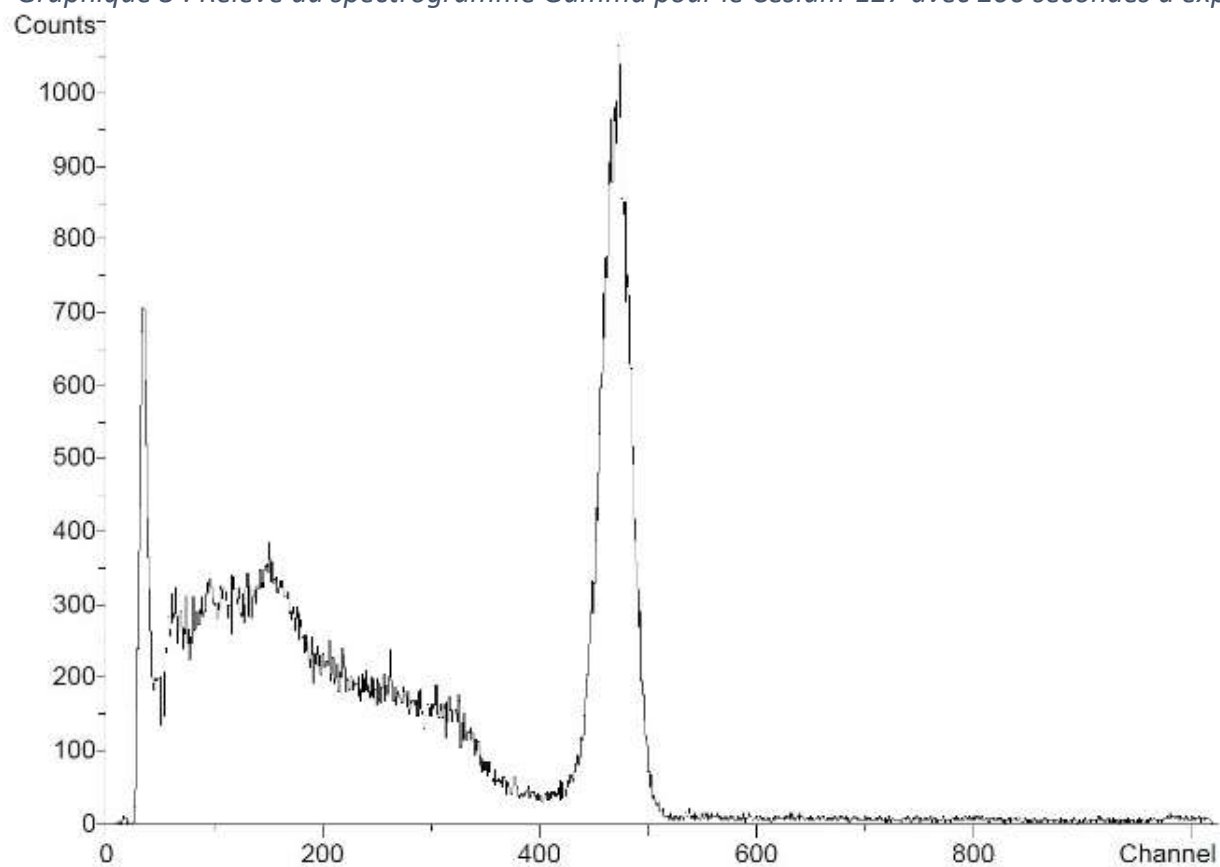
**l'incertitude élevé sur le nombre de coups Compton et Photo-pic sont dû à la difficulté de choisir où commence les pics*

Partie 2 :

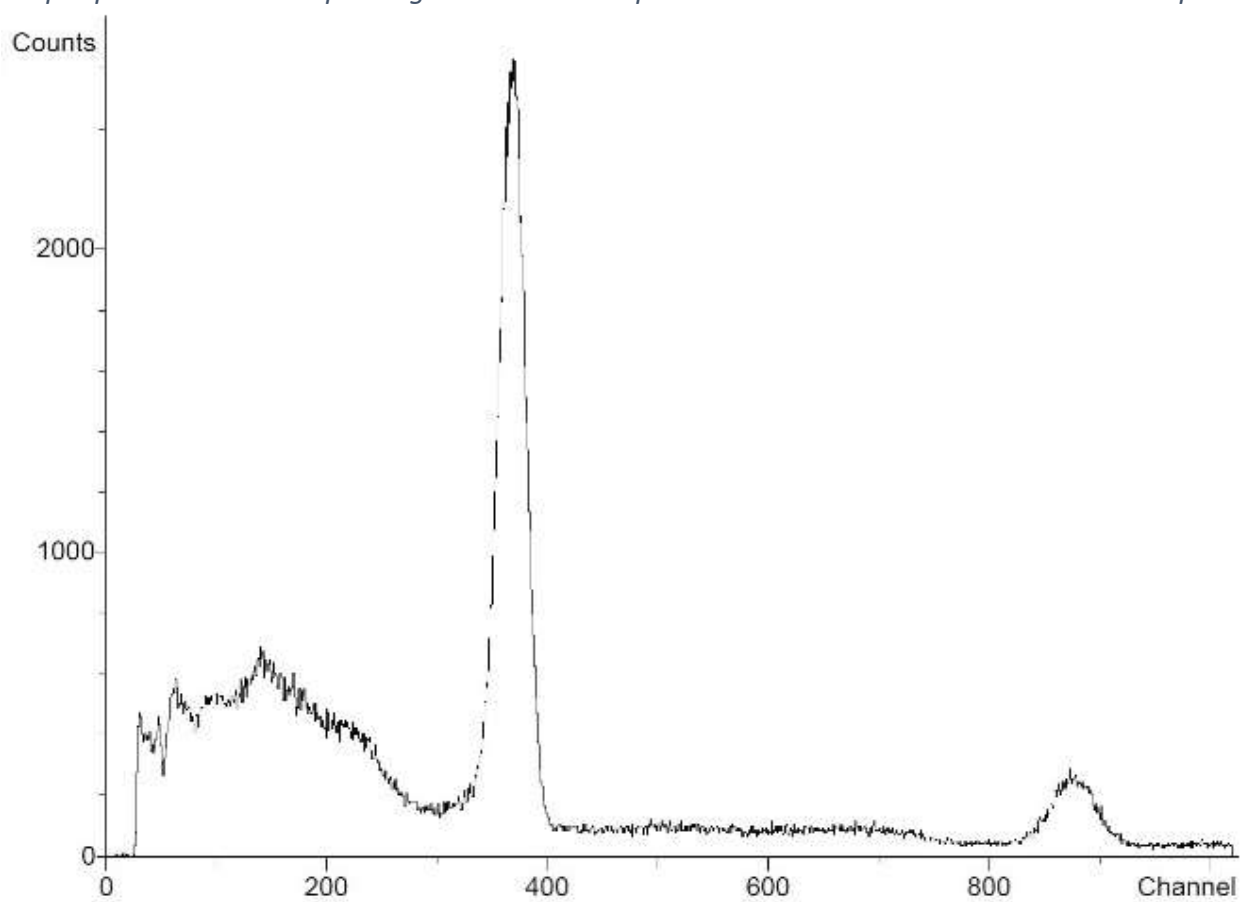
Graphique 2 : Relevé du spectrogramme Gamma pour le Cobalt-60 avec 200 secondes d'exposition



Graphique 3 : Relevé du spectrogramme Gamma pour le Césium-127 avec 200 secondes d'exposition



Graphique 4 : Relevé du spectrogramme Gamma pour le Sodium-22 avec 200 secondes d'exposition



Graphique 5 : Relevé du spectrogramme Gamma pour le Manganèse-54 avec 200 secondes d'exposition

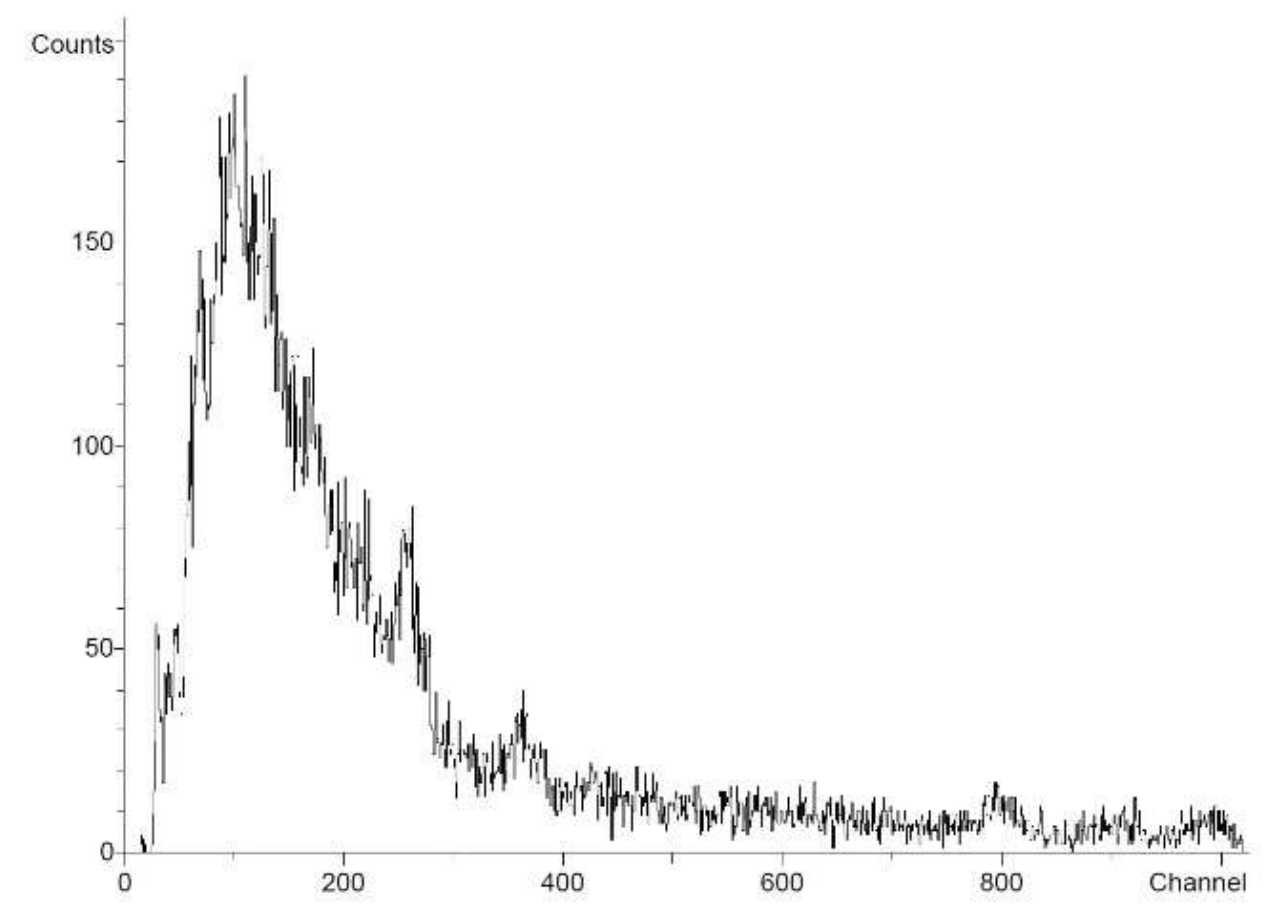


Tableau 4 : donnée de Calibration pour la partie 2

Canal du Photo-pic du Césium	469 ± 1
Énergie du Photo-pic du Césium (MeV)	$0,662 \pm 0,001$
Énergie par canal (KeV)	$1,411 \pm 0,001$
Résolution du plus grand Photo-pic du Cobalt-60	$0,058 \pm 0,001$

Tableau 5 : Position calculé et observé des Pics du Cobalt-60

	Canal ± 1	Énergie (MeV) $\pm 0,002$
Photo-pic Principal Observé	821	1,158
Photo-pic Secondaire Observé	929	1,311
Pic backscatter Observé	175	0,247
Maximum Compton Observé	658	0,929
Maximum Compton Calculé	672	0,950

Tableau 6 : Position calculé et observé des Pics du Césium -137

	Canal ± 1	Énergie (MeV)
Photo-pic Principal Observé	469	$0,662 \pm 0,001$
Pic backscatter Observé	150	$0,212 \pm 0,002$
Maximum Compton Observé	326	$0,460 \pm 0,002$
Maximum Compton Calculé	338	$0,478 \pm 0,002$

Tableau 7 : Position calculé et observé des Pics du Sodium-22

	Canal ± 1	Énergie (MeV) $\pm 0,002$
Photo-pic Principal Observé	878	1,239
Annihilation d'un positron	369	0,521
Pic backscatter Observé	145	0,205
Maximum Compton Observé	730	1,030
Maximum Compton Calculé	728	1,027

Tableau 8 : Position calculé et observé des Pics du Manganèse-54

	Canal ± 1	Énergie (MeV) $\pm 0,002$
Photo-pic Principal Observé	264	0,373
Annihilation d'un positron	362	0,511
Pic backscatter Principal Observé	109	0,154
Maximum Compton Principal Observé	157	0,222
Maximum Compton Principal Calculé	157	0,222
Photo-pic Secondaire Observé	967	1,365
Pic à 2 échappés (du photo-pic secondaire)	253	0,357
Pic backscatter Secondaire Observé	158	0,223
Maximum Secondaire Compton Observé	795	1,122
Maximum Secondaire Compton Calculé	814	1,150

Partie 3 :

Graphique 6 : Relevé du spectrogramme Gamma pour le Césium-127 avec atténuations par le plomb

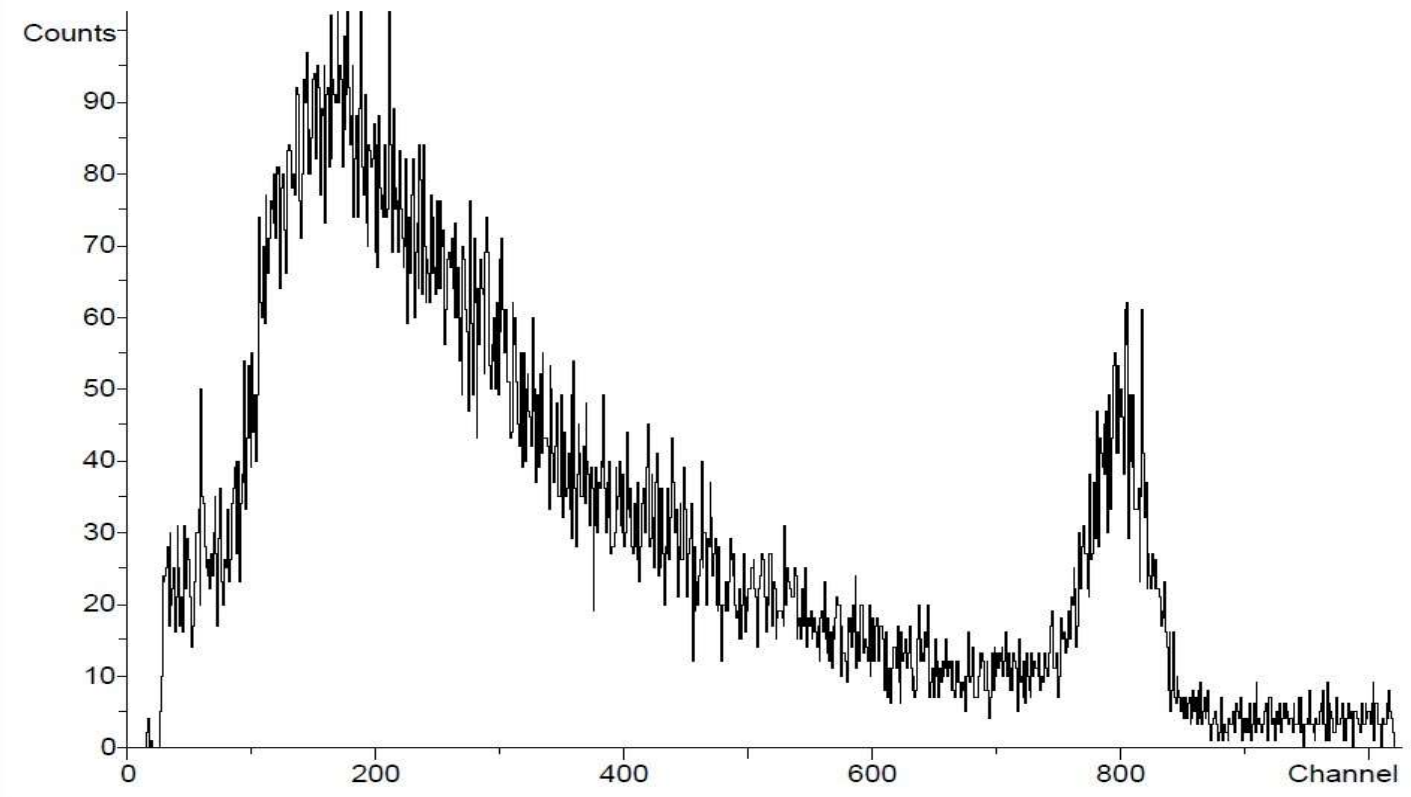


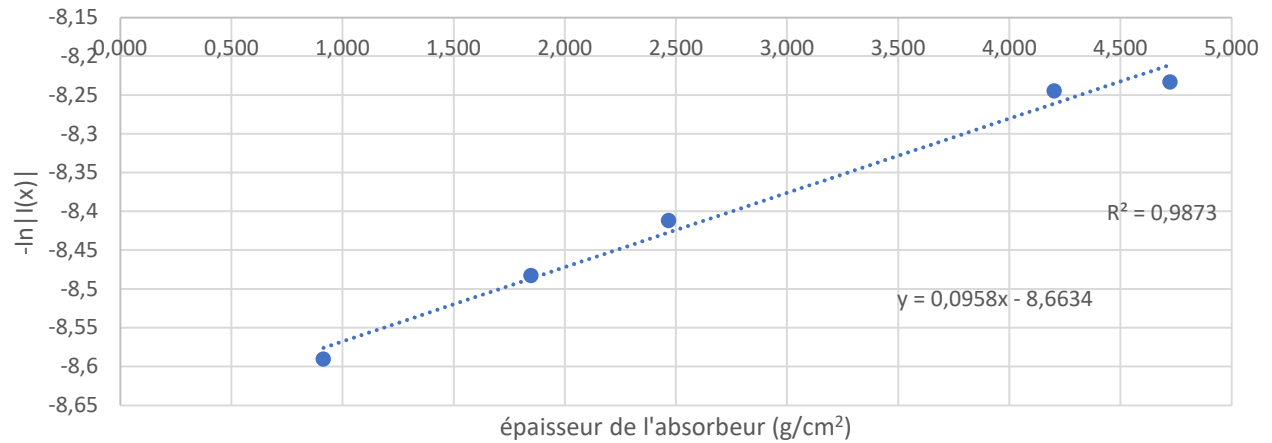
Tableau 9 : Mesure et poids des pastilles

	Masse (g) $\pm 0,01$	Diamètre (Mm) $\pm 0,01$	Épaisseur (g/cm ²) $\pm 0,001$
Pastille 1	16,07	47,32	0,914
Pastille 2	32,45	47,28	1,848
Pastille 3	43,49	47,38	2,467
Pastille 4	74,01	47,36	4,201
Pastille 5	83,05	47,32	4,722
Pastille 6	118,49	47,36	6,726

Tableau 10 : Nombre de Coups pour chaque pastille

	Aire sous la courbe du photo-pic ± 1
Pastille 1	5379
Pastille 2	4829
Pastille 3	4499
Pastille 4	3916
Pastille 5	3762
Pastille 6	2926

Graphique 7 : logarithme naturel de l'intensité $I(x)$, en fonction de l'épaisseur de l'absorbeur



Ici, les barres d'incertitudes sont trop petites pour être visibles

Coefficient de corrélation R^2 :

$$R^2 = 0,9973$$

L'utilisation du programme (formule du programme Excel) DROITEREG a permis de calculer la pente de la droite de régression ainsi que son incertitude avec la formule des moindres carrés.

Pente de la droite de régression	0,0958 cm²/g
Incertitude sur la pente de régression	0,0063 cm²/g

Tableau 11 : Comparaison des coefficients d'absorption

Valeur expérimentale du coefficient d'absorption de masse (cm²/g)	$0,0958 \pm 0,0063$
Valeur théorique du coefficient d'absorption de masse (cm²/g)	$0,0927 \pm 0,0002$

Figure 5 : donnée relative aux sources radioactives

Isotope	Activity (μ Ci)	Half-life	Peaks of Interest Gamma (MeV)
Barium-133	1 μ Ci	10.8 years	0.081, 0.276, 0.303, 0.356, 0.384
Cadmium-109	1 μ Ci	463 days	0.022, 0.025, 0.088
Cesium-137	0.1 μ Ci	30.2 years	0.662
Cobalt-57	1 μ Ci	272 days	0.122, 0.136
Cobalt-60	1 μ Ci	5.27 years	1.173, 1.333
Manganese-54	1 μ Ci	313 days	0.835
Sodium-22	1 μ Ci	2.6 years	0.511, 1.275
Zinc-65	1 μ Ci	244 days	1.115.5

Exemple de calcul :

Calcul de l'énergie par canal :

$$E_{\text{canal}} = \frac{\text{énergie du photopic}}{\text{no de canal du photopic}}$$

$$E_{\text{canal}} = \frac{0,662 \text{ KeV}}{764}$$

$$E_{\text{canal}} = 0,866 \text{ KeV}$$

Calcul de l'incertitude de l'énergie par canal :

$$\frac{\delta(E_{\text{canal}})}{E_{\text{canal}}} = \sqrt{\left(\frac{\delta E \text{ du photopic}}{E \text{ du photopic}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{no canal photopic}}{\text{no canal photopic}}\right)^2}$$

$$\delta E_{canal} = 0,668 \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,662}\right)^2 + \left(\frac{1}{764}\right)^2}$$

$$\delta E_{canal} = 0,001 \text{ KeV}$$

Calcul de la résolution du détecteur:

$$\text{Résolution} = \frac{\text{largeur mi hauteur photopic}}{\text{no de canal du photopic}}$$

$$E_{canal} = \frac{49}{764}$$

$$E_{canal} = 0,064$$

Calcul de l'incertitude de la résolution du détecteur:

$$\frac{\delta(\text{Résolution})}{\text{Résolution}} = \sqrt{\left(\frac{\delta \text{largeur mi hauteur photopic}}{\text{largeur mi hauteur photopic}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{no de canal}}{\text{no de canal}}\right)^2}$$

$$\delta \text{Résolution} = 0,064 \sqrt{\left(\frac{1}{49}\right)^2 + \left(\frac{1}{764}\right)^2}$$

$$\delta \text{Résolution} = 0,001$$

Calcul du pourcentage coups photo-pic sur coups totaux:

$$\text{Pourcentage} = \frac{\text{Coups Photopic}}{\text{Coups totaux}} * 100$$

$$\text{Pourcentage} = \frac{78396}{240792} * 100$$

$$\text{Pourcentage} = 32,558 \%$$

Calcul de l'incertitude du pourcentage coups photo-pic sur coups totaux:

$$\frac{\delta(\text{Pourcentage})}{\text{Pourcentage}} = \sqrt{\left(\frac{\delta \text{Coups Photopic}}{\text{Coups Photopic}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{Coups totaux}}{\text{Coups totaux}}\right)^2}$$

$\delta \text{Pourcentage}$

$$= 32,6\% \sqrt{\left(\frac{500}{78396}\right)^2 + \left(\frac{1}{240792}\right)^2}$$

$$\delta \text{Pourcentage} = 0,2 \%$$

Calcul de l'énergie d'un pic:

$$\text{Énergie} = \text{canal} * \text{énergie par canal}$$

$$\text{Énergie} = 821 * 1,411$$

$$\text{Énergie} = 1,158 \text{ MeV}$$

Calcul de l'incertitude de l'énergie d'un pic:

$$\frac{\delta(\text{Énergie})}{\text{Énergie}} = \sqrt{\left(\frac{\delta \text{canal}}{\text{canal}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{énergie par canal}}{\text{énergie par canal}}\right)^2}$$

$$\delta \text{Énergie} = 1,158 \sqrt{\left(\frac{1}{821}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1,411}\right)^2}$$

$$\delta \text{Énergie} = 0,002$$

Calcul de la position d'un pic (exemple avec un pic de Backscatter) :

$$\text{position} = (E_{\gamma} - K_{e,max}) \times \text{énergie par canal}$$

$$\text{position} = \left(E_{\gamma} - \frac{\left(\frac{2E_{\gamma}}{\varepsilon} \right) E_{\gamma}}{1 + \frac{2E_{\gamma}}{\varepsilon}} \right) \times \text{énergie par canal}$$

$$\text{position} = \left(0,662 - \frac{\left(\frac{2 \times 0,662}{0,511} \right) 0,662}{1 + \frac{2 \times 0,662}{0,511}} \right) \times 1,441$$

$$\text{position} = 212$$

Calcul de l'incertitude de la position d'un pic (exemple avec un pic de Backscatter):

$$\frac{\delta(\text{position})}{\text{position}} = \sqrt{\left(\frac{\delta E_\gamma}{E_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{énergie par canal}}{\text{énergie par canal}}\right)^2}$$

$$\delta \text{position} = 212 \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,662}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{0,511}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1,411}\right)^2}$$

$$\delta \text{position} = 1$$

Calcul de l'épaisseur d'une pastille :

$$\text{Épaisseur} = \frac{\text{masse}}{\text{aire de la surface}}$$

$$\text{Épaisseur} = \frac{16,07}{\pi \left(\frac{4,732}{2}\right)^2}$$

$$\text{Épaisseur} = 0,914 \text{ g/cm}^2$$

Calcul de l'incertitude de l'épaisseur d'une pastille:

$$\frac{\delta(\text{Épaisseur})}{\text{Épaisseur}} = \sqrt{\left(\frac{\delta \text{masse}}{\text{masse}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \text{aire de la surface}}{\text{aire de la surface}}\right)^2}$$

$$\delta \text{Épaisseur} = 0,914 \sqrt{\left(\frac{0,01}{16,07}\right)^2 + \left(\frac{0,007}{17,586}\right)^2}$$

$$\delta \text{Épaisseur} = 0,001 \text{ g/cm}^2$$

4. Analyse :

Dans la première partie de cette expérience, nous devons étudier les spectres gamma de

plusieurs sources radioactives. Nous avons commencé par calibrer le détecteur avec la source de Césium¹³⁷ et nous avons trouvé que le photo-pic était situé au canal 764 ± 1 , puisque nous savions que ce photo-pic avait pour énergie $0,662 \pm 0,001$ MeV nous avons trouvé qu'avec notre calibration nous avions un facteur d'énergie par canal de $0,866 \pm 0,001$ keV. Nous avons aussi trouvé la résolution de notre détecteur comme étant $0,064 \pm 0,001$. Nous avons aussi calculé et observé les différents pics du spectre. En effet, nous avons observé un pic « backscatter » au canal 224 ± 1 et nous avons calculé sa position au canal 212 ± 1 , de même nous avons observé le pic du maximum de Compton au canal 544 ± 1 et nous avons calculé sa position au canal 551 ± 1 . On peut voir que les pics observés et calculés sont toujours assez près, mais pas dans leur limite d'incertitude, nous expliquons cela par le fait que les pics ont plutôt une forme de « bosse » et sont assez aplatis, il est donc difficile de trouver leur centre avec précision. On peut voir au tout début du spectre une grande quantité d'émission qui a une énergie qui n'est prévu pour aucun pic, nous avons donc considéré cela comme une anomalie provenant sûrement d'un autre appareil du laboratoire ou d'un problème avec la pastille de Césium car nous n'avons rencontré ce problème avec aucune autre source radioactive. Nous avons finalement, calculé les pourcentages coups Compton sur coups totaux qui est de $38,7 \pm 0,2\%$ coups Photo-pic sur coups totaux qui est de $32,6 \pm 0,2\%$, ainsi que le rapport coups Photo-pic sur coups Compton $0,842 \pm 0,007 : 1$.

Nous avons ensuite recalibré notre détecteur en ajustant le gain pour inclure tous les

photo-pics du Cobalt⁶⁰. Pour cette calibration le facteur d'énergie par canal de $1,411 \pm 0,001$ keV. Nous avons aussi trouvé la résolution de notre détecteur en le prenant sur le plus grand pic du Cobalt comme étant $0,058 \pm 0,001$. Avec ces données de calibration, nous avons étudié les spectres gamma de plusieurs Isotopes avec le même temps d'exposition et nous avons identifié chacun de leurs pics.

Pour le Cobalt⁶⁰, nous avons observé, en tout, deux photo-pics, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Le photo-pic principal avait une énergie de $1,158 \pm 0,002$ MeV et le photo-pic secondaire avait une énergie de $1,311 \pm 0,002$ MeV. Le pic « backscatter » avait une énergie de $0,247 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton lui avait une énergie de $0,929 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 672 ± 1 et donc avoir une énergie de $0,950 \pm 0,002$ MeV. On voit que les points observés et calculés sont encore assez près, mais toujours hors de leur limite d'incertitude.

Pour le Césium¹³⁷, nous avons observé, en tout, un photo-pic, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Le photo-pic principal avait une énergie de $0,662 \pm 0,001$ MeV. Le pic « backscatter » avait une énergie de $0,212 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton lui avait une énergie de $0,460 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 338 ± 1 et donc avoir une énergie de $0,478 \pm 0,002$ MeV. On voit que les points observés et calculés sont encore assez près, mais toujours hors de leur limite d'incertitude.

Pour le Sodium²², nous avons observé, en tout, un photo-pic, une annihilation de positron, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Le photo-pic

principal avait une énergie de $1,239 \pm 0,002$ MeV et l'annihilation de positrons avait une énergie de $0,521 \pm 0,002$ MeV. Le pic « backscatter » avait une énergie de $0,205 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton lui avait une énergie de $1,030 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 728 ± 1 et donc avoir une énergie de $1,027 \pm 0,002$ MeV. On voit que les points observés et calculés sont très près, ils sont même dans la limite de leur incertitude.

Pour le Manganèse⁶⁰, nous avons observé, en tout, deux photo-pics, une annihilation de positron, un pic à deux échappés, deux pics « backscatter » et deux maximums de Compton. En effet, comme les autres nous avons remarqué qu'il avait beaucoup de pics du canal 0 à 400 et on pouvait trouver un photo-pic, une annihilation de positron, un pic backscatter et un maximum de Compton, mais certains pics observés ne correspondaient à rien de ce que nous étions supposé trouver. De plus, on peut voir trois bosses assez faibles à partir du canal 800, nous en avons donc pris une comme un photo-pic secondaire et cela a permis d'identifier toutes les bosses et les pics restants. Le photo-pic principal avait une énergie de $0,373 \pm 0,002$ MeV et le photo-pic secondaire avait une énergie de $1,365 \pm 0,002$ MeV. L'annihilation de positrons avait une énergie de $0,511 \pm 0,002$ MeV. Le pic à deux échappés (du photo-pic secondaire) avait une énergie de $0,357 \pm 0,002$ MeV. Le premier pic « backscatter » avait une énergie de $0,154 \pm 0,002$ MeV. Le pic « backscatter » secondaire avait une énergie de $0,223 \pm 0,002$ MeV. Le premier maximum de Compton lui avait une énergie de $0,222 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 157 ± 1 et donc avoir une énergie de $0,222 \pm 0,002$ MeV. Le maximum de Compton secondaire

lui avait une énergie de $1,122 \pm 0,002$ MeV et nous avons calculé qu'il aurait dû se trouver au canal 814 ± 1 et donc avoir une énergie de $1,150 \pm 0,002$ MeV. On voit que les points observés et calculés sont encore assez près, mais pas toujours dans leur limite d'incertitude.

Nous pouvons donc constater que nos observations sont généralement assez bonnes et précises. Il est à noter que le graphique du Manganèse ne contient que très peu de « coups » au total comparé aux autres, et cela, avec le même temps d'exposition, nous pouvons expliquer cela par le fait que le manganèse²² à une demi-vie de 2,6 ans et que l'échantillon date de 2011, il a donc perdu une grande partie de sa masse. Ce nombre réduit fait en sorte que la courbe est beaucoup moins lisse, mais nous avons fait un test avec un temps d'exposition beaucoup plus long (que nous n'avons pas mis dans le rapport) et les pics étaient au même endroit. Aussi la figure 5 nous renseigne sur les pics notables de nos sources et nous pouvons voir que pour le césium et le sodium nous avons trouvé les pics, mais pour le cobalt il semble que nous en ayons manqué un des deux et pour le manganèse nous n'avons pas du tout de pics à cet endroit.

Pour la dernière partie, nous devons prendre l'aire sous la courbe du photo-pic du césium lorsque nous ajoutons des plaques de plomb pour en calculer le coefficient d'absorption μ . Nous avons calculé un coefficient d'absorption de $0,0958 \pm 0,0063$ cm²/g à l'aide de l'outil DROITREG alors que la valeur théorique pour le plomb à cette énergie était de $0,0927 \pm 0,0002$ cm²/g. Notre coefficient de régression était de 0,9873 ce qui est très proche de 1 ce qui veut

dire que nos valeurs sont assez bonnes, de plus, notre incertitude englobe la valeur théorique. Nous avons dû rejeter la valeur de la plaque de plomb la plus épaisse pour faire notre graphique, car elle nous éloignait beaucoup de la valeur théorique et lorsque nous avons pris nos mesures la plaque était tellement épaisse qu'elle nous empêchait de refermer le couvercle de notre détecteur et ainsi pouvait modifier nos données recueillis.

5. Conclusion :

Cette expérience avait pour but de mesurer les spectres gamma de plusieurs sources radioactives et en identifier les parties et de Mesurer l'atténuation du rayonnement gamma par le plomb. Pour la première partie nous avons trouvé que le césium émet un photo-pic, un pic de backscatter et un maximum de Compton. Avec l'énergie du photo-pic (0,662 MeV), nous avons pu calculer un facteur d'énergie par canal de 0,866 keV. Nous avons aussi calculé la résolution du détecteur : 0,064. Et nous avons observé le photo-pic au canal 764. Nous avons aussi calculé et observé les différents pics du spectre. En effet, nous avons observé un pic « backscatter » au canal 224 et nous avons calculé sa position au canal 212, de même nous avons observé le pic du maximum de Compton au canal 544 et nous avons calculé sa position au canal 551.

Ensuite nous avons mesurer le spectre du cobalt⁶⁰, du césium¹³⁷, du sodium²², du manganèse⁵⁴. Nous avons aussi trouvé la résolution de notre détecteur en le prenant sur le plus grand pic du Cobalt comme étant 0,058. Pour le Cobalt⁶⁰, nous avons observé, en tout, deux photo-pics, un pic

« backscatter » et un maximum de Compton. Pour le Césium¹³⁷, nous avons observé, en tout, un photo-pic, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Pour le Sodium²², nous avons observé, en tout, un photo-pic, une annihilation de positron, un pic « backscatter » et un maximum de Compton. Pour le Manganèse⁶⁰, nous avons observé, en tout, deux photo-pics, une annihilation de positron, un pic à deux échappés, deux pics « backscatter » et deux maximums de Compton. Pour la dernière partie, nous devons prendre l'aire sous la courbe du photo-pic du césium lorsque nous ajoutons des plaques de plomb pour en calculer le coefficient d'absorption μ . Nous avons calculé un coefficient d'absorption de 0,0958 cm²/ alors que la valeur théorique pour le plomb à cette énergie était de 0,0927 cm²/g. Si nous avions à refaire cette expérience nous nous servirions de la valeur énergétique connue de plusieurs pics pour avoir un calibration plus précise, aussi on pourrait tester l'absorption avec plus de plaquette en s'assurant que le couvercle ne s'ouvre pas. D'ailleurs il serait intéressant de voir si une autre pastille de césium produirait la même anomalie que celle que nous avons testée.

6. Référence :

[1] R. Quivy. Coefficients d'absorption gamma. Journal de Physique, 1966, 27 (1-2), pp.94-96. 10.1051/jphys:01966002701-209400 . jpa-00206373 <https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00206373>

[2] protocole Rayonnement Gamma Disponible sur le portail de Cours