

## **Contribution à l'étude de la radioactivité naturelle, par spectrométrie gamma, du sol dans la zone littorale d'Antalaha-Ambohitralanana Madagascar**

Angelan Flédo BARIJAONA<sup>1\*</sup>, Martin RASOLONIRINA<sup>2</sup> et Frédéric ASIMANANA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Université d'Antsiranana, Faculté des Sciences, BP 0, 201 Antsiranana, Madagascar*

<sup>2</sup> *Institut National des Sciences et Technique Nucléaire (INSTN-Madagascar), BP 4279, 101 Antananarivo, Madagascar*

\* Correspondance, courriel : [collegesaintluc@yahoo.fr](mailto:collegesaintluc@yahoo.fr)

### **Résumé**

Le but de ce travail est d'étudier le niveau de la radioactivité du sol sur la côte littorale Antalaha-Ambohitralanana. Les radionucléides étudiés sont le potassium-40, les familles de l'uranium-238 et du thorium-232. Cinquante (50) échantillons ont été prélevés et mesurés à l'aide d'un spectromètre gamma, muni d'un détecteur NaI (TI) dans le département Analyses et Techniques Nucléaires de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN-Madagascar). La technique d'analyse utilise la méthode de RYBACH afin de déterminer les activités de trois principaux radionucléides naturels. Cette méthode exploite quatre régions d'intérêts du spectre des radionucléides tels que le plomb-214, le potassium-40, le bismuth-214 et le thallium-208, des énergies respectivement de 352 keV, de 1461 keV, de 1764 keV et de 2614 keV. Les résultats obtenus montrent que les activités spécifiques varient de  $(103 \pm 23) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  à  $(1039 \pm 36) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , d'une moyenne de  $338 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  pour le potassium 40, de  $(4,6 \pm 0,3) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  à  $(109 \pm 6) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , d'une moyenne de  $23 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  pour la famille de l'uranium-238 et de  $(9 \pm 6) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  à  $(146 \pm 6) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , d'une valeur moyenne de  $31 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  pour la famille du thorium-232. Les activités obtenues sont ensuite comparées avec les valeurs moyennes mondiales. De plus, les taux de dose absorbée, les activités du radium équivalent et les taux de dose efficace annuelle sont aussi calculés. De même, ces résultats trouvés sont aussi comparés aux valeurs moyennes mondiales et à la valeur limite pour le public. Après la comparaison, ces valeurs présentent un niveau de radioactivité normale de l'environnement. Ce qui veut dire, le risque dû aux expositions des rayonnements gamma est faible.

**Mots-clés :** *radioactivité, spectrométrie gamma, dose, activités.*

### **Abstract**

**Contribution to natural radioactivity soil study, by gamma spectrometry system, along littoral coast of Antalaha-Ambohitralanana Madagascar**

The aim of this work is to study of soil radioactivity level along Antalaha-Ambohitralanana littoral coast. The studied radionuclides are potassium-40, the uranium-238 and thorium-232 series. Fifty (50) samples have been collected and measured by gamma spectrometry system, with NaI (TI) detector at the Nuclear Techniques and Analyses Department in National Institute of Nuclear Sciences and Techniques (INSTN-Madagascar). The

analytical technique uses RYBACH method in order to determine the activities of three main natural radionuclides. This method exploits four regions of interest in the spectrum of radionuclides such as lead-214, potassium-40, bismuth-214 and thallium-208, respectively energies of 352 keV, 1461 keV, 1764 keV and 2614 keV. The obtained results show that the specific activities vary from  $(103 \pm 23) \text{ Bq.kg}^{-1}$  to  $(1039 \pm 36) \text{ Bq.kg}^{-1}$ , with an average of  $338 \text{ Bq.kg}^{-1}$  for potassium-40, from  $(4.6 \pm 0.3) \text{ Bq.kg}^{-1}$  to  $(109 \pm 6) \text{ Bq.kg}^{-1}$ , with an average of  $23 \text{ Bq.kg}^{-1}$  for the uranium-238 series and from  $(9 \pm 6) \text{ Bq.kg}^{-1}$  to  $(146 \pm 6) \text{ Bq.kg}^{-1}$ , with an average of  $31 \text{ Bq.kg}^{-1}$  for the thorium-232 series. Therefore, the obtained activities are compared with global average values. In addition, the absorbed dose rates, the equivalent radium activities and the annual effective dose rates are also calculated. Similarly, these results are also compared with global average values and limit value for the public. The comparison shows that these values present a normal level of environmental radioactivity. It means that the radioactivity hazard due to gamma radiation exposure is low.

**Keywords :** *radioactivity, gamma spectrometry, dose, activities.*

## 1. Introduction

L'homme vit en permanence dans un milieu radioactif. Les radionucléides sont d'origine tellurique (potassium-40, familles de l'uranium-238, de l'uranium-235 et du thorium-232) ou cosmique (tritium-3, béryllium-7, carbone-14, etc.). Ces radionucléides sont les principaux responsables de l'exposition de l'homme aux rayonnements ionisants. Ils contribuent à environ 80 % de l'exposition de la population mondiale [1]. Les niveaux d'exposition dépendent aux conditions géologiques et géomorphologiques du milieu étudié [2]. Ceux qui expliquent la variation des niveaux de radioactivités d'un endroit à l'autre. Après la découverte de la radioactivité naturelle, plusieurs pays du monde ont trouvé l'intérêt particulier d'évaluer les niveaux et les risques d'expositions au rayonnement ionisant [3]. Comme certaines régions de Madagascar présentent des niveaux de radioactivité naturelle élevée, des recherches similaires ont été faites dans quelques régions depuis une quarantaine d'année. Les milieux étudiés sont parfois dans les sites riches en minerais d'uranium, de thorium, d'uranothorianite, de monazite, d'ilménite et de zircon [4]. Comme les côtes littorales de Madagascar, les sables contiennent en général des minéraux de monazite (Ce, La, Th) PO<sub>4</sub> et du zircon (ZrSiO<sub>4</sub>). L'évaluation des risques associés à la radioactivité naturelle est nécessaire afin d'éviter les conséquences néfastes à la santé de la population du pays. Ainsi, notre travail porte sur l'étude de la radioactivité du sol sur la côte littorale Antalaha - Ambohitralanana dont l'objectif est de déterminer les niveaux de la radioactivité ambiante et également d'évaluer les indices radiologiques sur la population vivant dans cet environnement.

## 2. Méthodologie

### 2-1. Site d'étude

La zone d'étude se trouve sur la côte littorale entre la Commune Urbaine d'Antalaha et la commune Rurale d'Ambohitralanana. La distance qui se sépare entre deux localités est de 50 km (*Figure 1*). Les sols sont généralement sableux et présentent différentes textures. Les échantillons ont été prélevés au hasard sur le long littoral et dans les villages environnants. Les points de prélèvement ont été sélectionnés dans des surfaces non perturbés et non dérangés.



Source : Image Google Map

**Figure 1 :** Localisation de site et des points de prélèvement des échantillons

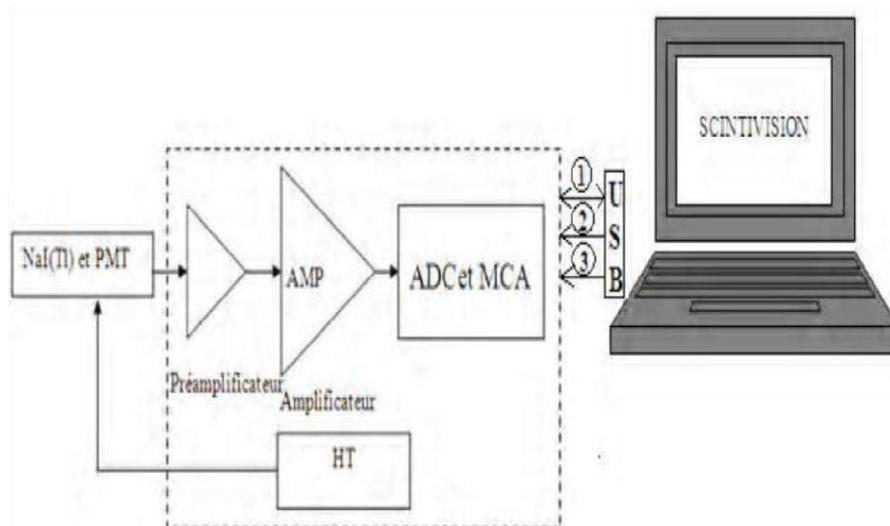
Les coordonnées géographiques de deux localités sont prises à l'aide d'un GPS et présentées dans le **Tableau 1**. Ces coordonnées sont ensuite converties en Laborde en utilisant un logiciel de conversion.

**Tableau 1 :** Coordonnée prise sur GPS

Lieu	Latitude (Sud)	Longitude (Est)	Longitude (m)	Latitude (m)
AMBOHITRALANANA	15°14'15,504"	50°26'45,168"	830614,517	1200922,22
ANTALAHA	14°54'27,792"	50°15'12,456"	810588,142	1237812,38

## 2-2. Matériels et méthodes

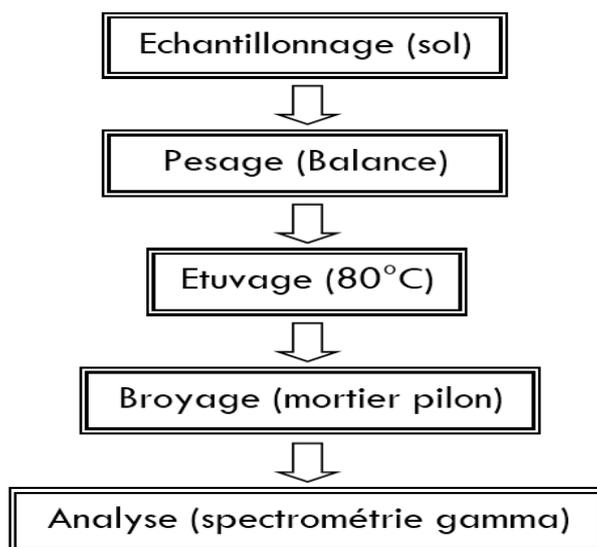
Les travaux de laboratoire se sont effectués dans le département Analyses et Techniques Nucléaires de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN-Madagascar). La technique non destructive été utilisée pour identifier et quantifier les radionucléides. Au laboratoire, les échantillons ont été séchés à l'étuve d'une température de 80°C, broyés à l'aide d'un mortier pilon, tamisés et conditionnés dans des porte-échantillons cylindrique en polyéthylène. Les masses de l'échantillon ont été enregistrés à l'aide d'une balance électronique de précision ( $\pm 5\%$ ). Avant de procéder aux analyses, les échantillons sont fermés hermétiquement pendant trois semaines pour atteindre l'équilibre séculaire entre le radium-226 et ses descendants [5]. La méthode de RYBACH a été utilisée pour le traitement des spectres en exploitant les quatre régions d'intérêt du plomb-214, du potassium-40, du bismuth-214 et du thallium-208 pour des énergies respectivement à 352 keV, à 1461 keV, à 1764 keV et à 2614 keV [6]. L'équipement d'analyse est une chaîne de spectrométrie gamma, muni d'un détecteur NaI (TI) de marque ORTEC et d'un logiciel ScintiVision. Le schéma simplifié de cette chaîne est donnée dans la **Figure 2**. Quelques échantillons ont été aussi passés aux détecteurs en germanium de haute pureté, des efficacités relatives de 15 % et de 30 % respectivement de marque ORTEC et CANBERRA afin confirmer les résultats obtenus.



**Figure 2 :** Chaîne de spectrométrie gamma au NaI (TI)

*PMT : Photomultiplicateur, HT : Haute Tension, USB : Universel Serial Bus, ADC : Convertisseur Analogique numérique, MCA : Analyseur multicanaux, 1 : Signal, 2 : Alimentation, 3 : Commande.*

La technique utilisée peut être schématisée dans la **Figure 3**.



**Figure 3 :** Etape de la technique adoptée

### 3. Résultats et discussion

Les résultats obtenus sont des activités spécifiques du potassium-40, de la famille de l'uranium-238, de la famille du thorium-232 et du radium équivalent. Les rapports des activités ont été aussi calculées afin d'estimer l'abondance des trois principaux radionucléides dans le milieu étudié. Il s'agit des rapports du  $^{232}\text{Th} / ^{238}\text{U}$ , du  $^{40}\text{K} / ^{238}\text{U}$  et du  $^{40}\text{K} / ^{232}\text{Th}$ . Les valeurs sont ensuite comparées aux moyennes mondiales [7]. Ces résultats sont présentés dans les tableaux 2 à 9. Les niveaux des activités sont présentés sous forme d'une courbe en histogramme (**Figures 4 à 7**).

**3-1. Activités spécifiques et leurs rapports dans le site d'Antalaha**

**Tableau 2 :** Activités du K-40, de l'U-238, du Th-232 et du Ra<sub>éq</sub> dans le site d'Antalaha

Code	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )			
	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	Ra <sub>éq</sub>
ATH-75	254 ± 24	21 ± 6	22 ± 6	72 ± 12
ATH-76	228 ± 31	10 ± 4	20 ± 7	56 ± 13
ATH-77	302 ± 24	8 ± 3	15 ± 6	52 ± 10
ATH-78	370 ± 34	12 ± 2	17 ± 7	65 ± 13
ATH-79	774 ± 28	23 ± 3	30 ± 6	124 ± 11
ATH-80	368 ± 33	17 ± 5	21 ± 7	75 ± 13
ATH-81	211 ± 24	17 ± 3	26 ± 6	71 ± 10
ATH-82	292 ± 31	11 ± 3	19 ± 7	61 ± 13
ATH-83	286 ± 24	10 ± 2	14 ± 6	52 ± 10
ATH-84	239 ± 33	14 ± 3	26 ± 8	69 ± 13
Moyenne [min, max]	332 ± 164 [211 ; 774]	14 ± 5 [8 ; 23]	21 ± 5 [14 ; 30]	70 ± 21 [52 ; 124]
Moyenne mondiale	400	35	30	-

Les activités spécifiques du potassium-40 varient de (211 ± 24) Bq.kg<sup>-1</sup> à (774 ± 28) Bq.kg<sup>-1</sup>, d'une moyenne de (332 ± 164) Bq.kg<sup>-1</sup>. Celles de l'uranium varient de (8 ± 3) Bq.kg<sup>-1</sup> à (23 ± 3) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (14 ± 5) Bq.kg<sup>-1</sup> et de (14 ± 6) Bq.kg<sup>-1</sup> à (30 ± 6) Bq.kg<sup>-1</sup> d'une moyenne de (21 ± 5) Bq.kg<sup>-1</sup> pour le thorium-232. Les valeurs moyennes trouvées sont inférieures aux valeurs moyennes mondiales pour les trois radionucléides. Par contre, l'échantillon ATH-79 montre une valeur supérieure à la moyenne mondiale pour le cas du potassium-40. Les activités du radium équivalent varient de (52 ± 10) Bq.kg<sup>-1</sup> à (124 ± 11) Bq.kg<sup>-1</sup> d'une moyenne de (70 ± 21) Bq.kg<sup>-1</sup>. Les résultats montrent que les valeurs trouvées sont toutes inférieures à la valeur maximale recommandée qui est 370 Bq.kg<sup>-1</sup>. Cela veut dire, les sols dans le site d'études peuvent être utilisés comme matériau de construction.

**Tableau 3 :** Rapport des activités Th / U, K / U et K / Th dans le site d'Antalaha

Code	<sup>232</sup> Th / <sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K / <sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K / <sup>232</sup> Th
ATH-75	1,0 ± 0,4	11,9 ± 3,5	11,6 ± 3,5
ATH-76	1,9 ± 0,9	22,1 ± 8,1	11,7 ± 4,6
ATH-77	1,8 ± 1,1	37,9 ± 16,0	20,7 ± 8,9
ATH-78	1,4 ± 0,7	30,7 ± 6,0	21,6 ± 9,3
ATH-79	1,3 ± 0,3	34,3 ± 4,2	26,1 ± 5,7
ATH-80	1,2 ± 0,5	21,9 ± 6,6	17,6 ± 6,0
ATH-81	1,5 ± 0,4	12,4 ± 2,5	8,1 ± 2,1
ATH-82	1,7 ± 0,8	25,9 ± 6,9	15,2 ± 6,1
ATH-83	1,4 ± 0,7	28,4 ± 7,1	20,2 ± 9,1
ATH-84	1,9 ± 0,7	17,6 ± 4,2	9,3 ± 3,0
Moyenne [min, max]	1,5 ± 0,3 [1,0 ; 1,9]	24,3 ± 8,8 [11,9 ; 37,9]	16,2 ± 6,0 [8,1 ; 26,1]

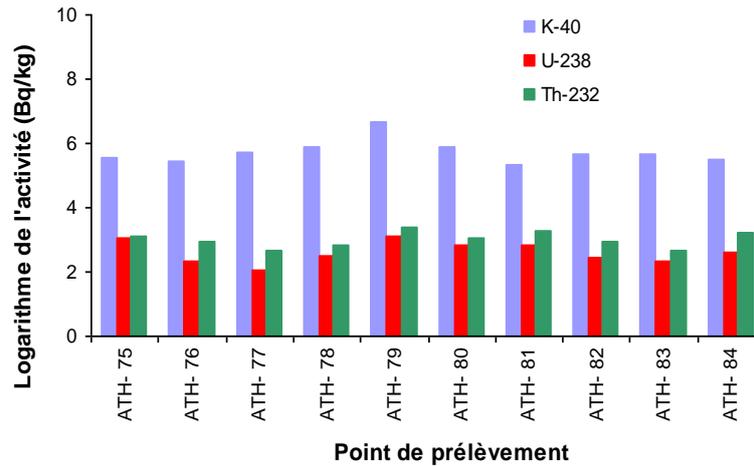


Figure 4 : Activités du K-40, U-238 et Th-232 à Antalaha

En ce qui concerne l'abondance des radionucléides dans ce site, les résultats montrent que les rapports entre le thorium-232 et l'uranium-238 dépassent l'unité. Les valeurs trouvées varient de 1,0 à 1,9 avec une moyenne de 1,5. Les rapports du potassium-40 avec le thorium-232 varient de 8,1 et 26,1 avec une moyenne de 16,2. De plus, les rapports des activités du potassium-40 avec l'uranium-238 varient entre 11,9 et 37,9 avec une moyenne de 24,3. L'activité du potassium-40 est donc le plus abondante suivie par le thorium-232 et l'uranium-238 (Figure 4).

### 3-2. Activités spécifiques et leurs rapports dans le site d'Ambohitralanana

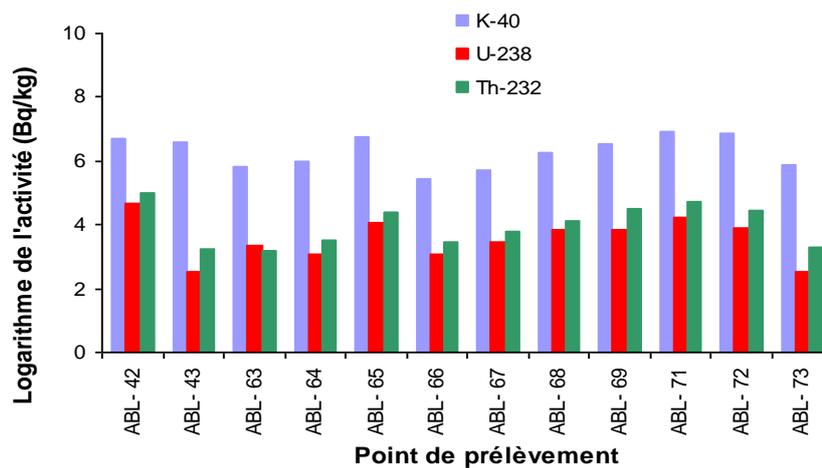
Tableau 4 : Activités du K-40, de l'U-238, du Th-232 et du  $Ra_{\text{éq}}$  dans le site d'Ambohitralanana

Code	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )			
	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	$Ra_{\text{éq}}$
ABL-42	813 ± 26	109 ± 6	146 ± 6	380 ± 12
ABL-43	721 ± 25	12 ± 3	25 ± 6	104 ± 10
ABL-63	347 ± 26	29 ± 1	24 ± 6	90 ± 11
ABL-64	391 ± 36	22 ± 3	34 ± 7	101 ± 14
ABL-65	868 ± 27	57 ± 11	83 ± 6	242 ± 15
ABL-66	232 ± 23	22 ± 1	32 ± 6	86 ± 10
ABL-67	309 ± 33	31 ± 3	44 ± 7	119 ± 13
ABL-68	522 ± 21	47 ± 3	61 ± 6	174 ± 9
ABL-69	681 ± 28	46 ± 1	89 ± 6	226 ± 11
ABL-71	1 039 ± 36	70 ± 7	112 ± 7	311 ± 15
ABL-72	951 ± 28	49 ± 1	86 ± 7	245 ± 11
ABL-73	355 ± 31	13 ± 4	27 ± 7	78 ± 13
Moyenne	602 ± 278	42 ± 28	64 ± 40	180 ± 100
[min, max]	[232 ; 1039]	[12 ; 109]	[24 ; 146]	[78 ; 380]
Moyenne mondiale	400	30	35	-

A Ambohitralanana, les activités du potassium-40 varient de  $(232 \pm 23)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(1\ 039 \pm 36)$  Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de  $(602 \pm 278)$  Bq.kg<sup>-1</sup>. Celles de l'uranium-238 varient de  $(12 \pm 3)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(109 \pm 6)$  Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de  $(42 \pm 28)$  Bq.kg<sup>-1</sup>. Le thorium varie de  $(24 \pm 6)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(146 \pm 6)$  Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de  $(64 \pm 40)$  Bq.kg<sup>-1</sup>. Les activités moyennes pour les trois radionucléides sont supérieures aux valeurs moyennes mondiales. Les activités du radium équivalent varient de  $(78 \pm 13)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(380 \pm 12)$  Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de  $(180 \pm 100)$  Bq.kg<sup>-1</sup>. Cette valeur moyenne est en-dessous de la valeur limite recommandée de 370 Bq.kg<sup>-1</sup>. Par contre, la valeur maximale trouvée dans ce site dépasse la valeur limite. Du point de vue général, les sols ne présentent pas de danger en cas de l'utilisation comme matériau de construction.

**Tableau 5 : Rapport des activités Th / U, K / U et K / Th dans le site d'Ambohitralanana**

Code	<sup>232</sup> Th / <sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K / <sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K / <sup>232</sup> Th
ABL-42	1,3 ± 0,1	7,4 ± 0,5	5,6 ± 0,3
ABL-43	2,0 ± 0,7	58,5 ± 15,3	28,6 ± 7,0
ABL-63	0,8 ± 0,2	12,1 ± 0,9	14,5 ± 4,0
ABL-64	1,6 ± 0,4	18,0 ± 2,8	11,4 ± 2,7
ABL-65	1,5 ± 0,3	15,3 ± 3,0	10,5 ± 0,9
ABL-66	1,5 ± 0,3	10,6 ± 1,1	7,2 ± 1,5
ABL-67	1,4 ± 0,3	9,8 ± 1,5	7,0 ± 1,4
ABL-68	1,3 ± 0,1	11,2 ± 0,8	8,6 ± 0,9
ABL-69	1,9 ± 0,1	14,8 ± 0,6	7,6 ± 0,6
ABL-71	1,6 ± 0,2	14,8 ± 1,5	9,3 ± 0,7
ABL-72	1,8 ± 0,1	19,4 ± 0,7	11,1 ± 0,9
ABL-73	2,1 ± 0,8	28,2 ± 8,5	13,3 ± 3,8
Moyenne	1,6 ± 0,4	18,3 ± 13,8	11,2 ± 6,1
[min, max]	[0,8 ; 2,1]	[7,4 ± 58,5]	[5,6 ; 28,6]



**Figure 5 : Activités du K-40, U-238 et Th-232 à Ambohitralanana**

Les résultats dans le **Tableau 5** montrent que les rapports thorium / uranium varient de 0,8 à 2,1 avec une moyenne de 1,6. Ceux du potassium / thorium varient de 5,6 à 28,6 avec une moyenne de 11,2. Les rapports du potassium / uranium varient de 7,4 à 58,5 avec une moyenne de 18,3. Ceux qui expliquent une domination de l'activité du potassium-40 suivi du thorium-232 et de l'uranium-238.

## 3-3. Activités spécifiques et leurs rapports entre Antalaha et Ambohitralanana

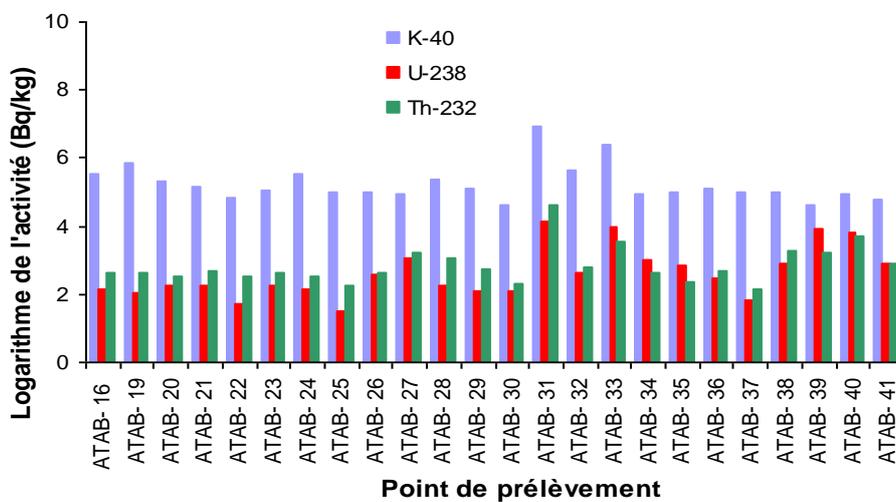
Tableau 6 : Activités du K-40, de l'U-238, du Th-232 et du Ra<sub>éq</sub> entre Antalaha et Ambohitralanana

Code	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )			
	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	Ra <sub>éq</sub>
ATAB-16	255 ± 10	9 ± 2	14 ± 6	48 ± 8
ATAB-19	357 ± 24	8 ± 6	14 ± 6	55 ± 12
ATAB-20	201 ± 24	10 ± 4	13 ± 6	43 ± 11
ATAB-21	174 ± 24	9 ± 1	15 ± 6	43 ± 10
ATAB-22	128 ± 23	6 ± 2	13 ± 6	33 ± 10
ATAB-23	158 ± 24	10 ± 5	14 ± 6	42 ± 11
ATAB-24	248 ± 24	8 ± 2	13 ± 6	46 ± 10
ATAB-25	147 ± 23	5 ± 1	10 ± 6	30 ± 10
ATAB-26	148 ± 33	13 ± 2	14 ± 7	44 ± 13
ATAB-27	141 ± 25	21 ± 1	26 ± 6	69 ± 10
ATAB-28	218 ± 24	10 ± 6	21 ± 6	57 ± 12
ATAB-29	166 ± 23	8 ± 3	15 ± 6	42 ± 10
ATAB-30	104 ± 22	8 ± 1	10 ± 6	31 ± 10
ATAB-31	1 005 ± 27	61 ± 1	101 ± 6	283 ± 11
ATAB-32	286 ± 31	14 ± 2	16 ± 7	59 ± 12
ATAB-33	611 ± 21	53 ± 1	36 ± 6	151 ± 9
ATAB-34	140 ± 23	20 ± 1	14 ± 6	51 ± 10
ATAB-35	150 ± 22	18 ± 4	11 ± 6	45 ± 10
ATAB-36	166 ± 22	12 ± 1	15 ± 6	45 ± 10
ATAB-37	147 ± 23	6 ± 2	9 ± 6	30 ± 10
ATAB-38	152 ± 23	18 ± 4	27 ± 6	68 ± 10
ATAB-39	103 ± 23	52 ± 9	25 ± 6	95 ± 13
ATAB-40	144 ± 15	45 ± 1	40 ± 6	114 ± 9
ATAB-41	120 ± 19	18 ± 5	19 ± 6	54 ± 10
Moyenne	228 ± 197	18 ± 17	21 ± 19	66 ± 54
[min, max]	[103 ; 1005]	[5 ; 61]	[9 ; 101]	[30 ; 283]
Moyenne mondiale	400	30	35	-

Pour les échantillons prélevés entre Antalaha et Ambohitralanana, les activités du potassium-40 varient de (103 ± 23) Bq.kg<sup>-1</sup> à (1 005 ± 27) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (228 ± 197) Bq.kg<sup>-1</sup>. L'uranium-238 varie de (5 ± 1) Bq.kg<sup>-1</sup> à (61 ± 1) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (18 ± 17) Bq.kg<sup>-1</sup>. Les activités du thorium-232 varient de (9 ± 6) Bq.kg<sup>-1</sup> à (101 ± 6) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (21 ± 19) Bq.kg<sup>-1</sup>. Les valeurs moyennes trouvées sont inférieures aux valeurs moyennes mondiales. Néanmoins, quelques échantillons dépassent les valeurs moyennes mondiales. Citons en particulier, l'échantillon prélevé dans le point ATAB-31. Les activités du radium équivalent varient de (30 ± 10) Bq.kg<sup>-1</sup> à (283 ± 11) Bq.kg<sup>-1</sup> avec la moyenne de (66 ± 54) Bq.kg<sup>-1</sup>. Dans le site étudié, le niveau du radium équivalent est en-dessous de la valeur limite de 370 Bq.kg<sup>-1</sup>. Les sols peuvent être utilisés par la population comme matériau de construction.

**Tableau 7 : Rapport des activités Th / U, K / U et K / Th entre Antalaha et Ambohitralanana**

Code	$^{232}\text{Th} / ^{238}\text{U}$	$^{40}\text{K} / ^{238}\text{U}$	$^{40}\text{K} / ^{232}\text{Th}$
ATAB-16	1,6 ± 0,8	29 ± 6	18 ± 8
ATAB-19	1,8 ± 1,6	47 ± 36	26 ± 12
ATAB-20	1,3 ± 0,9	21 ± 10	16 ± 8
ATAB-21	1,6 ± 0,7	19 ± 3	12 ± 5
ATAB-22	2,3 ± 1,3	23 ± 9	10 ± 5
ATAB-23	1,5 ± 1,0	16 ± 8	11 ± 5
ATAB-24	1,5 ± 0,8	29 ± 6	19 ± 9
ATAB-25	2,1 ± 1,3	32 ± 5	15 ± 10
ATAB-26	1,0 ± 0,6	11 ± 3	11 ± 6
ATAB-27	1,2 ± 0,3	7 ± 1	5 ± 2
ATAB-28	2,2 ± 1,6	23 ± 15	10 ± 3
ATAB-29	1,9 ± 1,0	21 ± 7	11 ± 5
ATAB-30	1,2 ± 0,7	13 ± 3	10 ± 6
ATAB-31	1,6 ± 0,1	16 ± 1	10 ± 1
ATAB-32	1,2 ± 0,5	21 ± 4	18 ± 8
ATAB-33	0,7 ± 0,1	11 ± 1	17 ± 3
ATAB-34	0,7 ± 0,3	7 ± 1	10 ± 5
ATAB-35	0,6 ± 0,4	8 ± 2	14 ± 8
ATAB-36	1,2 ± 0,5	14 ± 2	11 ± 5
ATAB-37	1,4 ± 1,1	24 ± 8	17 ± 12
ATAB-38	1,5 ± 0,4	8 ± 2	6 ± 2
ATAB-39	0,5 ± 0,1	2 ± 1	4 ± 1
ATAB-40	0,9 ± 0,1	3 ± 1	4 ± 1
ATAB-41	1,0 ± 0,4	7 ± 2	6 ± 2
Moyenne	1,4 ± 0,5	17 ± 11	12 ± 5
[min, max]	[0,5 ; 2,3]	[2 ; 47]	[4 ; 26]



**Figure 6 : Activités du K-40, U-238 et Th-232 entre Antalaha - Ambohitralanana**

Les rapports des activités du thorium-232 et de l'uranium-238 varient entre 0,5 et 2,3 avec une moyenne de 1,4. Celles du potassium / thorium varient de 3,6 à 26,0 avec une moyenne de 12,2. Celles du potassium / uranium varient entre 2,0 et 46,7 avec une moyenne de 17,2. Les résultats montrent que le potassium-40 est plus abondant qu'aux deux autres radionucléides. Le thorium-232 est abondant par rapport à l'uranium-238. Par contre, quelques échantillons présentent l'abondance de l'uranium-238 comparé au thorium-232 comme dans le cas de sites ATAB-33, ATAB-34 et ATAB-35.

### 3-4. Activités spécifiques et leurs rapports entre Antalaha et Ambohitralanana

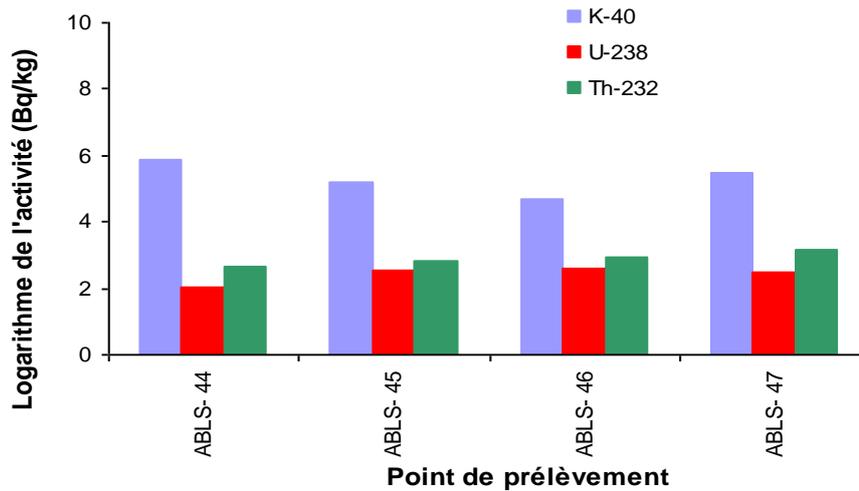
**Tableau 8 :** Activités du K-40, de l'U-238, du Th-232 et du Ra<sub>éq</sub> dans le site sud Ambohitralanana

Code	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )			
	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	Ra <sub>éq</sub>
ABLS-44	365 ± 33	8 ± 2	14 ± 7	56 ± 13
ABLS-45	185 ± 20	13 ± 4	17 ± 6	51 ± 10
ABLS-46	109 ± 31	14 ± 6	19 ± 7	49 ± 14
ABLS-47	240 ± 33	12 ± 4	23 ± 7	64 ± 13
Moyenne	225 ± 108	12 ± 3	18 ± 4	55 ± 7
[min, max]	[109 ; 365]	[8 ; 14]	[14 ; 23]	[49 ; 64]
Moyenne mondiale	400	30	35	-

Dans le sud d'Ambohitralanana, les activités du potassium-40 varient entre (109 ± 31) Bq.kg<sup>-1</sup> et (365 ± 33) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (225 ± 108) Bq.kg<sup>-1</sup>. Celles de l'uranium-238 varient de (8 ± 2) Bq.kg<sup>-1</sup> à (14 ± 6) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (12 ± 3) Bq.kg<sup>-1</sup>. Celles du thorium-232 varient entre (14 ± 7) Bq.kg<sup>-1</sup> et (23 ± 7) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (18 ± 4) Bq.kg<sup>-1</sup>. Les activités de trois radionucléides dans ce site sont tous inférieurs aux moyennes mondiales. Les activités du radium équivalent varient de (49 ± 14) Bq.kg<sup>-1</sup> à (64 ± 13) Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de (55 ± 7) Bq.kg<sup>-1</sup>. Les valeurs du radium équivalent du site sont toutes inférieures à la valeur limite recommandée de 370 Bq.kg<sup>-1</sup>. Ceux qui montrent que les sols ne présentent pas de danger en cas de l'utilisation comme matériau de construction.

**Tableau 9 :** Rapport des activités Th / U, K / U et K / Th dans le site sud Ambohitralanana

Code	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K/ <sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K/ <sup>232</sup> Th
ABLS-44	1,8 ± 1,1	47 ± 15	26 ± 13
ABLS-45	1,3 ± 0,6	14 ± 4	11 ± 4
ABLS-46	1,4 ± 0,8	8 ± 4	6 ± 3
ABLS-47	1,9 ± 0,9	20 ± 7	10 ± 4
Moyenne	1,6 ± 0,3	22 ± 17	13 ± 9
[min, max]	[1,3 ; 1,9]	[8 ; 47]	[6 ; 26]



**Figure 7 :** Activités du K-40, U-238 et Th-232 au sud Ambohitralanana

Les rapports entre thorium-232 et uranium-238 varient de 1,3 à 1,9 avec une moyenne de 1,6. Celles du potassium / thorium varient de 5,7 à 25,6 avec une moyenne de 13,2. Celles du potassium / uranium varient entre 7,9 et 46,7 avec une valeur moyenne de 22,1. Puisque les rapports du thorium / uranium sont supérieurs à l'unité, le thorium-232 est plus abondant que l'uranium-238. Mais, le potassium-40 est plus abondant que les deux autres radionucléides.

#### 4. Conclusion

Nous avons menés cette étude dans partie nord-est de Madagascar, plus précisément sur la longue côte littorale entre la Commune urbaine d'Antalaha et la Commune rurale d'Ambohitralanana. Au total, 50 échantillons ont été prélevés et analysés à l'aide des chaînes de spectrométrie gamma de l'INSTN-Madagascar. Tous les échantillons ont été mesurés à l'aide d'un détecteur NaI (TI), en utilisant la méthode de Rychak. Pour pouvoir confirmer les résultats obtenus par cette méthode, quelques échantillons ont été mesurés par des détecteurs en germanium de marque ORTEC et CANBERRA. Les radionucléides étudiés sont le potassium-40, les familles de l'uranium-238 et du thorium-232. Dans l'ensemble du site d'étude, les faibles activités spécifiques de ces radionucléides se trouvent dans la partie nord et elles augmentent progressivement au fur à mesure lorsqu'on se déplace vers la partie sud de la côte. Les activités moyennes de trois radionucléides sont tous inférieures aux valeurs moyennes mondiales de  $400 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $35 \text{ Bq.kg}^{-1}$  et  $30 \text{ Bq.kg}^{-1}$  respectivement pour le potassium-40, la famille de l'uranium-238 et du thorium-232. Néanmoins, les points de prélèvement ABL-71 et ABL-42 présentent des valeurs largement supérieures aux valeurs moyennes mondiales. Pour le radium équivalent, les activités sont toutes en-dessous de la valeur limite de  $370 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Cela veut dire qu'il n'y a pas de risque d'exposition interne et externe des rayonnements ionisants de ces sols en matériau de construction. En ce qui concerne les abondances de trois radionucléides dans le site d'étude, les rapports de  $\text{Th} / \text{U}$ ,  $\text{K} / \text{U}$  et  $\text{K} / \text{Th}$  montrent que les trois radionucléides sont de l'ordre de  $A_{\text{U-238}} < A_{\text{Th-232}} < A_{\text{K-40}}$ . Pour les doses absorbées, la valeur moyenne trouvée est inférieure à la valeur moyenne mondiale de  $60 \text{ nGy.h}^{-1}$ . Pareillement aux doses efficaces annuelles, la valeur moyenne calculée est de l'ordre du niveau normal de radioactivité. Dans l'ensemble du site, ces doses sont toutes toujours inférieure à la valeur limite de  $1 \text{ mSv.a}^{-1}$  pour le publique.

### References

- [1] - P. K. SHETTY, & Y. NARAYANA, Variation of radiation level and radionuclides enrichment in high background area. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101 (2010) 1043 - 1047
- [2] - S. TATAR ERKÜL, S. F. ÖZMEN, F. ERKÜL, I. BOZTOSUN, Comparison between natural radioactivity levels and geochemistry of some granitoids in western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25 (2016) 242 - 255
- [3] - GHAZWA ALZUBAIDI, FAUZIAH B. S. HAMID, and I. ABDUL RAHMAN, Assessment of Natural Radioactivity Levels and Radiation Hazards in Agricultural and Virgin Soil in the State of Kedah, North of Malaysia. Hindawi Publishing Corporation, *The Scientific World Journal*, (2016) 1 - 9
- [4] - RANDRIAMORA TIANA HARIMALALA, RAZAFINDRAMIANDRA HARY ANDRIANARIMANANA, RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA, RAVELOMANANTSOA SOLOFONIRINA DIEUDONNÉ, RALAIVÉLO MBOLATIANA ANJARASOA LUC, RASOLONIRINA MARTIN, ZAFIMANJATO JOSEPH LUCIEN, RANDRIANTSEHENO HERY FANJA, Determination of Natural Radioactivity in the North Beach Sands of Madagascar. *American Journal of Physics and Applications*, 5 (1) (2017) 6 - 12
- [5] - A. AMEKUDZIE, G. EMI-REYNOLDS, A. FAANU, E. O. DARKO, A. R. AWUDU, O. ADUKPO, L. A. N. QUAYE, R. KPORDZRO, B. AGYEMANG and A. IBRAHIM, Natural Radioactivity Concentrations and Dose Assessment in Shore Sediment along Coast of Greater Accra, Ghana. *World Applied Sciences Journal*, 13 (11) (2011) 2338 - 2343
- [6] - BRIANT KALL, THEOGENE TOMBO, MARTIN RASOLONIRINA, NAIVO RABESIRANANA et GERARD RAMBOLAMANANA, « Contribution à l'étude de dose due à la radioactivité gamma du sol sur la rive de la baie des Français, Antsiranana, Madagascar ». *Afrique SCIENCE*, ISSN 1813-548X, 11 (1) (2015) 122 - 135
- [7] - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risks of Ionization Radiation", UNSCEAR Report to the General Assembly, with Annexes, New York, (2000)
- [8] - ALAIN CARPENTIER, ETIENNE-EMILE BEAULIEU, EDOUARD BREZIN, JACQUES FRIEDEL, L'accident majeur de Fukushima, Considérations sismiques, nucléaires et médicales, (2012)
- [9] - PHILIPPE MINE, Ellipses. Cours et problèmes corrigés de physique nucléaire et de physique des particules, (2016)
- [10] - YVES LENOIR, L'histoire occultée des dangers des radiations, (2016)
- [11] - NIELS BOHR, GALLIMARD, Physique atomique et connaissance humaine, (2016)
- [12] - ROBERT DAUTRAY, YVES BRECHET, Le démantèlement des centrales nucléaires, Aspects scientifiques et techniques, (2015)
- [13] - Franck Guarnieri, Sébastien Travadel, Christophe Martin, Aurélien Portelli, Aissame Affrouss, L'accident de Fukushima Dai Ichi - Volume I. L'anéantissement - Le récit du directeur de la centrale, (2015)
- [14] - GERARD MAREY, Radioactivité- Radioprotection, Rayonnements, dosimétrie, protection, (2014)
- [15] - R. MEHRA, M. Singh, Measurement of Radioactivity of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in Soil of Different Geological Origins in Northern India, *Journal of Environmental Protection*, 2 (2011) 960 - 966