

PARTIE A

I.	PARTIE THEORIQUE.....	2
1.	LA SPECTROMETRIE GAMMA.....	2
a.	Définition.....	2
b.	Principe de la spectrométrie gamma.....	3
2.	ORIGINE des RAYONS GAMMAS.....	5
a)	Phénomène d'annihilation.....	5
b)	Emission des rayons gammas par des nucléides.....	5
3.	INTERACTION ENTRE RAYON GAMMA et MATIERE.....	6
a)	Les mécanismes d'interaction.....	6
b)	L'effet photoélectrique.....	7
c)	L'effet Compton.....	8
d)	La création de paires (e^+ ; e^-).....	9
4.	ATTENUATIONS des PHOTONS.....	11
5.	GENERALITE sur le Césium-137	
a.	Origines et propriétés du césium.....	12
b.	Le césium - 137.....	13
II.	METHODOLOGIE.....	17
1.	GENERALITES sur le DETECTEUR.....	17
a)	Rôle du détecteur.....	17
b)	Les différents types de détecteur.....	17
c)	La chaîne de détection.....	17
2.	LE BLINDAGE.....	22
3.	ETALONNAGE.....	23
a)	Le choix du gain.....	24
b)	Etalonnage en énergie du détecteur.....	25

TABLE des MATIÈRES

4. PREPARATION des ECHANTILLONS.....	25
--------------------------------------	----

PARTIE B

I. ANALYSE de SPECTRES du RAYON GAMMA.....	27
1. ETUDE du SPECTRE de la SOURCE ETALON de l'IODE-131.....	27
2. ETUDE du SPECTRE du BRUIT DE FOND.....	28
3. ETUDE de SPECTRES des ECHANTILLONS.....	29
a) Méthode du choix de la région d'intérêt.....	29
b) Etude du spectre des échantillons.....	34
II. INTERPRETATION des RESULTATS OBTENUS.....	39
1. INTERPRETATIONS CONCERNANT l'ETALLONNAGE en ENERGIE.....	39
2. INTERPRETATIONS CONCERNANT le SPECTRE de l'ECHANTILLON.....	39
a) La région d'intérêt du césium 137.....	39
b) Interprétations des résultats pour les spectres des échantillons.....	40
CONCLUSION.....	42

RESUME

ABSTRACT

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE et WEBOGRAPHIE

LISTE des FIGURES

Figure 1 : Schéma montrant les différentes radiations	2
Figure 2 : Schéma simplifié d'une chaîne détecteur.....	3
Figure 3 : Modèle de spectre d'un rayonnement gamma.....	4
Figure 4 : Le phénomène d'annihilation.....	5
Figure 5 : La désexcitation d'un atome.....	6
Figure 6 : Le déroulement de l'effet photoélectrique.....	7
Figure 7 : L'effet Compton.....	8
Figure 8 : Le phénomène de création de paires.....	10
Figure 9 : Atténuation du rayon gamma dans la matière.....	11
Figure 10 : Schéma de désintégration du Cs – 137.....	14
Figure 11 : Schéma simplifié d'un détecteur à gaz.....	17
Figure 12 : Schéma simplifié d'un scintillateur.....	18
Figure 13 : Schéma simplifié d'un détecteur à semi-conducteur.....	18
Figure 14 : Image d'un détecteur CZT.....	19
Figure 15 : Image du détecteur avec le préamplificateur.....	20
Figure 16 : Image du palmtop.....	21
Figure 17 : Schéma simplifié d'une chaîne de détection.....	21
Figure 18 : Image d'une chaîne de mesure.....	22
Figure 19 : Schéma du blindage.....	23
Figure 20 : Coupe transversale du blindage.....	23
Figure 21 : Image du blindage en plomb.....	23
Figure 22 : L'abaque pour choisir le gain fin et le gain grossier.....	24
Figure 23 : Le lieu de prélèvement.....	26

LISTE des FIGURES

Figure 24 : Sol dans le porte échantillon.....	26
Figure 25 : Spectre de la source étalon d'iode 131.....	27
Figure 26 : Spectre du bruit de fond avec blindage.....	28
Figure 27 : Spectre obtenu à 5 cm du détecteur.....	29
Figure 28 : Spectre du césium à 10 cm du détecteur.....	30
Figure 29 : Spectre du césium à 15 cm du détecteur.....	30
Figure 30 : Spectre du césium à 20 cm du détecteur.....	31
Figure 31 : Spectre du césium à 50 cm du détecteur.....	31
Figure 32 : Spectre du césium à 100 cm du détecteur.....	32
Figure 33 : Spectre du césium à 150 cm du détecteur.....	32
Figure 34 : Spectre du césium à 150 cm du détecteur avec une durée d'acquisition de 1h.....	33
Figure 35 : Spectre d'échantillon de la couche superficielle du sédiment.....	34
Figure 36 : Spectre d'échantillon à 10 cm de profondeur.....	35
Figure 37 : Spectre pour l'échantillon à 20 cm de profondeur.....	35
Figure 38 : Spectre d'échantillon à 30 cm de profondeur.....	36
Figure 39 : Spectre d'échantillon à 40 cm de profondeur.....	36
Figure 40 : Spectre d'échantillon à 20 cm de profondeur et avec un temps d'acquisition de 65535 s.....	37
Figure 41 : Spectre d'échantillon à 40 cm de profondeur, temps d'acquisition 65535 s.....	38

LISTE des TABLEAUX

Tableau 1 : Propriétés radioactives des trois principaux isotopes du césium.....	13
Tableau 2 : Caractéristiques de chaque pic de la source étalon de l'iode 131.....	27
Tableau 3 : Les résultats de mesure à distances différentes	33
Tableau 4 : Numéro de chaque pic de l'iode 131 avec leurs énergies correspondantes.....	39
Tableau 5 : les résultats des mesures des échantillons pour le temps d'acquisition 43200s...	40
Tableau 6 : résultats des mesures des échantillons à 20 et 40 cm de profondeur pour le temps d'acquisition 65535 s.....	41

LISTES DES SYMBOLES ET DES ABREVEATIONS

NaI(Tl) : Sodium Iode Thallium

CZT : Cadmium Zinc Tellure

MCA : Analyseur Multi Canal

ADC : Analogique Digital Converter

γ : Gamma

ADN : Acide Désoxyribose Nucléique

β : Bêta

λ : longueur d'onde

e^+ : positon

e^- : négaton

MeV : Méga électronvolt

γ : fréquence

Rapport-Gratuit.com

INTRODUCTION :

La radioactivité est l'émission d'énergie, du noyau d'un atome instable, sous forme de rayonnement. La radioactivité est omniprésente dans notre environnement : dans la matière vivante ou non. Elle se présente sous deux types, la radioactivité naturelle qui avait déjà existé depuis la naissance de l'univers et la radioactivité artificielle qui a vu le jour depuis le développement de la physique nucléaire. Les rayonnements émis par les radioéléments sont indétectables par les organes humains, mais par des détecteurs conçus par l'humain. Il existe plusieurs détecteurs de rayonnements radioactifs de nos jours. Dans le Laboratoire de Physique Nucléaire et Physique de l'Environnement, où notre stage s'est déroulé, il y a trois détecteurs NaI(Tl) et un détecteur CZT. C'est ce dernier que nous utilisons avec le MCA pour avoir la chaîne spectrométrique. La mise en place de cette chaîne est encore en cours d'exécution. Ce laboratoire possède aussi une source scellée de césium – 137 qu'on utilisera dans notre travail.

Les radioéléments sont partout, naturels ou artificiels, abondants ou à l'état de trace. Quel que soit leur état, ils sont détectables par la chaîne de spectrométrie. D'où l'intérêt du présent travail qui s'intitule, « **Paramétrage du détecteur CZT 500s pour la détection d'un radioélément à l'état de trace tel que le césium – 137 dans le sédiment** ».

Pour élucider ce sujet, nous allons suivre le plan suivant : la première partie qui englobe la partie théorique et la méthodologie, la deuxième partie qui est consacrée à l'analyse de spectre du rayon gamma et l'interprétation des résultats obtenus.

PARTIE A

I. PARTIE THEORIQUE

1. LA SPECTROMETRIE GAMMA

L'analyse spectrométrique est le seul moyen physique de caractériser une source de rayonnements. Cela consiste à placer un échantillon devant un détecteur afin de compter un nombre de coups pendant un temps donné.

Il existe deux types de spectrométries : la spectrométrie γ qui est la méthode la plus courante et la spectrométrie α qui est beaucoup plus ardue à mettre en œuvre du fait du caractère difficilement détectable de ce type de particules. En ce qui concerne les émetteurs β , un comptage peut être effectué mais toute caractérisation est impossible.

a. Définition [1]

La spectrométrie gamma est l'étude de répartition en énergie des rayonnements électromagnétiques de très courtes longueur d'onde émis par un noyau excité ou produit par le phénomène d'annihilation.

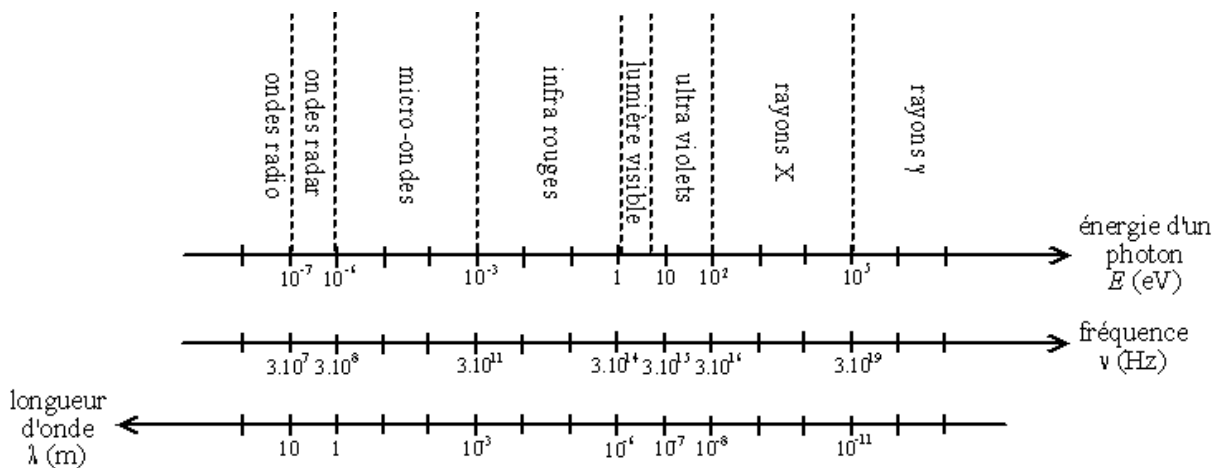


Figure 1 : Schéma montrant les différentes radiations [2]

L'onde métrique est une radiation de longueur d'onde supérieure à 1m tandis que celle de microonde et l'infrarouge est situé entre 1 et 10^{-6} m. La longueur d'onde des radiations visible par l'œil humain est comprise entre $0,8 \cdot 10^{-6}$ m (longueur d'onde de la couleur rouge) et $0,4 \cdot 10^{-6}$ m (longueur d'onde de la couleur violette). L'ultraviolet est une radiation qui a de

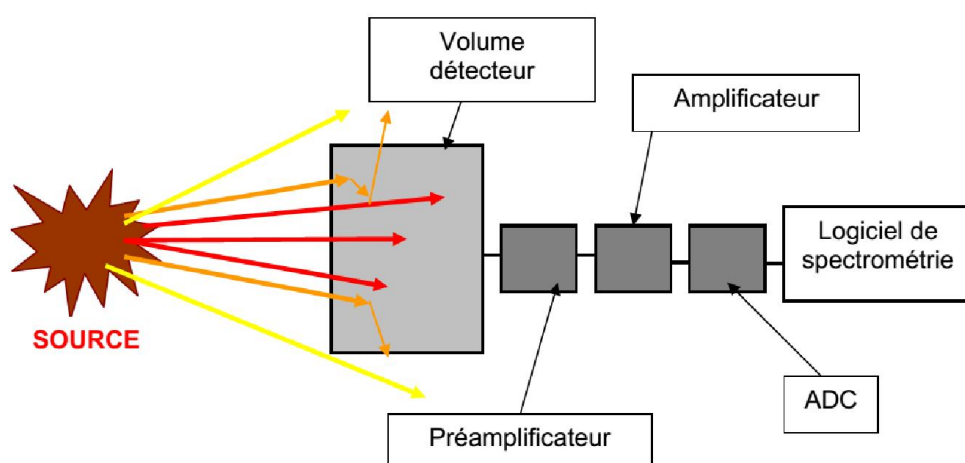
longueur d'onde de $0,4 \cdot 10^{-6}$ à 10^{-8} m. En allant de 10^{-8} à 10^{-12} m, on trouve le rayon X. Le rayon gamma admet de longueur d'onde inférieure à 10^{-12} m. Les rayons gammas ne sont pas détectables par nos cinq sens usuel à cause de sa longueur d'onde très courte.

Les résultats obtenus par spectrométrie sont des résultats physiques, car issus d'une mesure et donc représentatif de la réalité.

b. Principe de la spectrométrie gamma

Le but d'une spectrométrie est de connaître la distribution en énergie des rayonnements gammas émis par une source radioactive. On va recueillir l'énergie véhiculée par ces rayonnements à l'aide d'un volume de détecteur approprié dans lequel les photons vont interagir et être transformés en signal électrique.

A la sortie du détecteur, on trouve un préamplificateur suivi d'un amplificateur qui vont tous deux, augmenter la taille du signal afin qu'il soit perceptible par l'ADC (Analogique Digital Converter). Celui-ci va transformer le signal analogique en signal numérique pour l'envoyer vers le logiciel de spectrométrie. La taille de l'impulsion est proportionnelle à l'énergie du rayonnement ayant interagit dans le volume détecteur. Les signaux (ou coups) vont être classés afin de former un spectre en énergie. A partir de celui-ci, on va déterminer la composition isotopique de la source et/ou l'activité de chacun de ces radioéléments présents.



→ L'énergie du rayonnement totalement absorbée par le volume détecteur. Cet événement va donner lieu un **pic d'absorption totale**.

→ L'énergie n'est pas totalement déposée dans le volume détecteur car il y a échappement d'un rayonnement diffusé. Ce phénomène crée le **fond continu**.

→ L'énergie n'est pas du tout déposée dans le volume détecteur. Le rayonnement n'est pas pris en compte.

Figure 2 : schéma simplifié d'une chaîne de détecteur [3]

Le spectre obtenu traduit les différentes interactions élémentaires du rayonnement dans le détecteur.

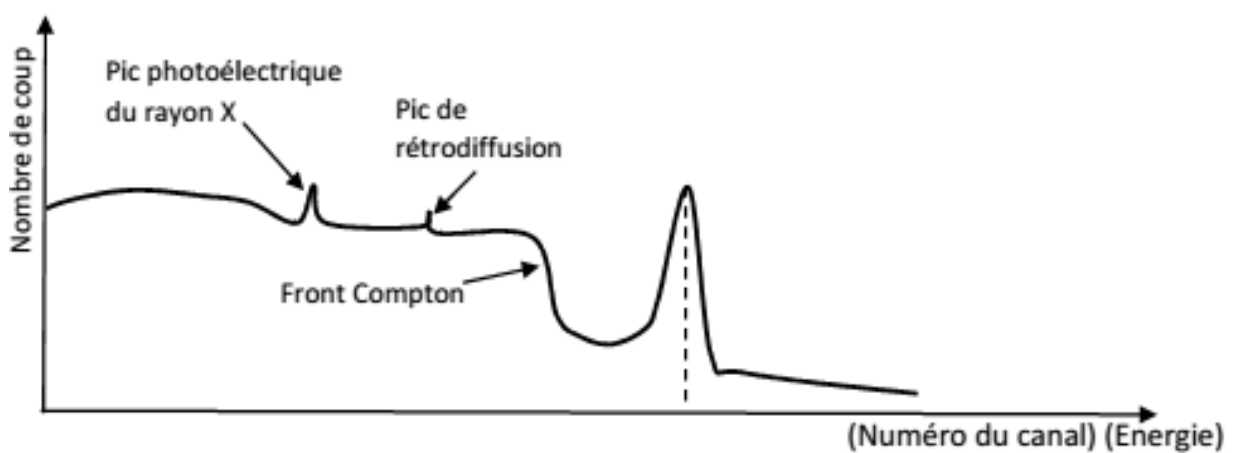


Figure 3 : Modèle de spectre d'un rayonnement gamma

Le pic photoélectrique est la seule partie intéressante du spectre car c'est lui qui caractérise le radioélément émetteur du rayonnement.

Les autres parties constituent des phénomènes parasites qui peuvent masquer d'autres pics photoélectriques.

2. ORIGINE du RAYON GAMMA

Le rayon gamma provient : soit du phénomène d'annihilation, soit par l'émission des radionucléides.

a. Phénomène d'annihilation

Ce phénomène est appelé aussi phénomène de dématérialisation. Vu de son deuxième nom, il consiste à faire disparaître la matière quand elle rencontre son antimatière correspondante.

Exemple du phénomène d'annihilation : le rencontre d'un électron avec un antiélectron. Ils disparaissent en laissant deux rayons gammas qui partent de deux côtés opposés.

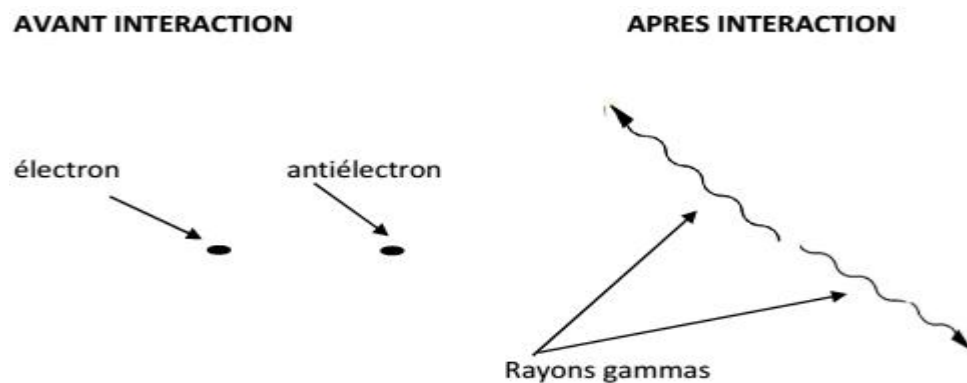


Figure 4 : Le phénomène d'annihilation

b. Emission du rayon gamma par des nucléides

Le rayon gamma qui provient des radionucléides est dû à leur désexcitation. Un noyau d'un atome se désintègre pour donner un autre noyau et au cours de cette désintégration, il arrive parfois que le nouveau noyau formé soit à l'état excité et doit émettre un rayon gamma à une certaine énergie pour atteindre sa stabilité. On peut expliquer ce phénomène par le schéma suivant :

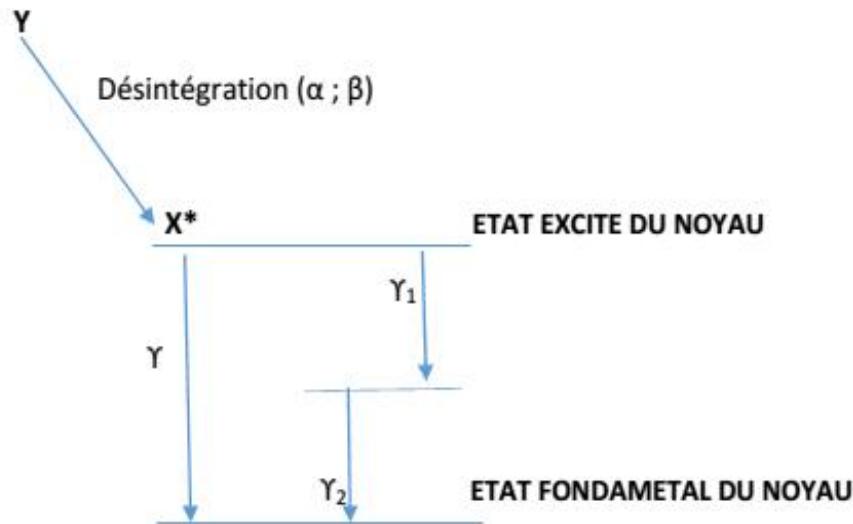


Figure 5 : La désexcitation d'un atome

3. INTERACTION du RAYONNEMENT GAMMA avec la MATIERE [1]

a) Les mécanismes d'interaction

En pénétrant la matière, les rayonnements gammas peuvent interagir avec les atomes de différentes manières.

Les interactions sont dues aux :

- Electrons atomiques
- Noyaux
- Champs électriques du noyau
- Champs électriques des électrons

L'atténuation et l'absorption d'un rayon gamma ont pour causes les trois effets suivants :

- ☞ Effet photoélectrique
- ☞ Effet Compton
- ☞ Effet de matérialisation ou de création de paires (e^+ , e^-)

L'effet photoélectrique et l'effet de matérialisation font disparaître complètement le photon. Par contre, l'effet Compton est une diffusion avec cession d'énergie.

A ces 3 effets principaux s'ajoutent de nombreux autres effets de rôle négligeable dans l'absorption mais qui ont leur importance dans d'autres points de vue, comme par exemple :

- ❖ La diffusion de Rayleigh : qui est une diffusion élastique sur les électrons liés de l'atome, il n'y a pas de changement d'énergie ni de longueur d'onde mais une modification de la trajectoire.
- ❖ La diffusion Thompson : à partir d'électron libre.
- ❖ La diffusion Delbruck : diffusion sur le champ du noyau.
- ❖ Diffusion nucléaire résonnante : les rayons gammas incidents excitent le noyau qui se désexcite par émission de photon ou de particule.
- ❖ La photo désintégration du noyau : des particules peuvent être extraites par des rayons gammas d'énergie supérieure à 8 MeV.

b) L'effet photoélectrique

C'est l'interaction dominante pour des rayons gammas d'énergie faible. L'absorption totale ne peut avoir lieu que pour des électrons liés. La totalité de l'énergie du photon est cédée à l'atome pour extraire un électron.

L'effet photoélectrique est montré par les figures suivantes :

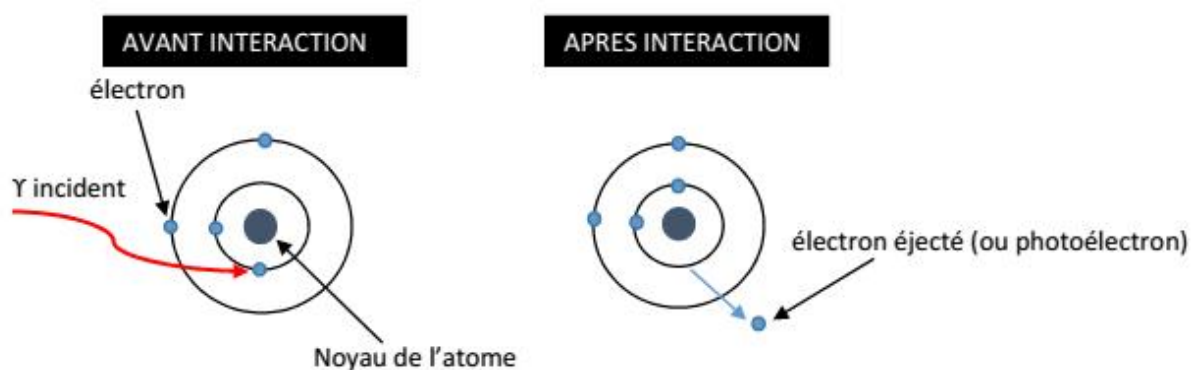


Figure 6 : Le déroulement de l'effet photoélectrique

Le photon doit avoir au moins l'énergie de liaison E_l de l'électron, le surplus apparaît sous forme d'énergie cinétique T du photoélectron.

$$T = E_\gamma - E_l \quad (1)$$

Avec E_γ l'énergie du rayon gamma incident

A partir du seuil d'énergie E_i , la probabilité de la réaction caractérisée par sa section efficace est une fonction décroissante de son énergie.

La section efficace τ de l'atome présente des discontinuités puis décroît rapidement en fonction de l'énergie $E_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. Elle croît fortement en fonction du numéro atomique de l'atome cible. Elle peut être décrite approximativement par la formule empirique.

$$\tau = a \frac{Z^{4.5}}{E_\gamma^3} \quad (2)$$

Avec : Z le numéro atomique de l'atome cible

c) Effet Compton

C'est la diffusion des photons sur un électron libre. L'énergie des photons incidents ne doit pas être négligeable par rapport à l'énergie au repos des électrons ($m_0c^2 = 0.511$ keV). Dans ce processus, seulement une partie d'énergie du photon incident est transférée à un électron sous forme d'énergie cinétique T , le reste est l'énergie E' du photon secondaire.

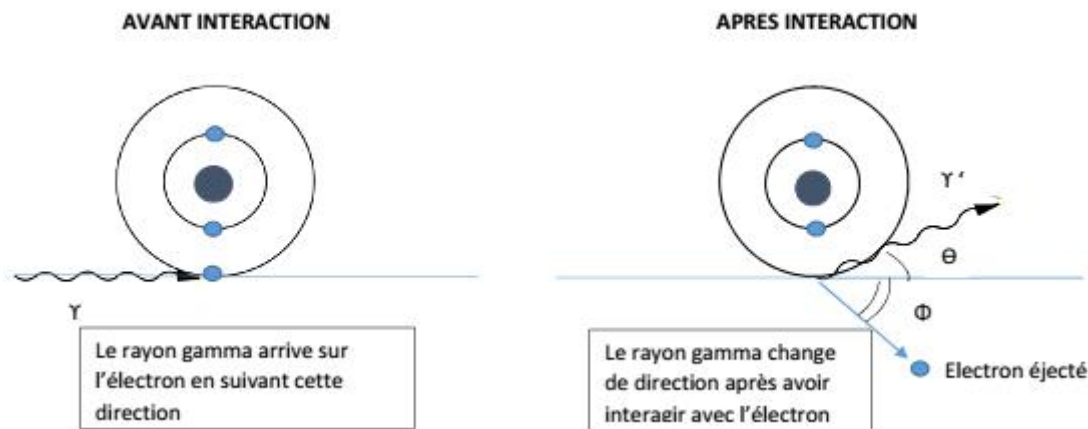


Figure 7 : L'effet Compton

Les énergies du photon diffusé et l'électron Compton sont reliées aux angles Θ et Φ auxquels ils sont respectivement émis. On démontre que l'énergie du photon diffusé est :

$$E' = \frac{E}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \quad (3)$$

$$\text{Avec } \alpha = \frac{E}{m_e c^2}$$

L'énergie cinétique de l'électron Compton est :

$$T = E \left\{ 1 - \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right\} \quad (4)$$

Les angles θ et Φ sont reliés par la relation :

$$\tan \Phi = \frac{-\cotan\left(\frac{\theta}{2}\right)}{1 + \alpha} \quad (5)$$

Le maximum d'énergie perdue par le photon correspond à : $\theta = \pi \text{ rad} = 180^\circ$

Dans ce cas, on a la **rétrodiffusion du photon**.

Pour un faisceau des photons d'énergie E donnée, la probabilité pour que le photon se diffuse suivant un certain angle θ donné est exprimé par la section efficace Compton :

$$\sigma = a \frac{Z}{E} \quad (6)$$

Avec $a = \text{constante}$

L'expression analytique de la section efficace différentielle est donnée par la formule de Klein et Nishina

d) Création de paires (e^+ , e^-)

Ce phénomène a lieu dans le champ du noyau et des électrons atomiques.

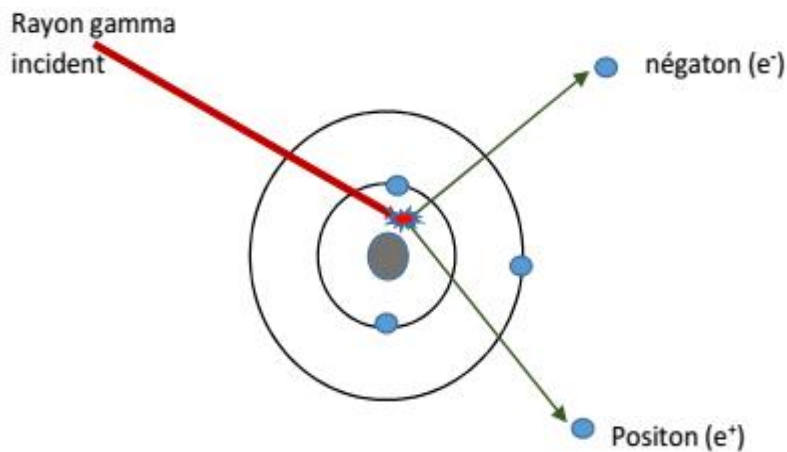


Figure 8 : Le phénomène de création de paires

L'équation montrant ce phénomène est :



Avec **A** l'atome cible

Le principe de la conservation de l'énergie en relativité permet la production de positon e^+ et négaton e^- si l'énergie E de rayon gamma est supérieure ou égale à $2m_e c^2$ ($E \geq 1.022 \text{ MeV}$).

La section efficace de création de paires est de la forme :

$$K = Z^2 f(E) \quad (7)$$

Dans un noyau lourd, l'effet de matérialisation devient la cause dominante de l'absorption γ . Le négaton et le positon créés emportent l'excédent d'énergie $E - 2m_e c^2$ sous forme d'énergie cinétique. Ils sont tous les deux ralenti dans le matériau adjacent et le positon réagira finalement avec un électron atomique et s'annihilera. Deux photons d'énergie d'environ $m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$ chacune sont générés. Ces deux photons sont émis dans des directions opposées pour conserver la quantité de mouvement.

Le phénomène d'absorption des rayons gamma par l'un de ces trois effets dépend de l'atome cible (Z) et l'énergie du rayon gamma incident.

4. ATTENUATION des PHOTONS

Après avoir interagi avec une matière, le nombre des photons diminue. Cette diminution dépend des paramètres comme l'épaisseur de la matière qu'il traverse, la nature de cette matière. Prenons par exemple un faisceau de rayon gamma I_0 qui traverse une matière d'épaisseur x .

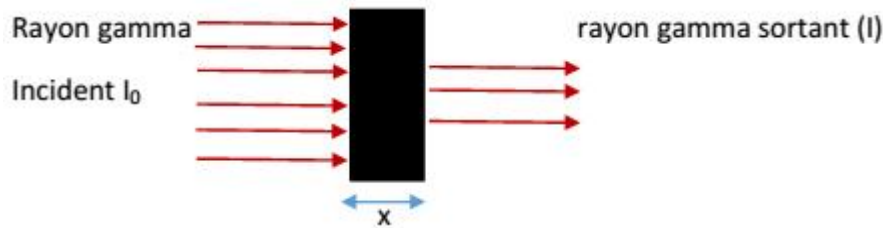


Figure 9 : Atténuation du rayon gamma dans la matière [1]

Après avoir traversé la matière d'épaisseur x , l'intensité du rayon gamma sortant n'est plus que I .

Et vérifiant la loi $I = I_0 e^{-\mu x}$. Le coefficient d'atténuation linéaire μ est la somme des 3 coefficients partiel d'atténuation tel que :

$$\mu = \mu_\tau + \mu_\sigma + \mu_K$$

$$\text{Avec } \mu_\tau = \tau \rho \frac{N_A}{M}$$

τ : section efficace photoélectrique (cm^2/atome), ρ : masse volumique de la matière cible (g/cm^3)

N_A : nombre d'Avogadro ($6,02 \cdot 10^{23}$ atome/mol), μ : coefficient d'atténuation linéaire (cm^{-1})

On a : $\rho \frac{N_A}{M} = n$: la densité en atome du matériau cible

$$\Rightarrow \mu_\tau = n\tau, \mu_\sigma = n\sigma, \mu_K = nK$$

D'où :

$$\mu = n(\tau + \sigma + K)$$

5. GENERALITES sur le CESIUM-137 [4]

a. Origines et propriétés du césium

a.1- Le césium en tant que élément chimique

i. Origine

Le césium est un élément naturel de couleur argentée, présent dans la croûte terrestre à raison de 1-4 mg/kg.

Dans la nature, le césium ne se trouve pas à l'état métallique. Il se dépose sous forme d'oxyde de Césium (Cs_2O) dans le minerai de pollucite (annexe (2)), dont les principaux gisements se trouvent au Canada. Il peut également sous forme d'hydroxyde de Césium CsOH dans l'eau.

Le césium possède une faible mobilité dans les sols. Il s'adsorbe principalement dans les zones argileuses et les sols riches en potassium échangeable. La dispersion du Césium naturel dans l'environnement est essentiellement due à l'érosion des sols.

ii. Propriétés physico-chimiques

Le césium est un élément chimique de symbole Cs, de numéro atomique 55 et de masse molaire 133g/mol. Son point de fusion est de 28.4°C , il peut donc se présenter sous forme liquide ou solide.

Le césium fait partie de la famille chimique des métaux alcalins, tout comme le sodium et le potassium. Il présente un seul degré d'oxydation, et sa forme ionique est donc Cs^+ . Outre ses formes oxydées et hydroxydées mentionnées précédemment, le césium peut également se trouver sous forme de carbonate, (Cs_2CO_3) de nitrate (CsNO_3) et de chlorure (CsCl). La plupart des composés formés à partir du césium sont très soluble dans l'eau.

iii. Propriétés radiologiques

Le césium est un élément possédant de nombreux isotopes allant du césium-114 au césium-146. L'isotope 133 est le seul isotope stable et seul présent à l'état naturel. Parmi les isotopes radioactifs, la plupart ont des demi-vies très courtes, de l'ordre de la seconde ou de

la minute. Seuls trois isotopes ont une période radioactive supérieure à un an : le césium-134, le césium-135 et le césium-137 (^{137}Cs). Leurs principales caractéristiques radiologiques sont données dans le Tableau 01.

Isotope	Demi -vie (année)	Rayonnement émis (issus des descendants)	Activité spécifique (Bq/mg)
^{134}Cs	2,06	β (γ , X)	$4,78. 10^{16}$
^{135}Cs	$2,3.10^6$	$\beta(\gamma)$	$4,26. 10^{10}$
^{137}Cs	30,2	$\beta(\gamma)$	$3,22. 10^{15}$

Tableau 1 : Propriétés radioactives des trois principaux isotopes du césium (^{134}Cs , ^{135}Cs et ^{137}Cs) [4]

iv. Utilisations

A l'heure actuelle, le césium naturel (^{133}Cs) n'est presque plus utilisé de façon industrielle. Il était utilisé dans les cellules photoélectriques et les écrans télévision pour sa facilité à s'ioniser par la lumière visible ou les rayons ultraviolets. Il était également employé dans le revêtement de tungstène dans la lampe. De nos jours, il est encore utilisé en laboratoire, où il peut servir de catalyseur ou encore pour isoler l'ADN des cellules par centrifugation isopycnotique dans un gradient de CsCl.

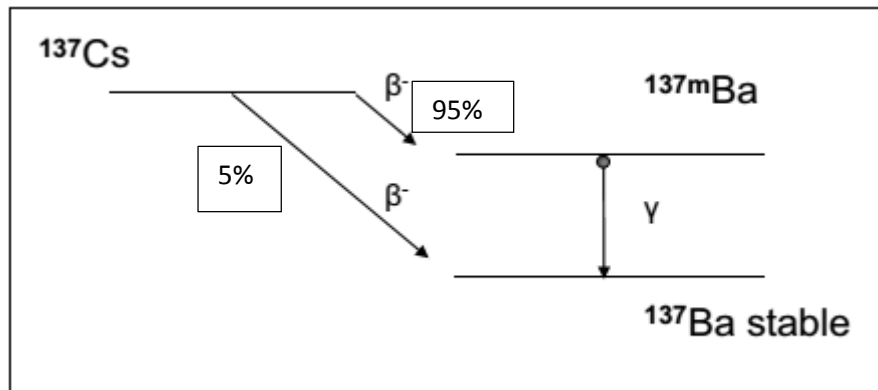
Enfin, plusieurs études humaines et animales font état d'une utilisation du CsCl en médecine alternative pour lutter contre le cancer.

b. Le césium – 137

i. Origines et propriétés

Le césium 137 est un des isotopes radioactifs du césium. D'origine artificielle, c'est l'un des produits de fission secondaires créés dans les réacteurs nucléaires.

Le césium 137 a une demi-vie environ de 30 ans et une activité spécifique de $3,2 \cdot 10^{12} \text{Bq/g}$ (cf tableau 1), ce qui en fait une source de radioactivité à long terme. Il se désintègre par émission d'un rayonnement β^- pour donner à 5% du baryum-137 stable et à 95% du baryum-137 métastable. Celui-ci a une période de 2 minutes et passe à l'état stable en émettant un rayonnement γ . Le césium-137 est donc généralement considéré comme émetteur β/γ .



^{137}Ba : baryum-137

β^- : rayonnement bêta mou

^{137m}Ba : baryum-137 métastable

γ : rayonnement gamma

Figure 10 : Schéma de désintégration du Cs-137

ii. Utilisations

Le césium-137 est bien plus utilisé que son homologue stable car sa radioactivité admet de multiples applications. Dans tous les cas, il est utilisé en tant que source scellée, c'est-à-dire enfermée dans une gaine protectrice pour éviter sa dispersion.

Dans l'industrie, le césium-137 est utilisé comme source dans les instruments de gammagraphie (mesure de densité, d'épaisseur,...), dans les irradiateurs de laboratoire, pour la stérilisation des aliments ou encore comme étalon pour certains compteurs de radioactivité.

Le césium-137 est également utilisé dans le secteur médical : il est utilisé comme source en radiothérapie par contact à la tumeur (de type brachythérapie) et pour l'inactivation de produits biologiques (en particulier des produits sanguins).

iii. Dispersion dans l'environnement

Le césium-137 est présent dans l'atmosphère sous forme d'aérosols qui peuvent être dispersés sur de très grandes zones du fait des vents et des pluies. Il se dépose dans les eaux, les couches supérieures des sols et les végétaux. Dans la flore, il est absorbé principalement au niveau des feuilles. La décomposition végétale participe à la contamination des sols.

Etant d'origine artificielle, le césium-137 présent dans l'environnement est entièrement issu des activités humaines. La dispersion environnementale du césium-137 provient principalement de trois « sources » : les essais nucléaires, les accidents et les rejets dits « de routine ».

▪ Les essais nucléaires

Depuis 1945, les pays ayant développé un programme nucléaire militaire (Etats-Unis, ex-URSS, Chine, France, Royaume-Uni et plus récemment Inde, Pakistan et Corée du Nord) ont mené des essais nucléaires atmosphériques, souterrains ou sous-marins. Ces essais sont considérés comme la principale source de dispersion du césium-137 dans l'environnement. En effet, les essais atmosphériques sont à l'origine d'environ 900.10^{15} Bq de césium-137, et les essais souterrains et sous-marins ont rejeté environ 200.10^{15} Bq de césium-137. Les retombées radioactives de ces essais sont peu à peu dispersées sur l'ensemble de la planète.

▪ Les accidents des centrales nucléaires

Les accidents survenus sur des centrales nucléaires civiles sont à l'origine de la deuxième source des rejets environnementaux de césium-137. Les plus emblématiques et les plus médiatiques sont : l'accident de Tchernobyl (Biélorussie) et l'accident de Fukushima (Japon).

En avril 1986, le réacteur numéro 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl explose. Suite à cette explosion, le cœur du réacteur, entré en fusion, est fracturé par la retombée des dalles de béton qui l'entouraient. Les radionucléides sont rejetés sous forme de débris, de gaz et d'aérosols. Ceux-ci se retrouvent dans le panache formé immédiatement après l'explosion et dans les fumées qui s'échappent en continu du cœur en fusion, jusqu'à son extinction 10 jours plus tard. Sur l'activité totale rejetée de $12,5.10^{18}$ Bq, 85.10^{15} Bq sont dus au seul césium-137.

En mars 2011, la centrale nucléaire de Fukushima subit un accident suite au tsunami. L'étude de l'impact de l'accident de Fukushima est encore en cours.

Des multiples accidents se sont produits au cours des années, dont certains avec des rejets radioactifs importants comme les accidents survenus sur les centrales nucléaires de Mayak (Russie) ou Windscale (Royaume-Uni) en 1957.

- **Les rejets « de routine »**

Les rejets « de routine » sont les émissions de césium-137 des installations nucléaires en fonctionnement normal. Il représente une faible proportion du césium-137 généré lors du cycle de combustion. Ils interviennent soit lors du changement de combustible, soit lors du retraitement des déchets. Ils sont en majorité sous forme d'effluents liquides. Bien qu'ils soient émis de façon régulière, ils sont considérés comme une faible source de contamination environnementale en comparant à des essais nucléaires et des accidents nucléaires. A titre d'exemple, dans sa « fiche de radionucléide » de 2001 consacrée au césium-137, l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN) indique une estimation de rejet annuel de $1,3 \cdot 10^8$ Bq de césium-137 pour un réacteur nucléaire de 1300 mégawatts électriques et de $1,3 \cdot 10^{12}$ Bq pour l'usine de retraitement de la Hague en 1999.

II. METHODOLOGIE

1. Généralités sur le détecteur

Le détecteur est un l'élément crucial pour la spectrométrie gamma. La composition et le fonctionnement d'un détecteur sont déjà mentionnés dans le chapitre « **Principe de la spectrométrie gamma** ». Alors, ce que nous allons voir ici, ce sont les différents types de détecteur et surtout les caractéristiques du détecteur CZT, car c'est ce détecteur qu'on utilise dans le laboratoire L.P.N.P.E (Laboratoire de Physique Nucléaire et Physique de l'Environnement).

a) Rôles du détecteur [1]

Les rayons gamma ne sont pas détectables par nos cinq sens : c'est pour cela que des détecteurs sont conçus pour faire :

- Des COMPTAGES, permettant des mesures d'activités
- De la SPECTROMETRIE, permettant l'identification des radionucléides par discrimination d'énergie du rayonnement et d'avoir une mesure spécifique d'activité.
- De la DOSIMETRIE, par la mesure de la quantité d'énergie absorbée.

b) Les différents types du détecteur

- Les détecteurs à gaz

Principe

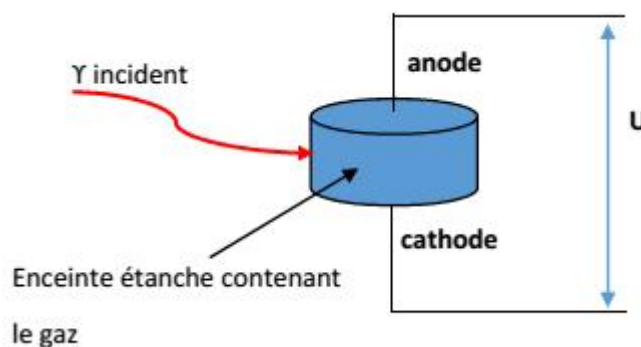


Figure 11 : Schéma simplifié d'un détecteur à gaz [1]

La différence de potentiel U doit être suffisante car il faut que les armatures captent les ions créés par le passage du rayonnement gamma ; si non, on a la recombinaison des charges et un dégagement de chaleur.

Souvent, le condensateur est cylindrique avec électrode positive axiale.

- Les scintillateurs

Ce sont des substances qui convertissent l'énergie absorbée en lumière visible, elles sont couplées à un photomultiplicateur.

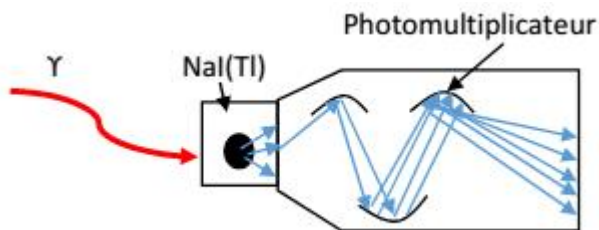


Figure 12 : Schéma simplifié d'un scintillateur [1]

Ces détecteurs sont utilisés en médecine nucléaire, en industrie et pour la surveillance de l'environnement.

- Compteurs à semi-conducteurs



Figure 13 : Schéma simplifié d'un détecteur à semi-conducteur [1]

On a le même circuit que le compteur à gaz, mais le condensateur est un semi-conducteur (Si, Ge, ...), beaucoup plus dense que les gaz (chambre d'ionisation solide). Les porteurs de charges sont des électrons et des trous, il suffit d'une énergie de 3,76 eV dans le Si et 2,96 eV dans le Ge pour créer une paire de charge alors qu'il en faut à peu près de 40 eV dans un gaz.

Alors, l'utilisation du détecteur semi-conducteur est très pratique car le mouvement des porteurs des charges existe à une faible énergie.

Les détecteurs à semi-conducteur ont une bonne résolution car le nombre de charge collectée est élevé. La présence de courant de fuite nécessite le refroidissement sous azote liquide des semi-conducteurs. Pour la détection des rayons X, on utilise du Si compensé au Li (Si(Li)) et du Ge compensé au Li (Ge(Li)) pour les rayons gammas. Ces détecteurs sont remplacés par des détecteurs de Ge à haute pureté pour les rayons X et gammas.

Dans le laboratoire de L.P.N.P.E, on utilise le détecteur CdZnTe (CZT) mais il dispose aussi de trois détecteurs NaI(Tl). Le CZT est un type de détecteur à semi-conducteur qui n'a pas besoin de refroidissement azote liquide car il fonctionne à température ambiante.

c) La chaîne de détection

La chaîne de détection est constituée par le dispositif suivant :

- Le détecteur CZT
- Un préamplificateur
- Un amplificateur
- Un MCA
- Un palmtop

Nous allons voir chacun des éléments :

Le détecteur CZT

C'est un cristal cylindrique composé de Cadmium, de Zinc et de Tellure (CdZnTe), d'où son nom CZT. Ce détecteur est polarisé de 1400 V.



Figure 14 : image d'un détecteur CZT

Le préamplificateur

Le signal à l'entrée n'est pas proportionnel à l'énergie déposée dans le cristal, mais son intégrale est égale à la charge collectée qui dépend de l'énergie déposée. Le préamplificateur est un montage intégrateur qui va intégrer le signal pour faire le lien avec l'énergie.

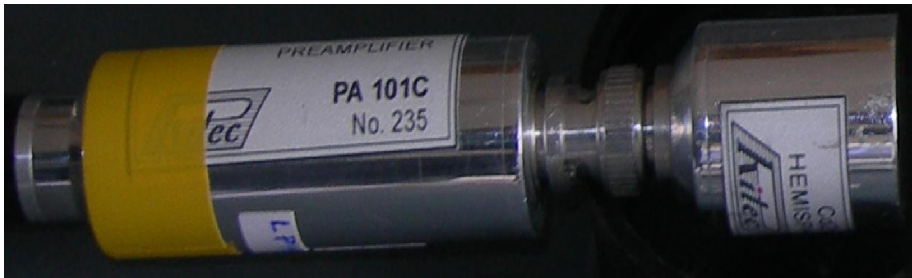


Figure 15: Image du détecteur avec le préamplificateur

L'amplificateur

L'amplificateur est utilisé pour la mise en forme du signal et à son amplification : le but est de minimiser le bruit et d'obtenir un signal gaussien. A la sortie de l'amplificateur, on a un signal continu

Le MCA

Juste avant le MCA, il y a un dispositif appelé convertisseur analogique-numérique qui transforme l'amplitude du signal en un nombre proportionnelle à l'énergie déposée dans le détecteur. Ensuite, le MCA collecte, classe et enregistre les informations dans différents canaux : chaque canal correspond à une énergie. Cela permet d'obtenir un histogramme en temps réel dans lequel l'énergie déposée dans le détecteur est reliée au numéro de canal et le nombre de coup dans un canal donné est proportionnel aux nombres de photons ayant déposé la même énergie dans le détecteur.

Le palmtop

Il possède un écran où apparait le spectre d'une radiation.



Figure 16 : Image du palmtop

Le schéma simplifié d'une chaîne de détection est donc :

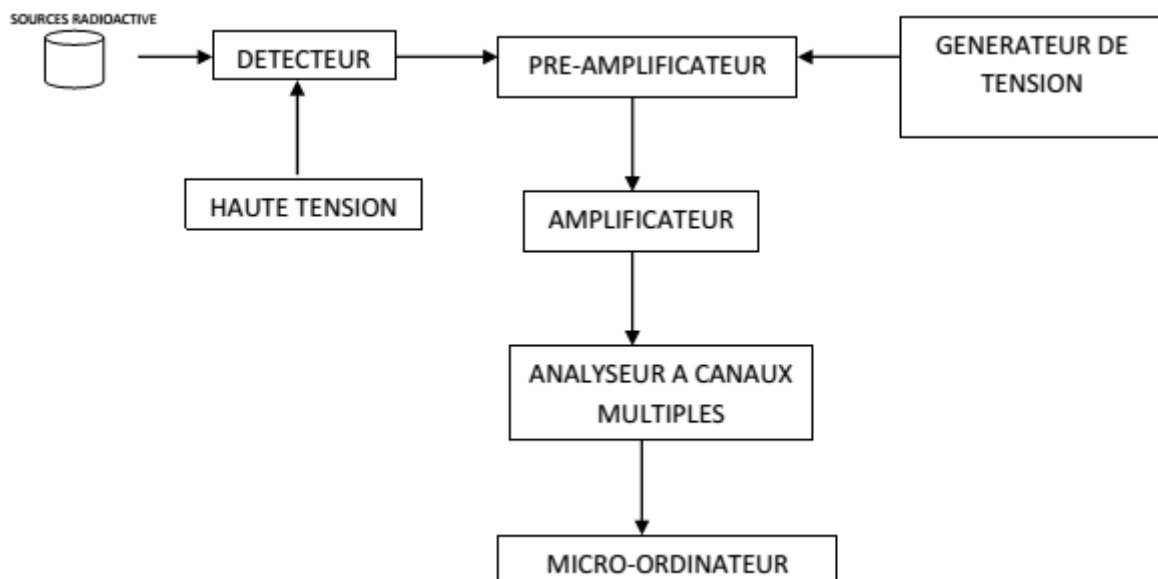


Figure 17 : Schéma simplifié d'une chaîne de détection

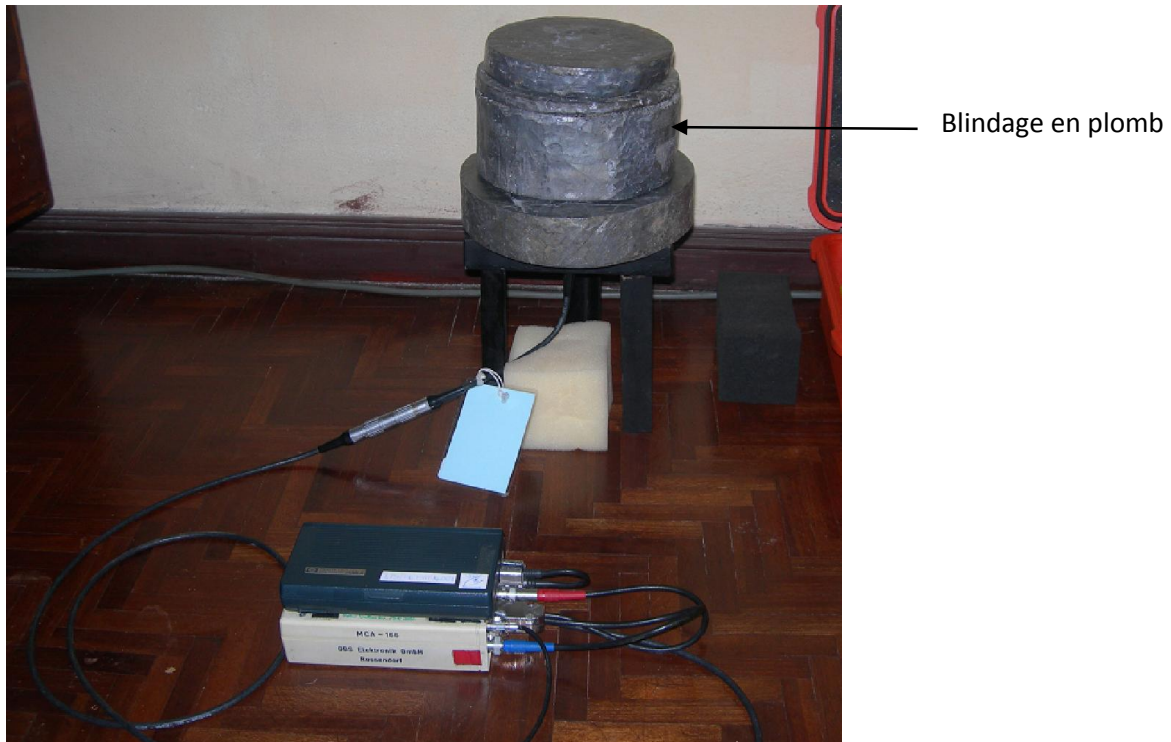


Figure 18 : Image d'une chaine de mesure

Sur cette image, le détecteur est dans un blindage en plomb avec l'échantillon.

2. LE BLINDAGE

Le blindage est comme un bouclier pour réduire les bruits de fond provenant de radioactivité ambiante. On utilise ici un blindage en plomb. Il est conçu au sein du laboratoire de L.P.N.P.E par un étudiant de Master. Ce blindage est constitué par 2 cylindres creux dont la partie inférieure a un diamètre de 22cm, avec une hauteur 4,5cm et une épaisseur 9cm et la partie supérieure a un diamètre de 18cm, avec 8cm de hauteur et 4cm d'épaisseur. Au-dessus de dernière, il y a le couvercle qui a 2,5 cm de hauteur et 16 cm de diamètre. Pour bien éclaircir sur la dimension de ce blindage, on le montre sur les schémas suivants.

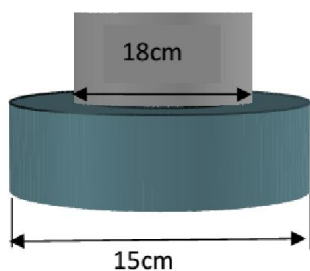


Figure 19 : Schéma du blindage

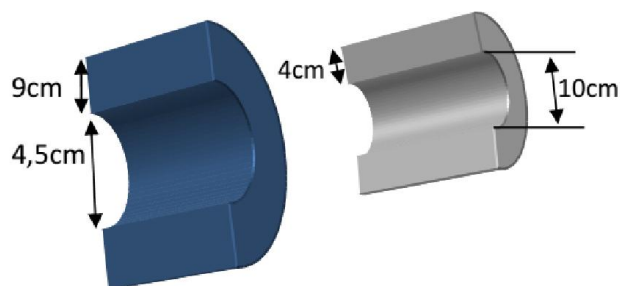


Figure 20 : Coupe transversale du blindage



Figure 21 : image du blindage en plomb

3. ETALONNAGE

L'étalonnage d'un détecteur est une étape inévitable en spectrométrie gamma. Il existe 3 types d'étalonnage d'un détecteur : **l'étalonnage en énergie**, **l'étalonnage en intensité** et **l'étalonnage en efficacité**. Les deux derniers sont utilisés pour l'analyse quantitative tandis que le premier pour l'analyse qualitative. Dans notre cas, on s'intéresse seulement à une analyse qualitative, on détermine des radionucléides émetteurs gammas présents dans des échantillons de sédiment.

Avant d'entrer en détail sur l'étalonnage en énergie, nous allons parler du nombre de canaux du détecteur. Il est déjà défini dans le menu du MCA. On choisit une des valeurs suivantes ; 512, 1024, 2048 et 4096. Ici, on prend 2048.

a. Le choix du gain

Pour placer une certaine énergie à détecter dans un certain canal, il faut régler le gain du détecteur. Ce gain est caractérisé par le gain grossier (**coarse gain**) et le gain fin (**fine gain**). Pour notre analyse, on cherche à avoir une plage d'énergie de 2000KeV. Cela signifie que les rayons gammas qu'on va détecter auront une énergie allant jusqu'à 2000 keV environ. On a choisi cette plage d'énergie car on va essayer de détecter d'autres radionucléides d'énergie de plus de 1000keV s'il en existe dans notre échantillon. Ce choix va nous obliger de faire le gain à 100 d'après l'abaque (figure 22). La relation suivante permet d'avoir la valeur du gain grossier et le gain fin :

$$G = GG * GF \quad (8)$$

G : gain du détecteur, **GG** : gain grossier, **GF** : gain fin

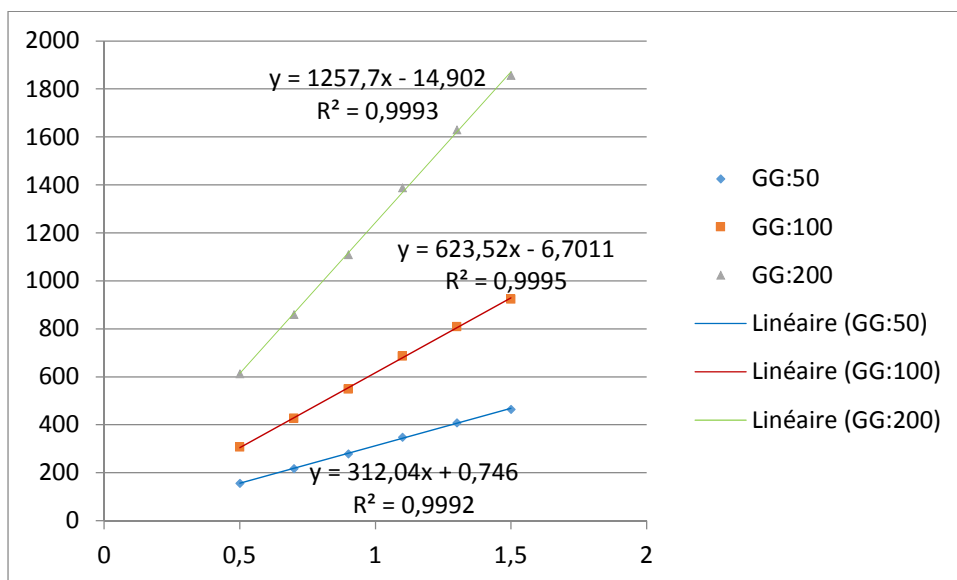


Figure 22 : L'abaque pour choisir le gain fin et le gain grossier [5]

Dans la pratique, on doit choisir une des valeurs du gain grossier suivant : 50, 100, 200. Les valeurs du gain fin sont continuées. Alors pour avoir le gain 100, la valeur du gain grossier doit 200 et gain fin 0,5. Désormais, le détecteur a une plage d'énergie d'environ 2000KeV,

c'est-à-dire, si on a choisi le nombre de canal à 2048, on trouve dans 2048^{ème} canal l'énergie à peu près de 2000KeV. Ici, dans notre cas, le pas est de 0,9766KeV/canal.

b. L'étalonnage en énergie du détecteur

Pour pouvoir déterminer l'énergie, il faut attribuer à chaque canal du MCA une énergie bien déterminée et connue. Pour cela, on utilise au moins deux pics bien connus venant de deux sources différentes ou d'une seule source qui émet au moins deux rayons gammas d'énergie différentes mais connues. Pour chaque pic du spectre donné par les sources étalons (ou standard), on relève le numéro x du canal correspondant au canal d'accumulation maximum de coup dans le pic photoélectrique et on lui associe l'énergie y correspondante. La courbe $y=f(x)$ doit être une droite d'équation $y = ax + b$. « a » et « b » étant déterminé par la méthode de moindre carré.

$$a = \frac{\bar{x}*\bar{y} - \bar{x}*\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} \quad (16)$$

$$b = \bar{y} - a * \bar{x} \quad (17)$$

4. PREPARATION de l'ECHANTILLON

L'échantillon qu'on va analyser ici provient d'un sédiment qu'on avait prélevé dans un lieu près de l'Université Ankatso. Le but de l'analyse est de détecter la présence du radionucléide Césium-137, donc la préparation de l'échantillon ne demande pas beaucoup du temps.

Pour le prélèvement, nous avons choisi un sol non perturbé constitué de dépôt de sédiment, que le sol n'est pas encore cultivé. On a prélevé 5 échantillons différents tels que : le premier échantillon est du sédiment superficielle, le deuxième est prélevé à 10cm, le troisième à 20cm, le quatrième à 30 cm et le dernier est à 40 cm de profondeur.



Figure 23 : Le lieu de prélèvement

On sèche ensuite les échantillons. Cette procédure a pour but d'avoir un maximum de volume d'échantillon dans le porte échantillon.

Après, on met l'échantillon dans le porte échantillon et on fait la mesure.



Figure 24 : Sol dans le porte échantillon

PARTIE B

I. ANALYSE de SPECTRES du RAYON GAMMA

1. ETUDE du SPECTRE de la SOURCE ETALON de l'IODE-131

Nous utilisons comme source étalon l'iode-131. L'iode-131 est un isotope qui émet au moins quatre types de rayons gammas. Cela signifie qu'il y a quatre énergies différentes, donc on a quatre pics d'iode-131 apparus sur le palmtop en faisant la mesure spectrométrique.

On a alors le spectre suivant :

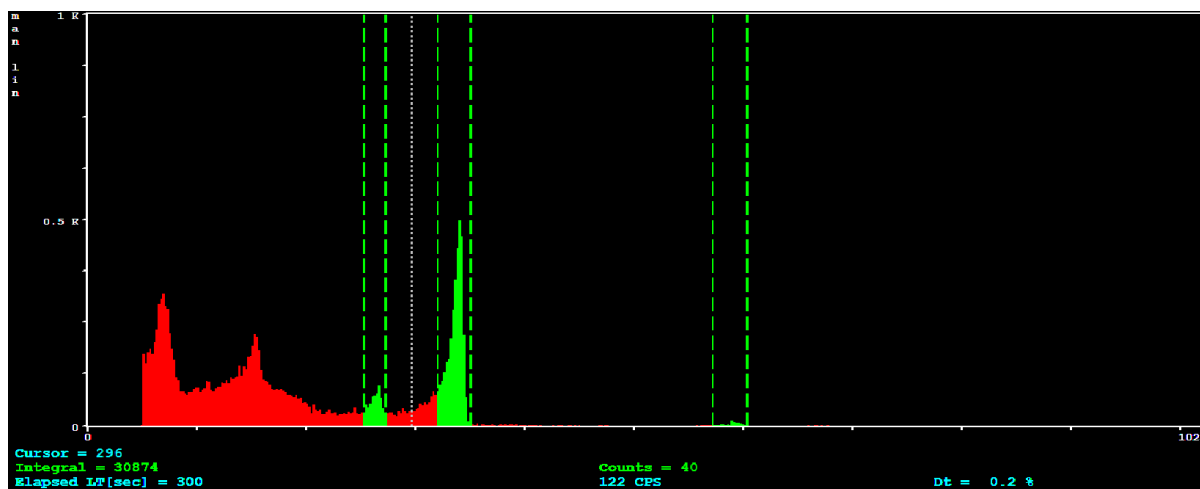


Figure 25 : Spectre de la source étalon de l'iode 131

Pour étudier ce spectre, il faut d'abord choisir les régions d'intérêt de chaque pic. Le premier pic de l'iode est le troisième pic sur le spectre (les deux premiers sont des bruits de fond). Le tableau suivant nous montre la région d'intérêt et le numéro du canal où se trouve le centroïde de chaque pic ainsi que leur énergie correspondante. (Les détails sont dans l'annexe (3)).

	Région d'intérêt	Numéro du canal du centroïde	Energie correspondante (KeV)
Pic1	253 - 273	265,147±1,00	284,29
Pic2	321 – 350	339,507±0,35	364,48
Pic3	572 – 605	592,657±2,46	636,97

Tableau 2 : Caractéristiques de chaque pic de la source étalon de l'iode 131

L'incertitude est calculée en appliquant la distribution de Student tel que :

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (18) [6]$$

$t_{\alpha/2}$ est déterminé à partir du table de distribution de Student. Selon l'intervalle de confiance.

Pour nous, on prend cet intervalle de confiance à 97.5%.

Ce choix nous oblige à prendre $t_{\alpha/2} = 2,776$.

Nous utiliserons cette formule (18) d'incertitude de la moyenne pour le reste de notre calcul dans cet ouvrage.

On a pris seulement trois pics car le quatrième pic est presque invisible et sera difficile à interpréter du point de vue étalonnage.

2. ETUDE du SPECTRE du BRUIT de FOND

Le bruit de fond provient de l'électronique de la chaîne de détection. Il provient aussi des rayonnements cosmiques et surtout celui tellurique. On a effectué une mesure de bruit de fond avec blindage et on obtient le spectre suivant.

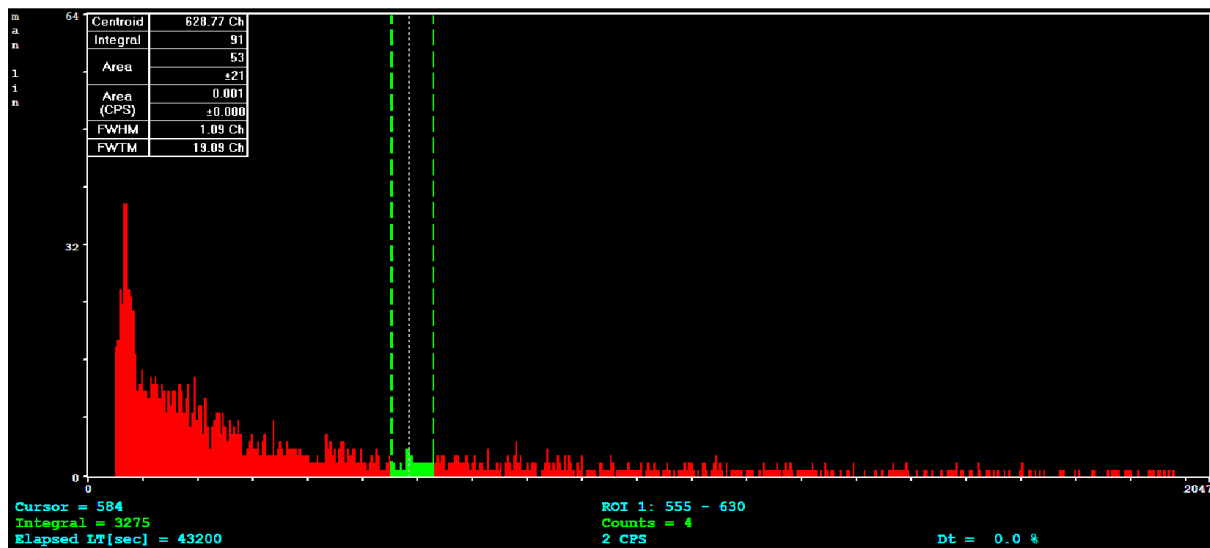


Figure 26 : Spectre du bruit de fond avec blindage

Dans cette mesure, le temps d'acquisition est de 43200 s (soit 12 h).

Dans la région d'intérêt qu'on a tracé, la valeur de l'intégrale est de 91. On utilisera cette valeur dans les interprétations des résultats.

3. ETUDE de SPECTRES des ECHANTILLONS

Avant d'entrer dans cette étude, nous allons parler d'abord de la méthode pour choisir de la région d'intérêt.

a) Méthode du choix de la région d'intérêt

Le but ici est de déterminer les bonnes valeurs des numéros de canal (pour établir la région d'intérêt) correspondant à l'énergie 661,657 keV [7] du césium 137 à l'état de trace. Pour cela, on va faire une petite simulation.

On prend la source étalon du césium – 137 et on effectue des séries de mesure avec des différentes distances entre la source et le détecteur : 5cm, 10cm, 20cm, 50cm, 100cm et 150cm. Ces différentes mesures nous permettent de suivre l'évolution du pic du césium en fonction de sa distance par rapport au détecteur. Dans cette partie, on fait simplement l'étude. Les interprétations seront dans la partie interprétation des résultats.

✓ Distance 5cm

On met la source à une distance de 5 cm par rapport au détecteur et on fait des mesures pendant 300 s. On obtient le spectre suivant ;

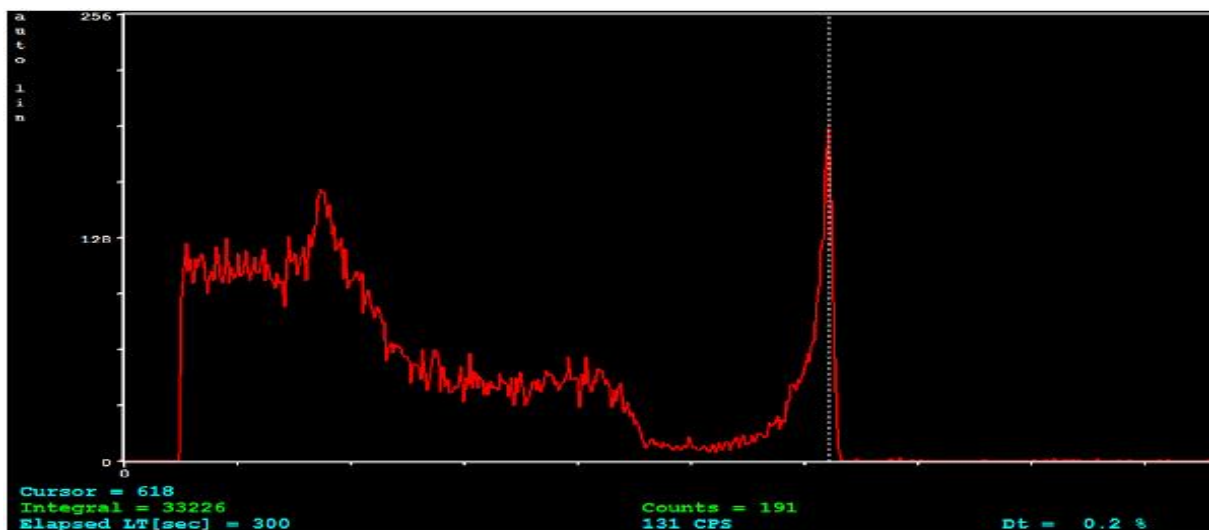


Figure 27 : spectre obtenu à 5cm du détecteur

✓ Distance 10cm

A cette distance, on observe une diminution des pics.

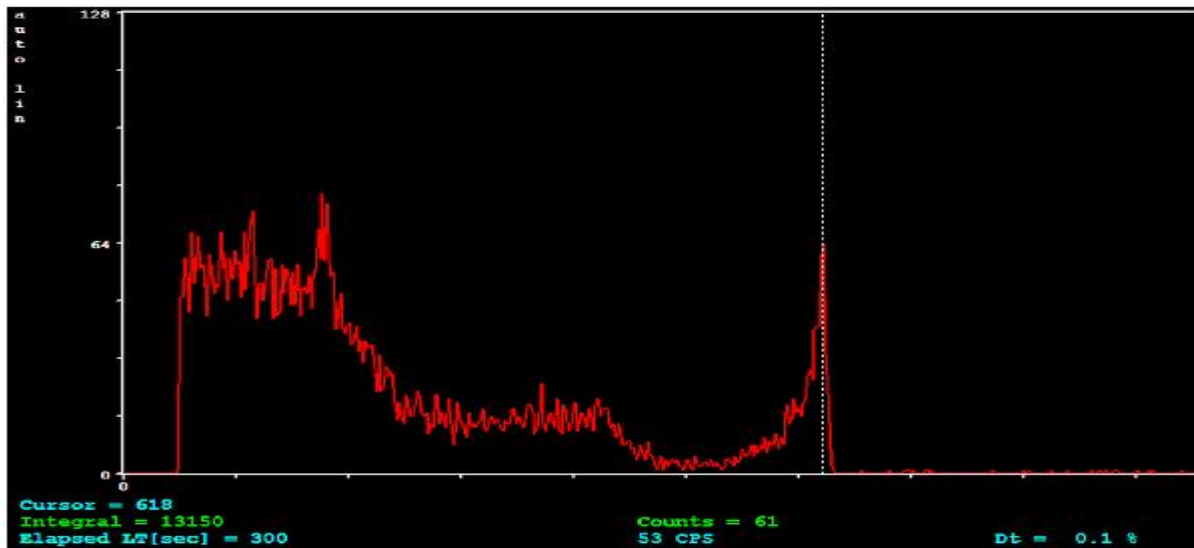


Figure 28 : Spectre du césium à 10cm du détecteur

Et le temps mort du détecteur diminue à 0,1% contre 0,2% à 5 cm du détecteur.

✓ Distance 15cm

A cette distance, le temps mort est de 0

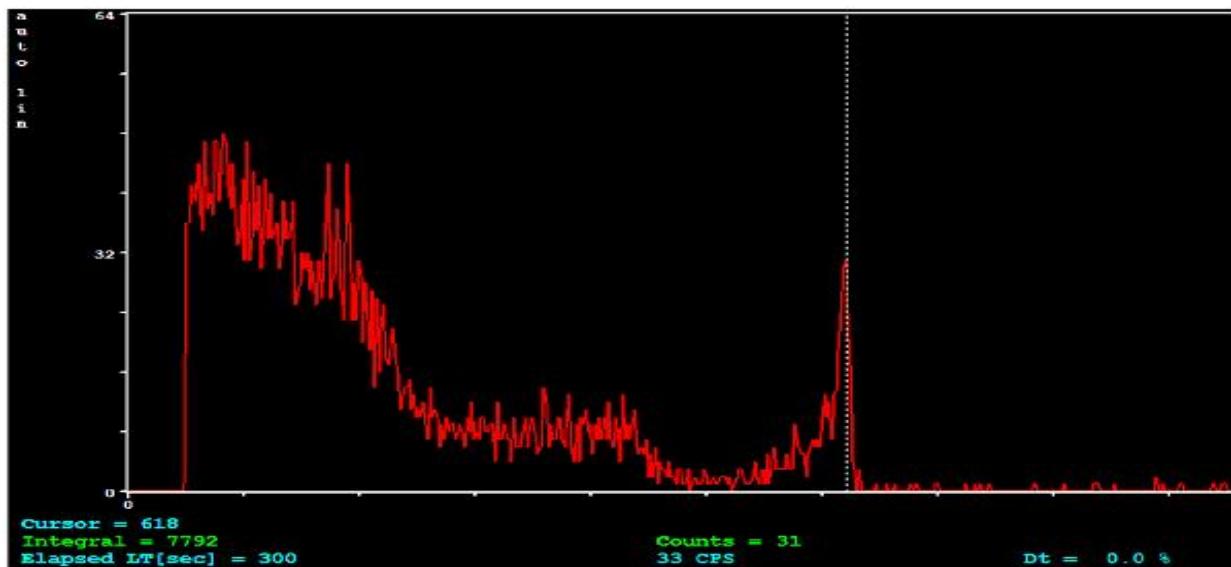


Figure 29 : Spectre du césium à 15 cm du détecteur

✓ Distance 20 cm

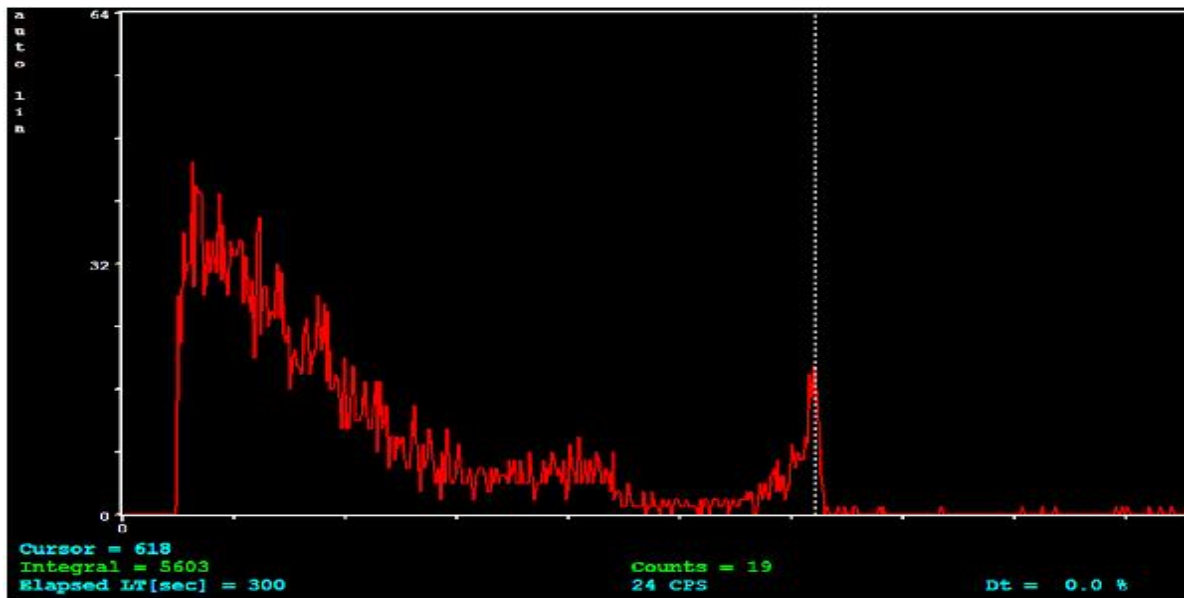


Figure 30 : Spectre du césium à 20 cm du détecteur

✓ Distance 50 cm

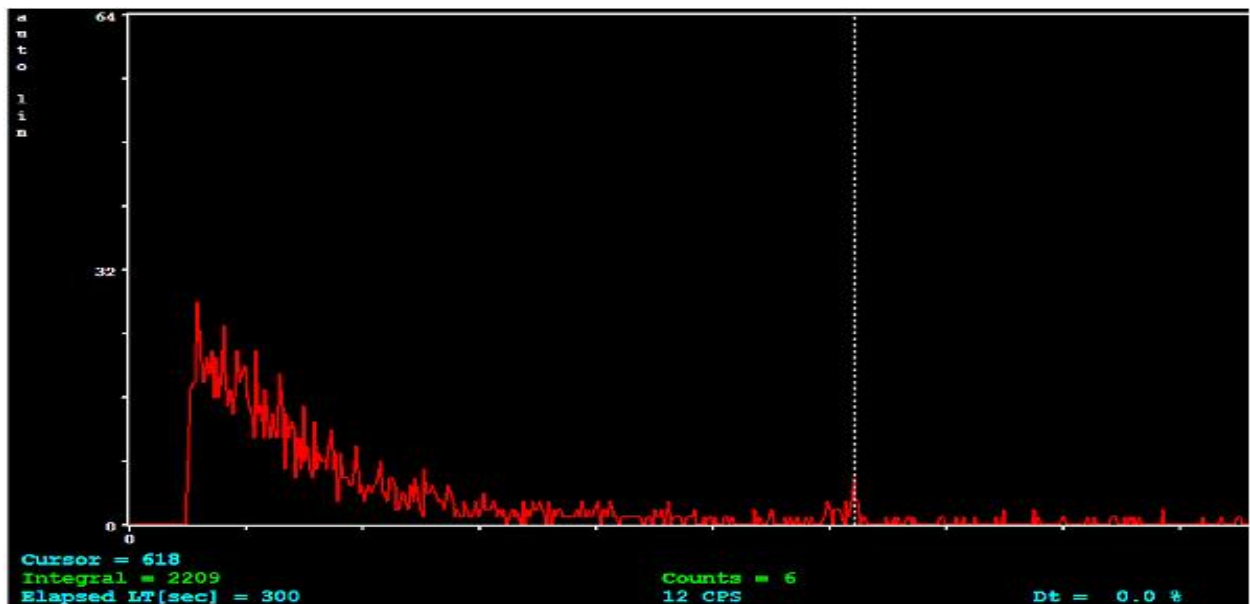


Figure 31 : Spectre du césium à 50 cm du détecteur

Le pic du césium est très petit par rapport aux bruits de fond qui subissent aussi des diminutions mais pas très remarquable.

✓ Distance 100 cm

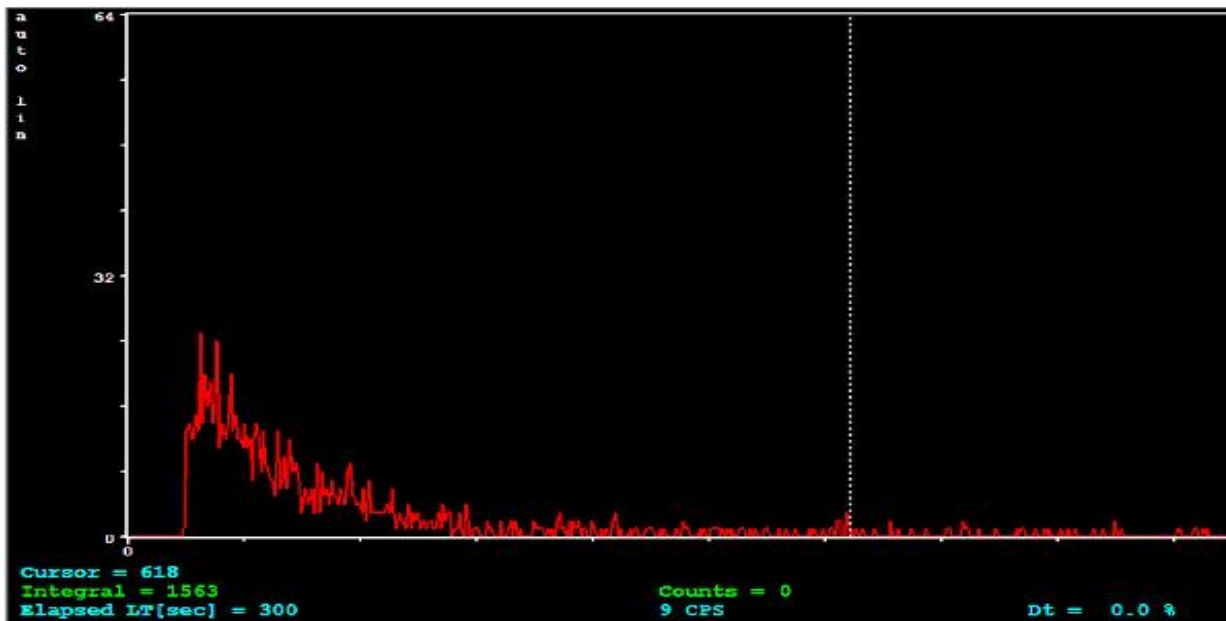


Figure 32 : Spectre du césium à 100 cm du détecteur

✓ Distance 150 cm

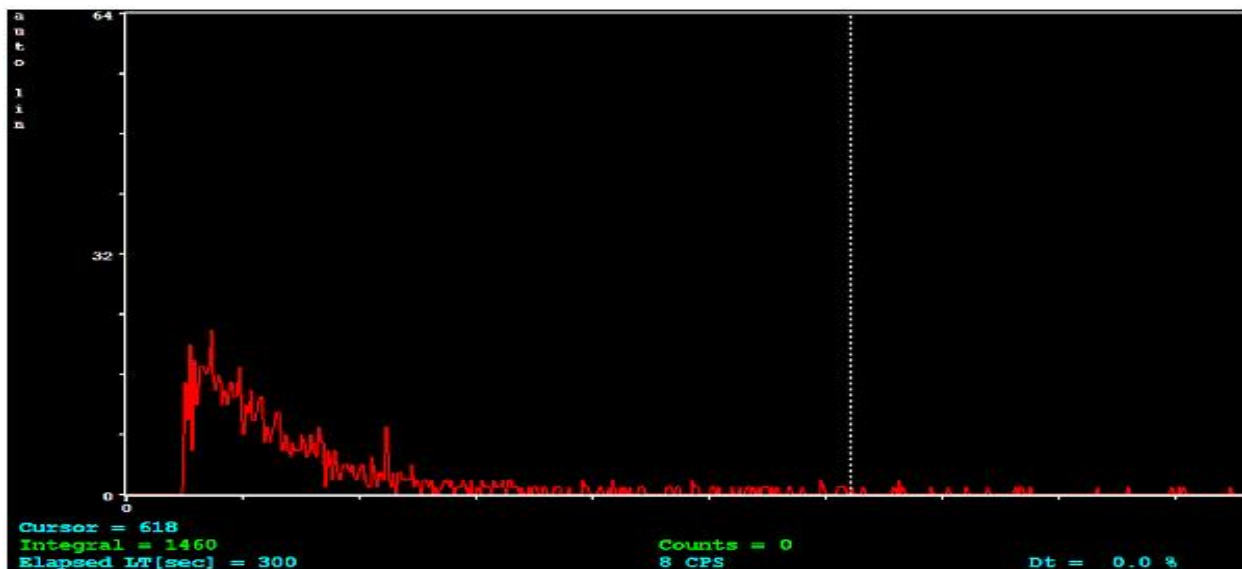


Figure 33 : Spectre du césium à 150 cm du détecteur

Jusqu'ici, le temps d'acquisition a été fixé à 300 s. On observe que le pic du césium – 137 disparaît et le canal où se trouve le maximum du pic ne reçoit aucun coup. On augmente

le temps d'acquisition à 3600 s (1h) pour voir l'évolution du spectre à cette distance et on obtient le spectre dans la figure suivante.

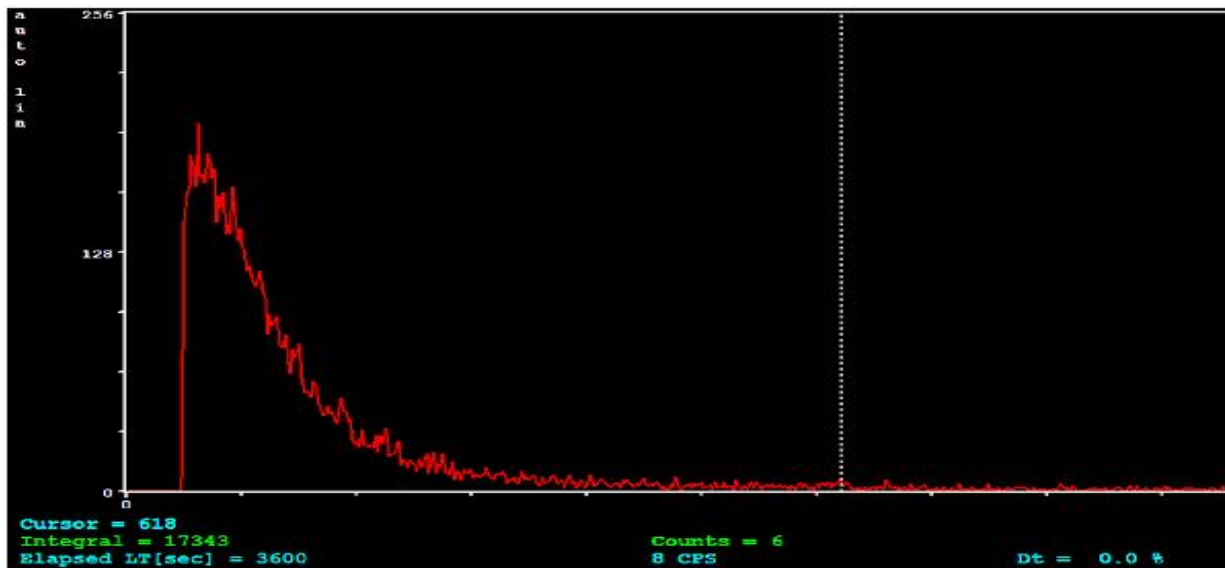


Figure 34 : Spectre du césium à 150cm du détecteur avec une durée d'acquisition de 1 heure

Quand on a augmenté le temps d'acquisition de 1 heure, le pic de césium réapparaît.

Dans le spectre où le pic du césium est encore très clair (distance 5 cm), on fixe les numéros des canaux dans le but d'avoir la région d'intérêt du césium. Pour faire le choix, il faut toujours considérer la forme gaussienne du pic. Pour que cette condition soit respectée, on a choisi les canaux numéros 555 à 630. En portant ces régions d'intérêt dans les autres spectres, on a les résultats suivants :

DISTANCE	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	50 cm	100 cm	150 cm	150 cm (1h)
Numéro du centroïde	616,756	617,416	617,002	617,316	619,156	616,904	-	618,31
Incertitude	0,914	1,162	0,975	1,0575	2,445	4,447	-	

Tableau 3 : les résultats de mesures à distances différentes

D'après ces résultats, on peut dire que quelque soit la distance, le numéro du canal du centroïde ne subit pas de changement. La fluctuation des valeurs est due seulement au

phénomène aléatoire de la désintégration. Cela signifie aussi que quel que soit l'abondance ou l'insuffisance du césium dans un échantillon, la valeur moyenne du numéro du centroïde du pic de césium 137 est de $616,756 \pm 0,954$ si la région d'intérêt est entre les canaux numéros 555 et 630. (Les détails de calcul sont dans l'annexe (3))

b) Etude du spectre des échantillons

On va maintenant réaliser les études sur les spectres des 5 échantillons qu'on avait prélevés. Ce sont : l'échantillon prélevé à la surface du sol, à 10 cm de profondeur, à 20cm de profondeur et à 40 cm de profondeur.

➤ Echantillon à la couche superficielle

Après avoir fait la mesure, on a le spectre suivant.

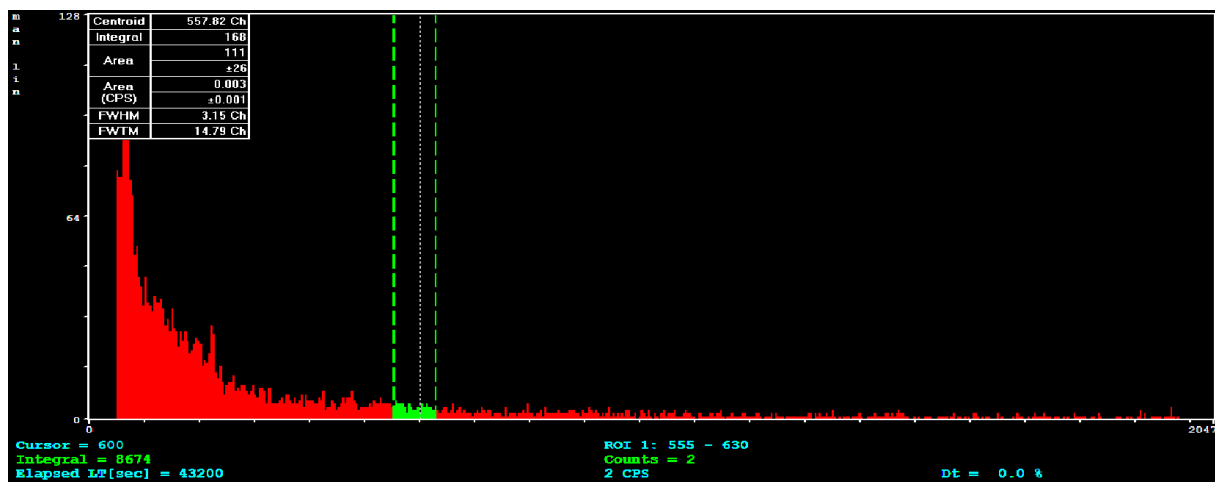


Figure 35 : Spectre d'échantillon de la couche superficielle du sédiment

En choisissant la région d'intérêt, on trouve que le numéro du canal où se trouve le centroïde de la région est de 557,82. Et la valeur de l'intégrale dans cette région est de 168

➤ Echantillon à 10 cm de profondeur

En creusant sur le lieu de prélèvement, on prend un échantillon du sédiment à 10 cm de profondeur. Son spectre est comme dans la figure suivante.

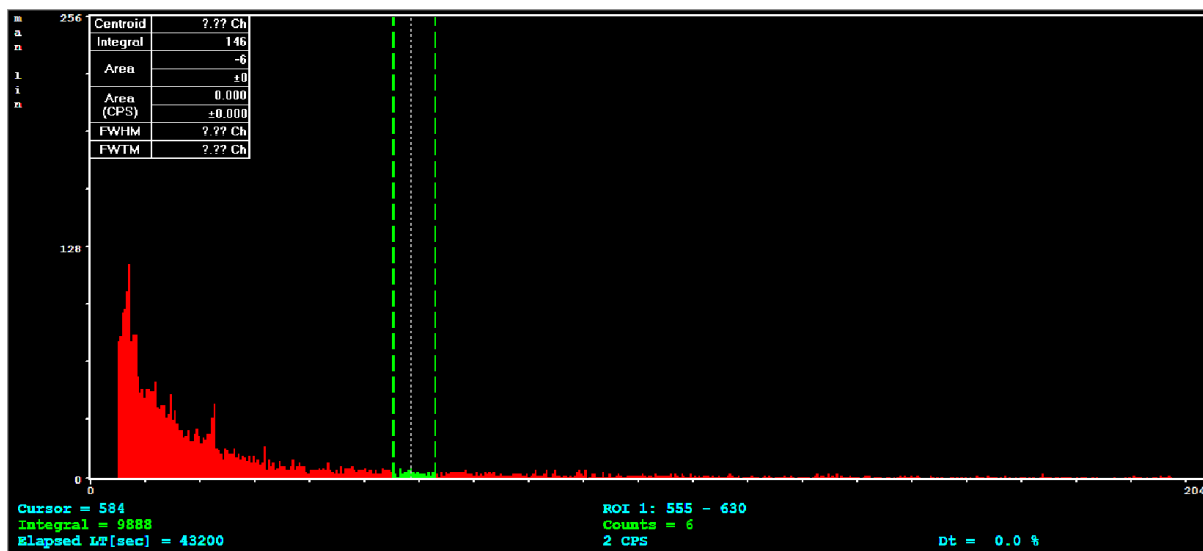


Figure 36 : Spectre d'échantillon à 10 cm de profondeur

Si on applique dans ce spectre le choix de la région d'intérêt, le logiciel ne trouve pas le numéro du centroïde du pic mais l'intégrale est de 146.

➤ Echantillon à 20 cm de profondeur

Toujours dans le même sédiment mais à 20 cm de profondeur, son spectre est comme suit.

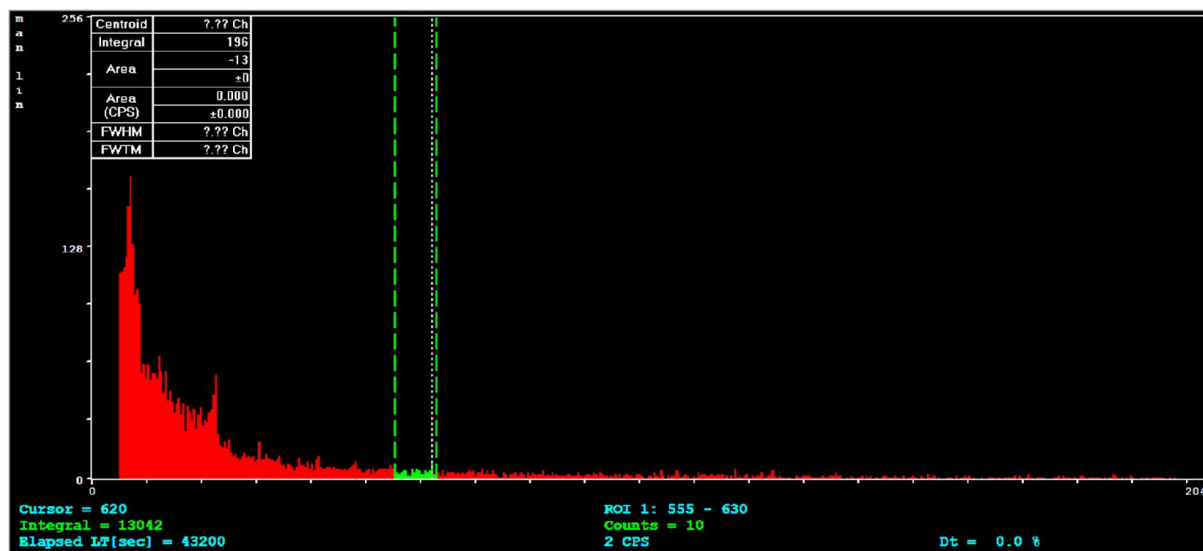


Figure 37 : Spectre pour l'échantillon à 20 cm de profondeur

Ce spectre a le même cas que le précédent quand on lui applique notre choix de la région d'intérêt. On observe ici que l'intégrale est de 196.

➤ Echantillon à 30 cm de profondeur

A 30 cm de profondeur, on a effectué aussi de prélèvement et on avait fait la mesure. On obtient le spectre suivant.

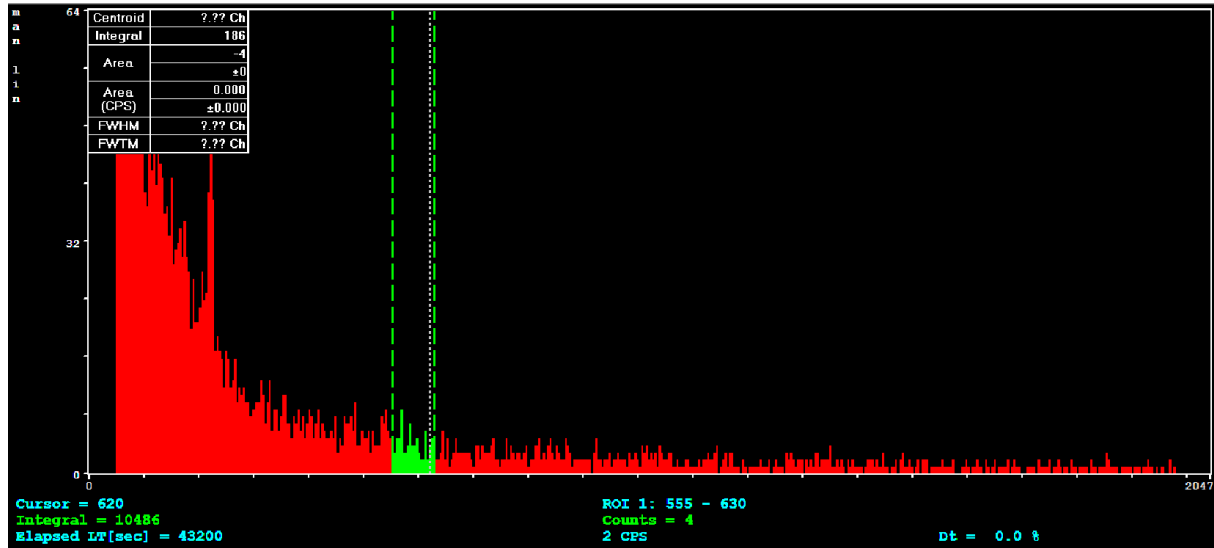


Figure 38 : Spectre d'échantillon à 30 cm de profondeur

Notre logiciel n'a pas aussi trouvé le numéro du canal du centroïde dans la région d'intérêt qui nous intéresse. Et son intégrale vaut 186. Passons dans la dernière profondeur.

➤ Echantillon à 40 cm de profondeur

On arrive enfin à 40 cm de profondeur. A cette profondeur, l'échantillon est mélangé avec un peu d'argile. On a le spectre suivant.

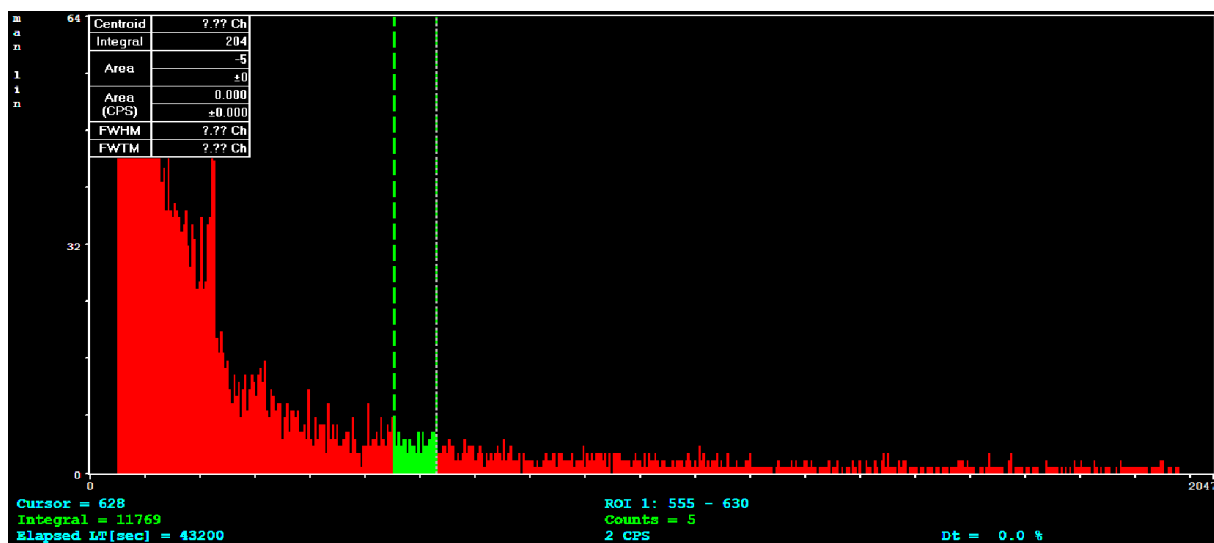


Figure 39 : Spectre d'échantillon à 40 cm de profondeur

L'intégrale ici augmente à 204. Dans ce spectre, on trouve bien qu'il a de même cas que les précédents, c'est-à-dire qu'on n'a pas le numéro du centroïde de notre région intéressante.

Remarque

Dans toutes les mesures des échantillons précédentes, on a fixé le temps d'acquisition à 43200 s, soit 12 heures. Dans les cas suivants, on va voir l'évolution de nos résultats en augmentant le temps d'acquisition à 65535 s, soit 18 h 12 mn 15 s (c'est le temps d'acquisition maximale que le détecteur peut faire). On prend seulement l'échantillon à 20 et 40 cm de profondeur.

➤ Etude du spectre pour le temps d'acquisition de 65535 s

■ Pour l'échantillon à 20 cm de profondeur

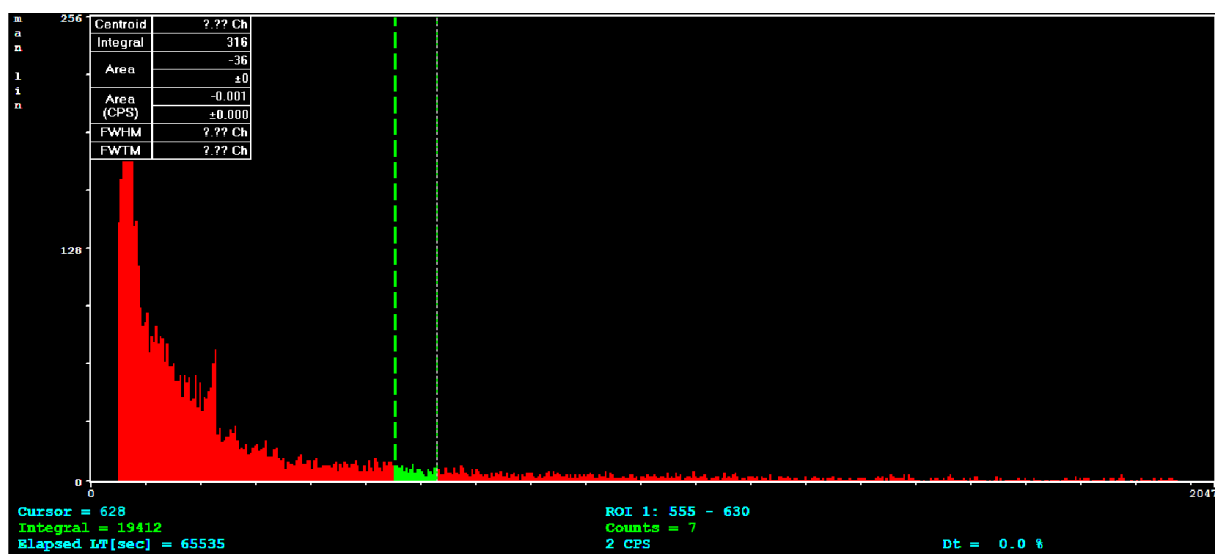


Figure 40 : Spectre d'échantillon à 20 cm de profondeur et avec un temps d'acquisition de 65535 s

On n'a pas encore trouvé le numéro du canal même si on avait augmenté le temps d'acquisition pour l'échantillon qui se trouve à 20 cm de profondeur du sédiment. Mais l'intégrale augmente à 316.

- Pour l'échantillon à 40 cm de profondeur

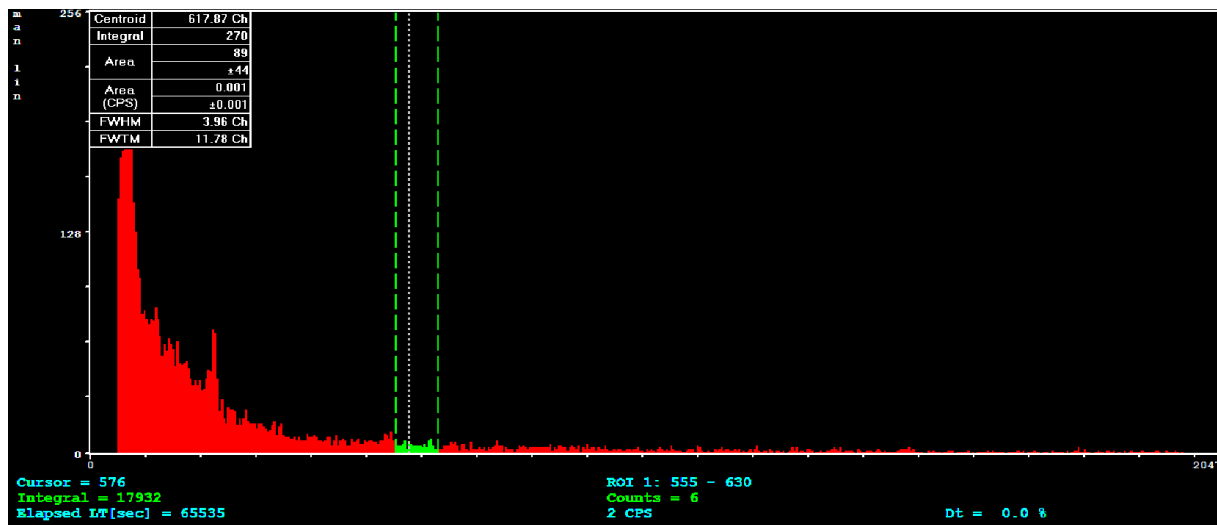


Figure 41 : Spectre d'échantillon à 40 cm de profondeur, temps d'acquisition 65535 s

Dans ce spectre, le centroïde se trouve dans le canal numéro 617,87. L'existence de ce numéro sera expliquer et interpréter dans la partie suivante. On observe aussi une augmentation de la valeur de l'intégrale dans la région à 270.

II. INTERPRETATIONS des RESULTATS OBTENUS

1. INREPRETATIONS CONCERNANT l'ETALONNAGE en ENERGIE

On se réfère au tableau 4 où l'on donne l'énergie correspondante à chaque pic de l'iode.

	Numéro du canal du centroïde	Energie correspondante (en keV)
Pic1	265,15±1,01	284,29
Pic2	339,51±0,35	364,48
Pic3	592,66±2,46	636,97

Tableau 4 : numéro de chaque pic de l'iode 131 avec leurs énergies correspondantes

En utilisant la formule (16) et (17), on trouve la valeur de a et celle de b.

$$a = 1,08 \text{ et } b = -1,15$$

D'où la droite d'étalonnage qui a pour équation : $y = 1,08x - 1,15$

Alors, la relation entre l'énergie et le numéro du canal est donnée par la relation suivante :

$$E = 1,08 \cdot N - 1,15 \quad (19) \quad (\text{annexe (5)})$$

Donc, le numéro du canal N où se trouve l'énergie E est donnée par la relation :

$$N = \frac{E+1,15}{1,08} \quad (20)$$

Exemple :

L'énergie du césium 137 est $E = 661.657 \text{ keV}$

⇒ le césium se trouvera dans le canal numéro 615,57. Mais cette valeur fluctue pratiquement à cause du phénomène aléatoire de la désintégration.

2. INTERPRETATIONS CONCERNANT les SPECTRES des ECHANTILLONS

a) La région d'intérêt du césium 137

Reprenons le tableau des résultats à différentes distances

DISTANCE	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	50 cm	100 cm	150 cm	150 cm (1h)
numéro du centroïde	616,756	617,416	617,002	617,316	619,156	616,904	-	618,31
Incertitude	0,914	1,162	0,975	1,0575	2,445	4,447	-	

Les résultats de mesures à différentes distances

D'après ce tableau, il y a une fluctuation des numéros du canal à chaque distance. On peut dire que l'incertitude augmente avec la distance entre la source et le détecteur. Cette augmentation est due à la diminution de l'angle solide de la source vue du détecteur. A 150cm, le détecteur a du mal à détecter les rayons gamma venant de la source si le temps d'acquisition est petit (ici ce temps est de 300 s qui est trop petit pour le détecteur à 150 cm de la source). On a essayé d'augmenter le temps à 3600 s et on trouve que le centroïde est dans le canal 618,31.

La valeur moyenne du numéro du centroïde est de $616,756 \pm 0,954$. Ceci signifie que le numéro du centroïde du césium dans un échantillon est dans un intervalle de [615,661 ; 617,851] si la région d'intérêt est entre 555 à 630.

b) Interprétations des résultats pour les spectres des échantillons

Tous les résultats des mesures spectrométriques de chaque échantillon sont résumés dans les tableaux suivants.

- Temps d'acquisition 43200 s

Profondeur	Superficielle	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
Centroïde	-	-	-	-	-
Intégrale	168	146	196	186	204

Tableau 5 : les résultats des mesures des échantillons pour le temps d'acquisition 43200 s

- Temps d'acquisition 65535 s

Profondeur	20 cm	40 cm
Centroïde	-	617,87
Intégrale	316	270

Tableau 6 : résultats des mesures des échantillons à 20 et 40 cm de profondeur pour le temps d'acquisition 65535s

Rappelons que la valeur de l'intégrale dans la région d'intérêt, 555 – 630 est de 91.

D'après les résultats (tableau 5), à la surface du sol, à 20 et 30 cm de profondeur, les échantillons pourraient contenir du césium – 137. En effet, ces résultats montrent qu'il y a augmentation des intégrales par rapport à celle du bruit de fond dans chaque région. Mais on ne trouve pas le numéro du centroïde. Ces résultats signifient que le césium – 137 présent dans ces échantillons est à l'état de trace.

En augmentant le temps d'acquisition à 65535s (tableau 6), on constate que l'intégrale pour l'échantillon à 20 cm augmente par rapport au précédent mais le numéro où se trouve le centroïde n'est pas encore affiché. Ce résultat confirme qu'il y a peut-être du césium – 137 dans l'échantillon mais toujours à l'état de trace. Pour l'échantillon à 40 cm de profondeur, le centroïde du césium – 137 apparaît dans le canal numéro 617,83. Ce numéro est compris dans l'intervalle de numéro de canal qu'on a établi pour le césium – 137 à l'état de trace, cet intervalle est [615,802 ; 617,71]. L'intervalle de confiance est à 97,5%. On observe aussi une augmentation de son intégrale par rapport à la précédente.

CONCLUSION

Dans ce travail, on a fait l'étalonnage en énergie du détecteur pour localiser le numéro du canal où se trouve l'énergie du césium – 137. Nous avons paramétré aussi la chaîne de détection de façon adéquate pour détecter un radioélément à l'état de trace. On a réalisé une simulation pour avoir la région d'intérêt du césium – 137 en trace dans un échantillon. On a pu alors établir un intervalle du numéro de canal où se trouve l'énergie du césium – 137 en trace. Cet intervalle est [665,661 ; 617,851]. On a effectué ensuite des mesures de chaque échantillon qui provient d'un même sédiment mais à différentes profondeurs pour identifier le césium – 137. Dans ces mesures, le temps d'acquisition a été fixé à 12 heures. Les résultats de mesure indiquent que le césium – 137 dans les échantillons est à l'état de trace. On a augmenté le temps d'acquisition à 18,204 heures (temps d'acquisition maximal possible par le MCA). Le centroïde du césium – 137 apparut dans le spectre de l'échantillon à 40 cm de profondeur. Ce centroïde se trouve dans le canal numéro 617,83.

Le césium – 137 qui est la seule source existante dans le laboratoire de L.P.N.P.E peut nous servir pour détecter ce radioélément à l'état de trace.

La présence du césium – 137 implique que les retombées radioactives des accidents nucléaires et/ou rejets routines auraient atteints le pays, donc une étude plus poussée serait souhaitable.

RESUME :

Ce travail concerne le paramétrage du détecteur CZT du laboratoire L.P.N.P.E pour détecter l'existence d'un radioélément à l'état de trace tel que le césium-137 dans le sédiment. C'est un élément radioactif artificiel.

On a établi une méthode pour avoir la région d'intérêt du radioélément à l'état de trace et utilisé une source scellée de césium-137 du laboratoire. Un intervalle du numéro de canal a été établi. On a effectué des mesures sur les échantillons prélevés dans un sédiment. Ces échantillons sont dans des différentes profondeurs. On constate que les échantillons pourraient contenir du césium-137 en trace.

ABSTRACT:

The goal of this work is to set up the CZT detector parameters of the L.P.N.P.E laboratory in order to detect the existence of a radioelement such as caesium-137 in very small amount in the sediment. It is an artificial radioactive element.

One method was established to get the region of interest of the radioelement in very small amount and a sealed source of caesium-137 of the laboratory was used. A channel number interval was established. Measurements on samples from sediment were performed. These samples come from different depths. It is to be noted that samples can contain the caesium-137 in very small amount.

ANNEXE

ANNEXE (1)

HISTORIQUE :

La présence de rayonnements ionisants dans l'environnement a été établie quelques années après la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel en 1896. En faisant des mesures de ces rayonnements ionisants avec et sans blindage, Rutherford et Cook ont émis en 1903 l'hypothèse que ces rayonnements provenaient de l'environnement. En 1908, McLennan prouve que la majeure partie de ces radiations a comme origine le sol, en observant une diminution de leur intensité sur un lac couvert de glace comparée à celle au-dessus du sol. Hess accroche en 1912 des détecteurs à des ballons et mesure l'intensité des radiations en fonction de l'altitude. La diminution attendue avec l'altitude n'est pas mise en évidence, mais au contraire une augmentation pour des altitudes supérieures à 1000 mètres a été observée. Ce comportement a été expliqué par l'existence des rayonnements cosmiques. Depuis ces découvertes pionnières de la radioactivité naturelle, de nombreux travaux de recherches ont été menés afin de caractériser chacune des radiations émises dans l'environnement.

Un pas important a été fait dans les années 60 par Beck et al. en définissant les pratiques de la mesure in situ et les méthodes d'analyse et de détermination de l'activité. Cette étude a ensuite été reprise dans l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) afin d'homogénéiser les pratiques au niveau international pour faire face aux événements accidentels de la radioactivité et en particulier suite à l'accident de la centrale de Tchernobyl en 1986.

Le développement de matériels, de détecteurs et de méthodes a suivi l'évolution de la prise de conscience du problème qu'impliquent les rayonnements ionisants. Les premiers dispositifs pour la détection de la radioactivité étaient des écrans fluorescents et des films photographiques comme ceux utilisés par Röntgen. Au début du vingtième siècle, trois détecteurs ont été développés et sont encore utilisés de nos jours : la chambre à ionisation, le compteur Geiger-Muller et le compteur proportionnel. Ils sont tous les trois basés sur le principe de mesure d'impulsions électriques produite lors d'interaction (création de paires électron-ion) entre des radiations et le volume sensible du détecteur, principalement du gaz.

ANNEXE

La découverte de l'excellente propriété de scintillation du cristal d'iodure de sodium, dopé au thallium (NaI(Tl)) conjugué avec le développement d'analyseurs multicanaux, signe le départ de la spectrométrie gamma moderne.

Même avec son excellente efficacité, le détecteur (NaI(Tl)) admet un léger point faible qui repose sur sa résolution. La découverte du détecteur Ge (germanium) ultra pur résout beaucoup ce problème mais fait engendrer d'autre, c'est l'acombrance. Ce détecteur doit être refroidit par l'azote liquide. L'existence du détecteur CdZnTe (Cadmium Zinc Tellure) élimine beaucoup de problème. Sa résolution est supérieure au NaI mais inférieur à celle de Ge ultra pur. Le CZT n'a pas besoin de refroidissement, son préamplificateur suffit pour éliminer le bruit engendré par la chaleur dans le volume de détecteur. Le CZT est facile à porter pour des mesures in situ. Les caractéristiques du cristal de CdZn dopé de Tellure fait naître un détecteur tout terrain.

ANNEXE (2)

La formule chimique du pollucite est : $(\text{Cs,Na})_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\text{H}_2\text{O}$

ANNEXE

ANNEXE (3)

ETALONNAGE en ENERGIE du DETECTEUR :

On fait trois mesures successives sur l'iode 131 et on obtient les résultats présentés par le tableau suivant avec l'écartype de chaque pic et l'incertitude.

Colonne1	pic1	pic2	pic3
I13105A	264,68	339,48	593,59
I13105B	265,36	339,66	592,76
I13105C	265,4	339,38	591,62
Moyenne	265,147	339,507	592,657
Ecartype	0,405	0,142	0,989
Incetitude	1,005	0,353	2,457

$\bar{x} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$: c'est l'incertitude de la moyenne. Avec $t_{\alpha/2}$, déterminer à partir de la table de la distribution de Student, « s » l'écartype et « n » le nombre des mesures.

Tableau des résultats des mesures de la source étalon

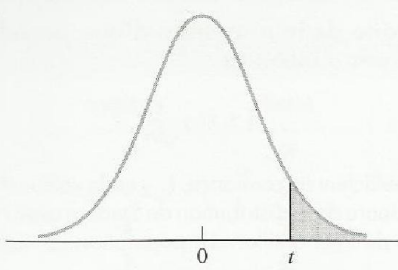
Dans ce cas, la valeur de $t_{\alpha/2}$ est déterminé à partir de l'intervalle de confiance et le degré de liberté.

Ici, $n = 3$, car on a 3 données.

Nous allons prendre l'intervalle de confiance à 97,5% et le degré de liberté est obtenu par la formule : **ddl = n – 1** donc notre ddl ici est de 2.

ANNEXE

TABLE de DISTRIBUTION de STUDENT



The graph shows a bell-shaped curve representing the Student's t-distribution. The horizontal axis is labeled with 0 at the center and t at a point to the right. The area under the curve to the right of t is shaded, representing the upper tail area.

Degrés de liberté	Aire dans la queue supérieure de la distribution (partie grisée)				
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

ANNEXE

ANNEXE (4) :

CALCUL du CENTROÏDE du CESIUM (dans la recherche de la région d'intérêt)

Les différentes distances pour cette mesure sont : 10 cm, 15 cm, 20 cm, 50 cm, 100cm, 150cm.

Pour chaque distance, on a effectué 5 mesures.

DISTANCE	5cm	10cm	15cm	20cm	50cm	100cm	150cm	150cm 1h
Mesure 1	616,5	618,59	617,03	617,8	619,64	613	???	
Mesure 2	616,17	617,02	617,96	615,82	616,15	613	584	
Mesure 3	617,95	616,21	617,13	617,83	618,78	619,51	???	
Mesure 4	616,95	618,09	615,77	617,71	621,58	620,01	629	
Mesure 5	616,21	617,17	617,12	617,42	619,63	619	622,01	
moyenne	616,756	617,416	617,002	617,316	619,156	616,904		618,31
ecartype	0,737	0,936	0,785	0,852	1,969	3,582		
incertitude	0,914	1,162	0,975	1,058	2,445	4,447		

Résultats de mesures de césium dans différentes distances

Pour avoir la valeur moyenne du centroïde du césium, il faut calculer la moyenne de chaque centroïde moyenne à chaque distance.

⇒ Avec le même intervalle de confiance que le précédent, on a : **616,756 ± 0,954**

ANNEXE

ANNEXE (5) :

Pour établir l'équation de la droite d'étalonnage $y = ax + b$, il faut calculer coefficients « a » et « b ». On utilise la méthode de moindre carrée. (On rappelle que, x est le numéro du canal où se trouve l'énergie y)

Par la méthode des moindres carrées,

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

	x	y	x ²	x*y
	265,15	284,29	70302,75	75378,55
	339,51	364,48	115264,78	123743,39
	592,66	636,97	351241,92	377504,52
moyenne	399,10	428,58	178936,49	192208,82

$$\overline{x * y} - \bar{x} * \bar{y} = 21161,11$$

$$\overline{x^2} - \bar{x}^2 = 19653,01$$

D'où :

$$a = 1,08$$

$$b = -1,15$$

BIBLIOGRAPHIE et WEBOGRAPHIE

- [1] : RAVELOMANANTSOA Solofo *cours d'instrumentation nucléaire* semestre 9. Université d'Antananarivo (2014)
- [2] : WWW.wikipedia.com
- [3] : Aurelie Epely : *caractérisation de cibles expérimentales irradiées en vue de leur évacuation*. Mémoire de Master 2 de radioprotection. Université Joseph Fourier (2005)
- [4] : RADJINI RACINE : *ETUDE DES EFFETS D'UNE INGESTION CHRONIQUE DE RADIONUCLEIDES SUR LE METABOLISME DU CHOLESTEROL CHEZ LE RAT : EXEMPLES DE L'URANIUM APPAUVRI ET DU CESIUM 137*. ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE DE CLERMONT - FERRAND (SOUTENUE LE 28 OCTOBRE 2009)
- [5] : RANDRIA-MAMPIANINA HARINIRINA LEONCE : *ADAPTATION DU SPECTROMETRE CZT – 500S A LA MESURE EN LABORATOIRE : VALIDATION PAR LE K – 40*. UNIVERSITE D'ANTANANARIVO. (PRESENTE LE 05 JUIN 2015)
- [6] : RASOLOFONIRINA MAMISEHENO *COURS DE STATISTIQUE APPLIQUEE* SEMESTRE 9. UNIVERSITE D'ANTANANARIVO(2014)
- [7] : CEA/LNE – LNHB, NUCLEIDE – LARA – BIBLIOTHEQUE DES EMISSIONS X ET GAMMA (2008)

Auteur : ANDRIANANTENAINA Hobinirina Elie Souverain

Téléphone : 0330117874

Titre : Paramétrage du détecteur CZT – 500s pour la détection d'un radioélément à l'état de trace tel que le césium – 137 dans le sédiment

RESUME :

Ce travail concerne le paramétrage du détecteur CZT du laboratoire L.P.N.P.E pour détecter l'existence d'un radioélément à l'état de trace tel que le césium-137 dans le sédiment. C'est un élément radioactif artificiel.

On a établi une méthode pour avoir la région d'intérêt du radioélément à l'état de trace et utilisé une source scellée de césium-137 du laboratoire. Un intervalle du numéro de canal a été établi. On a effectué des mesures sur les échantillons prélevés dans un sédiment. Ces échantillons sont dans des différentes profondeurs. On constate que les échantillons pourraient contenir du césium-137 en trace.

Mots clés : région d'intérêt, césium-137

ABSTRACT:

The goal of this work is to set up the CZT detector parameters of the L.P.N.P.E laboratory in order to detect the existence of a radioelement such as caesium-137 in very small amount in the sediment. It is an artificial radioactive element.

One method was established to get the region of interest of the radioelement in very small amount and a sealed source of caesium-137 of the laboratory was used. A channel number interval was established. Measurements on samples from sediment were performed. These samples come from different depths. It is to be noted that samples can contain the caesium-137 in very small amount.

Key words: region of interest, caesium-137