

ANALYSE RADIOLOGIQUE DES EAUX MINÉRALES PRODUITES EN CÔTE D'IVOIRE PAR LA TECHNIQUE DE SPECTROMÉTRIE GAMMA

Ponaho Claude KEZO, Georges Alain MONNEHAN*, Bogbe Douo L. H. GOGON, Tekpo Paul-Améwé DALI et Aka Antonin KOUA

Laboratoire de Physique Nucléaire et Radioprotection, UFR SSMT, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

*Correspondance, e-mail : monnehan_alain@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Ce travail vise à faire l'analyse radiologique des eaux minérales produites en Côte d'Ivoire par la technique de spectrométrie gamma au moyen d'un détecteur germanium hyper pur (GeHP). Les concentrations des radionucléides naturels ^{40}K , ^{226}Ra , et ^{232}Th mesurées dans les échantillons varient respectivement de $< 0,02$ à $1,42$ Bq/L, $0,12$ à $0,39$ Bq/L et $< 0,002$ à $0,41$ Bq/L avec les plus faibles valeurs et les plus fortes valeurs de concentration obtenues dans OLGANE et AWA respectivement. Les doses efficaces annuelles dues à l'ingestion des radionucléides dans les échantillons varient de $6,49$ à $10,41$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, $1,15$ à $2,03$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, $4,8$ à $8,23$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, $5,88$ à $10,71$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, $14,91$ à $29,29$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, et $68,8$ à $112,9$ $\mu\text{Sv}/\text{an}$, respectivement pour les groupes d'âge 0-1 an, 1-2 ans, 2-7 ans, 7-12 ans, 12-17 ans et > 17 ans. Ces doses efficaces sont acceptables pour tous les groupes d'âge selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Ce qui traduit la bonne qualité radiologique de ces eaux minérales et l'absence de grave danger pour les différents groupes, sauf le groupe d'âge > 17 ans pour lequel la consommation de l'eau minérale AWA pourrait avoir des effets sur la santé parce que les doses efficaces annuelles sont supérieures à la valeur recommandée par l'OMS.

Mots-clés : *radioactivité naturelle, analyse radiologique, concentration en activité et dose efficace.*

ABSTRACT

Radiological analyze of mineral water produced in Côte d'Ivoire by Gamma spectrometry technique

This work focuses on the radiological analysis of the mineral water produced in Côte d'Ivoire by gamma spectrometry technique using high-purity germanium (HPGe) detector. The activity concentrations of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th measured in samples varied from < 0.02 to 1.42 Bq/L, 0.12 to 0.39 Bq/L, and < 0.002 to 0.41 Bq/L respectively, with a lowest and highest values measured in OLGANE and AWA respectively. The annual effective doses due to the ingestion of these radionuclides vary from 6.49 to 10.41 $\mu\text{Sv/y}$, 1.15 to 2.03 $\mu\text{Sv/y}$, 4.8 to 8.23 $\mu\text{Sv/y}$, 5.88 to 10.71 $\mu\text{Sv/y}$, 14.91 to 29.29 $\mu\text{Sv/y}$, and 68.8 to 112.9 $\mu\text{Sv/y}$, respectively for the age groups 0-1 y, 1-2 y, 2-7 y, 7-12 y, 12-17 y and >17 y. These doses are acceptable for all the different age groups according to World Health Organization (WHO). This shows the good radiological quality of the samples and the lack of health hazard for the population, except for the age group > 17 y, where the annual effective dose measured in the mineral water AWA is higher than the WHO's recommended dose.

Keywords : *natural radioactivity, radiological analysis, activity concentration, and effective dose.*

I - INTRODUCTION

Les années 1990 ont vu le marché des eaux minérales se développer en Afrique [1]. Ce développement du marché de l'eau de boisson conditionnée en Afrique est un phénomène qui a connu un essor grâce aux pénuries d'eau et aux difficultés d'accès à une eau potable des populations. Ces dernières années, en Côte d'Ivoire, on assiste une croissance des bouteilles d'eaux minérales sur tout le territoire national. Parmi elles, trois (3) sont produites en Côte d'Ivoire, à savoir les eaux minérales AWA, OLGANE et CELESTE. Ce développement du marché de l'eau minérale pose de façon pragmatique la question de l'égalité d'accès à une eau potable de qualité. Les eaux minérales, comme toutes les ressources d'eau contiennent des matériaux naturellement radioactifs (NORM) [2] qui sont la principale composante la radioactivité naturelle et donc le contributeur majeur de la dose de la radiation totale reçue par un individu selon le Comité Scientifique des Nations Unies sur les Effets de la Radiation ionisante (UNSCEAR) [3]. Cependant, la radioactivité de l'eau de consommation qui est un important critère jugeant la qualité de l'eau de consommation, à l'instar des critères microbiologiques et chimiques [4], n'est jamais évaluée dans les eaux minérales en Côte d'Ivoire. La qualité

radiologique de l'eau de consommation a été mesurée dans des pays différents utilisant diverses méthodes analytiques [5 - 7]. Cependant, elle est négligée en Côte d'Ivoire malgré les risques sanitaires potentiels associés à l'ingestion des radionucléides dans l'eau de consommation. Dès lors, Il était donc nécessaire de mener cette étude dont l'objectif principal est d'évaluer la qualité radiologique des eaux minérales ivoiriennes en mesurant les concentrations des radionucléides naturels et calculant les doses efficaces annuelles dues à leur ingestion. Les résultats obtenus serviront à établir une base de données radiologique pour l'eau de consommation en côte d'Ivoire.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Description géologique et hydrogéologique des eaux minérales analysées

Les 3 marques d'eau minérale produites en Côte d'Ivoire (CI) proviennent d'aquifères différents. La marque AWA provient de l'aquifère du Maestrichtien situé à 200 m de profondeur dans les bancs calcaires du Maestrichtien. Cette nappe est constituée de bancs calcaires gréseux, peu fissurés et à gros grains de quartz roulés [8]. Les marques CELESTE et OLGANE proviennent de la nappe du Sud-Comoé. La nappe du Sud-Comoé est localisée dans le bassin sédimentaire où l'on trouve du nord au sud les formations quaternaires. La nappe quaternaire se situe entre 10^{-4} m.s⁻¹ et 10^{-3} m.s⁻¹ pour les sables argileux des bas plateaux et 10^{-3} m.s⁻¹ pour les sables des cordons marins [8 - 10].

II-2. Mesure de quelques paramètres physico chimiques dans les échantillons

Le pH, la conductivité électrique et le nombre solide total dissout ont été mesurés dans les échantillons en utilisant le détecteur Combo pH & Electric Conductivity detector.

II-3. Mesure de la radioactivité dans les échantillons

La méthode employée pour les mesures de la radioactivité dans ces échantillons est la spectrométrie gamma. Les échantillons d'eau sont transvasés dans des gobelets Marinelli d'un litre (1L) préalablement bien nettoyés pour éviter toute contamination. Ils sont ensuite scellés et libellés puis placés sur le détecteur où ils sont comptés chacun pendant une durée suffisante de dix heures (36000 s). Le système de détection utilisé est constitué d'un détecteur semi-conducteur en germanium hyper pure (HPGe) de type-n

couplé à un ordinateur à analyseur multicanal (MCA). Le détecteur utilisé est mis dans un blindage en plomb appelé « château de plomb » pour réduire les bruits de fond, de modèle GX4020, de numéro de série b 14130 et de géométrie coaxiale avec un diamètre de 60,5 mm et une longueur de 61,5 mm. Ce détecteur a une résolution de 2 keV de largeur à mi-hauteur pour le rayon gamma de cobalt Co-60 à 1332 keV et un rendement relatif de 40 %. Après dix heures (36000 s) de comptage, les spectres de chaque échantillon d'eau sont analysés par un logiciel informatique, Genie™ 2000 de Modèle S501 et les activités spécifiques des radionucléides naturels dans les échantillons ont été calculées selon l'Équation [11, 12]

$$A_{sp} = \frac{N_{ech}}{\varepsilon(E_\gamma) \times P_E \times T_c \times M_{ech}} \quad (1)$$

N_{ech} , le comptage net de l'échantillon dans un pic d'énergie gamma E_γ , M_{ech} , la masse de l'échantillon, $\varepsilon(E_\gamma)$, le rendement du photopic, P_E , le facteur d'engrangement du radionucléide et T_c est le temps de comptage.

Le ^{232}Th et le ^{226}Ra n'étant pas des émetteurs directs de rayons gamma, leurs activités sont déterminées à partir de celles de leurs fils qui sont des émetteurs de rayonnement gamma. L'activité du ^{232}Th est calculée en prenant la moyenne des activités des radionucléides fils émetteurs de rayon gamma ^{228}Ac à 911,3 keV et ^{212}Pb à 238,632 keV. L'activité de ^{226}Ra est calculée à partir de la moyenne des activités de ^{214}Pb à 351,92 keV et ^{214}Bi à 609,3 keV. Quant au ^{40}K , son activité est directement calculée par ses rayons gamma émis à 1460,75 keV.

II-4. Calcul de la dose efficace annuelle due à l'ingestion

La dose effective annuelle totale D (Sv/an) due à l'ingestion des radionucléides présents dans l'eau pour un individu, considérée comme la somme des contributions de tous les radionucléides présents est donnée par l'Équation ci-dessous [2].

$$D = \sum A_c \cdot A_i \cdot DCF_{ing} \cdot W \quad (2)$$

D , la dose efficace annuelle totale due à l'ingestion de radionucléides dans l'eau, A_c , la concentration du radionucléide, A_i , le taux de consommation journalière d'eau en L/an pour chaque groupe d'âge, DCF_{ing} , le facteur de conversion de dose établi par [13] et W , le facteur de pondération.

La dose efficace annuelle est calculée pour les six groupes d'âge à savoir : 0-1 an, 1-2 ans, 2-7 ans, 7-12 ans, 12-17 ans et > 17 ans, avec des taux de consommation annuels de 200, 260, 300, 350, 600 and 730 litres respectivement.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau

Les paramètres physico-chimiques tels que la température, la conductivité électrique et le pH, supposés avoir des influences sur les concentrations des radionucléides naturels présents dans l'eau, ont été mesurés et sont présentés dans le *Tableau 1*.

Tableau 1 : Paramètres physico- chimiques des échantillons d'eau analysés

Echantillons	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	STD (mg/L)
AWA	352	7,3	171
OLGANE	333	7,1	161
CELESTE	196	7,4	98
Fourchette	196 - 352	7,1 - 7,4	98 - 171
Moyenne	293,67	7,33	143,33

Le *Tableau 1* montre que les valeurs de pH des échantillons mesurés varient de 7,1 à 8,3. Les échantillons d'eau analysés ont presque tous un caractère basique (pH supérieur à 7), mais tous sont acceptables selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) parce que les valeurs de pH s'inscrivent dans la fourchette de valeurs de pH de l'eau de consommation établie par l'OMS. Ces valeurs de pH acceptables pour les eaux de consommation sont comprises entre 6,5 et 8,5 [13]. Ce tableau montre aussi que conductivités électriques des échantillons analysés varient de 196 à 352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 292,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats montrent que les conductivités électriques des eaux minérales ivoiriennes sont toutes inférieures à la valeur de référence recommandée par l'OMS, 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [13]. Ce qui indique que les eaux minérales produites en C.I ont de bonnes conductivités électriques. Quant aux STD des échantillons d'eau analysés, *Tableau 1* montre une variation de 78 à 180 mg/L avec une valeur moyenne de 143,33 mg/L. Les valeurs minimale et maximale de STD mesurées ont été respectivement obtenues dans CELESTE et AWA. Ces valeurs de STD obtenues dans les échantillons sont inférieures aux valeurs guide de STD recommandées par l'OMS, à savoir, variant de 600 mg/L à 1000 mg/L. Ces résultats montrent qu'au plan physico chimique, les eaux minérales fabriquées en C.I sont sans danger pour les populations.

III-2. Concentration des radionucléides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th dans les échantillons

Les concentrations des radionucléides naturels dans les échantillons sont présentées dans le *Tableau 2* ci-dessous.

Tableau 2 : Concentration des radionucléides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th dans les échantillons

Echantillons	Concentrations (Bq/L)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
AWA	$1,42 \pm 0,70$	$0,39 \pm 0,04$	$0,41 \pm 0,10$
OLGANE	$1,27 \pm 0,72$	$0,18 \pm 0,08$	$0,32 \pm 0,17$
CELESTE	$< 0,02$	$0,18 \pm 0,08$	$0,36 \pm 0,17$
Fourchette	$< 0,02 - 1,42$	$0,18 - 0,39$	$< 0,002 - 0,41$
Moyenne	$0,90 \pm 0,47$	$0,25 \pm 0,07$	$0,36 \pm 0,15$
Ecart type	0,77	0,12	0,05

Le **Tableau 2**, les concentrations de ^{40}K , ^{226}Ra , et ^{232}Th dans les échantillons varient respectivement de $< 0,02$ à $1,42$ Bq/L, $0,12$ à $0,39$ Bq/L et $< 0,002$ à $0,41$ Bq/L, avec des valeurs moyennes respectives de $0,90 \pm 0,47$ Bq/L, $0,25 \pm 0,07$ Bq/L et $0,36 \pm 0,15$ Bq/L. La plus faible concentration de ^{40}K a été mesurée dans AWA, celle de ^{232}Th a été obtenue dans OLGANE et quant au ^{226}Ra , la plus faible concentration a été obtenue dans les échantillons d'OLGANE et CELESTE. Les valeurs maximales des concentrations de ^{40}K , ^{226}Ra , et ^{232}Th ont tous été mesurées dans AWA. Les valeurs maximales de concentration de ^{232}Th obtenues dans les échantillons d'eau sont toutes inférieures à la concentration maximum acceptable dans l'eau, $0,6$ Bq/L [13]. Les concentrations de ^{226}Ra mesurées dans les échantillons sont toutes inférieures à la valeur de référence de $1,00$ Bq/L recommandée par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) [14] et comparées à des concentrations de ^{226}Ra obtenues dans quelques travaux internationaux comme indique le **Tableau 3**. Selon le tableau, les concentrations de ^{226}Ra mesurées dans les eaux minérales ivoiriennes se situent dans les fourchettes des valeurs de concentration de ^{226}Ra obtenues dans les travaux menés en France, Finlande, Allemagne, etc. Elles sont également inférieures aux concentrations de ^{226}Ra obtenues dans les travaux de [15] dans l'eau en sachet en Côte d'Ivoire. Le tableau montre aussi que les concentrations de ^{226}Ra , mesurées dans ce travail sont supérieures à celles obtenues dans les travaux de Karahan G et, al en Turquie, variant de $0,0011$ à $0,0036$ Bq/L [17].

Tableau 3 : Comparaison des fourchettes de concentration de Ra-226 dans l'eau de consommation dans différents pays

Pays	Fourchette de concentration (Bq/L)
France	0,007 - 0,7 ^[15]
Finlande	0,01 - 49 ^[15]
Allemagne	0,001 - 1,8 ^[15]
Italie	0,0002 - 1,2 ^[15]
Turquie (Istanbul)	0,0011 - 0,0036 ^[17]
Espagne	< 0,02 - 4 ^[15]
Côte d'Ivoire	0,17 - 0,47 ^[16]
Côte d'Ivoire	0,18 - 0,39 ^a

^a *Présent travail*

La différence de concentration des radionucléides dans les différents échantillons est probablement due à des différences dans les origines des eaux. Elle pourrait être liée à des niveaux différents de radioactivité dans les lithologies des aquifères et sols dans les différents endroits de production des eaux. Puisque la présence et la distribution de la radioactivité dans l'eau dépendent largement des facteurs tels que les caractéristiques géologiques locaux de la source, et du sol ou roche que l'eau traverse. Les résultats de ce travail corroborent avec l'affirmation de [13] avec des concentrations de radionucléides naturels presque identiques dans les échantillons CELESTE et OLGANE provenant du même aquifère.

III-3. Dose efficace annuelle due à l'ingestion des radionucléides

Les résultats des doses efficaces annuelles dues à l'ingestion de radionucléides dépendant de l'âge du consommateur des eaux minérales ivoiriennes sont indiqués dans le *Tableau 4* ci-dessous.

Tableau 4 : Dose efficace annuelle totale des six groupes d'âge

Echantillons	Dose efficace annuelle totale ($\mu\text{Sv}/\text{an}$)					
	0 -1 a	1 - 2 a	2 -7 a	7 - 12 a	12 - 17 a	≥ 17 a
AWA1	$10,41 \pm 1,84$	$2,03 \pm 0,3$	$8,23 \pm 1,27$	$10,71 \pm 1,52$	$29,29 \pm 3,62$	$112,9 \pm 18,98$
OLG2	$6,49 \pm 3,24$	$1,15 \pm 0,56$	$4,8 \pm 2,32$	$5,88 \pm 2,82$	$14,91 \pm 6,92$	$68,8 \pm 34,12$
CEL3	$7 \pm 3,24$	$1,23 \pm 0,56$	$5,1 \pm 2,32$	$6,17 \pm 2,82$	$15,34 \pm 6,92$	$73,9 \pm 34,12$
Fourchette	6,49 - 10,41	1,15 - 2,03	4,8 - 8,23	5,88 - 10,71	14,91 - 29,29	68,8 - 112,9
Moyenne	7,97	1,47	6,04	7,59	19,85	85,2
Ecart Type	2,13	0,49	1,9	2,71	8,18	24,12

Le **Tableau 4** montre que les doses efficaces annuelles varient de 6,49 à 10,41 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, 1,15 à 2,03 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, 4,8 à 8,23 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, 5,88 à 10,71 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, 14,91 à 29,29 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, et 68,8 à 112,9 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, respectivement pour les groupes d'âge 0-1 an, 1-2 ans, 2-7 ans, 7-12 ans, 12-17 ans et > 17 ans. Selon le **Tableau 4**, les plus faibles doses sont observées chez les enfants de 1 - 2 ans avec une moyenne de 1,47 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et les plus fortes doses chez les adultes de plus de 17 ans. La **Figure 1** nous montre cette différence de dose efficace annuelle reçue par groupe d'âge.

Aussi, notons-nous que l'eau minérale AWA fournit plus de dose tandis que l'eau OLGANE en fournit moins aux différents groupes d'âge. La **Figure 2** montre cette différence de dose efficace fournie par les eaux minérales à chaque groupe d'âge. Elle montre que le groupe d'âge de plus de 17 ans (adulte) reçoit plus dose liée à l'ingestion des radionucléides dans les eaux minérales ivoiriennes. Ce groupe d'âge reçoit par an en moyenne une dose efficace de 85,2 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ dont la majeure partie est fournie par eau minérale AWA tandis que l'eau OLGANE en fournit peu. Cette dose efficace fournie par l'eau AWA au groupe d'âge > 17 ans est supérieure à la valeur de référence de dose efficace reçue dans l'eau de boisson qui ne devrait pas excéder 0,1 mSv/an (100 $\mu\text{Sv}/\text{an}$) [13]. La dose reçue par le groupe > 17 ans (adulte) en consommant l'eau minérale AWA est aussi supérieure à celle reçue par un adulte en consommant l'eau de robinet dans le district d'Abidjan et inférieure à celle reçue en consommant l'eau en sachet vendu à Abidjan, obtenus dans les travaux de [16]. Cette dose fournie par l'eau AWA au groupe > 17 ans est sans danger pour cette tranche d'âge selon le comité scientifique des nations unies sur les effets de la radiation ionisante (UNSCEAR) dont la valeur de référence de dose efficace annuelle est de 290 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ avec une fourchette typique de 200 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ à 800 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ [13]. Quant aux autres groupes d'âge, les doses efficaces dues à l'ingestion des radionucléides dans les eaux minérales fabriquées en Côte d'Ivoire sont inférieures aux valeurs de référence de l'OMS (100 $\mu\text{Sv}/\text{an}$) et de l'UNSCEAR (290 $\mu\text{Sv}/\text{an}$).

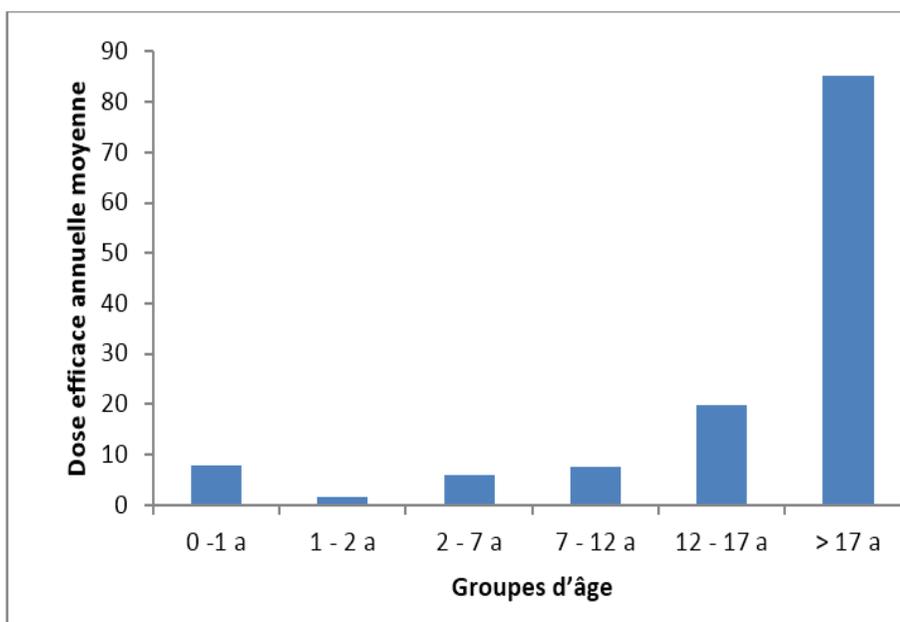


Figure 1 : Dose efficace annuelle moyenne reçue par groupe d'âge

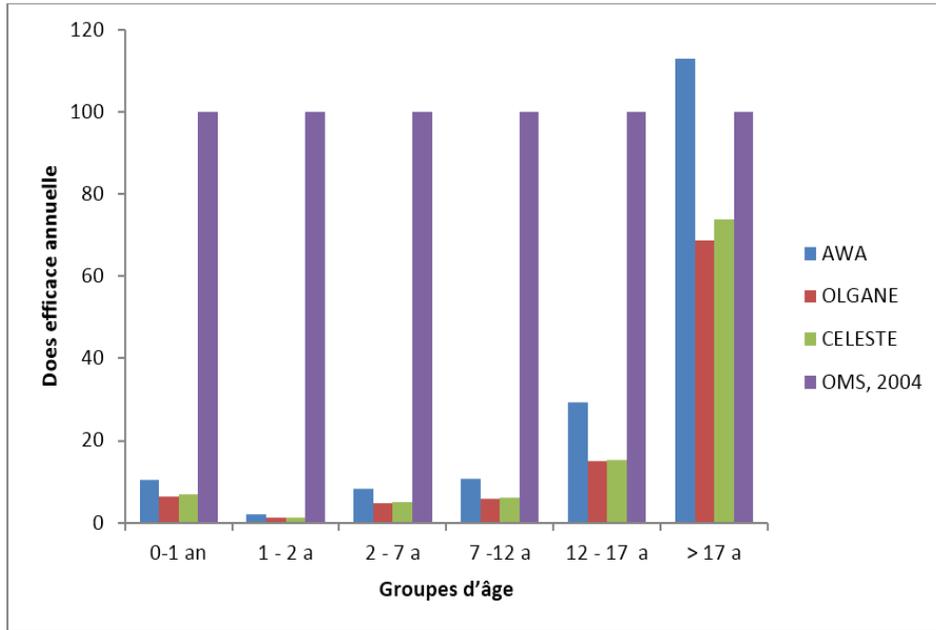


Figure 2 : Comparaison des doses efficaces annuelles fournies par échantillon d'eau minérale

IV - CONCLUSION

Dans ce travail dont l'objectif est d'évaluer la qualité radiologique des eaux minérales produites en Côte d'Ivoire, six (6) échantillons d'eaux minérales produites par trois (3) entreprises différentes ont été analysés par la technique de spectrométrie gamma. Cette analyse a donné des concentrations des principaux radionucléides naturels ; ^{40}K , ^{226}Ra , et ^{232}Th inférieures aux valeurs maximales de concentration établies par l'OMS et l'AIEA. Elle a également permis d'évaluer les doses efficaces annuelles de chaque groupe d'âge d'individu. Les résultats obtenus montrent des doses efficaces annuelles dues à l'ingestion des radionucléides dans les échantillons d'eaux minérales OLGANE et CELESTE, inférieures à la valeur de référence de dose recommandée l'OMS, de $100 \mu\text{Sv}/\text{an}$, pour tous les groupes. Ce qui traduit la bonne qualité radiologique de ces deux (2) échantillons. Cependant, pour l'eau minérale AWA, les résultats montrent des doses efficaces annuelles acceptables pour les 5 premiers groupes d'âge et des doses supérieures à la valeur de référence de l'OMS pour les adultes de plus de 17 ans. Dès lors, nous recommandons aux individus du groupe d'âge > 17 ans, de réduire la consommation de l'eau minérale AWA afin de limiter les effets néfastes de l'exposition aux rayonnements ionisants.

RÉFÉRENCES

- [1] - M. VALENTIN, "Bouteilles et sachets en plastique. Pratiques et impacts des modes de consommation d'eau à boire au Sénégal", *Autrepart* 3, N° 55 (2010) 57 - 70 p.
- [2] - DWAF (Department of Water Affairs and Forestry), "Radioactivity dose calculation and water quality evaluation guideline for domestic water use", (2002) 42 - 51 p.
- [3] - UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation) "Exposures from natural radiation sources", Report to the general assembly Annex B, (2000)
- [4] - J. FAWELL, M. J. NIEUWENHUIJSEN, "Contaminants in drinking water environmental pollution and health", *Br. Med. Bull.*, 68 (2003) 199 - 208
- [5] - A. BEN FREDJ, N. HIZEM, M. CHELBI, L. GHEDIRA, Quantitative analysis of gamma-ray emitters radionuclide in commercial bottled water in Tunisia. *Radiat Prot Dosim*, 117 (2005) 410 - 424
- [6] - U. CEVIK, N. DAMLA, G. KARAHAN, N. CELEBI, KOBYA, Natural radioactivity in tap waters of Eastern Black Sea region of Turkey. *Radiat Prot Dosim*, 118 (2006) 88 - 92
- [7] - A. M. EL ARABI, N. K. AHMED, K. SALAHEL DIN, Natural radionuclides and dose estimation in natural water resources from Elba Protective Area, Egypt. *Radiat Prot Dosim*, 121 (2006) 284 - 292
- [8] - J. P. JOURDA, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire) ", Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université scientifique, technique et médicale de Grenoble, France, (1987) 319 p.
- [9] - A. DOUAGUI, "Evaluation de la vulnérabilité de la pollution nappe du quaternaire du secteur Canal de Vridi- Grand-Bassam par la méthode DRASTIC", Mém. DEA, Univ. Abobo-Adjamé, (2005) 55 p.
- [10] - Y. Brou, "Modèle mathématique de l'écoulement de la nappe du quaternaire de la région d'Abidjan : cas du secteur Sud des lagunes". Mémoire de DEA d'hydrogéologie. Univ. Cocody, (2002) 65 p.
- [11] - M. N. ALAM, M. I. CHOWDHURY, M. KAMAL, S. GHOSE, M. N. ISLAM, M. ANWARUDDIN, Radiological assessment of drinking water of the Chittagong region of Bangladesh. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 82, N°3 (1999) 207 - 214
- [12] - A. R. AWUDU, E. O. DARKO, C. SCHANDORF, E. K. HAYFORD, M. K. ABEKOE, P. K OFORI-DANSON, Determination of activity concentration levels of U-238, Th-232 and K-40 in drinking water in a goldmine in Ghana. *Operational Radiation Safety Journal*, Vol. 99, (2) (2010) S149 - S153

- [13] - WHO (World Health Organization). "Guidelines for Drinking-Water Quality", 3rd edition, Geneva, Switzerland, (2004)
- [14] - IAEA. (International Atomic Energy Agency), Measurement of radiation in Food and the Environment, (1989)
- [15] - UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation), Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly. New York. United Nations. Report, Vol. 1, (2000)
- [16] - P. C. KEZO, G. A. MONNEHAN, B. D. L. H. GOGON, T. P. DALI, Assessment of mortality and morbidity risks due to the consumption of some sachet drinking waters produced in the district of Abidjan, (Côte d'Ivoire), *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, Vol. 5, 10 (2016) 76 - 80 p.
- [17] - G. KARAHAN, N. OZTURK, A. BAYULKEN, Natural radioactivity in various surface waters in Istanbul, Turkey, *Water Res*, 34 (2000) 4367 - 4370
- [18] - T. S. SHASHIKUMAR, M. S. CHANDRASHEKARA, L. PARAMESH, Studies on Radon in soil gas and Natural radionuclides in soil, rock and ground water samples around Mysore city. *International Journal of Environmental Science*, Vol. 5, 1 (2011) 786 - 79