

République Algérienne Démocratique et Populaire
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعريريج »

Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –
Bordj Bou Arreridj Faculté des Sciences et
la Technologie
Département Sciences de la Matière



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم علوم المادة

Mémoire de fin d'études
PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE: Master
Domaine: Sciences de la Matière
Filière: physique
Spécialité: Physique des matériaux

Thème

**Constrations naturelles de radionucléides dans un
échantillon d'eau potable (eaux de sources) de la région de
Bordj-Bou-Arreridj- Algérie**

Présentée par: Bekrar Sabrina

Devant le jury :

Président:	M ^r MCHOUMA FARID	MAA (Univ. Bordj Bou Arreridj)
Rapporteur:	D ^r KEBIR HADDA	MCA (Univ. Bordj Bou Arreridj)
Examineur:	D ^r KAHOUL ABDELHALIM	P ^r (Univ. Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH de m'avoir donné la volonté, la santé, le courage et la patience afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadreur *M^{me} KEBIR HADDA* pour avoir accepté de m'encadrer et pour m'avoir constamment guidé tout le long de cette modeste recherche scientifique et pour les précieux conseils qu'elle m'avait donnés, et pour sa serviabilité, sa disponibilité et ses conseils constructifs.

Je tiens à remercier, le président de jury, *M^r MCHOUMA FARID* et l'examinateur *M^r KAHOUL ABDELHALIM*, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants du département sciences de la matière, et à toute ma promotion de Master 2022. Enfin, je remercie infiniment mes collègues et mes amis pour leur contribution de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

C'est avec l'aide et la grâce du Dieu que j'ai achevé ce modeste travail que
je dédie :

A mon très cher père (رحمه الله)

Qui est le plus grand homme dans ma vie, ce travail est le fruit de ses sacrifices qu'il a consentit pour mon éducation et ma formation. Merci papa autant ce que tu m'aimais et tu m'as appris et tu t'es sacrifié pour ma réussite et mon bonheur, Je demande a Dieu pour vous pitié et le pardon.

A ma très chère mère

Qui est la plus grande femme de ma vie, qui a toujours été une source de tendance et d'encouragement.

A ma très chère famille

A mes sœurs : Mona, Cherine, Ahlem, Meryem

A mon unique frère : Mohammed Anis

*Aux enfants mes soures: Oussama, Hadil, Khadidja, Tassnim, obaida,
Ahmed, Rokaya, Ali, Amina.*

A mes très chers amis

A mes beaux amis: Oussama, Hanya.

A toutes mes amies , et tout qui connaissent depuis près ou loin

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....2

Chapitre I

Radioactivité dans les eaux de consommation

I. La radioactivité.....5

 I.1.1 Historique5

 dI.1.2 La définition5

 dI.1.3 Les unités de mesure de La radioactivité.....5

 I.1.4 Les Sources de rayonnement6

 I.1.4.1 Sources naturelles : (58% de la dose totale reçue)6

 I.1.4.2 Sources artificielles : (42 % de la dose totale reçue)..... 11

I.2 Types de rayonnement 12

 I.2.1 Le rayonnement alpha (α)..... 12

 I.2.2 Le rayonnement bêta (β)..... 13

 I.2.3 Les photons gamma (γ) 14

I.3 Rappel sur les rayonnements ionisants 16

 I.3.1 Définition de rayonnement ionisant: 16

 I.3.2 Définition de Rayonnement non-ionisant..... 17

I.4 Différents types d'exposition 17

 I.4.1 L'exposition externe..... 17

 I.4.2 L'exposition interne..... 17

I.5 Radioéléments dans les eaux de consommation..... 18

Chapitre II

Région d'étude

II.1 Introduction..... 23

II.2. Présentation de la Région d'étude 23

 II .2.1. Etude la région de Bordj El Ghedir 24

 II.2.1.1. Étude de l'eau de source de la région de Zemala 25

II.3 Spectrométrie gamma 27

 II.3.1 La Définition 27

 II.3.2 Description de la chaîne spectrométrique utilisée lors de la partie expérimentale 27

Table des matières-----

II.3.3 Composition de la chaîne de spectrométrie gamma.....	28
II.3.3.a- Le Détecteur Germanium hyper pure GeHP :.....	29
II.3.3.b- Le Préamplificateur :.....	30
II.3.3.c- L'Amplificateur :	30
II.3.3.d- Le convertisseur analogique-numérique :.....	31
II.3.3.e- L'Analyseur multicanaux (MCA) :.....	31

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1.Introduction	33
III.2. Méthodes de mesure	33
III.2.1.Préparation de l'échantillon	33
III.2.2 Calibration de la chaîne de mesure	34
III.2.2.1 la chaîne de spectrométrie gamma.....	34
III.2.2.2 Calibration du spectre	34
III.3. Les relation et les lois les plus importantes qui appliquées dans cette étude	36
III.3.1 .la concentration d'activité de ²³⁸ U :.....	36
III.3.2. La dose annuelle efficace.....	37
III.3.3 les risques de mortalité et de morbidité par le cancer.....	37
Conclusion générale	45

Les references :.....**Erreur ! Signet non défini.**

Glossaire:.....50

Liste des figures

Titre	Page
Figure I.01 : Séries radioactives naturelles de l'Uranium 238	08
Figure I.02 : Séries radioactives naturelles de l'Uranium 235.	09
Figure I.03 : Figure I.3 Séries radioactives naturelles du thorium 232	10
Figure I.04 : Schéma de désintégration du ⁴⁰K	11
Figure I.05: Schéma représente la radioactivité naturelle et artificielle	12
Figure I.06: Rayonnement alpha, bêta, gamma.	12
Figure I.07 : Le Rayonnement alpha α.	13
Figure I.08 : Rayonnement β^-.	13
Figure I.09 : Rayonnement β^+.	14
Figure I.10 : Pouvoir de pénétration des rayonnements.	14
Figure I.11: Rayonnement ionisant et Rayonnement non-ionisant.	23
Figure I.12 : Différents types d'exposition	24
Figure II.01: Carte géographique de Bordj-Bouarrerdj © 2007-2022 https://d-maps.com	25
Figure II.02 : Carte géographique de Bordj El Ghedir google maps 2022	25
Figure II.03 : Carte géographique de Zemala - Bordj El ghdir- BBA goole maps	26
Figure II.04 : Localisation de l'eau potable enquêtée dans la région de Brdj Bouarrerdj à l'est de l'Algérie	27
Figure II.05 : Exemple d'histogramme obtenu à travers la spectroscopie Gamma d'une source ⁶⁰Co	29
Figure II .06 : Détecteur HPGe refroidi par l'azote liquide dans un vase Dewar.	29
Figure II .07 : Les différents modules utilisés dans la chaîne spectrométrie gamma	30
Figure III.01 :bouteille Polyéthylène de 110 ml.	33
Figure III.02 :Dépendance de la courbe d'étalonnage de l'efficacité sur l'énergie des rayons gamma. (Les spectres et la courbe d'étalonnage en efficacité sont obtenus à partir de la version française de GENIE 2000 installé au laboratoire)	34
FigureIII.03 :Courbe spécifique d'unéchantillon de Zemala.	35

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau I.01: unités de grandeurs mesurées en radioprotection (IRSN, 2007)	06
Tableau I.02 : Type de rayonnements émis par les radionucléides (Gambini, Grainier, 1997)	15
Tableau I.03: Classification des rayonnements ionisants.	16
Tableau II.01 : l'évolution démographique de Bordj El ghdir	24
	38
Tableau III.01 : L'activité et les concentrations massiques de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans des échantillons d'eau minérale de source de l'Est algérien.	39
Tableau III.02 : les Doses efficaces annuelles ($\mu\text{Sv/an}$) dues à l'ingestion de ^{238}U dans l'eau potable échantillon pour différents groupes d'âge	39
Tableau III.03 : Doses efficaces annuelles ($\mu\text{Sv/an}$) dues à l'ingestion de ^{232}Th dans un échantillon l'eau potable pour différents groupes d'âge	40
Tableau III.04 : Doses efficaces annuelles ($\mu\text{Sv/an}$) dues à l'ingestion de ^{40}K dans un échantillon de l'eau potable pour différents groupes d'âge	40
Tableau III .05 : la Dose efficace annuelle totale due à l'ingestion de radionucléides dans un échantillon de l'eau potable pour différents groupes d'âge	41
Tableau III.06 : Mortalité par cancer due à l'ingestion de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable	41
Tableau III.07 : la Morbidité cancéreuse due à l'ingestion de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable	41
Tableau III .08 : Concentrations d'activité (Bq/L) de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K d'un échantillon d'eau potable dans la présente étude par rapport à d'autres pays	42

Introduction générale

Introduction générale

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 [1].

La radioactivité touche tout cela est disponible sur la surface de la terre vers le haut les sources de l'eau, C'est considéré l'eau potable de le plus important éléments basique à la persévérance la vie,

C'est un facteur indispensable pour la vie des les êtres vivants, mais lorsqu'il est exposé à des radionucléides ,impact négativement sur les corps et la santé de l'organisme.

La radioactivité dans les eaux naturelles provient, essentiellement, de radionucléides primordiaux dans l'air ou dans les sols (^{40}K et les séries $4n$ et $4n+2$). Des radionucléides dus a une pollution radioactive a partir des formations géologiques riches en radioéléments, des mines d'uranium, ou a partir des rejets de déchets radioactifs ou d'une utilisation abusive de fertilisants agricoles, peuvent être trouves dans les eaux naturelles. Des nucléides cosmogoniques, tels que ^3H et ^3Be sont souvent associés a

Ces eaux a travers l'eau de pluie. La connaissance des concentrations de l'uranium et du radium et le potassium dans les eaux potables est importante parce qu'une fraction de l'uranium et du radium absorbés est déposé dans le corps humain, introduisant ainsi une dose radioactive interne équivalente. Les concentrations en éléments radioactifs naturels dans les eaux profondes et les eaux de surface, peuvent être reliées aux conditions physico-chimiques de l'eau et a son environnement géologique [2].

Dans le premier chapitre est un bref rappel des notions fondamentales de la radioactivité ainsi que les modes de désintégration radioactives. on ya trouve également les origines ,naturelles artificielles et les Différents types d'exposition ,des radioéléments dans l'environnement et enfin, il y a une explication des Radioéléments dans les eaux de consommation , Le second chapitre sur la présentation de la Région d'étude Zemala qui situé à Bordj El Ghedir à willaya de Bordj-Bouarreridj avec l'étude des caractéristiques de cette région, Ainsi une définition de spectrométrie gamma avec une Description et la Composition de Cette chaine de spectrométrie.

Introduction Générale -----

Le dernier chapitre est consacré à les Méthodes de mesure qui comprend (Préparation de l'échantillon et l'étalonnage), ainsi une présentation des résultats d'un échantillons qui a été prélevés de la région de Zemala, Bordj El Ghedir –BBA-,et une discussion des ces résultats.

Chapitre I

Radioactivité dans les

eaux de

consommation

I. La radioactivité

I.1.1 Historique

La radioactivité, est un phénomène naturel, elle a été découverte en 1896 par *Henri Becquerel* dans le cas de l'uranium, et très vite confirmée par *Pierre et Marie Curie* pour le radium.

Cette dernière qui a été introduit à cette occasion, les termes de radioactivité et radioélément. En 1934, Frédéric et Irène Joliot-Curie découvrent la radioactivité artificielle. Ils créent pour la première fois un nouvel élément radioactif en bombardant une feuille d'aluminium avec des particules alpha émises par du polonium, qu'ils baptisent radiophosphore [3].

I.1.2 La définition

La radioactivité est un phénomène naturel qui naît au cœur d'un atome. Dans le noyau instable d'un atome radioactif, il existe ainsi un surplus d'énergie qui conduit à une désintégration de l'atome en un autre atome. Pendant cette transformation, l'atome expulse son énergie excédentaire sous forme de rayonnement invisible : on parle alors de rayonnement ionisant [4].

I. 1.3 Les unités de mesure de La radioactivité

L'activité(A) : Représente le nombre de désintégration qui se produit par unité de temps l'activité est exprimée en Becquerel(Bq)correspondant à une désintégration par seconde.

La dose absorbée(H) : Correspond à la quantité d'énergie absorbée par une unité de masse de matière irradiée et s'exprime en Gray(Gy).

La dose équivalente : Est égale à la dose absorbée multipliée par un facteur de pondération (W_r) qui tient compte de l'effet biologique lié à la nature et à l'énergie du rayonnement. Elle est exprimée en Sievert.

La dose efficace : Est une dose biologique qui sert à évaluer l'exposition d'une personne individuelle au rayonnement .elle correspond à la somme des doses équivalentes délivrées aux différents organes en tissus d'un individu, pondérée par un facteur propre à chaque organe ou tissu .l'unité de dose efficace est aussi le Sievert [5].

Tableau I.1. Unités de grandeurs mesurées en radioprotection (IRSN, 2007) [5].

Grandeurs mesurées	Définitions	Unités
Activité(A)	Nombre de désintégrations par seconde	Becquerel(Bq)
Dose absorbée(H)	Quantité d'énergie transférée à la matière	Gray(Gy)
Dose équivalente	Effet des rayonnements sur l'organisme	Sievert(Sv)

1.1.4 Les Sources de rayonnement

Les rayonnements ionisants trouvent leur origine soit dans des sources naturelles, soit dans des sources artificielles. Dans les deux cas, les rayonnements sont de même nature et, les mêmes effets. En moyenne mondiale, d'après UNSCEAR 1998, les doses reçues proviennent pour 2/3 de sources naturelles et pour 1/3 de sources artificielles essentiellement d'origine médicale [6].

1.1.4.1 Sources naturelles : (58% de la dose totale reçue)

Il ya quatre sources importantes d'exposition du public au rayonnement naturel : le rayonnement cosmique, le rayonnement terrestre, l'inhalation et l'ingestion de radionucléides naturel .

a) *Le rayonnement cosmique* : Les rayons cosmiques sont des rayons naturels dont la principale source est le soleil. Ces rayons sont constitués d'ions plus énergétiques qui interagissent avec les atomes et les molécules de l'atmosphère, produisant ainsi les «cosmonucléides», comme l'azote. Les humains absorbent ces substances radioactives et la dose de leur effet augmente avec l'augmentation de l'altitude à la surface de la terre.

b) *Le rayonnement tellurique* : Les radionucléides d'origine tellurique appelés « nucléides primordiaux » sont naturellement présents, au moment de formation de la terre, pour que l'on retrouve ces radiations dans la croûte terrestre et l'atmosphère. Les radionucléides primordiaux naturels présents, soient ils se désintègrent en une seule fois en donnant des éléments stables (comme le potassium 40); soient ils produisent une longue série de désintégrations (filiation radioactive) avant d'obtenir un élément stable : ce sont les familles radioactives de ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , lesquelles ces trois radionucléides produisent des séries de descendants eux même radioactifs. La plupart des éléments radioactifs existant à l'état naturel appartiennent à ces trois séries de transformations [7].

c) **Radon : (34 %)** C'est un gaz d'origine naturelle, s'échappe des roches et du sol et constitue la principale source de rayonnements naturelle. Chaque jour, les êtres humains inhalent et ingèrent des radionucléides provenant de l'air, des aliments et de l'eau [8].

d) **Les eaux minérales et les aliments : (6 %)** Les radionucléides de la croûte terrestre (principalement potassium-40) et ceux créés par les rayonnements cosmiques (essentiellement carbone 14) sont naturellement présents dans les Plantes et les animaux, mais aussi dans l'eau, nos aliments et nos boissons sont par conséquent légèrement radioactifs. Pour ce que son effet sur le corps humain soit un effet interne, en fixent les radionucléides usés aux tissus du corps.

➤ **Principaux radionucléides naturels**

a. **L'Uranium** : Est un élément chimique de symbole **U** et de numéro atomique 92, qui a été découvert en 1789 par le chimiste allemand *Martin-Heinrich Klaproth*. Plus d'un siècle après, en 1896, *Henri Becquerel* découvre Les propriétés radioactives des sels d'Uranium.

L'Uranium naturel est formé de trois isotopes dont les proportions atomiques sont les suivantes : ^{238}U : 99,2745%, ^{235}U : 0,7200% et ^{234}U : 0,0055%.

La valeur du rapport isotopique ($r = \frac{^{235}\text{U}}{^{238}\text{U}}$) permet de qualifier le type d'Uranium. Si $r = 0,725\%$, il s'agit d'Uranium naturel, si $r < 0,725\%$, l'Uranium est appauvri, et enfin si $r > 0,725\%$, l'Uranium est enrichi (ex. : r varie de 3 à 5 % pour une utilisation dans les centrale nucléaires) [9].

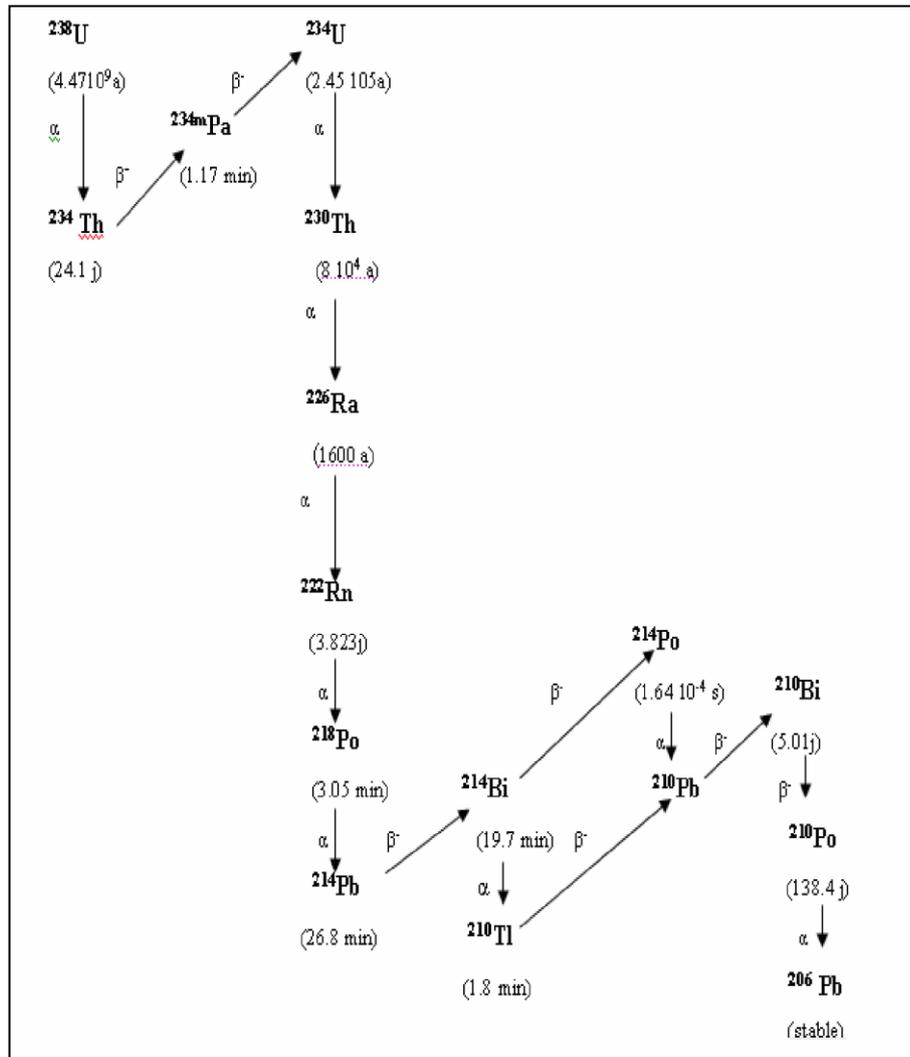


Figure I.01 Séries radioactives naturelles de l'Uranium 238 [7].

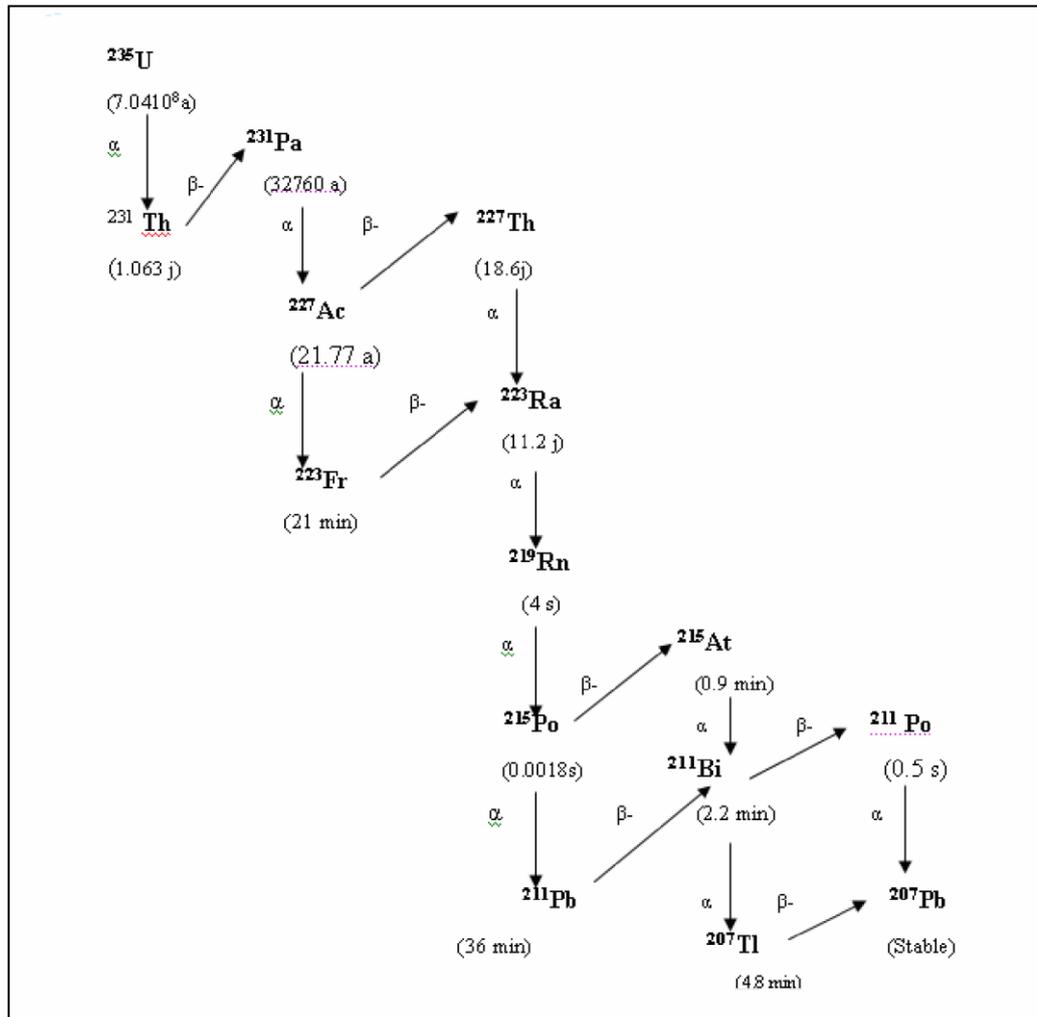


Figure I.02 Séries radioactives naturelles de l'Uranium 235 [7].

b. Le Thorium : Est un élément chimique, de symbole **Th** et de numéro atomique 90. Un métal gris découvert en 1828 par le chimiste *suédois Berzelius*. Pratiquement 100% du thorium naturel est constitué de l'isotope 232. Le Thorium est trois à quatre fois plus abondant dans la couche terrestre que l'Uranium. Sa teneur moyenne est de 9 à 10 grammes par tonne de sol, ce qui correspond à une radioactivité de quelques dizaines de Bq/kg. Il est extrait surtout de la monazite, minéral qui contient de 3% à 9% d'oxyde de thorium (thorine). Les principaux gisements de monazite sont en Inde et au Brésil. On en trouve également dans des pays comme l'Australie, l'Indonésie, la Malaisie ou Madagascar. Mais le principal producteur mondial, depuis 1966, est l'Afrique du Sud. Dans le milieu naturel, le ^{232}Th est toujours à l'équilibre avec ses descendants [10].

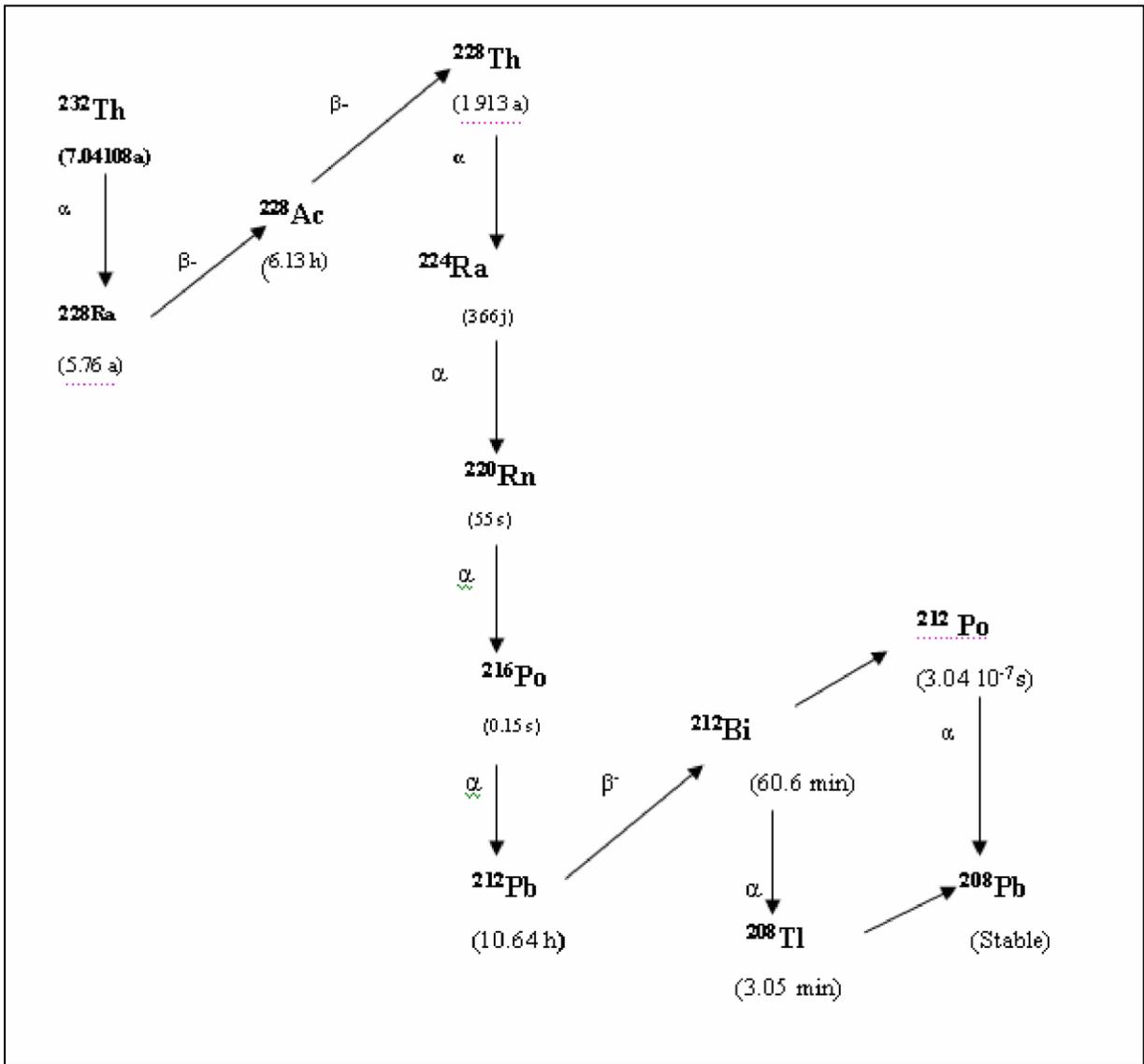


Figure I.03 Séries radioactives naturelles du thorium 232[7].

c. **Le Potassium** : Le Potassium-40(⁴⁰K) est un isotope radioactif naturel de l'élément Potassium, qui représente environ 2,4%(par poids) de la croûte terrestre. Le ⁴⁰K est un élément primordial, L'abondance atomique relative du ⁴⁰K est de 0,0117%(celle du ³⁹K est 93,26% et celle du ⁴¹K est 6,73%, et ces deux isotopes sont stables).

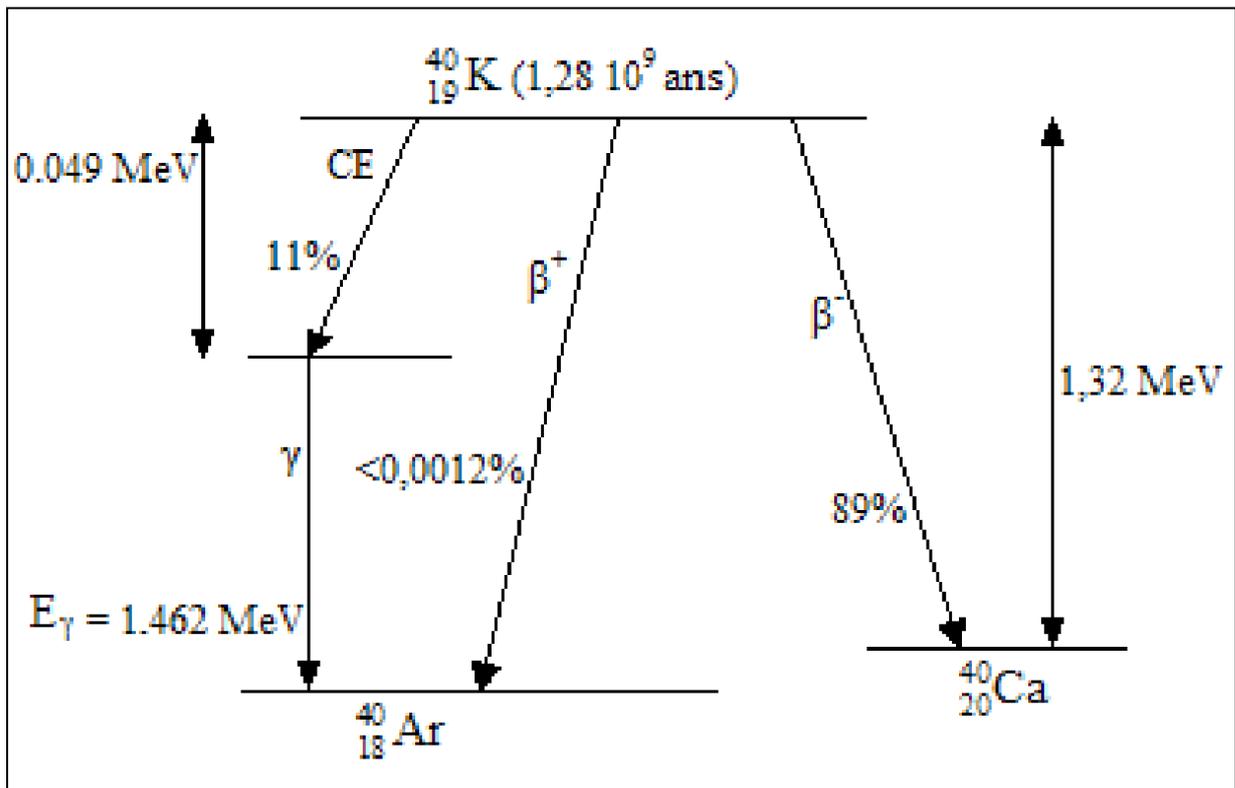


Figure I.04 Schéma de désintégration du ^{40}K [7].

I.1.4.2 Sources artificielles : (42 % de la dose totale reçue)

Les activités humaines ont conduit à la présence de radioactivité artificielle dans l'environnement de sorte qu'elle affecte directement les humains, comme l'utilisation d'outils médicaux pour le diagnostic et le traitement tels que (les rayons X). Ou indirectement, comme (les explosions nucléaires) dans les installations nucléaires. Actuellement, une dizaine de radionucléides artificiels sont régulièrement mesurés dans l'environnement dont le strontium 90, le césium 137, l'iode 131, les isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu , et ^{240}Pu) et l'américium -241.

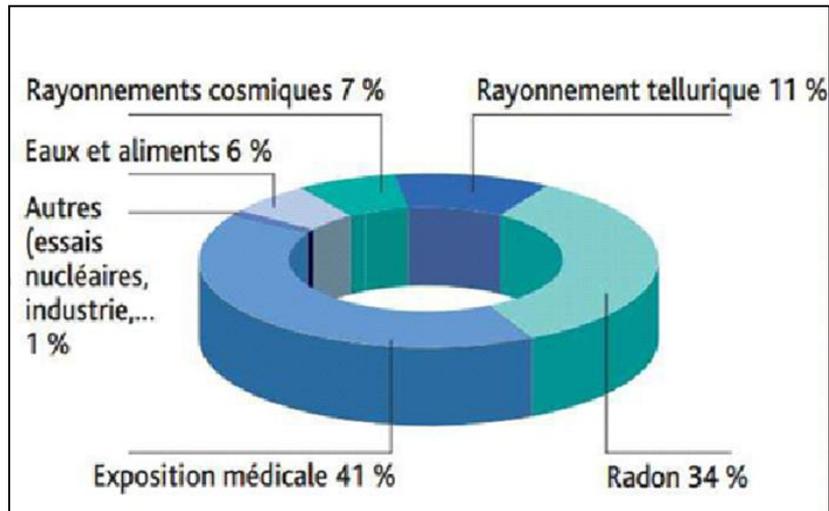


Figure I.05. Schéma représente la radioactivité naturelle et artificielle

I.2 Types de rayonnement

Il existe trois types de rayonnements ionisants.

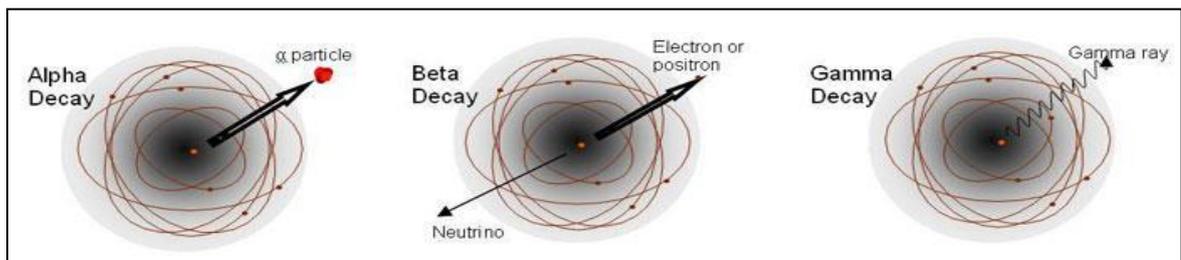


Figure I.06. Rayonnement alpha, bêta, gamma [11].

I.2.1 Le rayonnement alpha (α)

Ils émet par les atomes trop chargées en protons et en neutrons,. Il correspond à l'émission d'un noyau d'atome d'hélium, composé de deux protons et de deux neutrons : (${}^4_2\text{He}$) Son parcours porté dans l'air est de quelques centimètres seulement. Elle peut être arrêtée par une simple feuille de papier et elle s'écrit en notation symbolique de la manière suivante [11] :



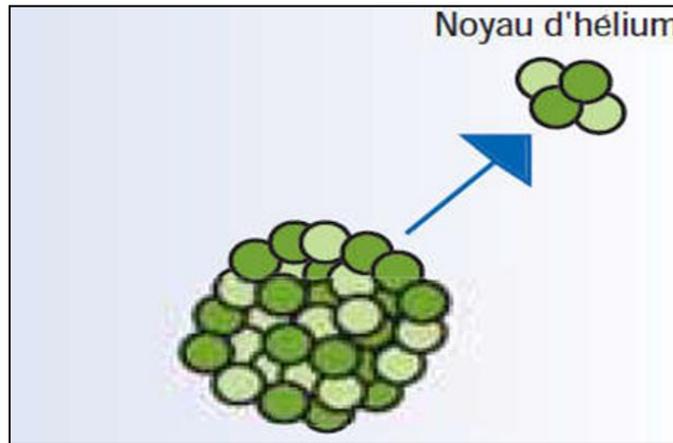


Figure I.07. Le Rayonnement alpha α .

1.2.2 Le rayonnement bêta (β)

L'émission bêta est un type de désintégration radioactive au cours de laquelle une particule bêta (un électron ou un positron) est émise. Il y a deux types de transformation :

a) Rayonnement (β^-) : Un neutron se transforme en proton et le noyau émet un électron chargé négativement, elle s'écrit en notation symbolique de la manière suivante :

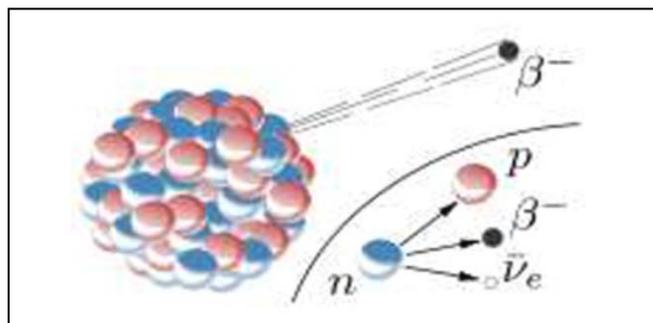
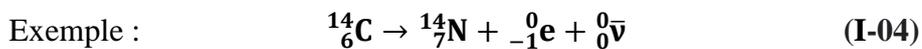
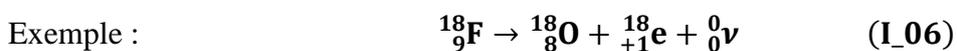
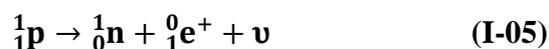


Figure I.8 Rayonnement β^- .

b) Rayonnement (β^+) : Un proton se transforme en neutron et le noyau émet un positron chargé positivement, elle s'écrit en notation symbolique de la manière suivante :



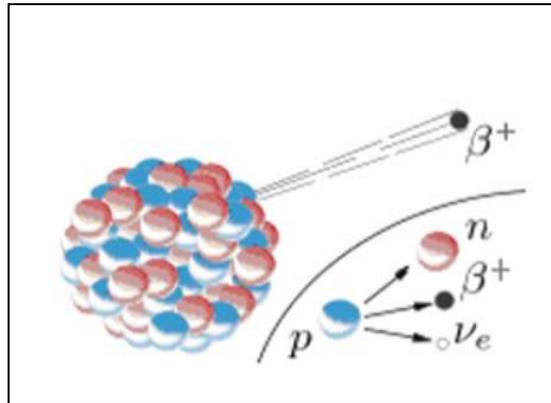


Figure I.9. Rayonnement β^+ .

1.2.3 Les photons gamma (γ)

Les rayons sont des rayonnements électromagnétiques, de même nature que la lumière visible ou les rayons X mais beaucoup plus énergétique, ils peuvent parcourir plusieurs centaines de mètres dans l'air. Plusieurs centimètres de plomb et plusieurs décimètres de béton sont nécessaires pour les arrêter [12].

La notation symbolique d'une telle désexcitation est la suivante :

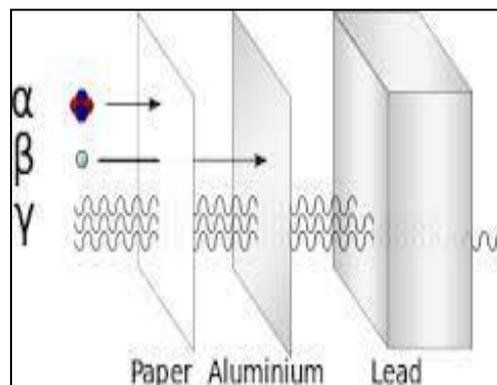


Figure I.10. Pouvoir de pénétration des rayonnements [11].

-Les rayonnements (α , β , γ) sont des rayonnements ionisants parce que leur énergie est suffisante pour arracher un électron à un des atomes d'une structure moléculaire. L'énergie du rayonnement émis caractérise aussi le radionucléide.

-Les activités (α, β) totales sont mesurées pour surveiller la qualité radioactive de l'eau potable, en cas de dépassement des valeurs guides de ces activités, la recherche de

radionucléides spécifiques naturels et ou artificiels est précisée. Donc la dose d'exposition est calculée, dont la valeur permet d'estimer le risque sanitaire.

-Les radionucléides naturels dans l'eau émettant des rayonnements (α , β) présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.02. Type de rayonnements émis par les radionucléides (Gambini, Granier, 1997 [5])

Rayonnements émis	Radionucléides
Rayonnement alpha (α)	Uranium-238 et 234 Thorium-230 et 232 Radium-226 Polonium-210, 211, 212, 214 Radon-222 Plutonium-238, 239, 240 Américium-240
Rayonnements beta (β)	Plomb-210, 211, 212, 214 Radium-228 Thallium-207

-La radioactivité (A)

C'est le nombre de désintégrations par unité de temps. Elle est exprimée en "becquerel" (Bq), un Bq correspondant à une désintégration par seconde.

$$A = \lambda \cdot N \quad \text{(I-08)}$$

N : Le nombre d'atomes radioactifs pris en considération à l'instant donné

λ : Une constante radioactive, est une caractéristique de chaque élément radioactif

L'activité A d'une substance radioactive décroît exponentiellement suivant la loi de décroissance :

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{(I-09)}$$

(A_0 étant l'activité à l'instant t_0)

On peut écrire aussi :

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{(I-10)}$$

(N_0 étant le nombre d'atomes radioactifs à l'instant t_0 et N, le nombre d'atomes radioactifs non désintégrés, après un temps t) [13].

-La période radioactive (T) : également c'est appelée "demi-vie", est le temps après lequel la moitié des atomes initialement présents ont disparu par désintégration ; cette période peut être très différente selon les éléments.

Après un temps T, N n'est plus que : $\frac{N_0}{2}$

On en déduit la relation :

$$T = \frac{0,693}{\lambda} \quad \text{(I-11)}$$

Exemples de demi-vie de certains éléments :

Uranium 238, $T=4,5 \cdot 10^9$ ans

Uranium 235, $T=7,04 \times 10^8$ ans

Potassium40, $T=1,3 \times 10^9$ ans

Thorium 232, $T=14$ milliards d'années

1.3 Rappel sur les rayonnements ionisants

1.3.1 Définition de rayonnement ionisant:

Un rayonnement est dit ionisant quand il est susceptible d'arracher des électrons à la matière qu'il traverse. Parmi ces rayonnements, on distingue ceux qui sont directement ionisants, particules chargées (α , β , ions, etc.), de ceux qui sont dits indirectement ionisants car n'étant pas chargés (γ , n); ils n'ionisent la matière que par l'intermédiaire de particules chargées ionisantes qu'ils créent dans le milieu. Dans le tableau 3 sont classés les différents types de rayonnements selon leurs natures et spectres caractéristiques.

Tableau I.03: Classification des rayonnements ionisants [14].

<i>Types de rayonnements ionisants</i>	<i>Spectres de raies</i>	<i>Spectres continus</i>
<i>Rayonnements indirectement ionisants</i>	γ , X de fluorescence	X de freinage, neutrons
<i>Rayonnements directement Ionisants</i>	α , électrons Auge	β^- , β^+

1.3.2 Définition de Rayonnement non-ionisant

Les radiations non-ionisantes sont les ondes électromagnétiques qui n'ont pas une énergie suffisante pour transformer les atomes en ions. Les radiations de longueur d'onde inférieure à 100 nm (UV-C) sont dans le domaine des ionisants. On considère que la gamme des radiofréquences s'étend de longueurs d'onde de quelques millimètres à plusieurs kilomètres. Il est à noter que les micro-ondes sont un cas particulier des ondes radio[15].

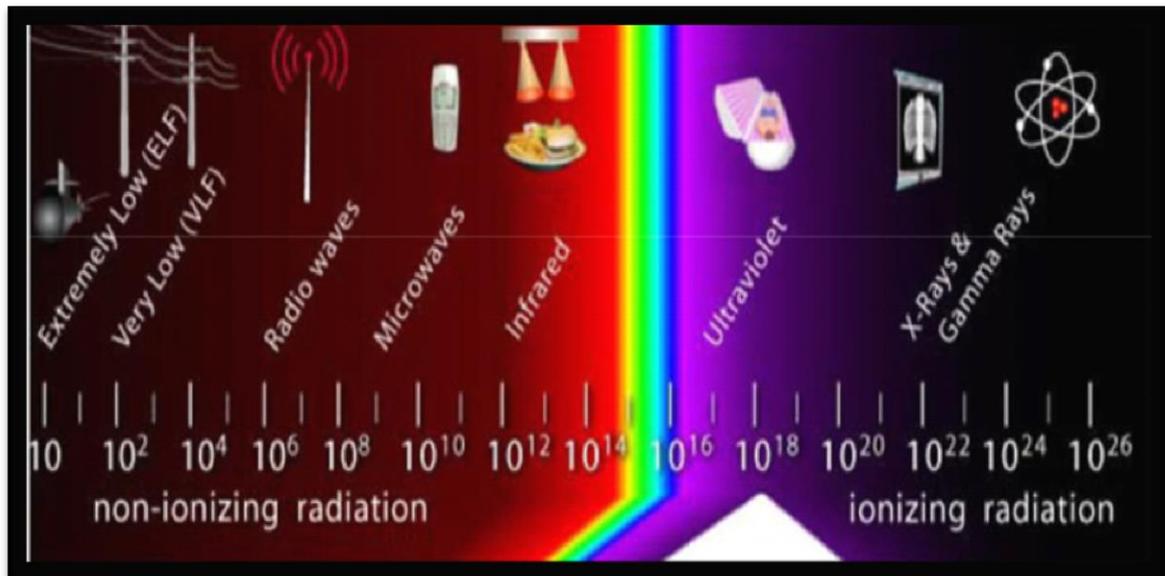


Figure I.11. Rayonnement ionisant et Rayonnement non-ionisant

1.4 Différents types d'exposition

Les organismes vivants sont soumis à deux types d'exposition : « externe et interne »

1.4.1 L'exposition externe

Causés par l'inhalation ou l'ingestion de radionucléides (potassium 40, carbone 14 ainsi que les descendants des familles d'uranium et de thorium.) ; ou leur entrée dans la circulation sanguine (injections ou piqûres) ; cette exposition s'arrête lorsque les substances radioactives disparaissent du corps soit spontanément ou sous l'effet de traitement.

1.4.2 L'exposition interne

Il résulte de la fixation de substances radioactives (les radionucléides primordiaux et aux rayons cosmiques) circulant dans l'air sur le corps et les vêtements. Il peut être éliminé facilement (en lavant par exemple) .

L'exposition aux rayonnements ionisants peut aussi résulter d'une irradiation externe (exposition aux radiations X). L'irradiation externe s'arrête lorsque la source de rayonnements est écartée ou lorsque la personne sort du champ de rayonnements [12].

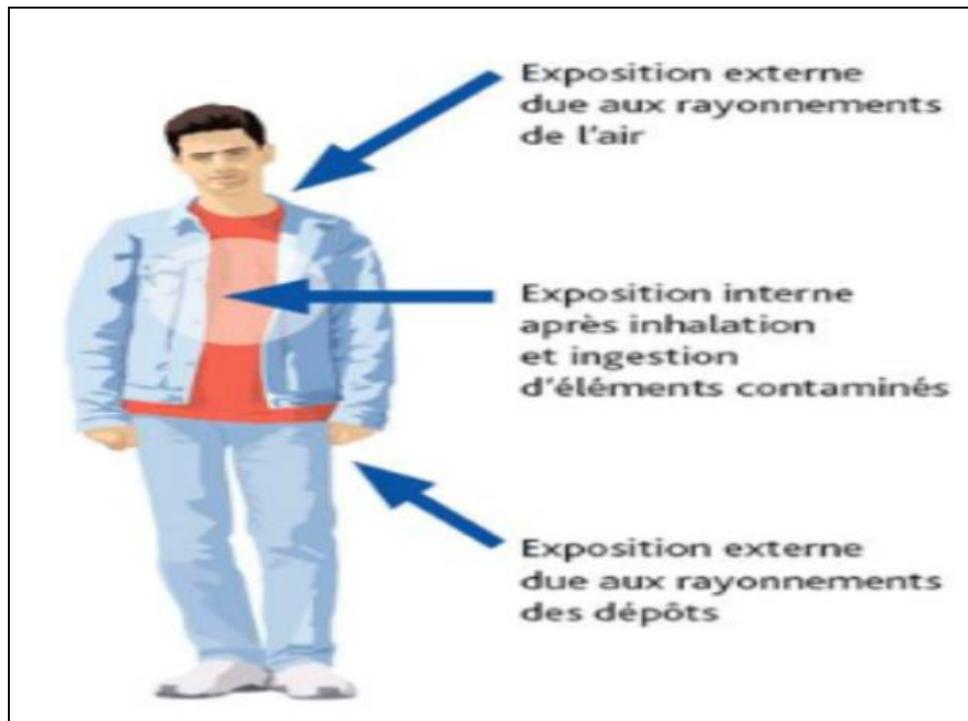


Figure I.12. Différents types d'exposition.

1.5 Radioéléments dans les eaux de consommation

Les eaux de consommations et minérales, contiennent des éléments radioactifs naturels dont les concentrations varient en fonction de paramètres tels que : nature géologique des terrains traversés, temps de contact (âge de eau), température, solubilité de l'élément concerné, ect... .

Les radioéléments les plus significatifs sont : la famille d'uranium-238 (en particulier le radium-226 et les descendants à vie longue du radon-222), le potassium-40 et accessoirement la famille du thorium-232.

a) Uranium naturel

L'abondance de l'uranium naturel est de l'ordre de 1 à quelques mg/kg dans l'écorce terrestre (l'abondance du thorium est trois fois plus importante, mais généralement Sa

concentration de cet Radioélément dans les eaux de consommations est faible et ne dépasse pas 2 ug/l (50 mBq/l de radioactivité α).

Dans certaines régions, l'émergence des eaux minérales peuvent avoir des teneurs dépassant 10 ug/l.

b) Potassium-40

Est présent dans le potassium naturel, dans la proportion de 0,01 %. L'abondance de cet Radioélément dans l'écorce terrestre est (23 g/kg), les eaux minérales contiennent généralement entre 1 et 200 mg/l de potassium naturel, mais il existe quelques cas (pour les eaux très salées) avec des teneurs dépassant le 200 mg/l (à la teneur de 10 mg/l de potassium naturel correspond une activité β d'environ 260 mBq/l).

c) Radium-226

Ce radioélément, descendant de l'uranium -238, est émetteur α (à côté du radium-226 on rencontre également les deux autres descendants du thorium- 232 : le radium- 228 émetteur (β et le radium- 224 émetteur α). Les teneurs en radium 226 dans les eaux de consommations sont très faibles, de l'ordre du picogrammes. Sa concentration dans l'eau est indiquée en mBq/l. et Les eaux souterraines peuvent avoir des concentrations de quelques dizaines à quelques centaines de mBq/l.

d) Radon

Il est généralement très abondant dans les eaux souterraines et aussi dans les eaux de consommations. A l'émergence, il n'est pas rare de rencontrer des concentrations de quelques dizaines à plusieurs centaines de Bq/l. Cependant, le radon s'échappe de l'eau de consommation dès que celle-ci est mise à l'air libre. Ce phénomène peut se traduire par des accumulations de radon dans le cas de stockage ainsi que dans les galeries ou sont situées les captages des sources d'eau de consommation.

e) Thorium

Le thorium compte 6 isotopes naturels, le plus abondant étant l'isotope 232 suivi des isotopes 228 et 230. La solubilité du thorium dans les eaux de consommations est très faible et dépasse rarement 1 μ g/l. A la teneur de 1 μ g/l de thorium-232 correspond une radioactivité α de 4 mBq/l.

A titre d'information, il faut citer la présence dans les eaux de consommations de deux autres éléments radioactifs naturels, le tritium et le carbone 14. La présence de ces deux

isotopes radioactifs est utilisée surtout pour étudier l'âge de l'eau. Leur concentration dans les eaux de consommations est très faible.

A titre de rappel :

f) carbone-14

La concentration moyenne du carbone-14 dans le carbone naturel (principalement le carbone 12 stable) est de l'ordre de 10^{-12} . Il se désintègre en émettant des particules β avec d'énergie (0,165 MeV) selon l'équation suivante :



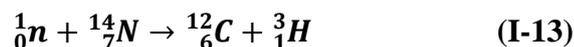
Sa période est $T = 5600$ ans.

Dans l'eau le carbone se trouve principalement sous forme d'ions bicarbonates. Les eaux

Les plus minéralisées en contiennent de l'ordre de 5 à 7 g/l, ce qui correspond à une valeur de 1 à 1,3 g/l de carbone naturel. Or, l'activité radioactive du carbone 14 contenu dans 1 g de carbone naturel (en prenant une concentration de 10^{-12}) est d'environ 0,2 Bq de rayonnement β (0,165MeV).

g) Le tritium

Est l'isotope radioactif d'hydrogène qui se forme dans l'atmosphère sous l'action des neutrons cosmiques sur l'azote selon l'équation suivante :



Cette production naturelle de tritium conduit à une concentration d'environ 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène stable. L'industrie nucléaire contribue à une augmentation de la

Concentration du tritium dans les eaux (à signaler la très forte augmentation de l'abondance du tritium dans les eaux de pluie après les essais atomiques dans l'atmosphère, entre 1950 et 1960).

La désintégration du tritium donne lieu à une émission de rayonnement p négatif (0,0186 MeV), avec production d'hélium stable. La période est $T = 12,2$ ans.

Pour caractériser la concentration du tritium dans les eaux minérales on utilise l'unité dite "UNITE TRITIUM" (UT).

1 UT = 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène.

Dans les eaux de consommations, les concentrations en tritium s'échelonnent de 1 UT à environ 25 UT.

Les eaux très "anciennes" sont caractérisées par des concentrations d'1 ou 2 UT.

Les eaux "jeunes" ont des valeurs plus élevées. A une eau ayant 1 UT correspond une radioactivité de 0,12 Bq/l (de rayonnement 3×10^{-11} MeV) [13].

Chapitre II

Région d'étude

II.1 Introduction

En Algérie, les sources d'eau potable sont d'origine souterraines soit de surface.

L'eau potable c'est l'eau destinée à la consommation humaine, cette eau ne doit pas contenir d'agents de plus, c'est une eau agréable à boire, claire et sans odeur (Grosclaude et Coord., 1999 ; Bordet, 2007).

L' Origine de l'eau potable sont : eaux de source, eaux brutes est eaux minérales.

La région de Bordj-Bouarreridj est caractérisée par un réseau hydrographique très dense dans l'est de l'Algérie , représenté par le barrage d'Aïn Zada d'une capacité de 125 million de m³, qui alimente le villes de Sétif, Bordj Bouarréridj, Boukaa ,et autres communes , et sont Oued Bousselam et Oued el Ksoub ,en plus des eaux sources situées dans les régions de la willaya (par exemple Bordj El Ghedir et Ain Taghrout) de la willaya ,c'est ce qui lui a valu un développement social, culturel et économique.

II.2. Présentation de la Région d'étude

Bordj-Bou-Arreridj, c'est la capitale de Biban, est située sur le territoire des Hauts Plateaux, à cheval sur Le massif montagneux du Biban, occupe une position stratégique dans l'Est algérien, La wilaya de Bordj Bou Arreridj s'étend sur une superficie de 3 921 km². Elle est divisée administrativement en 34 communes et 10 daïras.

Bordj Bou Arreridj est délimitée par les wilayas suivantes: au Nord: par Bejaia ; à l'Est: par Sétif ; au Sud: par M'Sila ; à l'Ouest il un climat semi-continental .sec,chaud en été et froid en hiver .

La topographie de l'état se compose de trois régions principales : la région des hautes plaines, la région des montagnes et la région des steppes .La région de Bordj-Bouarreridj possède de nombreuses sources d'eau ,il a enregistré la présence de stations thermales, dont les eaux ont des pouvoirs curatifs. Cette région comprend le barrage d'Aïn Zada. Les principaux fleuves qui traversent cette région sont Oued Bousselam et Oued el Ksoub en le sud.Et d étudier l eau potable pour cela région ,nous avons pris deux échantillons d'eau pour chaque zone : Eau de source minérale Zemala de la région de Bordj El Ghedir et Eau de source minérale Ksir el Ghoul de la région d'Ain Taghrout.

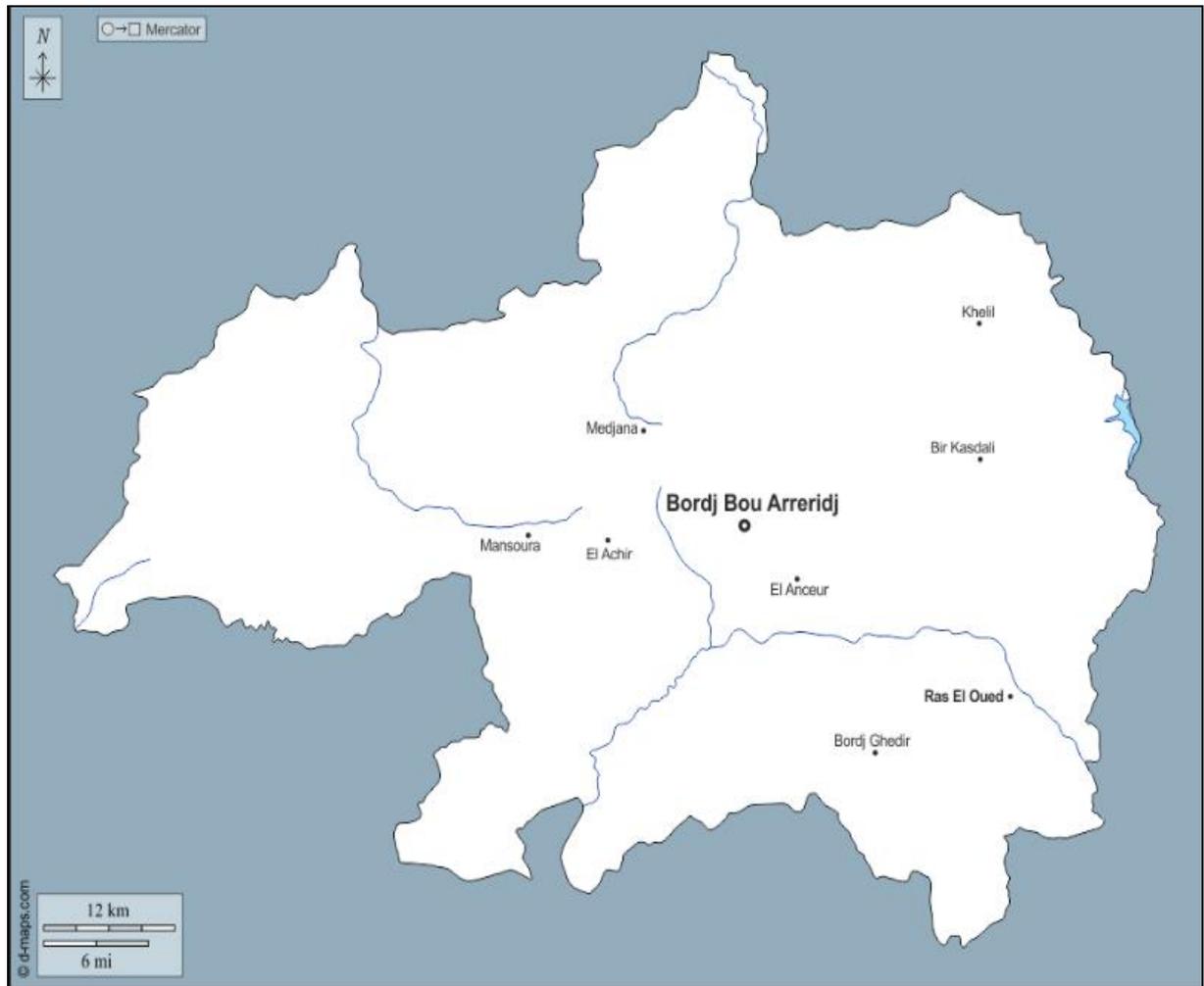


Figure II.01 Carte géographique de Bordj-Bouarreridj © 2007-2022 <https://d-maps.com>

II .2.1. Etude la région de Bordj El Ghedir

a) **Localisation géographique** : est situé à 35° 54' 4" de latitude N et 4° 53' 53" de longitude E, sur les hauts plateaux au sud-est de Bordj Bouarréridj culminant à 1100m d'altitude et il s'étend sur 104,6 km² occupée en majeure partie par les montagnes assez élevées. Cette région a une géologie et une tectonique très complexes.

Il est délimité par les communes suivantes : Belaymour, Ghailassa, Taglâit, Rass Ouad et El Hammadia.

La commune de Bordj El Ghedir est composée des localités suivantes :Chenia , El Amri, El Guettar, Zemala, Ouled Hamdane ,Ouled Makhlouf, Ouled Moussa Ouled Dechra et Rhoder.

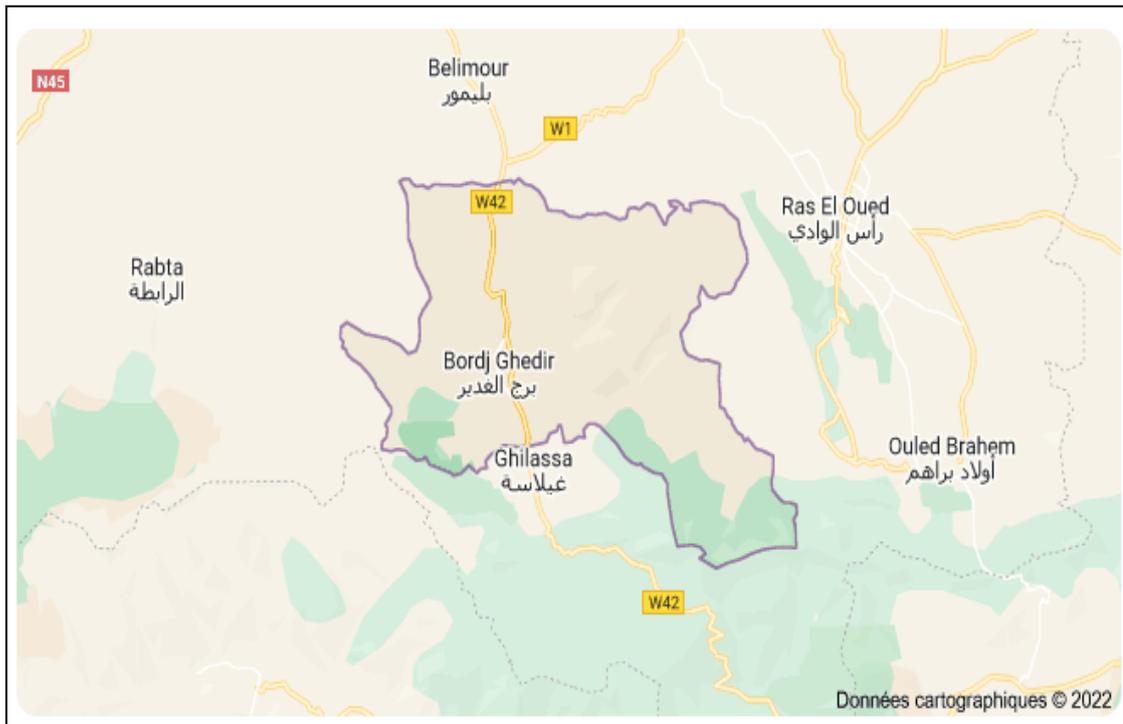


Figure II.03 Carte géographique de Bordj El Ghedir google maps 2022

b) Le climat : Se caractérise par un climat continental, qui offre des températures chaudes en été et très froides en hiver avec parfois de fortes chutes de neige.

c) La démographie : La population de la commune de Bordj El Ghedir est évaluée à 34136 habitant (2018).

Tableau II.1. L'évolution démographique de Bodj ELGhedir[14].

1958	1977	1987	1998	2008	2018
5 800	10 745	16 827	23 343	26 042	34 136

d) Haydrographie : La ville de Bordj El Ghedir est traversée par l'Oued Ghedir qui se jette dans Barrage de Ksob et dans le Chott el Hodna près de M'Sila. Il est riche en eaux de source par exemple (la source de Zemala et Chania) causées par la neige et la pluie pendant la saison hivernale.

II.2.1.1. Étude de l'eau de source de la région de Zemala

a. Situation géographique : Zemala est situé à 35° 53' 00" de latitude nord et 4° 56' 00" de longitude est. C est un domaine rocheux, L'origine de la source d'eau de la région de Zemala est provenant des précipitations de neige et de pluie pendant l'hiver.Comprend la région de Zemala est plus importante sources d'eau minérale connu à Borj-Leghdir , est exploitée à boire

Par les résidents région .en outre pour approvisionner un territoire Bordj-Bouarreridj avec point D'eau.en le pompant et transportant à travers d'énormes tubes.

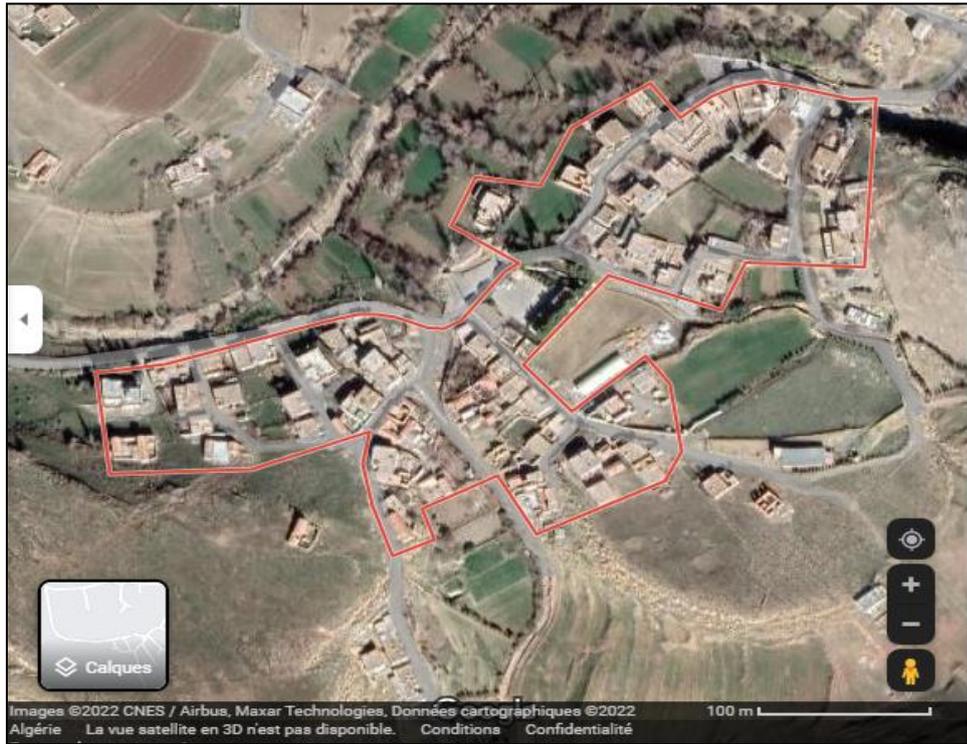


Figure II.02 Carte géographique de Zemala - Bordj El Ghedir- BBA goole maps

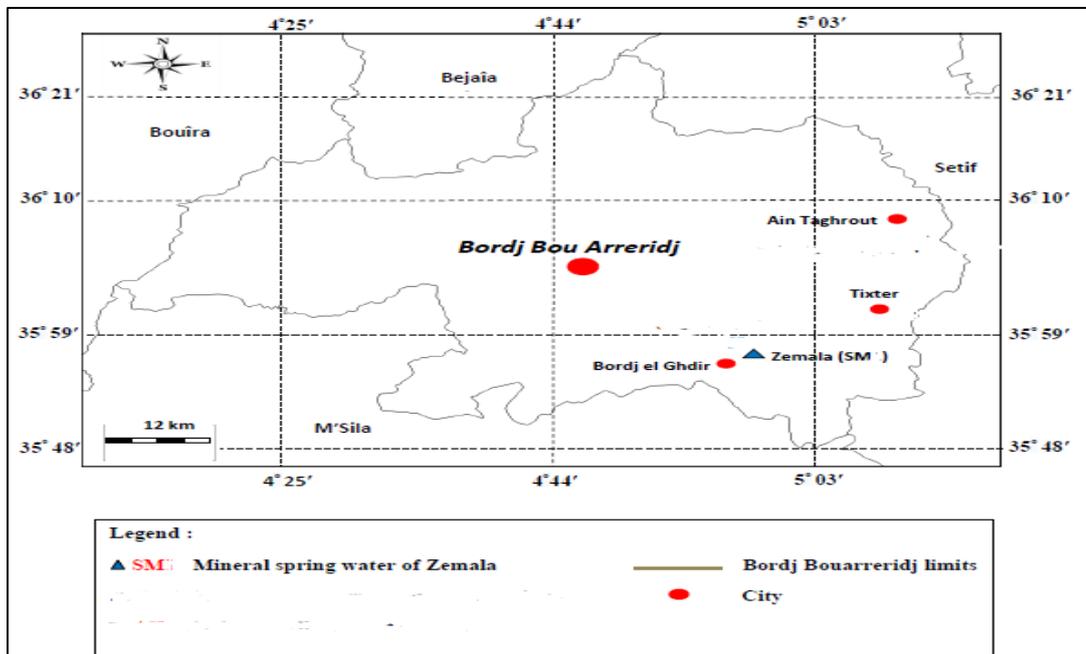


Figure II.03 Localisation de l'eau potable enquêtée dans la région de Brdj Bouarreridj à l'est de l'Algérie

II.3 Spectrométrie gamma

II.3.1 La Définition

La spectrométrie gamma est une discipline qui permet d'une part, la mesure des énergies de photons émis par une source radioactive et d'autre part le comptage du nombre de ces photons pendant une durée donnée. Ces deux mesures permettent l'identification et la quantification des radionucléides émetteurs des rayonnements gamma [15].

II.3.2 Description de la chaîne spectrométrique utilisée lors de la partie expérimentale

La spectroscopie de rayonnement gamma consiste à mesurer l'énergie et à compter le nombre de photon γ émis par un échantillon (source) de manière naturelle (radioactivité) ou artificielle (durant ou après une irradiation par des neutrons ou des protons) pendant une durée donnée. A partir de l'histogramme enregistré ou spectre, il est alors possible d'identifier différents radioéléments (analyse qualitative) et de déterminer leur concentration (analyse quantitative) dans l'échantillon étudié.

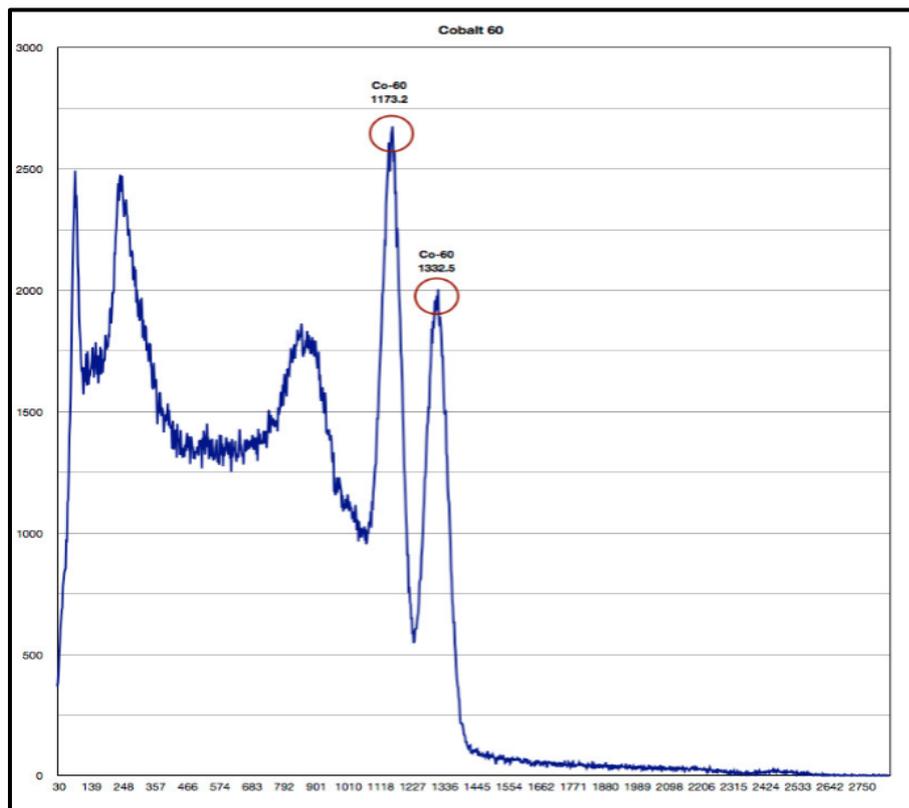


Figure II.04 Exemple d'histogramme obtenu à travers la spectroscopie Gamma d'une source ^{60}Co

II.3.3 Composition de la chaîne de spectrométrie gamma

Un système de détection où une chaîne de spectrométrie nous permet de mesurer un signal issu de l'interaction des charges électriques créées par les rayonnements ionisant avec l'élément sensible du détecteur. Ce signal de mesure est amplifié et mis en forme dans la même chaîne vue d'une analyse ultérieure. Cette chaîne est généralement composée de cinq parties :

- a)- Un détecteur à semi-conducteur de type Ge(HP) composé essentiellement d'un cristal Germanium hyper pur, d'une géométrie coaxiale monté dans un cryostat maintenu à la température de l'azote liquide.
- b)- Un préamplificateur de charge dont l'élément principal est le transistor à effet de champ (FET); ce dernier est refroidi à la température de l'azote liquide.
- c)- Un amplificateur qui a pour fonction d'amplifier et de mettre en forme l'impulsion issue du préamplificateur.
- d)- Un convertisseur analogique numérique (ADC) qui a pour but de convertir la valeur du pic du signal analogique en signal numérique.
- e)- Un analyseur multi canal (MCA) qui permet d'enregistrer et de mémoriser le signal Numérique avec son logiciel de gestion (visualisation du spectre).

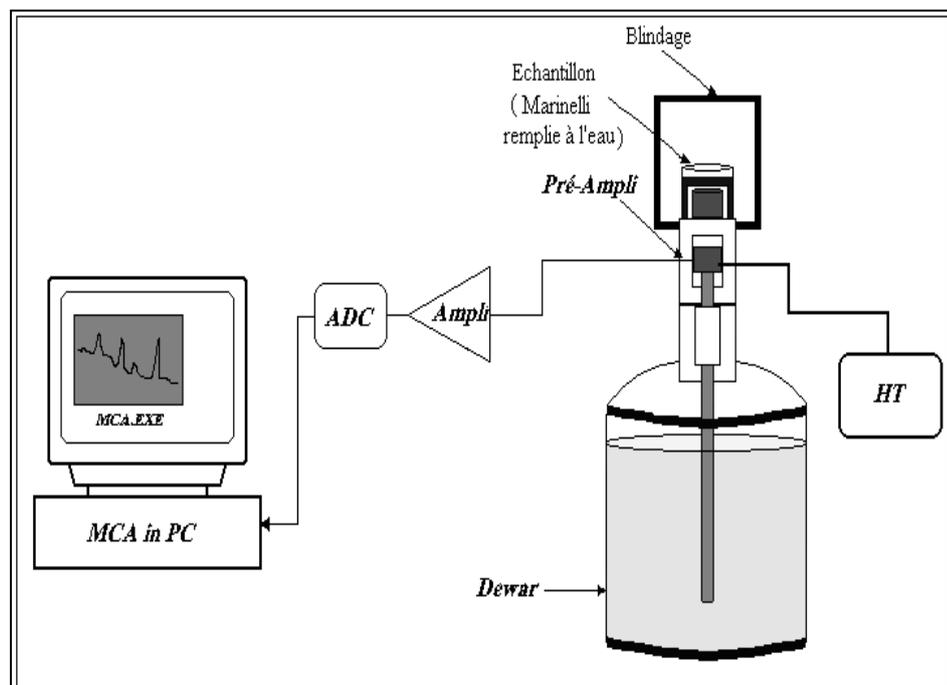


Figure II.05. Configuration de la chaîne de spectrométrie gamma utilisée

II.3.3.a- Le Détecteur Germanium hyper pure GeHP :

Dans le cas particulier du germanium, les techniques modernes permettent d'atteindre de très hauts niveaux de pureté : jusqu'à seulement 10¹⁰ atomes d'impuretés par cm³. Dans ce cas, le volume utile du détecteur est limité par la taille des cristaux qu'il est possible de fabriquer. Il est ainsi aujourd'hui possible d'obtenir des détecteurs de 400 cm³ de volume et des épaisseurs délaitées de plusieurs centimètres. Étant donné le très faible gap du germanium (0,7 eV), à température ambiante, la génération thermique de porteurs induit un courant trop élevé lorsque le détecteur est polarisé (1500 à 4000 V), ce type de détecteur fonctionne dans la température de l'azote liquide (77 °K) qui est récente davantage, par rapport aux Ge(Li) qu'ils ont tendance à supplanter, de ne pas avoir à être refroidi en dehors de période d'utilisation [15].

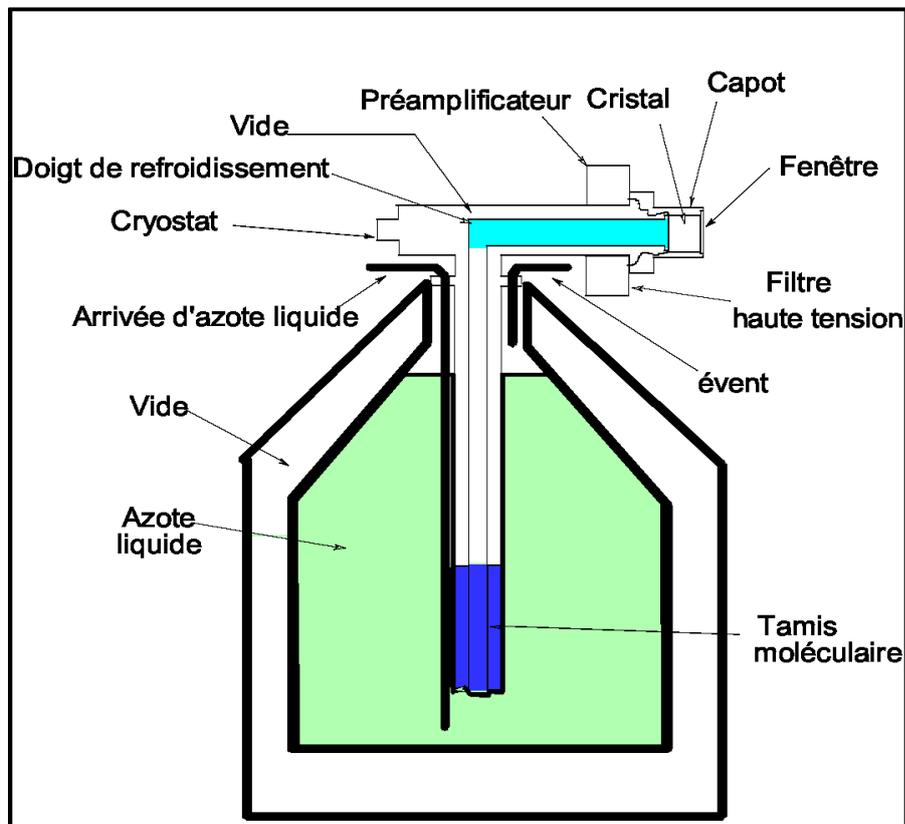


Figure II .6. Détecteur HPGe refroidi par l'azote liquide dans un vase Dewar.

II.3.3.b- Le Préamplificateur :

Le préamplificateur est le premier dispositif électronique de traitement du signal de mesure rencontré en sortie du détecteur. Son rôle est de réaliser une première amplification du signal généré dans le détecteur. Il joue également le rôle d'adaptateur d'impédance entre la sortie du détecteur et l'entrée de l'étage suivant. Il est en général placé à proximité du détecteur et peut être sous le même capot pour récupérer le maximum du signal issu du détecteur. De cette manière, et dans le cas des détecteurs à semi-conducteurs les composants sensibles à la température sont refroidis pour minimiser le bruit électronique thermique [16].

II.3.3.c- L'Amplificateur :

C'est l'étage qui exploite les impulsions sortantes du préamplificateur. Il a pour fonction de d'amplifier (multiplier par une constante = Gain) l'amplitude du signal qu'il reçoit. Le gain d'amplification doit être linéaire sur la totalité de la dynamique des signaux d'entrée. Ce même étage réalise ensuite une mise en forme, le plus souvent Gaussienne, en filtrant une partie des parasites de haute et de basse fréquence des signaux qu'il reçoit [16 ,17].



Figure III. 07 : Les différents modules utilisés dans la chaîne spectrométrie gamma

II.3.3.d- Le convertisseur analogique-numérique :

(ou ADC pour *Analog to Digital Converter*) A la sortie de l'amplificateur on a un signal gaussienne, le convertisseur transforme l'amplitude du signal à une quantité numérique qui est proportionnelle a l'énergie déposée dans le cristal [Lyoussi, 2010]. Cette opération nécessite entre 0,8 et 6 μ s (Canberra). La sortie de l'ADC est enregistrée dans une mémoire qui possède autant d'adresses que le maximum de numéro de canaux servant à découper le spectre final. Il y a au total 8192 canaux disponibles pour l'acquisition.

II.3.3.e- L'Analyseur multicanaux (MCA) :

L'analyseur multicanaux MCA permet de trier les impulsions en fonction de leurs amplitudes. Il est doté de mémoires permettant de stocker ces données dans des canaux correspondant à des intervalles de tension et de les transmettre en ligne vers un ordinateur. Les enregistrements ainsi obtenus sont des histogrammes qu'on appelle « spectres »[18].

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1.Introduction

Lors de ce chapitre, on abordera une étude expérimentale sur les concentrations de radionucléides naturels dans l'eau potable (eau minérale de source) échantillon de la région de Bordj-Bouarreridj, est de l'Algérie .

A travers cette étude , nous essayons de comprendre l' occurrence et la distribution des radionucléides(^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th et ^{40}K) ;et l'estimation des doses de rayonnement dans les eaux minérales dans regions de Bordj El-Ghedir de (BBA).En utilisant la spectroscopie de rayons gamma avec un détecteur de germanium de haute pureté, avec des rendements de 40 %.Le détecteur a une résolution en énergie de 1 et 2 keV pour des rayons gamma ^{57}Co de 122 keV et 1333 keV ^{60}Co , respectivement.

Dans ce travail, les calibrations énergétiques du rayon gamma , les spectres ont été réalisés en utilisant des sources radioactives standard (matrice de résine) de baryum 133 et europium 152 dont les activités spécifiques sont données en équivalent eau

$$^{133}\text{Ba}: 31 \text{ kBq} \pm 5 \% \text{ et } ^{152}\text{Eu}: 4 \text{ kBq} \pm 5 \%$$

III.2. Méthodes de mesure

III.2.1.Préparation de l'échantillon

Un échantillon d'eau potable ont été prélevé dans la région de Bordj Bouarréridj en Algérie, préparé pour l'analyse gamma comme suit :

-Un échantillon d'eau potable prélevé à la source d'eau minérale de Zemala-Bordj El Ghedir (ZM-BG) - région de Bordj-Bouarreridj-Algérie, préparé pour l'analyse gamma

- 1,5 litres d'eau potable d'un échantillon ont été prélevés. Dans un premier temps, on décante une quantité d'environ 600 ml dans un brouillard de 1 litre et soumis à évaporation. Il utilise une plaque chaude pour accélérer l'évaporation. Comme le volume d'eau à évaporer (diminution du volume d'eau dans le bécher), on ajoute 134 en petite quantité jusqu'à un volume d'environ 200 ml. Ce dernier est transféré dans une boîte de pétri à évaporation lente épiradiateur monté sur un support à hauteur réglable, pour éviter les pertes de résidus minéraux secs. Le montant total de le résidu inorganique sec est soigneusement transféré dans un flacon en polyéthylène de 110 ml. L' échantillon a été conservé pendant au moins 21 jours pour assurer un équilibre séculaire avant mesure par spectrométrie gamma.

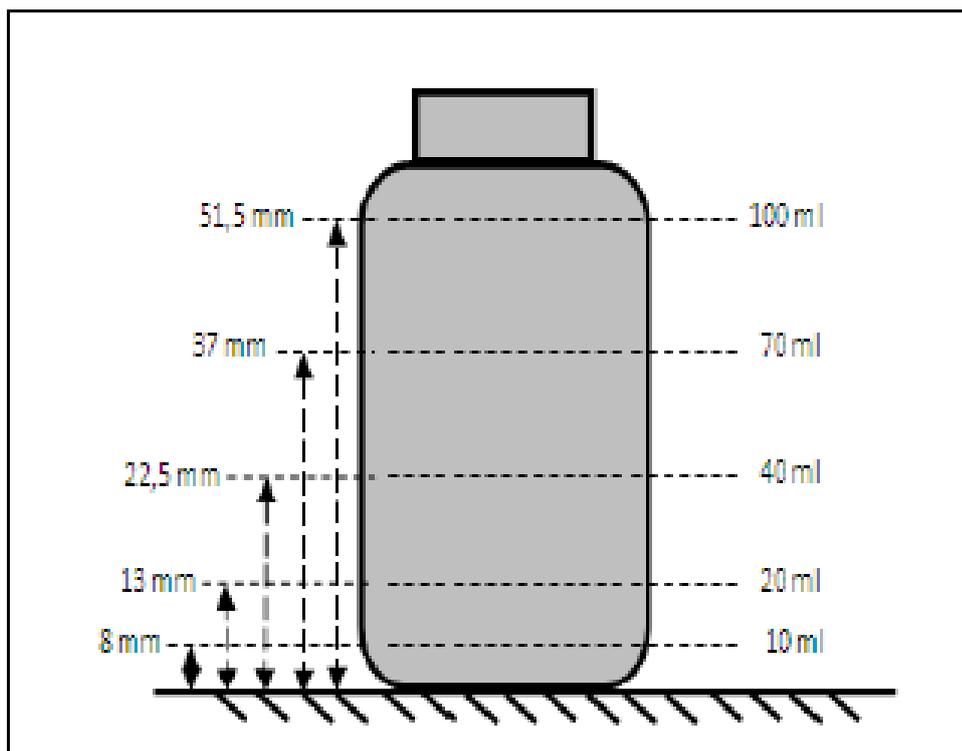


Figure III.01 bouteille Polyéthylène de 110 ml.

III.2.2 Calibration de la chaîne de mesure

III.2.2.1 La chaîne de spectrométrie gamma

Les concentrations d'activité de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K ont été mesurées à l'aide de Spectrométrie gamma basée sur un détecteur au germanium de haute pureté avec des rendements de 40 %. Le détecteur a une résolution en énergie de 1 et 2 keV pour des rayons gamma ^{57}Co de 122 keV et ^{60}Co de 1333 keV, respectivement.

III.2.2.2 Calibration du spectre

Il est important que les calibrations, en énergie et en efficacité, soient correctement exécutées, car les résultats de la calibration auront de l'effet sur tous les résultats d'analyse.

a. Calibration en énergie

Pour avoir une bonne analyse qualitative, il faut bien calibrer en énergie notre chaîne de

Spectrométrie gamma, pour cela et pour tracer la droite d'étalonnage en énergie, on a utilisé les sources radioactives standard (matrice de résine) de baryum 133 et europium 152 dont les activités spécifiques sont données en équivalent eau ; ^{133}Ba : $31 \text{ kBq} \pm 5\%$ et ^{152}Eu : $4 \text{ kBq} \pm 5\%$.

La droite de calibration obtenue est :

$$E=A*Canal+B$$

L'étalonnage en énergie de la chaîne de spectrométrie gamma est obtenu à partir d'un Spectre de ^{152}Eu .

b. Calibration en efficacité

La représentation schématique de la courbe d'efficacité est montrée dans la Fig. 1 pour la détermination de l'activité spécifique des solutions radioactives liquides de baryum 133 et europium 152 qui seront utilisés pour l'utilisation de géométries de différents tomes. Les activités spécifiques des solutions Ba-^{133} et Eu-^{152} obtenues sont :

Baryum 133 : $(9 \pm 0,3) \text{ Bq.ml}^{-1}$ au 17/01/2012 (III-01)

Europium152 : $(8 \pm 0,2) \text{ Bq.ml}^{-1}$ au 17/01/2012 (III-02)

Les spectres et les courbes d'étalonnage en efficacité sont obtenus à partir de la version française de GENIE 2000 installé au laboratoire. Le bruit de fond a été mesuré pendant 72 h. Le mesure d'échantillon d'eau de a été effectué pendant 15h.

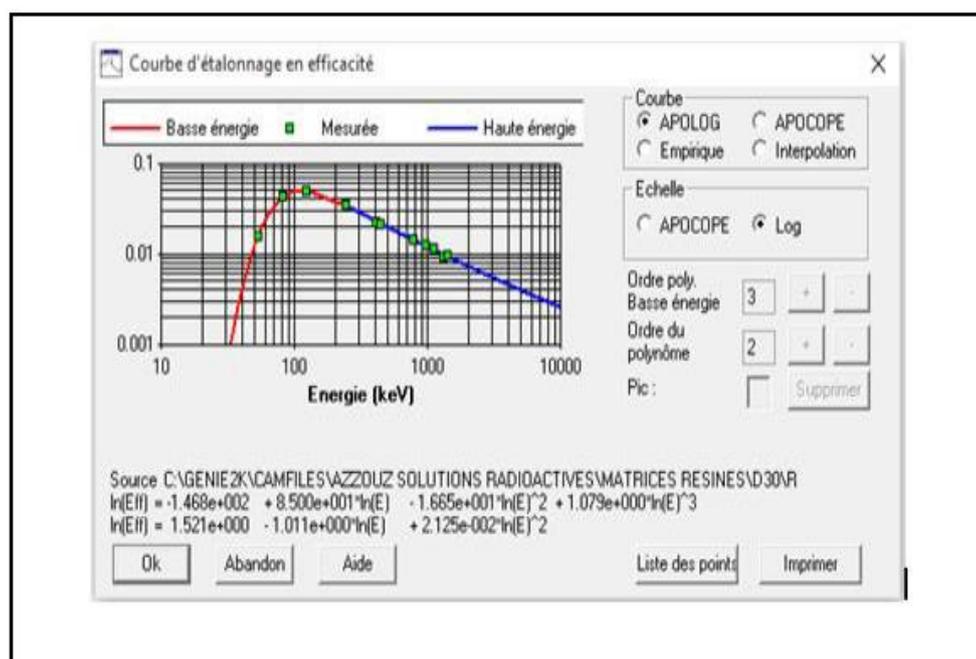


Figure III.02 Dépendance de la courbe d'étalonnage de l'efficacité sur l'énergie des rayons gamma. (Les spectres et la courbe d'étalonnage en efficacité sont obtenus à partir de la version française de GENIE 2000 installé au laboratoire)

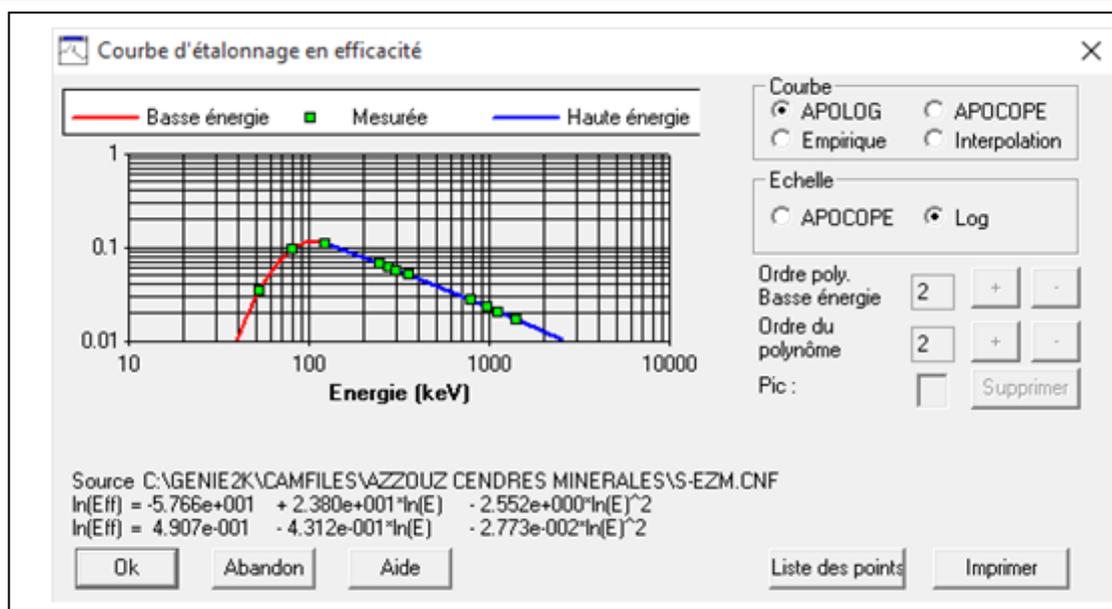


Figure III.03 Courbe spécifique d'un échantillon de Zemala

III.3. Les relation et les lois les plus importantes qui appliquées dans cette étude .

III.3.1 . La concentration d'activité de ²³⁸U :

a été mesurée en prenant l'activité moyenne des deux Photo pics séparés de ²¹⁴Bi à 609, 1120, 1765 keV et ²¹⁴Pb à 295, 352 keV. ²³²Th a été déterminée en utilisant un pic photo de ²⁰⁸Tl à 583 keV. ⁴⁰K a été mesuré en utilisant 1461 keV énergie. la concentration d'activité spécifique (As) en Bq/L de ²³⁸U, ²³²Th et ⁴⁰K dans l'échantillon d'eau potable a été calculé à l'aide de l'équation suivante [19] :

$$As = N / (P \times C \times T \times V) \quad \text{(III-03)}$$

Où :

N :est la surface nette du pic.

P :est la probabilité d'émission (rendement gamma).

C : est la efficacité totale de comptage.

T :est le temps de comptage (s).

V :est le volume d'échantillon d'eau (L).

La concentration minimale de détection (MDC) pour chaque activité est donnée par la Groupe de travail de normalisation 5 (WPN5).

Cette formule est intégrée au Génie 2000 Version 3.2.1 du logiciel.

Les concentrations d'activité de ^{238}U , ^{232}Th ^{40}K ont également été calculée comme la concentration massique ($\mu\text{g/L}$) d'uranium, de thorium et de potassium du (ZM-BG) a été calculé en utilisant les éléments :

$$1\text{Bq.L}^{-1} = 27 \text{ pCi.L}^{-1} \quad \text{(III-04)}$$

$$\text{Pour } ^{238}\text{U } 1\text{g } ^{238}\text{U} \rightarrow 13000 \text{ Bq} \quad \text{(III-05)}$$

$$1\mu\text{g.L}^{-1} = 1/3 \text{ pCi.L}^{-1} \quad \text{(III-06)}$$

$$\text{Pour } ^{232}\text{Th } 1\text{g } ^{232}\text{Th} \rightarrow 4100 \text{ Bq} \quad \text{(III-07)}$$

$$1\mu\text{g.L}^{-1} = 1/9 \text{ pCi.L}^{-1} \quad \text{(III-08)}$$

$$\text{Pour } ^{40}\text{K } 1\text{g } ^{40}\text{K} \rightarrow 265 \text{ Bq} \quad \text{(III-09)}$$

$$1\mu\text{g.L}^{-1} = 1/0.2 \text{ pCi.L}^{-1} \quad \text{(III-10)}$$

Les concentrations d'activité et les valeurs de concentration massique de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans un échantillon d'eau de l'Est algérien sont présentés dans le tableau 1.

III.3.2. La dose annuelle efficace

La dose annuelle équivalente engagée pour un individu due à l'absorption de radionucléides naturels provenant de un échantillon d'eau est estimée à l'aide de la relation suivante [20] :

$$D_W = A_S \times I_W \times D_c \quad \text{(III-11)}$$

D_W : (Sv/an) est la dose efficace engagée annuelle due à l'ingestion de radionucléides de la consommation d'eau potable.

A_S : (Bq/L) est la concentration d'activité de radionucléides dans l'eau potable ingérée

I_W : (L/an) est la consommation annuelle de boisson en supposant une consommation d'eau quotidienne moyenne de 2 L pendant 365 jours/an sera de 730 L/ans.

D_{cf} : (Sv/Bq) est le facteur de conversion de la dose ingérée pour le public.

L'effectif annuel dose d'absorption de radionucléides provenant de l'eau potable a été calculée pour différents groupes d'âge (tableaux 2, 3, 4)

III.3.3 les risques de mortalité et de morbidité par le cancer

Les coefficients de risque utilisés pour évaluer le risque par habitant (moyenne de la population) dû à l'exposition d'une population ou, de manière équivalente, pour évaluer le

risque dû à la durée de vie chronique exposition d'un individu moyen à une concentration environnementale constante.

Un risque coefficient, r , est spécifique au radionucléide, au milieu environnemental et au mode de l'exposition à travers ce médium. Pour un scénario d'exposition donné, le calcul de la durée de vie risque de cancer R [21]. Les risques de cancer à vie, R , associés à la consommation d'un radionucléide ont été estimés. Les facteurs de risques recommandés par la Protection de l'Environnement Agency 2002 ont été utilisés pour calculer les risques de mortalité et de morbidité par cancer (tableaux 6,7), due à l'ingestion de radionucléides ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K exprimés dans l'équation suivante :

$$R = C_w \times r \times I \times T \quad \text{(III-12)}$$

C_w : (Bq.L^{-1}) est la concentration d'activité.

T : (an) est l'espérance de vie moyenne.

L'espérance de vie moyenne à la naissance dans la région algérienne est de 70 ans [28] et l'eau le taux de consommation pour un individu est d'environ 730 litres par ans.

La mortalité par cancer coefficients, r pour ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K étaient respectivement de $1,13 \times 10^{-9}$, $1,87 \times 10^{-9}$ et $4,3 \times 10^{-9}$ et les coefficients de risque de morbidité ont été donnés comme suit $1,73 \times 10^{-9}$, $2,73 \times 10^{-9}$ et $6,68 \times 10^{-10}$ respectivement [21, 22].

Discussion des résultats

*Le tableau 1 présente les concentrations des activités moyennes calculées de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable étudié sur la région de Zemala -Bordj El Ghedir - région de Bordj-Bouarreridj-Algérie qui variaient de (0,13-0,79 (Bq/L)) pour ^{238}U , de (nd-0,04(Bq/L)) pour ^{232}Th et de (1,40-1,80 (Bq/L)) pour ^{40}K avec des valeurs moyennes (0,46, 0,04, 1,60 (Bq/L)) pour ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K respectivement.

Tableau III. 01 L'activité et les concentrations massiques de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans des échantillons d'eau minérale de source de l'Est algérien.

La région	Type de l'eau	^{238}U (Bq/L)	^{232}T (Bq/L)	^{40}K (Bq/L)	^{238}U ($\mu\text{g/L}$)	^{232}Th ($\mu\text{g/L}$)	^{40}K ($\mu\text{g/L}$)
Zemala (BG)	eau de source minérale	0,79±0.40	0.04±0.02	1.40±0.40	63.56±32.18	9.83 ±4.91	5.29±1.51
Variation		0.13-0.79	nd- 0.04	1.40-1.80	10.46-63.56	nd-9.83	5.29-6.80
Moyenne		0.46±0.23	0.04±0.02	1.60±0.40	37.01±18.50	9.83± 4.91	6.05±1.51

Note : nd= non déterminé

15($\mu\text{g/L}$) d'uranium dans l'eau est une limite de sécurité pour la consommation [23], les États-Unis Agence de protection de l'environnement [24, 25] a réglementé l'uranium en public la valeur de 30($\mu\text{g/L}$) comme limite de sécurité et Santé Canada (1999) fixe la norme à 20 $\mu\text{g/L}$.

La comparaison

La concentration d'uranium dans l'échantillon obtenu dans cette étude avec la valeur recommandée valeurs de 15($\mu\text{g/L}$) , 20($\mu\text{g/L}$) et 30($\mu\text{g/L}$) , il a été constaté que l'échantillon d'eau minérale de source de la région de Zemala BG-BBA avait une (63,56 $\mu\text{g/L}$) dépassait les limites.

L'EPA (Agence Protection de l'environnement)établi un maximum Niveau de contaminant (MCL) de 15 picocuries par litre (pCi/L) (ou 22,39 $\mu\text{g/L}$) pour l'activité des particules alpha , hors radon et uranium, dans l'eau potable. Le thorium est couvert en vertu de ce MCL

Les valeurs de concentration massique en ^{232}Th obtenues à partir d'eau minérale de source échantillon de la région Zemala BG-BBA (9,83 $\mu\text{g/L}$) était inférieur à celui comparé à le niveau maximal de contaminant (MCL)

Les concentrations massiques de ^{40}K dans l'eau potable à Zemala (5,29 $\mu\text{g/L}$) étaient significativement inférieures à valeur de 2 500($\mu\text{g/L}$) signalée pour le Royaume-Uni et dans la plage de (1 000 à 8000) ($\mu\text{g/L}$) recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé (2009).

Chapitre III ----- Résultats et Discussion

La différence dans les concentrations de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K sont probablement dues aux lithologies aquifères distinctes et les différences qui en résultent dans la solubilité des radionucléides et la mobilité géochimique.

*Les tableaux (2, 3 et 4) présentent la dose efficace annuelle due à l'ingestion de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable pour différents groupes d'âge.

Tableau III .02 les Doses efficaces annuelles($\mu\text{Sv}/\text{an}$) dues à l'ingestion d' ^{238}U dans l'eau potable échantillon pour différents groupes d'âge

$\mu\text{Sv}/\text{an}$					
groupes d'âge	1-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	Adultes	Moyenne
Echantillon (ZM-BG)	11.67	15.64	18.21	25.95	17.87
Variation	1.92-11.67	2.57-15.64	2.99-18.21	4.27-25.95	
Moyenne	6.79	9.11	10.60	15.11	

Tableau III .03 Doses efficaces annuelles($\mu\text{Sv}/\text{an}$) dues à l'ingestion de ^{232}Th dans un échantillon l'eau potable pour différents groupes d'âge

$\mu\text{Sv}/\text{an}$					
groupes d'âge	1-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	Adultes	Moyenne
Echantillon (ZM-BG)	3,02	4,05	4,71	6,52	4,63
Variation	nd-3,02	nd-4,05	nd-4,71	nd-6 ,52	
Moyenne	3.02	4.05	4.71	6.52	

Note : nd= non déterminé

Tableau III .04 Doses efficaces annuelles ($\mu\text{Sv}/\text{an}$) dues à l'ingestion de ^{40}K dans un échantillon de l'eau potable pour différents groupes d'âge

$\mu\text{Sv}/\text{ans}$					
groupes d'âge	1-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	Adultes	Moyenne
Echantillon (ZM-BG)	2.85	3.82	4.45	6.34	4.36
Variation	2.85-3.66	3.82-4.91	4.45-5.72	6.34-8.15	
Moyenne	3.25	4.36	5.08	7.24	

*Le tableau 5 montre les valeurs de dose annuelle totale variant de (3,25 à 17,54($\mu\text{Sv}/\text{an}$)) pendant 1-5 ans, (4,36 à 23,51($\mu\text{Sv}/\text{an}$)) pendant 6-10 ans, (5,08 à 27,37($\mu\text{Sv}/\text{ans}$)) pendant 11 à 15 ans et (7,24 à 39,01($\mu\text{Sv}/\text{an}$)) pour les adultes > 15 ans, avec une moyenne valeur (8,79, 11,79, 13,72 et 19,49($\mu\text{Sv}/\text{an}$)) respectivement.

Tableau III .05 la Dose efficace annuelle totale due à l'ingestion de radionucléides dans un échantillon de l'eau potable pour différents groupes d'âge

Ingestion totale ($\mu\text{Sv}/\text{an}$)				
groupes d'âge	1-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	les adultes
Echantillon (ZM-BG)	17.54	23.51	27.37	38.81
Variation	3.25-17.54	4.36-23.51	5.08-27.37	7.24-38.81
Moyenne	8.79- 19.49	11.79	13.72	19.49

Les niveaux de radioactivité composés dans les échantillons d'eau sont nettement inférieurs à la limite de sécurité de la CIPR qui est 100($\mu\text{Sv}/\text{an}$)

*Le tableau 6 montre le risque total de mortalité par cancer associé à l'ingestion de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K pour la source d'eau potable de Zemala.

Tableau III .06 Mortalité par cancer due à l'ingestion de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable

la mortalité de Risque de cancer ($\times 10^{-5}$)				
Radionucléides	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	Total
Echantillon (ZM-BG)	0.70	23.51	0.48	1.24
Variation	0.12-0.70	nd-0.06	0.48-0.62	0.55-1.24
Moyenne	0.41	0.06	0.55	0.84

Note : nd =non détectable

D'après le tableau 6, le risque de mortalité cancer variait de $0,55 \times 10^{-5}$ à $1,24 \times 10^{-5}$ avec une valeur moyenne de $0,84 \times 10^{-5}$.

le risque total de morbidité par cancer présenté dans le tableau 7 variait entre $35,36 \times 10^{-5}$ et $40,53 \times 10^{-5}$ avec une valeur moyenne de $37,27 \times 10^{-5}$. Selon le niveau acceptable de 10^{-3} pour le risque radiologique [26], les risques de cancer au 10^{-5} et 10^{-4} sont faibles.

Tableau III.07 la Morbidité cancéreuse due à l'ingestion de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable

Risque de cancer ($\times 10^{-5}$) morbidité				
Radionucléides	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	Total
Echantillon (ZM-BG)	4.59	0.38	30.94	35.91
Variation	0.75-4.59	nd-0.38	0.94-39.78	35.36-40.53
Moyenne	2.67	0.38	35.36	37.27

Note : nd =non détectable

Comparaison des résultats avec des résultats similaires dans d'autres pays

Les concentrations des activités (Bq/L) de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans les eaux potables (source minéral et potable) dans différents pays et ceux du présent ouvrage sont donnés dans Tableau 8. Comme le montre ce tableau :

- Les valeurs ^{238}U de l'eau de source des travaux actuels sont inférieure à celle rapportée par [27, 28, 29] pour l'eau de source au Yémen (tableau 2), en Tunisie (tableau 2) et au Brésil (tableau 1) et supérieures aux valeurs rapportées par [30] pour l'eau minéral dans les Balkans (tableau3).

-Les valeurs ^{232}Th de l'eau de source obtenues dans cette étude sont inférieures à celles rapportées par [27] pour l'eau de source au Yémen (tableau 2).

-D'autre part, les valeurs ^{40}K d l'eau de source dans la présente étude sont plus faibles avec les valeurs rapportées par [27] pour l'eau de source dans Yémen (tableau 2) et supérieur à celui rapporté par [30] pour l'eau minérale en Bosnie (tableau 1).

Tableau III .08 Concentrations d'activité (Bq/L) de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K d'un échantillon d'eau potable dans la présente étude par rapport à d'autres pays.

<i>Pays</i>	<i>Type de l'eau</i>	<i>La concentration d'activité (Bq/L)</i>			<i>Références</i>
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K	
<i>Algérie</i>	<i>Eau de source</i>	nd-0.79	nd-0.04	1.40-1.60	<i>Travail présent</i>
<i>Yémen</i>	<i>Eau de source</i>	1.19-5.48	nd-2.17	5.64-22.5	[27]
<i>Tenisie</i>	<i>Eau de source</i>	0.034-3.9	-	-	[28]
<i>Balkans</i>	<i>Minéral en bouteille</i>	≈ 0.01	-	-	[30]
		0.00021-0.0715	-	-	
<i>Slovénie</i>	<i>Naturel en bouteille</i>	0.022-0.028	-	-	[31]
	<i>Minéral en bouteille</i>	0.0011-0.053	-	-	
	<i>Robinet</i>	0.0011-0.0082	-	-	
<i>Bosnie/Herzégovine</i>	<i>Minéral</i>	0.013-0.367	-	0.01-0.34	[32]
<i>Brésil</i>	<i>Eau de source</i>	<0.0022-2.10	-	-	[29]

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le présent travail nous avons étudié la concentration des radionucléides dans un échantillon d'eau de source pour la région de Zemala - Bordj El Ghedir - willaya de Bordj-Bou arridj,

Nous faisons calculer les concentrations d'activité et les concentrations massiques pour (^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K). Les résultats indiquent que les concentrations massiques mesurées d'uranium, de thorium et de potassium dans la région d'eau minérale de la source de Zemala (BG-BBA région) est en dessus du niveau de recommandation, qui a montré une concentration d'activité élevée de relativité de ^{238}U par rapport à la limite de sécurité recommandée de 30 $\mu\text{g/L}$.

-Les hautes concentrations d'activités de ^{238}U mesuré dans un échantillon d'eau expliquant la relation entre l'eau minérale de source et le substrat rocheux dans cette région. Et à travers cette étude que l'eau de source minérale de la région de Zemala n'est pas acceptable comme eau potable. La valeur estimée du total dose efficace annuelle engagée pour les différents âges du public à Bordj-Bouarreridj région en Algérie suite à l'ingestion de radionucléides ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable (eau de source minérale) montrent que l'adulte a absorbé une dose plus élevée radionucléide que les autres âges.

-La valeur estimée du dose efficace annuelle total engagée pour les différents âges du public à Bordj-Bouarreridj région en Algérie suite à l'ingestion de radionucléides ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans l'eau potable (eau de source minérale) montrent que l'adulte a absorbé une dose plus élevée de radionucléide que les autres âges. Alors que l'apport des adultes était plus élevé en ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K que les autres âges respectivement. Cela peut être dû à une combinaison de changements de dose facteur de conversion et consommation d'eau avec l'âge.

Les références

références et Bibliographies -----

[1] Briant KALL 1*, Zafizara DONNE 1, Martin RASOLONIRINA 2, Naivo RABESIRANANA 3 et Gérard RAMBOLAMANANA

« Contribution à l'étude de la radioactivité gamma du sable des plages de Ramena et d'Orangea, Antseranana, Madagascar » Afrique SCIENCE 10(4) (2014) 23- 35 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>

[2] O.-K. Hakam, A. Choukri*, H. Bounouira et M. Al Ibrahim « Activités de l'uranium et du radium dans des échantillons d'eau naturelle au Sahara marocain » Afrique SCIENCE 02(3) (2006) 327 – 334 ISSN 1813-548X Reçu le 02 Mai 2006, accepte le 17 Aout 2006).

[3] Site d'internet musée curie – Histoire de la radioactivité en quelques dates-muse.curie.fr

[4] Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs-Andra (Andra ,fr) .

[5] Laurence Böhm ' étude de la radioactivité des l'eau potables de Bretagne et perspective d'évaluation du risque sanitaire éventuel lié au radon' ingénieur de génie sanitaire promotion 2007(Ecole nationale de la santé publique) .

[6] Le manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie 'rayonnements ionisants et radioprotection (n°spéciale septembre 1999).

[7] Boukhanfouf Wassila épouse Ayad, Thèse Doctorat « concentration de l'uranium application aux fertilisants agricoles » 05/10/2011-Univ. Abbas Ferhat Sétif (spécialité génie nucléaire).

[8] Organisation mondiale de la santé (Rayonnements ionisants, effets sur la santé et mesures de protection) .29avril.2016.

[8] Organisation mondiale de la santé (Rayonnements ionisants, effets sur la santé et mesures de protection) .29avril.2016.

[9] Commissariat à L'Energie Atomique /NIS-FR-444 (L'uranium dans l'environnement) Gestion INIS-Doc .Enger le 19 /11/2001-N°TRN :FR0200043.

[10] V. CHAMBRETTE CELLULE MEDICO-SANITAIRE-FICHE RADIONUCLEIDE THORIUM 232 ²³²Th et ses descendants à l'équilibre IPSN.

[11] Hadda Kebir, Thèse Doctorat (concentrations de l'uranium-238 dans les eaux thermales a l'est algérien) Universite Ferhat Abbas-Sétif 25 / 11 / 2017.

[12] Livret-radioactivité (des radioéléments aux applications scientifique) - version-2018.

références et Bibliographies -----

- [13] Eau Minérale et Radioactivité Note technique n° 15Juillet 2000 Ministère de Economie, des Finances et de l'Industrie Secrétariat d'Etat à l'Industrie.
- [14] Site d'enternet https://fr.wikipedia.org/wiki/Bordj_Ghedir
- [15] Omar DENDENE thèse de magister « La radioactivité des eaux thermales de la Willaya de Sétif » spécialité (Génie Nucléaire) Université Ferhat Abbas–SETIF Soutenu Publiquement le 26/10/2009.
- [16] P. LECONTE, Thèse Doctorat, Développement et optimisation de mesure par spectrométrie gamma – maitrise et réduction des incertitudes associées, 2006, université Clermont-Ferrand II (spécialité physique des réacteurs).
- [17] A. GUESSMIA, Mise au point et optimisation d'utilisation des chaines de spectrométrie gamma pilotées par une série de logiciels « Génie 2K, Hyper Lap et K0-IAEA », 2013, université Farhat Abbas, Sétif.
- [18] C.Jimonet et H. Métivier, « Principes de radioprotection-réglementaires », Collection EDP Sciences, 2009.
- [19] Kebir H, Boucenna A (2017) Natural radionuclide concentrations in thermal springs of east Algeria. Environ Earth Sci 76:52. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6373-z>.
- [20] ICRP (1996) International Commission on Radiological Protection Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclide's, Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients, New York.
- [21] EPA (2002) United States Environmental Protection Agency Guidelines for Ensuring and Maximizing the Quality, Objectivity, Utility and Integrity, of Information Disseminated by the Environmental Protection Agency. EPA260-R-02-008.
- [22] WHO (2008) World Health Organization Guidelines for drinking water quality, 3rd edn. Incorporating the First and second Addenda, Geneva
- [23] WHO (1993) World Health Organization Guidelines for drinking water quality: volume1: Recommendations, 2nd edn. Geneva
- [24] USEPA (1994) United States Environmental Protection Agency Comparison of Health Risks Arising From the Radiological and Chemical Toxicity of Uranium, Appendix F of Radiation Site Cleanup Regulations: Technical Support Document For

références et Bibliographies -----

The Development Of Radionuclide Cleanup Levels For Soil, Review Draft, EPA 402-R-96-011 A.

[25] USEPA (2003) United States Environmental Protection Agency Current Drinking Water Standards Agency.

[26] Calin MR, Ion AC, Radulescu I (2014) Evaluation of quality parameters and of natural radionuclide's concentrations in natural mineral water in Romania. J Radioanal Nucl Chem 303: 305-313. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3401-x> .

[27] Abd El-Mageed AI, EL-Kamel AH, Abbady AB, Harb S, Issa Saleh I (2013) Natural radioactivity of ground and hot spring water in some areas in Yemen. Désaliénation 321: 28-31. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.022>.

[28] Labidi S, Dochraoui M, Mahjoubi H, Lemaitre

[29] Oliveira J, Moreira SRD, Mazzilli BP (1994) Natural radioactivity in mineral spring waters of a highly radioactive region of Brazil and consequent population doses.

Radiation Protection Dosimetry 55: 57- 59. <http://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a082375>.

[30] Joksic JD, Radenkovic MB, Miljanic SS (2007) Natural radioactivity of some spring And bottled mineral waters from several central Balkan sites, as a way of their Characterization J. Serb. Chem. Soc. 72: 621–628. <https://doi.org/10.2298/JSC0706621J>.

[31] Benedik L, Jeran Z (2012) RADIOLOGICAL OF NATURAL AND MINERAL DRINKING WATERS IN SLOVENIA. Radiat. Prot. Dosim 151: 306–313. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs009>.

[32] Kasić A, Adrović F, Kasumović A, Hankić E (2015) Levels of natural radioactivity in mineral and thermal waters of Bosnia and Herzegovina. NUKLEONIKA 60: 503-508
<https://doi.org/10.1515/nuka-2015-0062>.

GLOSSAIRE :

L'EPA : Agence Protection de l'environnement .

OMS : l'Organisation Mondiale de la Santé.

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

ANDRA : Agence Nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

MDC : La concentration minimale de détection

MCL : un maximum Niveau de contaminant.

Radioactivité : phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux instables – du fait d'un excès ou d'un défaut de neutrons – se désintègrent en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnement, pour se transformer en noyaux atomiques plus stables.

La dose absorbée : est une grandeur physique et correspond à l'énergie des rayonnements cédée à la matière exposée. Elle se mesure en **Gray (Gy)**, et correspond à la quantité d'énergie transférée par unité de masse de la matière exposée.

La Dose équivalente : Lorsque le rayonnement est absorbé par une matière vivante, on peut parfois observer un effet biologique. Tous les rayonnements ne produisent pas le même effet biologique pour une même dose absorbée. L'effet dépend du type de rayonnement (alpha, bêta, gamma, etc.). Ainsi, 1 Gy de rayonnement alpha est plus nocif pour les tissus que 1 Gy de rayonnement bêta. Pour obtenir la dose équivalente, il faut multiplier la dose absorbée par un facteur de pondération radiologique (w_R) spécifique afin de déterminer les effets biologiques relatifs des différents types de rayonnement. Cette dose équivalente est exprimée en sievert (Sv). Autrement dit, 1 Sv de rayonnement alpha possède les mêmes effets biologiques que 1 Sv de rayonnement bêta. En d'autres mots, la dose équivalente correspond à une unité qui rend compte du degré de nocivité de différents types de rayonnement pour un même tissu.

Le Becquerel (Bq) : est l'unité de mesure de la radioactivité d'un corps. Elle caractérise le nombre de désintégrations spontanées de noyaux d'atomes instables qui s'y produit par seconde. Dans le corps humain, la radioactivité est naturellement de 120 Bq/kg.

Le Gray (Gy) : est l'unité qui permet de mesurer la quantité de rayonnement absorbé par un corps exposé à de la radioactivité.

Le Sievert (Sv) est utilisé pour exprimer les effets biologiques des rayonnements ionisants sur la matière vivante. La réglementation française fixe le seuil de dose efficace maximale

admissible pour une personne à 1 mSv/an au-delà de la radioactivité naturelle (en moyenne 2,4 mSv/an) en excluant les doses reçues en médecine (en moyenne 1,3 mSv/an).

Radioélément : élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs.

Radionucléides: atomes d'éléments radioactifs naturels ou artificiels.

Activité : nombre de désintégration par unité de temps.

La chaîne de désintégration : suite de désintégrations issues de la transformation spontanée d'un radio-isotope instable et permettant d'aboutir à un élément chimique de noyau atomique stable. Le plomb est généralement le point stable auquel les chaînes de désintégration s'arrêtent.

Isotopes : nucléides d'un élément partageant le même nombre de protons

Mais un nombre de neutrons différent.

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 concentration des radionucléides dans un échantillon de l'eau potable à la région de Bordj-Bouarreridj, En utilisant la spectroscopie de rayons gamma avec un détecteur de germanium de haute pureté, l'activité des concentrations de radionucléides ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans un échantillon d'eau potable dans la région de Bordj-Bouarreridj à l'est de l'Algérie ont été mesurés. La masse les concentrations se sont avérées varier de (10,46 à 63,56) $\mu\text{g/L}$ pour ^{238}U , (nd à 9,83) $\mu\text{g/L}$ pour le ^{232}Th et (5,29 à 6,80) $\mu\text{g/L}$ pour le ^{40}K . Le risque radiologique humain était calculée sur la consommation à vie de la population de la zone étudiée en fonction de la les résultats obtenus. La dose efficace annuelle moyenne pour différents groupes d'âge de ces eaux potables a été calculé.

Mots clés : la radioactivité, Eau potable , Radionucléides , Eau de source minérale, Spectrométrie gamma ,La concentration d'activité, Risque de mortalité et de morbidité par cancer.

Abstract: The families of Uranium -238 , Thorium -232 and Potassium -40 are of telluric origin and generally contribute to the internal and external exposures of an individual. This work aims to measure the concentration of radionuclides in a sample of drinking water in the Bordj-Bouarreridj region, Using gamma ray spectroscopy with a high purity germanium detector, the activity of radionuclide concentrations ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in a drinking water sample in the Bordj-Bouarreridj region in eastern Algeria were measured. Mass concentrations were found to vary from (10.46 to 63.56) $\mu\text{g/L}$ for ^{238}U , (nd to 9.83) $\mu\text{g/L}$ for ^{232}Th and (5.29 to 6.80) $\mu\text{g/L}$ for ^{40}K . The human radiological risk was calculated on the lifetime consumption of the population of the area studied according to the results obtained. The average annual effective dose for different age groups from these drinking waters was calculated.

Key words: Radioactivity, Drinking water, Radionuclides, Mineral spring water, Gamma spectrometry, Activity concentration, Risk of cancer mortality and morbidity.

تلخيص : عائلات اليورانيوم -238 ، اليورانيوم -235 ، الثوريوم -232 و البوتاسيوم -40 هي من أصل تيلوري وتساهم بشكل عام في التعرض الداخلي والخارجي للفرد. يهدف هذا العمل إلى قياس تركيز النويدات المشعة في عينة من مياه الشرب بمنطقة برج بوعرريج ، باستخدام التحليل الطيفي بأشعة جاما مع كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة ، ونشاط تركيز النويدات المشعة ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K في عينة مياه الشرب في المنطقة. تم قياس جهة برج بوعرريج شرقي الجزائر. تم العثور على تركيزات الكتلة تتفاوت من (10.46 إلى 63.56) ميكروغرام / لتر لـ ^{238}U ، (من الثانية إلى 9.83) ميكروغرام / لتر لـ ^{232}Th و (5.29 إلى 6.80) ميكروغرام / لتر لـ ^{40}K . تم حساب المخاطر الإشعاعية البشرية على الاستهلاك مدى الحياة من سكان المنطقة المدروسة حسب النتائج المتحصل عليها. تم حساب متوسط الجرعة الفعالة السنوية للفئات العمرية المختلفة من مياه الشرب هذه.

الكلمات المفتاحية: النشاط الإشعاعي ، مياه الشرب ، النويدات المشعة ، مياه الينابيع المعدنية ، مقياس طيف جاما ، تركيز النشاط ، خطر الوفاة والإصابة بالسرطان.