

## **Contribution à l'étude de la radioactivité gamma du sable des plages de Ramena et d'Orangea, Antsiranana, Madagascar**

**Briant KALL<sup>1\*</sup>, Zafizara DONNE<sup>1</sup>, Martin RASOLONIRINA<sup>2</sup>, Naivo RABESIRANANA<sup>3</sup> et Gérard RAMBOLAMANANA<sup>4</sup>**

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

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

<sup>3</sup> *Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, BP 906-101 Antananarivo, Madagascar*

<sup>4</sup> *Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, Madagascar*

\*Correspondance, courriel : [briantkall@yahoo.com](mailto:briantkall@yahoo.com)

### **Résumé**

Les familles de l'Uranium -238, de l'Uranium -235, du Thorium -232 et du Potassium -40 sont d'origines telluriques et contribuent de manière générale aux expositions internes et externes d'un individu. Ce travail a pour objectif de mesurer la radioactivité du sable de deux plages de la baie de Diego-Suarez, à savoir celles de ramena et d'orangea. Différents échantillons ont été collectés pour avoir une représentation fidèle de ces sites. Les analyses par spectrométrie gamma de ces échantillons nous permettent de déterminer les activités des familles de l'Uranium -238, du Thorium -232 et du Potassium -40. Les analyses effectuées avec le détecteur NaI (TI) de marque ORTEC et de modèle 905-4 série ont donné des résultats fiables. En effet, les activités varient de  $(66 \pm 22)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(180 \pm 32)$  Bq.kg<sup>-1</sup> pour la famille de l'Uranium-238, de  $(54 \pm 14)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(95 \pm 16)$  Bq.kg<sup>-1</sup> pour celle du Thorium-232 et de  $(107 \pm 22)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(321 \pm 49)$  Bq.kg<sup>-1</sup> pour le Potassium -40. Ainsi le radium équivalent varie de  $(174 \pm 26)$  Bq.kg<sup>-1</sup> à  $(319 \pm 37)$  Bq.kg<sup>-1</sup> avec une moyenne de  $(235 \pm 32)$  Bq.kg<sup>-1</sup>.

**Mots-clés :** *radioactivité, spectrométrie gamma, radium équivalent.*

### **Abstract**

#### **Contribution of the Measurements of beach sand radioactivities of Ramena and Orangea in Antsiranana, Madagascar**

Uranium -238, uranium -235 and Thorium -232 series are from telluric elements and with Potassium -40, they contribute to the internal and external exposure of the public. This work is essentially based on the measurement of beach sand radioactivities of Ramena and Orangea in Antsiranana. Enough samples have been collected in such way to have a good image of the two areas of interest. The samples analyses by gamma spectrometry system using ORTEC NaI(Tl) detector, 905-4 serie, allow us to determine the activities of Uranium -238, Thorium -232 series and the Potassium -40. The results show that the uranium -238, the thorium-232 series and the potassium-40 activities ranges are respectively from  $(66 \pm 22)$  Bq.kg<sup>-1</sup> to  $(180 \pm 32)$  Bq.kg<sup>-1</sup>, from  $(54 \pm 14)$  Bq.kg<sup>-1</sup> to  $(95 \pm 16)$  Bq.kg<sup>-1</sup> and from  $(107 \pm 22)$  Bq.kg<sup>-1</sup> to  $(321 \pm 49)$  Bq.kg<sup>-1</sup>. Thus, the estimated radium equivalent ranges are between  $(174 \pm 26)$  Bq.kg<sup>-1</sup> to  $(319 \pm 37)$  Bq.kg<sup>-1</sup>, with an average for about  $(235 \pm 32)$  Bq.kg<sup>-1</sup>.

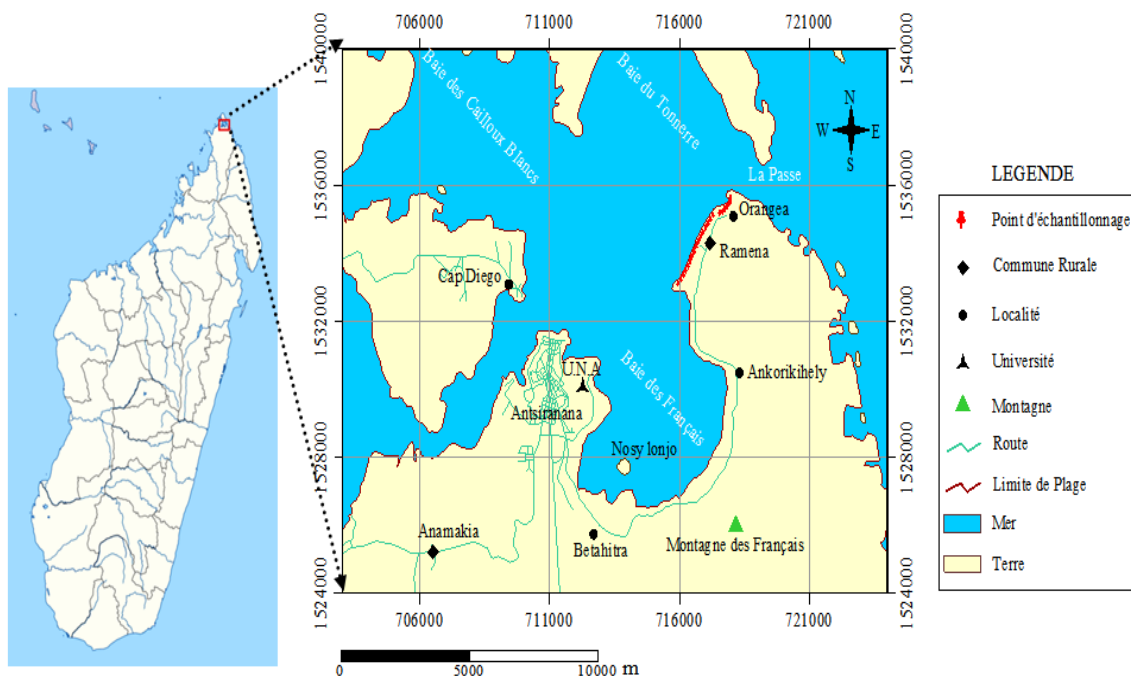
**Keywords :** *radioactivity, gamma spectrometry, radium equivalent.*

## 1. Introduction

Depuis sa création, la terre a toujours été baignée dans un cocktail de radioactivité naturelle. Par conséquent, tous ceux qui s'y trouvent sont soumis à l'effet de cette radioactivité. En général, au niveau du sol, les éléments responsables de ce phénomène sont d'origines telluriques dont les plus susceptibles sont l'uranium -238, le thorium -232 et le potassium -40. Ces éléments émettent essentiellement du gamma. L'étude qui a été menée est axée sur la mesure de la radioactivité gamma des plages de ramena et d'orangea. Chaque année, ces deux plages sont côtoyées par environ 10000 touristes aussi bien nationaux qu'internationaux, mis à part les habitants de la commune rurale de ramena qui sont estimés à environ 5000. Il est alors nécessaire d'évaluer l'activité naturelle de ces sites. Jusqu'à ce jour, aucune étude n'a encore été effectuée pour estimer celle-ci. Cette étude vise alors à déterminer le taux d'exposition externe dû à l'émission gamma par les éléments cités ci-dessus et consiste à établir le niveau zéro de ces lieux vis-à-vis de la radioactivité naturelle du sol.

## 2. Site d'étude

La baie de Diego-Suarez est située à la pointe Nord de Madagascar dans la ville d'Antsiranana. Elle est d'une longueur de vingtaine de kilomètres sur l'axe Nord-Sud et Est-Ouest. Cette baie a été créée suite à l'envahissement de la côte par la mer de l'Océan Indien. Elle est constituée de quatre anses : la baie du tonnerre, la baie des cailloux blancs, le cul-de-sac Gallois et la baie des français. Chaque anse possède chacune des plages mais les plus fréquentées sont celles de ramena et d'orangea.



**Figure 1 : Localisation des sites et les points de prélèvements des échantillons**

### 3. Méthodologie

Avant de pouvoir effectuer les analyses qualitative et quantitative d'un échantillon, la chaîne doit être étalonnée en énergie et en efficacité. Cela permet d'avoir des valeurs exactes pour les différentes mesures notamment celles de l'activité.

#### 3-1. Etalonnage en énergie

A chaque canal du spectre correspond une énergie. Il s'agit ensuite de trouver cette corrélation. L'étalonnage en énergie consiste donc à établir une relation polynômiale entre le numéro de canal et l'énergie correspondante. Pour se faire, on utilise une source de références émettant des énergies gamma bien connues. Pour chaque pic du spectre des matériaux de références, on relève le numéro de canal C d'accumulation maximum de coups du pic et on lui associe l'énergie E correspondante. Etant donné que le reste de la chaîne est linéaire, l'approximation est donnée par :

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

Où E : l'énergie en keV, C : le numéro de canal d'accumulation maximum de coups, a : le coefficient directeur de la courbe ou gain en keV/canal et b: l'énergie du premier canal. En utilisant la méthode des moindres carrés, Les coefficients a et b sont déterminés par :

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

Et

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

Après avoir effectuées les mesures adéquates, nous avons obtenu les résultats figurant dans le **Tableau 1**

**Tableau 1 : Résultat d'étalonnage en énergie**

Famille	Radionucléide	Numéro de canal	Energie donnée (keV)	Energie calculée (keV)	Déviaton standard (%)
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	102	351,9	351,9	0
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	397	1461,0	1460,6	0,03
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Bi	478	1764,5	1765,0	-0,03
<sup>232</sup> Th	<sup>208</sup> Tl	704	2614,5	2614,4	0

En rapportant les valeurs du **Tableau 1** dans les **équations (2)** et **(3)**, les coefficients a et b sont respectivement 3,76 et -31,43. La courbe d'étalonnage qui en découle est présentée à la **Figure 3**.

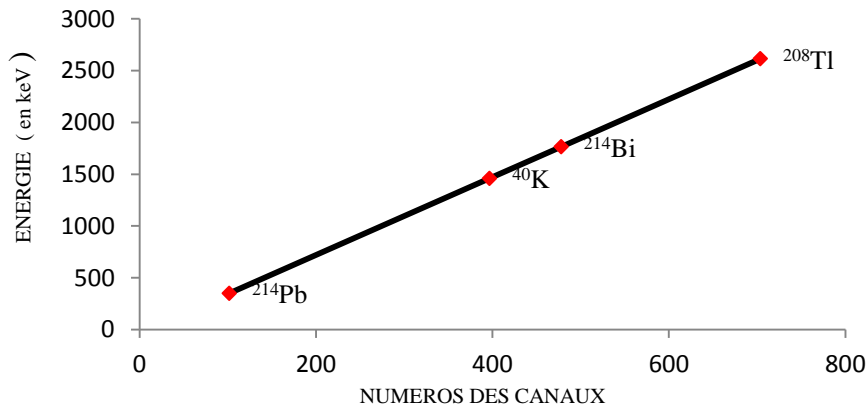


Figure 3 : Courbe d'étalonnage en énergie

### 3-2. Etalonnage en efficacité

Pour ce faire, nous adoptons la procédure de mesure directe décrite par Rybach en 1971 et en 1988 mais qui a été modifiée par Chiozzi et al en 2000 pour la mesure de la radioactivité du sol. Ainsi, trois régions d'intérêt dans le spectre de rayonnement gamma centrées approximativement aux sommets des trois pics caractéristiques des pics d'énergie 1461 keV du potassium-40, 1764,5 keV du bismuth-214 et 2614,5 keV du thallium-208 sont considérées, correspondant respectivement aux séries de désintégrations du potassium-40, de l'uranium-238 et du thorium-232. Au lieu de prendre la largeur des régions d'intérêt égale à 10% de l'énergie du radionucléide caractéristique dans chaque fenêtre comme l'a suggéré Rybach en 1988, nous considérons chaque région à 15%. La procédure proposée par Rybach pour calculer les constantes d'efficacité peut être généralisée. Le taux du comptage net  $R_{i,j}$  dans la  $i^{\text{ème}}$  région d'intérêt des étalons standards  $j$  ( $i$  et  $j$  varient de 1 à 3 désignant les fenêtres, et les étalons standards du potassium, de l'uranium et du thorium respectivement) est proportionnel à l'activité  $A_{k,i}$  de chaque radionucléide considéré  $k$  selon *l'équation* :

$$R_{i,j} = \sum_{k=1}^3 \varepsilon_{i,k} A_{k,j} \quad (4)$$

Où  $\varepsilon_{i,k}$  : la constante d'efficacité dans  $i^{\text{ème}}$  région d'intérêt pour le radionucléide  $k$ ,  $A_{k,i}$ : activité du radionucléide  $k$  dans la  $i^{\text{ème}}$  source d'étalon,  $R_{i,j}$ :taux de comptage net pour  $i^{\text{ème}}$  région d'intérêt de la  $j^{\text{ème}}$  source d'étalon, qui est exprimé comme suit:

$$R_{i,j} = \frac{N_{i,j}}{t_j} - B_i \quad (5)$$

Où  $t_j$  : temps de comptage pour les sources d'étalons  $j$ ,  $N_{i,j}$  : nombre de coups correspondant,  $B_i$  : taux de comptage du bruit de fond dans la  $i^{\text{ème}}$  région d'intérêt. Les constantes d'efficacité  $\varepsilon_{i,k}$  ont été calculées à partir des activités connues des sources étalons et des taux de comptage des régions d'intérêt spécifiées auxquelles nous avons préalablement soustrait le bruit de fond.

**Tableau 2 :** Caractéristiques des matériaux de référence RGK-1, RGU-1 et RGTh-1 disposés par le département Analyses et Techniques Nucléaires de INSTN-Madagascar

Minerais		RGK-1	RGU-1	RGTh-1
Masse de l'échantillon (g)		114,03 ± 0,02	142,85 ± 0,03	135,04 ± 0,04
Volume (cm <sup>3</sup> )		100	100	100
Teneur	K	448000 ± 3000	< 20 (µg.g <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,01%
	U	< 0,001 (µg.g <sup>-1</sup> )	400 ± 2 (µg.g <sup>-1</sup> )	6,3 ± 0,4 (µg.g <sup>-1</sup> )
	Th	< 0,01 (µg.g <sup>-1</sup> )	< 1 (µg.g <sup>-1</sup> )	800 ± 16 (µg.g <sup>-1</sup> )
Masse atomique (g.mol <sup>-1</sup> )		K: 39,098	U: 238,029	Th: 232,038
Période		1,25.10 <sup>9</sup> ans	4,47.10 <sup>9</sup> ans	1,41.10 <sup>10</sup> ans
Nature		Sulfate de potassium extra pur	Minerai d'Uranium dilué avec de la Silice	Minerai de Thorium dilué avec de la Silice

En considérant le **Tableau 2**, nous avons établi les activités de ces trois éléments radioactifs dans les étalons comme le montre le **Tableau 3**.

**Tableau 3 :** Déduction des activités des radionucléides dans les étalons (A<sub>k,i</sub>)

i		1	2	3
Etalons Standard		RGK-1	RGU-1	RGTh-1
k	Radionucléides			
1	<sup>40</sup> K	A <sub>1,1</sub> ≠ 0	A <sub>1,2</sub> = 0	A <sub>1,3</sub> = 0
2	<sup>238</sup> U	A <sub>2,1</sub> = 0	A <sub>2,2</sub> ≠ 0	A <sub>2,3</sub> ≠ 0
3	<sup>232</sup> Th	A <sub>3,1</sub> = 0	A <sub>3,2</sub> = 0	A <sub>3,3</sub> ≠ 0

Tenant compte de ces tableaux, nous avons les valeurs des constantes d'efficacité suivantes :

**Tableau 4 :** Déduction des constantes d'efficacité (ε<sub>i,k</sub>)

k		1	2	3
Radionucléides		<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th
i	Régions d'intérêts			
1	Région (1)	ε <sub>1,1</sub> ≠ 0	ε <sub>1,2</sub> ≠ 0	ε <sub>1,3</sub> ≠ 0
2	Région (2)	ε <sub>2,1</sub> = 0	ε <sub>2,2</sub> ≠ 0	ε <sub>2,3</sub> ≠ 0
3	Région (3)	ε <sub>3,1</sub> = 0	ε <sub>3,2</sub> ≠ 0	ε <sub>3,3</sub> ≠ 0

En insérant les valeurs du **Tableau 3** et du **Tableau 4** dans l'équation 4, et en arrangeant, on obtient les constantes d'efficacité ci-après:

- Pour le potassium standard RGK-1, on a :

$$\varepsilon_{1,1} = \frac{R_{1,1}}{A_{1,1}} \quad (6)$$

- Pour l'uranium standard RGU-1, on obtient :

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{R_{1,2}}{A_{2,2}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_{2,2} = \frac{R_{2,2}}{A_{2,2}} \quad (7)$$

- Pour le thorium standard RGTh-1, on a :

$$\varepsilon_{1,3} = \frac{1}{A_{3,3}} \left( R_{1,3} - \varepsilon_{1,2} \frac{A_{2,3}}{A_{2,2}} \right) \quad \text{et} \quad \varepsilon_{2,3} = \frac{1}{A_{3,3}} \left( R_{2,3} - \varepsilon_{2,2} \frac{A_{2,3}}{A_{2,2}} \right) \quad (8)$$

La constante  $\varepsilon_{3,3}$  est déterminée en combinant les taux de comptages de l'uranium et du thorium dans la troisième région d'intérêt, ce qui permet d'avoir :

$$\varepsilon_{3,2} = \frac{R_{3,2}}{A_{2,2}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_{3,3} = \frac{1}{A_{3,3}} \left( R_{3,3} - \varepsilon_{3,2} \frac{A_{2,3}}{A_{2,2}} \right) \quad (9)$$

### 3-3. Calculs des activités

#### 3-3-1. Activités des radionucléides naturels dans les étalons

Le but est d'exprimer la formule des activités  $A_{k,j}$  de chaque radionucléide présent dans chaque région d'intérêt des étalons standard: RGK-1, RGU-1 et RGTh-1. Pour cela, on doit tenir compte des données sur le **Tableau 2**. Puis, on utilise la définition de l'activité d'une source radioactive, ce qui donne :

$$A = \frac{I \cdot N_A \cdot m \cdot \ln(2)}{M \cdot T_{1/2}} \quad (10)$$

Où A : l'activité du radionucléide (en Bq), m: la masse d'un radioélément en ppm, M : la masse atomique du radionucléide (en mol.g<sup>-1</sup>), I: l'abondance du radionucléide,  $N_A$  : le nombre d'Avogadro et  $T_{1/2}$  : la période du radionucléide (en s).

#### 3-3-2. Activités des radionucléides naturels dans les échantillons

En se référant à **l'équation 4**, on obtient ainsi la forme matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} R_K \\ R_U \\ R_{Th} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,1} & \varepsilon_{1,2} & \varepsilon_{1,3} \\ 0 & \varepsilon_{2,2} & \varepsilon_{2,3} \\ 0 & \varepsilon_{3,2} & \varepsilon_{3,3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_K \\ A_U \\ A_{Th} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Compte tenu de **l'équation 11**, nous tirons :

$$\det(E) = \varepsilon_{1,1} (\varepsilon_{2,2} \varepsilon_{3,3} - \varepsilon_{2,3} \varepsilon_{3,2}) \neq 0 \quad (12)$$

E est donc inversible et sachant que les taux de comptage nets des trois régions d'intérêt ainsi que les efficacités du comptage et les activités inconnues du potassium-40, de la famille de l'uranium-238 et de la famille du thorium-232 des échantillons du sable peuvent être calculés en inversant la matrice du système d'équation 11 :

$$\begin{pmatrix} A_K \\ A_U \\ A_{Th} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ 0 & a_{2,2} & a_{2,3} \\ 0 & a_{3,2} & a_{3,3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_K \\ R_U \\ R_{Th} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Par conséquent, on déterminera les activités massiques  $A_K$ ,  $A_U$  et  $A_{Th}$  par le système d'équation 14 ci-après:

$$\begin{cases} A_K = a_{1,1} R_K + a_{1,2} R_U + a_{1,3} R_{Th} \\ A_U = 0 + a_{2,2} R_U + a_{2,3} R_{Th} \\ A_{Th} = 0 + a_{3,2} R_U + a_{3,3} R_{Th} \end{cases} \quad (14)$$

### 3-4. Calculs d'erreurs et des incertitudes

La désintégration radioactive est un phénomène aléatoire dans le temps, qui obéit à la loi de Poisson. Par conséquent, les mesures du nombre d'évènements détectés ne sont jamais exactes, mais représentent des valeurs moyennes avec des incertitudes qui s'améliorent pour les mesures de longue durée. Ainsi, le calcul d'incertitude est nécessaire pour chaque mesure. Pour un comptage N, l'écart type de comptage est :

$$\sigma_N = \sqrt{N} \quad (15)$$

Les incertitudes des activités du potassium-40, des familles de l'uranium-238 et du thorium-232 sont calculées à partir de la formule de propagation des erreurs.

- Pour le Potassium-40

$$\sigma_{A_K} = \sqrt{(R_K \sigma_{a_{1,1}})^2 + (a_{1,1} \sigma_{R_K})^2 + (R_U \sigma_{a_{1,2}})^2 + (a_{1,2} \sigma_{R_U})^2 + (R_{Th} \sigma_{a_{1,3}})^2 + (a_{1,3} \sigma_{R_{Th}})^2} \quad (16)$$

- Pour l'Uranium-238

$$\sigma_{A_U} = \sqrt{(R_U \sigma_{a_{2,2}})^2 + (a_{2,2} \sigma_{R_U})^2 + (R_{Th} \sigma_{a_{2,3}})^2 + (a_{2,3} \sigma_{R_{Th}})^2} \quad (17)$$

- Pour le Thorium-232

$$\sigma_{A_{Th}} = \sqrt{(R_U \sigma_{a_{3,2}})^2 + (a_{3,2} \sigma_{R_U})^2 + (R_{Th} \sigma_{a_{3,3}})^2 + (a_{3,3} \sigma_{R_{Th}})^2} \quad (18)$$

### 3-5. Limite de détection

La limite de détection ( $LD_n$ ) de chaque radionucléide  $n$  dépend du taux de comptage du bruit de fond ( $B_i$ ), du temps d'acquisition ( $t$ ) et de la constante d'étalonnage ( $\epsilon_{i,n}$ ) et elle est déterminée par l'équation suivante :

$$LD_n = \frac{2\sqrt{2}}{\epsilon_{i,n}} \times \sqrt{\left(\frac{B_i}{t}\right)} \quad (19)$$

### 3-6. Estimation de l'activité du Radium équivalent ( $Ra_{eq}$ )

L'activité du radium équivalent  $Ra_{eq}$  est exprimée par la formule de Beretka et Mathew :

$$Ra_{eq} = 370 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \times H_{ex} \quad (20)$$

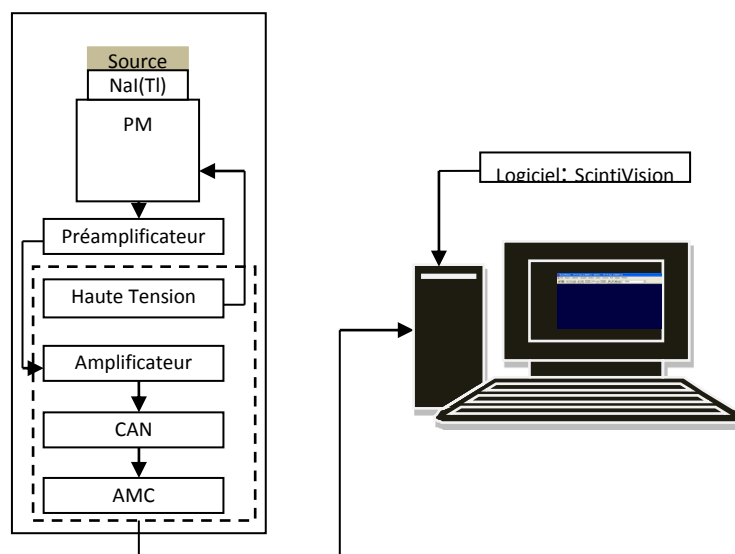
Que l'on peut encore écrire sous la forme :

$$Ra_{eq} = 0,077 \times A_K + A_{Ra} + 1,43 \times A_{Th} \quad (21)$$

Où  $A_K$ ,  $A_{Ra}$  et  $A_{Th}$  sont respectivement les activités spécifiques du potassium-40, du radium-226 (famille de l'uranium-238) et de la famille du thorium-232 dans les échantillons.

### 3-7. Matériels

Les échantillons ont été prélevés tous les 60 mètres environs afin d'avoir une bonne représentation des sites étudiés. Pour la localisation, nous avons utilisé un GPS de marque GARMIN (eTrex Vista HCx). Les analyses ont été réalisées avec une chaîne de spectrométrie gamma composée d'un détecteur de type NaI(Tl) de Marque ORTEC et de modèle 905-4 série, connectée à un micro-ordinateur dans lequel est installé le logiciel ScintiVision comme le montre la **Figure 2**.



**Figure 2** : Schéma simplifié de la Chaîne d'analyse

## 4. Résultats et discussion

### 4-1. Activités dans les deux sites

Après avoir préalablement effectué les mis au point de la chaîne de mesure, notamment les étalonnages en énergie et en efficacité, nous avons déterminé les différents coefficients grâce auxquels nous avons pu obtenir les résultats présentés dans le **Tableau 5**. Les paramètres de réglages ont été fixés à 800 Volts pour la polarisation du détecteur et les temps de mesure à 12 Heures.



**Tableau 5 : Résultats des mesures des activités dans les deux sites**

Sites	Codes	<sup>40</sup> K		Famille de l' <sup>238</sup> U		Famille du <sup>232</sup> Th	
		Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )	LD <sub>K</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )	LD <sub>U</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )	LD <sub>Th</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Orangea	EP1	170 ± 43	19	114 ± 28	7	87 ± 15	10
	EP2	198 ± 41	18	94 ± 29	7	90 ± 13	9
	EP3	203 ± 33	12	95 ± 22	4	78 ± 10	6
	EP4	252 ± 47	19	133 ± 30	7	95 ± 16	10
	EP5	248 ± 37	13	102 ± 24	5	84 ± 11	7
	EP6	190 ± 33	13	103 ± 20	5	82 ± 11	7
Ramena	EP7	286 ± 33	12	66 ± 22	4	60 ± 10	6
	EP8	195 ± 34	12	89 ± 23	5	75 ± 11	6
	EP9	214 ± 48	18	95 ± 33	7	80 ± 14	9
	EP10	321 ± 49	19	103 ± 30	7	66 ± 14	9
	EP11	146 ± 43	18	122 ± 28	7	77 ± 14	9
	EP12	190 ± 41	17	180 ± 32	6	87 ± 13	9
	EP13	241 ± 44	17	104 ± 29	7	72 ± 13	9
	EP14	189 ± 25	6	100 ± 17	2	78 ± 8	3
	EP15	236 ± 36	13	109 ± 24	5	87 ± 11	6
	EP16	200 ± 35	13	121 ± 22	5	91 ± 12	6
	EP17	165 ± 34	12	109 ± 23	5	82 ± 11	6
	EP18	118 ± 33	12	137 ± 27	5	78 ± 11	6
	EP19	107 ± 22	6	81 ± 16	2	68 ± 8	3
	EP20	141 ± 41	18	110 ± 31	7	60 ± 14	9
	EP21	177 ± 49	18	111 ± 28	7	57 ± 14	9
	EP22	179 ± 40	17	115 ± 25	6	68 ± 12	8
Moyenne ± σ		198 ± 51		109 ± 23		77 ± 11	
[min - max]		[107-321]		[66-180]		[57-95]	

#### 4-2. Activités du potassium-40

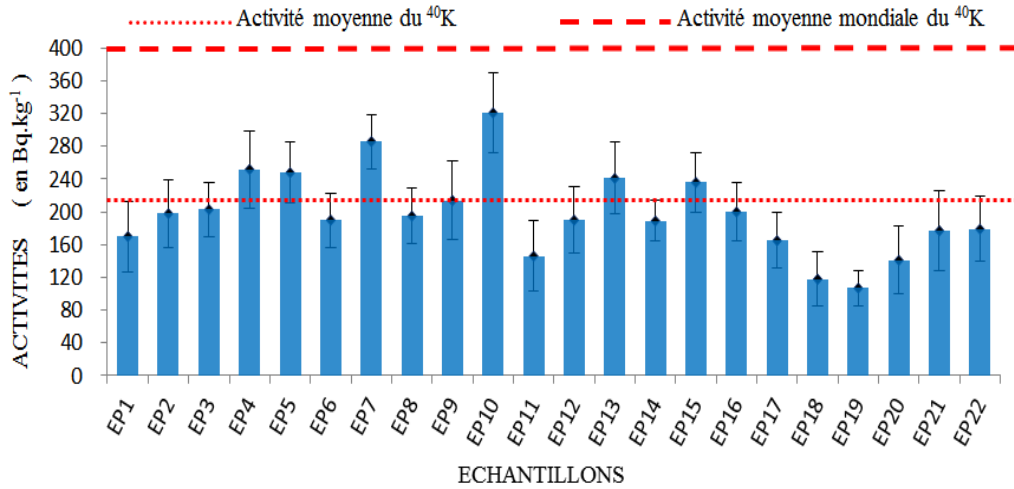


Figure 3 : Représentation de la variation des activités du  $^{40}\text{K}$

Les résultats présentés dans le **Tableau 5** dont la courbe est présentée à la **Figure 3** révèlent que les activités du potassium -40 varient de  $(107 \pm 22) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(321 \pm 49) \text{ Bq.kg}^{-1}$  en fluctuant suivant les points d'échantillonnage. La valeur moyenne tourne autour de  $(198 \pm 51) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Aucune des activités du potassium -40 est inférieure à la limite de détection. Dans le site d'Orangea (EP1 à EP6), les activités du potassium -40 vont de  $(170 \pm 43) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(252 \pm 47) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . De plus, on constate que quatre parmi les six échantillons de sable de plage d'Orangea ont des activités supérieures à l'activité moyenne. Du côté de Ramena (EP7 à EP22), les activités du potassium -40 sont comprises entre  $(107 \pm 22) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(321 \pm 49) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Seuls six parmi les seize échantillons possèdent des activités au-dessus de la moyenne; les restes en sont inférieurs. Dans les deux sites, toutes les activités du potassium -40 sont inférieures à la moyenne mondiale qui est  $400 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (UNSCEAR 2000).

#### 4-3. Activités de la famille de l'uranium-238

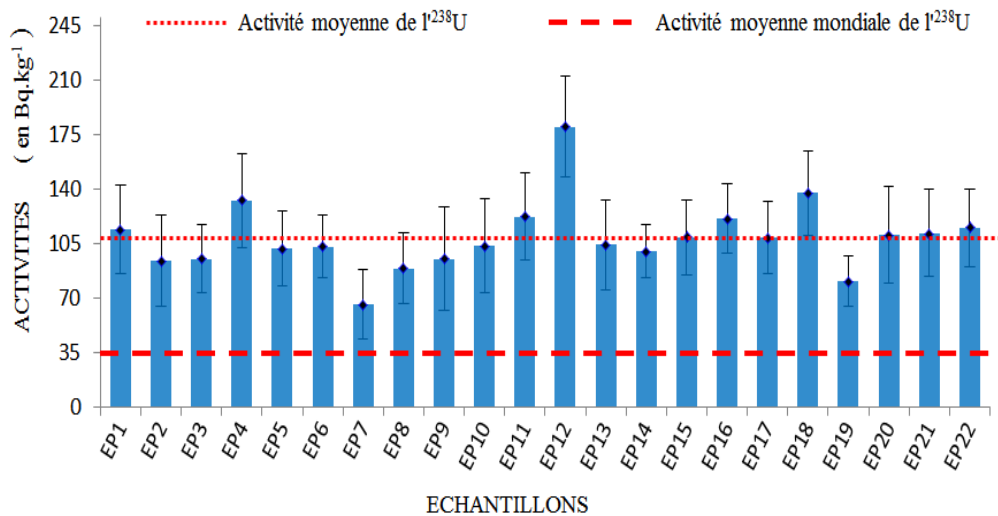
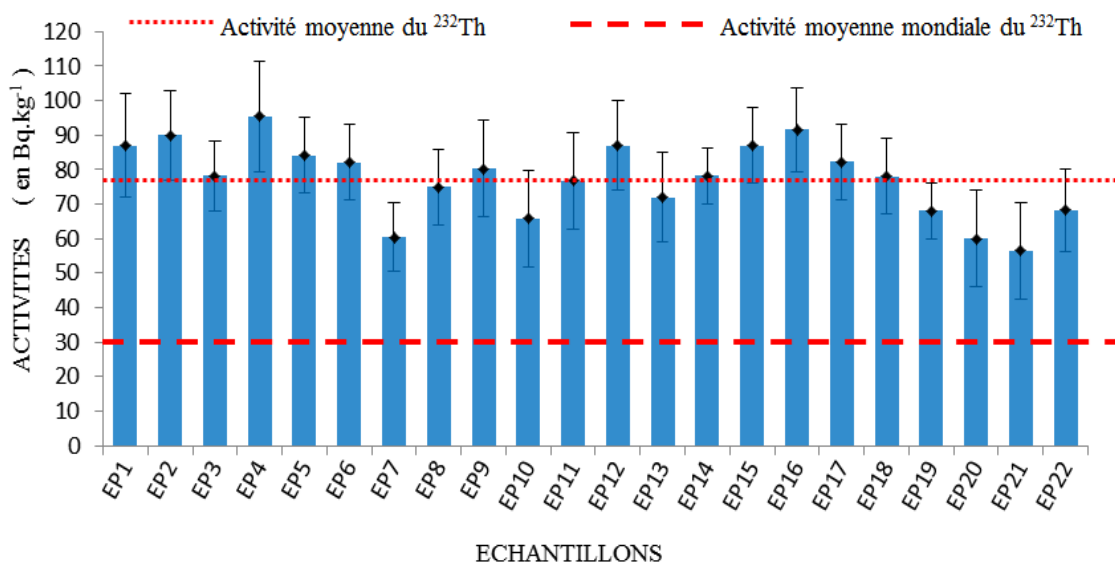


Figure 4 : Représentation de la variation des activités de la famille de  $^{238}\text{U}$

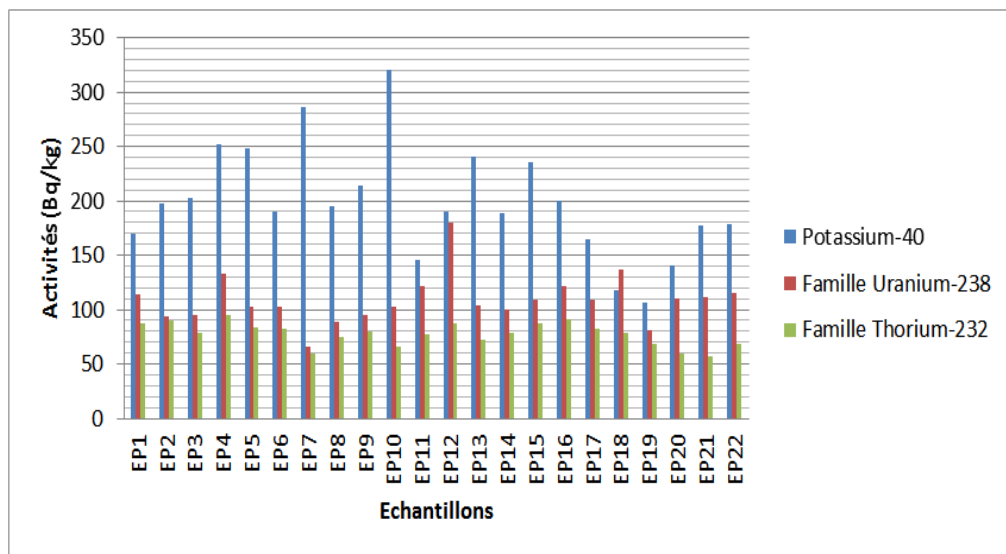
D'après les résultats des vingt-deux échantillons montrés dans la **Figure 4** ci-dessus, on remarque que les activités de la famille de l'uranium -238 varient sensiblement d'un point à un autre. Cette variation est de  $(66 \pm 22) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(180 \pm 32) \text{ Bq.kg}^{-1}$  et aucune n'est en-dessous de la limite de détection. La valeur moyenne tourne autour de  $(109 \pm 26) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Elle dépasse largement la moyenne mondiale  $35 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (UNSCEAR 2000). Dans les sables de plage d'Orangea, les activités de la famille de l'uranium -238 sont comprises entre  $(94 \pm 29) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(133 \pm 30) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Deux seulement parmi les six échantillons de sable d'Orangea possèdent des activités au-dessus de l'activité moyenne. Par contre, Dans le cas du sable de plage de Ramena, ces activités varient de  $(66 \pm 22) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(182 \pm 32) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Parmi les seize échantillons de sable de Ramena, seuls sept présentent des activités supérieures à la moyenne.

#### 4-4. Activités de la famille du thorium-232



**Figure 5 :** Représentation de la variation des activités de la famille du <sup>232</sup>Th

Les résultats d'analyse de vingt-deux échantillons de sable sur la **Figure 5** ci-dessus montrent que les activités de la famille du thorium -232 varient de  $(57 \pm 14) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(95 \pm 16) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . La valeur moyenne vaut  $(77 \pm 11) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Ces activités restent toujours supérieures à ses limites de détection. On constate que les six échantillons prélevés au site d'Orangea ont des activités supérieures à la valeur moyenne. Leurs activités varient de  $(78 \pm 10) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(95 \pm 16) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Toutefois, dans le site de Ramena, seuls sept parmi les seize échantillons ont des activités au-dessus de la moyenne. Ces activités sont comprises entre  $(57 \pm 14) \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $(91 \pm 12) \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Dans la variation des activités de la famille du thorium -232, on ne remarque pas trop une forte augmentation des activités ni de la diminution brusque. Elles varient peu par rapport à la moyenne mondiale relative à la famille du Thorium -232 qui est de  $30 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (UNSCEAR 2000).



**Figure 6 :** Comparaison des activités du  $^{40}\text{K}$ , de la famille de  $^{238}\text{U}$  et de la famille du  $^{232}\text{Th}$  des échantillons de sable analysés

La **Figure 6** montre la comparaison des quantités des différentes familles pour les différents points de prélèvement. Les analyses ont permis de mesurer les valeurs quantitatives du Potassium -40, de la famille de l'uranium -238 et celle du Thorium -232. Elles nous ont permis de constater également que, pour les deux sites confondus, l'activité moyenne du potassium -40 est supérieure à celles de la famille de d'Uranium -238 et celle du thorium -232. En termes de statistique, en prenant l'activité moyenne de potassium-40 comme référence, celle de la famille de l'uranium -238 est de 55% moindre que celle de potassium -40. De même, l'activité moyenne de la famille du thorium représente 39% moindre que celle du potassium -40. En d'autre terme, la concentration des taux des activités du potassium -40 reste toujours importante par rapport à celles de la famille de l'uranium -238 et de la famille du thorium -232. En se basant sur le rapport publié par la Comité Scientifique des Nations Unies pour les Effets de Radiation Atomique en 6 juin 2000 (UNSCEAR, 2000), les concentrations moyennes mondiales des activités du potassium -40, de la famille de l'uranium-238 et du thorium -232 valent respectivement  $400 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $35 \text{ Bq.kg}^{-1}$  et  $30 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . En se référant à ces valeurs moyennes, nous remarquons que toutes les valeurs de l'activité du potassium -40 dans le présent travail sont inférieures à  $400 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Par contre, les activités de la famille de l'uranium -238 et de la famille du thorium sont respectivement toutes supérieures à  $35 \text{ Bq.kg}^{-1}$  et  $30 \text{ Bq.kg}^{-1}$ .

## 5. Conclusion

L'étude de la radioactivité environnementale englobe généralement la détermination des taux de concentration de l'uranium, du thorium et du potassium dans le sol car ils sont les seuls principalement observables et cela à cause du fait qu'ils ont des périodes assez longues, de l'ordre de  $10^9$  ans. Ces trois éléments radioactifs ainsi que leurs descendances, sont à l'origine de l'exposition externe d'un individu se trouvant à la surface de la terre. Les résultats d'analyse des échantillons prélevés sur les plages de Ramena et d'Orangea mettent en évidence l'existence des éléments radioactifs primordiaux dont les activités spécifiques moyennes respectives sont de  $(198 \pm 51) \text{ Bq.kg}^{-1}$  pour le Potassium -40, de  $(109 \pm 26) \text{ Bq.kg}^{-1}$  pour la famille de l'Uranium -238 et de  $(77 \pm 11) \text{ Bq.kg}^{-1}$  pour celle du Thorium -232.

En comparant ces valeurs à celles des moyennes mondiales respectives publiées par la Comité Scientifique des Nations Unies pour les Effets de Radiation Atomique, en 2000, on constate que la moyenne de l'activité massique du potassium -40 équivaut presque à la moitié moindre que celle de la moyenne mondiale. Par contre, celles de la famille de l'uranium -238 et de la famille du thorium -232 sont supérieures de deux fois de la moyenne mondiale respective. La valeur moyenne du radium équivalent est de  $(235 \pm 32)$  Bq.kg<sup>-1</sup> pour les deux sites, ce qui est inférieur à 370 Bq.kg<sup>-1</sup> qui est la valeur maximale publiée par l'ICRP (International Commission on Radiological Protection) et recommandée par l'OECD (Organization for Economic Cooperation and Development)

### Références

- [1] - N. TSOULFANIDIS, Measurement and detection of Radiation, Taylor & Francis, 1988.
- [2] - C. JERZY, «General solution of Bateman equations for nuclear transmutations». Annals of nuclear Energy, 33, (2006), 640-645.
- [3] - L.TESSIER, « Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine: Identification de signatures naturelles et anthropiques », Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Paris XII, 2003.
- [4] - 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 GU2 7XH, United Kingdom, 2011.
- [5] - F.COURTINE, « 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<sup>e</sup> cycle, Université Blaise Pascal, 2007.
- [6] - B.PIRARD, « Etude et validation d'un spectromètre gamma pour la mesure de la composition chimique des surfaces planétaires: Application a une mission vers Mercure ». Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université Toulouse III, 2006.
- [7] - F.PANZA, 2012. « Développement de la spectrométrie gamma in situ pour la cartographie de site ». Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Strasbourg.
- [8] - ORTEC. Review of the Physics of Semiconductor Detectors, 905 Series NaI (TI) Scintillation Detectors. 103-106.
- [9] - ORTEC. AN32 Experiment 3, Gamma-Ray Spectroscopy Using NaI (TI). p 4.
- [10] - P. CHIOZZI et al, « Laboratory application of NaI (TI) gamma-ray spectrometry to the studies of natural radioactivity in geophysics. Applied Radiation and Isotopes", 53, 2000.
- [11] - UNSCEAR, "Sources and Effects of Ionizing Radiation: Exposures from natural radiation sources". Report to the General Assembly, Annex B, United Nations, New York, 2000.
- [12] - H. A.NURSAMA et al, "Activity concentration of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K 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.
- [13] - 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; ISSN 1927-0488, E-ISSN 1927-0496, Published by Canadian Center of Science and Education, 2013.