

Contribution à l'étude de dose due à la radioactivité gamma du sol sur la rive de la baie des Français, Antsiranana, Madagascar

**Briant KALL^{1*}, Theogene TOMBO¹, Martin RASOLONIRINA², Naivo RABESIRANANA³
et Gérard RAMBOLAMANANA⁴**

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

²*Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN-Madagascar), Antananarivo*

³*Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, BP 906 - 101 Antananarivo, Madagascar*

⁴*Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, Madagascar*

*Correspondance, courriel : briantkall@yahoo.com

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier la radioactivité gamma des sols sur la rive de la baie des français et de déterminer l'impact dosimétrique sur la population locale dans les localités d'Ankorikihely, de betahitry et de Lazaret-Nord. Des échantillons du sol ont été prélevés et analysés pour identifier les activités spécifiques du potassium-40, des familles de l'Uranium-238 et du Thorium-232. Ces échantillons ont été analysés sur une chaîne de spectrométrie gamma, muni d'un détecteur NaI(Tl) et du logiciel Scinti-vision. Le traitement des spectres a été réalisé en utilisant la méthode de Rybach. Après mesures, les résultats suivants ont été obtenus : les activités spécifiques du potassium-40 varient de 112 ± 34 Bq.kg⁻¹ à 565 ± 50 Bq.kg⁻¹, avec une moyenne de 313 Bq.kg⁻¹. Cette dernière est inférieure à la valeur moyenne mondiale, qui est 400 Bq.kg⁻¹. Les activités spécifiques de la famille de l'uranium-238 varient de 87 ± 32 Bq.kg⁻¹ à 190 ± 46 Bq.kg⁻¹, avec une moyenne de 139 Bq.kg⁻¹. Cette valeur moyenne est quatre fois supérieure à la valeur moyenne mondiale, qui est de 35 Bq.kg⁻¹. Les activités spécifiques de la famille du thorium-232 varient de 81 ± 20 Bq.kg⁻¹ à 161 ± 23 Bq.kg⁻¹, avec une moyenne de 126 Bq.kg⁻¹. Cette valeur moyenne est quatre fois plus que la valeur moyenne mondiale, qui est de 30 Bq.kg⁻¹. Les débits de dose absorbée à 1m au-dessus de la surface de sol varient entre 89 ± 14 nGy.h⁻¹ et 209 ± 29 nGy.h⁻¹ avec une moyenne de 153 nGy.h⁻¹. Les doses efficaces annuelles sont comprises entre $0,14 \pm 0,02$ mSv.a⁻¹ et $0,25 \pm 0,03$ mSv.a⁻¹. Ces valeurs annuelles sont bien en-dessous de la valeur limite acceptable pour le public qui est de 1 mSv.a⁻¹.

Mots-clés : *radioactivité, spectrométrie gamma, dose absorbée, dose efficace annuelle.*

Abstract

Study of the dosimetric impact due to the gamma radioactivity of the soil in the border of the "baie des français", Antsiranana, Madagascar

The aim of this work is to study gamma radioactivity of the soil in the border of the "baie des français" and then to determine the dosimetric impact to the local population of Ankorikihely, betahitry and Lazaret-Nord.

Samples have been collected to identify the specific activities of the potassium-40, Uranium-238 series and Thorium-232 series. These samples have been analyzed by gamma spectrometry system, with NaI(Tl) detector using ScintiVision software. The spectrum processing has been done by using the method developed by Rybach. The results show that: The potassium-40 activity ranges are from $112 \pm 34 \text{ Bq.kg}^{-1}$ to $565 \pm 50 \text{ Bq.kg}^{-1}$, with an average of 313 Bq.kg^{-1} . This latter is below the work average value of 400 Bq.kg^{-1} . The uranium-238 activity varies between $87 \pm 32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ and $190 \pm 46 \text{ Bq.kg}^{-1}$, with an average of 139 Bq.kg^{-1} . This average value is 4 times higher than the world average value of 35 Bq.kg^{-1} . The thorium-232 activity varies from $81 \pm 20 \text{ Bq.kg}^{-1}$ to $(161 \pm 23) \text{ Bq.kg}^{-1}$, with an average of 126 Bq.kg^{-1} . This average value is 4 times higher than the world average value of 30 Bq.kg^{-1} . The absorbed dose rate at 1m above soil surface varies between $89 \pm 14 \text{ nGy.h}^{-1}$ and $209 \pm 29 \text{ nGy.h}^{-1}$, with an average of 153 nGy.h^{-1} . The annual effective dose ranges from $0.14 \pm 0.02 \text{ mSv.y}^{-1}$ to $0.25 \pm 0.03 \text{ mSv.y}^{-1}$. The estimated annual effective doses are below 1 mSv.y^{-1} , the limit value for the public.

Keywords : *radioactivity, gamma spectrometry, absorbed dose rate, annual effective dose.*

1. Introduction

La radioactivité est omniprésente dans notre environnement. Sa teneur varie d'un milieu à un autre et d'une profondeur à une autre. Cette variation dépend des caractères pédologiques et géologiques du milieu considéré et parfois de l'influence des expériences et accidents nucléaires. L'écorce terrestre est en grande partie responsable de la formation et du support des éléments émetteurs de la radioactivité naturelle, en ce qui concerne les éléments telluriques. De ce fait, chaque individu, ou qu'il soit, est sous l'influence de ces radiations. Cette étude est axée sur la mesure de la teneur de la radioactivité gamma du sol longeant la baie des français. En effet, parmi les autres anses formant la baie de Diego-Suarez, la baie des français compte le plus grand nombre de population et est la plus fréquentée. Ainsi, il est plus que nécessaire de connaître la dose efficace annuelle à laquelle la population locale est soumise. Pour y parvenir, nous tenons compte de trois éléments majeurs responsables de la radioactivité du sol, à savoir le Potassium-40, la famille de l'uranium-238 et celle du Thorium-232.

2. Description et Localisation des sites

La baie de Diego-Suarez fait un pourtour d'environ 150 km et est formée par quatre anses dont celle des français. La baie des français est délimitée par une bordure de 30 km environ et qui abrite 10000 habitants repartis sur les localités d'Ankorikihely, de Betahitry et de Lazaret-Nord.

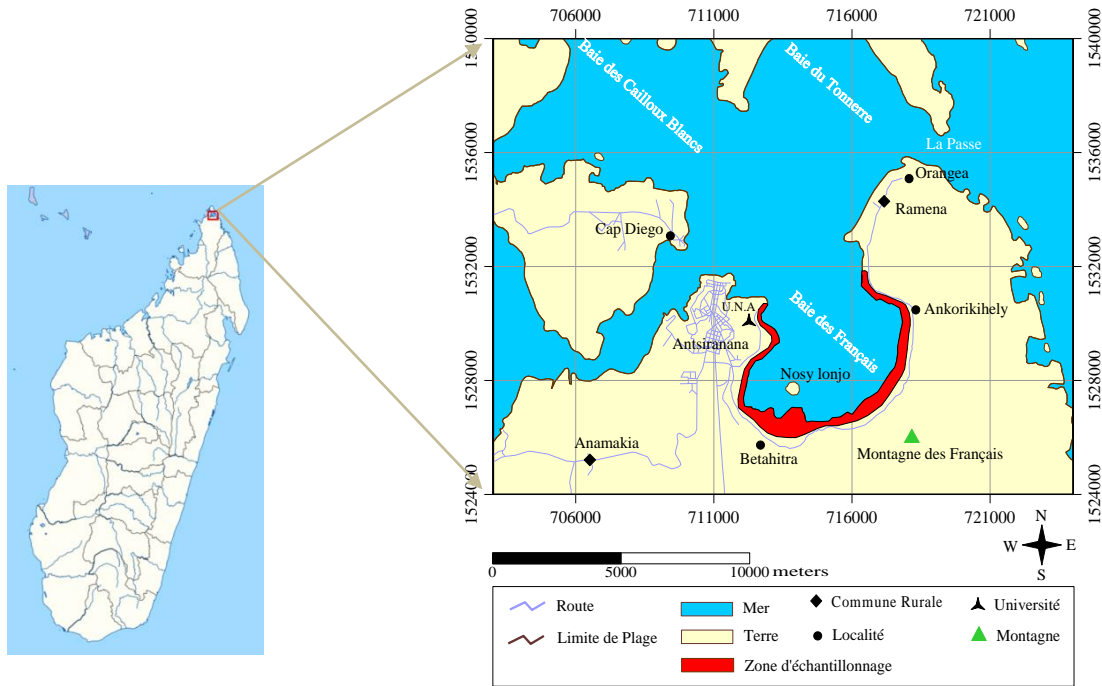


Figure 1 : Localisation des sites et la zone de prélèvements des échantillons

3. Méthodologie

Les analyses quantitative et qualitative des échantillons nécessitent une méthodologie adéquate pour de meilleures précisions. Les chaînes de spectrométrie gamma au détecteur NaI(Tl) ont des résolutions assez limitées mais qu'elles compensent par une efficacité en énergie d'une très bonne qualité sur tout le spectre. Ce qui leur permet une utilisation indéfectible sur les analyses des échantillons environnementaux.

3-1. Etalonnage en énergie

Il consiste à établir la corrélation entre une énergie et le numéro de canal du spectre. Cette correspondance se met sous forme d'une relation polynômiale bien définie. La chaîne est linéaire en énergie et une bonne approximation de la corrélation nous permet d'écrire :

$$E = a \cdot C + b \tag{1}$$

Où E représente l'énergie de la source du photopic (en keV), C : le numéro de canal d'accumulation maximum de coups, a : le coefficient directeur(en keV/canal) et b: la valeur à l'origine. La méthode des moindres carrés nous permet d'identifier les coefficients a et b :

$$a = \frac{\sum(C_i - C)(E_i - E)}{\sum(C_i - C)} \tag{2}$$

Et

$$b = \bar{E} - a \cdot \bar{C} \tag{3}$$

3-2. Etalonnage en efficacité

Pour toutes nos analyses, nous utilisons la procédure de mesure directe établie par Rybach et qui a été améliorée par Chiozzi et al pour les analyses du sol. C'est une procédure qui consiste à considérer les régions du spectre de rayonnement centrées approximativement aux sommets des pics caractéristiques d'énergie 1461 keV du Potassium-40, 1764,5 keV du Bismuth-214 et 2614,5 keV du Thallium-208 correspondant respectivement aux séries de désintégrations du Potassium-40, de l'Uranium-238 et du Thorium-232. Ensuite, nous considérons une valeur de 15% pour la largeur des régions d'intérêt de l'énergie du radionucléide caractéristique dans chaque fenêtre.

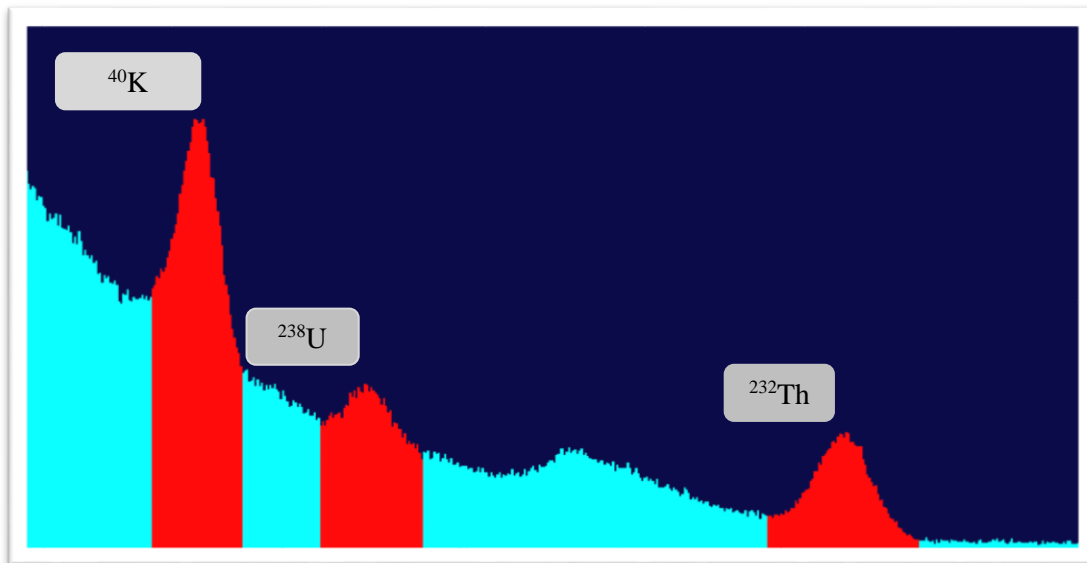


Figure 2 : fenêtres d'énergie utilisées pour la détermination de l'activité du potassium-40, de l'uranium-238 et du thorium-232, d'après la description de Rybach

3-3. Calculs des activités

3-3-1. Calculs des activités de la source et des échantillons

Il suffit donc de calculer les activités des radionucléides naturels présents dans les sources étalons standards en utilisant la relation :

$$A = \frac{I \cdot N_A \cdot m \cdot \ln(2)}{M \cdot T_{1/2}} \quad (4)$$

Où A : l'activité du radionucléide considéré (en Bq), m: la masse d'un radioélément (en ppm), M : la masse atomique du radionucléide (en mol.g⁻¹), I: l'abondance du radionucléide, N_A : le nombre d'Avogadro, T_{1/2} : la période du radionucléide (en s). Ensuite, nous déterminons chaque activité des radionucléides naturels dans les échantillons dans les trois régions d'intérêts fixées par Rybach. Il vient alors :

$$\begin{cases} A_K = a_{1,1} R_K + a_{1,2} R_U + a_{1,3} R_{Th} \\ A_U = 0 + a_{2,2} R_U + a_{2,3} R_{Th} \\ A_{Th} = 0 + a_{3,2} R_U + a_{3,3} R_{Th} \end{cases} \quad (5)$$

Où A_K , A_U et A_{Th} représentent les activités spécifiques, R_K , R_U et R_{Th} les taux de comptage nets enregistrés et les indices K, U et Th représentent respectivement le Potassium-40, l'Uranium-238 et le Thorium-232 tandis que les coefficients a sont à déterminer par la méthode de calcul.

3-3-2. Calculs d'erreurs et des incertitudes

Chaque mesure est entachée d'erreur, d'autant plus que l'expulsion d'un rayonnement nucléaire hors d'un atome est purement aléatoire. Ainsi les incertitudes des activités du Potassium-40, des familles de l'Uranium-238 et du Thorium-232 sont données par les formules de propagation des erreurs suivantes :

- Pour le Potassium -40

$$\sigma_{A_K} = \sqrt{(R_K \sigma_{a_{1,1}})^2 + (a_{1,1} \sigma_{R_K})^2 + (R_U \sigma_{a_{1,2}})^2 + (a_{1,2} \sigma_{R_U})^2 + (R_{Th} \sigma_{a_{1,3}})^2 + (a_{1,3} \sigma_{R_{Th}})^2} \tag{6}$$

- Pour l'Uranium -238

$$\sigma_{A_U} = \sqrt{(R_U \sigma_{a_{2,2}})^2 + (a_{2,2} \sigma_{R_U})^2 + (R_{Th} \sigma_{a_{2,3}})^2 + (a_{2,3} \sigma_{R_{Th}})^2} \tag{7}$$

- Pour le Thorium -232

$$\sigma_{A_{Th}} = \sqrt{(R_U \sigma_{a_{3,2}})^2 + (a_{3,2} \sigma_{R_U})^2 + (R_{Th} \sigma_{a_{3,3}})^2 + (a_{3,3} \sigma_{R_{Th}})^2} \tag{8}$$

3-4. Limite de détection

Le nombre de coups du bruit de fond sous un photopic (B_i), du temps d'acquisition (t) du spectre et de la constante d'étalonnage ($\epsilon_{i,n}$) sont les trois grands facteurs déterminant la limite de détection (LD_n) de chaque radionucléide. Elle n'est donc pas la même sur tout le spectre et est donnée par la relation :

$$LD_n = \frac{2\sqrt{2}}{\epsilon_{i,n}} \times \sqrt{\left(\frac{B_i}{t}\right)} \tag{9}$$

3-5. Impact dosimétrique

Pour l'exposition aux rayonnements gamma, les doses d'origine terrestre proviennent des radionucléides primordiaux présents dans l'air, l'eau, le sol. Dans cette étude, nous évaluons le niveau de dose d'exposition externe due à la radioactivité du sol. En effet, l'exposition à l'air libre est directement en rapport avec les activités des radionucléides primordiaux. Cela nous conduit à calculer la quantité des débits de doses absorbées et efficaces qui sont déterminées à partir des activités spécifiques obtenues du Potassium-40, de la famille de l'Uranium-238 et de la famille du Thorium-232 des échantillons.

3-5-1. Débit de dose absorbée : D_a

C'est la quantité d'énergie de rayonnements absorbée par unité de temps de la matière exposée. Le débit de dose absorbée par un individu à un mètre au-dessus de la surface du sol dépend de l'activité massique et des coefficients de conversion de dose du Potassium-40, de la famille de l'Uranium-238 et de la famille du Thorium-232. Il est déterminé selon la formule:

$$D_a = C_k A_k + C_U A_U + C_{Th} A_{Th} \quad (10)$$

Avec D_a : le débit des doses absorbées par l'individu (en $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$) ; C_k, C_U, C_{Th} : les coefficients de conversion de débit de dose respectivement pour $K-40, U-238$ et $Th-232$ (en $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1} / \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).

3-5-2. Dose efficace annuelle: E

C'est la quantité d'énergie de rayonnements absorbée par unité de masse de matière pendant une durée déterminée. A l'air libre et à 1m au-dessus du sol, en considérant que le temps de séjours d'un individu à l'extérieur d'un bâtiment est de 20%, la quantité de dose efficace annuelle reçue par un individu dépend des valeurs calculées par l'équation (11).

$$E = D_a \times d_a \times d_o \times C \quad (11)$$

Avec : E : la dose efficace annuelle (en $\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$), $d_a = 8766$ h: durée de séjour externe annuelle (en $\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$), $d_o = 0,2$: taux d'occupation à l'extérieur d'un bâtiment, $C = 0,7$: le coefficient de conversion d'unité de dose pour adulte ($\text{Sv}\cdot\text{Gy}^{-1}$).

3-6. Expérience

Nos analyses ont été effectuées sur une chaîne de spectrométrie gamma au détecteur NaI(Tl) dont la configuration est donnée sur la **Figure 3**:

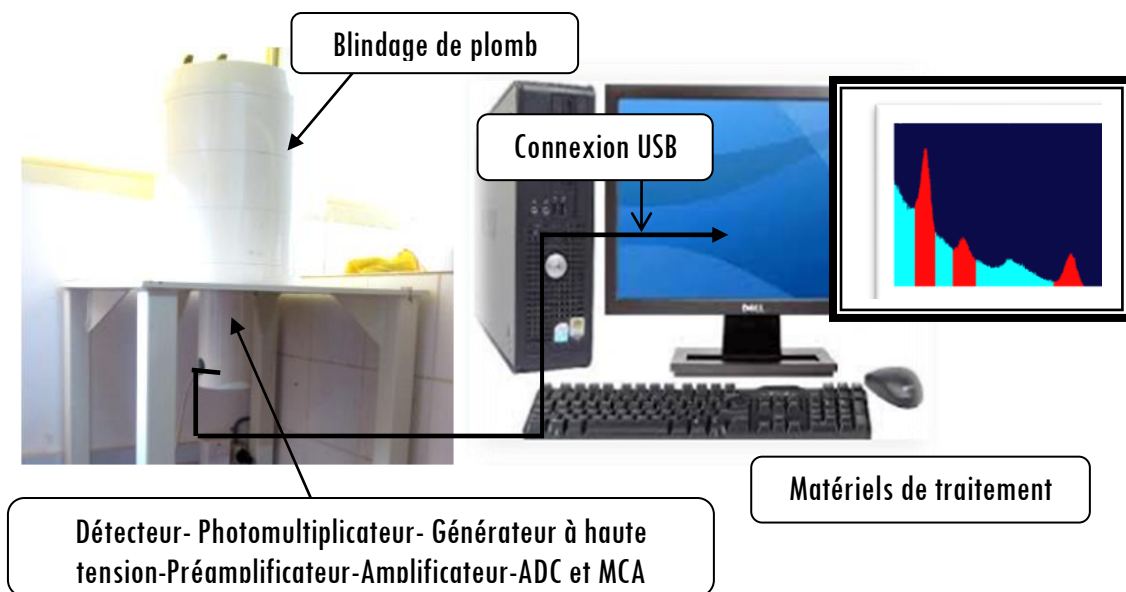


Figure 3 : Schéma de montage de la chaîne de spectrométrie gamma

La chaîne spectrométrie gamma utilisée est composée d'un détecteur NaI(Tl) de marque ORTEC et de model 905-4, et qui comporte un photomultiplicateur, un générateur à haute tension, un préamplificateur-amplificateur et un MCA intégrés. Le signal délivré par la chaîne est ensuite véhiculé par un câble USB vers un micro-ordinateur dans lequel est installé le logiciel Scinti-vision qui sert à dépouiller les données.

4. Résultats

4-1. Activités spécifiques

Les analyses ont été effectuées sous des conditions optimum pour la chaîne afin d'obtenir des résultats fiables, notamment le réglage de la tension de polarisation du détecteur à 800 Volts et un temps de mesure de 12 heures de chaque. Les étalonnages en énergie et en efficacité ont été faits sous les mêmes conditions. Les pré-Analyses faites, nous avons obtenu la courbe d'étalonnage sur la **Figure 4** et les différents coefficients présentés dans le **Tableau 1**. Ils montrent une bonne linéarité et une haute précision de la chaîne.

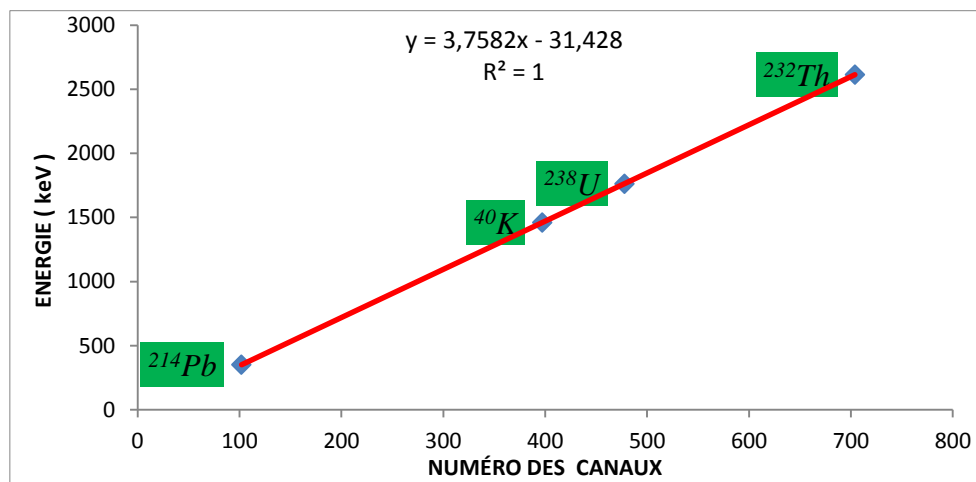


Figure 4 : Courbe d'étalonnage en énergie

Tableau 1 : Constantes d'étalonnage en activités $\alpha_{k,j}$ calculées

REGION D'INTERET	$\alpha_{k,j}$	COEFFICIENTS D'ETALONNAGE
(1)	$a_{1,1}$	385,75
	$a_{1,2}$	-198,77
	$a_{1,3}$	-0,50
(2)	$a_{2,1}$	0
	$a_{2,2}$	402,02
	$a_{2,3}$	-0,84
(3)	$a_{3,1}$	0
	$a_{3,2}$	-4,02
	$a_{3,3}$	-251,00

Après avoir tenu compte de ces valeurs pour l'analyse individuelle de chaque échantillon prélevée sur le terrain, les activités spécifiques du potassium-40, de la famille de l'uranium-238 et de la famille du thorium-232 sont présentées dans le **Tableau 2**. Ce dernier montre l'abondance des trois radionucléides des échantillons de sols mesurés mais en même temps une comparaison de la moyenne de chaque activité des trois radionucléides avec la moyenne mondiale respective.

Tableau 2 : Activités spécifiques des trois radionucléides primordiaux

CODE D'ÉCHANTILLON	ACTIVITES SPECIFIQUES (Bg.kg ⁻¹)		
	Potassium-40	Uranium-238	Thorium-232
ECH-0	401 ± 38	167 ± 28	106 ± 13
ECH-1	503 ± 45	103 ± 32	139 ± 16
ECH-2	238 ± 41	179 ± 30	101 ± 14
ECH-3	284 ± 41	128 ± 30	109 ± 14
ECH-4	452 ± 42	77 ± 28	116 ± 14
ECH-5	247 ± 57	157 ± 38	115 ± 19
ECH-6	253 ± 53	123 ± 37	81 ± 20
ECH-7	151 ± 43	149 ± 34	130 ± 16
ECH-8	115 ± 57	100 ± 37	135 ± 20
ECH-9	315 ± 46	120 ± 34	128 ± 16
ECH-10	112 ± 34	145 ± 26	89 ± 12
ECH-11	530 ± 45	121 ± 31	149 ± 16
ECH-12	368 ± 46	87 ± 32	133 ± 18
ECH-13	415 ± 63	190 ± 46	161 ± 23
ECH-14	565 ± 50	112 ± 31	129 ± 17
ECH-15	209 ± 57	149 ± 41	127 ± 21
ECH-16	357 ± 55	185 ± 38	128 ± 19
ECH-17	175 ± 39	101 ± 27	126 ± 14
ECH-18	210 ± 52	124 ± 36	153 ± 18
ECH-19	434 ± 42	182 ± 32	152 ± 14
ECH-20	295 ± 53	151 ± 37	120 ± 19
ECH-21	275 ± 49	142 ± 33	137 ± 17
ECH-22	237 ± 56	181 ± 37	138 ± 19
ECH-23	294 ± 62	163 ± 42	103 ± 19
ECH-24	441 ± 44	124 ± 32	129 ± 15
ECH-25	254 ± 59	147 ± 42	131 ± 21
Moyenne ± σ	313 ± 18	139 ± 12	126 ± □ □
Moyenne Mondiale	400	35	30

4-2. Estimation d'exposition externe des doses

Nous évaluons le niveau de dose d'exposition externe. En effet, l'exposition à l'air libre est directement en rapport avec les activités de radionucléides primordiaux. Cela nous permet de calculer la quantité des débits de doses absorbées et efficaces. Cette quantité est déterminée à partir des activités spécifiques obtenues du Potassium-40, de la famille de l'Uranium-238 et de la famille du Thorium-232 des échantillons (**Tableau 2**).

4-2-1. Débit de dose absorbée : D_a

En considérant les valeurs présentées dans le **Tableau 2**, nous avons dressé le **Tableau 3** sur lequel figurent les valeurs des débits de dose calculées à 1 mètre du sol.

Tableau 3 : Activités moyennes dans le sol et débit de dose absorbée à l'air libre à 1m au-dessus du sol de la baie des français

Eléments	Activité dans le sol (Bq.kg ⁻¹)		Coefficient de dose (nGy.h ⁻¹ / Bq.kg ⁻¹)	Débit de dose absorbé dans l'air (nGy.h ⁻¹)	
	Valeur moyenne	Intervalle de variation		Valeur moyenne	Intervalle de variation
⁴⁰ K	313	112- 565	$C_K = 0,0417$	13	5-24
²³⁸ U	139	77- 190	$C_U = 0,462$	64	35-88
²³² Th	126	81- 161	$C_{Th} = 0,604$	76	49-97
Total				153	89-209
Moyenne mondiale				57	

4-2-2. Dose efficace annuelle : E

La valeur moyenne de dose efficace des échantillons de sol est obtenue par l'équation 11 en se basant sur le **Tableau 3**. Tous les résultats des débits de doses absorbées et doses efficaces annuelle de ces échantillons sont présentés dans le **Tableau 4** ci-dessous.

Tableau 4 : Débits de dose absorbée et doses efficaces annuelle produits par les échantillons de sols analysés

Code des échantillons	Activité spécifiques (Bq.kg ⁻¹)			Débit de doses absorbées D _a (nGy.h ⁻¹)	Doses efficaces annuelles E (mSv.a ⁻¹)
	K-40	U-238	Th-232		
ECH-0	401	167	106	158±15	0,19±0,02
ECH-1	503	103	139	153±18	0,19±0,02
ECH-2	238	179	101	154±16	0,19±0,02
ECH-3	284	128	109	137±16	0,17±0,02
ECH-4	452	77	116	124±16	0,15±0,02
ECH-5	247	157	115	152±21	0,19±0,03
ECH-6	253	123	81	117±21	0,14±0,03
ECH-7	151	149	130	153±19	0,19±0,02
ECH-8	115	100	135	133±21	0,16±0,03
ECH-9	315	120	128	146±18	0,18±0,02
ECH-10	112	145	89	126±14	0,15±0,02
ECH-11	530	121	149	168±17	0,21±0,02
ECH-12	368	87	133	136±19	0,17±0,02
ECH-13	415	190	161	202±26	0,25±0,03
ECH-14	565	112	129	154±18	0,19±0,02
ECH-15	209	149	127	154±23	0,19±0,03
ECH-16	357	185	128	178±21	0,22±0,03
ECH-17	175	101	126	130±15	0,16±0,02
ECH-18	210	124	153	158±20	0,19±0,02
ECH-19	434	182	152	194±17	0,24±0,02
ECH-20	295	151	120	155±21	0,19±0,03
ECH-21	275	142	137	160±19	0,20±0,02
ECH-22	237	181	138	177±21	0,22±0,03
ECH-23	294	163	103	150±22	0,18±0,03
ECH-24	441	124	129	153±17	0,19±0,02
ECH-25	254	147	131	157±23	0,19±0,03
Maximum	565	190	161	202±26	0,25±0,03
Moyenne	313	139	126	153±19	0,19±0,02
Minimum	112	77	81	117±14	0,14±0,02

5. Discussion

5-1. Activités spécifique du Potassium 40

En se basant sur le **Tableau 2**, la **Figure 3** montre encore plus la variation des activités spécifiques du potassium en comparant les différentes valeurs obtenues. En effet, la valeur minimale de l'activité spécifique du potassium-40 est de (112 ± 34) Bq.kg⁻¹ (ECH-10) et le maximal est de (565 ± 50) Bq.kg⁻¹ (ECH-14), avec une moyenne de l'ensemble des échantillons de 313Bq.kg⁻¹.

Cette valeur moyenne est inférieure à la valeur moyenne mondiale donnée par la Comité Scientifique des Nations Unis sur l'Etude des Effets des Radiations Atomiques (UNSCEAR 2000), qui est de 400 Bq.kg^{-1} . Par rapport à cette valeur mondiale, huit échantillons en sont au dessus. Sur le bord de la baie, nous constatons que les sites d'échantillonnage de sol où nous avons prélevé les huit ayant des activités supérieures à 400 Bq.kg^{-1} ont des couleurs noires ou brunes très foncées ce qui sont des indicateurs de produits de décomposition de matières organiques. Ces dernières proviennent en grande quantité de la montagne des français qui les surplombe.

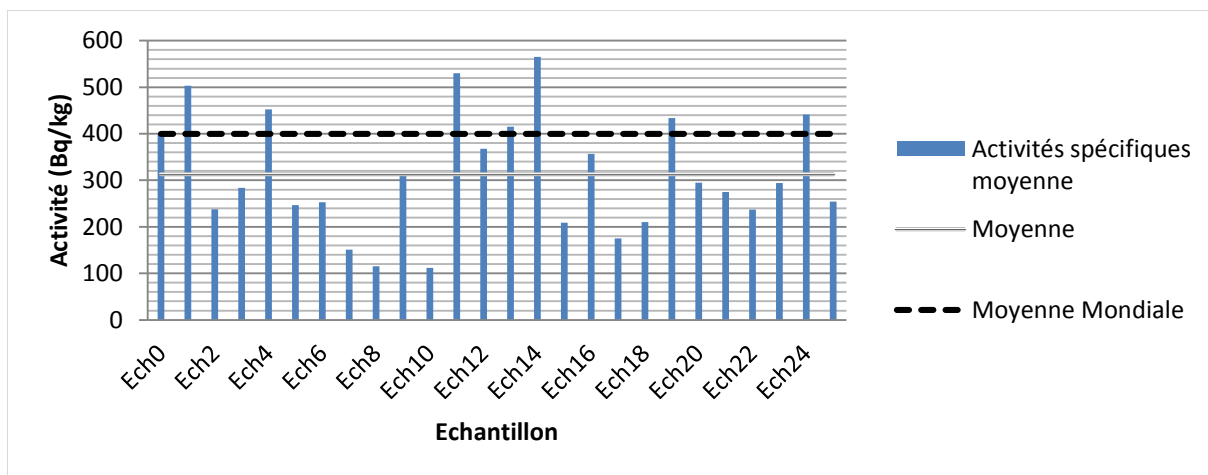


Figure 5 : Activités spécifiques du potassium-40 dans les échantillons de sols analysés

5-2. Activités spécifiques de la famille de l'uranium -238

La **Figure 6** montre la variation de l'activité spécifique calculée dans le **Tableau 2**. On constate que les activités spécifiques de l'uranium-238 varient de $(77 \pm 28) \text{ Bq.kg}^{-1}$ (ECH-12) à $(190 \pm 46) \text{ Bq.kg}^{-1}$, avec une moyenne de 139 Bq.kg^{-1} . Cette valeur moyenne est environ quatre fois supérieure à la valeur moyenne mondiale donnée par l'UNSCEAR, qui est de 35 Bq.kg^{-1} . Ce comité donne la valeur de l'activité mondiale, pour l'Uranium-238, allant de 16 Bq.kg^{-1} à 110 Bq.kg^{-1} . Nous remarquons que la plupart de nos échantillons possèdent des activités bien supérieures à la valeur maximale mondiale.

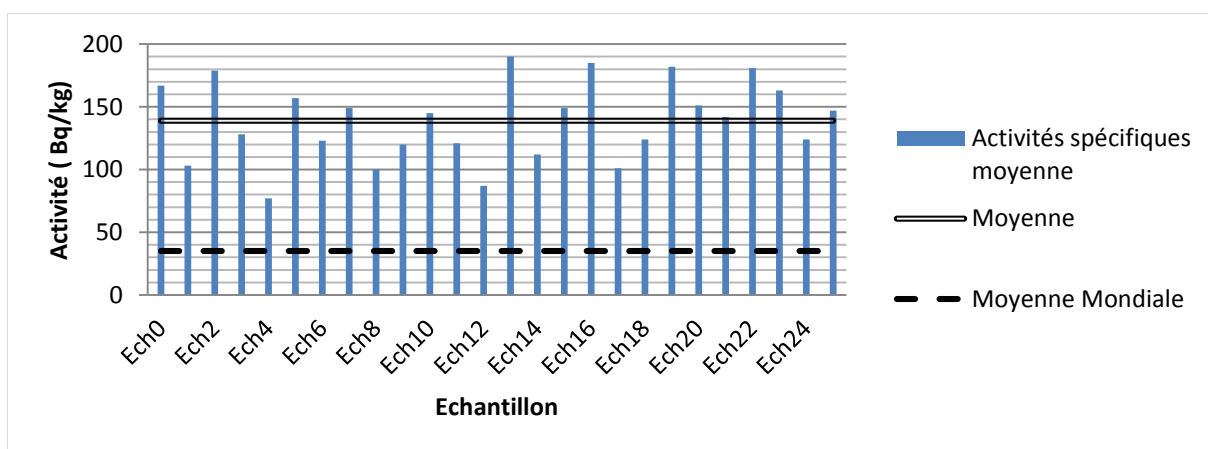


Figure 6 : Activités spécifiques de l'uranium-238 dans les échantillons de sols

5-3. Activité spécifique de la famille du thorium-232

La **Figure (7)** illustre la variation des activités spécifiques calculées de la famille du thorium-232. Les activités varient de $(81 \pm 20)\text{Bq.kg}^{-1}$ à $(161 \pm 23)\text{Bq.kg}^{-1}$, avec une moyenne de 126Bq.kg^{-1} . Cette valeur moyenne est presque quatre fois supérieure à la valeur moyenne mondiale, qui est 30Bq.kg^{-1} , d'après l'UNSCEAR. Les activités de la famille du thorium-232 trouvées dans la présente étude sont toutes inférieures à celle de la moyenne mondiale.

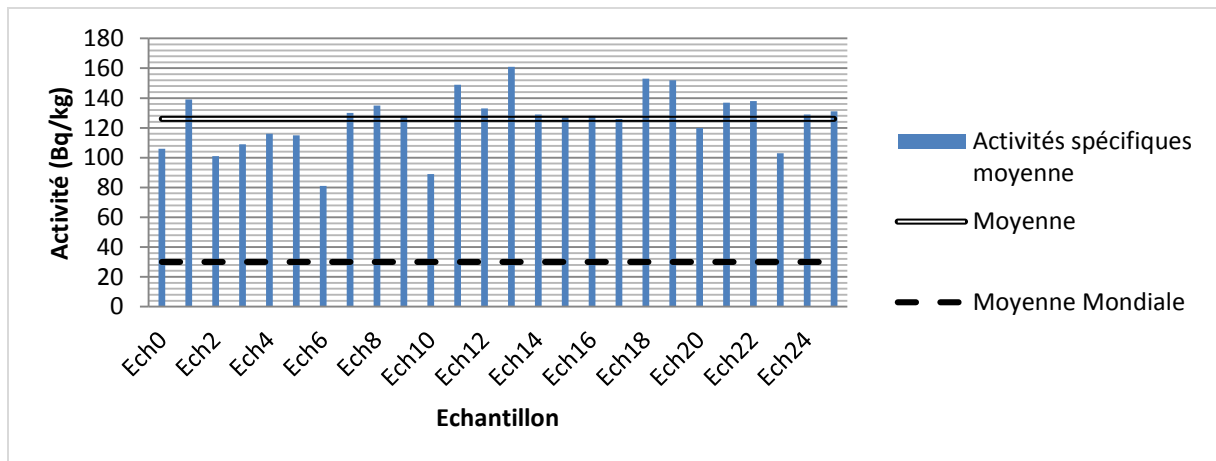


Figure 7 : Activités spécifiques du thorium-232 dans les échantillons de sols analysés

5-4. Comparaison des activités dans les sols analysés avec celles au niveau international

En se basant sur le rapport de l'UNSCEAR en 2000 concernant les valeurs au niveau mondial des activités du Potassium-40, de la famille de l'Uranium-238 et celle du Thorium-232 des sols, présentées dans le **Tableau 3**, nous constatons que l'activité moyenne du potassium-40 dans notre étude est comparable à celles trouvées en Égypte, Malaisie et au USA. Cette valeur moyenne d'activité est supérieure à celles des autres pays. Les familles de l'uranium-238 et du thorium-232 trouvées dans nos échantillons possèdent des moyennes d'activités supérieures de 4 fois des valeurs moyennes mondiales respectives. On remarque les 26 échantillons analysés ont des activités de la famille du thorium-232 supérieure à celle de la moyenne mondiale.

Tableau 5 : Activités spécifiques du ^{40}K , des familles de l' ^{238}U et du ^{232}Th dans les sols au niveau international en (Bq.kg^{-1})

Pays	Activités des radionucléides dans les sols (Bq.kg^{-1})					
	^{40}K		Famille de l' ^{238}U		Famille du ^{232}Th	
	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage
Inde	400	38-760	29	7-81	64	14-160
Chine	440	9-1800	33	2-690	41	1-360
Malaisie	310	170-430	66	49-86	82	63-110
Russie	520	100-1400	19	0-67	30	2-79
USA	370	100-700	35	4-140	35	4-130
Egypte	320	29-650	37	6-100	18	2-96
Moyenne mondiale	400	140-850	35	16-110	30	11-64

Source : UNSCEAR 2000

5-5. Doses

Les résultats du **Tableau 3** sont obtenus en supposant que l'équilibre radioactif de l'uranium-238, du thorium-232 et leurs descendants est atteint. On constate que les débits de doses trouvés dans le site étudié sont compris entre (89 ± 14) nGy.h⁻¹ et (209 ± 29) nGy.h⁻¹ avec une moyenne de 153 nGy.h⁻¹. Cette valeur moyenne est 2,7 fois supérieure à la valeur moyenne mondiale donnée par l'UNSCEAR 2000, qui est de 57 nGy.h⁻¹. Tandis que le **Tableau 4** donne la valeur moyenne mondiale de dose efficace reçue par un individu à l'air libre qui est de 0,07 mSv.a⁻¹. D'après l'UNSCEAR, La valeur limite maximale acceptable de dose efficace pour les populations résidant dans des régions à radioactivités naturelles est de 1 mSv.a⁻¹. La dose efficace moyenne d'exposition au public trouvée dans notre site d'étude est de 0,19 mSv.a⁻¹. Bien que cette valeur soit presque trois fois supérieure de la moyenne mondiale, elle reste bien inférieure à celle de la norme admissible fixée par l'UNSCEAR.

6. Conclusion

Madagascar est l'un des pays riches en minerais radioactifs comme le zircon, l'ilménite, la monazite, etc. A teneur élevée, le contact avec ces produits entraîne des conséquences néfastes sur la santé humaine à cause de leur radioactivité élevée. La présente étude nous a permis d'évaluer le niveau des radionucléides telluriques dans le sol longeant la baie des français et qui regroupe trois localités. Elle a permis de déterminer les activités spécifiques du Potassium-40, de la famille de l'Uranium-238 et celle du Thorium-232. Les analyses quantitatives ont été faites à l'aide d'un spectromètre gamma avec un détecteur NaI(Tl) de marque ORTEC, au Département d'Analyses et Techniques Nucléaires de l'INSTN-Madagascar. Des mesures de longue durée ont été effectuées pour avoir des résultats suffisamment fiables car les statistiques de comptage influencent beaucoup sur les résultats d'analyse. Pour le potassium-40, les activités varient de (112 ± 34) Bq.kg⁻¹ à (565 ± 50) Bq.kg⁻¹, avec une moyenne de 313 Bq.kg⁻¹. Cette valeur moyenne est inférieure à la valeur moyenne mondiale, qui est de 400 Bq.kg⁻¹. La variation des activités peut être due aux divers effets géologiques et écologiques. Pour l'uranium-238, les activités sont comprises entre (87 ± 32) Bq.kg⁻¹ et (190 ± 46) Bq.kg⁻¹, avec une moyenne de 139 Bq.kg⁻¹. Cette valeur moyenne est presque quatre fois supérieure à la valeur moyenne mondiale, qui est de 35 Bq.kg⁻¹.

Pour le thorium-232, les activités varient de (81 ± 20) Bq.kg⁻¹ à (161 ± 23) Bq.kg⁻¹, avec une moyenne de 126 Bq.kg⁻¹. De même que pour le cas de l'uranium-238, la valeur moyenne trouvée est quatre fois supérieure à la valeur moyenne mondiale de 30 Bq.kg⁻¹. Les activités sont toutes supérieures à la limite de détection pour toutes les analyses. Les débits de dose absorbée varient entre (89 ± 14) nGy.h⁻¹ et (209 ± 29) nGy.h⁻¹ avec une moyenne de 153 nGy.h⁻¹. Cette valeur moyenne est trois fois supérieure à celle de la moyenne mondiale qui est 57 nGy.h⁻¹. La dose efficace moyenne annuelle trouvée est de 0,19 mSv.a⁻¹, alors que la moyenne mondiale est de 0,07 mSv.a⁻¹. La valeur moyenne obtenue dans notre cas est de 3 fois supérieur à la valeur mondiale. Or la valeur limite de dose efficace acceptable pour le public est de 1 mSv.a⁻¹. Ainsi, la moyenne annuelle de dose efficace produite par nos échantillons est presque cinq fois en-dessous de cette valeur limite. Donc, cela confirme qu'il n'y a aucun risque d'exposition externe due à la radioactivité pour la population qui habite à le long de la baie des Français.

Références

- [1] - N. RABESIRANANA, Analyse multi-groupe des spectres gamma : application à l'étude de la radioactivité des sols. Thèse de 3^e cycle, Département de physique, Faculté des sciences, Université d'Antananarivo (2001).
- [2] - J. GARNIER LAPLACE et al, 2001. Fiche radionucléide : uranium naturel et Environnement .Publication de l'IRSN, IRSN.
- [3] - CANBERRA Industries Inc. Detector Basic. Reference I.U.S.A, CANBERRA.
- [4] - C. FABIEN, Étalonnage d'un spectromètre gamma en vue de la mesure de la radioactivité naturelle, mesure expérimentale et modélisation par technique de Monte-Carlo. Thèse spécialité Physique Corpusculaire. Université Blaise Pascal (2007).
- [5] - B. GHAOUTI, Simulation et caractérisation d'un détecteur à neutrons à base d'un scintillateur liquide Linear Alkyl Benzène (LAB) chargé en Bore. Mémoire de Maîtrise ès Sciences appliquées (Génie électrique), Département de physique, École polytechnique de Montréal, Université de Montréal (2011) p.15-17.
- [6] - ORTEC, Review of the Physics of semiconductor Detectors, 905-4 series NaI (TI) scintillation Detectors (2010) 103-106.
- [7] - P. CHIOZZI, et al., Laboratory application of NaI(Tl) gamma-ray spectrometry to the studies of natural radioactivity in geophysics. Applied Radiation and Isotopes (2000) 53, 127-132.
- [8] - A. I. E. A., Preparation and certification of IAEA Gamma-ray Spectrometry Reference Materials RGK-1, RGU-1 and RGTh-1- Report, Vienna A.I.E.A/RL/148, A. I. E. A. (1987).
- [9] - A. I. E. A., Analytical Quality Control Services (AQCS): reference materials Catalogue / Radionuclides, A-1400 Vienna Australia, First edition, January 2004, A. I. E. A (2004-2005).
- [10] - UNSCEAR, Sources and effects of Ionizing Radiation: Exposures from natural radiation sources. Report to the general Assembly, Annex B, United Nations, New York, USA (2000).
- [11] - S. D. RAVELOMANANTSOA, Contribution à l'étude de l'environnement radioactif à Antananarivo. Thèse de troisième cycle, Département de physique, Faculté des sciences, Université d'Antananarivo (2001).
- [12] - H. A. AL-SULAITI, Determination of natural Radioactivity Levels in the State of Qatar Using High-Resolution Gamma-ray spectrometry. Thesis, University of Surrey, Guildford GU27XH, United Kingdom (2001).
- [13] - H. A. NURSAMA, et al, Activity concentration of ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K based on soil types in Perak State, Malaysia, Earth Science Research, Vol.2. No 2, ISSN 1927-0542, E-ISSN 1927-0550, Published by Canadian Center of Science and Education (2013).
- [14] - B. GHAOUTI, Simulation et caractérisation d'un détecteur à neutrons à base d'un scintillateur liquide Linear Alkyl Benzène (LAB) chargé en Bore. Mémoire de Maîtrise ès Sciences appliquées (Génie électrique), Département de physique, École polytechnique de Montréal, Université de Montréal (2011) p.15-17.