



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAID, TLEMCEM



**Faculté des sciences**

**Département de Chimie**

**Laboratoire de Recherche  
Spectrochimie et Pharmacologie Structurale**

**MEMOIRE DU MASTER EN CHIMIE  
Option : Chimie Physique et Analytique**

**Présenté par : M<sup>elle</sup> OULD ZOHRA Sabah**

**Date : 21/juin/2017**

Evaluation de la concentration de l'activité naturelle  
des fruits importés par spectrométrie gamma

***MEMBRES DE JURY:***

| <u>Noms et Prénoms</u>             | <u>Grade</u> | <u>Université</u> |
|------------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>Président Mr. MEKELECHE S.M</b> | <b>Pr</b>    | ABB Tlemcen       |
| <b>Examineur Mr. DAHMANI.B.</b>    | <b>Pr</b>    | ABB Tlemcen       |
| <b>Encadreur Mr. KADUM A.</b>      | <b>Pr</b>    | ABB Tlemcen       |

***Année Universitaire 2016/2017***

## Remerciement

*J'adresse en premier lieu ma reconnaissance à notre DIEU tout puissant, de m'avoir permis d'en arriver là, car sans lui rien n'est possible.*

*Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Laboratoire de Spectrochimie et Pharmacologie Structurale d'Université Abou Bakr –Belkaid de Tlemcen dirigé par Monsieur le Professeur DAHMANI Benamar*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Mr. KADUM A. de m'avoir fait bénéficier de ses compétences, ses qualités humaines et de sa disponibilité non seulement pour la réalisation de ce mémoire mais aussi durant tout le parcours de ma formation.*

*J'exprime mes sincères remerciements à Mr. MEKELECHE S.M pour m'avoir fait l'honneur d'accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*J'adresse mes vifs et sincères remerciements aux membres de jury Mr. DAHMANI Benamar d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et de participer au jury.*

*J'adresse mes vifs et sincères remerciements à Monsieur le directeur de Laboratoire de Spectrochimie et Pharmacologie Structurale d'Université Abou Bakr –Belkaid de Tlemcen le Professeur DAHMANI Benamar*

*je tiens à remercier chaleureusement, tous les enseignants de l'année théorique qui ont contribué à ma formation et à mes travaux*

*J'exprime ma gratitude à toutes les personnes rencontrées lors des recherches que j'ai effectuées et qui ont accepté de répondre à mes interrogations avec gentillesse.*

*Je tiens également à remercier l'ensemble de mes collègues de laboratoire (KHALIDA, NADIA ,KAWTHER et HAMDI) qui ont Contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, tout Particulièrement, pour leur aide précieuse.*

*Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à mes parents, ma famille et tous mes proches amis, qui m'ont aidé et toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail comme un témoignage d'amour et de gratitude.  
A la bougie qui éclaire mon chemin depuis ma naissance, la source de ma vie  
et de mon bonheur, à **mon cher père**.*

*A la femme la plus généreuse de ma vie, à **ma chère mère** qui m'a beaucoup  
Soutenu durant ce travail.*

*A qui j'espère que dieu les protège et leurs procure santé et longue vie.*

*A mon frère **samir** ainsi que mes sœurs **hanane** et **Satifa** qui je souhaite un  
grand avenir et une vie prospère et rayonnante.*

*A toute ma grande famille*

*A mes amis*

*A tous ce qui me sont chers*

# Sommaire

|  |          |
|--|----------|
| <b>Introduction.....</b>   | <b>1</b> |
| <b>Chapitre I - substances radioactive naturelles.....</b>             | <b>2</b> |
| I.1 substance radioactives naturelles (NORM).....                      | 2        |
| I.2 sources des matières radioactives naturelles.....                  | 2        |
| a) Exposition aux rayonnements cosmiques .....                         | 2        |
| b) Exposition aux rayonnements terrestres .....                        | 2        |
| I-3 Radioactivité alimentaire.....                                     | 3        |
| I.4 Les radioéléments naturels .....                                   | 3        |
| I.4.1 Radioéléments naturelle primaire.....                            | 3        |
| a) Famille de l'uranium ( $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ ).....  | 3        |
| b) Famille de l'actinium ( $^{235}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}$ )..... | 4        |
| c) Famille du thorium ( $^{232}\text{Th}$ - $^{208}\text{Pb}$ ).....   | 5        |
| d) Le potassium $^{40}\text{K}$ .....                                  | 6        |
| I.5 Les effets de NORM sur la santé .....                              | 6        |
| <b>CHAPITRE II –spectroscopie gamma.....</b>                           | <b>7</b> |
| <b>Partie 1 : Le rayonnement gamma.....</b>                            | <b>7</b> |
| II.1 les différentes catégories de rayonnement .....                   | 7        |
| II.1.1 Rayonnement non ionisant .....                                  | 7        |
| II.1.1 Rayonnement ionisant .....                                      | 7        |
| a) Rayonnement alpha ( $\alpha$ ) .....                                | 7        |
| b) Rayonnement bêta ( $\beta$ ) .....                                  | 7        |

|  |           |
|--|-----------|
| c) Les rayonnements photon $\gamma$ .....                    | 7         |
| II.1-3 Interaction photon –matière .....                     | 7         |
| a) L'effet photoélectrique .....                             | 7         |
| b) Diffusion Compton .....                                   | 9         |
| c) Production paires .....                                   | 10        |
| <b>Partie 2 : détection gamma.....</b>                       | <b>11</b> |
| a) Scintillateurs organiques .....                           | 11        |
| b) Scintillateurs inorganiques .....                         | 11        |
| II 2-1 Scintillateur inorganique .....                       | 11        |
| a) <b>NaI (Tl)</b> .....                                     | 12        |
| II 2- 2 Photomultiplicateur PMT.....                         | 12        |
| II 2-2.1 principes de fonctionnement et construction.....    | 13        |
| II 2.3 Coefficient d'atténuation d'un rayon gamma .....      | 13        |
| II 2-3-1 Les coefficients d'atténuation .....                | 13        |
| a) Le coefficient d'atténuation linéaire .....               | 14        |
| b) Le coefficient d'atténuation massique.....                | 14        |
| <b>Chapitre III : MÉTHODOLOGIE ET MATERIAL.....</b>          | <b>18</b> |
| III 1.Préparation des échantillons.....                      | 18        |
| III 2-Appareil et matériel .....                             | 19        |
| <b>Chapitre IV : calculs.....</b>                            | <b>21</b> |
| IV 1. Les concentrations d'activité des radionucléides ..... | 21        |
| IV 2.Calcul de l'efficacité du détecteur DE.....             | 21        |

|   |           |
|---|-----------|
| IV.2-1 Exemple de puits .....                   | 21        |
| IV 2-2 calcule de l'efficacité. ....            | 21        |
| IV 3-Mesure radiométrique .....                 | 24        |
| <b>Chapitre V: Résultats et discussion.....</b> | <b>25</b> |
| V.1-concentration d'activité.....               | 25        |
| Discussion.....                                 | 29        |
| Conclusion.....                                 | 31        |
| Référence .....                                 | 32        |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I.1-</b> nucléides primordiaux .....  | 2  |
| <b>Tableau I.2-</b> quantité de radioactivité de différents fruits .....   | 3  |
| <b>Tableau II-1</b> coefficients d'atténuation linéaire et de masse de NaI et Al.....  | 20 |
| <b>Tableau III-1</b> : Les catégories d'aliments des échantillons de fruits.....   | 23 |
| <b>Tableau IV-1</b> : calcul de l'efficacité.....  | 28 |
| <b>Tableau V-1:</b> Concentration d'activité de certains radionucléides dans les fruits utilisés...31                              |    |
| <b>Tableau V-2</b> : la moyenne des concentrations d'activité (Bq/Kg) des radionucléides dans les fruits.....                      | 32 |
| <b>Tableau V-3</b> : comparaison de la concentration d'activité des radionucléides naturels dans les fruits à différents pays..... | 33 |
| <b>Tableau V-4</b> : facteur de conversion de la dose efficace comptez par ingestion du nucléide (nSv/Bq) .....                    | 34 |
| <b>Tableau V-5:</b> taux de consommation (kg /an).....   | 34 |
| <b>Tableau V-6:</b> dose efficace annuelle (mSv/an).....   | 34 |

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I.1</b> -chaîne radioactive naturelle de l'uranium 238.....   | 5  |
| <b>Figure I.2</b> -chaîne radioactive naturelle du thorium 232.....   | 7  |
| <b>Figure II.1</b> -schéma de l'effet photoélectrique.....  | 12 |
| <b>Figure II.2</b> -schéma de l'effet Compton.....  | 14 |
| <b>Figure II.3</b> -schéma de la création de paire e <sup>+</sup> /e <sup>-</sup> .....   | 14 |
| <b>Figure II-4</b> : Structure de bande d'énergie d'un scintillateur cristallin activé.....                                       | 16 |
| <b>Figure II-5</b> : Photomultiplicateur PMT .....  | 18 |
| <b>Figure IV-1</b> : Efficacité du détecteur 2x2 NaI (Tl).....  | 29 |
| <b>Figure V-1</b> : Addition de la dose efficace annuelle (mSv.an <sup>-1</sup> ) dans les fruits par tous les groupes d'âge..... | 35 |



## **Abréviations**

**AIEA** : Agence Internationale de l'Énergie Atomique .

**ARSN** : Autorité nationale de Radioprotection, de Sûreté et de sécurité Nucléaire mauritanienne

**BDL** : below détection limit

**Bq** : Becquerel

**CCSN** : Commission Canadienne de Sûreté Nucléaire (Autorité de sûreté nucléaire du Canada)

**CIPR** : Commission Internationale de Protection Radiologique

**NORM** : Naturally Occurring Radioactive Materials (matières premières naturellement radioactives).

**UNSCEAR** : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Comité scientifique des Nations Unies sur les sources et effets des rayonnements ionisants)

**Sv** : Sievert (unité de dose équivalente et unité de dose efficace)

**mSv** : **milliSievert** (millième de Sievert)

**nSv** : **nanoSievert** (milliardième de Sievert)

## ملخص

في هذا العمل، أجريت دراسة شاملة لتحديد تراكيز النويدات المشعة المختلفة اليورانيوم 238 الثوريوم 232 والبوتاسيوم 40 للفواكه المستوردة المستهلكة في الجزائر تقاس باستخدام التحليل الطيفي غاما وتحديد الجرعة الفعالة السنوية بالنسبة للرضع الاطفال والبالغين.

وأظهرت النتائج أن متوسط النشاط في العينات كانت علي التوالي 1.37 3.17 0.92 بيكريل/كغ في الفاكهة 1 و 2.37 9.47 2.56 بيكريل/كغ بالنسبة للفاكهة 2 ، و 3.09،7.40،4.01 بيكريل/كغ بالنسبة للفاكهة 3

بينما يقدر متوسط الجرعة الفعالة السنوية في عينات من الفاكهة للبالغين والأطفال (10 سنة) والرضع 0.47 0.54 0.40 ميلي سيفرت/سنة و 0.68 0.90 0.80 ميلي سيفرت بالنسبة للفاكهة 2 و 0.64 0.85 0.73 بالنسبة للفاكهة 3 . تم العثور علي النشاط جرعة اقل من المستوي الموصي به دوليا هذا يدل علي ان الفاكهة المستهلكة في الجزائر لن تدخل أي تأثير اشعاعي كبير علي السكان.

كلمات البحث: تركيز آخر، مطابف جاما والجرعة الفعالة السنوية والفواكه

## Résumé

Dans le présent travail, une étude approfondie a été réalisée pour la détermination de différentes activités de radionucléides  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , dans les fruits importés consommés en Algérie mesurée à l'aide de la spectrométrie gamma. et déterminé la dose efficace annuelle pour chaque échantillons pour adulte, enfants et nourrissons.

Les résultats montrent que les activités moyennes dans les échantillons dans les fruits pour  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  et  $^{40}\text{K}$  étaient respectivement de 1.37 , 3.17 , et 0.92 Bq kg<sup>-1</sup> pour F1 , et 2.37,9.47,2.56 Bq Kg<sup>-1</sup> pour F2 respectivement, et 3.09,7.40,4.01 Bq Kg<sup>-1</sup> pour F3 respectivement, Tandis que la dose efficace moyenne annuelle pour adultes, enfants et nourrissons est estimée à 0.47, 0.54 ,0.40 mSv an<sup>-1</sup>, et 0.80,0.90,0.68 mSv an<sup>-1</sup> pour F2 ,et 0.73,0.85,0.64 mSv an<sup>-1</sup> respectivement.

la dose de l'activité se sont révélés inférieurs au niveau internationalement recommandé. Cela indique que les fruits consommés en Algérie n'entraient aucun impact radiologique important sur la population.

Les valeurs trouvées pour une activité spécifique et la dose efficace annuelle dans tous les échantillons dans cette étude étaient inférieures aux valeurs médianes mondiales pour tous les groupes selon UNSCEAR (2000) et ICRP (1996) respectivement.

Mots-clés : Concentration d'activité, spectrométrie gamma, dose efficace annuelle, fruits.

## ABSTRACT

In the present work, an in-depth study was carried out for the determination of various activities of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  radionuclide in imported fruits consumed in Algeria as measured by gamma spectrometry and determined the annual effective dose

The results show that the mean specific activities in fruit samples for  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  were respectively 1.37, 3.17, and 0.92 Bq kg<sup>-1</sup> for F1 , and 2.37,9.47,2.56 Bq Kg<sup>-1</sup> for F2 respectively , And 3.09,7.40,4.01 Bq Kg<sup>-1</sup> for F3 respectively, whereas the mean annual effective is estimated at 0.47,0.54,0.40 mSv y<sup>-1</sup> for F1 respectively, and 0.80,0.90,0.68 mSv y<sup>-1</sup> for F2 respectively and 0.73,0.85,0.64 mSv y<sup>-1</sup> for F3 respectively.

The dose of activity was lower than the internationally recommended level. This indicates that the fruit consumed in Algeria would not entail any significant radiological impact on the population.

The values found for a specific activity and the annual effective dose in all samples in this study were lower than the global median values for all groups according to UNSCEAR (2000) and ICRP (1996), respectively.

Keywords: Activity concentration, gamma spectrometry, effective dose, fruit.



## Introduction générale

En 1896 la radioactivité fut découverte par Henri Becquerel, lors de son travail sur les phénomènes de fluorescence des sels d'uranium (1852-1908). Cependant, les trois radioactivités  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  ont été découvertes après le travail de Marie Curie (1867-1934), Pierre Curie (1859-1906) et Ernest Rutherford (1871-1937), la radioactivité fut par la fission qui est un phénomène physique naturel due à la désintégration d'un atome instable en deux atomes plus stables avec une libération d'énergie. [1]

Les radio-isotopes à vie longue  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  et  $^{40}\text{K}$  et leurs produits de filiation présentent naturellement dans toutes les formations terrestres. Technologies nucléaires et des produits industriels et des sous-produits peuvent ajouter aux radiations terrestres, ce qui rend la terre une source de radiations de fond où tous les êtres vivants sont exposés et soumis à leurs conséquences d'absorption. Il est un fait établi que la radioactivité pourrait être transférée à l'homme par la chaîne alimentaire. La connaissance détaillée de la présence de radioactivités dans le sol, matériaux de construction, et de la nourriture.

Les plantes sont les principaux bénéficiaires de la contamination radioactive dans une chaîne alimentaire. La végétation peut faire l'objet d'une contamination directe et indirecte. La contamination directe de la végétation terrestre se réfère au dépôt de matières radioactives dans l'atmosphère sur les parties de plantes hors-sol. Contamination indirecte se réfère à l'absorption des radionucléides à partir du sol par le système racinaire des plantes. [2]

Cette étude vise à étudier la radioactivité dans les fruits importés consommés aux Algérie en utilisant un système spectroscopique gamma comprenant un détecteur de type de puits NaI(Tl).

Les objectifs généraux de ce travail sont les suivants:

- pour mesurer les concentrations d'activités dans les fruits importés consommés dans le pays, puis de les comparer avec différents pays du monde.
- pour estimer la dose de rayonnement à partir de la consommation de fruits importés.

# **Chapitre I**

## **Substances radioactives naturelles**

## I-1 Substances radioactives naturelles (NORM)

Tous les matériaux contiennent des radionucléides d'origine naturelle, il a été souligné par plusieurs intervenants qu'il est nécessaire de faire la distinction entre les quelques -uns qui nécessitent une attention réglementaire et la grande majorité qui ne le font pas. Le fait que NORM est un acronyme pour « matières radioactives d'origine naturelle » a conduit à une tendance dans certains milieux pour tous les minéraux considérés comme NORM, avec l'implication erronée qu'ils étaient donc tous radiologiquement dangereux et nécessitant un contrôle réglementaire.[3]

## I-2 Sources des matières radioactives naturelles

### I 2-1 Expositions aux rayonnements cosmiques

Les rayons cosmiques sont des particules chargées d'énergie, qui empiètent sur la terre de toutes les directions. La majorité des rayons cosmiques sont des particules de noyaux atomiques, mais ils incluent également des électrons, des positons et autres particules subatomiques. Parmi les radionucléides cosmogoniques  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  [5]

### I-2-2 Exposition aux rayonnements terrestres

La composition de la croûte terrestre est une source importante de rayonnement naturel. Les facteurs contributifs dominants sont les gisements naturels d'uranium, de thorium et de potassium avec le processus de désintégration naturelle soit par une émission de rayonnement  $\alpha$  ou  $\beta$  suivie souvent d'une décroissance  $\gamma$ . [4]

**Tableau I.1-nucléides primordiaux [6]**

| Nucléide     | Symbole           | Demi-vie (ans)       |
|--------------|-------------------|----------------------|
| Uranium 238  | $^{238}\text{U}$  | $4.5 \cdot 10^9$     |
| Uranium 235  | $^{235}\text{U}$  | $7.13 \cdot 10^8$    |
| Thorium 232  | $^{232}\text{Th}$ | $1.39 \cdot 10^{10}$ |
| Radium 226   | $^{226}\text{Ra}$ | $1.6 \cdot 10^3$     |
| Radon 222    | $^{222}\text{Rn}$ | $10^{-2}$            |
| Potassium 40 | $^{40}\text{K}$   | $1.3 \cdot 10^9$     |

### I-3 Radioactivité alimentaire

La radioactivité naturelle des aliments provient principalement d'isotopes naturels de produits dérivés du potassium, de l'uranium et du thorium. La majorité des radionucléides dans l'environnement sont présents sous la forme de produits dérivés d'isotopes  $^{238}\text{U}$  et  $^{232}\text{Th}$  répartis par des processus géologiques et géochimiques naturels, en plus des  $^{40}\text{K}$  et  $^{14}\text{C}$  naturel non apparentés. [7,8]

**Tableau I-2** quantité de radioactivité de différents fruits [9]

| Fruits   | $^{226}\text{Ra}$ (Bq Kg <sup>-1</sup> ) | $^{232}\text{Th}$ (Bq Kg <sup>-1</sup> ) | $^{40}\text{K}$ (Bq Kg <sup>-1</sup> ) | $^{137}\text{Cs}$ (Bq Kg <sup>-1</sup> ) |
|----------|--|--|--|--|
| Poire    | BDL                                      | 1.96                                     | 13.62                                  | BDL                                      |
| Coing    | 2.81                                     | 1.14                                     | 23.01                                  | 0.64                                     |
| raisins  | BDL                                      | 0.26                                     | 1.34                                   | BDL                                      |
| pastèque | BDL                                      | BDL                                      | 34.44                                  | BDL                                      |
| pomme    | 0.73                                     | 1.04                                     | 4.04                                   | BDL                                      |

### I-4 Les radioéléments naturels

#### I-4-1 Radioéléments naturelle primaire

Ce sont des radioéléments instables caractérisés par une demi-vie assez longue pour leur permettre d'avoir subsisté à l'état naturel depuis la formation de la terre jusqu'à nos jours.

##### a) Famille de l'uranium ( $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ )

L'élément père l'uranium 238, il se désintègre naturellement dans le plomb 206, avec une période de 4,5 milliards d'années après 14 transmutations dont 8 transmutations alpha et 6 béta. [11]

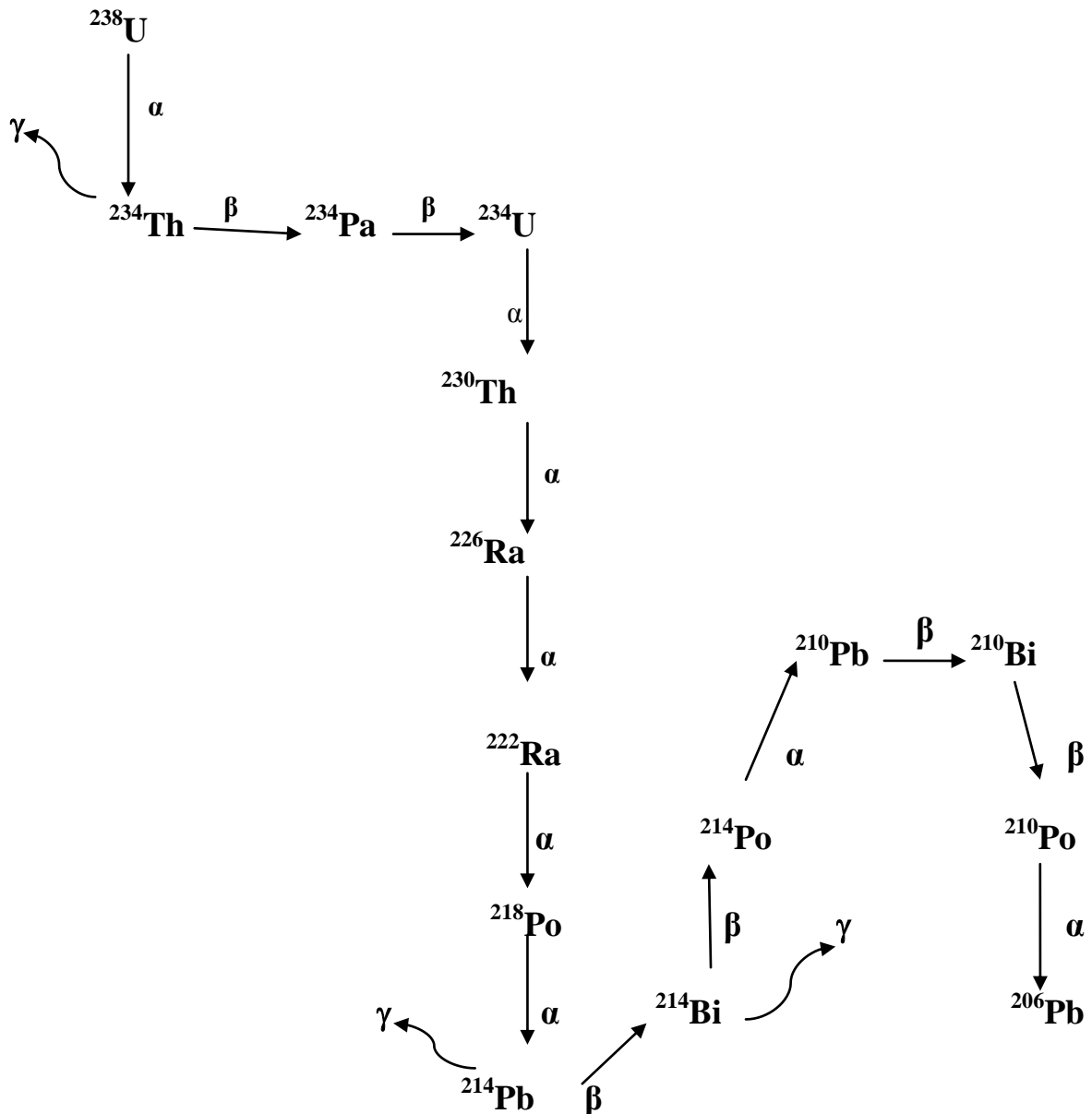


Figure I.1 chaîne radioactive naturelle de  $^{238}\text{U}$  [12]

### b) Famille de l'actinium ( $^{235}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}$ )

Cette famille commence par  $^{235}\text{U}$  de période égale à 7.108 ans, le produit final stable est l'isotope  $^{207}\text{Pb}$  [11].



c) Famille du thorium ( $^{232}\text{Th}$ - $^{208}\text{Pb}$ )

Le premier élément de cette série est le  $^{232}\text{Th}$  dont la demi-vie est égale à  $1.39 \cdot 10^{10}$  ans, le dernier élément est l'isotope stable de  $^{208}\text{Pb}$  [11]

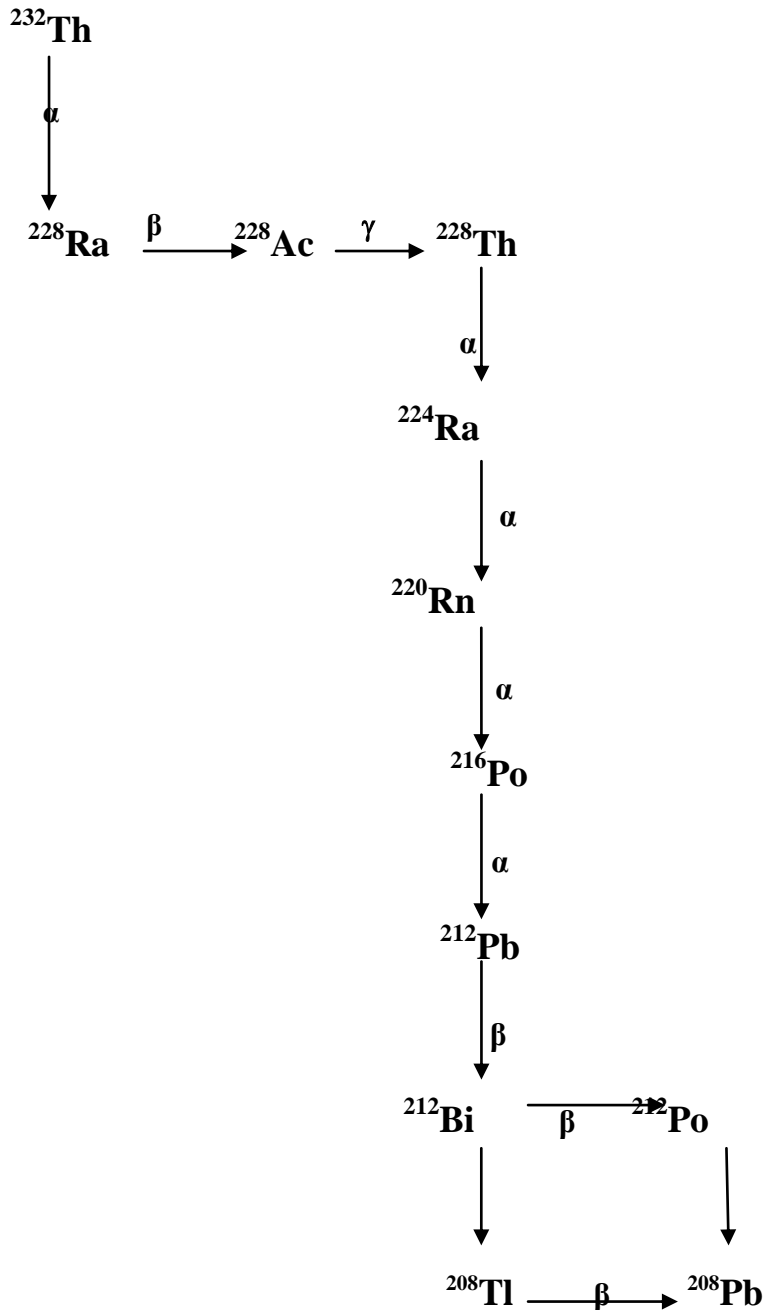


Figure I.2 chaîne radioactive naturelle du  $^{232}\text{Th}$  [12]

**d) Le potassium  $^{40}\text{K}$** 

Le potassium naturel est formé par trois isotopes de masses 39, 40, 41, l'isotope 40 est le moins abondant de trois: 0,0118%. Il se désintègre en deux produits: le calcium 40 est un gaz rare, l'isotope 40 de l'argon. [12]

**I-5 Les effets de NORM sur la santé**

Notre connaissance des effets de rayonnement provient principalement de groupes de personnes qui ont reçu des doses élevées. Le risque associé aux grandes doses de rayonnement est relativement bien établi. Cependant, les risques associés aux doses inférieures à environ 200 mSv sont moins évidents en raison de la grande sous-jacente incidence du cancer causée par d'autres facteurs. Les normes de protection contre les radiations supposent que toute dose des rayonnements, quelle que soit la taille, implique un risque possible pour la santé humaine. Cependant, disponibles les preuves scientifiques n'indiquent aucun risque de cancer ou effets immédiats à des doses inférieures à 100 mSv une année. À faible niveau d'exposition, les mécanismes de réparation naturels du corps semblent être adéquats pour réparer les dommages causés par les rayonnements aux cellules peu de temps après. [14]

# **CHAPITRE II**

## **Spectroscopie gamma**

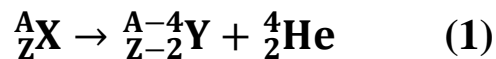
## Partie 1 : Le rayonnement gamma

### II-1-1 Rayonnement ionisant

Un rayonnement ionisant est une particule ou une onde électromagnétique dont l'énergie est suffisante pour arracher un électron à un atome ou à une molécule. Un rayonnement est considéré comme ionisant lorsque son énergie est supérieure ou égale à 10 Kev. Il existe plusieurs types de rayonnement ionisant : [4]

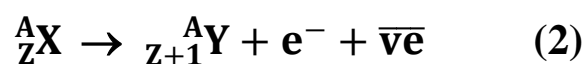
#### a) Rayonnement alpha ( $\alpha$ )

Noyaux lourds sont énergétiquement instables contre l'émission spontanée d'une particule alpha (Ou noyau  $^4\text{He}$ ). La probabilité de désintégration est régie par la pénétration de la barrière mécanique décrite dans la plupart des textes sur la physique nucléaire, et la demi-vie des sources utiles varie de quelques jours à plusieurs milliers d'années [15]. Le processus de désintégration est écrit de manière suivant :

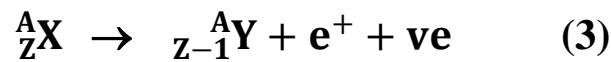


#### b) Rayonnement bêta ( $\beta$ )

Les particules bêta sont des électrons ou des positrons rapides qui résultent de la désintégration faible interaction d'un neutron ou proton dans les noyaux qui contiennent un excès de nucléons, un neutron peut se transformer en un proton par le processus : [15]



Lorsqu'un électron et antineutron sont émis, le noyau fille contient un proton supplémentaire maintenant de sorte que soit le nombre atomique est augmenté de 1 de même, dans les noyaux avec trop de protons de la désintégration [15]



Peut se produire où un positron et neutrino sont maintenant émis et le numéro atomique est diminué de 1 fois sont médiés par la même interaction faible. [15]

### c) Les rayonnements photon gamma ( $\gamma$ )

Comme la structure de l'armure électronique de l'atome, le noyau se caractérise également par des niveaux discrets d'énergie. Les transitions entre ces niveaux peuvent être réalisées par émission de rayonnement électromagnétique de l'énergie correcte, c'est-à-dire avec une énergie égale à la différence d'énergie entre les niveaux participant aux transitions des énergies de ces photons de quelques centaines de KeV à quelques MeV.

La plupart des sources gamma sont placées dans leurs états excités à la suite d'une désintégration bêta, bien que les états nucléaires excités soient souvent créés dans des réactions nucléaires, car les électrons et les positons sont plus facilement absorbés dans la matière. Les particules bêta dans de telles sources peuvent être filtrées par enveloppement avec un matériau absorbant suffisant, plus pénétrantes de rayons gamma. [15]

## II-1-2 Interaction photon-matière

Bien qu'un grand nombre de mécanismes d'interaction possibles sont connus pour les rayons gamma en la matière, seuls trois types principaux jouent un rôle important dans les mesures de rayonnement: photoélectrique l'absorption, la diffusion de Compton, et la production de paires. Tous ces processus conduisent à au le transfert partiel ou complet de l'énergie des photons gamma à énergie électronique. [19]

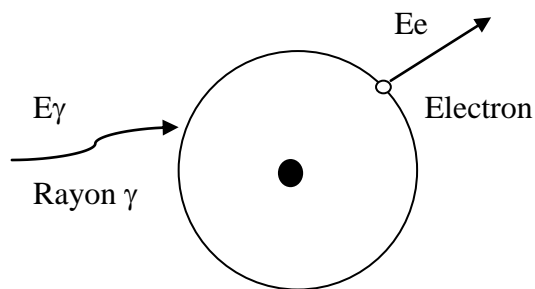
### a) L'effet photoélectrique

Dans le processus absorbant photoélectrique, un photon subit une interaction avec un atome d'absorbeur dans lequel le photon disparaît complètement. À sa place, un photoélectron énergétique est éjecté par l'atome d'une de ces coquilles attachées. L'interaction est avec l'atome dans l'ensemble ne peut pas et avoir lieu avec des électrons libres. Pour les rayons gamma d'énergie suffisante, l'origine la plus probable du photoélectron est la plus fermement attachée ou la coquille de K de l'atome. Le photoélectron apparaît avec une énergie donnée.

$$E_e = h\nu - E_b \quad (4)$$

Où  $E_b$  représente l'énergie de liaison du photoélectron dans sa coquille d'origine. Pour

Énergies de rayons gamma de plus de quelques centaines de KeV.[19]



**Figure II.1** schéma de l'effet photoélectrique [13]

### b) Diffusion Compton

Dans la dispersion de Compton, le photon de rayon gamma entrant est fait dévier par un angle  $\theta$  en ce qui concerne sa direction originale. Le photon transfère une partie de son énergie à l'électron (assumé pour être initialement au repos), qui est alors connu comme un électron de recul. Car tous les angles de dispersion sont possibles, l'énergie transférée à l'électron peut varier du zéro à une grande fraction de l'énergie de rayon gamma.

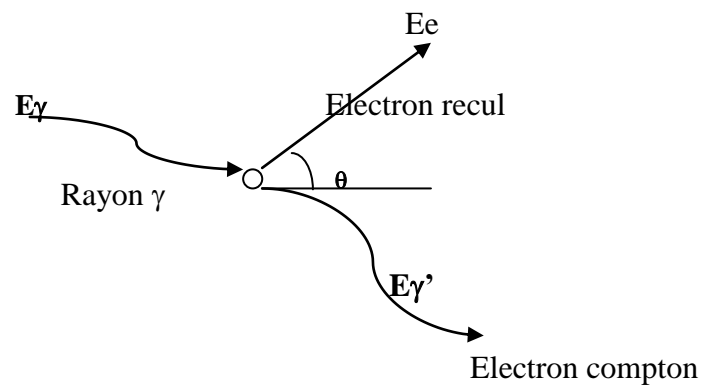
L'expression qui concerne le transfert d'énergie et l'angle de diffusion de toute donnée l'interaction peut simplement être obtenue en écrivant des équations simultanées pour la conservation de l'énergie. En utilisant les symboles définis dans le schéma ci-dessous

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \left(\frac{E_\gamma}{E_0}\right)(1 - \cos \theta)} \quad (5)$$

$\theta$ : L'angle de diffusion du photon  $\gamma$

La probabilité de diffusion Compton par atome de l'absorbeur dépend des électrons disponibles en tant que cibles de diffusion et donc augmentent linéairement avec nombre atomique Z. [19]

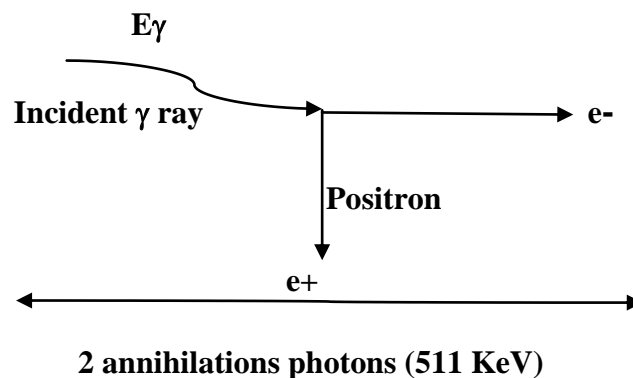
$$\sigma_{D.C} \propto \frac{Z}{E_\gamma} \quad (6)$$



**Figure II.2** Schéma de l'effet Compton [13]

### c) Production paires

Ce mécanisme d'interaction se produit dans le champ électrique intense à proximité des protons des noyaux dans le milieu d'absorption (détecteur) et correspond à la création d'une paire électron-positron au point d'anéantissement complet de l'incident de photons gamma. Pour que ce processus ait lieu, l'énergie des rayons gamma devrait dépasser deux fois l'énergie de masse reste de l'électron ( $1.022\text{MeV}$ ). Les deux positrons et d'électrons disparaissent et sont remplacés par deux photons d'annihilation de  $m_0c^2$  d'énergie ( $0,511\text{ MeV}$ ) chacun émis dos à dos [21]



**Figure II.3** Schéma de la création de paires  $e^+/e^-$  [13]

## Partie 2 : détection gamma

La détection gamma repose essentiellement sur l'interaction entre la matière et le rayonnement le but est converti cette interaction en un signal mesurable.

Détection des rayonnements ionisants par la lumière de scintillation produite dans certains matériaux est l'une des techniques les plus anciennes. Le processus de scintillation demeure l'une des méthodes utiles disponibles pour la détection et la spectroscopie d'un large assortiment de rayonnements. [23]

Le volume sensible d'un détecteur de scintillation est un matériau luminescent (un solide ou gaz) qui est vu par un dispositif sensible permettant de collecter les photons de scintillation ce dispositif généralement un tube photomultiplicateur ou photodiode. Les matériaux scintillateurs sont séparés en deux catégories :

**a) Scintillateurs organiques** : sous forme plastique anthracène, et liquides.

Caractérisés par une réponse très rapide sont généralement utilisés pour la spectroscopie et la détection de neutrons.

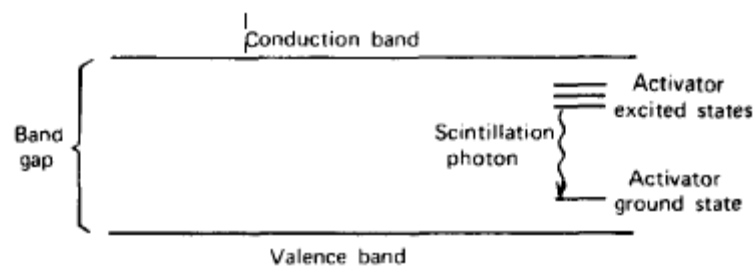
**b) Scintillateurs inorganiques** : sous forme de monocristaux possédant un rendement lumineux élevé et une meilleure efficacité, sont préférés pour la spectroscopie gamma.



Certains matériaux de scintillation inorganiques courants sont l'iodure de sodium (NaI) l'iodure de césium (CsI) le sulfure de zinc (ZnS) et de l'iodure de lithium (LiI). Sensibilité aux neutrons inférieurs emporte sur des considérations de résolution en énergie. [24,25]

## II 2-1 Scintillateur inorganique

Le mécanisme de scintillation dans des matériaux inorganiques dépend des états d'énergie spécifiée par le réseau cristallin du matériau. Les électrons ont disponibles seules bandes discrètes d'énergie dans les matériaux classés comme isolants ou semi-conducteurs. La bande inférieure, appelée la bande de valence, représente les électrons qui sont principalement liés sur les sites du réseau, ainsi que la bande de conduction représente les électrons qui ont convenablement énergie pour être libre de migrer à travers le cristal. Il existe une bande intermédiaire énergies, appelées la bande interdite, dans lequel les électrons ne peuvent jamais être trouvés dans le plus pur.



**Figure II.4** Structure de bande d'énergie d'un scintillateur cristallin activé [21]

Absorption d'énergie peut se traduire par l'élévation d'un électron à partir de sa position normale dans la bande de valence à travers l'espace dans la bande de conduction, ce qui laisse un trou dans la bande remplie de valence. Dans le cristal pur, le rendement de l'électron de la bande de valence avec l'émission d'un photon est un processus inefficace. En outre, largeurs de fente typiques sont de telle sorte que le photon résultant serait d'une énergie trop élevée pour se situer dans la gamme visible. [21]

### a) NaI(Tl)

En 1948, Robert Hofstadter ont montré que l'iodure de sodium cristallin, dans lequel une trace d'iodure de thallium a été ajouté dans la masse fondue, un produit exceptionnellement grand scintillation la sortie de lumière par rapport aux matières organiques qui ont déjà reçu primaire attention.

Cette découverte a marqué le début de l'ère moderne spectrométrie de scintillation de rayonnement gamma. Il est remarquable que le même matériau reste prédominant dans le domaine malgré des décennies de recherches ultérieures dans d'autres scintillations matériaux.[21]

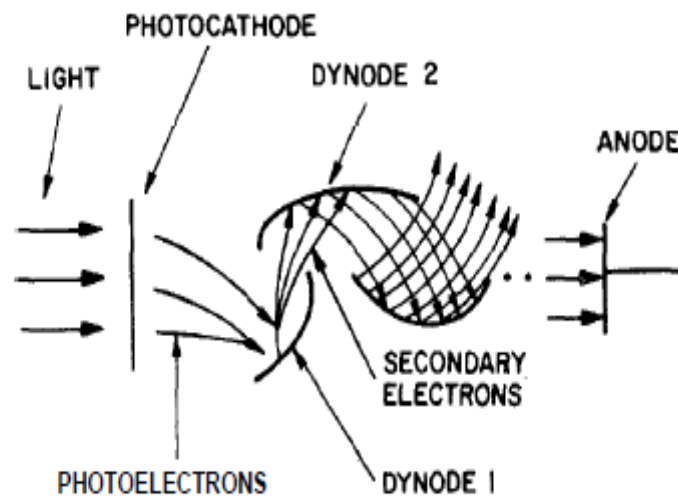
## II 2-2 Photomultiplicateur PMT

L'utilisation généralisée du comptage par scintillation dans la détection et la spectroscopie des rayonnements était impossible sans la disponibilité de périphériques pour convertir la sortie de lumière extrêmement faible d'une impulsion de scintillation dans un signal électrique correspondant. Le photomultiplicateur tube accomplit cette tâche remarquablement bien, en convertissant des signaux lumineux typiquement de pas plus de quelques centaines de photons dans une impulsion de courant utilisable sans ajouter une grosse quantité de bruit aléatoire au signal. [21]

### II-2-2-1 Principes de fonctionnement et construction

La figure II.5 montre les éléments:

- une photocathode qui se trouve à l'intérieur d'une enveloppe sous vide. Qui convertit le flux lumineux en flux d'électrons.
- un système d'entrée électronique-optique qui focalise et accélère le flux d'électrons.
- un multiplicateur d'électrons constitué d'une série d'électrodes d'émission secondaire c'est-à-dire un certain nombre d'électrons secondaires est émis à cette dynode pour chaque photoélectron primaire. Ces les électrons à leur tour sont dirigés vers une seconde dynode et ainsi de suite jusqu'à un gain final de Peut-être  $10^6$  est atteint.
- une anode qui collecte le flux d'électrons du multiplicateur et fournit le courant de signal qui est lu en dehors. [22]



**Figure II.5** photomultiplicateur tube et son fonctionnement [22]

## II 2-3 Coefficient d'atténuation d'un rayon gamma

Les rayons gamma ne possèdent pas de masse et de charge donc elles pénètrent dans le processus de matériaux, supérieure à la pénétration des particules  $\alpha$  et  $\beta$ . donc toutes les études de savoir les interactions avec la matière et dépendent du coefficient d'atténuation.

### II 2-3-1 Les coefficients d'atténuation

Chacun des processus d'interaction supprime le photon à partir du faisceau de rayons gamma soit par absorption ou par diffusion à une distance à partir de la direction du détecteur et peut-être caractérisé par une probabilité d'occurrence fixe par longueur de chemin unité dans l'absorbeur. La somme de ces probabilités est simplement la probabilité par la longueur du trajet de l'unité que le photon gamma est retiré du faisceau:

$$\mu_{\text{total}} = \mu(\text{photoélectrique}) + \mu(\text{compton}) + \mu(\text{production pair}) \quad (7)$$

Et est appelé le coefficient d'atténuation linéaire, le rapport entre l'intensité du faisceau transmis  $I$  et celle du faisceau incident  $I_0$  est [19]

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (8)$$

**a) Le coefficient d'atténuation linéaire**

Atténuation linéaire coefficient ( $\mu_L$ ) est la fraction de photons incidents atténués par unité d'épaisseur d'un matériau. Elle représente la fraction de photons retirés d'un faisceau mono-énergétique par unité d'épaisseur de matériau. Son complément est la partie transmise du faisceau. Il est exprimé numériquement en unités de 1 / cm. [26]

**b) Le coefficient d'atténuation massique**

Le coefficient d'atténuation de masse est une normalisation du coefficient d'atténuation linéaire par densité unitaire d'une matière produisant une valeur qui est constante pour un élément donné. [26]

$$\mu_m = \mu_L / \rho \quad (9)$$

Si l'absorbeur est un composé chimique ou un mélange, son coefficient d'atténuation massique ne peut être évaluée à partir des coefficients environ pour les éléments constitutifs moyenne

Pondérée on utilise l'équation: [16]

$$\mu_m = \sum \mu_i w_i \quad (10)$$

D'après les études précédentes qui utilisent la théorie et les tableaux des coefficients d'atténuation du rayon gamma et ont comparé entre eux, alors le calcul de ces coefficients (de la masse et linéaire) en employant la formule supérieure d'addition, et prenant la valeur moyenne pour chaque énergie de rayonnement gamma en tant que montre le tableau suivant:

**Tableau II-1** coefficients d'atténuation linéaire et de masse de NaI et Al [17]

| Radio-isotopes              | Gamma energy, keV | Probabilité | w1 = 0.153 | w2 = 8.146 | $\mu m = \sum \mu_i w_i$ | reference (NIST) | $\mu m$ (NaI) average | $\mu l(\text{NaI}) = \mu m \rho = 3.67 \text{ g/cm}^3$ | $\mu l$ (NaI) for low energy from reference | $\mu l(\text{Al}), \text{cm}^{-1}$ (NIST) | $\mu l(\text{Al}), \text{cm}^{-1}$ average |
|-----------------------------|-------------------|-------------|------------|------------|--------------------------|------------------|-----------------------|--|---|---|--|
| (A) <sup>238</sup> U parent |                   |             |            |            |                          |                  |                       |  |   |   |  |
| Ra-226                      | 186.10            | 3.50        | 0.12       | 0.50       | 0.42                     | 0.43             | 0.42                  | 1.54   | 1.45  | 0.34                                      | 0.34                                       |
|                             | 241.98            | 7.12        | 0.11       | 0.25       | 0.22                     | 0.28             | 0.25                  | 0.90   | 0.86  | 3.10                                      | 3.10                                       |
|                             | 295.21            | 18.15       | 0.10       | 0.16       | 0.1486                   | 0.153            | 0.151                 | 0.55   | 0.63  | 0.29                                      | 0.29                                       |
|                             | 351.92            | 3.51        | 0.10       | 0.13       | 0.12                     | 0.13             | 0.12                  | 0.45   | 0.48  | 0.26                                      | 0.26                                       |
|                             | 609.31            | 44.10       | 0.77       | 0.079      | 0.08                     | 0.078            | 0.077                 | 0.28   |   | 0.21                                      | 0.21                                       |
|                             | 768.63            | 4.76        | 0.07       | 0.07       | 0.07                     | 0.068            | 0.068                 | 0.25   |   | 0.19                                      | 0.19                                       |
| Pb-214                      | 295.10            | 19.24       | 0.10       | 0.16       | 0.15                     | 0.153            | 0.149                 | 0.55   | 0.63  | 0.29                                      | 0.28                                       |
|                             | 325.00            | 37.20       | 0.09       | 0.145      | 0.13                     | 0.14             | 0.14                  | 0.51   | 0.53  | 0.28                                      | 0.27                                       |
|                             | 351.93            | 35.34       |            |            |                          |                  |                       |  |   |   |  |
| Bi-214                      | 609.30            | 46.36       | 0.08       | 0.079      | 0.08                     | 0.078            | 0.077                 | 0.28   |   | 0.21                                      | 0.21                                       |
|                             | 1764.5            | 15.80       | 0.05       | 0.04       | 0.042                    | 0.043            | 0.043                 | 0.16   |   | 0.13                                      | 0.13                                       |
|                             | 1120.3            | 15.10       | 0.06       | 0.053      | 0.05                     | 0.051            | 0.051                 | 0.19   |   | 0.16                                      | 0.16                                       |
| U-235                       | 185.70            | 57.25       | 0.13       | 0.51       | 0.44                     | 0.425            | 0.430                 | 1.58   | 1.46  | 0.35                                      | 0.35                                       |
|                             | 142.70            | 10.96       | 0.128      | 0.60       | 0.51                     | 0.516            | 0.510                 | 1.87   | 2.40  | 0.39                                      | 0.39                                       |

| 232Th parent |        |       |       |       |        |       |       |       |      |       |       |
|--------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Ac-228       | 338.30 | 11.40 | 0.09  | 0.15  | 0.137  | 0.140 | 0.139 | 0.51  | 0.50 | 0.27  | 0.27  |
|              | 911.20 | 27.70 | 0.07  | 0.06  | 0.06   | 0.062 | 0.06  | 0.22  |      | 0.17  | 0.17  |
|              | 969.80 | 5.20  | 0.10  | 0.06  | 0.056  | 0.059 | 0.058 | 0.213 |      | 0.171 | 0.171 |
| Bi-212       | 727.00 | 11.80 | 0.08  | 0.072 | 0.071  | 0.071 |       | 0.26  |      | 0.197 | 0.193 |
| Pb-212       | 115.18 | 0.62  | 0.15  | 1.80  | 1.49   | 1.50  | 1.49  | 5.49  | 4.30 | 0.43  | 0.43  |
|              | 300.09 | 3.40  | 0.10  | 0.16  | 0.15   | 0.153 | 0.15  | 0.55  | 0.60 | 0.29  | 0.28  |
|              | 238.60 | 43.60 | 0.12  | 0.15  | 0.22   | 0.19  | 0.20  | 0.75  | 0.87 | 0.29  | 0.30  |
| Tl-208       | 583.20 | 84.50 | 0.079 | 0.080 | 0.07   | 0.08  | 0.08  | 0.28  |      | 0.22  | 0.22  |
|              | 2651.0 | 99.79 | 0.04  | 0.04  | 0.037  | 0.038 | 0.038 | 0.14  |      | 0.05  | 0.05  |
| Ra-228       | 338.32 | 11.26 | 0.10  | 0.15  | 0.137  | 0.140 | 0.139 | 0.51  | 0.50 | 0.27  | 0.27  |
|              | 911.07 | 26.60 | 0.06  | 0.06  | 0.059  | 0.062 | 0.060 | 0.22  |      | 0.18  | 0.18  |
|              | 969.11 | 16.23 | 0.06  | 0.058 | 0.056  | 0.059 | 0.058 | 0.21  |      | 0.17  | 0.17  |
| (C)          |        |       |       |       |        |       |       |       |      |       |       |
| Co-60        | 1173.0 | 100.0 | 0.06  | 0.055 | 0.053  | 0.054 | 0.053 | 0.20  |      | 0.16  | 0.16  |
| Co-60        | 1332.0 | 100.0 | 0.05  | 0.05  | 0.05   | 0.050 | 0.049 | 0.18  |      | 0.15  | 0.15  |
| Cs-134       | 604.70 | 97.10 | 0.08  | 0.079 | 0.76   | 0.08  | 0.078 | 0.29  |      | 0.21  | 0.21  |
|              | 795.50 | 85.40 | 0.07  | 0.065 | 0.0649 | 0.065 | 0.065 | 0.24  |      | 0.18  | 0.18  |
| Cs-137       | 661.60 | 85.00 | 0.07  | 0.08  | 0.07   | 0.075 | 0.07  | 0.27  |      | 0.19  | 0.19  |
| (D) K-40     | 1460.8 | 10.66 | 0.050 | 0.045 | 0.0384 | 0.042 | 0.04  | 0.146 |      | 0.14  | 0.14  |

# **Chapitre III**

## ***Méthodologie et matériels***

### III-1 Préparation des échantillons

Ce travail met l'accent sur les fruits importés consommés par le public général. Les trois échantillons de fruits ont été utilisés présentés dans (le tableau III-1).

**Tableau III-1** les échantillons de fruits utilisés

| Echantillons | Fruits | Société commerciales de importe et exporte | Pays d'origine |
|--------------|--------|--|----------------|
| 1            | Kiwi   | KIWIFRUIT                                  | Italie         |
| 2            | Banane | FORBEST                                    | Ecuador        |
| 3            | Pomme  | MARLENE SUDTROL                            | Italie         |

Les échantillons ont été nettoyés à l'eau normale et découpés en tranches.

Ensuite, ils ont été maintenus exempt d'humidité avant la mesure de la radioactivité dans un four pendant (2-4) jours à une température de 42-44 ° C afin d'atteindre un poids constant et éviter toute adsorption d'humidité. [28]



Ensuite, les échantillons ont été broyés par voie électronique, en utilisant moulin électrique pour l'homogénéité, puis ont été tamisés.



Les échantillons ont été emballés dans des béciers qu'il est Marinelli volume constant, pour atteindre une bonne homogénéité autour du détecteur NaI (TI).

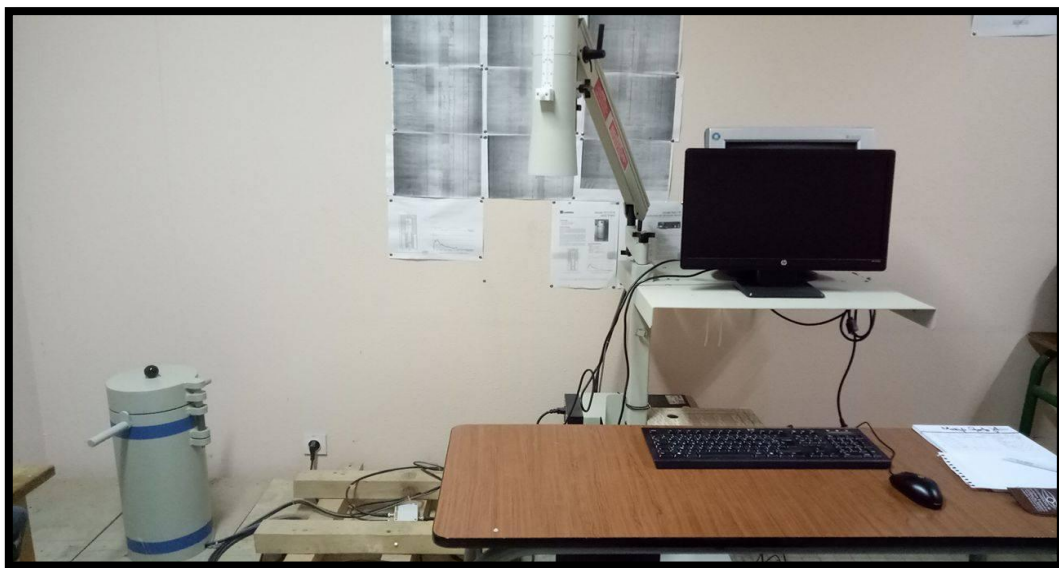
À la fin, les béciers ont été stockés pendant environ 1 mois avant de mesurer, pour permettre un équilibre séculaire à étudier entre  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{222}\text{Rn}$ . [28]

### III-2 Appareil et matériel

Le matériau utilisé dans cette étude est NaI (TI) 2x2 détecteur de scintillation de type (Canberra) avec le système complet de spectrométrie gamma qui existent dans Spectrochimie et Laboratoire de structure pharmacologie, Département de chimie, Faculté des Sciences, Université de Tlemcen, Algérie. [31]

Le tube à essai a été mis à vide dans le détecteur NaI(TI)) pour évaluer la radioactivité provient par le rayonnement au fond, ou plus ordinairement appelé le « background ».

À l'aide du programme qui appelait Génie 2000, nous commençons le processus



Le temps de mesure est compté 24 heures ou de 86 400 secondes. A la fin de cette période, le spectre correspondant est enregistré dans le PC connecté.

Nous prendre les énergies de certains radionucléides et nous notons les frappes afin de calculer la concentration de radioactivité.

Pour chaque nouvelle pesée, on a pris les mesures des rayons gamma avec le tube à vide, et ensuite avec les deux échantillons

.

# **Chapitre IV**

## **Calculs**

## IV-1 Les concentrations d'activité des radionucléides

Les concentrations d'activité dans des échantillons il a été calculé en utilisant l'équation [30] :

$$A = \frac{N}{P\gamma.\varepsilon(E).t.m} \quad (11)$$

A : Activité en Bq. Kg<sup>-1</sup>

N : taux de comptage ajusté

t : Temps de comptage en seconde

$\varepsilon(E)$  : Efficacité d'absorption totale pour une raie d'énergie E

$P\gamma$ : Probabilité d'émission  $\gamma$  de la raie d'énergie E

m : masse de l'échantillon mesuré en Kg

D'abord, nous utilisons nos valeurs des coefficients d'atténuations précédentes (**Tableau II-1**) pour déterminer l'efficacité de détecteur NaI (Tl) 2x2 pour chaque ligne d'énergie.

## IV-2 Calcule de l'efficacité du détecteur DE

Il y a trois facteurs, G, I et M , qui affectent l'absorption efficace des photons émis par la source. Leur produit est efficacité du détecteur :

$$DE = G \times I \times M \quad (12)$$

G : Fraction de l'espace que subit le détecteur. À moins que le détecteur entoure complètement la source, le facteur d'angle géométrique solide est inférieur à 1.

I : Fraction des photons transmis par les matériaux intermédiaires qui atteignent la surface du détecteur.

M : Fraction des photons absorbés par le détecteur. Le matériau du détecteur n'est pas toujours suffisamment épais pour arrêter le rayonnement.

### IV-2-1 Exemple de puits

Dans notre détecteur de puits, l'échantillon placé dans le trou du détecteur, nous avons une conception spécifique pour faire face à ces fractions. Les dimensions de 2x2 NaI détecteur (Tl) ont un diamètre de 2 pouces à 2 pouces de hauteur (cristal) et un diamètre de 0,75 pouce

par 1,44 pouce de profondeur bien (trou), ses propriétés de bien-détecteur de la fraction précédente sont considérées comme suit :

Pour calculer la fraction de l'espace non sous-tendu puis soustraire cette valeur de 1 pour obtenir la fraction G sous-tendu. La fraction non sous-tendue est la surface du trou d'un diamètre de 0,75 pouce à l'extrémité du puits à une distance de 1,44 pouce. Les efficacités (absolues) totaux pour un cylindre droit et un puits de type sont présentés en fonction de la position de la source et l'énergie des photons. Lorsque les sources sont situées sur la surface, les rendements totaux de photons de faible énergie sont de 0,5 et  $\sim 1$ , respectivement. Cela signifie que chaque événement de photon sur le détecteur produit une impulsion de sortie en tenant compte des angles solides des deux géométries ( $2\pi$  de cylindre droit, et près de  $4\pi$  pour le type puits), quelle que soit l'énergie déposée.

$$1-G = (\pi r^2) / (4\pi R^2) \quad (13)$$

$\pi r^2$  = Zone de trou face du détecteur, et  $4\pi R^2$  = Zone de sphère ayant un rayon égal à la distance depuis la source vers le trou.

$$1 - G = (\pi \times 0,375 \text{ pouce} \times 0,375 \text{ pouce}) / (4 \times \pi \times 1,44 \text{ pouce} \times 1,44 \text{ pouce}) = 0,017 \text{ et } G = 0,983$$

Ce détecteur ou sous-tendu 98% interception de tout l'espace, le grand avantage de la géométrie est bien, bien sûr, le grand angle solide ( $\sim 4\pi$  sr), ce qui conduit à un rendement élevé. Pour calculer I, nous avons

$$I = \exp^{-(\mu \times d)} \mu \quad (14)$$

$\mu = 0.7 \text{ cm}^{-1}$ , le coefficient d'atténuation

$d = 0.025 \text{ cm}$  (0.010 pouce), l'épaisseur de récipient d'aluminium

$$I = (0.983)$$

La fraction des photons absorbés par le détecteur M est calculée en soustraction de la fraction qui passe à travers le détecteur à partir de 1.

$$M = 1 - \exp^{-(\mu \times d)} \mu \quad (15)$$

$\mu$  : Coefficient d'atténuation linéaire pour rayons gamma en NaI (cristal)

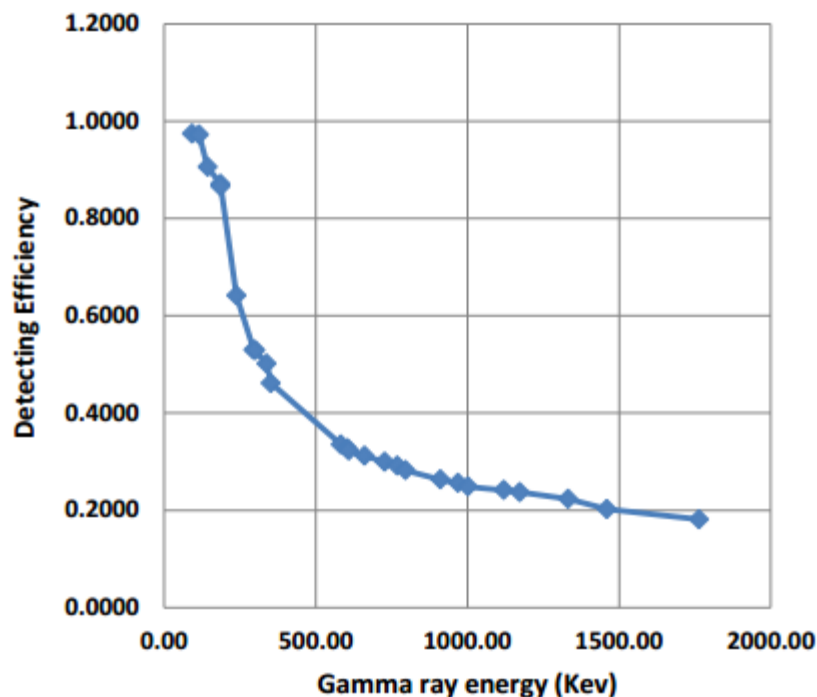
d : 1.422 cm (0,56 pouce), la distance minimale parcourue en NaI (TI) au fond du puits. [31]

#### IV- 2-2 calculs de l'efficacité

Les calculs de l'efficacité du notre détecteur pour chaque énergie gamma donne ce tableau :

**Tableau IV-1 : calculs de l'efficacité [17]**

| Radio nucléides | Séries désintégration | Energie de Photopic | I      | M      | G     | DE      |
|-----------------|-----------------------|---------------------|--------|--------|-------|---------|
| Ra226           | Bi214                 | 609.3               | 0,9948 | 0,3297 | 0.983 | 0,3224  |
|                 |                       | 1120.3              | 0,9961 | 0,2336 | 0.983 | 0, 2287 |
|                 |                       | 1764.5              | 0,9969 | 0,2015 | 0.983 | 0,1974  |
|                 | Pb214                 | 295.2               | 0,9930 | 0,4088 | 0.983 | 0,5771  |
|                 |                       | 325                 | 0,9932 | 0,4706 | 0.983 | 0,5169  |
| Th232           | Pb212                 | 238.6               | 0,9925 | 0,2919 | 0.983 | 0,6909  |
|                 | Ac228                 | 338.3               | 0,9934 | 0,4843 | 0.983 | 0,5036  |
|                 |                       | 911.6               | 0,9957 | 0,7312 | 0.983 | 0,2630  |
|                 |                       | 969.1               | 0,9957 | 0,7385 | 0.983 | 0,2559  |
|                 | Tl208                 | 583                 | 0,9946 | 0,6527 | 0.983 | 0,3395  |
|                 |                       | 2614                | 0,9987 | 0,8187 | 0.983 | 0,1779  |
|                 | Bi212                 | 727                 | 0,9950 | 0,6942 | 0.983 | 0,2991  |
| K40             |                       | 1460.8              | 0,9966 | 0,8114 | 0.983 | 0,1848  |
| Cs 137          |                       | 661.7               | 0,9951 | 0,6811 | 0.983 | 0,3119  |
| Co 60           | 1173.2                |                     | 0,9961 | 0,7581 | 0.983 | 0,2369  |
|                 | 1332.5                |                     | 0,9964 | 0,7718 | 0.983 | 0,2235  |
| U235            | 143.8                 |                     | 0,9904 | 0,0699 | 0.983 | 0,9055  |
|                 | 163.33                |                     | /      | /      | 0.983 | /       |
|                 | 185.7                 |                     | 0,9914 | 0,1065 | 0.983 | 0,8708  |



**Figure IV-1** Efficacité du détecteur 2x2 NaI (Tl) [17]

### IV 3-Mesure radiométrique :

ce système a été effectué de nombreux travaux en utilisant ce calcul de l'efficacité du comptage des isotopes radioactifs naturels toute analyse de  $^{40}\text{K}$  était basée sur son seul pic de 1460,8 KeV, alors que l'analyse des  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{232}\text{Th}$  dépendait des pics des produits fille en équilibre avec leurs nucléides parents, la concentration de  $^{226}\text{Ra}$  doit être déterminée à partir des concentrations moyennes de  $^{214}\text{Pb}$  (295.10, et 352keV) pour  $^{214}\text{Bi}$  (609, 1120, et 1765keV), et celle de  $^{232}\text{Th}$  a été déterminée à partir des concentrations moyennes de  $^{212}\text{Pb}$  (238 KeV),  $^{208}\text{Tl}$  (583.20, 2615keV),  $^{212}\text{Bi}$  (727.00 KeV) et  $^{228}\text{Ac}$  (338.3 , 911.20, 969.80 KeV) dans chaque échantillon à l'étude.[31]

# **Chapitre V**

## **Résultats et discussions**



**V-1 Concentration d'activité**

Pour calculs de concentration d'activité de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{40}\text{K}$  on applique la relation précédente (11) et on obtient ce tableau :

**Tableau V-1** Concentration d'activité de certains radionucléides dans les fruits utilisés

| Radionucléide | Série de désintégration | Photo électrique énergie | Concentration F1 (Bq. Kg <sup>-1</sup> ) | Concentration F2 (Bq. Kg <sup>-1</sup> ) | Concentration F3 (Bq. Kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------|-------------------------|--------------------------|--|--|--|
| <b>U238</b>   | <b>Bi-214</b>           | <b>609</b>               | 0,85285981                               | 0,29722602                               | 0,37083019                               |
|               |                         | <b>1120.3</b>            | 0  | 2.36810669                               | 3,08883481                               |
|               |                         | <b>1764.5</b>            | 0,37912978                               | 0.82144787                               | 0,41209759                               |
|               | <b>Pb-214</b>           | <b>295.2</b>             | 1,36460439                               | 0.9286891                                | 0,66746954                               |
|               |                         | <b>351.9</b>             | 0,62808705                               | 0.75432023                               | 0,56222626                               |
| <b>Th-232</b> | <b>Pb-212</b>           | <b>238.6</b>             | 3,16888357                               | 2.54967644                               | 4,63217614                               |
|               | <b>Ac-228</b>           | <b>338.3</b>             | 1,7924451                                | 9.46447519                               | 7,40030312                               |
|               |                         | <b>911.6</b>             | 0,82614082                               | 0.63549294                               | 0,20722596                               |
|               |                         | <b>969.1</b>             | 0,72845782                               | 0  | 0  |
|               | <b>Tl-208</b>           | <b>583</b>               | 0,3297457                                | 0.35229241                               | 0,1746145                                |
|               |                         | <b>2614</b>              | /  | /  | /  |
|               | <b>Bi-212</b>           | <b>727</b>               | 1,10427242                               | 0.97435801                               | /  |
| <b>K-40</b>   |                         | <b>1460.8</b>            | 0,92186154                               | 2.5607265                                | 4,00809366                               |
| <b>Cs-137</b> |                         | <b>661.7</b>             | 0,41024244                               | 0.30549969                               | 0,33206488                               |
| <b>Co-60</b>  |                         | <b>1173.2</b>            | 0,03022346                               | 0.13432649                               | 0,43802116                               |
|               |                         | <b>1332.5</b>            | 0,06372171                               | 0.185855                                 | 0,04617516                               |
| <b>U-235</b>  |                         | <b>143.8</b>             | 2,38044029                               | 1.10853837                               | 2,20692993                               |
|               |                         | <b>163.33</b>            | /  | /  | /  |
|               |                         | <b>185.175</b>           | 0,06977378                               | 0.29847671                               | 0,16685034                               |

**Tableau V-2** La moyenne des concentrations d'activité (Bq. Kg<sup>-1</sup>) des radionucléides dans les fruits

| Echantillons | A ( <sup>238</sup> U) | A ( <sup>232</sup> Th) | A ( <sup>40</sup> K) |
|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| F1           | <b>1,36460439</b>     | <b>3,16888357</b>      | <b>0,92186154</b>    |
| F2           | <b>2.36810669</b>     | <b>9.46447519</b>      | <b>2.5607265</b>     |
| F3           | <b>3,08883481</b>     | <b>7,40030312</b>      | <b>4,00809366</b>    |

**Tableau V-3** Comparaison de la concentration d'activité des radionucléides naturels dans les fruits à différents pays (Bq. Kg<sup>-1</sup>)

| pays              | Fruits   | <sup>238</sup> U | <sup>232</sup> Th | <sup>40</sup> K | Référence         |
|-------------------|----------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Rize/Turquie      | Pomme    | <b>0.5</b>       | <b>0.38</b>       | <b>49.15</b>    | [38]              |
|                   | Citron   | <b>0.36</b>      | <b>0.45</b>       | <b>50.47</b>    |                   |
|                   | poire    | <b>0.29</b>      | <b>0.25</b>       | <b>40.39</b>    |                   |
| Inde du sud       | banane   | <b>0.094</b>     | <b>1.1</b>        | <b>136.2</b>    | [33]              |
| Inde au sud-ouest | banane   | <b>0.12</b>      | <b>0.965</b>      | <b>136.2</b>    | [34]              |
| Alexandrie/égypt  | Pomme    | <b>1.25</b>      |                   | <b>32.27</b>    | [35]              |
|                   | pastèque | <b>0.85</b>      |                   | <b>40.37</b>    |                   |
| Iraq              | fruit    |                  | <b>2.53</b>       | <b>211</b>      | [28]              |
| Malaisie          | pomme    | <b>2.58</b>      | <b>1.84</b>       | <b>151</b>      | [41]              |
|                   | poire    | <b>3.83</b>      | <b>2.22</b>       | <b>75.4</b>     |                   |
| Italie            | Pomme    | <b>3,089</b>     | <b>7,400</b>      | <b>4,008</b>    | Etude<br>actuelle |
|                   | kiwi     | <b>1,365</b>     | <b>3,169</b>      | <b>0,922</b>    | Etude<br>actuelle |
| Ecuador           | banane   | <b>2.368</b>     | <b>9.465</b>      | <b>2.561</b>    | Etude<br>actuelle |

Pendant cette étude il a aussi été calculé la dose efficace annuelle résultant de la prise de nourriture a été exécuté supporté le modèle métabolique développé par ICRP, que c'est peut être déterminé utilisé l'équation : [37,38.39]

$$D_{rf} \text{ (Sv.an}^{-1}\text{)} = \Sigma(\text{Cr } A_{rf}) \cdot R_f \quad (16)$$

$D_{rf}$  : dose efficace annuelle Sv.Kg<sup>-1</sup>

Cr : facteur de conversion de la dose efficace comptez par ingestion du nucléide Sv Bq<sup>-1</sup> (tableau V-4)

$A_{rf}$  : concentration d'activité totale

$R_f$  : taux de consommation par année Kg.an<sup>-1</sup> (tableau V-5)

**Tableau V-4** : facteur de conversion de la dose efficace comptez par ingestion du nucléide (nSv.Bq<sup>-1</sup>) [40]

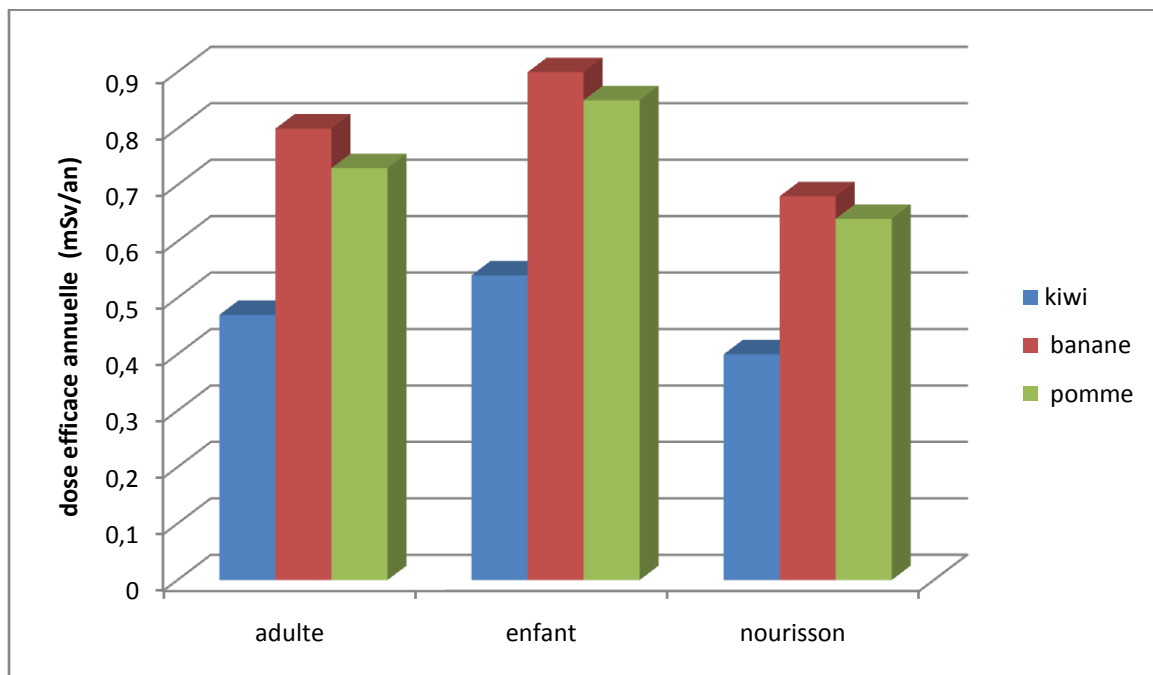
| catégorie  | <sup>238</sup> U | <sup>232</sup> Th | <sup>40</sup> K |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|
| adulte     | <b>280</b>       | <b>230</b>        | <b>6.2</b>      |
| enfant     | <b>800</b>       | <b>290</b>        | <b>13</b>       |
| nourrisson | <b>960</b>       | <b>450</b>        | <b>42</b>       |

**Tableau V-5**: taux de consommation (Kg.an<sup>-1</sup>) [40]

| Food catégorie | adulte     | enfant     | nourrisson |
|----------------|------------|------------|------------|
| Fruit          | <b>170</b> | <b>110</b> | <b>60</b>  |

**Tableau V-6:**dose efficace annuelle (mSv.an<sup>-1</sup>)

| Echantillon | Nom d'échantillon | Dose efficace annuelle (mSv.an <sup>-1</sup> ) |             |             |
|-------------|-------------------|--|-------------|-------------|
|             |                   | adulte   | enfant      | nourrisson  |
| F1          | kiwi              | <b>0.47</b>                                    | <b>0.54</b> | <b>0.40</b> |
| F2          | banane            | <b>0.80</b>                                    | <b>0.90</b> | <b>0.68</b> |
| F3          | pomme             | <b>0.73</b>                                    | <b>0.85</b> | <b>0.64</b> |

**Figure V-1** Addition de la dose efficace annuelle (mSv.an<sup>-1</sup>) dans les fruits par tous les groupes d'âge.

## Discussions

Le **tableau V-1** montre les radionucléides naturels et artificiels concentration d'activité mesuré dans des échantillons de fruits importés par Italie et Ecuador et consommés en Algérie.

Les concentrations moyennes d'activité de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  des échantillons était 1.36, 3.16, 0.92, 0.41, 0.063 Bq. Kg<sup>-1</sup> respectivement dans F1.

Et 2.36, 9.46, 2.56, 0.30, 0.185 Bq. Kg<sup>-1</sup> respectivement dans F2 et 3.08, 7.40, 4.008, 0.33, 0.43 Bq. Kg<sup>-1</sup> respectivement dans F3.

On peut voir à partir de **tableau V-1** que la concentration de  $^{238}\text{U}$  varie de 0.29 Bq. Kg<sup>-1</sup> concentration d'activité de  $^{214}\text{Bi}$  dans échantillon F1 et 3.08 Bq. Kg<sup>-1</sup> de  $^{214}\text{Bi}$  dans échantillon F3.

Et la concentration de  $^{232}\text{Th}$  était comprise entre 0.174 Bq. Kg<sup>-1</sup> concentration de  $^{208}\text{Tl}$  dans échantillon F3 et 9.46 Bq. Kg<sup>-1</sup> concentration de  $^{228}\text{Ac}$  dans échantillon F2.

Et pour  $^{40}\text{K}$  compris entre 0.92 Bq. Kg<sup>-1</sup> pour échantillon F1 et 4.008 Bq. Kg<sup>-1</sup> pour échantillon F3.

- À partir de **tableau V-1** on peut conclure que les résultats de l'activité des concentrations pour les radionucléides naturels talquent  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  sont donnés dans **le tableau V-2**.

Les concentrations les plus élevées affichées dans **le tableau V-2** correspondent à l'état naturel radionucléide  $^{232}\text{Th}$ .

La plus forte concentration de  $^{232}\text{Th}$  était 9.46 Bq. Kg<sup>-1</sup> dans échantillon F2 (banane fait en Ecuador) et la concentration la plus faible 3.17 Bq. Kg<sup>-1</sup> dans échantillon F1 (kiwi fait en Italie).

La plus forte concentration de  $^{238}\text{U}$  est 3.08 Bq. Kg<sup>-1</sup> dans échantillon F3 (pomme fait en Italie) et la plus faible concentration est 1.36 Bq. Kg<sup>-1</sup> échantillon F1.

Et comme on le voit dans **le tableau V-2**  $^{40}\text{K}$  présent la concentration élevé dans échantillon F3 avec 4.008 Bq. Kg<sup>-1</sup> et la plus basse dans échantillon F1 avec 0.92 Bq. Kg<sup>-1</sup>

Les concentrations moyennes mondiale de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  sont 35,30, 400 respectivement [40] si l'on compare l'activité des radionucléides de la présente étude avec des valeurs moyennes mondiales  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  se trouve être plus faible valeur.

**Le tableau V-3** se compose de comparaison des concentrations d'activité  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  dans les échantillons de fruits de différents pays si on compare avec cette étude la comparaison montre des différences.

**Le tableau V-6** montre la dose efficace pour chaque échantillon étudié était  $0.47 \text{ mSv.an}^{-1}$ , pour adultes,  $0.54 \text{ mSv.an}^{-1}$  pour enfants,  $0.40 \text{ mSv.an}^{-1}$  pour nourrissons, respectivement dans F1.

Et  $0.80 \text{ mSv.an}^{-1}$ ,  $0.90 \text{ mSv.an}^{-1}$ ,  $0.68 \text{ mSv.an}^{-1}$  pour adultes, enfants, nourrissons respectivement dans F2.

Et  $0.73 \text{ mSv.an}^{-1}$ ,  $0.85 \text{ mSv.an}^{-1}$ ,  $0.64 \text{ mSv.an}^{-1}$  pour adultes, enfants, et nourrissons respectivement dans F3.

Dose efficace annuelle de la consommation de fruits par enfants est supérieure à la dose de la consommation par les adultes et nourrissons. Cette plus grande valeur pour enfants est due au facteur de conversion de dose pour le radionucléide.

La dose efficace annuelle dans tous les échantillons de fruits était inférieure à la limite admissible de  $1 \text{ mSv}$  recommandé par la Commission internationale de protection. [42]

# ***CONCLUSION GENERALE***

### Conclusion

La radioactivité naturelle  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  et  $^{40}\text{K}$  et la dose efficace annuelle dans certains échantillons de fruits produits et consommés fréquemment en Algérie ont été déterminées dans cette étude.

L'activité spécifique de ces radionucléides dans les échantillons à l'étude était inférieure à ceux rapportés par l'UNSCEAR.

Les doses efficaces annuelles en raison de l'ingestion de trois radionucléides naturels par les adultes, les enfants et les nourrissons sont inférieures à la limite recommandée par l'organisation mondiale de la Santé et par la commission internationale de protection radiologique pour la sécurité radiologique.

On a constaté que la dose de radiation due à la consommation de fruits était inférieure à la moyenne mondiale.

Les résultats étaient inférieurs aux valeurs de dose efficaces engagées signalées pour diverses régions et pays.

Nous concluons qu'il n'y a pas de risque pour la santé publique.



# ***BIBLIOGRAPHIE***

### Références bibliographiques

- [1] Damien Cressier, Mr. G. RIMA, Synthèse et Evaluation de Nouveaux Dérivés Organiques et Organométalliques Contre les Effets des Rayonnements Ionisants, thèse l'Université - Paul Sabatier, -Toulouse 21,2010
- [2] Al.Absi,tariq ,Al .Abdullah , Hayel ,Shehadeh , Jamal ,Al .Jundi ,  $^{226}\text{Ra}$  , $^{228}\text{Ra}$  and activity concentration in some vegetables consumed in Jordan and resultant annual ingestion effective dose, Protection contre les rayonnements et environnement , Volume : 38 ,Page : 29-34,2015
- [3] Naturally Occuring Radioactive Material (NORM V) proceedings of an international symposium Seville, spain , 19-22 March 2007. Email: sales.publications@iaea.org <http://www.iaea.org/books>.
- [4] Introduction au rayonnement © Ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC) 2012 Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) , Décembre 2012. Site Web : [suretenucleaire.gc.ca](http://suretenucleaire.gc.ca)
- [5] TIBOR, J. DUNAI, Cosmogenic Nuclides, Principles Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences, University of Edinburgh, 2010.
- [6] N. Reguigui, Sources de radioactivités dans l'environnement, CNSTN, 2009.
- [7] A. S. Júnior, J. J. R. F. Cardoso, C. M. Silva, S. V. Silveira and R. S. Amaral, Determination of radionuclides in the environment using gamma-spectrometry, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, ISSN: 0236-5731 (Print) 1588-2780 (Online), 2006.
- [8] N.A.Mlwilo, N.K Mohammed and N.M Spyrou , Radioactivity levels of staple foodstuffs and dose estimates for most of the Tanzanian population, Journal of Radiological Protection, Page:471-480,2007.

- [9] Cumhur Canbazog˘lu , Mahmut Dog˘ru , A preliminary study on 226Ra, 232Th, 40K and 137Cs activity concentrations in vegetables and fruits frequently consumed by inhabitants of Elazıg˘ Region, Turkey, Journal Radioanal Nucl Chem Volume:295,Page:1245–1249,2013.
- [10] David Boilley 1, Introduction a la physique nucléaire Introduction to nuclear physics, M1 physique - SNEAM1, Normandie Université, 1 Année 2015-2016.
- [11] Samar Hamrouni Benbelgacem , Les activités alpha et bêta globales dans l'eau minérale tunisienne, Diplôme National d'Ingénieur, Université du 7 Novembre à Carthage, Entreprise d'accueil : Centre national des sciences et technologies nucléaires (CNSTN),2011.
- [12] khaoula jemli, Evaluation radiologique des engrais à base de phosphate utilisés en Tunisie, mémoire de projet de fin d'études, université de Tunis el Manar faculté des sciences de Tunis.2010.
- [13] Gordon, R .Gilmore Nuclear Training Services Ltd Warrington, UK, Practical Gamma-ray Spectrometry, 2nd Edition, 2008.
- [14] Nuclear Radiation and Health Effects, Updated June 2010. <http://www.world-nuclear.org>
- [15] Dr. William, R. Leo, Technique for Nuclear and particle physics experiments-A How –to approach, Lausanne, March, 1987.
- [16] J. H. Hubbell, Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV, J. H. Hubbel, Photon Cross Sections, August 1969.
- [17] Abdulrahman Kadum, H. Abdelhakim Bensaoula , Benamar Dahmani , Measurement of Natural Radioactivity in Cement of Tlemcen -Algeria by Using Well-Shape NaI(Tl) Detector, Journal of Natural Sciences Research, Volume:3, Page:171-178,2013.
- [19] Glenn F.Knoll , Radiation Detection and Measurement , third Edition , Page: 49-51,1999.
- [21] G.F. Knoll, Radiation Detection and, Third edition, John Wiley & Sons, UAS, 2000.
- [22]Photomultiplier Handbook 1980 .[psec.uchicago.edu/links/Photomultiplier\\_Handbook.pdf](http://psec.uchicago.edu/links/Photomultiplier_Handbook.pdf)

- [23] C. E. Moss, E. J. Dowdy, and M. C. Lucas, Bismuth Germanate Scintillators: Applications in Nuclear Safeguards and Health Physics, Nuclear Instruments and Methods, 1986.
- [24] A. Hastings, Jr., Smith, and Marcia Lucas, Gamma-Ray Detectors page 45 et 46 . [www.lanl.gov/orgs/n/n1/panda/00326398.pdf](http://www.lanl.gov/orgs/n/n1/panda/00326398.pdf).
- [25] Benoît Pirard Etude et validation d'un spectromètre gamma pour la mesure de la composition chimique des surfaces planétaires, Toulouse III.2006
- [26] JT.Bushberg , JA.Seibert, Jr. EML ,The Essential Physics of Medical Imaging,2013.
- [28] Abojassim, Hady & Mohammed , Natural radioactivity levels in some vegetables and fruits commonly used in Najaf Governorate, Iraq, Food Science ,Volume:3, Page:113-123,2016.
- [30] Ali Abid Abojassim, A. Lubna Al.Alasadi, Ahmed R. Shitake, Faeq A. Al-Tememie, and Afnan A. Husain, Assessment of Annual Effective Dose for Natural Radioactivity of Gamma Emitters in Biscuit Samples in Iraq. Journal of Food Protection, Volume: 78, Page : 1766-1769 ,2015.
- [31] A. Kadum, B. Dahmani ,Efficiency Calculation Of Nai(Tl) 2x2 Well Detector , journal of technology enhancements and emerging engineering research, Volume: 2, 2014.
- [33] G. Shanthi , J. Thampi, K. Thanka , G., Allan Gnana Raj , C. G Maniyan , Natural radionuclides in the South Indian foods and their annual dose. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Page: 436-440, 2010.
- [34] Shanthi G., Maniyan C. G., Allan Gnana Raj G. and Thampi Thanka Kumaran J., (2009). Radioactivity in food crops from high-background radiation area in southwest India, Current science, 97(9), 1331-1335
- [35] H. Ibrahim SalehH, F. Abdelfatah Hafez, H. Nadia Elanany , A. Hussein Motaweh and A. Naim. Mohammed, Radiological Study on Soils, Foodstuff and Fertilizers in the Alexandria Region, Egypt Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 2007.

[37] S. Harb , Natural radio specific activity and annual effective dose in selected vegetables and fruits, *Journal of Nuclear and Particle Physics*, Volume: 5, Page: 70-73, 2015.

[38] Filiz Korkmaz Görür, Recep Keser, Nilay Akcay, Serdar Dizman, Nilufer as and Nazmi Turan Okumuşoğlu, Radioactivity and heavy metal concentrations in food samples from Rize, Turkey. *Journal of the science of food and agriculture*, Volume: 92, Page: 307-312, 2012.

[39] L. Nasreddine , O. El Samad, N. Hwalla, R. Baydoun , M. Hamzé and D. Parent-Massin, Specific activity and mean annual effective dose from gamma emitting radionuclides in the Lebanese diet, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume131,Page: 545–550,2008.

[40] UNSCEAR, Sources and effects of Ionizing Radiation: Exposures from natural radiation sources. Report to the general Assembly, Annex B, United Nations, New York, USA , 2000.

[41] Wahmisari Priharti and Supian Bin Samat , radiological risk assessment from the intake of vegetables and fruits in Malaysia, *Journal of Analytical Sciences*, Volume:20,Page: 1247 – 1253,2016.

[42] ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiologique Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3). 1990. 1991.

## Annexes

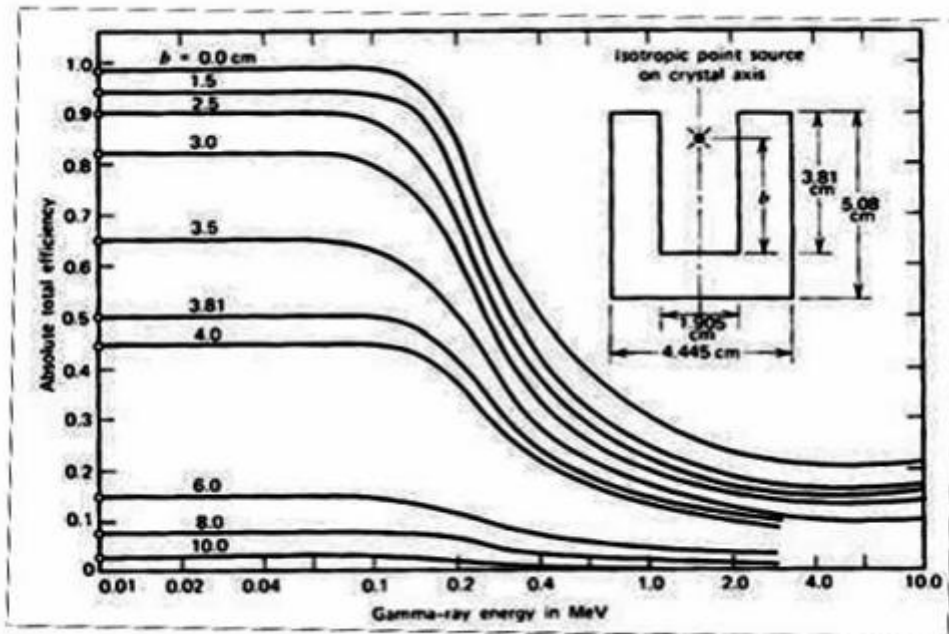


Figure : Efficacité totale absolue pour un NaI (Tl)

Tableau : Consommation annuelle de référence d'aliments et d'eau

| Admission             | Taux de consommation alimentaire (kg/an) |        |        |
|-----------------------|--|--------|--------|
|                       | nourisson                                | enfant | adulte |
| Produit laitier       | 120                                      | 110    | 105    |
| Produits carnés       | 15                                       | 35     | 50     |
| Produits céréaliers   | 45                                       | 90     | 140    |
| Légumes à feuilles    | 20                                       | 40     | 60     |
| Racines et fruits     | 60                                       | 110    | 170    |
| Produits de poisson   | 5  | 10     | 15     |
| L'eau et les boissons | 150                                      | 350    | 100    |

Tableau: Commande de doses efficaces par unité d'absorption

| Radionuclides     | Absorption fractionnée | Facteur de conversion de la dose efficace (nSv/Bq) |        |        |
|-------------------|------------------------|--|--------|--------|
|                   |                        | nourisson  | enfant | adulte |
| <sup>3</sup> H    | 1                      | 0.048  | 0.023  | 0.018  |
| <sup>3</sup> H    | 1                      |  |        |        |
| <sup>7</sup> Be   | 0.005                  | 0.13   | 0.053  | 0.028  |
| <sup>14</sup> C   | 1                      | 1.6  | 0.80   | 0.58   |
| <sup>22</sup> Na  | 1                      | 15   | 5.5    | 3.2    |
| <sup>40</sup> K   | 1                      | 42   | 13     | 6.2    |
| <sup>238</sup> U  |                        |  |        |        |
| <sup>238</sup> U  | 0.02                   | 120  | 68     | 45     |
| <sup>234</sup> U  | 0.02                   | 130  | 74     | 49     |
| <sup>230</sup> Th | 0.0005                 | 410  | 240    | 210    |
| <sup>226</sup> Ra | 0.2                    | 960  | 800    | 280    |
| <sup>222</sup> Rn |                        | 23   | 5.9    | 3.5    |
| <sup>210</sup> Pb | 0.2                    | 3600   | 1900   | 690    |
| <sup>210</sup> Po | 0.5                    | 8800   | 2600   | 1200   |
| <sup>232</sup> Th |                        |  |        |        |
| <sup>232</sup> Th | 0.0005                 | 450  | 290    | 230    |
| <sup>226</sup> Ra | 0.2                    | 5700   | 3900   | 690    |
| <sup>228</sup> Th | 0.0005                 | 370  | 150    | 72     |