



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE

Université Abou Bekr Belkaid

Faculté des Sciences

Département de Chimie

Laboratoire de Recherche

Spectrochimie et Pharmacologie Structurale

MEMOIRE DU MASTER EN CHIMIE

OPTION : CHIMIE PHYSIQUE ET ANALYTIQUE « ACADÉMIQUE »

THÈSE :

PRÉSENTÉE PAR

M^{ELLE} HAMMOUM DJAMILA

SOUTENUE LE 28/JUIN/2015

TITRE : MESURE DES RADIATIONS NATURELLES
DES SÉDIMENTS ET DE SOL DE HAMMAM BOUGHRARA
« OUED MOUILLAH »

MEMBRE DE JURY:

- | | | |
|---|------------------------------|-------------------------|
| ✓ | Président Mr. BELHACHEMI. B. | Maitre de Conférences A |
| ✓ | Examineur Mr. DAHMANI.B. | Professeur |
| ✓ | Examineur Mr. BOUCHOUR. | Professeur |
| ✓ | Encadreur Mr. KADUM A. | Professeur |

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2014/2015



Remerciements

Les travaux de recherche de cette thèse ont été réalisés au laboratoire de spectrochimie et pharmacologie structural (Département de Chimie Faculté des Sciences, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen) dirigé par Monsieur Kadum Abderrahmane Professeur à l'Université A. Belkaid de Tlemcen.

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Mr. KADUM pour ses précieux conseils et ses connaissances en physique nucléaire et ses compétences scientifiques dont j'ai bénéficiés tout au long de la préparation de cette thèse.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Monsieur D. Dahmani BENAMER Professeur et Directeur de recherche à la Faculté des Sciences, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et pour avoir accepté d'être rapporteur et examinateur du jury de thèse.

J'exprime mes remerciements les plus respectueux à Monsieur BELHACHMI.B METRE DE CONFERENCE pour avoir accepté la présidence du jury de cette thèse.

Je remercie Monsieur BOUCHOUR Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université I, qui ont accepté de rapporter et de juger ce mémoire.

Mes sincères remerciements à tous les enseignants de l'année théorique qui ont contribué à ma formation dans le domaine de l'analytique.

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



Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à :



A ma très chère mère

*Celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère
maman toutes mes joies*

*Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener
à bien mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon
profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et
t'accorder santé, longue vie et bonheur.*



A Mon père:

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le
dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon
éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que
tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*



A mes très chers frères



A mes chères sœurs et leurs époux



A leur enfants : « AYYOUB ET ANFEL »



*A tous les membres de ma famille "Hammoumi" et "Hammoum",
petits et grands Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de
mon affection.*



A tous mes chères amies proches et loin.

III-LES ABRÉVIATIONS

- * **U-238: Uranium 238 (238 signifie le nombre (A) c.à.d. le nombre de masse).**
- * **Th-232: Thorium 232.**
- * **Ra-226 : Radium 226.**
- * **Rn-222: Radon 222.**
- * **K-40: Potassium 40.**
- * **H-3: Tritium.**
- * **I-131: Iodine 131.**
- * **I-129: Iodine 129.**
- * **Cs-137: Cesium 137.**
- * **Sr-90: Strontium 90.**
- * **Tc-99 : Technétium 99.**
- * **Pu-239: Plutonium 239.**
- * **Rb-87 : Rubidium87.**
- * **Bq : becquerel.**
- * **Sv : Sievert.**
- * **Ci : Le curie.**
- * **ALARA (AS Low As Reasonably Achievable) cad aussi faible que raisonnablement possible.**
- * **SNRS : Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.**
- * **CUSSTR : Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande Rayonnements ionisants.**
- * **Rn : Roentgens.**
- * **Gy : Gray.**
- * **WR : Facteur de pondération.**
- * **AD : dose absorbée.**
- * **T1/2 : La demi-vie.**
- * **Ra_{eq} : L'activité équivalente de Radium.**
- * **N_p : Le nombre de photons de fluorescence émis.**
- * **μs : Micro seconde.**
- * **PMT : Le tube photomultiplicateur.**
- * **MCM : Multi Chanel (cad multi canaux)**

- * **Na** : Le numéro d'Avogadro.
- * **ACGIH** (American Conférence of Gouvernamental Industrial Hygiénistes).
- * **IRSN** : Institut de la radioactivité et de sureté nucléaire.
- * **UNSCEAR** : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
- * **DE** : L'efficacité du détecteur.
- * **D** : Le nombre de photons comptés dans le détecteur.
- * **N** : Le nombre de photons émis par la source.
- * **P**: Le nombre de compte dans le photo électrique.
- * **BF** : La fraction de branchement pour ce mode de désintégration.
- * **BR** : Le rapport de branchement pour l'énergie de photons.
- * **TB** : Le rapport total de branchement.
- * **T** : L'intervalle de temps de comptage total en quelques secondes.
- * **A** : L'activité.
- * **dps** : La désintégration par seconde.
- * **DE** : L'efficacité du détecteur.
- * \mathcal{E} : L'efficacité de l'énergie dépendant de détecteur à l'énergie E.
- * **G** : La fraction de tout l'espace que le détecteur emplit.
- * **I** : La fraction des photons émis par les matériaux intervenants qui parviennent à la surface du détecteur
- * **M** : La fraction des photons absorbé par le détecteur.
- * ρ : La densité.
- * **NBg**: Le nombre de coups dans le vide.
- * **NS**: Le nombre de coups dans l'échantillon remplis.
- * **NEi** : Le sommet de la zone nette du radionucléide i à l'énergie E.
- * **T** : Le temps de comptage direct en seconde.
- * $\gamma \%$: Le rendement des rayons gamma par la désintégration de nucléides a transition à l'énergie E.
- * **m** : La masse de l'échantillon mesuré en Kg.
- * **AEDE**: Annual Effective Dose Equivalent (la dose effective annuelle équivalente).
- * **AGED**: Annual Gonnadal Equivalent Dose (la dose gonadale équivalente).
- * **ELCR** (Excess Life time Cancer Risk) : le risque excédentaire de cancer dans la vie.

- * **DL (The Average Duration of Life) : la moyenne durée de vie.**
- * **RF: The Risk Factor (le facteur de risque).**
- * **H_{ex} : Hasard External Index (index externe de risque).**
- * **H_{in} : Hasard Internal Index (index interne de risque).**
- * **μ : Coefficient d'absorption massique (cm²/g).**
- * **d : Epaisseur de l'absorber (g/cm²).**
- * **ρ : Densité d'absorber (g/cm³).**
- * **t : L'épaisseur physique d'absorber (cm).**
- * **I : Intensité après l'armature.**
- * **I₀ : Intensité incidente.**
- * **M : Masse molaire.**
- * **N : La quantité de la matière.**
- * **σ: La section efficace.**
- * **σ_{ph} : La section d'effet photoélectrique.**
- * **σ_p : La section d'effets de Compton.**
- * **σ_{pair} : La section d'effet de production de pair.**
- * **P : Densité électronique.**
- * **Z : Nombre atomique.**
- * **ρ : Densité de la masse.**
- * **A : Une masse atomique.**
- * **μ_m : Coefficient d'atténuation massique.**
- * **μ : Le coefficient d'atténuation linéaire.**
- * **W_i : Fraction de poids.**

IV-SOMMAIRE :

REMERCIEMENT.....	I
DÉDICACE.....	<u>II</u>
LES ABRÉVIATIONS.....	III
SOMMAIRE.....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VI
RÉSUMÉ.....	VII
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CHAPITRE I : LES SUBSTANCES RADIOACTIVES NATURELLES</u>	
I-1 Historique	3
I-2 Généralités.....	3
I-2-1 Les séries d'affaiblissement de NORME	5
I-2-1-1 La série d'uranium.....	5
I-2-1-2 La série de thorium.....	6
I-2-1-3 Radionucléide de potassium.....	7
A) Émission de positron.....	7
B) Le deuxième mode.....	7
C) Bêta émission.....	7
I-2-2 La radioactivité environnementale.....	8
I-2-3 Les type des nucléides.....	8
A) Les radionucléides cosmogoniques	8
B) Radionucléides primordiaux	9
C) Produits humains	9
I-2-4 Les espèces intéressantes par la radioactivité	10
I-2-4-1 Dans l'eau.....	10
I-2-4-2 La radioactivité en milieu marin.....	11
I-2-4-3 Dans le sol.....	11
I-2-4-4 Dans les aliments.....	12
I-2-4-5 Dans le corps humain.....	12
I-2-5 Les effets biologiques de la radioactivité.....	13
I-2-5-1 Les effets immédiats (ou déterministes).....	14

I-2-5-2 Les effets secondaires.....	14
I-2-6 Les principes fondamentaux de la radioprotection.....	14
I-2-7 La radioprotection	15
I-3 Les grandeurs et les unités de radioactivité.....	16
I-3-1 Activité	16
I-3-2 Activité spécifique	16
I-3-3 La période de radioactivité	16
I-3-4 Rayonnement de fond (background radiation).....	16
I-3-5 Débit de dose	16
I-3-6 La dosimétrie individuelle.....	16
I-3-6-1 La dosimétrie externe.....	17
I-3-6-2 La dosimétrie interne.....	17
I-3-7 Becquerel (Bq).....	17
I-3-8 Le curie.....	17
I-3-9 Gris (Gy).....	17
I-3-10 Röntgens (R).....	17
I-3-11 ALARA.....	18
I-3-12 Dose collective.....	18
I-3-13 Hasard index externe.....	18
I-3-14 Hasard index interne (Hin).....	18
I-3-15 La dose équivalente gonade annuelle (AGED).....	18
I-3-16 Le risque de cancer excédentaire de la vie (ELCR).....	19
I-3-17 Dose effective.....	19
I-3-18 Facteur de pondération (WR).....	20
I-3-19 NORME.....	20
I-3-20 L'activité équivalente de Radium.....	20
I-3-21 Les unités utilisées pour la mesure de l'énergie de rayonnement.....	21
I-3-22 Les limite de l'exposition au rayonnement	21
I-3-23 La dose engagée.....	21
I-3-24 La source scellée.....	22
I-3-25 La source non scellée.....	22
I-4 Equations de désintégration et croissance radioactive.....	22

A) loi de décroissance radioactive.....	22
B) La demi-vie (T1/2).....	23

CHAPITRE II: LE RAYONNEMENT GAMMA

II-1 La radioactivité.....	24
II-2 La base de la radioactivité	24
II-2-1 Un atome.....	24
II-2-2 Isotope.....	25
II-2-3 Radionucléide.....	25
II-3 Rayonnement non-ionisant.....	25
A) Définition	25
B) Risques pour la santé	25
II-4 Les rayonnements ionisants.....	26
A) Origine.....	26
B)-Définition	26
II-5 Les types des rayonnements.....	27
II-5-1 Le rayonnement alpha	27
II-5-2 Le rayonnement bêta	28
A) Le β^-	28
B) Le β^+	29
II-5-3 le rayonnement gamma	30
II-5-4 Le rayonnement X	30
II-5-5 Le rayonnement neutronique	30
II-6 Les interactions photons matière.....	31
II-6-1 Effets photoélectriques.....	31
II-6-2 Diffusion Compton.....	32
II-6-3 Production de paires.....	33
II-6-4 La diffusion élastique.....	33
II-7 La pénétration de la radiation dans la matière.....	33
<u>CHAPITRE III: DÉTECTEUR GAMMA</u>	
III Scintillateurs.....	35
III-1 Définition.....	35
III-2 Types des scintillateurs.....	35

III-2-1 Scintillateurs organiques.....	35
III-2-2 Les scintillateurs inorganiques.....	36
III-3 Mécanisme de scintillation	37
III-4 Caractéristiques de scintillateur.....	37
III-5 Détecteur NaI(Tl).....	38
III-5-1 Résolution	38
III-5-2 Applications de NaI(Tl)	38
III-5-3 Le PMT.....	39
III-5-4 La spectroscopie génie 2000.....	39
III-5-5 Le principe de fonctionnement	40
III-6 L'analyse des spectres Gamma	41
III-6-1 La mesure d'U-238 par la spectrométrie gamma	41
III-6-2 La mesure de Ra-226 par spectrométrie gamma.....	42
III-6-3 La mesure d'autres nucléides de la chaîne d'uranium par la spectrométrie gamma.....	43
III-6-4 La mesure des nucléides de la chaîne de thorium par la spectrométrie gamma.....	43
III-6-5 La mesure de K-40 par spectrométrie gamma.....	44
III-6-5 La mesure des nucléides de la chaîne d'actinium par la spectrométrie gamma.....	44
<u>CHAPITRE IV : MÉTHODOLOGIE ET CALCULS</u>	
IV-1 Prélèvement et préparation d'échantillon.....	46
IV-2 L'atténuation des rayons gamma.....	47
IV-2-1 Les coefficients d'atténuation.....	47
VI-2-1-1 Définition.....	47
VI-2-1-2 Le coefficient d'atténuation linéaire	47
VI-2-1-3 Le coefficient d'atténuation massique.....	48
IV-3 Efficacité de NaI(Tl) détecteur.....	55
IV-4 Mesure de D.....	55
IV-5 Calcul de N.....	56
IV-6 Source de désintégration.....	57
IV-7 Calcul de l'efficacité du détecteur DE.....	57
IV-7-1 Exemple de cylindre circulaire droit.....	57

IV-7-2 Exemple d'un détecteur en forme de puits.....	59
IV-8 Efficacité du Pic Photoélectrique des détecteurs type NaI (Tl)	60
<u>CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS</u>	
V-1 Les concentrations d'activité des radionucléides.....	61
V-2 Calcul de l'efficacité	62
V-3 Résultats et discussion.....	63
Conclusion générale.....	80
Bibliographie.....	82

V-LES TABLEAUX

CHAPITRE I :

- Tableau I.1 : Chaine de désintégration d'U-238..... 6
- Tableau I.2 : Les radionucléides cosmogoniques..... 8
- Tableau I.3 : Les radionucléides primordiaux..... 9
- Tableau I.4 : Les nucléides des produits humains..... 10
- Tableau I.5 : La radioactivité dans les océans..... 11
- Tableau I.6 : La radioactivité dans le sol..... 12
- Tableau I.7 : La radioactivité naturelle dans les aliments..... 12
- Tableau I.8 : La radioactivité dans le corps humain..... 13
- Tableau I.9 : La radioactivité dans les matériaux de construction..... 13
- Tableau I.10 : Le facteur de pondération de différent types de radiations..... 20

CHAPITRE II :

- Tableau II.1 : Longueurs d'onde des rayonnements ionisants et non ionisants..... 27
- Tableau II.2 : Quelques distances de pénétration par type de rayonnement..... 34

CHAPITRE III :

- Tableau III.1 : Propriétés des scintillateurs inorganiques..... 36

CHAPITRE IV :

- Tableau IV.1: μ/ρ de sodium $Z=11$ 49
- Tableau IV.2 : μ/ρ d'Iodine $Z=53$ 50
- Tableau IV.3 : μ/ρ d'Aluminium $Z=13$ 51
- Table IV.4 : coefficient d'atténuation de masse..... 53

CHAPITRE V :

- Tableau V.1 : L'efficacité de quelques radionucléides..... 62

➤ Tableau V.2 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans les algues, le sol (A1) et sédiment (A2) de Oued Mouilah.....	63
➤ Tableau V.3 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (B1) et sédiment (B2) de Oued Mouilah.....	64
➤ Tableau V.4 : La moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans les algues, sol (A1), sédiment (A2), sol (B1), sédiment (B2).....	66
➤ Tableau V.5 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (C1), sédiment (C2), sol (D1), sédiment (D2) de Oued Mouilah.....	66
➤ Tableau V.6 : La moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (C1), sédiment (C2), sol (D1), sédiment (D2).....	67
➤ Tableau V.7 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (E1), sédiment (E2), le sol (F1), sédiment (F2), de Oued Mouilah.....	68
➤ Tableau V.8 : La moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (E1), sédiment (E2), sol (F1), sédiment (F2).....	69
➤ Tableau V.9 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (G1), sédiment (G2), sol (H1), sédiment (H2) de Oued Mouilah.....	70
➤ Tableau V.10 : La moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (G1) et sédiment (G2), sol (H1), sédiment (H2).....	71
➤ Tableau V.11 : Les résultats de différents paramètres de la radioactivité.....	73
➤ Tableau V.12 : Les paramètres (H_{ex} , H_{in} et $I\gamma$).....	74
➤ Tableau V.13 : Les équations correspondantes aux différents paramètres.....	75

VI - LES FIGURES

CHAPITRE I :

- Figure I.1 : La chaîne de désintégration de thorium..... 6
- Figure I.2 : La désintégration de potassium..... 7
- Figure I.3: Doses annuelles par habitant 13
- Figure I.4 : Les effets de contamination radiative..... 14
- Figure I.5 : Les multiples de Becquerel dans différentes substances..... 18
- Figure I.6 : Atome mère avec différentes désintégrations..... 23
- Figure I.7 : Le taux de décroissance radioactive d'un nucléide 23

CHAPITRE II :

- Figure II.1 : Le spectre électromagnétique..... 27
- Figure II.2 : L'émission de particules alpha par différents noyaux..... 28
- Figure II.3 : Les rayons alpha..... 28
- Figure II.4 : L'émission de rayonnement β^- dans la désintégration de Au-198..... 29
- Figure II.5 : L'émission de particules β^+ par différents noyaux..... 29
- Figure II.6 : L'émission de rayonnement β^+ 29
- Figure II.7 : L'émission de rayonnement gamma dans la désintégration de Co-60... 30
- Figure II.8 : Les rayonnements neutroniques..... 31
- Figure II.9 : Les types de désintégration..... 31
- Figure II.10 : Effet photo électrique..... 32
- Figure II.11 : La diffusion Compton..... 32
- Figure II.12 : Production de paires..... 33
- Figure II.13 : Matière du blindage efficace pour divers types de rayonnements..... 34

CHAPITRE III :

- Figure III.1 : Schéma de scintillateur et un tube photomultiplicateur..... 35
- Figure III.2 : Les formes de détecteur gamma de NAI(Tl) 2 pouces \times 2 39

➤ Figure III.03 : La géométrie simulée de détecteur NaI(Tl).....	39
➤ Figure III.4 : Schéma électronique pour système de spectroscopie de rayon avec NaI (Tl) détecteur.....	40

CHAPITRE IV :

➤ Figure IV.1: Plan d'oued Mouilah.....	46
➤ Figure IV.2 : Carte géographique d'Oued Mouilah et Hammam Boughrara.....	46
➤ Figure IV.3 : L'atténuation de rayon à travers une section.....	48
➤ Figure IV.4 : Coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photon pour le sodium	49
➤ Figure IV.5 : Coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photo pour l'iode.....	50
➤ Figure IV.6 : Coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photo pour l'aluminium.....	51
➤ Figure IV.7 : Coefficient d'atténuation dans le scintillateur NaI.....	52

CHAPITRE V :

➤ Figure V.1 : La concentration d'activité d'U-238 de différents échantillons.....	76
➤ Figure V.2 : La concentration d'activité de Th-232 de différents échantillons.....	76
➤ Figure V.3 : La concentration d'activité de K-40 de différents échantillons.....	77
➤ Figure V.4 : La concentration d'activité de Ra eq de différents échantillons.....	77
➤ Figure V.5 : La dose absorbée de différents échantillons.....	78
➤ Figure V.6 : AGED de différents échantillons.....	78
➤ Figure V.7: ELCR de différents échantillons.....	79

الملخص:

قمنا بأخذ 16 عينة كل واحدة تبعد عن الأخرى بـ 10 أمتار في مساحة قدرها 200م لسد حمام بوغرارة (واد مويلح) وحللناها باستعمال كاشف أيود الصوديوم و ذلك لتحديد النشاط الإشعاعية للنوويات الطبيعية في كل من التربة و الرسوبيات بالإضافة إلى الطحالب .

تحصلنا على نسب متفاوتة للنشاط الإشعاعية حيث كانت النتائج المتحصل عليها في التربة متغيرة من 0.09 Bq/kg إلى 1.627 Bq/kg بالنسبة لليورانيوم ومن 0.168 Bq/Kg إلى 1.75Bq/Kg بالنسبة للثوريوم و من 0.067Bq/Kg إلى 0.504Bq/Kg بالنسبة للبتاسيوم. بينما كانت النتائج في الرسوبيات و الطحالب متذبذبة من 0.066 إلى 9.19 Bq/kg بالنسبة لليورانيوم و من 0.09 إلى 17.7 Bq/kg بالنسبة للثوريوم و من 0.055 إلى 0.874 Bq/kg بالنسبة للبتاسيوم. إذن النشاط الإشعاعية المتحصل عليها معتدلة مقارنة بالحد الأدنى العالمي .

قمنا بقياس تركيز الراديوم ، معدل الأذية الخارجية والداخلية، الجرعة السنوية الفعالة، جرعة الغاما الممتصة و مدى خطر السرطان وتحصلنا على معدل متوسط لهذه المقاييس .

الكلمات المفتاحية: النشاط الإشعاعية، النوويات الطبيعية ، مطياف الغاما ، كاشف أيود الصوديوم، اليورانيوم 238 ، البوتاسيوم 40 ، الثوريوم 232، تركيز الراديوم، معدل الأذية الداخلية والخارجية ، مدى خطر السرطان ، جرعة الغاما الممتصة، الجرعة السنوية الفعالة .

Résumé :

Les concentrations en activité des radionucléides naturels dans le sol et aussi dans les sédiments et les algues sont rassemblées de 16 sites dans le barrage de hammam Boughrara (Oued Mouilah), chaque site est éloigné à l'autre par 10 mètres. Les échantillons ont été analysés par la spectrométrie gamma en utilisant un détecteur de NaI(Tl) 2×2.

Les concentrations en activité d'U-238, du Th-232 et K-40, dans tous les échantillons mesurés ont varié de 0.09 à 1.627 Bq/kg, 0.168 à 1.75 Bq/Kg et 0.067 à 0.504 Bq/Kg respectivement dans des échantillons de sol. Pour des échantillons des sédiment et des algues, les valeurs ont varié de 0.066 à 9.19 Bq/kg, 0.09 à 17.7 Bq/kg et 0.055 à 0.874 Bq/kg pour U-238, Th-232 et K-40 respectivement.

Les résultats prouvent que les concentrations en activité moyenne des radionucléides en sol et sédiment du secteur d'étude sont moyennes et ne dépassent pas les normes limites.

Les paramètres de la radioactivité naturelle tel que la concentration équivalente de radium, les index externe et interne de risque, le débit de dose absorbée, ELCR, l'index gamma et

le taux annuel de dose effective étaient déterminés. Tous ces paramètres ont des valeurs moyennes qui sont dans leurs limites acceptables.

Mots clé : concentration d'activité, radionucléides naturels, spectrométrie gamma, NaI(Tl), U-238, Th-232, K-40, la radioactivité équivalente de radium (Ra_{eq}), le risque interne et externe, le débit de dose absorbée, la dose annuelle effective, (ELCR).

Abstract:

The activity concentrations of natural radionuclides in tailing enriched soil , sediment samples and algae collected from 16 sites in the samples, each site is distant with different by 10 meters and were analyzed by gamma spectrometry 10 meter ,the samples were analyzed by NaI (Tl) detector.

The concentrations in activity of U-238, Th-232 and the K-40, in all the measured samples varied from 0.09 to 1.627 Bq/kg, 0.168Bq/Kg to 1.75Bq/Kg and 0.067Bq/Kg to 0.504 Bq/Kg respectively in samples of soil .For samples of sediment and algae , the values varied from 0.066 to 9.19 Bq/kg, 0.09 to 17.7 Bq/kg, and 0.055 to 0.874 Bq/kg for U-238, Th-232 and K-40, respectively.

In order to evaluate the radiological parameters of the natural radioactivity like the radium equivalent activity, external and hazard index, absorbed gamma dose rates, gamma index, excess life time cancer and the annual effective dose rates were determined. All these hazard indices have mean values, which are within their acceptable limits.

Key word: activity concentration, Natural radionuclide, gamma spectrometer, NaI(Tl), U-238, Th-232, K-40, Ra eq, hazard index, annual effective dose, ELCR, absorbed gamma dose rates

INTRODUCTION

Introduction

La radioactivité, phénomène qui fut découvert en 1896 par Henri Becquerel sur l'uranium et très vite confirmé par Marie Curie pour le radium, est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables dits radio-isotopes se transforment spontanément (désintégration), en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements divers, en des noyaux atomiques plus stables ayant perdu une partie de leur masse. Les rayonnements ainsi émis sont appelés, selon le cas, des rayons α , des rayons β ou des rayons γ .

Les radionucléides normaux sont non seulement trouvés dispersés dans la croûte terrestre mais dans tous les environnements sur la planète : sol, eau et atmosphère, et conduite à partir de la série radioactive normale d'U-238 et Th-232, et le K-40. Cependant, les radionucléides artificiels dans la grande majorité produite depuis les années 40 et déchargée dans l'environnement par les essais nucléaires, ont été écartés dans tout le globe par le processus connu sous le nom de « retombées radioactives ».

La spectrométrie gamma à haute résolution offre actuellement un outil d'analyse performant pour effectuer des mesures environnementales. Dans le cadre de la caractérisation radiologique d'un site (radioactivité naturelle ou artificielle) ainsi que pour le démantèlement d'installations nucléaires, la cartographie des radionucléides est un atout important. Le principe consiste à déplacer un spectromètre NAI(Tl) sur le site à étudier et, à partir des données nucléaires et de positionnements, d'identifier, de localiser et de quantifier les radionucléides présents dans le sol et ainsi dans les sédiments.

Cette thèse a pour but de déterminer les radioéléments présents dans l'environnement et principalement les éléments naturels.

Pour cela notre manuscrit est scindé en cinq chapitres, le premier chapitre de ce mémoire est consacré à une recherche bibliographique sur les substances radioactives naturelles ainsi que les différentes lois de décroissances radioactives avec les séries d'U-238, du Th-232, du K-40 en ajoutant les espèces intéressantes la radioactivité et les dangers principales de radioactivité.

Le 2eme chapitre est dédié a la description des rayonnements gamma avec d'autres rayonnements tel que « alpha, beta » et aussi leur pouvoir de pénétration et détaillera l'interaction des photons avec la matière : l'effet photoélectrique, effet Compton et la création de paires. Ces trois phénomènes sont à la base de la détection des rayonnements gamma.

Introduction

Le 3eme chapitre est réservé à l'étude de la spectroscopie gamma en particulier le détecteur de scintillation NaI(Tl) avec les principes et le fonctionnement des différents modules électroniques.

Le 4eme chapitre résume notre travaux pratiques concernant la mesure de la radioactivité pour différents échantillons de sol et aussi des sédiments avec les algues, on les place a l'intérieur de détecteur de NaI(Tl) et afin de déterminer cette activité avec bonne limites de détections il est nécessaire de relier le signal enregistré par le détecteur au rayonnement émis par les sources présents dans l'objet a caractérisé ensuite on calcule la concentration d'activité manuellement par des équations mathématiques.

Le 5eme chapitre récapitule tout nos résultats obtenus avec l'interprétation et la discussion.

CHAPITRE I

LES SUBSTANCES

RADIOACTIVES NATURELLES

I-1 Historique :

1) En 1895, le physicien allemand Wilhelm K. Röntgen découvre un rayonnement invisible, de nature inconnue et qui semble traverser la matière. En plaçant une main entre le tube émetteur de ce rayonnement et un écran fluorescent (ou une plaque photographique), il voit apparaître l'ombre des os, obtenant ainsi la première «radiographie» de l'histoire. Ces rayons s'appellent les rayons X.

2) De nombreux scientifiques se demandent alors s'il n'y a pas un lien entre les rayons X et la phosphorescence de certaines substances. C'est pour répondre à cette question que le physicien français Henri Becquerel tente, au début de l'année 1896, de vérifier si les substances phosphorescentes émettent des rayons X. donc il se tourne vers les sels d'uranium, étudiés quelques années auparavant par son père. Il trouve qu'un très grand nombre de composés d'uranium a une propriété lumineuse.

Donc la "découverte" de la radioactivité de l'uranium par Henri Becquerel peut être datée du 1er mars 1896 montre par la suite que des rayons est une propriété intrinsèque de l'élément uranium s'appelle « rayons uraniques ».

3) À la suite au début de 1898, Marie Curie commence un travail de thèse de doctorat sur les rayons de Becquerel. Elle examine systématiquement un grand nombre de composés chimiques et de minéraux et découvre que les minerais d'uranium, telle la pechblende, émettent plus de rayonnements que l'uranium lui-même. De ce fait remarquable, elle déduit que les substances contiennent. Curie joint alors ses efforts à ceux de sa femme pour parvenir à isoler l'élément inconnu qu'ils Curie invente le mot « radioactivité ».

4) L'analyse des rayonnements a très rapidement montré qu'ils étaient constitués des particules chargées positivement appelées rayons α , de particules chargées négativement, les rayons β^- , et de rayons γ non chargés, de même nature que la lumière ou les rayons X, très énergétiques [1].

I-2 Généralité :

La radioactivité normale est commune dans les roches, le sol, le sable de plage, le sédiment et le sol de lit de la rivière, dans les fleuves et les océans, et même dans nos matériaux et maisons de construction. La concentration en isotopes radioactifs dans le sol est

un indicateur d'accumulation radioactive dans l'environnement, qui affecte des humains, des plantes et des animaux. Les matériaux radioactifs naturels contiennent généralement les radionucléides terrestres d'origine (radionucléides primordiaux), fini gauche depuis la création de la terre [2]. La radioactivité environnementale normale et l'exposition externe associée due au rayonnement gamma dépendent principalement des conditions géologiques et géographiques. Les sources de radioactivité dans les sols autres que ceux d'origine normale sont principalement dues à l'utilisation étendue des engrais riches en phosphates pour des buts agricoles [3]. L'étude de la radioactivité de sol peut fournir des données de référence en observant le futur impact anthropomorphe possible et le risque radiologique associé à la santé des personnes. Les concentrations en activité des radionucléides dans les chaînes d'affaiblissement étaient déterminées par la spectrométrie de rayons gamma à un bas arrière-plan [4].

En outre la radioactivité normale dans le sol est dérivée principalement du Th-232, K-40 et d'U-238, ce dernier élément naturel (uranium) a été dans les roches depuis que la terre a été formée. Non toutes les roches contiennent l'uranium, mais il y a quelques endroits où l'uranium est dans la roche en place et en sédiments de suffisance de vallée qui ont érodé de la roche en place de la montagne ou des zones montagneuses adjacente. L'uranium décompose (se délabre) très lente ment-en d'autres éléments comprenant le gaz de radium et de radon. Ces autres éléments font partie d'un ordre formé par un processus de transformation (affaiblissement) qui commence par la forme la plus répandue de l'uranium (non-traité) « normal » (U-238) [5].

Puisque ces radionucléides ne sont pas uniformément distribués, la connaissance de leur distribution dans les sols et les roches joue un rôle important dans la radioprotection et la mesure. Certaines des expositions sont assez constantes et l'uniforme pour toutes les différentes personnes partout, par exemple, la dose acquièrent de l'ingestion de K-40 en nourritures. Cependant, d'autres expositions varient considérablement selon l'endroit. Les rayonnements, par exemple, sont plus intenses à des altitudes plus élevées et des concentrations de l'uranium et du thorium dans les sols sont élevées dans des secteurs localisés. Les niveaux élevés de l'uranium et de ses produits d'affaiblissement dans la roche et le sol, et le thorium en sables de monazite (phosphate de césium) sont les sources principales des rayonnements de fond naturel élevés qui ont été identifiés dans plusieurs secteurs du monde [6].

Les expositions de rayonnement surgissent dans l'exploitation et les industries de transformation minérales par trois principales voies. Ceux-ci sont rayonnement gamma externe des minerais, l'inhalation d'époussette contenant les radionucléides d'alpha-émission longue durée et l'inhalation des produits d'affaiblissement de courte durée du radon. L'inhalation des produits d'affaiblissement de radon dans les mines souterraines mal aérées peut mener aux expositions au-dessus des limites courantes d'exposition de rayonnement, et ceci pourrait causer l'incidence élevée du cancer de poumon dans les mineurs. Il y a par conséquent un besoin d'adopter des mesures de contrôle radiologiques soigneuses dans l'exploitation et les transformations minérales impliquant les minerais radioactifs, afin de protéger ceux impliqués et respecter des limites de dose [7].

I-2-1 Les séries d'affaiblissement de NORME :

I-2-1-1 La série d'Uranium:

Cette série commence par l'isotope de l'uranium 238, qui a une demi-vie 4.5×10^9 ans. Le radionucléide U-238 se délabre dans le Th-234 émettant une alpha-particule, le nuclide récemment formé est également instable et s'affaiblit plus loin. En conclusion, après le total de 14 telles étapes, émettant 8 particules alpha et 6 particules bêta, accompagné de rayonnement gamma, la fille stable est formée. Cette série serait dans l'équilibre séculaire parce que toutes leurs filles U-238 après ont une demi vie plus courte que le nuclide de parent U-238 [8].

Cette série d'affaiblissement inclut le Ra-226 qui a des demi-vies de 1600 ans et des propriétés chimiques différentes de ceux de l'uranium.

L'affaiblissement Ra-226 dans Rn-222 qui est un gaz noble inerte qui ne forme pas toutes les liaisons chimiques et peuvent s'échapper dans l'atmosphère et les attaques rapidement aux aérosols et aux particules de poussière dans le ciel déposé seulement U-235 lui-même peut aisément être mesuré, bien que le Th-227, Ra-223 et Rn-219 puissent être mesurés avec plus de difficulté. Quoique les incertitudes puissent être hautes, la mesure des nuclides de fille peut fournir des informations utiles de soutien confirmant la mesure U-235 directe ou donnant la perspicacité dans la rupture de la série d'affaiblissement [8].

Tableau I.1 : Chaîne de désintégration d'U-238 [9]

Élément	Radiation	Demi-vie
Uranium 238	Alpha	4.500.000.000 ans
Thorium 234	Beta	24.1 jours
Protactinium 234	Beta	1.17 minutes
Uranium 234	Alpha	247.000 ans
Thorium 230	Alpha	80.000 ans
Radium 226	Alpha	1602 ans
Radon 222	Alpha	3.82 jours
Polonium 218	Alpha	3.05 minutes
Plomb 214	Beta	27 minutes
Bismuth 214	Beta	19.7 minutes
Polonium 214	Alpha	0.00001 seconde
Plomb 210	Beta	19.4 ans
Bismuth 210	Beta	5.01 jours
Polonium 210	Alpha	138.4 jours
Plomb 206	none	Stable

I-2-1-2 La série de Thorium :

Le thorium normal est 100% Th-232. Six particules alpha sont émises pendant dix étapes d'affaiblissement. Quatre nuclides peuvent être mesurés facilement par la spectrométrie gamma: Ac-228, Pb-212, Bi-212 et Tl-208. L'affaiblissement de Bi-212 est embranché seulement 35.94% de produit Tl-208 par désintégration alpha. La branche de décadence bêta produit Pb-212 qui ne peut pas être mesuré par la l'embranchement [8].

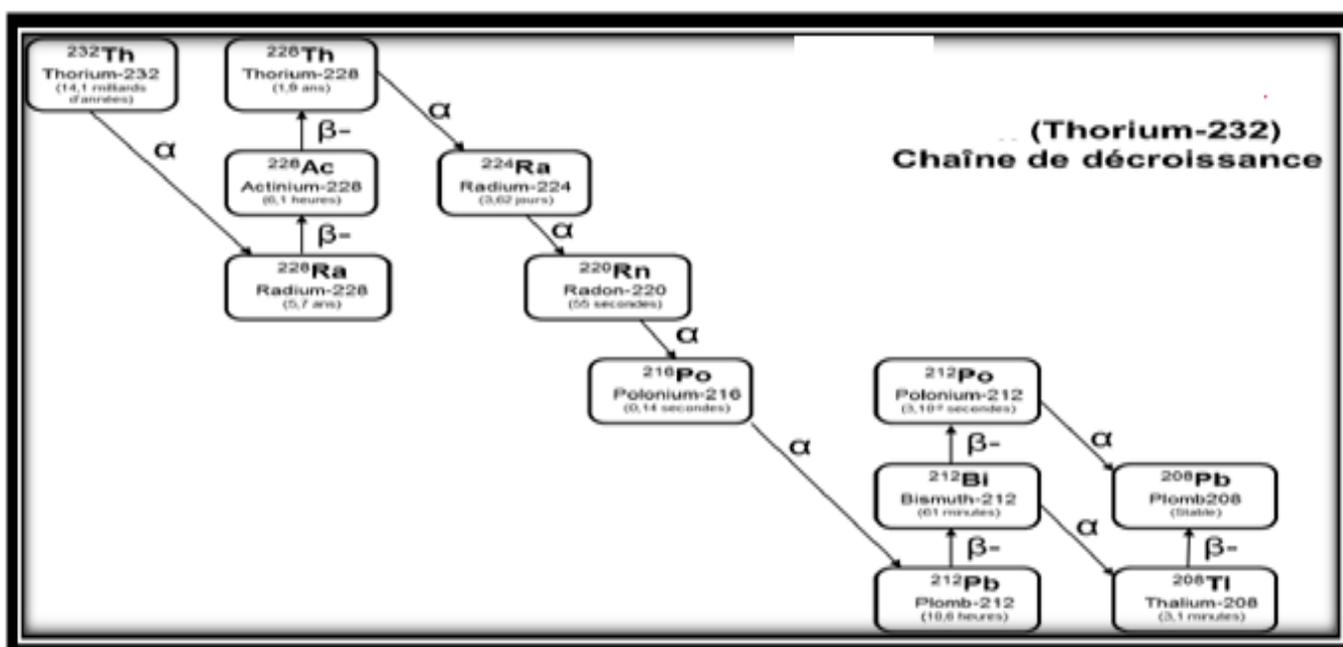


Figure I.1 : La désintégration de thorium [10]

I-2-1-3 Radionucléide de Potassium :

En 1905, J.J. Thompson a découvert que la radioactivité dans K-40 est ce qui fait tout le monde radioactif il est présent dans le tissu de corps. Ce radionucléide peut être délabré par trois modes :

A) Émission de positron :

Le radionucléide K-40 se désagrège directement dans l'état fondamental de Ca-40 par l'émission de la particule bêta de l'énergie 1321KeV dans la probabilité de 88.8% sans l'émission de rayonnement gamma à ce type de formation (Trevisi et autres, 2005) [8].

B) Le deuxième mode :

Le nuclide K-40 peut être transformé en état stable (état fondamental) de Ar-40 par deux manières, dans la première, K-40 se désagrège directement avec un saut dans l'état fondamental de Ar-40 avec seize centième de se délabre vont par capture des électrons. De deuxième manière, le nuclide K-40 peut être délabré indirectement dans l'état fondamental d'Ar-40 par deux étapes. Premièrement, il se délabre dans le premier état excité d'Ar-40. Deuxièmement, il excite Ar-40 et délabre dans état fondamental accompagné de rayonnement gamma d'énergie de 1460KeV dans la probabilité de 11 % [8].

C) Bêta émission :

Un proton sera délabré dans le positron et le K-40 changés en Ar-40 par la probabilité de 0.0011% [8].

Le radioisotope K-40 (0.01167 %) a une longue durée de vie (demi-vie de 1.248 milliard d'années), tandis que les deux autres K-39 (93.26 %) et K-41 (6.73 %) ont tous une demie-vie inférieure à une journée

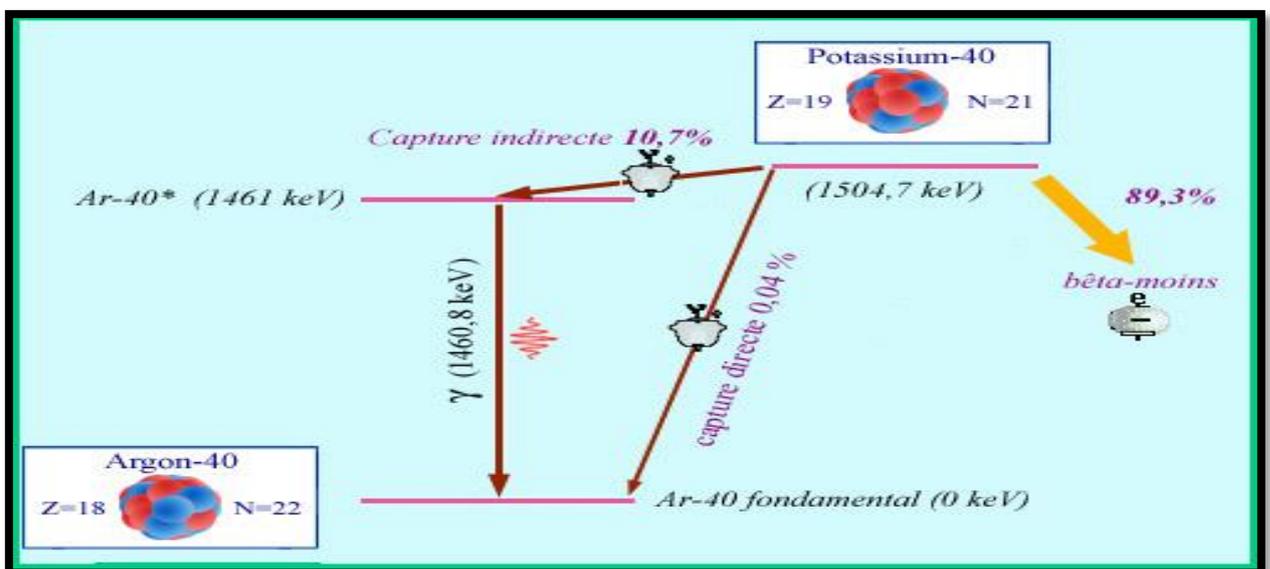


Figure I.2 : La désintégration de potassium [11]

I-2-2 La radioactivité environnementale :

La radioactivité environnementale c'est radioactivité de l'environnement. Il y a trois sources contribuant à la radioactivité environnementale ; terrestre synthétique et cosmique et cosmogoniques. Bien que le rayonnement de fond soit présent partout, les concentrations et les distributions composantes de radionucléide ne sont pas constantes. Certains matériaux ont des concentrations plus élevées de rayonnement de fond, la variation ambiante et les conditions physiques peuvent avoir comme conséquence les accumulations du rayonnement de fond. L'information sur la radioactivité environnementale est habituellement fournie par des mesures historiques identifiées pendant l'évaluation initiale. Si les niveaux élevés de la radioactivité environnementale interfèrent la décision de disposition (par exemple, le fond moins qu'environnemental de niveaux d'action, variabilité dans la radioactivité environnementale détermine de niveau de l'effort d'aperçu [12]

I-2-3 Les type des nucléides :

A) Les radionucléides cosmogoniques :

Le rayonnement cosmique contient des radionucléides cosmogoniques, ces particules sont fortement énergiques et sont censées pour provenir des phénomènes tels que les éruptions chromosphériques et les explosions de supernova. Le rayonnement cosmique est également responsable de la production des éléments radioactifs appelés les radionucléides cosmogoniques. Ces radionucléides sont produits à partir des collisions entre le rayonnement cosmique fortement énergétique et les éléments stables dans l'atmosphère. Les radionucléides cosmogoniques incluent H-3, Be-7, C-14, et Na-22 [12].

Tableau I.2 : Les radionucléides cosmogoniques [13]

Nuclide	symbole	Demi-vie	Naturelle Activité
Carbone 14	C-14	5730 ans	6 pCi/g (0.22 Bq/g) dans le matériel organique
Hydrogène 3 (Tritium)	H-3	12.3 ans	0.032 pCi/kg (1.2x10 Bq/kg)
Béryllium 7	Be-7	53.28 jours	0.27 pCi/kg (0.01 Bq/kg)

Remarque: autres cosmogoniques radionucléides are Be-10, Al-26, Cl-36, Kr-80, C-14, Si-32, Ar-39, Na-22, S-35, Ar-37, P-33, P-32, Mg-38, Na-24, S-38, Si-31, F-18, Cl-39, Cl-38 .

B) Radionucléides primordiaux :

Environ 340 nucléides existent dans la nature. Parmi ceux-ci 70 sont radioactifs : ce sont des radionucléides. Ces derniers présents au moment de la formation de la Terre sont appelés "primordiaux". Ceux dont la période est inférieure à 100 millions d'années sont devenus indécélables. Il subsiste aujourd'hui une vingtaine de radionucléides primordiaux dont les périodes vont de 740 millions d'années pour l'uranium 235 à 5.1016 ans pour le cérium 142. Certains, comme le potassium 40 et le rubidium 87 se désintègrent en donnant un élément stable. D'autres produisent une série de descendants radioactifs appelés "radionucléides secondaires". Ce sont les familles radioactives de l'uranium 238, du thorium 232 et de l'uranium 235 [14].

Tableau I.3 : Les radionucléides primordiaux [13]:

Nuclide	Symbole	Demi-vie	L'activité naturelle
Uranium 235	U-235	7.04×10^8 ans	0.72% de tout l'uranium normal
Uranium 238	U-238	4.47×10^9 ans	99.2745% de tout l'uranium normal ; 0.5 à 4.7 ppm dans les roches
Thorium 232	Th-232	1.41×10^{10} ans	1.6 à 20 ppm se trouve dans les roches avec la moyenne de 10.7 ppm
Radium 226	Ra-226	1.60×10^3 ans	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) en pierre à chaux est 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) dans les roches plutoniques)
Radon 222	Rn-222	3.82 jours	Gaz noble; la gamme moyenne annuelle de concentrations en air aux USA de 0.016 pCi/L (0.6 Bq/m ³) à 0.75 pCi/L (28 Bq/m ³)
Potassium 40	K-40	1.28×10^9 ans	sol 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

Remarque : Quelques autres radionucléides primordiaux sont : V- 50, Rb-87, Cd-113, In-115, Te-123, La-138, Ce-142, Nd-144, Sm-147, Gd-152, Hf-174, Lu-176, Re-187, Pt-190, Pt-192, Bi-209.

C) Produits humains :

Les humains ont employé la radioactivité pendant cent années, ainsi les armes nucléaires anthropogènes de matériaux radioactifs examinant et les centrales nucléaires ont produit de grandes quantités de radionucléides par fission de l'uranium et d'autres éléments lourds et

l'activation de divers éléments. Les exemples des radionucléides anthropogènes qui pourraient être dans l'environnement sont Cs-137, Sr-90, et divers isotopes de plutonium. Ces radionucléides ont une demi-vie plus courte [12].

Tableau I.4 : Des nucléides produits humains [13] :

Nuclide	Symbol e	Demi-vie	Source
Tritium	H-3	12.3 ans	Produit à partir des armes examinant et des réacteurs de fission ; installations de retraitement, fabrication d'armes nucléaires
Iodine 131	I-131	8.04 jours	Le produit de fission a produit à partir des armes examinant et des réacteurs de fission, utilisés dans le traitement médical des problèmes thyroïde
Iodine 129	I-129	1.57 x 10 ⁷ ans	Le produit de fission a produit à partir des armes examinant et des réacteurs de fission
Césium 137	Cs-137	30.17 ans	Le produit de fission a produit à partir des armes examinant et des réacteurs de fission
Strontium 90	Sr-90	28.78 ans	Le produit de fission a produit à partir des armes examinant et des réacteurs de fission
Technétium 99	Tc-99	2.11 x 10 ⁵ ans	Produit d'affaiblissement de 99Mo, utilisé dans le diagnostic médical
Plutonium 239	Pu-239	2.41x 10 ⁴ ans	Produit par bombardement de neutron de U-238 (U-238 + n--> 239U--> 239Np +β--> 239Pu+β)

I-2-4 Les espèces intéressantes par la radioactivité :

I-2-4-1 Dans l'eau :

La composition de l'eau en radionucléides ne reflète que partiellement la nature géologique des terrains traversés : tout dépend du caractère chimique de l'eau (elle est d'autant moins minéralisée que son pH est fort) et du degré de solubilité des radionucléides. Les eaux de surface sont très peu radioactives (moins de 1 Bq.L⁻¹), les eaux minérales sont plus (de 2 à 4 Bq.L⁻¹). On y retrouve le Potassium 40, l'Uranium 238 (exemple certaines eaux françaises en contiennent tout de même 80 microgrammes par litre) et quelques uns de ses descendants : le Radium 226, le Plomb210 et le Polonium 210. Le thorium, très peu soluble, est presque toujours absent [14].

I-2-4-2 La radioactivité en milieu marin :

Le potassium 40 et le rubidium 87 représentent respectivement 90 % et 1 % de cette radioactivité naturelle. Tous les radionucléides naturels sont présents dans l'eau de mer. Les sédiments marins, sables des plages, vases des ports, contiennent en plus ou moins grande abondance du potassium 40 et des éléments du groupe uranium-thorium ainsi que leurs descendants. La radioactivité naturelle des sédiments est de l'ordre de 40 à 1 000 Bq.kg⁻¹ sec. Les algues contiennent entre 100 et 450 Bq.kg⁻¹ frais de potassium 40, les crustacés et mollusques entre 50 et 200 Bq.kg⁻¹ frais et les poissons entre 20 et 400 Bq.kg⁻¹ frais. L'eau de mer au large contient 12 Bq. L⁻¹ de potassium 40 [14].

Tableau I.5 : La radioactivité dans les océans [15]

Nucléide	Activité estimée	Pacifique	Atlantique	Tout les océans
Uranium	33 mBq/L	22 EBq	11 EBq	41 EBq
K-40	11 Bq/L	7400 EBq	3300 EBq	14000 EBq
3H	0.6 mBq/L	370 PBq	190 PBq	740
14C	5 mBq/L	3 EBq	1.5 EBq	6.7 EBq
87Rb	1.1 Bq/L	700 EBq	330 EBq	1300 EBq

I-2-4-3 Dans le sol

Une tonne de terre contient en moyenne 5 g de potassium 40.3 g d'uranium et 10 g de thorium. Les concentrations semblent faibles, mais les quantités sont énormes à l'échelle d'un pays (le sol de France renferme sur un mètre de profondeur un million de tonnes d'uranium). En réalité, la concentration des radionucléides primordiaux varie d'une roche à l'autre Elle est 100 à 1000 fois plus élevée dans certains massifs granitiques "uranifères". Des gisements existent partout dans le monde, en plus dans les roches, les radionucléides primordiaux et secondaires se désintègrent en émettant des rayonnements : en tout lieu, tout être humain sans exception est exposé à ce rayonnement appelé "tellurique"[14].

Tableau I.6: La radioactivité naturelle dans le sol [16] :

Nucléide	Activité estimée	Masse d'élément	Activité
Uranium 238	25 Bq/Kg	2.200 Kg	31 GBq
Thorium 232	40 Bq/Kg	12.000 Kg	52 GBq
Potassium 40	400 Bq/Kg	2000 Kg	500GBq
Radium	48 Bq/Kg	1.7 g	63 GBq
Radon	10 KBq/m ³	11 µg	7.4 GBq

I-2-4-4 Dans les aliments :

Comme pour l'eau, les concentrations en radionucléides des produits alimentaires sont faibles par rapport aux différents milieux de l'environnement. Les radionucléides migrent plus ou moins dans les chaînes alimentaires, généralement sans se concentrer. Les engrais sont principalement produits à partir des minerais phosphatés, exploités en Chine, au Maroc, en ex-URSS et aux Etats Unis. Dans ces minerais, la concentration en potassium 40 et en radionucléides de la famille du thorium 232 est similaire à celle des autres roches. Par contre la concentration en radionucléides de la famille de l'uranium 238 est élevée, surtout pour les minerais phosphatés d'origine sédimentaire (1500 Bq.kg⁻¹ d'U-238). Dans certains engrais, on mesure des activités de 4000 Bq.kg⁻¹ d'uranium 238 et de 1000 Bq.kg⁻¹ de radium 226 (l'utilisation d'engrais est probablement la première source de contamination de la planète par le Ra-226) [17].

Tableau I.7 : La radioactivité naturelle dans les aliments [18] :

Aliment	K-40 (pCi/Kg)	226 Ra (pCi/Kg)
La banane	3.520	1
Noix de brésil	5.600	1.000-7.000
Les carottes	3.400	0.6-2
La pomme de terre blanc	3.400	1-2.5
La bière	390	---
La viande rouge	3.000	0.5
L'eau	---	0-0.17

I-2-4-5 Dans le corps humain :

La présence des radionucléides dans le corps humain est due à l'ingestion d'aliments en contenant naturellement. Dans ce cas, l'exposition est due principalement au potassium 40 (K-40) dont le corps humain (70 kg) contient 145g de potassium dont 0.012% est du K-40, ce

qui correspond à une activité de 4428 Bq et à une dose efficace de 0.2 mSv / an. Mais il faut noter également la présence de Carbone 14 (C-14) avec une activité de 3.500 Bq.

L'activité ingérée chaque jour par l'homme : 100 Bq de C-14 et 100 Bq de K-40 [19] donc, l'activité moyenne de l'organisme est donc d'environ 8000 Bq [20].

Tableau I.8 Les radionucléides dans le corps humain [9]

Nucléide	Masse du nucléide dans le corps humain	Activité totale dans le corps humain	L'apport quotidien de nucléides
Uranium 238	90 µg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 µg
Thorium 232	30 µg	3 pCi (0.11 Bq)	3 µg
Potassium 40	17 mg	120 nCi (4.4 Bq)	0.39 mg
Radium 226	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
Carbone 14	95 µg	0.4 µCi (1 (Bq)	1.8 µg

Tableau I.9: Radioactivité naturelle dans les matériaux de construction [15]

Matériaux	Uranium 238	Thorium 232	Potassium 40
Granite	63 mBq	8 mBq	1184 mBq
Grés	6 mBq	7 mBq	414 mBq
Béton	31 mBq	8.5 mBq	89 mBq
Plâtre	14 mBq	12 mBq	89 mBq
Gypse	186 mBq	66 mBq	5.9 mBq
Brique d'argile	111 mBq	44 mBq	666 mBq

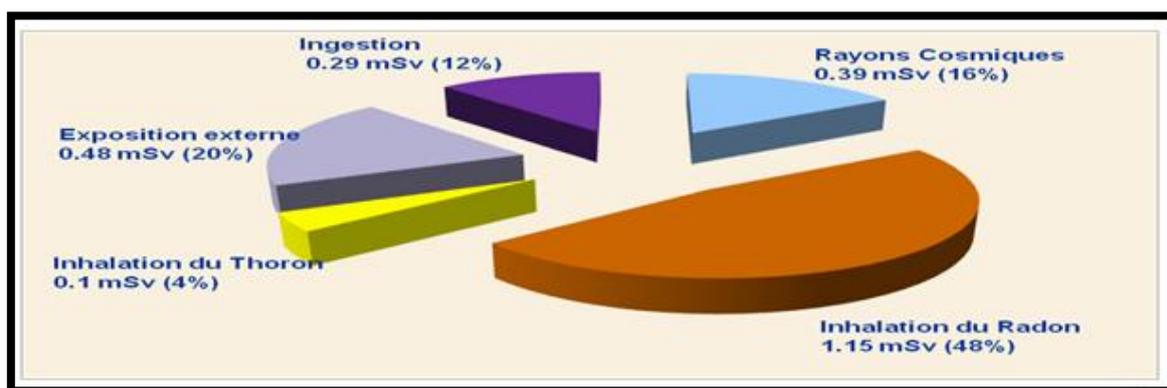


Figure I.3: Dose annuelle par habitant [15]

I-2-5 Les effets biologiques de la radioactivité :

Les effets des rayonnements sur l'organisme varient en fonction :
de la dose reçue ; de la source nature des rayons (activité ou intensité de fonctionnement) ;

du mode d'exposition : temps, débit et enfin de la répartition des rayons dans les cellules (tissus ou organes touchés) [20].

Il existe deux types d'effets biologiques :

I-2-5-1 Les effets immédiats (ou déterministes) :

Une forte irradiation par des rayonnements effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes. En fonction de la dose et selon l'organe touché, le délai d'apparition des symptômes varie de quelques heures (nausées, radiodermites) à plusieurs mois.

I-2-5-2 Les effets secondaires :

Peuvent même être observés une irradiation : fibroses, cataracte. Les effets à long terme (effets aléatoires ou stochastiques). Les expositions à des doses plus ou moins élevées d'ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous les cancers et de leucémies. Troubles de la peau .On peut aussi observe des effets mutagènes mutation de l'ADN transmis à la descendance) [21].

Les effets majeurs d'une contamination radioactive

< 0.5 Sv : inoffensifs

0.5 Sv : anomalies minimales sur les prélèvements sanguins

1 Sv : fatigue, formule sanguine altérée, troubles digestifs

2 Sv : hospitalisation indispensable

3 Sv : premiers signes cutanés, destruction des barrières immunologiques

5 Sv : DL50 (dose létale), 50% des irradiés meurent s'ils ne sont pas hospitalisés

8 Sv : DL90, 90% des irradiés meurent s'ils ne sont pas hospitalisés

10Sv : DL100, 100% des irradiés meurent s'ils ne sont pas hospitalisés

Figure I.4 : les effets majeurs d'une contamination radioactive

I-2-6 Les principes fondamentaux à radioprotection :

La radioprotection est effectuée par un ensemble des mesures prises afin de minimiser les effets néfastes des rayonnements ionisants et d'éviter les effets déterministes, capables de survenir notamment en cas d'accidents radiologiques, et de réduire autant que possible les risques d'apparition d'effets aléatoires.

Le système de radioprotection repose sur trois grands principes inscrits dans le code de la santé publique :

- la justification des activités comportant un risque d'exposition à des rayonnements ionisants.
- l'optimisation des expositions à ces rayonnements au niveau le plus faible possible.
- la limitation des doses d'exposition individuelle à ces rayonnements.

Ces trois principes fondamentaux découlent d'un principe général de précaution: le principe ALARA « As Low As Reasonably Achievable » « aussi faible que raisonnablement possible ».

I-2-7 La radioprotection :

La protection contre les risques d'exposition radioactive est assurée par :

- La connaissance de risque, c'est-à-dire évaluer la dose de radioactivité reçue (l'activité en Becquerels) et dépôt d'énergie en grays et pour évaluer l'importance de l'impact biologique d'une exposition aux rayonnements ionisants on utilise la dose efficace en milli Sievert [21].
- La mise en place de barrières statiques (confinement), de barrières dynamiques (réseaux de ventilation), et de protections biologiques.
- Pour se prémunir contre les risques d'incendie, l'emploi de matériaux (matériau de construction, câbles électriques...) résistants au feu ou non propagateurs de flamme est privilégié. Les quantités de substances chimiques nécessaires aux opérations de cessation d'activité ou de démantèlement sont limitées autant que faire se peut, et dans tous les cas elles sont remplacées par des substances non inflammables [21].
- Pour se prémunir des risques d'exposition externe, il faut [22] :
 - S'éloigner de la source de rayonnements car leur intensité diminue avec la distance.
 - Mettre un ou plusieurs écrans entre la source de rayonnements et les personnes (murs de béton, parois en plomb et verres spéciaux chargés en plomb).
- Pour se prémunir des risques d'exposition interne, il faut
 - Empêcher par tous les moyens possibles que les produits radioactifs rentrent en contact avec l'homme [23].

I-3 Les grandeurs et les unités de radioactivité

I-3-1 Activité : en physique nucléaire et radioprotection, l'activité est utilisée pour mesurer une quantité de radionucléide ou une source radioactive, L'unité d'activité est Becquerel (Bq).

Si l'activité d'un matériel radioactive ou de source radioactive est de 1 Bq, une désintégration de radionucléide en second lieu (par exemple l'activité de 1 microgramme de radium-226 est de 37.000 Bq par second [24].

I-3-2 Activité spécifique : c'est l'activité spécifique donnée le radionucléide en n'importe quel matériel [24].

II-3-3 La période de radioactivité : l'activité radioactive d'une source diminue avec le temps, étant donné qu'un nombre grandissant d'atomes radioactifs se sont fractionnés et sont devenus des atomes stables. La période radioactive est le temps nécessaire pour que l'activité radioactive soit réduite de moitié. L'activité est réduite de moitié parce que la moitié des atomes radioactifs se sont désintégrés pendant une période. Par exemple, une source radioactive de 50 Bq aura une activité de 25 Bq après une période radioactive [25].

II-3-4 Rayonnement de fond (background radiation): le rayonnement de fond est principalement rayonnement de cosmique et le rayonnement gamma terrestre émis par les (sol, roches, matériaux de construction etc) [26].

I-3-5 Débit de dose : mesure l'intensité momentanée de la radiation γ en un point et s'exprime en mSv/h ou μ Sv/h et aussi en nGy/h. Quand on connaît l'activité d'une source, on peut déterminer le débit de dose à une certaine distance de la source de la façon suivante: On recherche de la constante d'équivalent de dose du radioélément. Cette constante donne le débit d'équivalent de dose en mSv/h à 1 mètre d'une source de 1 GBq. Au cas où le radioélément n'est pas connu, on prend la valeur 0.4; débit de dose à une distance x [27], aussi il a été calculé à partir des activités mesurées de Ra-226, du Th-232 et de K-40 dans le sol extérieur, le sable, et les échantillons de sédiment [28].

I-3-6 dosimétrie individuelle : doit être adaptée au poste de travail en permettant l'évaluation « aussi correcte que raisonnablement possible » des doses reçues par le travailleur affecté à ce poste, compte tenu des situations d'exposition et des contraintes existantes [23]. Elle se divise en deux types :

I-3-6-1 la dosimétrie externe : consiste à estimer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnements ionisants (rayons X, gamma, bêta, neutrons) générés par une source extérieure à la personne. Cette estimation est réalisée : au moyen de dosimètres passifs, portés par les travailleurs sur une période mensuelle ou trimestrielle et adaptés aux différents types de rayonnements, qui permet de déterminer la dose reçue par le corps entier (dosimètres portés à la poitrine) ou par une partie du corps (peau, doigts, cristallin) [29].

I-3-6-2 La dosimétrie interne : vise à évaluer la dose reçue à la suite d'une incorporation de substances radioactives. En milieu professionnel, la surveillance individuelle est assurée par des examens anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne corporelle) et des analyses radio toxicologiques (dosages réalisés sur des excréta). Les différents types de surveillance de l'exposition interne (systématique, spéciale,...) sont définis lorsque l'exposition est avérée et jugée significative, un calcul de dose est réalisé par la relation suivante [29].

$$D \text{ (n Gy h}^{-1}\text{)} = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.042C_{K} \text{ (1)}$$

Où, D est le débit de dose absorbée (n Gy h⁻¹). Dans des situations environnementales normales de radioactivité.

I-3-7 Becquerel (Bq) : c'est l'unité de l'activité des matériaux radioactifs. Un Becquerel est équivalent à la désintégration par seconde, cette unité est une quantité extrêmement faible d'activité radioactive. Les multiples couramment utilisés du Bq sont le kBq (kilo becquerel), le MBq (méga becquerel) et le GBq (giga becquerel) [24] (avec modification).

I-3-8 Le curie : est une grande quantité d'activité radioactive. Les sous-unités couramment utilisées sont le mCi (milli curie), le μ Ci (microcurie), le nCi (nano curie) et le pCi (pico curie). Une autre formule de conversion utile est la suivante : 1 Bq = 27 p Ci [24].

I-3-9 Gray (Gy) : le gray est le nom spécial pour l'unité de dose absorbé. Un gris est égal au Joule absorbé d'énergie par kilogramme MBq [24].

I-3-10 Röntgens (Rn) : c'est une unité qui servir pour la mesure d'exposition au rayon X et aussi au rayon gamma elle associe au degré d'ionisation produit dans l'air. Une exposition aux rayons gamma ou aux rayons X d'un röntgen produit une dose tissulaire d'environ 1 rad (0.01

gray) [30].

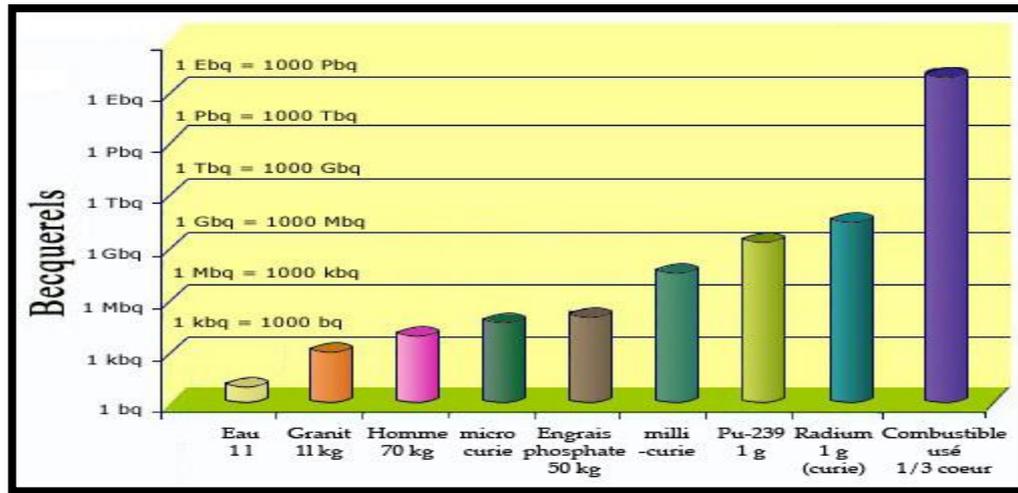


Figure I.5 : Les multiples de Becquerel dans différent substances

I-3-11 ALARA : (aussi bas que raisonnablement réalisable), c'est le principe de la radioprotection selon le niveau des expositions personnelles au rayonnement dont la radioprotection doit être optimisée [24].

I-3-12 Dose collective : la dose collective est la somme de doses personnelles de rayonnement ou tous les individus exposés [31].

I-3-13 Hasard index externe :

Pour refléter l'exposition externe, un index employé couramment de risque, appelé le risque externe, est exprimé par la relation suivante [32] :

$$H_{ex} = \frac{CRa}{370} + \frac{CTh}{259} + \frac{CK}{4810} \leq 1 \quad (2)$$

I-3-14 Hasard index interne (Hin):

C'est un index employé aussi pour estimer le risque interne, et est exprimé par la relation [3]

suivante :

$$H_{ex} = \frac{CRa}{185} + \frac{CTh}{259} + \frac{CK}{4810} \leq 1 \quad (3)$$

I-3-15 La dose équivalente gonade annuelle (AGED) : c'est la dose équivalente annuelle gonade effectuée pour la mesure de la menace pour les cellules sensibles comme les gonades, la moelle, cellules extérieures d'exposition a un niveau particulier de rayonnement. En plus de ça

elle peut évaluer la destruction des cellules sanguines rouges qui sont remplacé par les cellules blanches et par conséquent ça affecte le cancer de sang.

Elle est calculée par l'équation suivante [3] :

$$AGED = 3.09C_{Ra} + 4.18C_{Th} + 0.314C_K \quad (4)$$

Où C_{Ra} , C_{Th} , C_K sont les concentrations en activité de Ra-226, Th-232, K-40 respectivement. La valeur standard d'UNSCEAR est 300mSvy^{-15}

I-3-16 Le risque de cancer excédentaire de la vie (ELCR) :

Il traite la probabilité du cancer développé pendant de la vie d'humain et est donné par la relation suivante : [3]

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF \quad (5)$$

Où AEDE dose effective est équivalente annuelle, la DL est la durée moyenne de la vie (estimée à de 70 ans) et le Rf c'est le facteur mortel de risque de cancer cad par Sievert pour des effets stochastiques,

L'ICRP EMPLOIE a effectuée la valeur de 0.05 pour le public pour les effets stochastiques et a estimé le niveau permis du monde par la valeur de 0.29×10^{-3}

I-3-17 Dose effective : en radioprotection, la dose efficace n'est pas une grandeur physique mais une grandeur de radioprotection mesurant l'impact sur les tissus biologiques d'une exposition à un rayonnement ionisant, notamment à une source de radioactivité. Il se définit comme la dose absorbée, à savoir l'énergie reçue par unité de masse, prenant en compte d'une part la dangerosité relative du rayonnement considéré et d'autre part la sensibilité du tissu irradié.

L'unité de dose efficace est le sievert (**Sv**), en l'honneur du physicien Rolf Sievert.

La moyenne mondiale en résultant de la dose effective annuelle est 0.48 mSv, avec les résultats pour différents pays étant généralement dans (0.3 - 0.6) la marge de mSv. Pour des enfants et des enfants en bas âge, les valeurs sont environ 10% et 30% plus hauts, en proportion directe avec une augmentation en valeur du coefficient de conversion de la dose absorbée en air à la dose effective.

$$\text{Indoor (nSv)} = \text{dose absorbée (nGy/h)} \times 8760 \text{ h} \times 0.8 \times 0.7 \text{ SvG/y}$$

Outdoor (nSv) = dose absorbée (nGy/h) × 8760 h × 0.2 × 0.7 SvG/y (l'ancienne unité, le rem, vaut 10 mSv (100 rem = 1 Sv) [24].

I-3-18 Facteur de pondération (WR) :

On le multiplie a la dose absorbée afin d'obtenir la dose équivalente qui était utilisée pour l'évaluation de la quantité de rayonnement et le degré de nocivité. Avant 1990, ce facteur de pondération était appelé facteur de qualité (QF).souvent l'équilibre de dose est appelé simplement la « dose » dans l'utilisation courante de la terminologie des rayonnements.

Dose en Sv = dose absorbée en Gy x facteur de pondération pour les rayonnements (WR)

Dose en rems = dose en rads x QF (1 Sv = 100 rems) [33]

Tableau I.10 : le facteur de pondération de différent types de radiations

Types de radiation en énergie	Facteur de pondération radiologique W_R
Photons toutes énergie	1
Electrons toutes énergie	1
Neutrons	
≤ 10KeV	5
De 10 KeV a 100KeV	10
De 100 KeV a 2 MeV	20
De 2 MeV à 20 MeV	10
20 MeV	5
Protons (autre que protons de recul) d'énergie > 2MeV, (particule alpha, fragments de fission, ions lourds)	20

I-3-19 NORME : pour la brièveté et la clarté la NORME d'acronymes est employée aux matériaux radioactifs naturels où les activités humaines ont augmenté le potentiel pour l'exposition en comparaison de la situation inchangée [26].

I-3-20 L'activité équivalente de Radium : pour représenter les niveaux d'activité d'U-238, le Th-232 et K-40 qui tiennent compte des risques radiologiques se sont associés à eux, un index radiologique commun a été présenté. Cet index s'appelle l'activité équivalente de radium (Raeq) et est mathématiquement défini près [34] :

$$R_{aeq} \text{ (Bq/kg)} = C_U + 1.43C_{Th} + 0.077C_K$$

$*C_U$, $*C_{Th}$ et $*C_K$ sont les activités spécifiques de l'uranium, du thorium, et du potassium respectivement.

Cette équation est basée sur l'évaluation de 10 Bq/kg d'U-238 égale 7 Bq/kg de Th-232 et 130 Bq/kg de K-40 ont produit la même valeur de dose gamma. La valeur maximum de Ra_{eq} doit être plus moins de 370 Bq/Kg.

I-3-21 Les unités utilisées pour la mesure de l'énergie de rayonnement :

L'énergie d'un rayonnement ionisant se mesure en électronvolts (eV). Un électronvolt est une quantité d'énergie extrêmement faible. Les multiples couramment utilisés sont le kilo électronvolt (KeV) et le mégaélectronvolt (MeV) [27].

I-3-22 Les limites de l'exposition au rayonnement :

Les valeurs limites d'exposition publiées par l'ACGIH (American Conférence of Gouvernemental Industrial Hygiénistes) sont utilisées comme limites d'exposition professionnelle ou dans les lignes directrices relatives à l'exposition professionnelle dans bon nombre d'administrations :

- **20 mSv/an** pour la dose annuelle moyenne des travailleurs sous rayonnements, établie sur une période de cinq ans
- **15 mSv/an** (historiquement, seuil bas de délimitation de la zone contrôlée) conservée comme valeur intermédiaire
- **1 mSv/an** : limite de dose annuelle recommandée pour le grand public [28].

I-3-23 La dose engagée : lorsqu'une substance radioactive pénètre dans le corps par inhalation ou par ingestion, la dose de rayonnement s'accumule constamment dans un organe ou un tissu. La dose totale accumulée pendant les 50 années qui suivent l'incorporation est appelée la dose engagée. La dose engagée dépend de la quantité de substance radioactive ingérée et du temps pendant lequel cette substance est restée dans le corps [29].

Les facteurs de pondération des tissus représentent la sensibilité relative des organes du point de vue de l'apparition de cancers.

I-3-24 Sources scellées : ont une structure ou un conditionnement qui empêche, en utilisation normale, toute dispersion de matière radioactive dans le milieu ambiant [35].

I-3-25 Sources non scellées : sont des sources dont la structure et le conditionnement dans les conditions normales d'emploi ne permettent pas de prévenir une dispersion de la substance radioactive dans le milieu ambiant [35].

I-4 Equations de désintégration et croissance radioactive :

- Les expressions mathématiques présentées sont généralement applicables à tous les processus dans lesquels la transition du noyau père au noyau fils, le processus de décroissance radioactive, est gouverné par des chances statistiques. Chaque nucléide radioactif a son degré spécifique d'instabilité qui, comme nous allons le voir, est exprimé par la demi-vie associée à ce nucléide. La radioactivité d'un échantillon est plus compliquée s'il comporte deux ou plusieurs composants

A) Loi de décroissance radioactive :

C'est la loi fondamentale de décroissance radioactive est basée sur le fait que la décroissance et par suite la transition d'un noyau père à un noyau fils est un processus purement statistique. La probabilité de désintégration (décroissance) est une propriété fondamentale du noyau atomique et reste équivalente dans le temps. Mathématiquement, cette

loi s'exprime ainsi: $dN = -\lambda N dt$ (1) et $\frac{-dN}{Ndt} = \lambda$ (2)

Où N est le nombre de noyaux radioactifs, $-dN/dt$ la décroissance (négative) de ce nombre par unité de temps, et λ est donc la probabilité de désintégration par noyau et par unité de temps. Cette constante de désintégration λ est spécifique pour chaque mode de désintégration de chaque nucléide.

La radioactivité ou taux de désintégration est définie comme le nombre de désintégration par unité de temps: $A = -dN / dt = \lambda N$ (3)

Par intégration de cette relation et l'application des conditions aux limites, qui sont au tout début, $t = 0$ et $N = N_0$, nous obtenons: $\ln(N/N_0) = -\lambda t$ (4) et subséquemment, l'équation de décroissance exponentielle: $N = N_0 e^{-\lambda t}$ (5) ou en utilisant l'équation Eq 3: $A = A_0 e^{-\lambda t}$ (6)

Le temps durant lequel A_0 décroît vers A (= l'âge du matériel) est: $T = (1/\lambda) \ln(A/A_0)$ (7)

Les relations des équations (5) et (6) indiquent le taux suivant lequel le nombre originel de noyaux radioactifs

B) La demi-vie (T1/2) :

Est utilisée à la place de la constante de décroissance radioactive (λ) pour indiquer le degré d'instabilité ou taux de décroissance d'un nucléide radioactif. Celle ci est définie comme la période de temps au bout duquel la moitié de la radioactivité a disparue (la moitié des nucléides se sont désintégrés, $T1/2 = (-1/\lambda)$ (8).

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T1/2} = \frac{0.693}{T1/2} \quad (9)$$

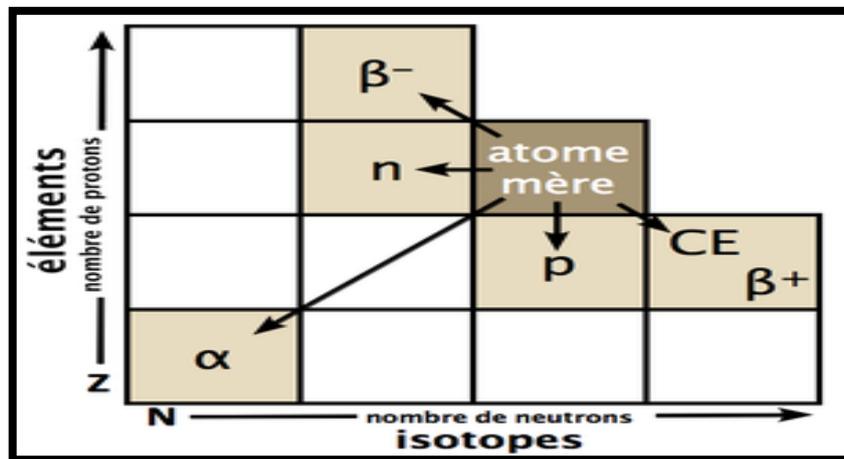


Figure I.6 : Atome mère avec différents désintégrations [36]

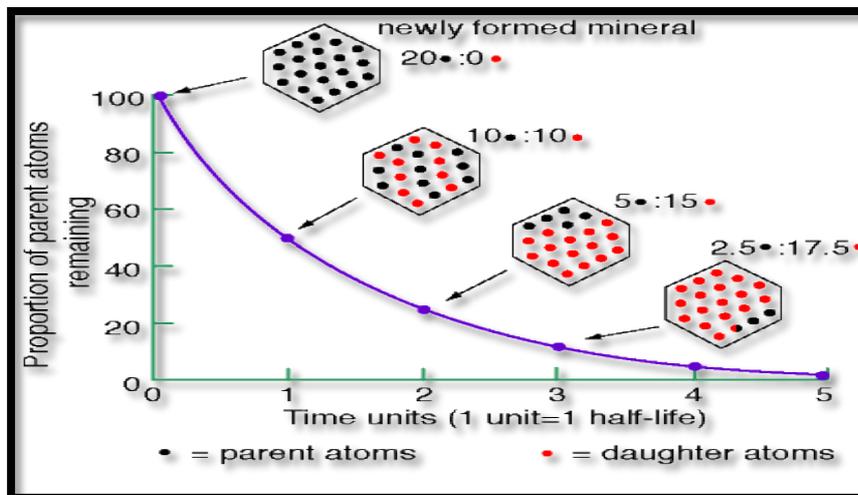


Figure I.7 : Le taux de décroissance radioactive d'un nucléide

CHAPITRE II

LE RAYONNEMENT GAMMA

II-1 La radioactivité :

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis l'origine de l'Univers. Il y a des milliards d'années lorsque les atomes se sont formés. Les atomes n'ont pas les mêmes propriétés, certains sont stables et restent stables indéfiniment identiques à eux mêmes alors que d'autres sont instables. Pour acquérir une meilleure stabilité ces derniers appelés radionucléides expulsent à un moment donné une quantité d'énergie sous forme de rayonnement.

D'autre part les sources de rayonnement gamma dans l'Univers sont connues depuis 1948 mais n'ont été observées que depuis le début des années 1960. En effet, les photons gamma sont presque complètement arrêtés par l'atmosphère terrestre. Les premières observations astronomiques ont été faites à partir de ballons-sondes, de fusées-sondes (temps d'observations très courts). Ils sont aujourd'hui observés par des télescopes spatiaux spécialisés. Les rayonnements gamma les plus énergétiques peuvent être indirectement observés par des observatoires terrestres qui captent la cascade électromagnétique générée par l'effet Cerenkov. Le rayonnement gamma de source cosmique résulte des événements les plus violents d'Univers [37].

II-2 La base de la radioactivité :**II-2-1 Un atome :**

Tout élément de notre Univers, du Soleil à notre corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux est composé d'atomes. De taille très petite un dixième de millionième de millimètres les divise en trois groupes : les protons chargés positivement et les neutrons non chargés (les protons et les neutrons composent le noyau) et enfin les électrons qui gravitent autour de noyau. Les atomes peuvent être stables ou instables. Lorsqu'ils sont instables alors appelés radionucléides, ils cherchent à se stabiliser via un rayonnement (émission d'énergie et/ou faisceau de particules).

Les nombres de protons et de neutrons déterminent les propriétés physicochimiques de l'atome (nombre atomique) [38]

II-2-2 Un isotope :

Les isotopes sont des atomes qui possèdent le même nombre d'électrons (protons restent neutres) mais un nombre différent de neutrons, on connaît actuellement 325 isotopes naturels et 1200 créée artificiellement.

Les isotopes d'un même élément ont des propriétés chimiques identiques mais des propriétés physiques différentes (stables ou radioactifs notamment).

Par exemple, l'hydrogène a trois isotopes ; l'uranium à 17 isotopes (tout radioactifs) naturellement sur terre et surtout l'un d'eux à plus de 99% c'est U-238 [38].

II-2-3 Radionucléide: isotope radioactif comme uranium et ses descendants dont les noyaux instables émettent des radiations jusqu'à l'atteinte une forme plus stable. Les radionucléides ont une vie spécifique [24].

II-3 Rayonnement non-ionisant :

A) Définition :

Désigne un type de rayonnement pour lequel l'énergie électromagnétique transportée par chaque quantum est insuffisante pour provoquer l'ionisation d'atomes ou de molécules. Ces radiations peuvent cependant avoir suffisamment d'énergie pour provoquer le passage d'un électron sur un niveau d'énergie plus élevé. Certains de ces rayonnements peuvent avoir des effets biologiques [39].

Parmi les rayonnements non-ionisants, on compte les rayonnements du proche ultraviolet, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes, les ondes radio et les champs statiques [39].

B) Risques pour la santé :

L'utilisation des rayonnements non-ionisants dans le champ médical comme dans la vie de tous les jours pose donc moins de problèmes que les rayonnements ionisants. L'un des principaux effets des rayonnements non-ionisants est un chauffage du corps.

En termes d'effets biologiques potentiels, les rayonnements non ionisants peuvent être divisés en :

-Les radiations de la gamme optique et de l'infrarouge peuvent exciter des électrons.

-Les radiations dont la longueur d'onde est plus petite que le corps peut induire un chauffage du corps par courants induits (micro ondes et rayonnements électromagnétiques de haute fréquence.

-Les radiations dont la longueur d'ondes est bien plus grande que le corps humain peuvent plus rarement causer un chauffage via courants induits [39].

II-4 Les rayonnements ionisants :

A) Origine :

Les êtres humains sont exposés quotidiennement à des rayonnements ionisants d'origine naturelle. Ceux-ci proviennent de nombreuses sources parmi lesquelles plus de 60 radioéléments naturellement présents dans le sol, l'air et l'eau. Le radon, 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. Les êtres humains sont également exposés aux rayonnements naturels d'origine cosmique, en particulier à haute altitude. En moyenne, 80% de la dose annuelle de rayonnement de fond que reçoit une personne provient de sources de rayonnements terrestres et cosmiques. Les niveaux de rayonnements de fond varient en fonction de facteurs géologiques. Dans certaines zones, l'exposition peut être 200 fois plus intense que la valeur moyenne.

L'exposition humaine aux rayonnements provient aussi de sources artificielles allant des installations produisant de l'énergie nucléaire aux usages médicaux des rayonnements pour le diagnostic ou le traitement. Aujourd'hui, les sources artificielles les plus courantes de rayonnements ionisants sont les appareils de radiographie X et autres dispositifs médicaux [40].

B) Définition :

Les rayonnements ionisants sont une forme d'énergie libérée par les atomes qui se propage par le biais d'ondes électromagnétiques (rayons gamma ou X) ou de particules (neutrons, particules bêta ou alpha [41] capable de causer une ionisation. Ces rayonnements ionisants, lorsqu'ils sont maîtrisés, ont beaucoup d'usages pratiques bénéfiques (domaines de la santé, industrie...) Mais pour les organismes vivants, ils sont potentiellement nocifs à la longue et mortels en cas de dose élevée. Les rayons ionisants sont de natures et de sources

variées, et leurs propriétés dépendent en particulier de la nature des particules constitutives du rayonnement ainsi que de leur énergie [41].

Tableau II.1 : Longueurs d'onde des rayonnements ionisants et non ionisants [19]

Type de rayonnements	Longueur d'onde
Particulaires : * Particulaires : Alpha, beta, neutrons *Electromagnétiques : X - gamma	Gamma < 100 nm
Rayonnements ultraviolets	100 nm < λ < 400 nm
Lumière visible	400 nm < λ < 800 nm
Infra rouge	800 < λ < 10 ⁴ nm
Hyperséquence	0.1 < λ < 10 m
Ondes radio	10 < λ < 104 m

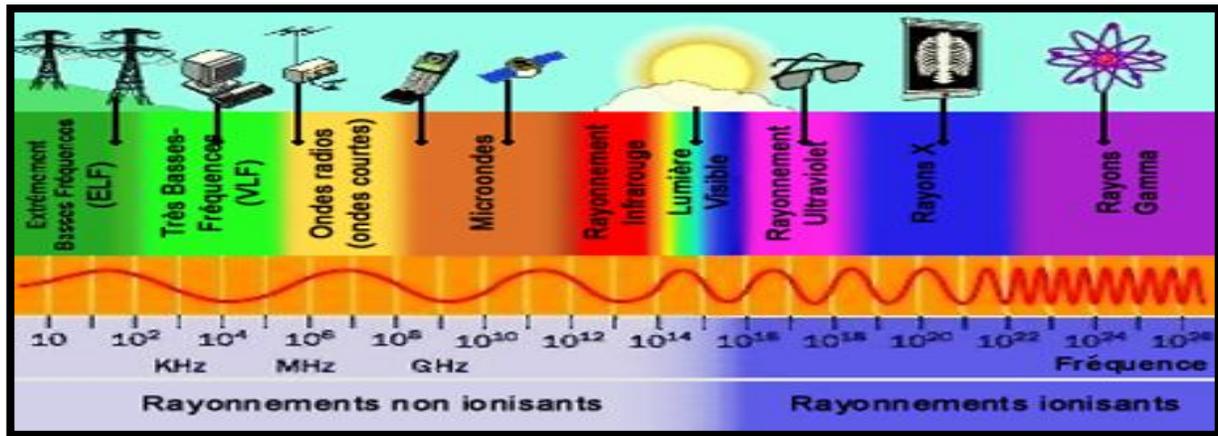


Figure II.1 le spectre électromagnétique [42]

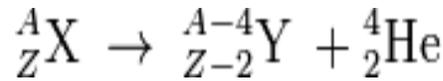
II-5 Les types des rayonnements :

On distingue des rayonnements particuliers (chargés ou neutres) et électromagnétiques.

L'étude de la spectrométrie gamma est intéressée plus particulièrement à l'alpha, bêta et gamma

II-5-1 Le rayonnement alpha : correspondant à l'émission d'un noyau d'hélium (particule α) constitué de 2 protons et 2 neutrons. Elle concerne généralement les radionucléides lourds [19] (approximativement tout ce matériel lourd ayant un $Z \geq 83$).

une équation simple qui décrit la désintégration alpha est particule :



Exemples :

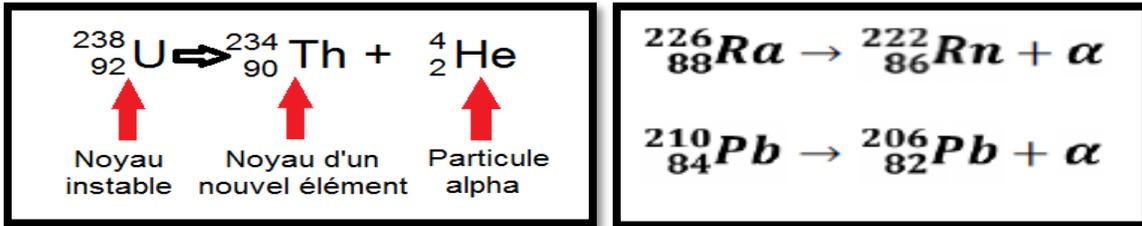


Figure II.2 : l'émission de particules alpha par différents noyaux [43]

Remarque : Am95-241 ; U92 -238 Th90-230 et Ra88-227 sont des nuclides se délabrent avec l'alpha émission.

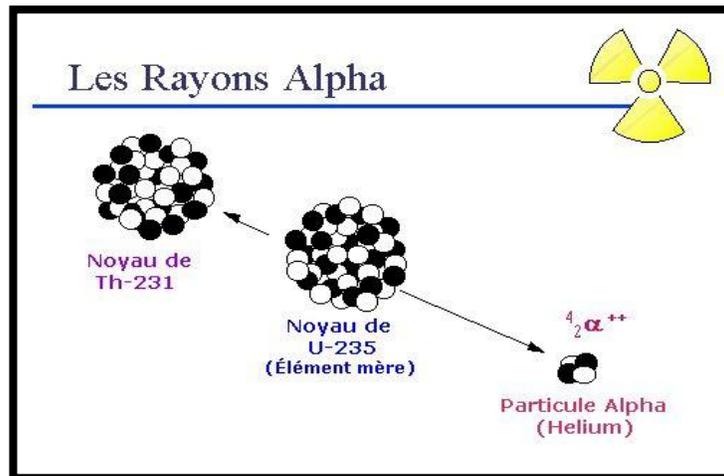


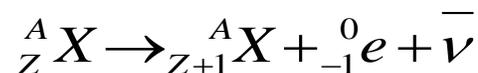
Figure II.3 : les rayon alpha [44]

II-5-2 Le rayonnement bêta :

Concerne les noyaux instables riches en protons ou neutrons. Elle se retrouve sous 2 formes β^+ et β^- :

- A) Le β^- : est l'émission d'un électron chargé négativement associé avec une particule appelée antineutrino est issu de la transformation d'un neutron en un proton. Elle concerne les noyaux ayant un excès de neutrons.

Le processus de désintégration bêta peut être simplement exprimé par l'équation suivante :



Exemple :

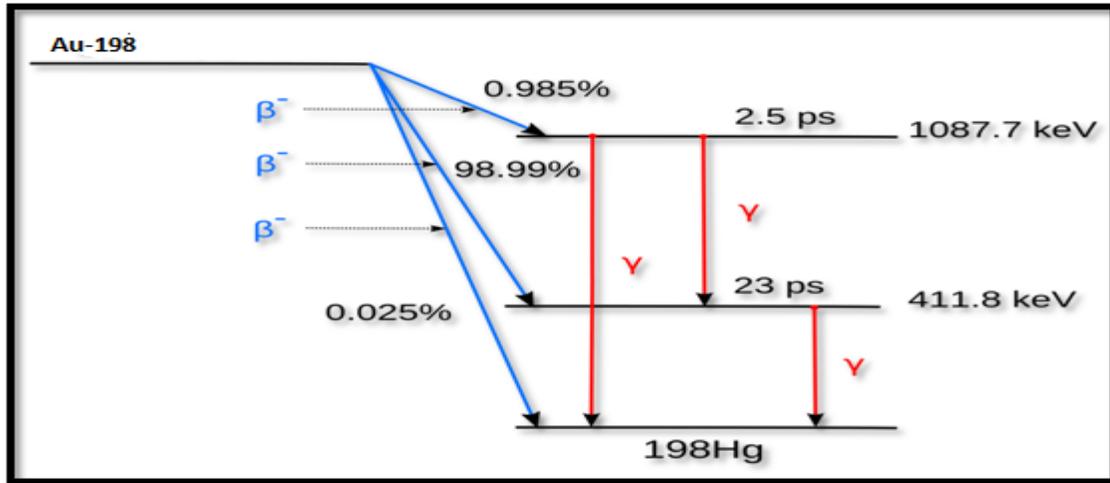


Figure II.4 : l'émission de rayonnement β^- dans la désintégration de Au-198 [45]

B) Le β^+ : est l'émission d'un électron chargé positivement (e^+) appelé positron, et associé à celle d'un neutrino (de masse quasiment nulle) [46].

Le processus de désintégration bêta peut être simplement exprimé par l'équation suivante :

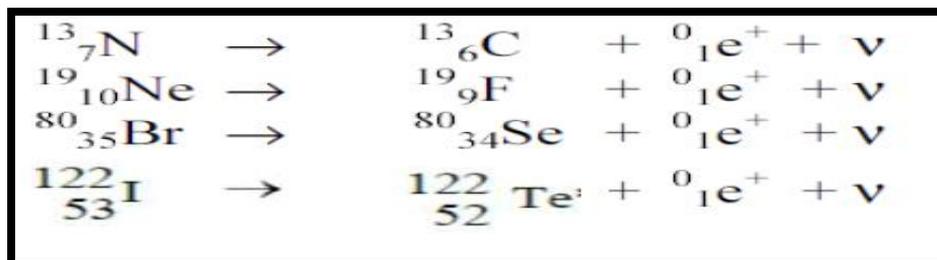
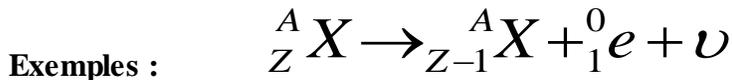


Figure II.5 : l'émission de particules β^+ par différents noyaux [47]

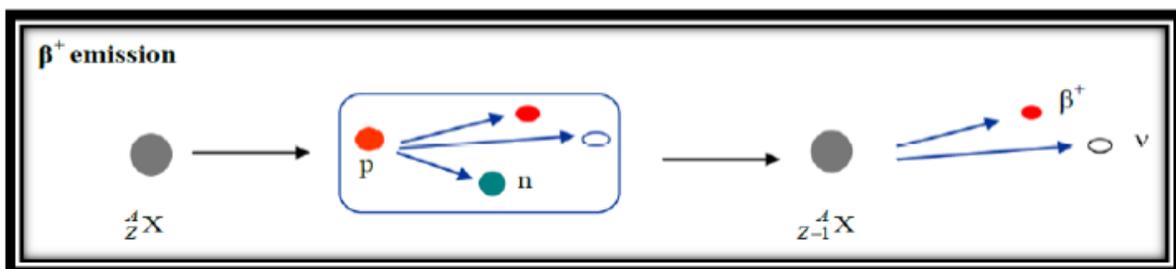


Figure II.6: l'émission de rayonnement β^+ [47]

II-5-3 Le rayonnement gamma : est une radiation électromagnétique émise à la suite d'un rayonnement alpha ou bêta lorsque ceux-ci produisent un nouveau noyau dans un état excité. Cet excès d'énergie est libéré sous forme de photons de hautes énergies (quelques KeV ou GeV) dû à une désexcitation d'un noyau atomique possédant un fort potentiel de pénétration dans la matière. Son énergie est $E=h\nu=h\times c/\lambda$ h : constante de Planck, ν : fréquence de l'onde et λ : la longueur d'onde, généralement cette longueur d'onde est toujours inférieure à 10 pico mètres ($<10^{-11}$ m), d'autre côté la fréquence est largement supérieure à 30 exa hertz ($>3\times 10^{19}$ Hz). La découverte des rayons gamma en 1900 est due à Paul Villard, chimiste français (1860-1934) [48].

Le processus de désintégration gamma peut être simplement exprimé par l'équation suivante :

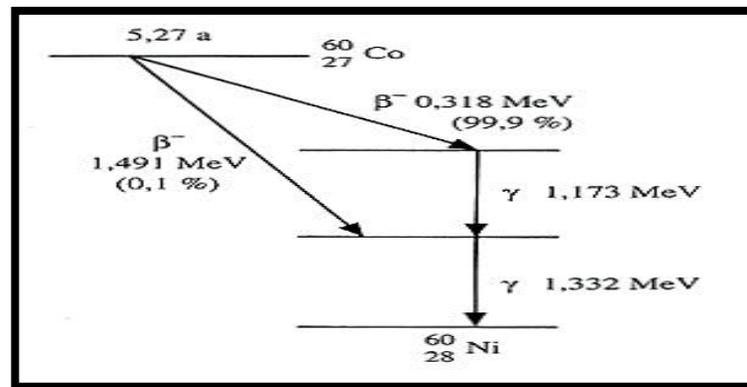


Figure II.7 : l'émission de rayonnement gamma dans la désintégration de Co-60 [49]

II-5-4 Le rayonnement X : Il s'agit du même type de radiations que le rayonnement γ , cependant elles sont émises par l'enveloppe électronique de l'atome et non par le noyau. Le rayonnement X est également très pénétrant. L'application la plus connue des rayons X est naturellement la radiographie dans le diagnostic médical [34].

II-5-5 Le rayonnement neutronique : Il s'agit de neutrons émis lors de la fission de noyaux lourds ou obtenus en bombardant certains noyaux avec des particules α (réaction α -n).

L'application la plus courante des sources de neutrons est la mesure de l'humidité des sols [50].

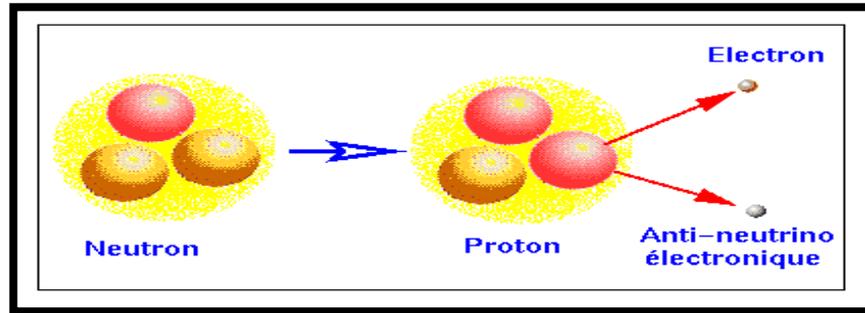


Figure II.8 : les rayonnements neutroniques [51]

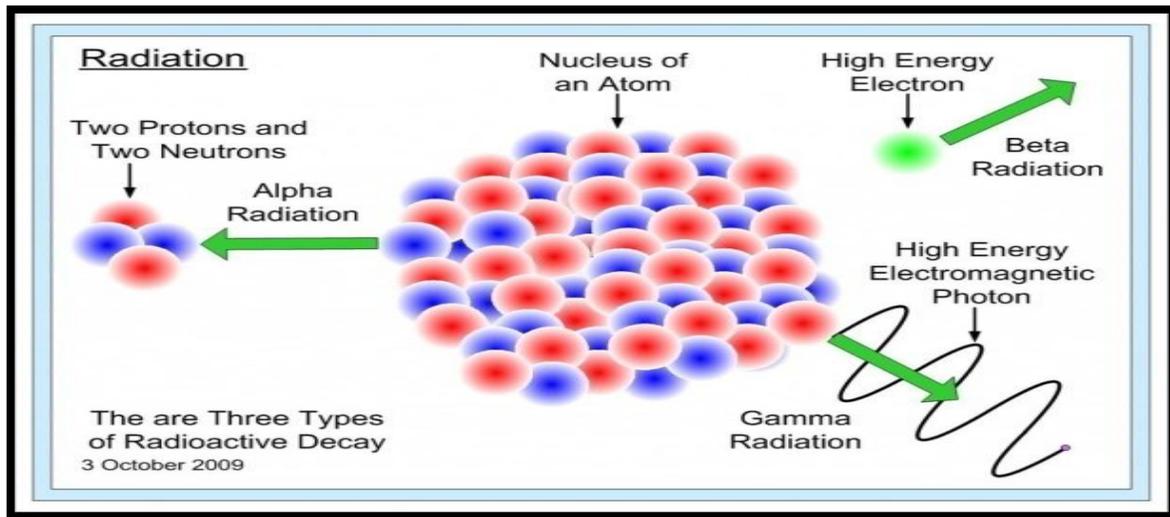


Figure II.9 : les types de désintégration [52]

II-6 Les interactions photons matière :

L'interaction de la matière avec les protons est assurée par cinq types des réactions, les trois principaux sont l'effet photoélectrique, l'effet Compton et la création de paires, cette dernière étant seulement possible pour des photons d'énergie supérieure à 1.022 MeV. Les deux autres processus possibles sont la diffusion élastique pour les énergies inférieures à 50 keV et les réactions nucléaires à haute énergie (supérieure à 5 MeV). Ce dernier processus ne sera pas développé car l'énergie maximale des photons mesurée en spectrométrie gamma in-situ n'excède pas 3 MeV [34].

II-6-1 Effets photoélectriques :

Dans l'effet photoélectrique, un photon gamma interagit avec la matière en transférant l'intégralité de son énergie à un électron d'orbitale qui est alors éjecté de l'atome auquel il était lié. L'énergie cinétique de ce *photoélectron* est égale à l'énergie du photon gamma moins

l'énergie de liaison de l'électron. L'effet photoélectrique est supposé être le mécanisme principal de transfert d'énergie des rayons X et des rayons gamma d'énergie inférieure à 50 keV, mais est beaucoup moins important à plus hautes énergies. Sa plage d'énergie dépend du numéro atomique [34].

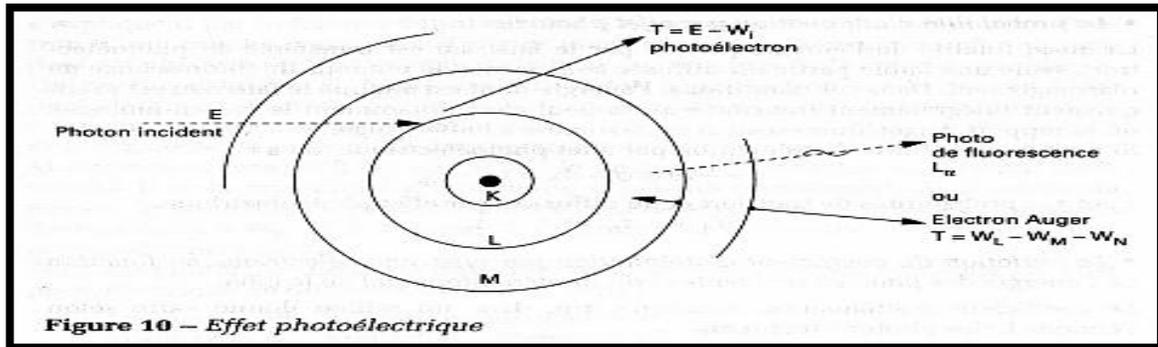


Figure II.10 : effet photo électrique [53]

II-6-2 Diffusion Compton :

Dans le cas de la diffusion Compton, le photon gamma possède une énergie plus que suffisante pour arracher un électron d'orbitale ; l'énergie restante est réémise sous forme d'un nouveau photon gamma de moindre énergie et dont la direction d'émission est différente de la direction incidente du photon gamma d'origine. L'efficacité de la diffusion Compton diminue avec l'augmentation de l'énergie des photons ; on pense que c'est le principal mécanisme d'absorption des rayons gamma dans la gamme d'énergie entre 100 keV et 10 MeV, qui est celle qui inclut la plus grande part de radiations gamma provenant d'une explosion nucléaire. La diffusion Compton est relativement indépendante du numéro atomique de la matière absorbant les photons gamma [34].

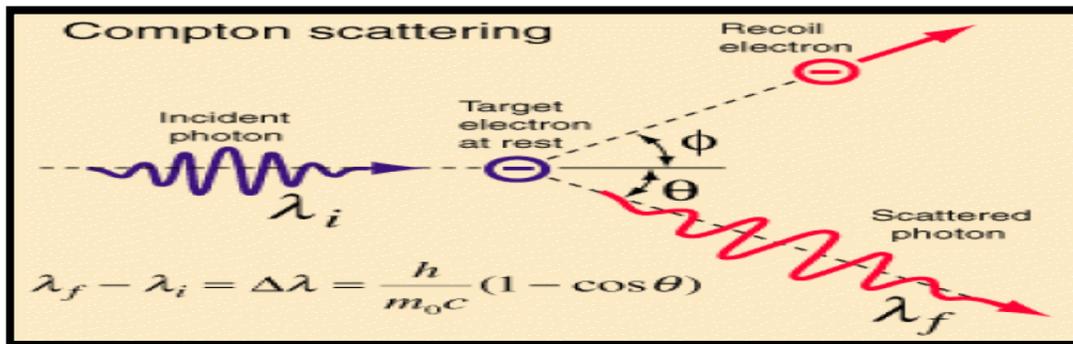


Figure II.11 : la diffusion Compton [51]

II-6-3 Production de paires :

En interagissant avec la force de Coulomb au voisinage d'un noyau atomique, l'énergie du photon gamma incident peut spontanément être convertie en masse sous la forme d'une paire électron-positon. La production d'une telle paire nécessite une énergie supérieure à la masse au repos des particules qui la composent, soit 1.022 MeV : l'énergie excédentaire est transférée sous forme d'énergie cinétique à la paire formée ainsi qu'au noyau de l'atome. L'électron produit, qui est souvent appelé *électron secondaire*, est hautement ionisant. Quant au positon, très ionisant aussi, il possède une très courte durée de vie dans la matière : 10^{-8} seconde, car dès qu'il est à peu près arrêté, il se combine avec un autre électron ; la masse totale de ces deux particules est alors convertie en deux photons gamma de 0.511 MeV chacun [48].

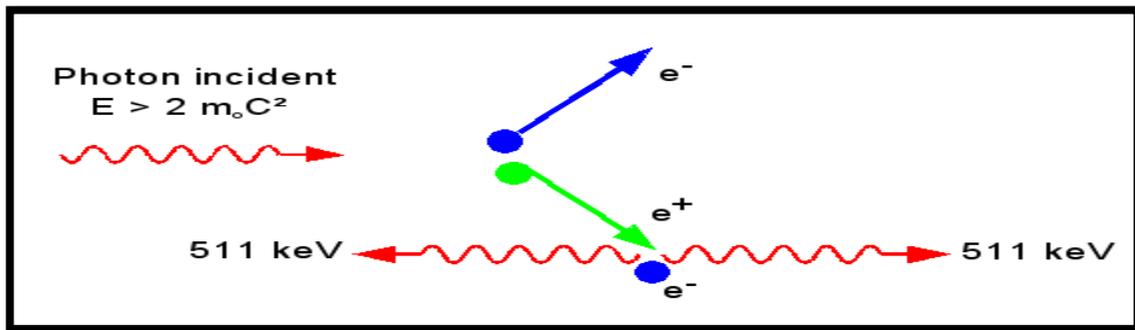


Figure II.12 : production de paires [54]

II-6-4 La diffusion élastique : consiste en une collision avec la matière au cours de laquelle le photon ne perd pas d'énergie. La diffusion élastique comporte deux types de diffusion : la diffusion Thomson et la diffusion Rayleigh [48].

II-7 La pénétration de la radiation dans la matière :

Le pouvoir de pénétration de la radiation dans la matière varie beaucoup d'un type de rayonnement à l'autre : dans le cas du rayonnement α , la distance franchie est de l'ordre de 50 millièmes de millimètre dans l'eau ou de 5 cm dans l'air; ainsi on peut dire que le rayonnement α est absorbé sur place. Le rayonnement α ne pose pas de problème d'irradiation externe, car il est absorbé dans la couche morte de l'épiderme; dans le cas du rayonnement β , le parcours maximal est de l'ordre de 1 cm dans l'eau. Pour se protéger contre ce rayonnement il suffira ainsi

d'interposer une plaque de plexiglas de 1 cm d'épaisseur; Pour le rayonnement γ , qui est le rayonnement le plus pénétrant, la situation est un peu plus compliquée. Si l'on interpose dans un faisceau de rayons un écran d'une épaisseur de 5 cm de plomb, on atténue ce rayonnement d'un facteur 10; si l'on dispose d'un écran de 10 cm, l'atténuation sera d'un facteur 100; avec 15 cm, le facteur est de 1000; etc... On voit que l'on ne peut jamais tout arrêter; il reste toujours une fraction du rayonnement qui traverse l'écran. Dans le cas des neutrons, il est nécessaire de les ralentir avant de pouvoir atténuer le rayonnement. On utilise pour cela des écrans de matériaux riches en hydrogène, comme la paraffine ou le polyéthylène. Notons que les valeurs données pour le rayonnement γ sont des valeurs moyennes. Les rayons γ émis par les différents radioéléments n'ont pas la même énergie et la pénétration varie avec l'énergie [48].

Tableau II.02 : Quelques distances de pénétration par type de rayonnement:

Type de rayonnement	Distance de pénétration	Méthode de protection (irradiation externe)
α	50 μm d'eau, 5 cm d'air	Couche morte de l'épiderme
β	1 cm d'eau	Plaque de plexiglas (~ 1 cm)
γ	infini	Réduction d'un facteur 10 pour: 5cm de plomb 25cm de béton

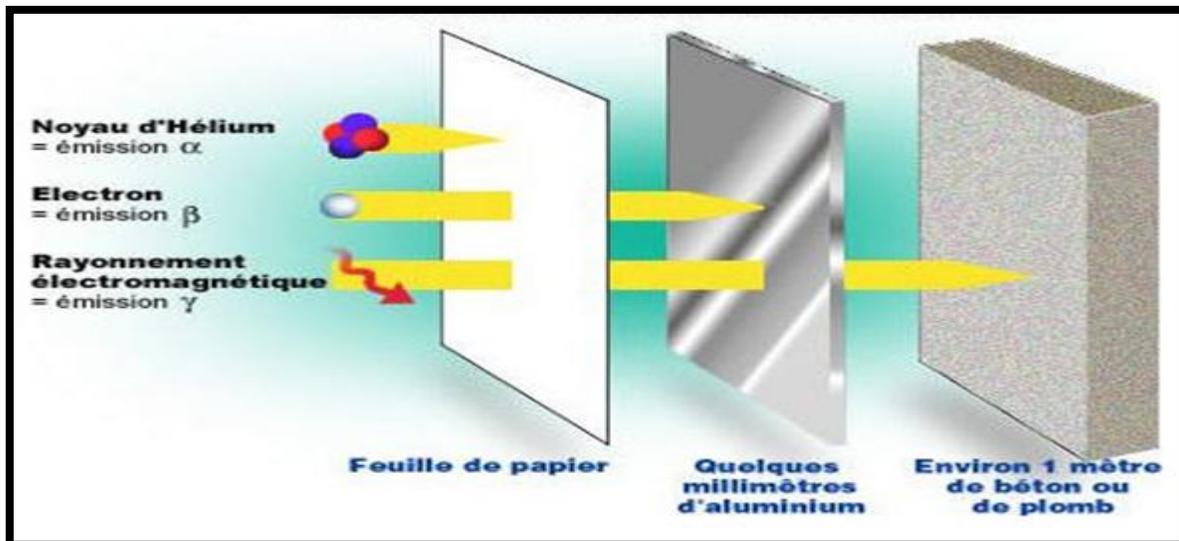


Figure II.13 : matière du blindage efficace pour divers types de rayonnements

CHAPITRE III

LE DÉTECTEUR GAMMA

III-1 Scintillateurs :

III-1-1 Définition :

Ces matériaux ont les propriétés d'émettre la lumière lorsqu'ils sont soumis à un rayonnement nucléaire. La lumière produite est issue soit d'un mécanisme de fluorescence (quand l'émission de lumière est produite juste après l'absorption d'énergie) ou de phosphorescence (quand l'émission est retardée) [55].

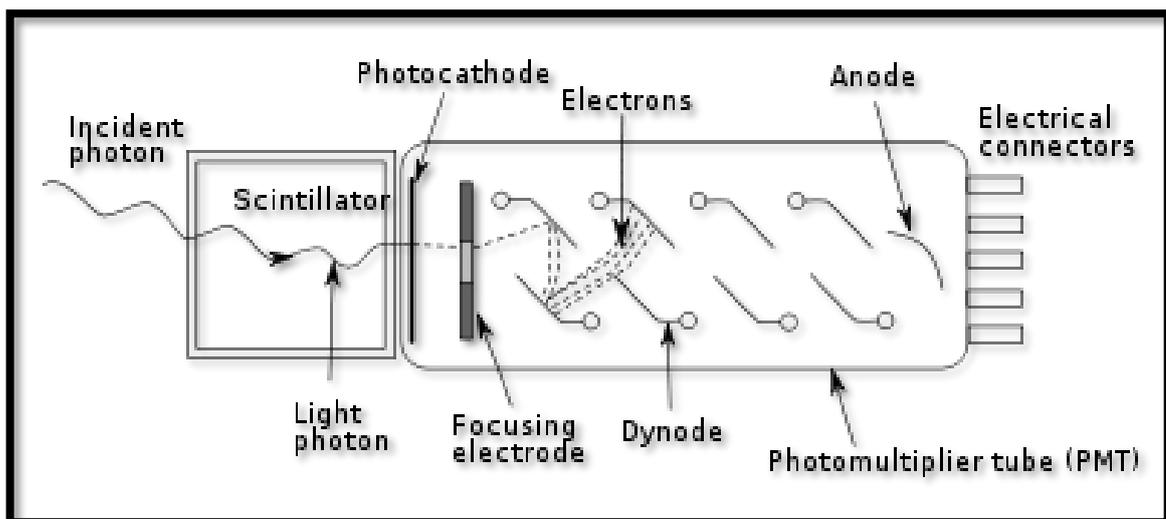


Figure III.1 : Schéma de scintillateur et un tube photomultiplicateur.

III-2 Types des scintillateurs :

Les scintillateurs sont classés en deux familles : les inorganiques (amorphes ou cristallins ou avec activateurs); et l'organiques (Plastiques, liquides, liquides chargés); ces deux types de détecteurs existent à l'état solide mais aussi à l'état liquide pour les scintillateurs organiques [56].

III-2-1 Scintillateurs organiques :

Les scintillateurs plastiques sont utilisés pour les déclenchements ultra-rapides. Le processus de fluorescence surgit de transitions dans la structure de niveaux d'énergie de molécules simples. Il peut, donc, être observé indépendamment de l'état physique du matériau (solide, liquide, etc.). Les utilisations sont telles que la spectroscopie β et la détection de neutrons rapides.

Les caractéristiques typiques sont:

- Densité: environ 1 g/cm^3
- Constante de temps: 1.4 ns au minimum
- Longueur d'onde d'émission: $\sim 400 \text{ nm}$.
- Indice de réfraction: 1.58 pour les plastiques [56].

III-2-2 Les scintillateurs inorganiques :

Ils sont lents par rapport a les organiques mais produisent plus de lumière. Le mécanisme de scintillation des matériaux inorganiques dépend des états d'énergie déterminés par le réseau cristallin du matériau. Il existe des alcalino-terreux dopés ou non (NaI(Tl), CsF₂...) et les oxydes (BGO, PbWO₄...).

La bande de valence représente les électrons qui sont essentiellement liés aux sites cristallins, alors que la bande de conduction représente les électrons possédant suffisamment d'énergie pour être libres de migrer à travers le cristal. Il existe une bande intermédiaire d'énergie, appelée bande interdite, dans laquelle les électrons ne peuvent jamais se trouver au sein de cristaux purs. L'absorption d'énergie peut provenir de l'élévation d'un électron de sa position normale dans la bande de valence jusqu'à la bande de conduction. Il laisse alors **un trou** dans la bande de valence normalement plein. Dans un cristal pur, le retour de l'électron à la bande de valence avec l'émission d'un photon est un processus "inefficace". En plus, l'énergie du photon émis est trop haute pour être dans l'intervalle visible. Pour augmenter la probabilité d'émission d'un photon visible pendant le processus de "désexcitation", on ajoute habituellement de petites quantités d'impuretés aux scintillateurs inorganiques. Ces impuretés, appelés **activateurs**, créent des sites spéciaux dans le réseau, pour lesquels la structure normale de la bande d'énergie est différente de celle du cristal pur. En conséquence, des états d'énergie se créent à l'intérieur de l'intervalle interdit à travers desquels l'électron peut revenir à son état initial de la bande de valence. Cette quantité d'énergie est plus petite que celle de la zone interdite remplie, ce qui a pour conséquence que la transition donne lieu à un photon visible et sert de base au processus de scintillation [57].

Tableau III.1 : Propriétés des scintillateurs inorganiques [58] :

Scintillateur matériel	Densité [g/cm ³]	Réfractive Index	Longueur d'onde [nm] pour max émission	Constante de temps de désintégration [μs]	Photons/MeV
NaI	3.7	1.78	303	0.06	8·10 ⁴
NaI(Tl)	3.7	1.85	410	0.25	4·10 ⁴
CsI(Tl)	4.5	1.80	565	01.	1·10 ⁴
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂	7.12	2.15	480	0.30	2.8·10 ³
CsF	4.1	1.48	390	0.003	2·10 ³
LSO	7.4	1.82	420	0.04	1.4·10 ⁴
PbWO ₄	8.3	1.82	420	0.006	2·10 ²

LHe	0.1	1.02	390	0.01/1.6	$2 \cdot 10^2$
LAr	1.41	1.29*	150	0.005/0.86	$4 \cdot 10^4$
LXe	3.1	1.60*	150	0.003/0.02	$4 \cdot 10^4$

III-3 Mécanisme de scintillation :

1-Les rayonnements ionisants excitent les atomes du matériau qui se désexcite en émettant des photons.

2-Effet photoélectrique : un électron arrache un électron de photocathode.

3-Multiplication des électrons puis recueil de du signal électrique [59].

III-4 Caractéristiques de scintillateur :

1-Rendement lumineux : nombre de photons de fluorescence émis par unité d'énergie des radiations incidentes.

2-Durée de scintillation taux : doit être la plus court possible pou limiter les temps morts.
(Temps morts : durée minimale pour qu'un autre rayonnement soit détecté).

3-Application spectrométrie : le nombre de photons de fluorescence émis(N_p) doit être proportionnel à l'énergie des radiations incidentes (rendement lumineux (E_a) stable [60].

4-Linéarité de la conversion.

5- Haute efficacité de scintillation.

6-Longueur d'onde de la luminescence de préférence dans le bleu ou le visible (adaptée aux PMT)

7-Milieu transparent : au moins à sa longueur d'émission.

8-Densité élevée : suffit à arrêter des particules électromagnétiques de très haute énergie.

9-Luminescence rapide 1-2ns pour les plus rapides (doit être adapté à l'expérience).

10-Résistance aux radiations - Pour les expériences sensibles aux radiations en général il y a une dégradation importante de la transparence du cristal.

11- Indice de réfraction proche de 1.5 - Il intervient dans le couplage optique avec le dispositif photosensible pour avoir un minimum de perte de lumière.

12-Matière non hygroscopique.

13-Matière mécaniquement résistante.

III-5 Détecteur NaI(Tl) :

Les détecteurs NaI (Tl) sont de types de scintillateurs, quand un rayon gamma entre dans le cristal de détecteur, des interactions électroniques à l'intérieur du cristal peuvent causer la lumière d'être émises [60].

III-5-1 Résolution :

Un espace relativement de grande énergie pour le NaI contribue à la résolution relativement pauvre de ce type de détecteur en comparaison avec le détecteur de HP Ge.

La signification pratique de la résolution d'énergie pauvre est la production des spectres de rayons gamma qui a la résolution maximale pauvre, caractérisée par les larges crêtes qui recouvrent dans beaucoup de cas. Les cristaux de détecteur de NaI viennent dans beaucoup de différentes tailles et formes, qui affectent également l'exécution du détecteur. Généralement plus le cristal est grand, plus les rayons gamma d'une source donnée seront convertis en comptes de détecteur. L'épaisseur du cristal affecte également l'efficacité de l'absorption des rayons gamma de diverses énergies. Par exemple, les rayons gamma de grande énergie peuvent passer complètement par un cristal mince, une propriété exploitée dans les détecteurs minces de NaI comme l'instrument de champ pour détecter le rayonnement de basse énergie (FIDLER). Cette unité détecte les rayons gamma à énergie réduite au rendement élevé, alors que la plupart des gammas de grande énergie traversent le cristal et disparaissent non détectés. La détection des radionucléides avec des gammas à énergie réduite appropriés est augmentée par la réduction de bruit de fond des gammas de grande énergie. Réciproquement, les cristaux épais de détecteur sont souvent utiles pour la détection de l'uranium, du radium, et des isotopes de thorium qui ont les rayons gamma de grande énergie en avant [61].

III-5-2 L'application de NaI(Tl):

Le rendement de détecteur NaI(Tl) est élevé pour la détection de rayons gamma puisque le Z de l'iode dans les cristaux de NaI (Tl) est élevé et par conséquent sa résolution pour 3 po. de diamètre par le cristal de 3 po. de longueur est en général environ 7% pour ^{137}Cs et légèrement plus mauvaise pour de plus grandes tailles. La constante de temps légère d'affaiblissement pour un cristal de NaI (Tl) est environ 0.23 μs . Les préamplificateurs sont sensibles typiquement et traduisent ceci en impulsion de tension de rendement avec un temps de montée d'environ 0.5 μs . Les mesures rapides de coïncidence ne peuvent pas réaliser les

temps de résolution très courts qui sont possibles aux scintillateurs en plastique, particulièrement à de basses énergies de rayons gamma [61].



Figure III.02: les formes de détecteur gamma de NaI (Tl) 2 pouces x2 [62]

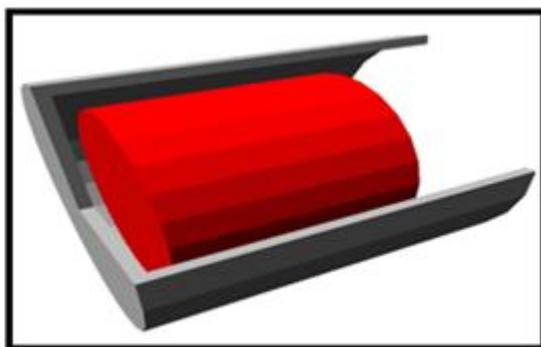


Figure III.03: la géométrie simulée de détecteur NaI(Tl) [62]

III-5-3 Le PMT :

Il se compose d'une photocathode, une électrode de focalisation, et 10 ou plus dynodes dont multiplier le nombre électrons heurtant à chaque dynode. Une chaîne de résistances typiquement situées dans un tube pour polariser l'anode et dynodes. Accomplir les assemblées comprenant le scintillateur et les PMT sont disponibles [63].

III-5-4 La spectroscopie génie 2000:

Les résultats de analyse et de enregistrement des données à ce travail ont été faits en utilisant un programme de la spectroscopie 2000 de génie qui a un ensemble de possibilités pour acquérir et analyser des spectres de l'analyse multi canal (des MCM), ce système est utilisé l'analyseur de spectre numérique comme le modèle multi canal d'analyseur (DSA-1000) - Canberra, qui était contient les canaux intégrés et basés sur les techniques avancées de traitement numérique du signal (DSP), il a fonctionné par le logiciel génie 2000 de

spectroscopie (**Canberra**) et sa convenance avec certaines technologies de détecteur comme HPGe, NaI, SI (Li), CdTe ou (Zn) Te Cd que Le DSA-1000 soutient les deux modes traditionnels d'analyse de taille d'impulsion aussi bien qu'une graduation multi canal a fait pour des applications variables dans le temps et également elle peut être employée pour corriger le temps mort et pour l'empiler vers le haut au taux de grande quantité pour obtenir une nouvelle méthode pour le traitement de forme d'impulsion [61].

III-5-5 Le principe de fonctionnement de détecteur NaI(Tl):

La quantité de lumière émise est proportionnelle à l'énergie du rayon gamma absorbé. Les flashes légers sont détectés par un tube de multiplicateur de photo (PMT) couplé au détecteur. Pour décaler la fréquence de la lumière émise à la gamme discernable par la plupart de PMTs, un activateur, habituellement 0.1% thallium, est enduit dans le cristal. Ainsi, le détecteur désigné plus correctement sous le nom de NaI (Tl). La lumière de convertis de PMT clignote aux frais électriques, qui à leur tour sont mesurés par un analyseur d'amplitude. L'intensité de l'impulsion de tension résultante est proportionnelle à l'énergie du photon de rayons gamma qui a lancé l'ordre. Un dispositif appelé « un analyseur d'amplitude multi canal » (des MCM) remplit la fonction de déterminer le nombre d'impulsions d'une taille donnée détectée dans un temps donné. Un ordinateur qui produit un spectre de rayons gamma traite le rendement numérique des MCM, un résultat brut total de compte est également disponible. Pour qu'un rayon gamma soit détecté, il doit exciter un électron dans le cristal de la bande de valence à la bande de conduction [61].

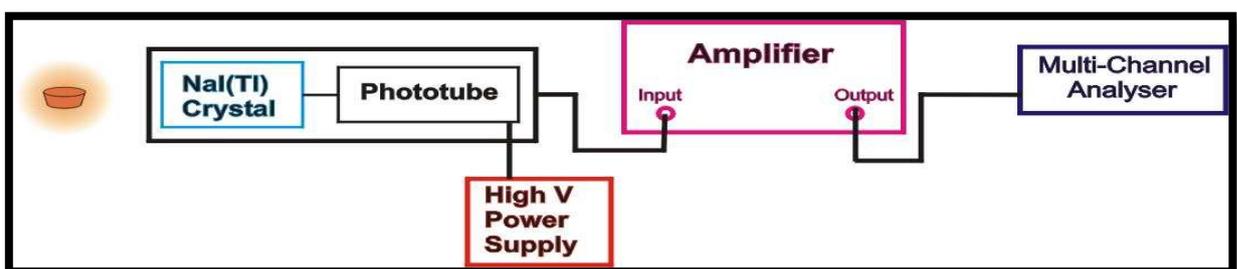


Figure III.4 : schéma électronique pour système de spectroscopie de rayon γ avec NaI (Tl) détecteur.

III-6 L'analyse des spectres Gamma :

Les photons ayant déposé, seront détectés par un ordinateur sur la base d'enregistrement et de visualisation de temps réel afin de déterminer les mesures chaque fois et atteindre les niveaux acceptables d'incertitude (modifiée).

Le traitement et d'analyse du signal est réalisé par Le logiciel Genie2000. Qui permet de visualiser en temps réel la sortie de l'analyseur multicanaux, à savoir un spectre avec en abscisse le numéro de canal et en ordonnée le nombre de coups dans ce canal. De manière à pouvoir identifier les désintégrations radioactives mises en jeu.

On obtient un spectre qui présente un ensemble de pics distribués en énergie se rajoutant à un fond. L'énergie du pic correspond à l'énergie du photon incident, ce qui permet d'identifier le radioélément émetteur gamma. Les pics sont en réalité des gaussiennes dont la largeur à mi-hauteur varie avec l'énergie. Ceci étant dû à une déformation par le détecteur. La surface des pics est alors proportionnelle à l'activité. De manière à évaluer l'activité de l'échantillon, il faut pouvoir, pour chacun des pics localiser le centre du pic ainsi que les limites de celui-ci. La surface du pic sera calculée entre ces limites. La recherche de pics et le calcul des surfaces peut se faire manuellement ou en utilisant les algorithmes utilisés par Genie2000.

III-6-1 La mesure d'U-238 par la spectrométrie gamma :

L'U-238 est le premier radionucléide dans la chaîne important d'uranium et il a été utilisé pour une large échelle des applications dans les études environnementales. Toute fois, parce que le U-238 est un émetteur gamma très pauvres, les mesures directes de celle-ci sont impossibles dans les échantillons environnementaux .La probabilité d'émission pour le pic de rayon gamma le plus intense (49.5KeV) est seulement 0.070%. Pourtant, la spectrométrie gamma peut être utilisée pour mesurer U-238 grâce à l'équilibre séculaire. U-238 sera en équilibre séculaire avec sa fille, Th-234, dans quatre mois au plus, et donc Th-234 peut être adressée à la place.

El Daoushy et 15 Hernández (2002) ont montré comment il est possible de faire des déterminations absolues précises des activités de Th-234 dans les échantillons environnementaux. Au moment de conclure, le 92.5KeV doublet de pointe est souvent perturbé par rayons X, dans la plupart des cas, ce qui fiable pour des mesures absolues. Cependant, en utilisant des techniques de simulation de Monte Carlo, ils sont montré

comment il est possible de contrôler l'auto-absorption pour le 63KeV pic. Ainsi, le 63KeV de Th-234 pic fournit un moyen de déterminer l'activité d'U-238 par la spectrométrie gamma. Le seul risque pourrait être la perturbation de Th-232 dans les échantillons à haute teneur en thorium, mais faible teneur en uranium [64].

III-6-2 La mesure de Ra-226 par spectrométrie gamma :

Ra-226 est un émis gamma avec à 186.1 KeV. Bien que la probabilité d'émission soit assez faible, 3.516%, cette ligne serait dans de nombreux cas suffisants pour mesurer l'activité directement, si elles ne sont pas le fait qu'U-235 dispose une ligne de gamma se chevauche à 185.7KeV avec une probabilité d'émission de 57.25%. En général, on peut s'attendre à la fois le Ra-226 et le U-235 à être présents dans les échantillons environnementaux, de sorte que ces lignes ne peuvent pas emblée a utilisées pour des mesures absolues. Afin de mesurer le Ra-226 d'une manière plus appropriée, on doit se tourner vers ses filles. Toutefois, le Rn-222 fille est un gaz très mobile avec une demi-vie de 3.8235 jours. Lors de la préparation de l'échantillon, il est inévitable qu'au moins certaines Rn-222 soient perdu, ce qui signifie que tout équilibre séculaire possible est perturbé. Par conséquent, il est nécessaire de laisser les échantillons pour environ quatre semaines. Avant que les mesures sont prises afin d'assurer que l'équilibre séculaire est rétabli dans l'échantillon. Dans le cas où l'échantillon ne remplit pas complètement le conteneur qui est utilisé dans les mesures, l'échantillon est recouvert d'un film plastique afin d'éviter que le radon se rassembler dans l'entrefer entre l'échantillon et le couvercle car cela changerait la distribution spatiale du rayonnement non seulement de

Rn-222, mais aussi de ses filles de courte durée, par exemple Po-218, Pb-214 et Bi-214. Ce serait à son tour affecter l'efficacité des mesures de manière incontrôlée, ce qui rend impossible de tirer des conclusions concernant leurs activités absolus. Ceci est important parce que les filles du radon fournissent la meilleure façon de mesurer avec précision l'activité de Ra-226 dans un échantillon. Le meilleur choix est Pb-214 qui a une ligne de gamma à 351.9 KeV avec une ration de branchement élevé (35.14%). Un inconvénient évident de cette approche est bien sûr que l'échantillon doit être préparé au moins quelques semaines avant les mesures afin d'assurer que le Pb-214 est vraiment en équilibre séculaire avec le Ra-226. D'autre part, cela permet la correction de l'ingérence dans le pic 185/186 KeV afin que l'activité d'U-235 puisse être consultée [64].

III-6-3 La mesure d'autres nucléides de la chaîne d'uranium par la spectrométrie gamma :

Pb-210 peut être mesurée à l'aide de son pic de 46.5KeV, mais nécessite des corrections pour l'auto absorption dans certains cas. Cependant, aucun de ces corrections n'ont pas encore faite pour ces mesures, ce qui pourrait conduire à une légère sous-estimation des activités de Pb-210, surtout dans les échantillons de gravier et d'argile. Les mesures de deux autres membres importants de la chaîne d'uranium, ont également été tentées mais, ces mesures sont incertaines et leur fiabilité reste attestée. Le Th-230 a une petite crête (0.376%) à 67.67 KeV, où ils semblent avoir aucune ingérence de tout autre radionucléide dans les échantillons environnementaux. Dans les échantillons plus radioactifs, un pic distinct a été observé dans cette région et identifiés comme Th-230. En raison de la probabilité de basse émission les précisions ne seront pas très bonnes, même si le temps de mesure utilisée est relativement long. Si les meilleures mesures sont requises, la spectrométrie alpha doit être utilisée. L'autre radionucléide est U-234, qui a un petit pic à la probabilité d'émission 0.123% à 53.20KeV. En outre, il est recouvert par un (1.07%) de pic beaucoup plus intense de Pb-214, dont l'énergie est 53.23 KeV. Cependant, U-234 peut s'attendre les échantillons où il y a une richissement significatif d'uranium en comparaison avec le radium à contribuer considérablement à ce pic. Depuis le Pb-214 est facile de déterminer d'autres pics de rayon, l'ingérence dans ce pic peut être corrigé pour une activité de U-234 qui être calculé. Toute fois, aucun exemple dans ces méthodes ont été employées, les activités de Th-230 et d'U-234 ont été rencontrées dans la littérature. Par conséquent, leur fiabilité est sujette à caution jusqu'à une validation adéquate qui a été effectuée [64].

III-6-4 La mesure des nucléides de la chaîne de thorium par la spectrométrie gamma

Comme cela a été décrit précédemment, il existe essentiellement trois radionucléides dans la chaîne de l'thorium qui sont intéressants dans ce genre d'études, Th-232, Ra-228 et Th-228. Th-232 a un petit pic de gamma (63.81KeV), qui est recouverte par le pic de gamma 63.28 KeV de Th-234. Cela peut causer des incertitudes dans la mesure de l'U-238, car il est difficile de compenser la contribution du Th-232. Comme l'autre pic de gamma la majeur de Th-234 ne peut faire confiance en raison des influences de rayons X, il semble plus ou moins impossible de déterminer indirectement l'activité de Th-232 par spectrométrie gamma. Le Ra-228 ne peut pas être mesuré directement, mais grâce à sa fille Ac-228, il est possible de mesurer indirectement. Ac-228 a plusieurs pics de gamma, mais la meilleure d'entre elles

c'est le pic 338.32 KeV. Dans les échantillons solides, il est possible d'utiliser plus d'un pic pour améliorer la précision des mesures. Enfin le Th-228 a un petit pic dans la région des rayons X (84.37KeV), ce qui rend impossible de le mesurer directement. A cause à la brève demi-vie du reste nucléide de la chaîne de thorium, il est toute fois possible d'accéder à l'activité de Th-228 par les filles comme Pb-212 et Tl-208, dont le premier est probablement le meilleur. En conséquence, le Pb-212 est le radionucléide qui a été utilisé pour déterminer les activités de Th-228 à ces mesures. Son pic 238.63KeV une probabilité d'émission très élevé (43.6%), ce qui permet une détermination précise même dans les petites et les pur échantillons [64].

III-6-5 La mesure de K-40 par spectrométrie gamma :

Le potassium est constitué de 3 isotopes naturels, 39K, 40K et 41K dont seul le potassium 40 est radioactif. Il possède la particularité de se désintégrer en deux noyaux différents : dans 89 % des cas en calcium 40 par désintégration bêta- moins ; dans 11 % des cas en argon 40 par capture électronique suivie d'un rayonnement gamma à 1.46 MeV. Ce rayonnement gamma joue un rôle important car il sert à identifier les désintégrations du K-40 [65].

III-6-6 La mesure des nucléides de la chaîne d'actinium par la spectrométrie gamma :

L'U-235 et Pa-231 sont relativement difficiles à mesurer, en partie à cause des probabilités faibles d'émissions des pics utiles et les interférences, et en partie à cause de leur faible abondance dans les échantillons environnementaux. Comme il a été mentionné précédemment, il est en fait un pic de gamma avec une probabilité très élevée d'émission pour U-235 (57.2%), mais souvent ce pic est risqué d'utiliser en raison des interférences des

Ra-226. En déterminant l'activité de Ra-226 par sa fille Pb-214 il est toute fois possible de corriger l'interférence de Ra-226 et de cette manière de déterminer indirectement l'activité d'U-235.

Dans les échantillons solides autres pics peuvent également être utilisés. L'énergie 143.76 KeV pic c'est le pic de la deuxième probabilité d'émission le plus élevé (10.96%), mais il faut être prudent sur l'interférence à 144.23 KeV pic de Ra-223 (3.22%). Quand il s'agit de Pa-231, la situation est encore plus compliquée. La meilleure façon d'accéder à Pa-231 est probablement par Th-227, Ra-223 ou Rn-219, mais aucune évaluation de ces possibilités n'a été rencontrée dans la littérature. Th-227 aune pic de gamma à 235.96 KeV à une probabilité

d'émission de 12.6%, ce qui est dangereusement proche de la ligne de gamma 238.63 KeV intensif de Pb-212, mais avec une bonne résolution en énergie, il devrait être possible d'effectuer des mesures fiables. Le Ra-223 a une ligne de gamma à 269.46KeV avec une probabilité d'émission relativement élevée (13.7%), mais malheureusement, il y a un risque évident d'interférence de Ac-228 (270.24KeV) et également le meilleur pic de gamma de Rn-219 à 271.23 KeV. Si les activités sont élevées, il devrait être possible d'utiliser la correction d'interférence et les pics les plus petits pour déterminer les activités de Pa-231 [64].

CHAPITRE IV
MÉTHODOLOGIE ET
CALCULS

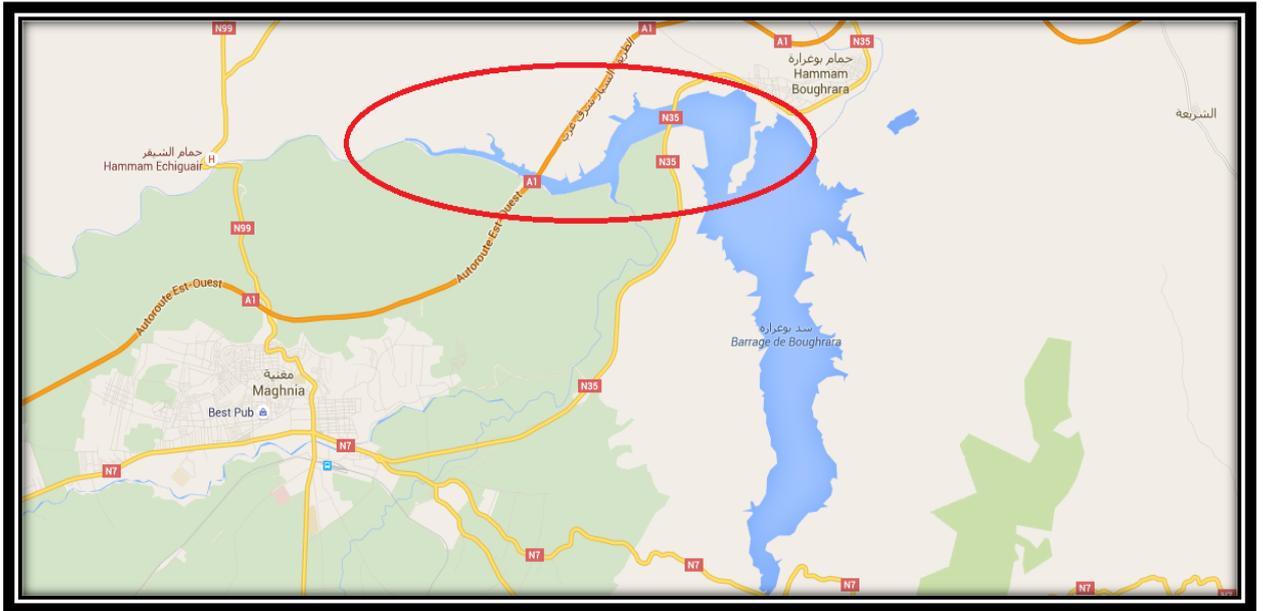


Figure IV.1 : plan de Oued Mouilah.



Figure IV.2 : carte géographique de Oued Mouilah et Hammam Boughrara.

IV-1 Prélèvement et préparation d'échantillon :

- 1) On fait un prélèvement des échantillons de sol et de sédiment de différents endroits de Oued Mouilah (hammam Boughrara) et on les transporte a notre laboratoire afin d'analyser dans cette étude.
- 2) Les 16 échantillons et les algues étaient au commencement séchés au soleil pour enlever l'humidité et aérés à la température de laboratoire(t environ 105°) pendant 24 heure jusqu'à ce que les poids témoins soient devenus constants.

3) Le broyage à laide d'un mortier : les échantillons secs ont été alors écrasés à de plus petites dimensions des particules et homogénéisés en poudre.

4) Ils ont été alors pesés et emballés dans des flacons scellés. Le poids des échantillons s'est étendu de 140.0 g à 190.89 g. Les flacons étaient hermétiquement scellé pour éviter l'évasion des produits radioactifs gazeux et gardé pour 30 jours avant l'analyse pour apporter le radon (Rn-222) et son court a vécu des dérivés dans l'équilibre avec du radium (Ra-226) [66].

IV-2 L'atténuation des rayons gamma :

On définit l'atténuation ou affaiblissement par la diminution d'amplitude ou de puissance d'une onde ou d'un signal lors sa transmission [1]. Cette diminution était quantifiée par le rapport entre leur grandeur à la sortie par celui à l'entrée de la section considérée. Elle est toujours inférieure à 1 [67], donc : **L'atténuation = (valeur en sortie) ÷ (valeur en entrée)**.

En plus l'atténuation des rayons gamma était confirmée par la formule suivante :

$$I = I_0 e^{-\mu \rho t} \quad \text{ou} \quad I = I_0 e^{-\mu d}$$

I : intensité après l'armature ; **I₀** intensité incidente

μ : coefficient d'absorption massique (**cm²/g**) ; **d** : épaisseur de l'absorber (**g/cm²**)

ρ : densité d'absorber (**g/cm³**) ; **t** : l'épaisseur physique d'absorber (**cm**) [49].

IV-2-1 Les coefficients d'atténuation :

VI-2-1-1 Définition:

La fraction des photons incidents interagissant par unité de longueur est présentée par le coefficient d'atténuation .Ce dernier exprime l'atténuation des photons en tenant compte les sections efficaces des trois processus de pertes d'énergie par la relation :

N(x) = N(0) × e^{-μx} ou **N** : montre le nombre de photons qui traversent l'épaisseur de matériau (**X**) ; **N₀** : photons incidents et **μ** : coefficient d'atténuation total et est défini par :

μ = n × σ totale et **n = NA × ρ / M** ou : **NA** : nombre d'Avogadro, **ρ** la densité et **M** : la masse molaire [49].

IV-2-1-2 Le coefficient d'atténuation linéaire :

Est le coefficient d'absorption le plus simple à mesurer expérimentalement, mais il n'est pas habituellement tabulé en raison a sa dépendance à la densité de la matière absorbante. Par exemple, à une énergie donnée, les coefficients d'atténuation linéaire de l'eau, de la glace, et de la vapeur ont tous différents, même si le même matériau est impliqué.

Les rayons gamma interagissent principalement avec les électrons atomiques, par conséquent, le coefficient d'atténuation doit être proportionnel à la densité d'électrons ρ , qui est proportionnelle à la densité apparente de la matière absorbante. Toutefois, pour un matériau donné, le rapport de la densité d'électrons à la densité volumique est une constante, Z/A , indépendante de la densité volumique. Le rapport Z/A est presque constant pour tous sauf pour les éléments les plus lourds et l'hydrogène donc $P = \frac{Z \times \rho}{A}$.

Où P : densité électronique ; Z : nombre atomique ; ρ : densité de la masse ; A : Une masse atomique [49].

IV-2-1-3 Le coefficient d'atténuation massique :

C'est le rapport du coefficient d'atténuation linéaire à la densité μ_l / ρ , il est exprimé par unité de (cm^2/g) , il dépend de l'énergie du gamma d'incident de rayonnement et la composition élémentaire du matériel. On peut le déterminer en mesurant I et I_0 pour un matériel d'épaisseur connue (d) aussi il peut être dirigé dans le terme d'une section de réaction : $\mu = \frac{Na \times \sigma}{A}$. Ou Na est le numéro d'Avogadro 6.023×10^{23} , A est le poids atomique de l'absorbeur, σ : La section transversale est la probabilité d'un rayon gamma en interaction avec un seul atome.

Le coefficient d'atténuation massique pour des matériaux composites est exprimé par la formule suivante $\mu_i = \sum \mu_i \times w_i$ [49] Où : μ_i est le Coefficient d'atténuation massique d'ième élément et w_i est la fraction du poids d'ième élément.

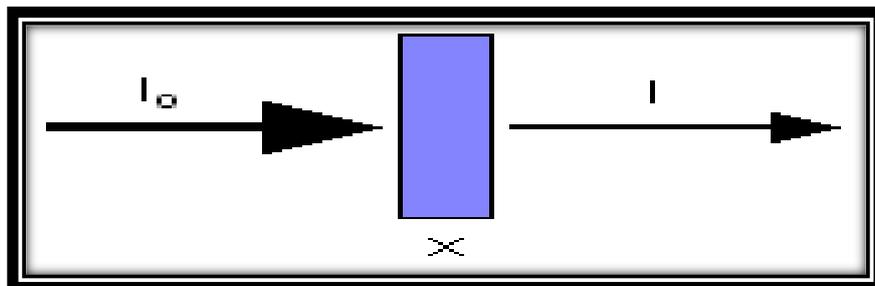


Figure IV.3 : l'atténuation de rayon à travers une section.

Tableau IV.1: μ/ρ de sodium Z=11 [49].

Energie(MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{em}/ρ (cm ² /g)	Energie (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{em}/ρ (cm ² /g)
1.0000E-03	6.542E+02	6.522E+02	4.0000E-01	9.185E-02	2.833E-02
1.0354E-03	5.960E+02	5.941E+02	5.0000E-01	8.372E-02	2.845E-02
1.0721E-03	5.429E+02	5.410E+02	6.0000E-01	7.736E-02	2.830E-02
1.0721E-03	6.435E+03	6.320E+03	8.0000E-01	6.788E-02	2.760E-02
1.5000E-03	3.194E+03	3.151E+03	1.0000E+00	6.100E-02	2.669E-02
2.0000E-03	1.521E+03	1.504E+03	1.2500E+00	5.454E-02	2.549E-02
3.0000E-03	5.070E+02	5.023E+02	1.5000E+00	4.968E-02	2.437E-02
4.0000E-03	2.261E+02	2.238E+02	2.0000E+00	4.282E-02	2.249E-02
5.0000E-03	1.194E+02	1.178E+02	3.0000E+00	3.487E-02	1.997E-02
6.0000E-03	7.030E+01	6.915E+01	4.0000E+00	3.037E-02	1.842E-02
8.0000E-03	3.018E+01	2.941E+01	5.0000E+00	2.753E-02	1.743E-02
1.0000E-02	1.557E+01	1.499E+01	6.0000E+00	2.559E-02	1.675E-02
1.5000E-02	4.694E+00	4.313E+00	8.0000E+00	2.319E-02	1.595E-02
2.0000E-02	2.057E+00	1.759E+00	1.0000E+01	2.181E-02	1.552E-02
3.0000E-02	7.197E-01	4.928E-01	1.5000E+01	2.023E-02	1.508E-02
4.0000E-02	3.969E-01	2.031E-01	2.0000E+01	1.970E-02	1.496E-02
5.0000E-02	2.804E-01	1.063E-01	8.0000E-02	1.796E-01	3.761E-02
6.0000E-02	2.268E-01	6.625E-02	1.0000E-01	1.585E-01	2.931E-02
1.5000E-01	1.335E-01	2.579E-02	3.0000E-01	1.029E-01	2.771E-02
2.0000E-01	1.199E-01	2.635E-02			

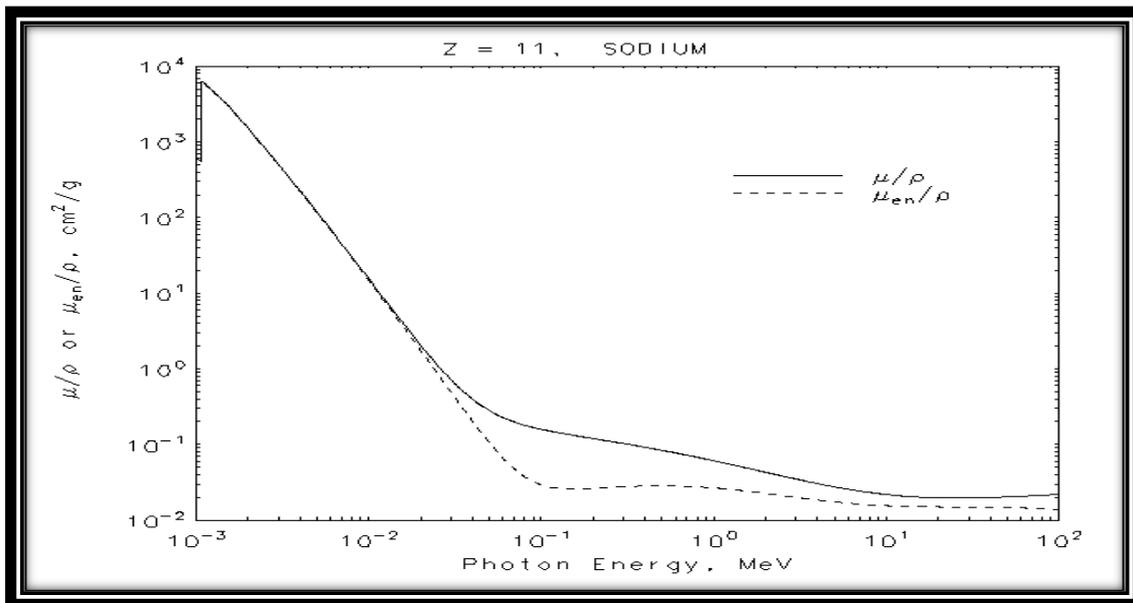


Figure IV.4 : coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photon pour le sodium [49].

Tableau IV.2 : μ/ρ d'Iode $Z=53$ [49].

	Energy	μ/ρ	μ_{en}/ρ		Energy	μ/ρ	μ_{en}/ρ
	(Me V)	(cm^2/g)	(cm^2/g)		(Me V)	(cm^2/g)	(cm^2/g)
	1.00000E-03	9.096E+03	9.078E+03		4.00000E-02	2.210E+01	9.616E+00
	1.03542E-03	8.465E+03	8.448E+03		5.00000E-02	1.232E+01	6.573E+00
	1.07210E-03	7.863E+03	7.847E+03		6.00000E-02	7.579E+00	4.518E+00
M1	1.07210E-03	8.198E+03	8.181E+03		8.00000E-02	3.510E+00	2.331E+00
	1.50000E-03	3.919E+03	3.908E+03		1.00000E-01	1.942E+00	1.342E+00
	2.00000E-03	1.997E+03	1.988E+03		1.50000E-01	6.978E-01	4.742E-01
	3.00000E-03	7.420E+02	7.351E+02		2.00000E-01	3.663E-01	2.295E-01
	4.00000E-03	3.607E+02	3.548E+02		3.00000E-01	1.771E-01	9.257E-02
	4.55710E-03	2.592E+02	2.537E+02		4.00000E-01	1.217E-01	5.650E-02
L3	4.55710E-03	7.550E+02	7.121E+02		5.00000E-01	9.701E-02	4.267E-02
	4.70229E-03	7.123E+02	6.724E+02		6.00000E-01	8.313E-02	3.598E-02
	4.85210E-03	6.636E+02	6.270E+02		8.00000E-01	6.749E-02	2.962E-02
L2	4.85210E-03	8.943E+02	8.375E+02		1.00000E+00	5.841E-02	2.646E-02
	5.00000E-03	8.430E+02	7.903E+02		1.25000E+00	5.111E-02	2.399E-02
	5.18810E-03	7.665E+02	7.198E+02		1.50000E+00	4.647E-02	2.243E-02
L1	5.18810E-03	8.837E+02	8.283E+02		2.00000E+00	4.124E-02	2.092E-02
	6.00000E-03	6.173E+02	5.822E+02		3.00000E+00	3.716E-02	2.059E-02
	8.00000E-03	2.922E+02	2.777E+02		4.00000E+00	3.607E-02	2.142E-02
	1.00000E-02	1.626E+02	1.548E+02		5.00000E+00	3.608E-02	2.250E-02
	1.50000E-02	5.512E+01	5.208E+01		6.00000E+00	3.655E-02	2.357E-02
	2.00000E-02	2.543E+01	2.363E+01		8.00000E+00	3.815E-02	2.553E-02
	3.00000E-02	8.561E+00	7.622E+00		1.00000E+01	4.002E-02	2.714E-02
	3.31694E-02	6.553E+00	5.744E+00		1.50000E+01	4.455E-02	2.980E-02
K	3.31694E-02	3.582E+01	1.188E+01		2.00000E+01	4.823E-02	3.101E-02

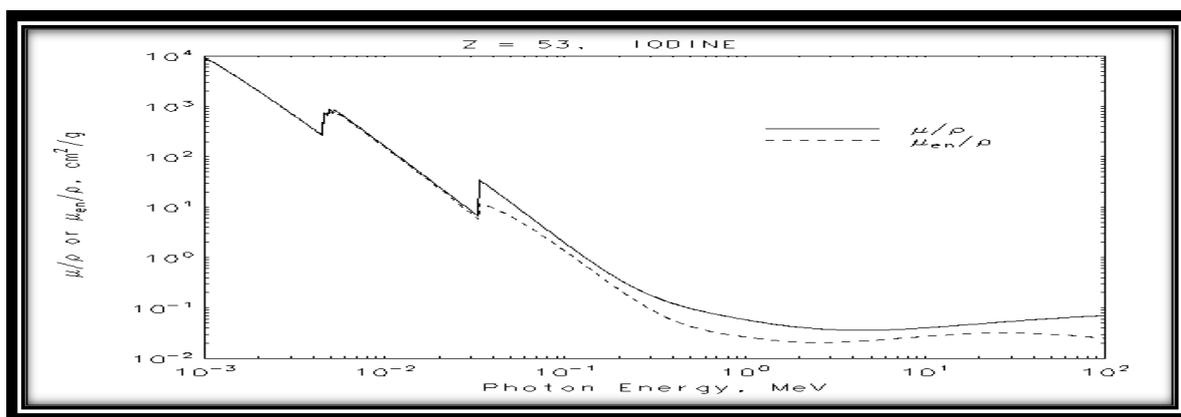


Figure IV.5 : coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photon pour l'iode [49].

Tableau IV.3 : μ/ρ d'Aluminium Z=13 [49].

Colonne	Energy	μ/ρ	μ_{en}/ρ	Energy 2	μ/ρ^3	μ_{en}/ρ^4	Energy 5	μ/ρ^6	μ_{en}/ρ^7
	(MeV)	(cm ² /g)	(cm ² /g)	(MeV)	(cm ² /g)	(cm ² /g)	(MeV)	(cm ² /g)	(cm ² /g)
	1.0000E-03	1.185E+03	1.183E+03	2.000E-02	3.441E+00	3.094E+00	8.000E-01	6.841E-02	2.778E-02
	1.5000E-03	4.022E+02	4.001E+02	3.000E-02	1.128E+00	8.778E-01	1.000E+00	6.146E-02	2.686E-02
	1.55960E-03	3.621E+02	3.600E+02	4.000E-02	5.685E-01	3.601E-01	1.250E+00	5.496E-02	2.565E-02
K	1.55960E-03	3.957E+03	3.829E+03	5.000E-02	3.681E-01	1.840E-01	1.500E+00	5.006E-02	2.451E-02
	2.0000E-03	2.263E+03	2.204E+03	6.000E-02	2.778E-01	1.099E-01	2.000E+00	4.324E-02	2.266E-02
	3.0000E-03	7.880E+02	7.732E+02	8.000E-02	2.018E-01	5.511E-02	3.000E+00	3.541E-02	2.024E-02
	4.0000E-03	3.605E+02	3.545E+02	1.000E-01	1.704E-01	3.794E-02	4.000E+00	3.106E-02	1.882E-02
	5.0000E-03	1.934E+02	1.902E+02	1.500E-01	1.378E-01	2.827E-02	5.000E+00	2.836E-02	1.795E-02
	6.0000E-03	1.153E+02	1.133E+02	2.000E-01	1.223E-01	2.745E-02	6.000E+00	2.655E-02	1.739E-02
	8.0000E-03	5.033E+01	4.918E+01	3.000E-01	1.042E-01	2.816E-02	8.000E+00	2.437E-02	1.678E-02
	1.0000E-02	2.623E+01	2.543E+01	4.000E-01	9.276E-02	2.862E-02	1.000E+01	2.318E-02	1.650E-02
	1.5000E-02	7.955E+00	7.487E+00	5.000E-01	8.445E-02	2.868E-02	1.500E+01	2.195E-02	1.631E-02
				6.000E-01	7.802E-02	2.851E-02	2.000E+01	2.168E-02	1.633E-02

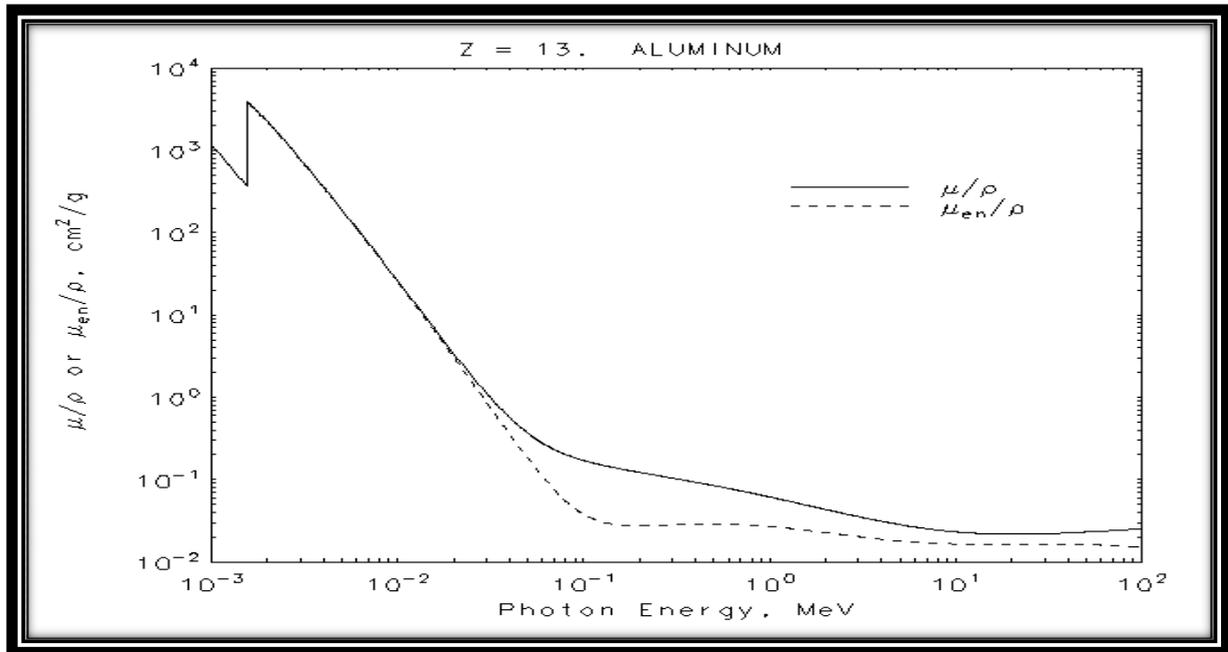


Figure IV.6 : coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photon pour l'aluminium [49].

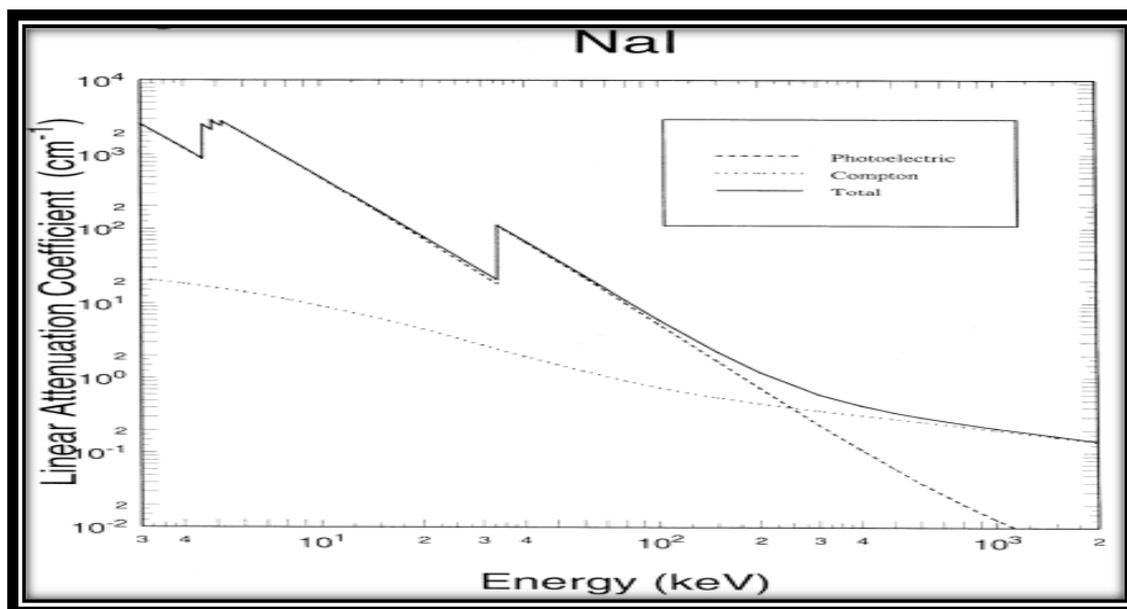


Figure IV.7 : coefficient d'atténuation linéaire et de masse selon l'énergie du photon pour le NaI [49].

Tableau IV.4 : coefficients d'atténuation linéaire et de masse de NaI et Al.

U-238 A	Energie gamma (KeV)	Probabilité %	$\mu_1(\text{Na})$ Cm ² /g W ₁ = 0.153	$\mu_2(\text{I})$ Cm ² /g W ₂ = 0.8146	$\sum \mu_i \cdot w_i$ $\mu \text{m.cal.}$ (NaI)*	$\mu \text{m.ref.}$ (NaI) **	$\mu \text{m.ref.}$ (NaI) basse énergie	$\mu \text{m.}$ moyenne (NaI)	$\mu \text{l}(\text{NaI}) =$ $\mu \text{m.} \rho$ $\rho = 3.67$ g/cm^3	$\mu \text{l}(\text{NaI})$ moyenne	$\mu \text{l}(\text{Al})$ 1/cm	$\mu \text{l}(\text{Al})$ moyenne
Ra-226	186.1*	0.0351	0.123	0.50	0.4188	0.425	1.45	0.420	1.541	1.541		
	241.98	0.0712	0.110	0.25	0.2173	0.278	0.860	0.245	0.860	0.860		
	295.21	0.1815	0.102	0.163	0.1486	0.153	0.629	0.151	0.629	0.629		
	351.92	0.0351	0.095	0.130	0.1151	0.130	0.480	0.122	0.480	0.480		
	609.31	0.441	0.077	0.079	0.0762	0.078	/	0.077	0.283	0.283		
	768.63	0.0476	0.069	0.070	0.0675	0.068	/	0.068	0.249	0.249		
Ra-228	49.5**	/	0.244	11.2	9.1874	10.40	/	9.89	36.30	/		
Pb-214	295.1	19.24%	0.102	0.160	0.1456	0.153	0.629	0.149	0.547	0.629	0.29	0.280
	325.0	37.2%	0.099	0.145	0.1331	0.142	0.530	0.138	0.506	0.530	0.28	0.270
moyenne	351.93	35.34%										
Bi-214	609.3	46.36%	0.077	0.079	0.0762	0.078	/	0.077	0.283	0.283	0.205	0.205
Bi-214	1764.5	15.8%	0.046	0.043	0.0420	0.043	/	0.043	0.158	0.158	0.126	0.126
Bi-214	1120.3	15.1%	0.057	0.053	0.0520	0.051	/	0.051	0.187	0.187	0.156	0.156
MPa-234	1001.1	0.6%	0.06	0.057	0.0558	0.057	/	0.056	0.206	0.206		
Th-234	63.28	4.47%	2 0.200	7.32	6.016	6.100	20.946	6.05	22.20	/	0.71	
	92.37*	2.60%	0.155	2.60	2.1477	2.220	7.400	2.18	8.000	/	0.49	
U-235	185.70	57.25%	3 0.125	0.51	0.4360	0.425	1.460	0.43	1.578		0.193	0.193
	143.7*	10.96%	0.128	0.60	0.5096	0.516	2.400	0.51	1.872			

Th-232	B										0.300	0.215	0.215
Ac-228	338.3*	11.40%	0.097	0.151	0.1379	0.140	0.500	0.139	0.510			0.274	
	911.2	27.7%	0.065	0.060	0.0589	0.062	/	0.060	0.220			0.175	
	969.8	5.2%	0.062	0.058	0.0565	0.059	/	0.058	0.213			0.172	
Bi-212	727.0	11.8%	0.075	0.072	0.0709	0.071	/	/	0.257			0.145	
	0												
Pb-212	115.18	0.62%	0.146	1.800	1.4913	1.500	4.300	1.495	5.487	/			
	300.09	3.40%	0.101	0.162	0.1475	0.153	0.600	0.150	0.550	/			
	238.6*	43.6%	0.117	0.150	0.2200	0.190	0.866	0.205	0.752	/			
Tl-208	583.20	84.5%	0.079	0.080	0.0731	0.081	/	0.077	0.283	/			
From2	2615*	99.79%	0.038	0.039	0.0378	0.038	/	0.038	0.140	/			
Th-228	212Pb	238.63%	0.117	0.158	0.1469	0.190	0.0866	0.169	0.620	/			
	2615Tl												
Ra-228	338.32	0.1126	0.097	0.151	0.1372	0.140	0.500	0.139	0.510	/			
	911.07	0.266	0.065	0.060	0.0589	0.062	/	0.060	0.220	/			
	969.11	0.1623	0.062	0.058	0.0565	0.059	/	0.058	0.213	/			
Co-60	1173	100%	0.057	0.055	0.0527	0.054	/	0.0530	0.195	/			
Cs-134	604.7	97.1%	0.077	0.079	0.0763	0.079	/	0.078	0.286	/			
	795.5	85.4%	0.067	0.065	0.0649	0.065	/	0.065	0.239	/			
Cs-137	661.6	85%	0.070	0.075	0.0720	0.075	/	0.0735	0.270	/			
k-40	1460.8	10.66%	0.050	0.045	0.0384	0.042	/	0.040	0.1468	/			

Note:

1) A : *interférence avec U-235 à 185.7 keV ligne. B : **Sa ligne. 2) *interférence avec X ray. 3) *interférence avec Ra-223 ligne 144.25 KeV. 4) *meilleur. 5) *2614.47Kev (valeur exacte).

IV-3 Efficacité de NaI détecteur :

L'efficacité du détecteur (**DE**) qui traduit la capacité d'un dispositif à détecter un rayonnement donné d'une énergie donnée (Lyoussi, 2010) est le rapport des rayonnements émis par la source radioactive sur des rayonnements mesurés par le détecteur.

On introduit la vitesse de comptage en utilisant Le **DE** si on connaît l'intensité de la source, cette dernière est calculée en mesurant le taux de comptage dans le détecteur. Le **DE** est le rapport du taux de comptage observé ou mesuré (ou le nombre total d'événements dans un intervalle de temps connu) sur le taux de comptage (ou les événements au total) émis par la source de rayonnement. Ou : $DE = D / N$ [47].

Où : **DE** : l'efficacité du détecteur,

D: le nombre de photons comptés dans le détecteur et **N**: le nombre de photons émis par la source.

IV-4 Mesure de D :

Pour des photons d'énergie faible, ceux qui sont absorbés comme un événement photoélectrique dans le détecteur. **D** est le compte net dans le pic photoélectrique de cette énergie. Pour un détecteur NaI(Tl), les événements photo électriques prédominent pour des photons de **100KeV** ou de moins d'énergie. Au-dessus de **100 KeV**, les événements de Compton deviennent appréciables et au dessus de **2 MeV**, Les événements de production paire deviennent appréciables. Pour ces cas d'énergie plus élevé, il est nécessaire de connaître la fraction des événements dans le photoélectrique –à –total **R** de sorte que les comptes nets dans le photoélectrique **P** peuvent être liés à l'ensemble des comptes dans le détecteur [47].

$R=P/D$ Où : **R** : le rapport crête à-totale, **P** : le nombre de compte dans le photoélectrique. Ainsi, **D** est déterminée à partir du nombre de compte dans le photoélectrique divisé par le rapport crête. à-totale. $D=P/RD$ peut être également obtenue n comptant toutes les impulsions au-dessus du seuil de bruit avec un échantillon en position, puis en comptant toutes les impulsions sans échantillon en place. **D** est alors obtenu par

soustrayant les deux séries de comptes totaux. Cette dernière technique est utilisée seulement quand aucune informations ou discrimination d'énergie n'est nécessaire. Des précautions doivent être prises pour tenir compte de comptage multiple possible en raison d'événements tels que l'émission de rayons X par l'atome de fille ou cascades nucléaires du noyau de la fille [47].

IV-5 Calcul de N :

N peut être calculé à partir de l'activité A en multipliant par la fraction de dérivation BF pour ce mode de désintégration et le rapport de branchement BR pour que l'énergie des photons et l'intervalle de temps de comptage T (Parfois, le rapport de ramification totale TB , qui est le produit de BF et BR $N=BF \times BR \times T \times A$ Ou $N=TB \times T \times A$.

Où: BF : la fraction de branchement pour ce mode de désintégration, BR : le rapport de branchement pour l'énergie de photons. TB : le rapport total de branchement

($TB=BF \times BR$), T : l'intervalle de temps de comptage totale en quelques secondes,

A : l'activité en **dps** [47].

A titre d'exemple, considérons l'émission de **662 KeV** à partir de **10 μ Ci**, dans une source de Cs-137 en 1 seconde.

$$10 \mu\text{Ci} = 10 \times 10\text{E-}6 \times 3.7 \times 10\text{E} + 10 = 3.7 \times 10\text{E} + 5 \text{ dps}$$

$BR = 0.944$; $BF = 0.9011$; $T = 1\text{s}$ en substituant donc $N = BR \times BF \times L \times P \times A$ nous donne le résultat pour le nombre total de **662**photons **KeV** émis :

$$N = 0.944 \times 0.9011 \times 1\text{s} \times 3.7 \times 10\text{E} + 5 = \text{dps}$$

$$3.15 \times 10\text{E} + 5 \text{ photons de } 662 \text{ KeV}$$

Ainsi, à **10 μ Ci**, une source de **Cs-137** émet **315.000** des **662KeV** photons à chaque seconde.

IV-6 Source de désintégration :

Si le calibrage de la source n'est pas courant, l'intensité de la source A doit être corrigée pour le temps écoulé par l'équation : $A = A_0 \exp(-t/\tau)$ où :

A : l'activité après calibrage.

t : intervalle de temps à partir duquel l'intensité de la source a été calibré.

τ : moyenne de vie dans les mêmes unités que l'intervalle de temps.

(moyenne-vie = demi-vie x 1.4427)

A titre d'exemple, le **Cs-137** a une demi-vie de **30.07** années. Si l'intensité de la source a été calibré il y a **7.5 ans**, alors $t = 7.5 \text{ ans}$, $\tau = 30.07 \text{ années} \times 1.4427$ ou **43.38** années et $A / A_0 = \exp(-7.5 / 43.38) = 0.84$ Cela montre qu'une source de **Cs-137** perd **16%** de son activité en **7.5 ans** [47].

IV-7 Calcul de l'efficacité du détecteur DE :

Les facteurs, G , I et M affectent l'efficacité d'absorption des photons N émise par la source. Leur produit est l'efficacité du détecteur DE . Plus précisément : G : La fraction de tout l'espace que le détecteur emplit. Sauf si le détecteur entoure complètement la source, le facteur géométrique de l'angle solide est inférieur à 1. I : la fraction des photons émis par les matériaux intervenants qui parviennent à la surface du détecteur. Il y a des pertes dues à l'absorption par le matériau dans le trajet du photon. Air, détecteur, matériaux de construction et les réflecteurs de lumière entourant le détecteur sont des absorbants probables. M : La fraction des photons absorbé par le détecteur. La matière du détecteur n'est pas toujours suffisamment épaisse pour arrêter le rayonnement [47].

IV-7-1 Exemple de cylindre circulaire droit :

Le détecteur **NaI(Tl) 2x2** a un diamètre de hauteur 4 pouces dans une source de **Cs-137**. Dans ce cas: $G = (\pi r^2) / (4\pi R^2)$ où : πr^2 : surface de la face du détecteur (1), et

$4\pi R^2$: surface de la sphère avec un rayon égal à la distance entre la source et le détecteur

$$G = (\pi \times 1 \text{ pouce} \times 1 \text{ pouce}) / (4 \times \pi \times 4 \text{ pouces} \times 4 \text{ pouces}).$$

$G = 0.0156$ Ce détecteur occupe ou intercepte **1.56%** de tout l'espace.

On calcule I en considérant les effets de 4 pouces d'air et **0.020** pouces dans une enceinte d'Aluminium. Pour plus de matière, il ya tout simplement plus facteurs dans l'équation suivante:[21] : $I = \exp(-\mu_1 \times d_1) \times \exp(-\mu_2 \times d_2)$.

Où: $\mu_1 = 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$, le coefficient d'atténuation de l'air pour les photons de **662 KeV**.

$\mu_2 = 0.20 \text{ cm}^{-1}$, le coefficient d'atténuation de l'aluminium pour des photons de **6620 KeV**.

$d_1 = 10 \text{ cm}$ (**4 pouces**), la distance parcourue dans l'air.

$d_2 = 0.05 \text{ cm}$ (**0.020 pouce**), l'épaisseur du réservoir en aluminium.

$I = (0.999) \times (0.990) = 0.99$ Dans ce cas, l'atténuation des matériaux intervenants n'est qu'un effet de 1%. (Si l'énergie du photon d'énergie était plus faible, les pertes seraient plus importantes, par exemple, pour **60KeV** ; $I = (0.97) \times (0.998) = 0.97$.

La fraction des photons absorbés (2) par le détecteur M est calculée en soustrayant la fraction qui passe à travers le détecteur de 1.

$M = 1 - \exp(-\mu \times d)$ $\mu = 0.30 \text{ cm}^{-1}$, le coefficient d'atténuation de **NaI (TI)** pour les photons de **662 KeV** $d = 5 \text{ cm}$ (**2 pouces**), la distance parcourue en **NaI (TI)**,

$$M = 1 - 0.223 = 0.777.$$

Alors, l'efficacité du détecteur devient: $DE = G \times I \times M = 0.0156 \times (0.99) \times (0.777) = 0.0120$ ou **1.2%** et par conséquent le détecteur **NaI(TI) 2x2** ne peut compter que **1.2%** du rayonnement émis par une source ponctuelle de rayonnement distante de 4 pouces. Ce sont tous les événements y compris les événements Compton. Si uniquement les événements du pic photoélectrique sont souhaités, alors le nombre est réduit par le

quotient du nombre de coups obtenus dans le pic d'absorption d'énergie totale par le nombre de coups dans le spectre entier ($R \sim 0.26$) à seulement **0.4%** [47].

IV-7-2 Exemple d'un détecteur en forme de puits :

Dans ce cas le détecteur **NaI(Tl) 2 x 2** a un diamètre de **0.75** pouce et de hauteur **1.44** pouce puits profond. Une source **60 KeV** de **Am-241** est le fond du puits. Dans ce cas, il est plus facile pour calculer la fraction de l'espace sous-tendu et ensuite à soustraire cette valeur à partir de **1** pour obtenir la fraction **G-tendu**. La fraction non tendu est l'aire du trou de diamètre **0.75** à la fin de l'un et distance de **1.44** pouces :

$1-G = (\pi r^2) / (4\pi R^2)$ où : πr^2 : aire du trou en face du détecteur, et $4\pi R^2$: surface de la sphère avec un rayon égal à la distance entre la source et le trou.

$$1-G = (\pi \times 0.375 \text{ pouce} \times 0.375 \text{ pouce}) / (4 \times \pi \times 1.44 \text{ pouces} \times 1.44 \text{ pouces})$$

$1-G = 0.0170$ et $G = 0.983$. Cela sous-tend détecteur ou intercepte **98%** de tous l'espace. Pour le calcul de **I**, nous ne considérons que les effets de **0.010** pouces de revêtement en aluminium ainsi. Pour plus des matériaux, il existe tout simplement, plus des facteurs dans l'équation: $I = \exp(-\mu \times d)$ μ Où : $\mu = 0.7 \text{ cm}^{-1}$, le coefficient d'atténuation $d = 0.025 \text{ cm}$ (**0.010 pouce**), l'épaisseur de récipient d'aluminium [47].

$I = (0.983)$ Dans ce cas l'atténuation par les matériels intervenus, est uniquement d'effet de **1.7%**. La fraction des photons absorbés par le détecteur **M** est calculée par la soustraction de la fraction qui passe à travers le détecteur à partir de **1**.

$M = 1 - \exp(-\mu \times d) \times \mu = 22 \text{ cm}^{-1}$, le coefficient d'atténuation de **NaI (Tl)** pour les photons **60 KeV**, $d = 1.422 \text{ cm}$ (**0.56 pouce**), le minimum la distance parcourue en **NaI (Tl)** à l' fond du puits et $M = 1 - 0.0 = 1.0$

Ensuite, l'efficacité du détecteur devient:

$DE = G \times I \times M = 0.983 \times (0.983) \times (1.0) = 0.966$ ou **97%** d'efficacité à **60 KeV** [47].

IV-8 Efficacité du Pic Photoélectrique des détecteurs type NaI (TI) :

Dans de nombreuses applications, il est souhaitable de distinguer l'influence du rayonnement de fond ou d'autres événements parasites. Dans ces cas, il est nécessaire de compter seulement l'énergie totale ou les événements du pic photoélectrique générés par un détecteur. Il n'existe pas de moyen facile de calculer le nombre d'événements qui sont attendus dans le pic photoélectrique seulement. Pour obtenir le nombre des événements dans le pic photoélectrique (**P**) seulement, l'efficacité d'absorption doit être multipliée par la photo fraction (**R**), également appelé le pic-to-total ratio, ces quantités sont reliées par l'équation suivante : $P = R \times D$ [47].

CHAPITRE V
RÉSULTATS ET
DISCUSSIONS

V-1- Les concentrations d'activité des radionucléides :

Le spectre obtenu contient des photos pics qui servissent le calcul des concentrations d'activité des radionucléides **U-238, Th-232, Ra-226**.

On va résonner un équilibre séculaire entre **U-238** et **Th-232** dont la période de noyau père est devenu très longue devant celle des noyaux fils et il est atteint à environ **10** périodes des noyaux fils ($\frac{A_2}{A_1} \approx 1$). En outre à partir des concentrations d'activité moyenne pondérée des photos pics détectés de **Ac-228** à **911.07** et **968.90 KeV** on a pu déterminer la concentration d'activité de **Th-232**. Aussi la concentration de l'activité de **U-238** a été déterminée à partir des concentrations d'activité moyenne pondérée des photos pics détectés de **Bi-214** à **609.32** et **1764.51 KeV**.

En plus les concentrations d'activité des radionucléides ont déterminé en utilisant des rayons gamma de **K-40** à une énergie de **1460.75 KeV** et des rayons gamma de **226 Ra** à une énergie de **185.99 KeV** (avec modification).

La concentration de l'activité du radionucléide **Ra-226** dans la chaîne de désintégration d'**U-238** n'a pas été utilisée pour la concentration de l'activité du radionucléide **U-238** car il peut avoir une concentration légèrement différente de celle du **U-238** radionucléide. Cela est dû à la séparation qui peut exister entre sa mère **Th-232** et **U-238** et aussi en raison du fait que le **Ra-226** a une plus grande mobilité dans l'environnement et par conséquent la concentration d'activité (A_{Ei}) en **Bq.kg⁻¹** pour un radionucléide (**i**) avec le pic photo électrique détecté à l'énergie **E**. est obtenue à partir de l'équation suivante: $A_{Ei} = \frac{N_{Ei}}{\varepsilon \times \gamma \% \times t \times m}$, ou N_{Ei} : est le sommet de la zone nette du radionucléide **i** à l'énergie **E**, ε : est l'efficacité de l'énergie dépendant de détecteur à l'énergie **E**.

T : est le temps de comptage direct en **s**, γ % : le rendement des rayons gamma par la désintégration de nucléides à transition à l'énergie **E**, **m** : est la masse de l'échantillon mesuré en **Kg**.

V-2 Calcul de l'efficacité :

Les formules empiriques et les valeurs de coefficients d'atténuation linéaire et de masse dans le chapitre précédent sont utilisés pour le cristal sodium-iodure (NaI) et l'aluminium mentionnés (Al : comme un conteneur) pour le but de déterminer l'efficacité de comptage du détecteur.(modifier)

$$DE = G \times I \times MG = 0.983, I = e^{-\mu \cdot th}, M = 1^{e-\mu \cdot d}$$

Tableau V.1 : l'efficacité de quelques radionucléides obtenu par les formules précédentes.

Radionucléides	Série de désintégration	photo électrique énergie	I	M	G	DE	
Ra-226	Bi-214	609.3	0.975309912	0.331304179	0.983	0.317631137	
		1120.3	0.996107595	0.233494955	0.983	0.228632134	
		1764.5	0.996854956	0.20122502	0.983	0.197182091	
	Pb-214	295.2	0.992776217	0.540600005	0.983	0.527571059	
		351.9	-	-	0.983	-	
Th-232	Pb-212	238.6	0.992701762	0.656766395	0.983	0.640889613	
		Ac-228	338.3	0.993173407	0.51578197	0.983	0.5035525
			911.6	0.995649447	0.268633078	0.983	0.262920121
	Tl-208	969.1	0.995734124	0.2613166968	0.983	0.25577852	
		583	0.994639419	0.331304179	0.983	0.323926216	
		2614	0.99865091	0.180515668	0.983	0.174875589	
K-40		1460.8	0.996854956	0.188401565	0.983	0.184565517	
Cs-137		661.7	0.995111985	0.318827703	0.983	0.31187569	
Co-60		1173.2	0.996107595	0.242165306	0.983	0.237121914	
		1332.5	0.996381562	0.228025684	0.983	0.22333897	
U-235		143.8	0.990421172	0.930190419	0.983	0.905618519	
		163.33	-	-	0.983	-	
		185.7	0.991412088	0.893957571	0.983	0.871213117	

V-3 Résultats et discussion :

Tableau V.2 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans les algues, le sol (A1), sédiment (A2) de Oued Mouilah

Radionucléide	Série de désintégration	Photo électrique énergie	Concentration des algues (Bq /kg)	Concentration de SOL (A1) (Bq /kg)	Concentration de sédiment (A2)(Bq/Kg)
U-238	Bi-214	1120.3	-	-	0.03949816
	Bi-214	1764.5	-	0.87537988	0.43768994
	Pb-214	295.2	0.0663708	0.09403794	0.02686798
		351.9	-	0.04926917	-
Th-232	Pb-212	238.6	0.07054338	-	0.047706
	Ac-228	338.3	0.14033973	-	0.16627982
		911.6	-	-	0.04569529
		969.1	0.18930043	0.38538979	0.22481071
	Tl-208	583	0.02933044	-	-
		2614	-	-	-
K-40		1460.8	0.5423032	0.48470129	0.34621521
Cs-137		661.7	-	0.01540988	0.06163952
Co-60		1173.2	0.03370125	0.07475888	-
		1332.5	-	0.03052788	0.10990036
U-235		143.8	0.18166734	0.04302073	2.50954261
		163.33	-	-	-
		185.175	0.02818083	-	0.39709418

Remarque 01 :

- Pour le sol (A1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin de calculer la concentration d'activité de noyau mère l'**U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **969.1KeV**. Le **K-40** a été déterminé en mesurant les rayons gamma **1460.8KeV** émis lors de désintégration de **K-40**.
- Pour le sédiment (A2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin de calculer la concentration d'activité de noyau mère l'**U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **969.1KeV**. Le **K-40** a été déterminé en mesurant les rayons gamma **1460.8KeV** émis lors de la désintégration de **K-40**.
- Dans le sédiment (A2) on trouve la concentration d'activité de **U-235** est un peu élevé par rapport a les autres radionucléides, mais on ne peut pas confirmer que cette concentration est due seulement au rayon gamma parce qu'il est difficile de compenser la contribution de **U-235** en raison des influences des rayons **X** qui sont existés en interférence avec les rayons gamma dans le ce bas domaine d'énergie a **143.8KeV**.

Justification :

Dans ce cas la le **Bi-214** possède la plus grand énergie cad le plus grands nombres de pics par rapport a ses frères donc c'était la fille qui a la chance de présenter la concentration de noyau mère en effet cette dernière se désintègre vers plusieurs filles en même temps par la même concentration mais certain de ces nucléides avaient des concentration faibles par rapport a celles de **Bi-214** a cause des atténuations ou des effets secondaires non prévus.

Tableau V.3 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (B1) et sédiment (B2) de Oued Mouilah

Radionucléide	Série de désintégration	Photo électrique énergie	Concentration de SOL (B1) (Bq / kg)	Concentration de sédiment (B2)
U-238	Bi-214	1120.3	0.32491106	-
	Bi-214	1764.5	0.4629122	0.0651896
	Pb-214	295.2	0.14208137	-

		351.9	0.02315927	0.14676313
Th-232	Pb-212	238.6	-	15.9088521
	Ac-228	338.3	0.05582916	1.7866711
		911.6	-	-
		969.1		-
	Tl-208	583	-	-
		2614	-	-
K-40		1460.8	-	-
Cs-137		661.7	0.03621753	0.02295149
Co-60		1173.2	0.12839928	0.03854284
		1332.5	0.02152472	0.07729604
U-235		143.8	-	30.8628548
		163.33	-	-
		185.175	-	-

Remarque 02:

- Pour le sol (B1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **338.3KeV** (la même justification précédente).
- Pour le sédiment (B2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Pb-214** d'énergie **351.9 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Pb-212** d'énergie **238.6 KeV** (la même justification précédente pour le **Pb-214** et **Pb-212**), et la même remarque précédente pour **U-235**).

Tableau V.4 : la moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (A1), sédiment (A2), sol (B1), sédiment (B2)

Radionucléides	Concentration de l'activité (Bq/Kg)				
	Algues	Sol (A1)	Sédiment (A2)	Sol (B1)	Sédiment (B2)
Th-232	0.189	0.385	0.225	0.056	15.91
U-238	0.189	0.875	0.438	0.463	0.147
K-40	0.542	0.484	0.346	-	-
U-235	0.182	-	2.51	-	30.86
Co-60	0.034	0.075	0.11	0.128	0.08
Cs-137	-	0.015	0.061	0.036	0.023

Discussion :

Dans le tableau (V.4) on trouve la concentration d'activité de **Th-232** élevée dans le sédiment (B2) par une teneur de **15.91Bq/Kg** par rapport à les autres et aussi la concentration d'**U-235** est élevée dans le sédiment (B2) par la teneur de **30.86Bq/Kg** (même justification précédente pour le U-235).

Tableau V.5 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (C1), sédiment (C2), sol(D1), sédiment(D2) de Oued Mouilah

Radionucléide	Série de désintégration	Photo électrique énergie	Concentration de sol(C1) (Bq / kg)	Concentration de sédiment (C2)	Concentration of sol (D1) (Bq / kg)	Concentration of sediment (D2) (Bq / Kg)
U-238	Bi-214	1120.3	-	-	0.42388736	-
	Bi-214	1764.5	0.12166447	0.72267647	0.98641444	-
	Pb-214	295.2	0.14936963	-	0.21625687	-
		351.9	-	0.11484575	-	0,10841884
Th-232	Pb-212	238.6	0.06188381	0.09266835	0.14335229	-
	Ac-228	338.3	0.30813818	0.29992543	0.35689717	0.26272565

		911.6	0.10584916	0.08876257	0.31875599	0.08593938
		969.1	-	-	-	0.25777239
	Tl-208	583	-	-	-	-
		2614	-	-	-	-
K-40		1460.8	0.25663276	0.87427471	-	0.35630432
Cs-137		661.7	0.0761507	0.00997784	0.06615045	-
Co-60		1173.2	0.11722441	-	0.04937226	0.00385387
		1332.5	0.03394328	0.01779001	-	0.11479775
U-235		143.8	0.34546641	-	7.86413551	-
		163.33	-	-	-	-
		185.175	0.10742588	0.03096664	0.04043802	-

Tableau V.6 : la moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (C1), sédiment (C2), sol(D1), sédiment (D2)

	Radionucléides		Concentration de l'activité (Bq/Kg)	
	Sol(C1)	Sédiment (C2)	Sol(D1)	Sédiment (D2)
Th-232	0.31	0.30	0.357	0.263
U-238	0.15	0.723	0.99	0.108
K-40	0.257	0.874	-	0.356
U-235	0.345	0.031	7.864	-
Co-60	0.12	0.02	0.050	0.115
Cs-137	0.08	-	0.066	-

Remarque 03 :

- Pour le sol (C1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Pb-214** d'énergie **295.2 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **338.3KeV** (la même justification pour l'**Ac-228** et **Bi-214**).

- Pour le sédiment (C2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **295.2 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **338.3KeV** (la même justification pour l'**Ac-228** et **Bi-214**).
- Pour le sol (D1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **338.3KeV** (la même justification pour l'**Ac-228** et **Bi-214**).
- Pour le sédiment (D2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Pb-214** d'énergie **351.9 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **338.3 KeV** (la même justification pour le **Pb-214** et **Ac-228**).

Remarque 04:

Dans le cas de sédiment (D2) on a changé la formule d'activité $A_{Ei} = \frac{NEi}{\epsilon \times \gamma \% \times t \times m}$ par la

formule suivante : $A_{Ei} = \frac{\left(\frac{Ns}{t1}\right) - \left(\frac{NBg}{t2}\right)}{\epsilon \times \gamma \% \times m}$ ou **t1** est le temps de comptage d'échantillon remplis

et est égale **84567.49s** et **t2** le temps de comptage d'échantillon vide et est égale : **86400s**
 Eventuellement on met ça parce qu'on rencontre le problème de coupure d'électricité et le system d'acquisition ne pouvait pas compléter le calcul de spectre jusqu'à **24H** donc on s'arrêta juste a **84567.49s** et par conséquent le dénominateur ne devient pas commun entre l'échantillon remplis et l'échantillon a vide (background) .

Tableau V.7 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol (E1), sédiment (E2), le sol (F1), sédiment (F2), de Oued Mouilah:

Radionucléide	Série de désintégration	Photo électrique énergie	Concentration de sol (E1) (Bq / kg)	Concentration de sédiment (E2)	Concentration of sol (F1) (Bq / kg)	Concentration of sediment (F2) (Bq/Kg)
U-238	Bi-214	1120.3	-	-	0.25543049	-
	Bi-214	1764.5	0.63726923	0.4151948	0.38919306	0.17463567
	Pb-214	295.2	0.26079557	0.10619625	0.3149263	0.30016463

		351.9	0.20085824	0.21031638	0.03982732	-
Th-232	Pb-212	238.6	0.26857535	-	0.11183477	0.03045506
	Ac-228	338.3	0.09222881	-	-	0.28433424
		911.6	-	0.09030578	0.01846917	0.45580369
		969.1	0.03117339	-	0.23365082	-
	Tl-208	583	-	-	-	-
		2614	-	-	-	-
K-40		1460.8	0.06721114	0.0547369	0.50376093	-
Cs-137		661.7	0.03490126	0.00812105	-	-
Co-60		1173.2	0.06698319	0.03636751	0.00929727	0.08719055
		1332.5	-	0.06274427	0.02961309	0.06333829
U-235		143.8	7.86413551	-	4.82231633	-
		163.33	-	-	-	-
		185.175	0.04043802	-	-	-

Tableau V.8 : la moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (E1) et sédiment (E2), sol (F1), sédiment(F2)

Radionucléides	Concentration de l'activité (Bq/Kg)			
	Sol (E1)	Sédiment (E2)	Sol(F1)	Sédiment (F2)
Th-232	0.269	0.090	0.234	0.456
U-238	0.637	0.415	0.389	0.30
K-40	0.067	0.055	0.504	-
U-235	7.864	-	4.82	0.03
Co-60	0.067	0.063	0.030	0.087
Cs-137	0.035	0.008	-	-

Remarque 05:

- Pour le sol (E1) On a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de

la fille **Pb-212** d'énergie **238.6 KeV** (la même justification précédente pour le **Bi-214** et **Pb-212**) (la même justification précédente pour le **Bi-214** et **Pb-212**).

- Pour le sédiment (E2) On a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **911.6KeV** (la même justification précédente pour le **Bi-214** et **Ac-228**).
- Pour le sol (F1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **969.1KeV**. (la même justification précédente pour le **Bi-214** et **Ac-228**).
- Pour le sédiment (F2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Pb-214** d'énergie **295.2KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **911.6KeV**. (la même justification précédente pour le **Pb-214** et **Ac-228**).
- Dans ce tableau on trouve la concentration d'activité de **U-235** dans le sol (E1) et le sol (F1) plus élevée par la teneur de **7.86 Bq/Kg** et **4.82 Bq/Kg** respectivement (la même justification précédente pour **U-235**)

Tableau V.9 : Concentration d'activité de certains radionucléides dans le sol(G1), sédiment (G2), sol (H1), sédiment (H2) de Oued Mouilah :

Radionucléide	Série de désintégration	Photoélectrique énergie (KeV)	Concentration de sol (G1) (Bq / kg)	Concentration de sédiment(G2) (Bq/Kg)	Concentration de sol (H1) (Bq / kg)	Concentration de sédiment(H2) (Bq/Kg)
U-238	Bi-214	1120.3	-	0.23736852	0.18988452	-
	Bi-214	1764.5	-	0.41333999	0.29458271	0,45532146
	Pb-214	295.2	-	0.18453266	-	8,734472
		351.9	0.09019938	-	-	
Th-232	Pb-212	238.6	-	0.41365909	0.00458686	0,03101734

	Ac-228	338.3	0.54360046	0.38747464	0.13703623	0,64866785
		911.6	0.28756924	0.19615059	-	
		969.1	0.91868638	-	0.61757771	-
	Tl-208	583	-	-	-	-
		2614	-	-	-	-
K-40		1460.8	-	-	-	-
Cs-137		661.7	0.08816121	0.03086912	0.01481637	-
Co-60		1173.2	0.13160056	-	-	0,02991169
		1332.5	0.04191661	0.06290078	0.01174084	0,07145468
U-235		143.8	4.5615205	-	-	-
		163.33	-	-	-	-
		185.175	1.64830529	-	-	-

Tableau V.10: la moyenne des concentrations d'activité des radionucléides dans sol (G1) et sédiment (G2), sol (H1), sédiment (H2)

Radionucléides	Concentration de l'activité(Bq/Kg)			
	Sol(G1)	Sédiment(G2)	Sol(H1)	Sédiment(H2)
Th-232	0.92	0.41	0.618	0,649
U-238	0.09	0.41	0.295	8,73
K-40	-	-	-	-
U-235	4.56	-		-
Co-60	0.132	0.062	0.012	0,0715
Cs-137	0.088	0.03	0.015	-

Remarque 06 :

- Pour le sol (G1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Pb-214** d'énergie **351.9 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille

Ac-228 d'énergie **969.1 KeV** (la même justification précédente pour le **Pb-214** et **Ac-228**).

- Pour le sédiment (G2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin de calculer la concentration d'activité de noyau mère l'**U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Pb-212** d'énergie **238.6 KeV**. (la même justification précédente pour le **Bi-214** et **Ac-228**).
- Pour le sol (H1) on a pris la concentration de la fille noyau de **Bi-214** d'énergie **1764.5 KeV** afin d'établir la concentration d'activité de noyau mère le **U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **969.1KeV**. (la même justification précédente pour le **Pb-214** et **Ac-228**).
- Pour le sédiment (H2) on a pris la concentration de la fille noyau de **Pb-214** d'énergie **295.2 KeV** afin de calculer la concentration d'activité de noyau mère l'**U-238**. En plus la concentration du **Th-232** (noyau mère) a été déterminée en choisissant la concentration de la fille **Ac-228** d'énergie **338.3KeV** (la même justification précédente pour le **Bi-214** et **Ac-228**).

Chapitre V : Résultat et discussion

Tableau V.11 : Les résultats de différents paramètres d'activité.

Location	U-238 (Bq.kg)	Th-232 (Bq.kg)	K-40 (Bq.kg)	Ra _{eq} (Bq/Kg) [A]	D (nGyh ⁻¹) [B]	AGED (ms.y ⁻¹) [C]	AEDE Outdoor (μSv .y ⁻¹) [D]	AEDE (indoor (μSv .y ⁻¹))[E]	ELCR.10 ⁻³ (μSv .y ⁻¹)[F]
ALGUE	0.066	0.430	0.542	0.722	0.313	2.171	0.384	1.535	0.001
A1	1.019	0.385	0.485	1.607	0.723	4.911	0.887	3.548	0.003
A2	0.504	0.485	0.346	1.224	0.540	3.691	0.662	2.650	0.002
B1	0.953	0	0	0.953	0.440	2.944	0.540	2.160	0.002
B2	0.212	17.70	0	25.515	10.786	74.622	13.092	52.912	0.0458
C1	0.271	0.168	0.257	0.531	0.237	1.619	0.291	1.163	0.001
C2	0.838	0.481	0.874	1.593	0.714	4.875	0.876	3.505	0.003
D1	1.627	0.819	0	2.798	1.246	8.450	1.528	6.113	0.005
D2	0.108	0.606	0.356	1.003	0.431	2.982	0.529	0.605	0.002
E1	1.099	0.392	0.067	1.665	0.748	5.055	0.916	3.666	0.003
E2	0.732	0.090	0.055	0.865	0.395	2.656	0.484	0.553	0.002

Chapitre V : Résultat et discussion

F1	0.999	0.364	0.504	1.559	0.483	4.768	0.592	2.369	0.002
F2	0.505	0.740	0	1.566	0.680	4.655	0.8398337	3.359	0.003
G1	0.090	1.75	0	2.59	1.1	7.59	1.35	7.70	0.004
G2	0.835	0.997	0	2.261	0.989	6.750	1.212	4.848	0.004
H1	0.484	0.759	0	1.570	0.682	4.670	0.837	3.347	0.0029
H2	9.190	0.680	0	10.162	4.656	31.238	5.710	22.842	0.02
La moyenne	1.148	1.58	0.21	3.42	1.48	10.2	1.81	7.228	0.0062

Tableau V.12 : Les paramètres (H_{ex} , H_{in} et I_{γ})

Location	$H_{ex} (10^{-3})$	$H_{in} (10^{-3})$	I_{γ}	Location	$H_{ex} (10^{-3})$	$H_{in} (10^{-3})$	I_{γ}
Les algues	0.0018	0.002	0.005	E1	4.50	7.47	11.29
A1	04.34	07.10	0.011	E2	2.34	4.32	0.0058
A2	03.30	4.67	8.44	F1	04.21	06.91	10.64
B1	02.58	05.15	6.35	F2	04.22	05.59	10.77
B2	68.90	69.47	178.37	G1	07	07.24	18.1
C1	1.43	2.16	3.66	G2	06.11	08.37	15.54
C2	04.30	06.57	10.98	H1	04.24	05.55	10.82

Chapitre V : Résultat et discussion

D1	07.56	11.95	19.03	H2	0.027	0.052	0.068
D2	02.71	03.00	7.02				
La moyenne	07.51	9.151	18.3				

Tableau V.13 : Les équations de différents paramètres d'activité et leurs valeurs limites.

Paramètres	L'équation correspondante	La valeur limite
Ra eq (Bq.Kg ⁻¹)	Ra eq (Bq.Kg ⁻¹) = CRa + 1.43 CTh + 0.077 CK [A]	➤ 370Bq/Kg [9]
D (nGyh ⁻¹)	D (nGyh-1) = 0.462CRa+0.604CTh+0.042CK [B]	
AGED (Svyr ⁻¹)	AGED (Svyr ⁻¹) = 3.09CRa + 4.18 CTh + 0.314 CK [C]	
AEDE (Outdoor) (μSvy ⁻¹)	AEDE (Outdoor) (μSvy ⁻¹) = Absorbed dose (nGyh ⁻¹) x 8760 h x 0.7SvGy ⁻¹ x 0.2 x10 ⁻³ [D]	➤ 70 μSv/y [10]
AEDE ((Indoor) (μSvy ⁻¹)	AEDE (Indoor) (μSvy-1) = Absorbed dose (nGyh-1) x 8760 h x 0.7 SvGy-1 x 0.8 x 10 ⁻³ [E]	
ELCR	ELCR=AEDE x DL x RF [F]	➤ 0.29 x 10 ⁻³ [4]
H _{ex}	H _{ex} = (C Ra/370+ CTh/259+ Ck/4810) ≤ 1 [G]	
I _γ	I _γ = CRa/150+CTh/100+CK/1500) ≤ 1	

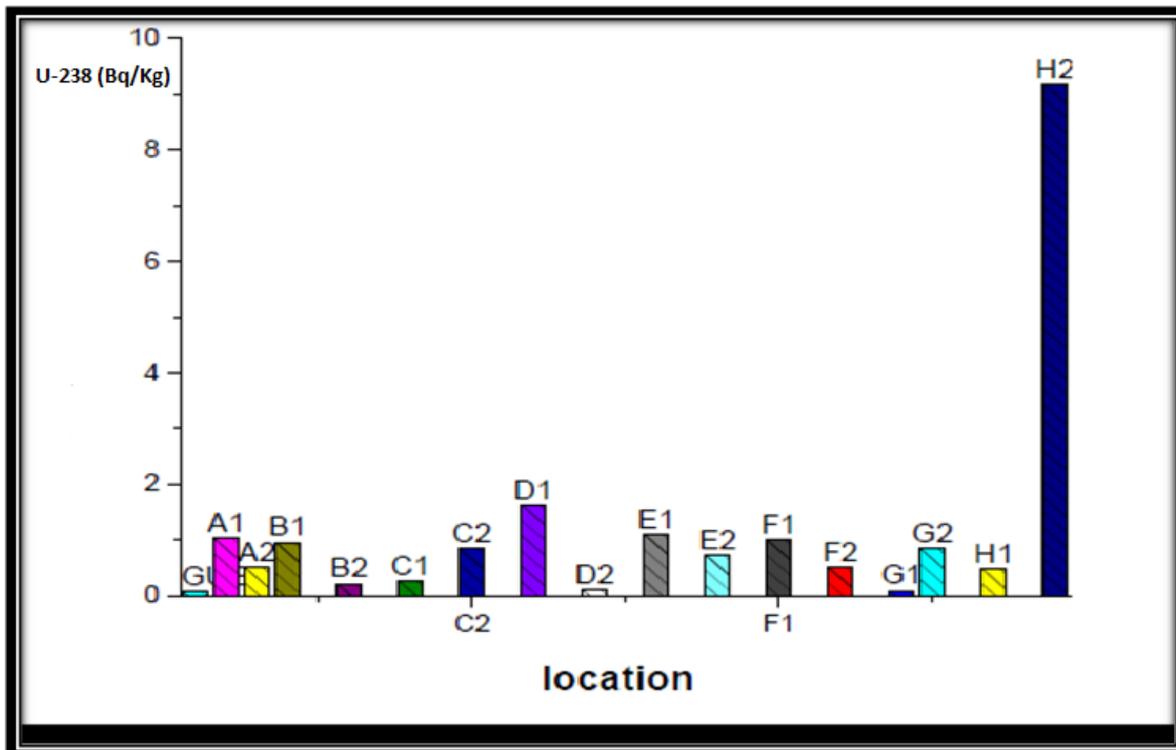


Figure V.1 : La concentration d'activité d'U-238 de différents échantillons.

Remarque 01 : le sédiment (D2) possède la plus grand valeur d'activité par rapport à les autres.

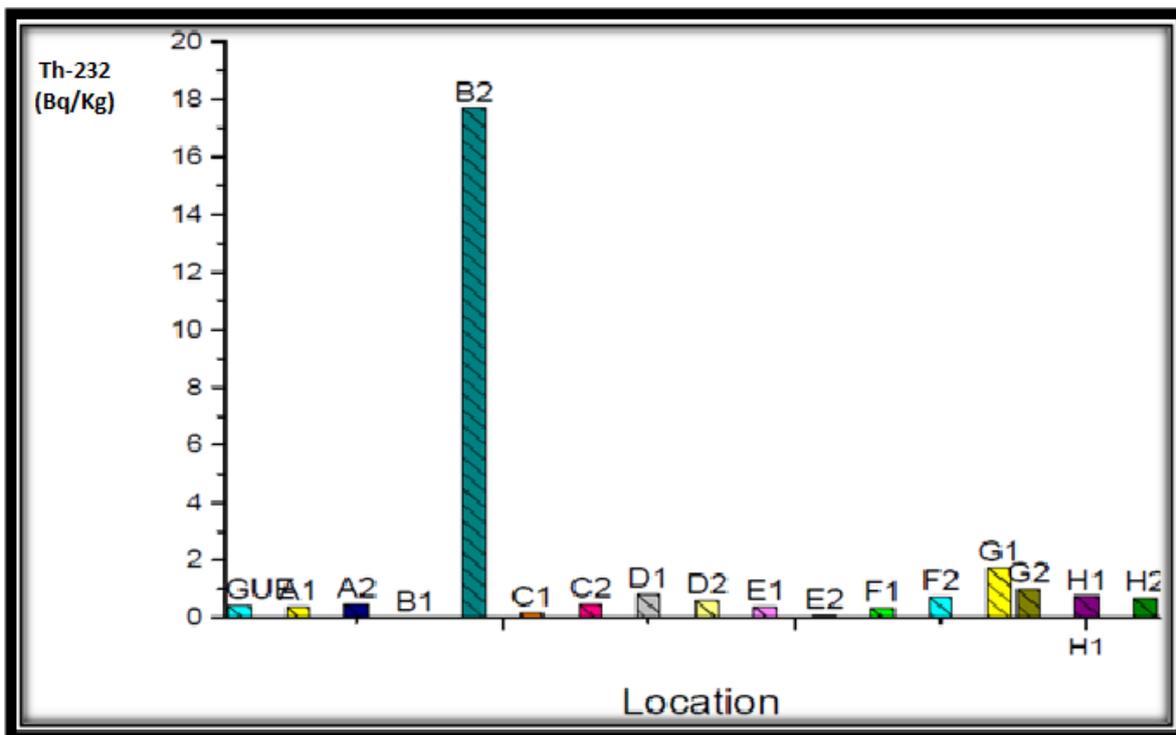


Figure V.2 : La concentration d'activité de Th-232 de différents échantillons.

Remarque 02: le sédiment (B2) possède la plus grande valeur d'activité.

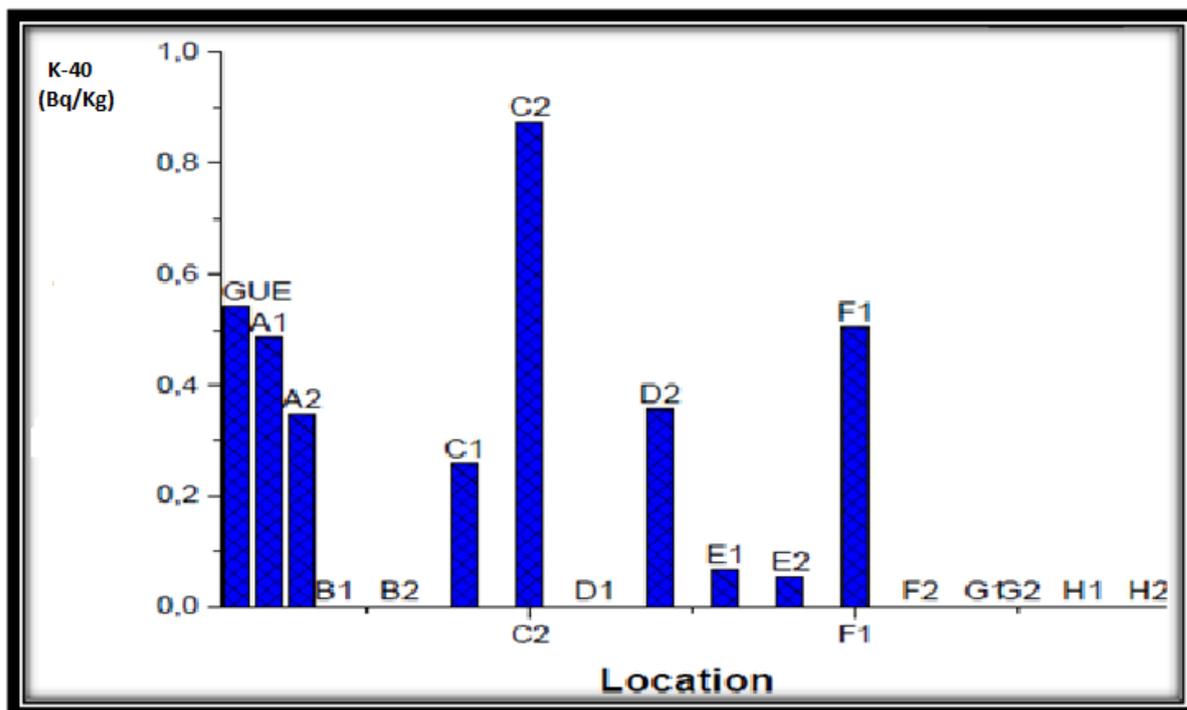


Figure V.3 : La concentration d'activité de K-40 de différents échantillons.

Remarque 03 : le sédiment (C2) possède la grande valeur de potassium.

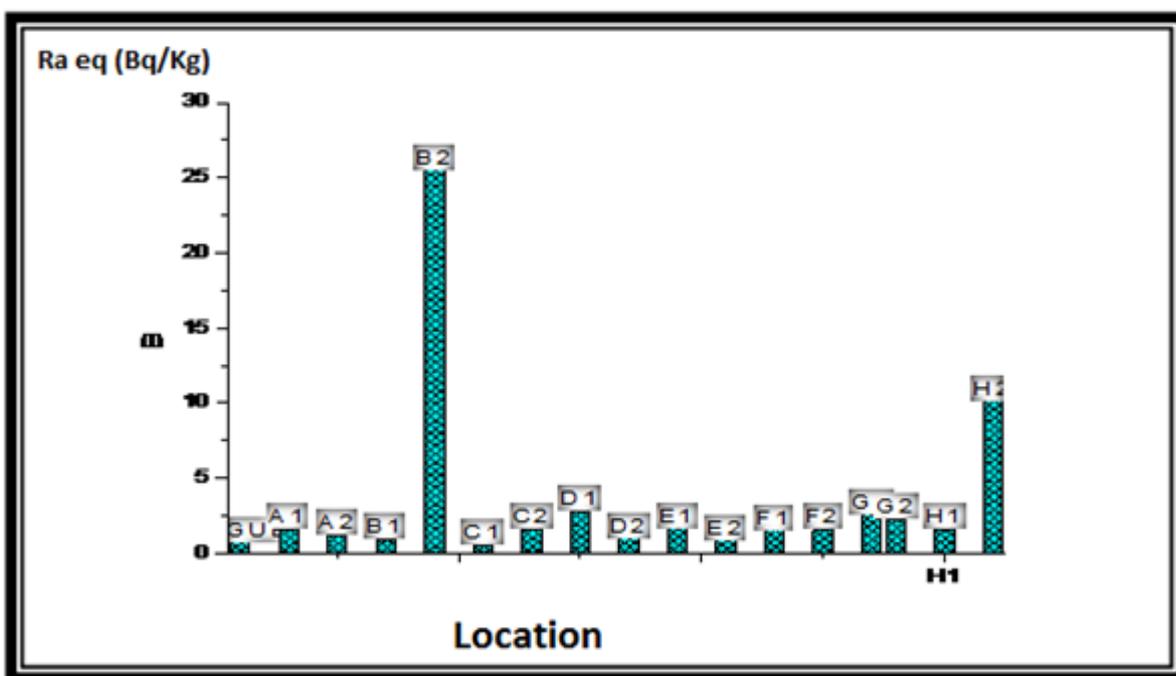


Figure V.4 : La concentration d'activité de Ra eq de différents échantillons.

Remarque 04 : l'activité de Ra eq est élevée dans le sédiment (B2) puis dans le sédiment (H2) et ça est dû à la concentration d'activité d'²³⁸U et aussi de ²³²Th dans les deux sédiments.

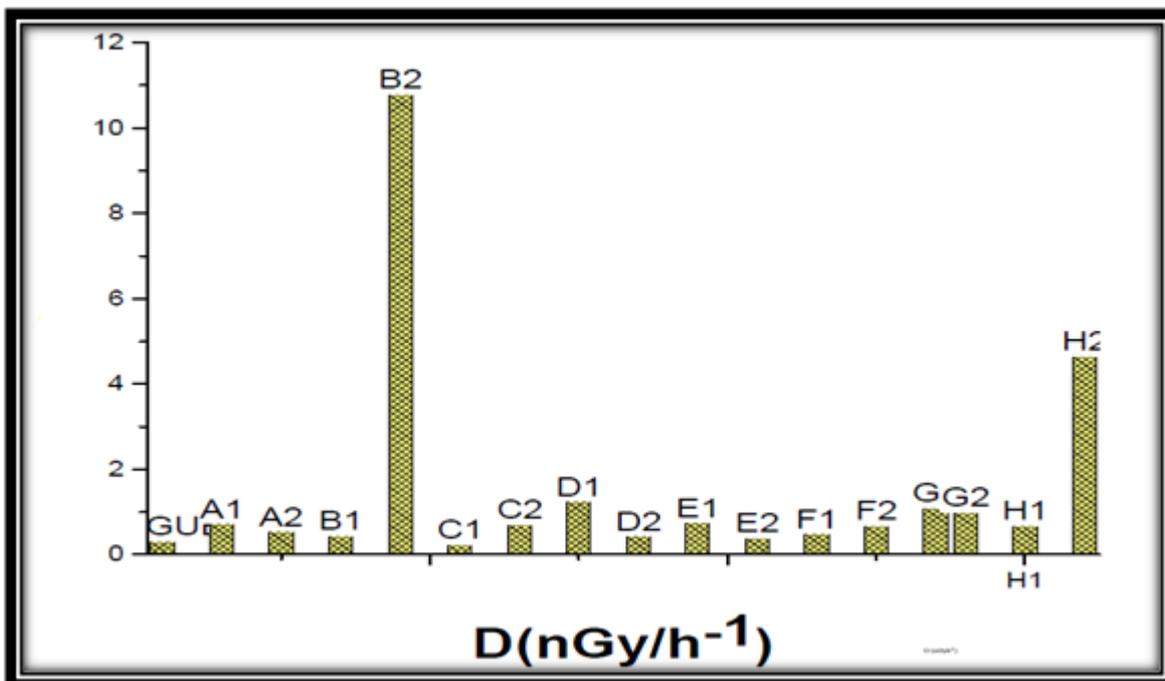


Figure V.5 : La dose absorbée de différents échantillons.

Remarque 05 : la même remarque précédente pour le paramètre D.

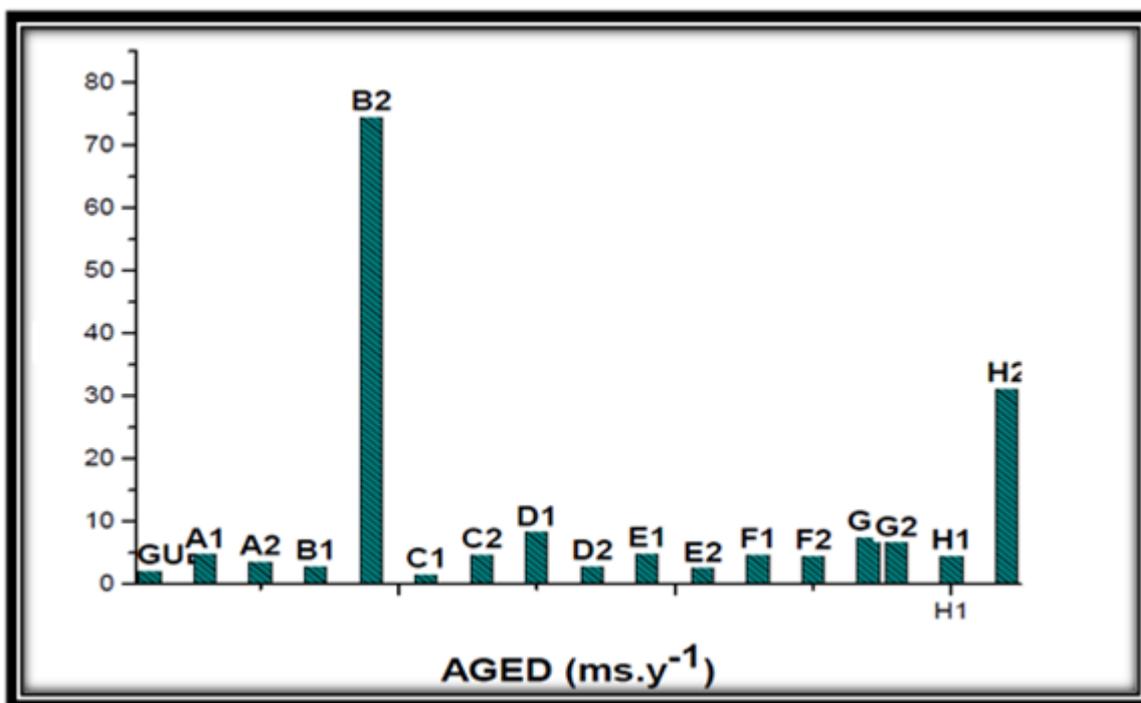


Figure V.6 : AGED de différents échantillons.

Remarque 06 : la même remarque précédente pour le paramètre AGED.

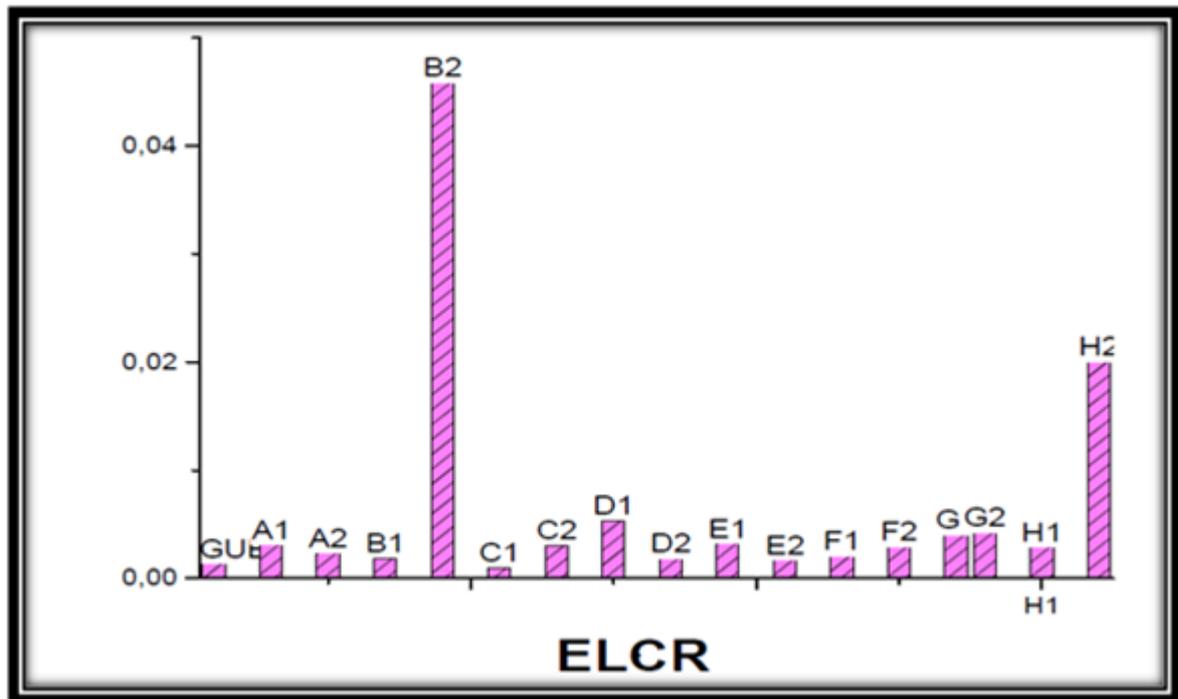


Figure V.7: ELCR de différents échantillons.

Remarque 07 : la même remarque précédente pour le paramètre ELCR.

Conclusion générale

Conclusion :

Les sols sont naturellement radioactifs, à cause de leur contenu minéral. La radioactivité naturelle peut varier considérablement d'un type de sol à un autre.

La spectroscopie de rayonnement gamma consiste à mesurer l'énergie et à compter le nombre de photons émis d'un échantillon 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 radio éléments (analyse qualitative) et de déterminer leur concentration (analyse quantitative) dans l'échantillon étudié (Pirard, 2006).

Les tableaux montrent la présence des 3 radionucléides naturels (U-238, Th-232, K-40) dans notre étude et quelques faibles concentrations d'éléments artificiels tels que le Cobalt 60 et le Césium137 mais à une faible concentration.

L'activité spécifique moyenne de la famille d'U-238 est calculée à partir des raies gamma 1764.5 et 295.2 (Bi-214), 351.9 (Pb-214) KeV. Pour celle de la famille de Th-232 a partir des raies 238.6 (Pb-212) et 969.1 (Ac-228) KeV, pour celle de K-40 a partir de raie gamma 1460KeV et pour l'U-235 on a calculé l'activité a partir des raies gamma 143.8KeV.

Pour le radionucléide Cs-137 l'activité est calculée à partir de raie gamma de 661.7 KeV

La moyenne des radionucléides U-238, Th-232, K-40 est (0.817), (0.580) et (0.328) Bq/Kg respectivement pour le sol et (1.44), (2.468) et (0.4346) Bq/Kg respectivement pour les sédiments et les algues.

Les résultats disponibles globaux de cette étude indiquent que la concentration en activité des radionucléides détectés est dans la gamme normale et ne dépasse pas les valeurs limites de 400Bq/Kg pour K et 35 Bq/Kg pour Ra et 30Bq/Kg pour Th (UNSCEAR 2000).

Ils ne représentent ni une contamination possible ni une menace à la santé de la population.

Le calcul de l'activité de l'uranium à travers ses descendants a révélé beaucoup de secrets. L'étude a commencé par le calcul de l'activité à travers son descendant Ra-226 en supposant avoir suivi les étapes de préparation et de confinement des échantillons pour atteindre l'équilibre radioactif.

Conclusion générale

Les résultats obtenus pour le Ra_{eq} et les autres paramètres de la radioactivité restent inférieurs aux normes internationales de radioactivité contrôlées par les institutions internationales d'énergie atomique.

BIBLIOGRAPHIE

Références Bibliographique

- [1] Classe TS Partie B-chapitre 4 physique Activité documentaire, une petite histoire de la radioactivité, p1-2 (www.physagreg.fr).
- [2] UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with annexes, United Nations, New York (1982).
- [3] UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York (2000) p 50-57.
- [4] **A. El-Gamal, et al.** Investigation natural radiation level and its hazardous nature of rivers, *Radiation measurement*, p 42-457 (2007).
- [5] Montana Department of Environmental Quality uranium in Drinking Water, Fact Sheet109.
- [6] **M.Abusini** , Determination of Uranium, Thorium and Potassium Activity Concentrations in Soil Cores in Araba valley, *Radiation Protection Dosimetry*, Jordan, 128: 213-216 (2007).
- [7] **Henery et John**, 1972, Little field et Thorley (1974).
- [8] **Raad Obid Hussain and Hayder Hamza Hussain**, Natural Occurring Radionuclide Materials College of Science/Kufa University Iraq, p 5-8. (www.intechopen.com).
- [9] **Cember, H. Johnson, T.E**, Introduction to Health Physics, 4th edition, *McGraw-Hill*, New York (2009).
- [10] www.arevamed.areva.com
- [11] www.sciencebuddies.org et [www.la radioactivité.com](http://www.la-radioactivite.com)
- [12] **J.F. Bottollier-Depois**, Dosimétrie du rayonnement cosmique à l'aide de
- [13] **NAUSICCA**, Clefs CEA n° 32, France (1996), p 48-59.
- [14] anomalie NUREG-1575, SNRS Centre national de la recherche scientifique anomalie (1 January 2009), p 3-7.
- [15] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York (2008).
- [16] International Atomic Energy Agency, Postgraduate Educational Course in Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources (PGEC), Training Course Series 18, IAEA, Vienna (2002).

Références Bibliographique

- [17] **H. Métivier, M. Roy** Dose efficace liée à la consommation d'eau minérale naturelle par l'adulte et le nourrisson, Radioprotection Vol.32,n°4, (1997), p 491-499. (<https://www.yumpu.com>).
- [18] **M.Einsenbud and T.Gesell**, Handbook of radiation Measurement and Protection.CRC Press 1978 and Environmental Radioactivity from Natural industrial and Military Sources, Academic Press (1977) p 5/9.
- [19] **Johanna FITE**, La qualité radiologique de l'eau mise en distribution en France, ASN autorité de surté nucléaire, IRSN (2005-2007)
 - [20] <http://radionucleide.free.fr>
<http://www.la-radioactivite.com>
 - [21] **P.Gilbert**, fiche d'information ASN n°2 les principes fondamentales de la radioprotection, ASN hôpital pitié salpêtrière (janvier 2004), p 03
 - [22] **Didier Bordet**, Rapport transparence et sécurité nucléaire (Grenoble) (2013). p 8
 - [23] Rapport sur l'homme et la radioactivité étude d'impact du centre de Cadarache SFEN n°128, CEA énergie atomique et alternative, p10
(www.cadarache-communication.fr)
 - [24] **Marcus Clarke**, guidelines for naturally occurring radioactive materials (Australian petroleum Production & Exploration Association Limited Level 3, 24 Street GPO (March 2002), p 30-33
 - [25] API Bulletin E2 (Bul E2), First edition (April, 1992).
 - [26] American Petroleum Institute, Bulletin on management of naturally occurring radioactive materials (NORM) in oil & gas production: American Petroleum Institute, Washington, D.C., API Bulletin E2 (1992), p 45.
 - [27] Rapport PRP-HOM, IRSN (2013), p 14/104
 - [28] Norme ISO 20553 Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs (juillet 2006).
 - [29] Amdel Analytical Report 2AD 3277". Amdel laboratories limited, the barton, south australia.api (1992).
 - [30] **M.Sohrabi**, high levels of natural radiation proceedings of an International Conference Ramsar (November 1990), p3-7
 - [31] **J.Valentin**, ICRP Publication 103, The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Protection editor (2007), p 235.

Références Bibliographique

- (<http://www.elsevier.com>)
- [32] Technical report series NO 419 Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (norm) and technological options for mitigation - International Atomic Energy Agency Vienna (2003), p 1/198.
 - [33] UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report 1180076 to the General Assembly with annexes, United Nations, New York (1988), p 56.
 - [34] **M.M.H.Miah¹, Masud Kamal², M.I.Chowdhury², M.Rahmatullah³, Alamgir Milah¹**, Natural Radioactivity and Associated Dose Rates in Soil Samples of Malnichera Tea Garden in Sylhet District of Bangladesh, *Journal of nuclear and Particle Physics*, 2(6), 147-152 (2012), p 149.
 - [35] Guide de radioprotection CNRS centre national de la recherche scientifique (1^{ère} édition septembre 2007), p 16
 - [36] **wikipedia.org.fr**
 - [37] **Fiche radionucléide et environnement : l'iode 129.IRSN.**
(<http://www.mesure-radioactivite.fr>)
 - [38] Les bases de la radioactivité. Institut Radioprotection et de Sûreté Nucléaire IRSN (www.irsn.fr)
 - [39] **John E. Mould, Kwan-Hoong Ng**, Non-Ionizing Radiations – Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures , Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at. UNITEN (20–22 October 2003), p 8-9.
 - [40] Centre des medias –aide mémoire n°371, Rayonnements ionisants, effets sur la santé et mesures de protection (Novembre 2012)
 - [41] Biological and Epidemiological Information on Health Risks Attributable to ionizing Radiation, A Summary of Judgments for the Purposes of Radiological Protection of Humans, Annals of the ICRP (2007).
 - [42] **onde électromagnétique.e-monsite.com**
 - [43] science et Technologie niveau secondaire 4 (14/04/2015)
 - [44] **www.tpe-nucleaire-ternog.org**
 - [45] **www.wikiwand.com**

Références Bibliographique

- [46] **MEKIL Thomas**, Spectrométrie gamma Etalonnage d'un spectromètre gamma, l'Institut de Chimie de Nice, laboratoire de recherche de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Paris Tanguy, p 3.
- [47] **DOULAT Wafâa**, thèse : Radiation naturelle des matériaux de construction en briqueteries de Tafna et Tounane (11/09/2013), p 23-65 avec modification.
- [48] **Benaissa Khalida**, thèse : Radiation naturelle des matériaux de construction, Ciment de Beni Saf (11/09/2013), p15 et (<http://www.mesure-radioactivite.fr>) avec **modification**.
- [49] **www.sante-II.com**
- [50] **Mickael LEMERCIER**, thèse : Le Développement d'une méthode analytique pour quantifier par spectrométrie Gamma in situ les radionucléides présents dans les sols IRSN/IRSN-2008/94, laboratoire de la mesure de la radioactivité de l'environnement (Décembre 2007), p 19.
- [51] **www.FUTURA-SCIENCES.com**
- [52] **www.mysciencecework.com**
- [53] **biochime.j.univ-angers.fr**
- [54] **www.nucleide.org**
- [55] **M. Stéphane NORMAND**, thèse : Conception, réalisation et caractérisation d'un dispositif de détection neutronique basé sur l'utilisation de scintillateurs plastiques dopés au Bore, université de Caen/basse Normandie u.v. de sciences école doctorale Structure, Information, Matière et Matériaux (5 octobre 2001), p 17.
- [56] Efficiency Calculations for Selected Scintillation ©2004-8 Saint-Gobain Ceramics &Plastics, Inc, p 3-6.
- [57] **E. Storm and H. Israel**, Photon Cross Sections from 0.001 to 100 MeV for Elements 1through 100, Los Alamos Scientific Laboratory report LA-3753 (1967).
- [58] R-A Dunlap experimental physics (oxford university Press /New York (1988) chapter 11 and 12.
- [59] **J. H. Hebbel**, "Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV;" National Bureau of Standards report NSRDS-NSB 29(August 1969).
- [60] **G. F. Knoll and John**, *Radiation Detection and Measurement*, New York (1979), p 5.

Références Bibliographique

- [61] Planetary Letters, 463-473 Science, p 105.
- [62] www.camberra.com
- [63] **Robley.D.Evans**, the Atomic Nucleus published 1955/00/00 Topics Natural science, physics general mechanics of solid and rigid bodies, publishing Company limited, Publisher Tata McGraw-Hill, New York (1955).
- [64] **Gilmore and Heming way**, Practical Gamma-Ray Spectrometry (18 04 2008).
- [65] **Souha Ben Mahmoud**, thèse : Etude cinétique de la précipitation des éléments radioactifs dans le circuit de production de l'acide phosphorique, institut national des sciences appliquées et de technologie (20/01/2010), p 26.
- [66] **M.Nasim et al**, Natural radioactivity hazards of building bricks fabricated from saline soil of two districts of Pakistan. *J Radiol Prot* 27:481-92 (2007), p 16.
- [67] **M.Ali et al**. Assessment of radiological hazard of NORM in Margalla Hills limestone, Pakistan. *Environ Monit Assess* 184:4623 (2012), p 34.

قمنا بأخذ 16 عينة لسد حمام بوغرارة (واد مويلح) وحللتها باستعمال مطياف الغاما (كاشف أيود الصوديوم) و ذلك لتحديد النشاطية الإشعاعية للنوويات الطبيعية في كل من التربة و الرسوبيات بالإضافة إلى الطحالب .

تحصلنا على نسب متفاوتة للنشاطية الإشعاعية حيث كُنت النتائج المتحصل عليها في التربة لنويات اليورانيوم، الثور يوم البوتاسيوم متغيرة من 0.09 إلى 1.627 و من 0.168 إلى 1.75 و من 0.067 إلى 0.504 بينما كُنت النتائج في الرسوبيات و الطحالب متدببة من 0.066 إلى 9.19 و من 0.09 إلى 17.7 و من 0.055 إلى 0.874 بكريل على الكيلوغرام على التوالي. اذن النشاطية الإشعاعية المتحصل عليها معتدلة مقارنة بالحد الأدنى العالمي .

الكلمات المفتاحية: النشاطية الإشعاعية، النوويات الطبيعية، مطياف الغاما، كاشف أيود الصوديوم، اليورانيوم 238، البوتاسيوم 40، الثوريوم 232.

Résumé :

La radioactivité naturel dans le sol, les sédiments et les algues de Hammam Boughrara (Oued Mouilah) est estimée par la spectrométrie gamma en utilisant un détecteur de NaI(Tl) 2x2. Les échantillons sont rassemblées de 16 sites.

Les concentrations en activité d'U-238, du Th-232 et K-40, dans tous les échantillons mesurés ont varié de 0.09 à 1.627 Bq/kg, 0.168 à 1.75 Bq/Kg et 0.067 à 0.504 Bq/Kg respectivement dans des échantillons de sol. Pour des échantillons des sédiment et des algues, les valeurs ont varié de 0.066 à 9.19 Bq/kg, 0.09 à 17.7 Bq/kg et 0.055 à 0.874 Bq/kg pour U-238, Th-232 et K-40 respectivement. Les résultats prouvent que les concentrations en activité moyenne des radionucléides en sol et sédiment du secteur d'étude sont moyennes et ne dépassent pas les normes limites. Les autres paramètres de la radioactivité naturelle étaient déterminés. Tous ces paramètres ont des valeurs moyennes qui sont dans leurs limites acceptables.

Mots clé : concentration d'activité, radionucléides naturels, spectrométrie gamma, NaI(Tl), U-238, Th-232, K-40

Abstract:

Natural radioactivity is soil, sediment samples and algues were determined for 16 locations in Hammam Boughrara by gamma means of gamma spectroscopy with NaI (Tl) detector.

The concentrations in activity of U-238, Th-232 and the K-40, in all the measured samples varied from 0.09 to 1.627 Bq/kg, 0.168Bq/Kg to 1.75Bq/Kg and 0.067Bq/Kg to 0.504 Bq/Kg respectively in samples of soil .For samples of sediment and algues , the values varied from 0.066 to 9.19 Bq/kg, 0.09 to 17.7 Bq/kg, and 0.055 to 0.874 Bq/kg for U-238, Th-232 and K-40, respectively.

Radiological indices were estimated for the radiation of the natural radioactivity of all soil samples and algues. Al these hazard indices have mean values, which are within their acceptable limits.

Key word: activity concentration, Natural radionuclides, gamma spectrometer, NaI(Tl), U-238, Th-232, K-40, Ra eq, hazard index.