

Etude de stabilité des détecteurs utilisés en spectrométrie gamma, Cas du HPGe et du NaI(Tl)

Briant KALL^{1*}, Venance SABE¹ et Gérard RAMBOLAMANANA²

¹ *Faculté des Sciences, Université d'Antsiranana, BPO 201 Antsiranana, Madagascar*

² *Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, Madagascar*

*Correspondance, courriel : briantkall@yahoo.com

Résumé

Cet article traite un sujet de spectrométrie gamma. C'est une technique d'analyse nucléaire très précise. Elle permet d'analyser un radionucléide et de faire une identification qualitative et quantitative. Ce travail est axé sur l'étude de la stabilité d'une chaîne de spectrométrie vis-à-vis du nombre de coups contenu dans un photo-pic. Pour ce faire, la position du centroïde est déterminée par la méthode d'approximation parabolique d'une forme gaussienne. Deux détecteurs de types différents ont été utilisés : un HPGe et un NaI(Tl). Les mesures ont nécessitées l'emploi de trois sources ponctuelles : le Am-241, le Cs-137 et le Co-60. Les analyses ont été effectuées à des distances et des temps d'acquisition différents. Les résultats d'analyses montrent que le HPGe est plus insensible à des grandes variations de nombre de coups par rapport au NaI(Tl). Pour ce dernier, l'augmentation de l'aire nette s'accompagne d'une diminution de la valeur du centroïde, ce qui, sur le spectre, se traduit par un déplacement vers la gauche. Le HPGe présente des valeurs plus stables. Par contre, l'efficacité du NaI(Tl) est meilleure que celle du HPGe. Le NaI(Tl) est plus adéquat pour des analyses des échantillons de faible activité.

Mots-clés : *radioactivité, spectrométrie gamma, approximation parabolique, centroïde.*

Abstract

Study of the stability of gamma spectrometry systems using HPGe and NaI(Tl) detectors

This paper is treating gamma spectrometry which is a very precise nuclear technique for environmental analyses. It offers a possibility to identify the radio nuclides in samples in term of quality and quantity. For that, this work allows us to study the stability of gamma spectrometry system according to the number of count inside a photopeak. In doing, the determination of the peak position is done by considering the method of parabolized Gaussian fit, which is reliable and often used for such purposes. Two detectors were used: HPGe and NaI(Tl). Three point-sources were used for the experiments: Am-241, Cs-137 and Co-60. The measurements have been done with different distances source-detector and different acquisition times. The results were plotted to graphs. The graphs show that the HPGe detector is more stable than the NaI(Tl). For this last, when the net counts increase, the peak position displace to the left. The HPGe present a very negligible variation. Instead of that, the efficiency of the NaI(Tl) is better than the efficiency of the HPGe. The NaI(Tl) detector give then better results for samples analyses with low activities.

Keywords : *radioactivity, gamma spectrometry, parabolized gaussian fit, centroid.*

1. Introduction

Lors de n'importe quelle mesure, la valeur réelle n'est jamais connue, et l'on doit se contenter d'une valeur rapprochée. Le moyen d'y arriver nécessite de grande prudence et de précaution car la raison pour laquelle la valeur réelle n'est pas trouvée vient du fait que chaque mesure est entachée d'erreurs. Ces erreurs peuvent être classées dans deux catégories : erreurs statistiques et erreurs aléatoires. Tandis que la première fait référence à l'imperfection de la technique, à des causes humaines et à la mauvaise calibration de l'instrument utilisé, la seconde s'appuie sur les changements incontrôlables des conditions de mesure (tension, température, humidité, ...) et surtout sur la nature probabiliste du phénomène à détecter. Toutefois, en effectuant les mesures sous des mêmes conditions et en faisant en sorte d'avoir un grand nombre d'évènement, on peut avoir, avec une certaine certitude, une valeur moyenne qui se rapproche de la valeur réelle. La mesure des phénomènes radioactifs est soumise à ces contraintes. La radioactivité est un phénomène probabiliste qui est défini par la valeur de la probabilité de désintégration par unité de temps λ . Cela conforte l'aspect aléatoire des phénomènes radioactifs.

En réalité, aucune représentation des valeurs expérimentales ne donne une parfaite Gaussienne, mais en pratique, sa considération fournit des bons résultats. D'ailleurs la théorie statistique montre que même si la répartition d'une population de départ étudiée ne suit pas la loi de distribution normale, sa moyenne l'est. L'imperfection du Gaussien obtenu expérimentalement se manifeste sur la symétrie de la courbe. En fait l'asymétrie, tantôt penchée vers la gauche, tantôt vers la droite par rapport à la valeur m , est l'effet des phénomènes divers en jeu (phénomènes radioactif, de détection, électronique, ...) L'objet du présent travail est d'identifier la valeur expérimentale du centroïde x_0 d'un photopic malgré son asymétrie et le comportement de celle-ci par rapport au nombre de coups reçu pour une énergie incidente donnée. Nous étudions cet aspect en utilisant deux détecteurs de types différents : un NaI (TI) et un HPGe afin de s'apercevoir d'une éventuelle fluctuation de x_0 et de comparer les résultats.

2. Méthodologie

2-1. Fondements théoriques

Aux premières approches mathématiques, de part ces caractéristiques, la radioactivité obéit à une distribution binomiale qui peut encore être écrite selon celle de Poisson du moment que $N \rightarrow \infty$ et $p \rightarrow \infty$ et $N.p = m = \text{constant}$.

$$P_n = \frac{m^n}{n!} \exp(-m) \quad (1)$$

Pratiquement en spectrométrie nucléaire pour $m > 100$, l'équation (1) se rapproche de la distribution de Gauss :

$$P(x)dx = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\sigma} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (2)$$

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer le centroïde d'une gaussienne notamment la méthode graphique, la méthode des cinq canaux, l'approximation linéaire de gauss, la méthode parabolique Cette dernière sera mise en œuvre pour nos calculs car elle est usuellement utilisée pour déterminer les paramètres d'un photopic lors d'une mesure d'un rayonnement gamma. Elle donne des résultats fiables.

Après que le fond continu du photopic ait été préalablement extrait, on considère que x représente le numéro d'un canal et $y(x)$ indiquant le nombre de coups qui lui est associé. L'équation (2) peut donc être réécrite sous la forme :

$$y(x) = y_0 \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{3}$$

En appliquant le logarithme naturel à l'équation (3), on obtient :

$$\ln y(x) = c_2 x^2 + c_1 x + c_0 \tag{4}$$

Par identification, La valeur centrale (centroïd) $m = x_0 = -\frac{c_1}{2c_2}$ (5)

Tandis que son écart type $\sigma = \sqrt{-\frac{1}{2c_2}}$ (6)

Les coefficients c_1 et c_2 induits par cette méthode sont calculés par les déterminants des équations matricielles suivantes :

$$c_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} S1 & S6 & S3 \\ S2 & S7 & S4 \\ S3 & S8 & S5 \end{vmatrix} \text{ et } c_2 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} S1 & S2 & S6 \\ S2 & S3 & S7 \\ S3 & S4 & S8 \end{vmatrix}$$

Où $\Delta = \begin{vmatrix} S1 & S2 & S3 \\ S2 & S3 & S4 \\ S3 & S4 & S5 \end{vmatrix}$, $S1 = \sum \frac{1}{s_i^2}$, $S2 = \sum \frac{x_i}{s_i^2}$, $S3 = \sum \frac{x_i^2}{s_i^2}$, $S4 = \sum \frac{x_i^3}{s_i^2}$, $S5 = \sum \frac{x_i^4}{s_i^2}$

$$S6 = \sum \frac{\ln y_i}{s_i^2}, S7 = \sum \frac{x_i \ln y_i}{s_i^2}, S8 = \sum \frac{x_i^2 \ln y_i}{s_i^2}$$

Avec $s_i = s(\ln y_i)$

2-2. Expérience

Nous avons choisi trois sources ponctuelles dont les caractéristiques sont données dans le **Tableau** ci-dessous.

Tableau 1 : caractéristiques physique des sources

Radionucléides	Energie (MeV)	Demi-vie
Am-241	0,059	432,2 ans
Cs-137	0,662	30,17 ans
Co-60	1,173	5,27 ans
	1,333	

Pour nos mesures, deux chaînes de spectrométrie gamma sont utilisées : un détecteur à scintillation NaI (TI) de dimension 3*3 in. relié à un micro-ordinateur muni d'un logiciel Scinti-Vision et un détecteur à semi-conducteur HPGe de même dimension refroidi avec de l'azote liquide et connecté à un autre micro-ordinateur dans lequel fonctionne un logiciel, d'acquisition et de traitement des données, Génie-2000. Schématiquement, les deux détecteurs ont la même configuration, comme le montre la **Figure 1**.

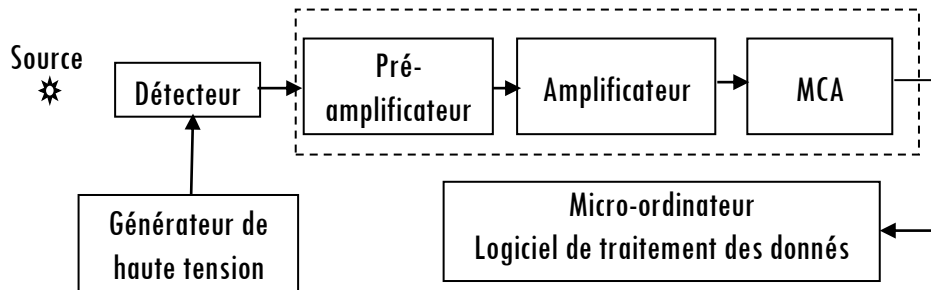


Figure 1 : Schéma fonctionnel simplifié d'une chaîne de spectrométrie gamma

3. Résultats

Les temps des mesures ont été fixés de 60 à 900 secondes. Cela a été imposé tenant compte des activités des sources utilisées et aussi pour avoir des nombres de coups équivalents à une activité moyenne d'un radionucléide naturel. Les différentes mesures se sont déroulées sous les mêmes conditions sauf pour les réglages des gains. En effet, les réglages de la chaîne au NaI (TI), par rapport au HPGe, ont été volontairement décalés pour avoir des représentations séparées des résultats afin de clarifier les comparaisons.

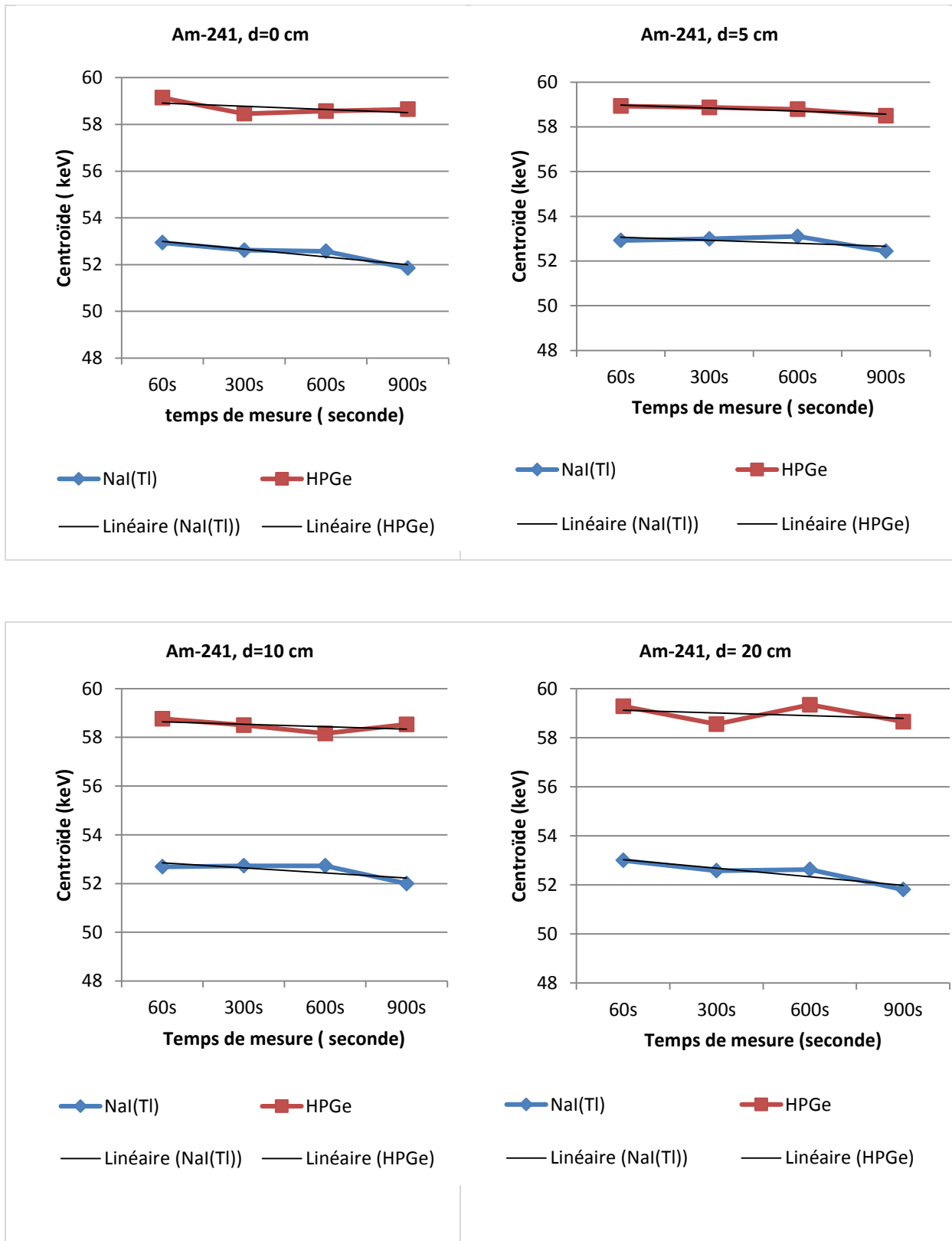


Figure 2 : Variations des centroïdes de l'Amercium-241

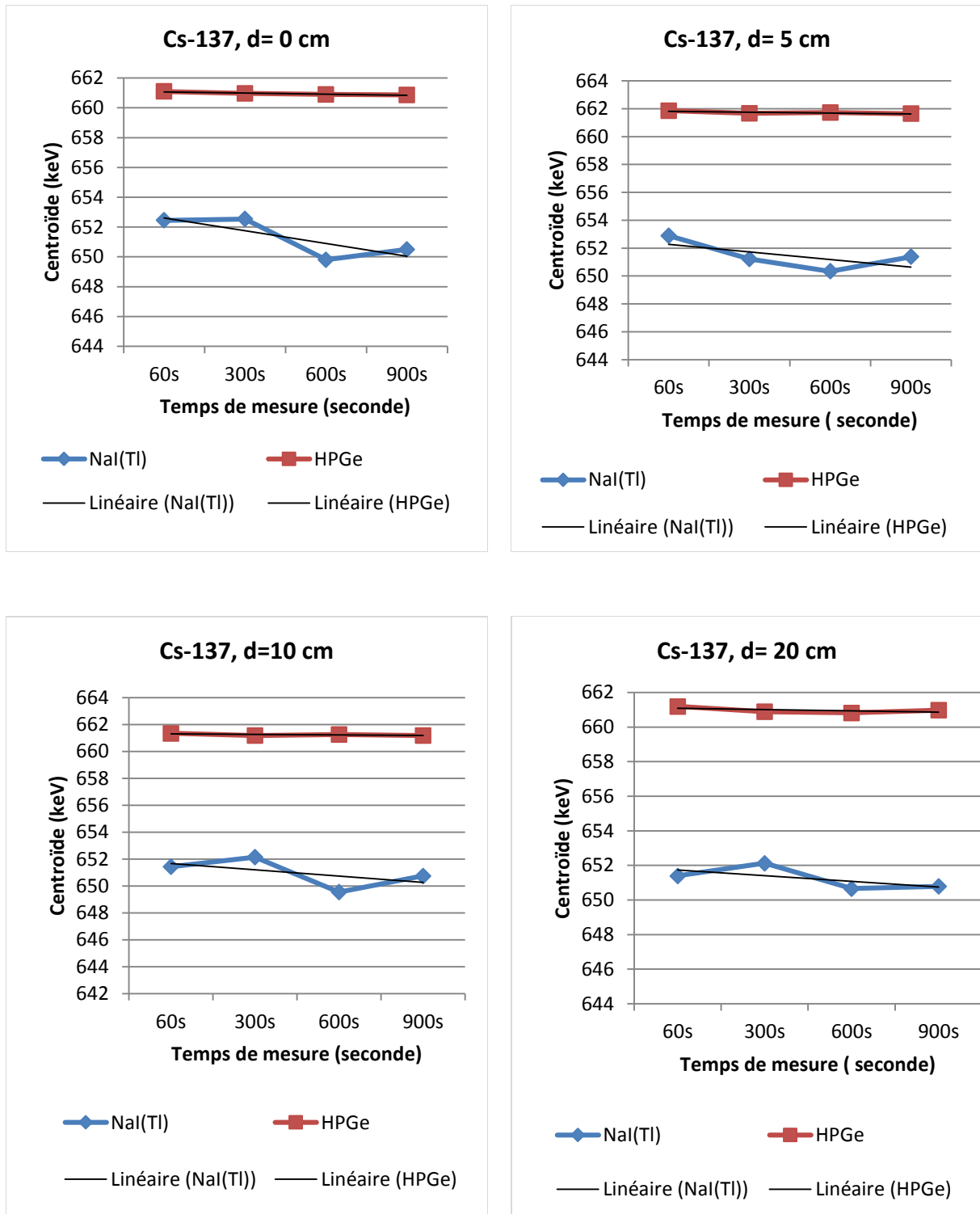


Figure 3 : Variations des centroïdes du Césium-137

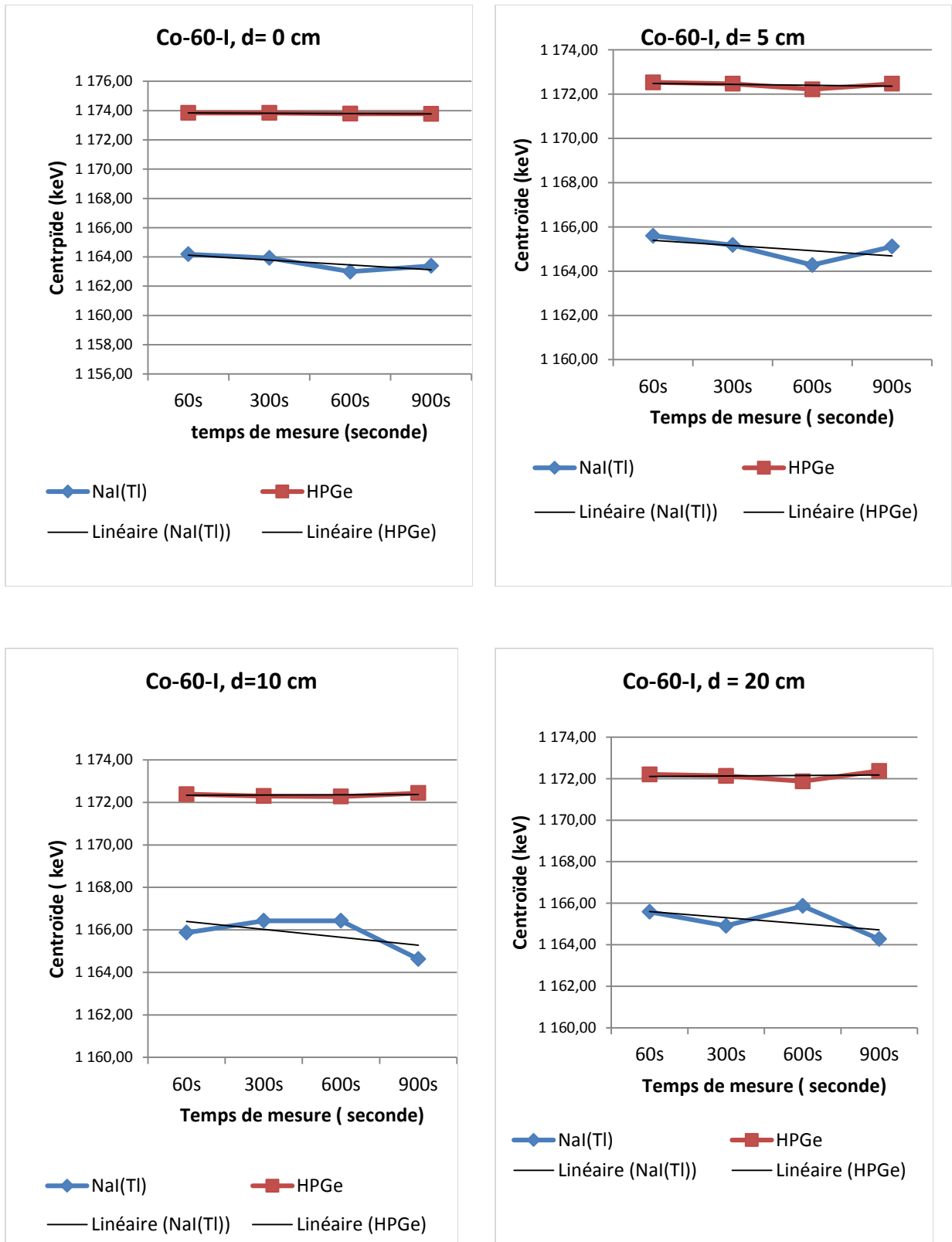


Figure 4 : Variations des centroïdes du Cobalt-60 (1,173 MeV)

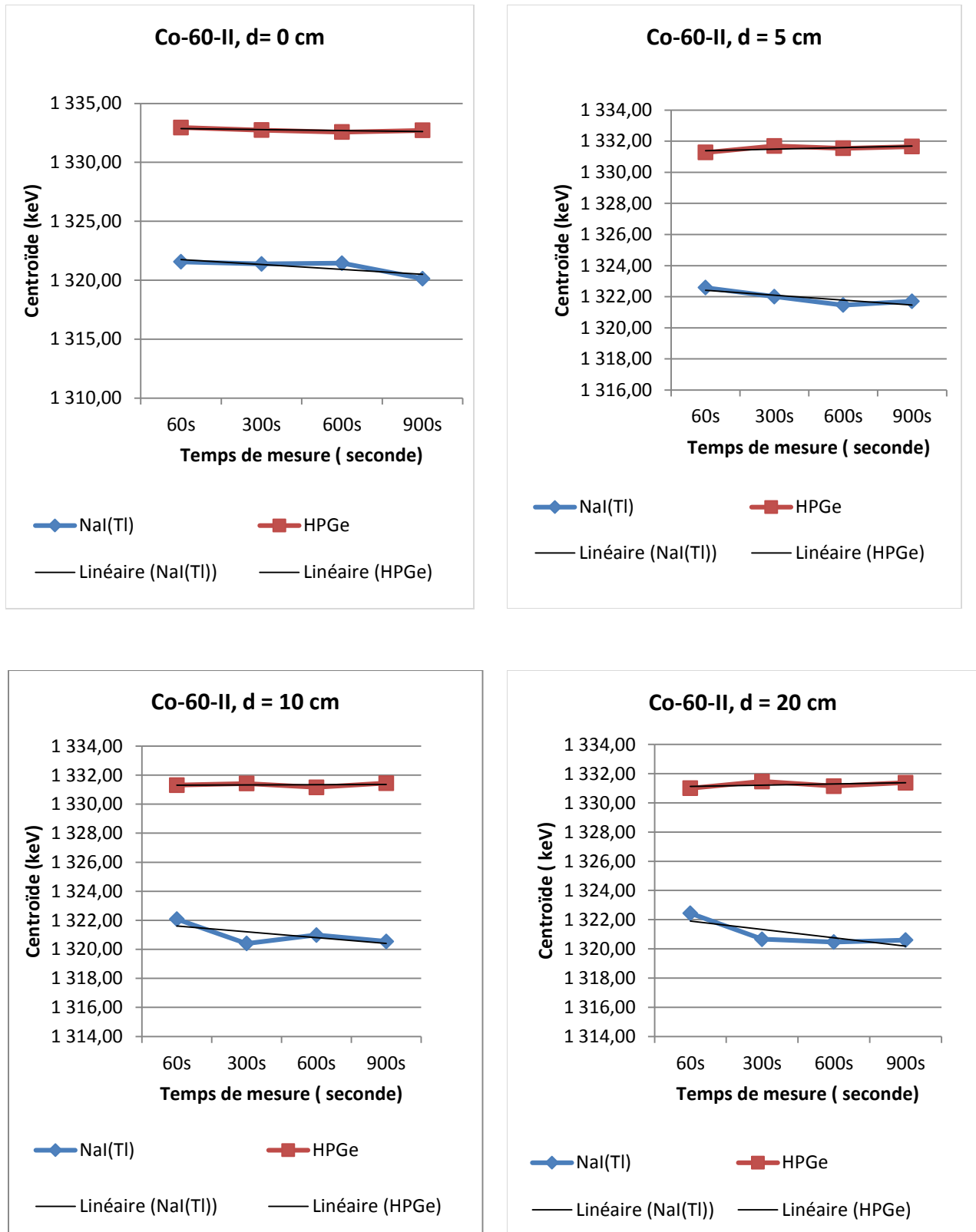


Figure 5 : Variations des centroïdes du Cobalt-60 (1,133 MeV)

4. Discussion

La variation du temps de comptage permet de varier le nombre de coups sous le photopic. Pour une distance donnée, plus le temps de comptage est grand, plus le nombre de coups sous un photopic est conséquent. Le **Tableau 2** montre les valeurs obtenues.

Tableau 2 : Récapitulatif des valeurs extrêmes et moyennes

Radionucléides	Détecteurs	Energie (keV)		
		Valeur max	Valeur min	Moyenne
Am-241	NaI(Tl)	53,44 ± 5,64	52,57 ± 5,53	52,84 ± 2,16
	HPGe	59,34 ± 1,61	58,57 ± 1,93	58,73 ± 2,28
Cs-137	NaI(Tl)	648,89 ± 18,18	643,50 ± 23,16	646,55 ± 7,61
	HPGe	661,86 ± 1,27	660,87 ± 1,05	661,22 ± 7,66
Co-60 (1,173 MeV)	NaI(Tl)	1167,39 ± 25,59	1158,58 ± 27,46	1161,66 ± 9,81
	HPGe	1173,84 ± 2,21	1168,20 ± 14,65	1172,68 ± 10,21
Co-60 (1,333 MeV)	NaI(Tl)	1326,47 ± 25,87	1318,01 ± 26,22	1322,9 ± 10,83
	HPGe	1332,95 ± 3,39	1331,00 ± 10,3	1331,72 ± 10,88

Ces valeurs indiquent d’abord une extrême linéarité des deux chaînes. Pour l’Am-241 et pour toutes les analyses effectuées avec le NaI (TI), l’écart entre la valeur maximale et la valeur minimale équivaut à environ 0,87 keV tandis que le HPGe donne un écart de 0,77 keV. Quand à l’élément Cs-137 et pour toutes les analyses effectuées, le NaI (TI) donne un écart d’environ 5,39 keV tandis que le HPGe montre un écart de 0,99 keV. Avec le Co-60 d’énergie 1,173 MeV et pour toutes les analyses effectuées, les analyses avec le NaI (TI) donnent un écart d’environ 8,81 keV tandis que cette valeur est de 5,64 keV pour le HPGe. Finalement le Co-60 d’énergie 1,133 MeV et pour toutes les analyses effectuées avec le NaI(TI), les écarts sont d’environ 8,46 keV et de 1,95 keV respectivement pour le NaI (TI) et le HPGe. Dans le cas du HPGe et pour toutes les analyses, la méthode des moindres carrées nous permet de tracer des droites nous permettant de constater la tendance générale de la variation. Nous remarquons que les valeurs sont relativement constantes, ce qui prouve une grande stabilité de ce détecteur par rapport au nombre de coups enregistrés. Par contre, en appliquant la même technique, les droites de tendance des valeurs obtenues avec le NaI (TI) montrent en générale une faible mais perceptible pente. En fait, toutes les droites vont dans le sens décroissant au fur et à mesure que le temps de mesure augmente. Sur le spectre, cela est interprété par un léger glissement vers la gauche du spectre entier.

5. Conclusion

Sous les mêmes conditions, le taux d’enregistrement du HPGe est moindre que celui du NaI (TI) parce que l’efficacité de ce dernier est bien meilleure que celui du premier. Par contre, la résolution du HPGe est plus grande que celle du NaI(TI).

Pratiquement, pour des analyses des échantillons environnementaux, le NaI (TI) est bien plus préférable car malgré la fluctuation de la valeur du centroïde, il donne des bons résultats lors des analyses quantitatives. En comparant les deux détecteurs et en vu des résultats obtenus, la stabilité du HPGe vis-à-vis de la distance (donc du nombre de coups) est meilleur que celle du NaI(TI)

Remerciements

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude envers le professeur titulaire de classe exceptionnelle RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA de nous avoir permis d'effectuer toutes nos analyses dans son institut.

Références

- [1] - COURTINE, F. ETALONNAGE d'un spectromètre gamma en vue de la mesure de la radioactivité naturelle, Mesures expérimentales et modélisation par techniques de Monte-Carlo. Thèse de 3^e cycle, Université Blaise Pascal, France, (2007), 9-26.
- [2] - ORTEC. Review of the Physics of Semiconductor Detectors, 905 Series NaI (TI) Scintillation Detectors. 103-106.
- [3] - NICHOLAS TSOULFANIDIS, measurement and detection of radiation, Taylor & francis, (1988).
- [4] - A. FANNU et al, Calibration and performance testing of sodium Iodide, NaI (TI), detector at the food environmental Laboratory of the Radiation Protection Institute of the Ghana Atomic Energy Commission. West African Journal of Applied Ecology, vol.19, (2011).
- [5] - D. GILMORE and D. D. WATSON, A method for the analysis of pulse height spectra. Nucl. Instrum. Meth. 43 (1995) 355-360.
- [6] - International Commission on Radiological Units (ICRU), Gamma-Ray Spectrometry in the Environnement. ICRU Report N° 53, (1994).
- [7] - M. H. YOUNG and N. S. SINGHAL, Gamma-Ray Unfolding by the Stepwise Statistical Method. Nucl. Instrum. Meth. 4, (1966) 287-292.
- [8] - P. L. REEDER and D. C. STROMSWOLD, Performance of large NaI(TI) Gamma-Ray detectors over temperature -50°C to +60°C. Pacific Northwest national laboratory. Richland, Washington 99352, (2004).
- [9] - J. O. AJAYI et al., Assessment of Radiological Hazard Indices of Building Materials in Ogbomoso, South-West Nigeria, Environment and Natural Resources Research; Vol. 3, No. 2; 2013, ISSN 1927-0488, E-ISSN 1927-0496, Published by Canadian Center of Science and Education.
- [10] - J. DAVID SHESKIN, Parametric end nonparametric statistical procedures, third edition, Chapman and Hall/CRC, (2004).