

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

**Spécialité : Procédés de Traitement des effluents et Protection de
l'environnement**

Intitulé du mémoire

**ETABLISSEMENT DU NIVEAU DE REFERENCE DE
LA RADIOACTIVITE AUTOUR DES
INSTALLATIONS NUCLEAIRES**

Présenté par : Encadré par :

MEBARKA Mohamed Promoteur : **NOUREDDINE Abdelkader**
Co-Promoteur : **AOUABED ALI**

Année universitaire 2015/2016

Résumé :

L'objectif principal de cette étude est de caractériser les milieux récepteurs d'intérêt (air, sol, eau). Pour ce faire, des échantillons d'air, desol, et d'eau ont été collectés dans différents endroits au niveau du Centre de Recherche Nucléaire de Draria. Les échantillons ont été conditionnés, et analysés par comptage direct par spectrométrie gamma au laboratoire d'environnement du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA). Les résultats obtenus montrent clairement la présence des radionucléides naturels dans l'air, le sol, et l'eau, et varient en fonction du milieu récepteur. Quant à la radioactivité artificielle, elle est représentée à l'état de traces par la présence du ^{137}Cs dans le sol.

Mots clés : Radioactivité naturelle, Radioactivité artificielle, Air, Sol, Eau, Spectrométrie gamma.

ملخص:

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تحديد خصائص الأوساط البيئية ذات الأهمية (هواء, تربة, و ماء). في هذا الصدد لقد تم اخذ عينات من التربة من عدة مواقع من مركز البحث النووي بالدرارية ., ولقد تم تحضير كل العينات وتحليلها عن طريق العد المباشر بتقنية قياس الطيف جاما على مستوى مختبر البيئة التابع لمركز البحث النووي بالجزائر. أظهرت النتائج بوضوح وجود عناصر مشبعة طبيعياً في الهواء ,التراب بمستويات إشعاع متغيرة حسب طبيعة الوسط البيئي. فيما يخص النشاط الإشعاعي الاصطناعي فهو موجود بنسبة ضئيلة في أوساط التربة

الكلمات الدالة: النشاط الإشعاعي الطبيعي, النشاط الإشعاعي الاصطناعي, هواء , تربة , ماء, تقنية الطيف جاما.

Summary:

The main objective of this study is to characterize the different compartment of the environment (air, ground, and water). To do this, soil samples were collected from different locations in Nuclear Research Center of Draria (CRND). Samples were collected, conditioned and analyzed by direct counting gamma spectrometry in environmental laboratory of Nuclear Research Center of Algiers (CRNA). The results clearly show the presence of natural radionuclide in soil samples. As for artificial radioactivity, it is represented by trace amounts of ^{137}Cs in the soil.

Keywords: natural radioactivity, artificial radioactivity, Air, Soil, water, gamma spectrometry technique.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé aux deux Centres de Recherche Nucléaires d'Alger et de Draria, sous la direction de M^r.NOUREDDINE Abdelkader, Directeur de Recherche et Directeur de la Division de l'Environnement, de la Sûreté et des Déchets radioactifs au CRNA, qui n'a jamais ménagé ni son temps ni sa patience pour m'orienter et m'aider à réaliser ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier vivement M^r.AOUABED Ali, Professeur à l'université de Blida, qui a voulu contribuer à l'élaboration de ce mémoire avec toute modestie.

Qu'il trouve aussi ici toute ma gratitude les membres de jury qui ont accepté d'examiner ce travail malgré toutes leurs préoccupations.

On ne peut évoquer la réalisation de ce travail, sans rendre hommage à Mr. GROUNE Daoud, et Mr. CHAHDANE Riadh chef attachés de recherche au CRND, ainsi qu'à M^r.BENTCHKAL Mourad ingénieur au CRND.

Sans oublier les efforts considérables de Mr. ZIOUCHE Mohamed du laboratoire de l'environnement du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA).

Que tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, puissent trouver ici l'expression de mes vifs remerciements.

TABLE DE MATIERES

Introduction 1

CHAPITRE I:GENERALITES SUR LA RADIOACTIVITE

I.1. Histoire de la radioactivité : 3

I.2. Notion de base sur la radioactivité : 3

 I.2.1. Définition de la radioactivité : 3

 I.2.2. Différents processus d'émission radioactive : 3

 I.2.2.1. Radioactivité alpha (α) : 4

 I.2.2.2. Radioactivité beta (β) : 4

 I.2.2.3. Emission gamma (γ) : 5

 I.2.3. La cinétique des transformations radioactives : 6

 I.2.3.1. Loi de décroissance radioactive 6

 I.2.3.2. La période radioactive : 6

 I.2.3.3. L'activité radioactive : 6

I.3. Origines de la radioactivité dans l'environnement : 7

 I.3.1. Radioactivité naturelle : 7

 I.3.1.1. Radioactivité primordiale : 7

 I.3.1.2. Radioactivité cosmogénique : 8

 I.3.2. Radioactivité artificielle : 9

 I.3.2.1. Essais nucléaires 9

 I.3.2.2. Les accidents nucléaires 10

I.4. Voies de transfert de la radioactivité dans l'environnement : 11

 I.4.1. Transfert dans l'atmosphère 11

 I.4.2. Transfert dans l'eau : 12

 I.4.3. Transfert dans le sol : 12

I.5. Détermination du niveau de référence de la radioactivité 14

 1.5.1. Définition du niveau de référence de la radioactivité 15

 1.5.2. Périodicité du niveau zéro radiologique 15

 1.5.3. Elaboration d'une approche théorique pour la détermination du niveau de référence de la radioactivité autour des installations nucléaires. 16

 1.5.3.1. Le choix des radioéléments à identifier 16

 1.5.3.2. Le choix de la matrice de prélèvement 17

 1.5.3.3. Le choix des lieux de prélèvement 17

CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE

Chapitre II 18

2. ZONE D'ETUDE 19

 2.1. Environnement du site 19

 2.2. Etude du sol 21

 2.3. Données météorologiques 21

 2.4. Données démographiques 23

 2.5. Données hydrologiques 23

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1. Échantillonnage et conditionnement.....	25
III.1.1.1. Échantillonnage de sol	25
III.1.1.2. Conditionnement	27
III.1.2. Eaux.....	28
III.1.2.2. Conditionnement	29
III.1.2.2.1. Traitement radiochimique des échantillons.....	29
III.1.3. L'air.....	30
III.1.3.1. Échantillonnage	30
IIIa.1.4.2. Conditionnement.....	31
III.2.1. Introduction	31
III.2.2. Principe de la spectrométrie gamma.....	32
III.2.3. Les constituants de la chaîne de détection.....	32
III.2.3.1. Détecteur Ge-HP	33
III.2.3.2. Alimentation haute tension.....	34
III.2.3.3. Alimentation basse tension	34
III.2.3.4. Préamplificateur	34
III.2.3.5. Amplificateur	34
III.2.3.6. Le convertisseur analogique-numérique	35
III.2.3.7. L'analyseur multi canal (MCA).....	35
III.2.3.8. Logiciel Génie 2000.....	35
III.3. Conditions expérimentales	35
III.3.1. Etalonnage en énergie.....	35
III.3.2. Bruit de fond	36
III.3.3. Etalonnage en efficacité.....	37
III.3.3.1. Préparation des standards.....	37
• Standard de sol.....	38
• Standard eau.....	38
• Standard Filtre.....	38
III.3.4. Analyse des spectres	38
III.3.5. Calcul des activités et leurs incertitudes.....	39
III.3.5.1. Calcul de l'activité	39
III.3.5.2. L'incertitude absolue sur l'activité	39
III.3.5.3. Calcul de l'activité minimale détectable.....	40

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Efficacités des différents radioéléments d'intérêt.....	41
IV.1.2. Standard Sol	43
IV.1.3. Standard eau	45
IV.2. Rendement chimique.....	46
IV.3. Activités spécifiques des radioéléments d'intérêt.....	47
IV.3.1. Aérosols.....	47
IV.3.2. Sol.....	48
IV.3.3. Eau de source et de robinet.....	50
IV.4. Interprétation.....	50
IV.4.1. Rendement chimique.....	50
• 81% pour l'eau de source.....	50
• 96 % pour l'eau de robinet.....	50

Table de matières

IV.4.2. eau source et eau de robinet :	51
IV.4.3. Sol.....	51
• Radionucléides de la famille d'uranium ^{238}U	51
• Radionucléides de la famille de Thorium ^{232}Th	52
• Activités spécifiques du ^{40}K	53
• Activités spécifiques du ^{137}Cs	54
IV.4.4. Aérosol	55
• Radionucléides de la famille d'uranium ^{238}U	56
• Radionucléides de la famille de Thorium ^{232}Th	57
• Activités spécifiques ^{40}K	58
CONCLUSION GENERALE	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60
ANNEXE A	
Spectres d'analyses des sols.....	63
Spectres d'analyses des eaux.....	69
Spectres d'analyses des aérosols.....	71
ANNEXE B.....	75

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, nous a permis d'élaborer une approche afin d'établir le niveau de référence de la radioactivité autour des installations nucléaires de base du Centre de Recherche Nucléaire de Draria. Ceci a été basé essentiellement sur la méthodologie utilisée pour des installations de mêmes types, afin de permettre de choisir les lieux de prélèvement, la matrice de prélèvement ainsi que les radioéléments à quantifier.

Cette étude, nous a permis d'évaluer la radioactivité naturelle et artificielle, qui règne autour du site et qui servira de base de données pour les futurs travaux de surveillance radiologique autour des installations nucléaires, en utilisant la technique de spectrométrie gamma avec son logiciel de traitement génie 200, qui est une méthode relativement simple. Celle-ci nous a permis de caractériser les différents compartiments de l'environnement du Centre de Recherche Nucléaire de Draria.

L'analyse des échantillons, a révélé la présence d'une diversité de radioéléments naturels provenant des chaînes radioactives naturelles et du potassium 40 dont l'origine est terrestre.

Les résultats obtenus dans ce travail ne sont pas suffisants pour déterminer l'origine de cette radioactivité artificielle (^{137}Cs), d'autres travaux plus détaillés peuvent être envisagés en perspective.

Les résultats trouvés montrent que la répartition de la radioactivité est pratiquement la même. Les variations de l'activité du ^{137}Cs peuvent être expliquées par différents paramètres, notamment la nature du sol et le degré de représentativité de l'échantillonnage dans tous les lieux de prélèvement.

Nous pensons que ce modeste travail, ouvre plusieurs perspectives pour les futurs travaux, surtout pour confirmer ce qui a été avancé quant à l'origine de la radioactivité artificielle. Une étude poussée, comportant des analyses chimiques du sol et des carottages à d'autres profondeurs ainsi que la disponibilité des certaines données spécifiques aux installations nucléaires de base, est à entreprendre dans la continuité de ce travail, pour pouvoir expliquer la variation de cette radioactivité autour du site.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA RADIOACTIVITE

I.1. Histoire de la radioactivité :

La radioactivité, omniprésente sur terre depuis son origine, a été mise en évidence en 1896 par Henri Becquerel qui étudiait la fluorescence de l'uranium. Cette découverte fut confirmée en 1898 par Pierre et Marie Curie qui découvrirent et isolèrent deux éléments radioactifs naturels au sein des roches de pechblende, le polonium puis surtout le radium qui devait révolutionner le traitement des cancers. A côté de cette radioactivité naturelle, la radioactivité artificielle est créée par l'homme depuis 1934, grâce aux travaux d'Irène et Frédéric Joliot-Curie. Elle a donné naissance à de multiples applications industrielles, médicales, mais aussi militaires (grâce aux découvertes de la physique nucléaire qui a permis de mettre en exergue la notion de fission et de réactions en chaîne),[1]

I.2. Notion de base sur la radioactivité :

I.2.1. Définition de la radioactivité :

La radioactivité, appelée aussi désintégration radioactive, est un processus naturel nucléaire spontané qui provient de l'instabilité des noyaux atomiques résultant de l'excès de nucléons (protons et neutrons) qui ont tendance à se transformer et se retrouver à l'état fondamental ou à un état moins instable par un réarrangement de nucléons, en émettant un rayonnement particulaire (α ou β), suivi souvent de rayonnement électromagnétique gamma (γ), après désexcitation du noyau .[2]

I.2.2. Différents processus d'émission radioactive :

Dans la nature, les noyaux peuvent être stables ou instables. Les noyaux instables « noyaux radioactifs » vont tendre vers la stabilité en se désintégrant et en émettant des rayonnements électromagnétiques ou particuliers « alpha, beta, gamma ...».[3]

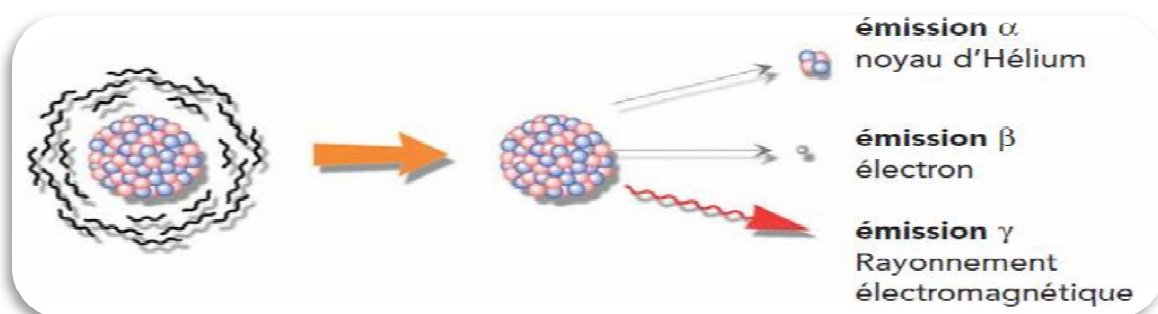


Figure I.1 : Désintégration d'un noyau instable[3]

I.2.2.1. Radioactivité alpha (α) :

Le rayonnement alpha provient de l'expulsion du noyau radioactif d'une particule alpha, qui est le noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$, ce type d'émission correspond à la désintégration des noyaux lourds, de nombre atomique pour la plupart supérieur à 82, pour assurer la stabilité du noyau. Les particules alpha sont complètement arrêtées par quelques centimètres d'air (ou quelques micromètres de matière liquide ou solide) [4].

La réaction de désintégration est exprimée par cette relation :

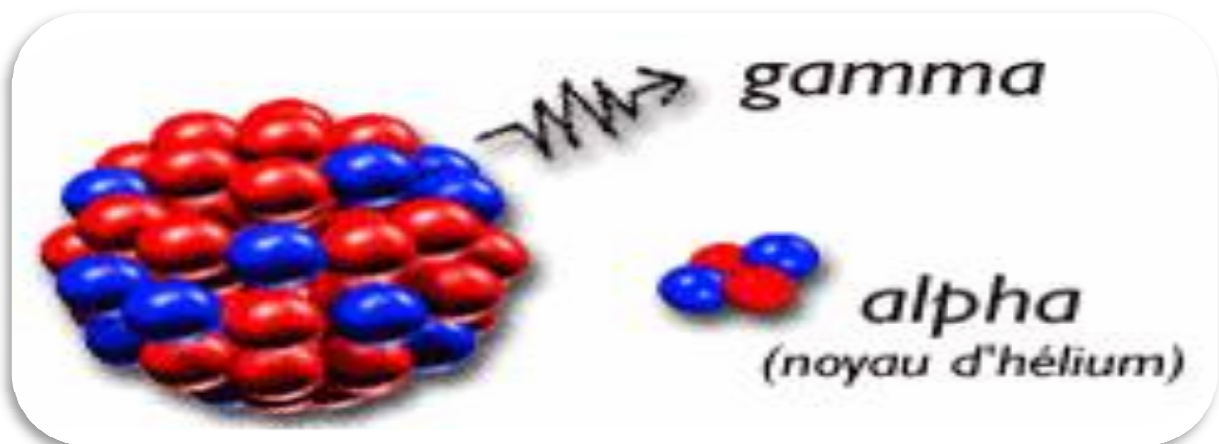
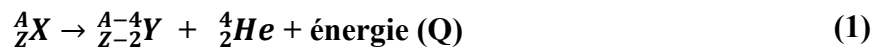
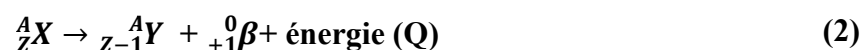


Figure I.2 : Désintégration α .

I.2.2.2. Radioactivité beta (β) :

Cette désintégration a lieu lorsque le noyau présente un excès de neutrons ou de protons. Elle est la résultante de l'émission d'une particule positive ou négative. Les rayons β peuvent être arrêtés par un écran de plomb de un à deux millimètres d'épaisseur [4].

- **Désintégration beta + (β^+)** : lorsque le noyau a un excès de protons qui entraîne leurs transformations en neutrons. Cette transition est exprimée par la réaction :



Ce processus d'émission s'observe pour les radionucléides artificiels.

- **Désintégration beta - (β^-)** : est spécifique au noyau présentant un excès de neutrons qui entraîne leurs transformations en protons, suivant la réaction :



- **Capture électronique** : Il s'agit d'un déficit neutronique qui est comblé par la capture d'un électron proche du noyau, donc de la couche K, par un proton. Le nombre de masse du nucléide formé reste inchangé A et son numéro atomique diminue d'une unité (Z-1). La réaction globale s'écrit comme suit : [5]

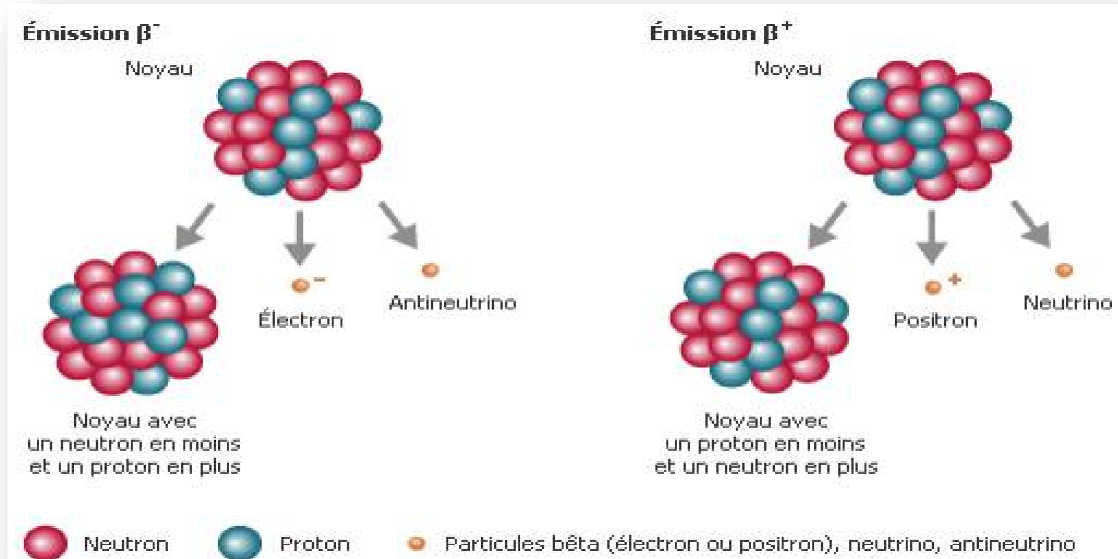


Figure I.3 : Capture électronique.

I.2.2.3. Emission gamma (γ) :

Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique, elle est obtenue lors du retour du noyau de l'atome fils d'un état excité à un état fondamental ou moins excité.

Avec un excès d'énergie, le noyau va alors émettre plusieurs rayonnements gamma d'énergie déterminée et caractéristique du noyau.

En règle générale, les rayons gamma sont plus pénétrants que les rayons alpha et beta (il faut quelques centimètres de plomb pour les arrêter)[4].

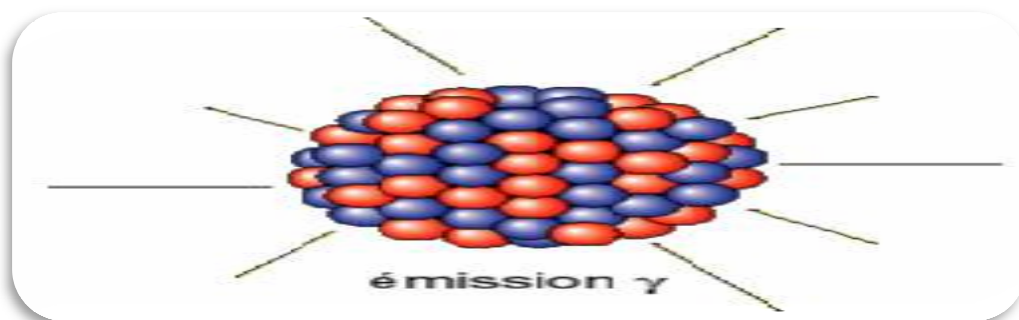


Figure I.4 : Emission γ .

I.2.3. La cinétique des transformations radioactives :

I.2.3.1. Loi de décroissance radioactive :

Les processus radioactifs ne s'effectuent pas instantanément, la décroissance et la croissance d'une substance radioactive dépendent du temps. Le nombre de désintégration qui se produisent à un instant donné est proportionnel au nombre d'atome encore radioactifs à cet instant. Sous une forme différentielle, le nombre d'atome dN , qui se désintègrent au cours d'un temps dt est :

$$-d N(t) = \lambda N(t) dt \quad (5)$$

Le signe moins indique que $N(t)$ diminue de l'incrément $dN(t)$.

L'intégration de cette équation conduit à la loi exponentielle :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Où :

- λ : est la constante de désintégration radioactive.
- N : est le nombre de noyaux non désintégrés à l'instant t .
- N_0 : est le nombre initial de noyaux à l'instant $t = 0$ (t_0).
- t : est le temps de décroissance.

I.2.3.2. La période radioactive :

La période $T_{1/2}$, ou demi-vie de la source radioactive est l'intervalle de temps au bout duquel le nombre de radio-isotopes décroît de la moitié de sa valeur par désintégration radioactive.

D'après la relation de décroissance radioactive, on obtient :

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (7)$$

I.2.3.3. L'activité radioactive :

L'activité (A) d'un radionucléide est le taux de désintégration ou nombre de noyaux se désintégrant par unité de temps.

En multipliant les deux termes de l'équation (6) par λ , on aura une activité :

$$\begin{aligned} A(t) &= \lambda N(t) & (8) \\ A(t) &= A_0 e^{-\lambda t} & (9) \end{aligned}$$

Où :

- A : est l'activité au temps t .
- A_0 : est l'activité initiale.

I.3. Origines de la radioactivité dans l'environnement :

La radioactivité actuelle de l'environnement résulte de radionucléides naturels, présents sur la terre depuis son origine, et de radionucléides artificiels introduits par l'homme à partir du milieu du XXe siècle.

I.3.1. Radioactivité naturelle :

Dès la formation de la terre, il y a environ cinq milliard d'années, la matière était constituée d'éléments radioactifs et d'éléments stables, ou de nombreux atomes radioactifs se transforment toujours : c'est la radioactivité naturelle.

La contribution de la radioactivité naturelle à l'environnement est divisée en deux catégories.

I.3.1.1. Radioactivité primordiale :

Cette catégorie concerne les noyaux instables présents au moment de la formation de la terre et sont appelés « Radionucléides primordiaux ». Ils sont caractérisés par une période radioactive très longue comme (le Potassium 40, l'Uranium 238, l'Uranium 235, et le Thorium 232). Ces radionucléides donnent naissance à des radionucléides naturels secondaires par leurs désintégration, ce processus ne peut être ni empêché ni modifié [6].

Dans la nature, il existe trois séries (ou familles) de désintégration radioactives naturelles. Il s'agit de la série de l'uranium, de l'actinium et du thorium. Ces désintégrations radioactives successives via des émissions α et/ou β aboutissent à des isotopes stables du plomb.[4]

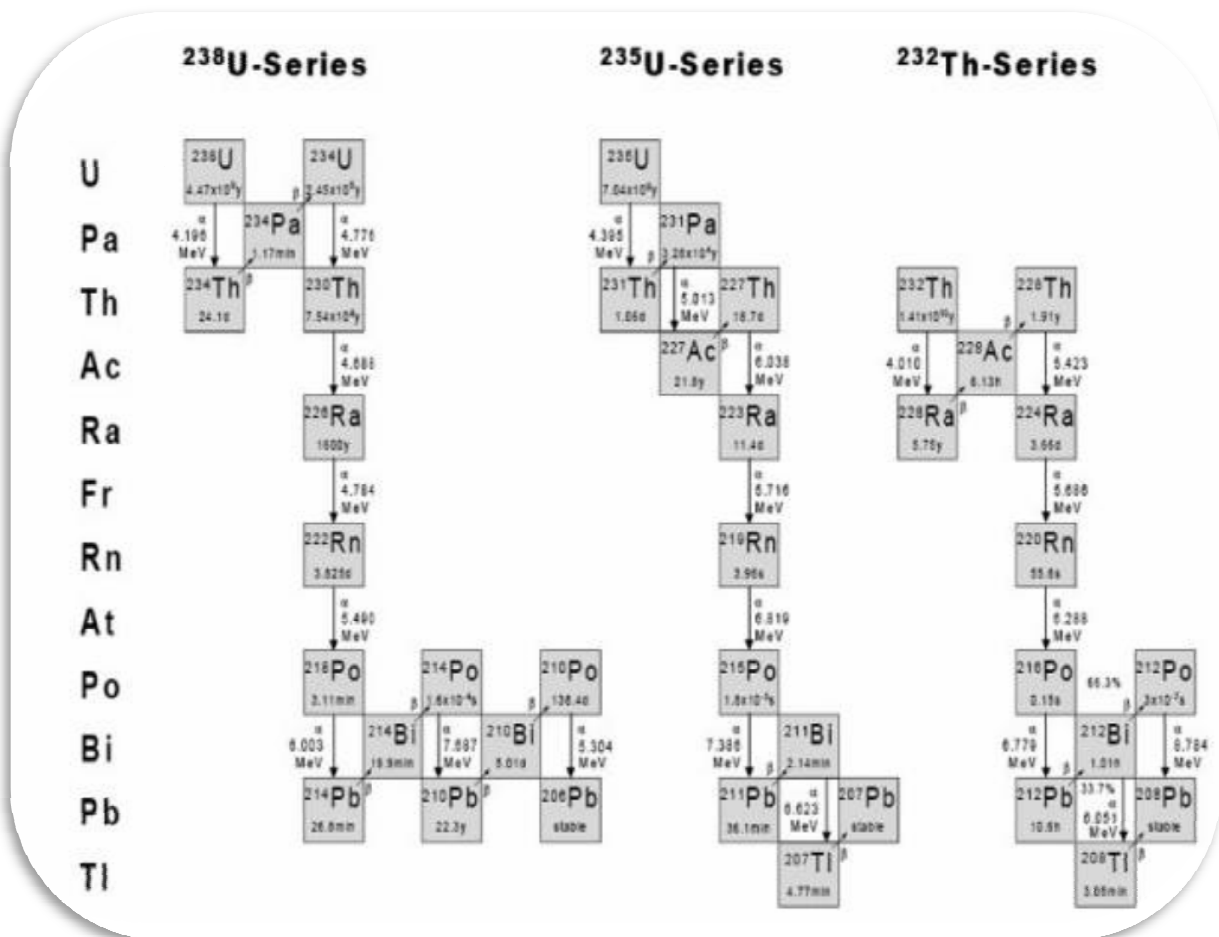


Figure I.5 : Chaîne des trois familles radioactives naturelles [7]

I.3.1.2. Radioactivité cosmogénique :

L'interaction entre les noyaux d'atomes gazeux (Oxygène, Azote, Argonetc.) de la partie supérieure de l'atmosphère et les particules des rayons cosmiques primaire telle que les protons, les électrons et les alphas (particules d'Hélium) de haute énergie, provenant du soleil, des étoiles et des autres galaxies, produit un ensemble de noyaux stables et d'autres radioactifs.

L'interaction du rayonnement cosmique secondaire avec les différents constituants de l'atmosphère ('Ar, N,O, H...) conduit à la formation de radionucléides appelés cosmorigènes dont les plus importants sont le Tritium (H-3), le carbone (C-14), et le béryllium (Be-7). Leurs concentrations en Bq/m³ est donnée dans le tableau 1.

A la surface de la terre, ce rayonnement est stable, mais il peut être influencé par plusieurs facteurs à savoir le champ magnétique terrestre, la latitude, l'activité solaire et l'altitude. Ainsi dans les régions polaires et celles situées à des altitudes supérieures à 1000 mètres, la composante cosmique est très importantes.[8].

Tableau 1. Concentration dans l'air des principaux radionucléides formés par interaction avec les constituants de l'atmosphère [9]

Nucléide	Période	Principales radiations	Energie (MeV)	Concentration dans l'air (Bq/m ³)
H-3	12.3a	β^-	0.0186	0.167
Be-7	53.6j	β^-	0.477	0.017
C-14	5760a	β^+	0.156	10^{-7}
Na-22	2.6a	β^-, γ	0.545, 1.283	$1.7 \cdot 10^{-6}$
Si-32	280a	β^-	0.210	3.310^{-8}
P-32	14.3a	β^-	1.17	3.310^{-4}
S-35	88j	β^-	0.167	$2.5 \cdot 10^{-4}$
Cl-36	380a	β^-	0.714	$5 \cdot 10^{-10}$

I.3.2. Radioactivité artificielle :

Après la découverte de la radioactivité artificielle qui dépend de l'activité humaine, par Irène et Joliot-Curie en 1934, les sources artificielles se sont développées pour satisfaire de nombreuses applications dans tous les secteurs, allant de la médecine à l'industrie en passant par les applications militaires [7].

La présence des radionucléides artificiels dans l'écosystème planétaire provient essentiellement des essais militaires et des accidents nucléaires.

I.3.2.1. Essais nucléaires

Un essai nucléaire désigne l'explosion d'une bombe atomique à des fins expérimentales, cette dernière est due à la fission (cassure) d'atomes lourds comme l'uranium 235 ou le plutonium 239, entraînant un dégagement d'énergie considérable et l'émission de produits de fission et d'activation [10].

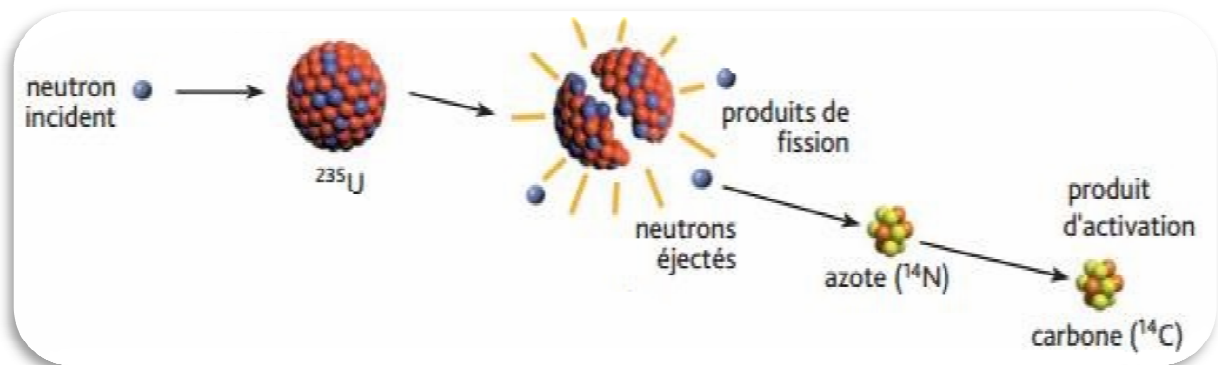


Figure I.6 : Fission atomique [10].

Les essais nucléaires atmosphériques, qui ont commencé en 1945, et qui se sont déroulés avec intensité de 1956 à 1963, ont libéré des produits de fission, en majorité du césium 137, du strontium 90 et les radio-isotopes 238 et 239 du plutonium. Ces essais ont également conduit à des émissions de carbone 14 et de tritium. Ces retombées ont engendré une contamination chronique de l'environnement même après l'arrêt totale des essais atmosphériques dans le monde en 1980. [11].

I.3.2.2. Les accidents nucléaires

Depuis quelques décennies, de nombreux accidents nucléaires ont fortement contribué à l'augmentation du taux de la radioactivité artificielle dans la biosphère.

Parmi les accidents les plus importants dans l'histoire de l'énergie nucléaire, on cite :

- **L'accident de Windscale** : le 7 Octobre 1957 en grande Bretagne : l'explosion d'un container de 250 m³ dans un complexe de production de plutonium a donné lieu à un rejet de $7,4 \cdot 10^{17}$ Bq dans l'atmosphère, dont environ $2,2 \cdot 10^{13}$ Bq en ¹³⁷Cs. [12]
- **L'accident de Three Mile Island (TMI)** : le 28 Mars 1979 aux USA : est dû à une interruption de la circulation d'eau qui alimente les générateurs de vapeur qui contribue à une explosion au cœur du réacteur, les radionucléides émis sont essentiellement l'iode-131 et le xénon-133. [13].
- **L'accident de Tchernobyl** : le 26 avril 1986 en URSS (Ukraine), il a été provoqué par l'explosion d'un des quatre réacteurs de la centrale, l'accident a dispersé divers radionucléides dans l'atmosphère, les radionucléides qui sont les plus répandus sont les gaz rares, l'iode et le césium 137, les quantités présentes en 1997 seraient de $8,5 \times 10^{16}$ Bq en Cs ¹³⁷.
- **L'accident de Fukushima** : Suite au terrible tremblement de terre et au tsunami qui ont frappé le nord-est du Japon le vendredi 11 mars 2011, la centrale nucléaire de Fukushima a connu une défaillance de ses systèmes de refroidissement et plusieurs explosions sur ses réacteurs. De plus, du combustible nucléaire, normalement confiné et protégé dans des piscines d'eau, a été émis un panache radioactif qui s'est libéré dans l'air dans l'atmosphère.

Selon les premières estimations de l'Agence japonaise de sûreté nucléaire, l'accident a dispersé l'équivalent d'environ 10 % de l'accident de Tchernobyl : entre 1,3 et $1,5 \times 10^{17}$ becquerels d'iode 131 (contre $1,8 \times 10^{18}$ pour Tchernobyl), et entre 6,1 et 12×10^{15} becquerels de césium 137 (contre $8,5 \times 10^{16}$ pour Tchernobyl)[14].

I.4. Voies de transfert de la radioactivité dans l'environnement :

Les radionucléides se dispersent dans l'air et dans l'eau, se déposent sur les sols et les sédiments, migrent dans les chaînes alimentaires et peuvent atteindre l'homme. En conséquence, compte tenu de la présence de radionucléides dans tous les écosystèmes, et de la complexité des processus de transfert et de concentration, les mesures de radioactivité sont effectuées dans tous les compartiments de la biosphère.

I.4.1. Transfert dans l'atmosphère

L'atmosphère est la voie la plus favorable pour la dispersion des radionucléides à cause de ses propriétés, telle que sa composition chimique qui contient des éléments inertes (gaz rare), et des propriétés physiques telle que les conditions météorologiques.

La radioactivité d'air, est due aux aérosols provenant des retombés nucléaires, des rejets d'effluents gazeux, et principalement aux rayonnements naturels qui viennent du sol, où se trouvent les radionucléides des familles naturelles de l'uranium, du thorium et béryllium 7, ainsi qu'aux descendants du radon. Le radon est un gaz radioactif naturel dont les produits de décroissance, également radioactif, se fixent aux poussières présentes dans l'air.

Les matières radioactives transportées dans l'air ont un devenir variable pour :

- les radionucléides à vie très courte (inférieur à quelques heures) tendent à disparaître par décroissance radioactive le long du trajet du panache.
- Quant aux gaz incondensables (gaz rares tels que le Xénon 133), ils restent dans l'atmosphère et leur concentration diminue au cours du temps par dilution sous l'effet de la dispersion atmosphérique et de la période radioactive.
- Les radionucléides sous forme d'aérosols (fines particules en suspension) ou de gaz réactif (l'iode gazeux par exemple) se déposent progressivement sur les surfaces au sol : ce sont les retombées radioactives de l'accident qui sont soit des dépôts secs ou des dépôts humides. La prédominance dépôts secs par rapport au dépôt humide est complètement liée à la météorologie. Après dépôt, les radioéléments vont migrer et éventuellement intégrer sélectivement plusieurs matrices.

Chapitre I Généralités sur la radioactivité

Le transfert des matières radioactives est principalement régi par deux processus fondamentaux qui sont la dispersion et la diffusion. Lors de la dispersion dans l'atmosphère, des matières radioactives sont transférées vers le milieu terrestre et aquatique. Après leur transfert dans les différents compartiments d'environnement, ces matières radioactives peuvent se retrouver à nouveau dans l'atmosphère par la remise en suspension.

I.4.2. Transfert dans l'eau :

Vu la grande surface du milieu aquatique et l'exploitation de ses divers ressources par l'homme, un intérêt particulier est attaché au milieu marin, qui peut être la source d'une radioexposition pour les organismes marins, et par la suite l'homme.

Les matières radioactives, qui arrivent dans le milieu aquatique (les océans, les milieux marins, les cours d'eau, les lacs...) par différentes voies, proviennent des retombées atmosphériques, de l'érosion des sols, des rejets d'effluents liquides et aussi des rayonnements cosmiques et la présence dans ce milieu de radioéléments primordiaux.

Tous les radionucléides dans le milieu aquatique subissent deux actions principales : la dispersion et la fixation.

La dispersion est due à la dilution des radionucléides solubles dans l'eau basée sur deux aspects :

- Aspect physico-chimique : le pH, la température, la salinité, et la viscosité sont responsable de cette action. [15]
- Aspect hydrodynamique : due au mouvement du milieu qui favorise la dispersion et la dilution des radionucléides. [15]

Les radionucléides insolubles dans l'eau, sont fixés sur des organismes vivants ou au fond sur les sédiments. C'est la fixation.

Le transfert du milieu aquatique vers le sol et l'atmosphère se fait respectivement par les pratiques d'irrigation et le phénomène de la remise en suspension des sédiments. Durant ce transfert, des matières radioactives peuvent passer dans la chaîne alimentaire et atteindre l'homme par la consommation d'animaux aquatiques ou d'eau potable contaminée.

Les principales voies d'atteinte à l'homme sont l'exposition externe, l'inhalation et l'ingestion.

I.4.3. Transfert dans le sol :

Les sols et les sédiments, constituent des zones d'accumulation et de concentration de la radioactivité, dont contiennent l'essentiel du stock de radioactivité issue des retombées des

essais atmosphériques et d'armes nucléaires. Ces dernières constituent la principale source qui alimente toutes les composantes de l'environnement.

La radioactivité dans le sol peut être d'origine naturelle (rayonnements cosmiques, type de roches) ou artificielle. Les sols peuvent hériter des radio-isotopes de la roche dont ils sont dérivés ou subir une contamination radioactive. A cette radioactivité naturelle émanant du sol s'est ajoutée celle des dépôts radioactifs résultant des essais nucléaires puis des accidents de Tchernobyl en 1986 et de Fukushima en 2011. La contribution des essais nucléaires répartie sur tout le globe est devenue faible, alors que celle des deux accidents nucléaires reste importante près des sites de ces accidents. Malgré cela, le ^{137}Cs reste l'élément le plus répandu dans l'environnement.

Dans les mois et les années qui suivent les dépôts radioactifs sur les sols et la végétation, les contaminants subissent dans le sol des processus physicochimiques et biologiques qui déterminent des voies de transferts à long-terme dans la biosphère, dont ces voies dépendent de la solubilité des éléments dans le sol et de la granulométrie des particules de sol, et des conditions météorologiques à l'échelle d'une région ou d'un département (temps sec, faibles pluies, fortes pluies ou neige en altitude).

Certains processus (sorption/désorption, fixation, réaction chimique, effet des microorganismes, etc...) modifient les propriétés chimiques des radioéléments ; d'autres processus agissent directement ou indirectement sur les migrations verticales des contaminants dans les sols et le transfert aux plantes (diffusion, lessivage, transfert racinaire, bioturbation, etc.). Enfin, des processus comme le ruissellement, l'érosion ou la resuspension, etc... favorisent le transport latéral des polluants.

Les principales voies de contamination de l'homme sont l'exposition externe, l'inhalation et l'ingestion, comme le montre **la Figure I.7**.

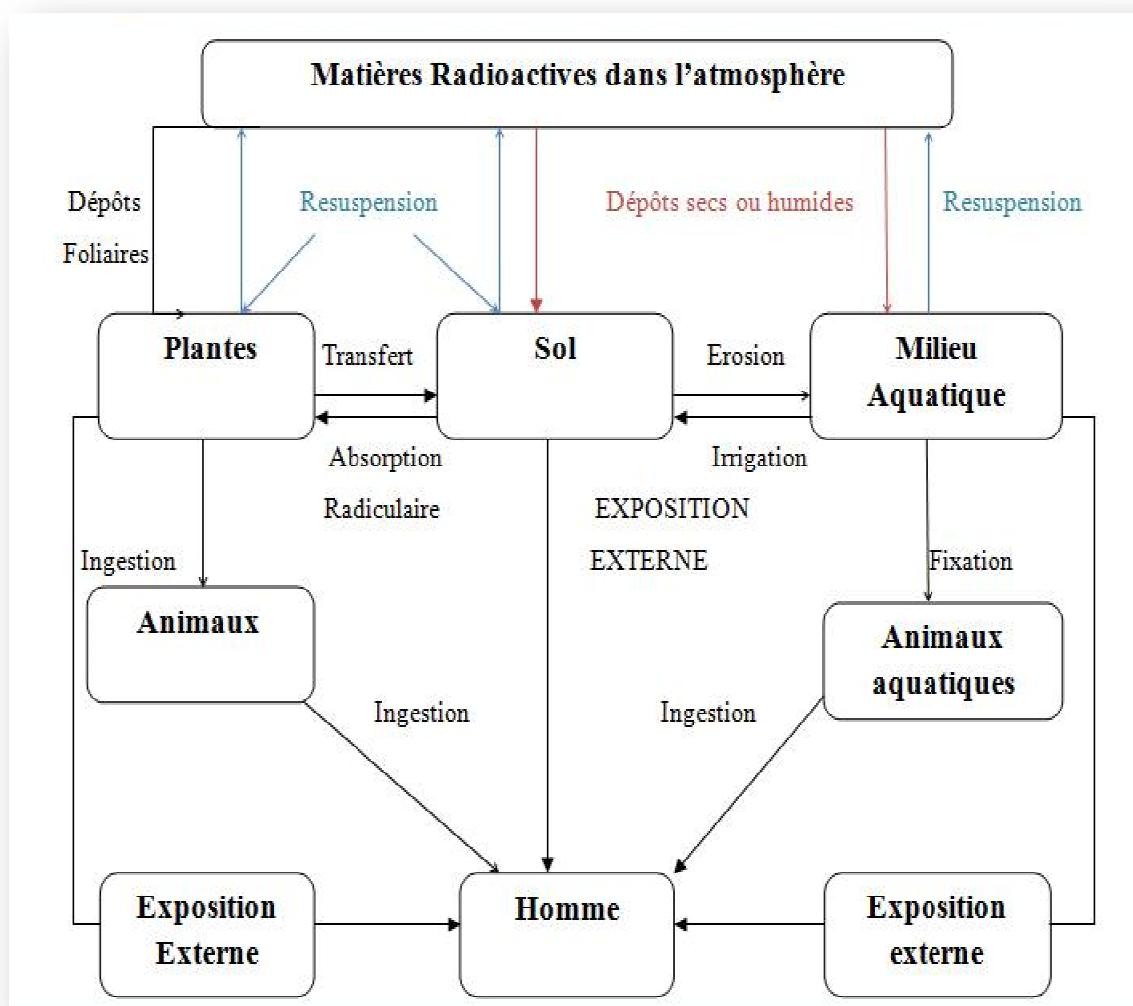


Figure I.7 : Transfert des radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement.

1.5. Détermination du niveau de référence de la radioactivité

Les installations nucléaires, comme toutes les industries utilisent au cours de leur fonctionnement normal, les eaux de leur milieu environnant ainsi que l'atmosphère qui les entoure, pour éliminer les effluents liquides et gazeux. Ces rejets peuvent être accidentels suite à une perturbation dans le fonctionnement des installations, ou routiniers en fonctionnement normal auquel cas, ils sont alors rejetés à des niveaux jugées acceptables par les autorités compétentes.

Durant le fonctionnement normal, les rejets radioactifs dans l'environnement sont presque nuls.

L'étude du niveau de la radioactivité existant autour des installations nucléaires de base, est indispensable pour les futurs travaux de surveillance et de contrôle de

Chapitre I Généralités sur la radioactivité

l'environnement du site. Cette étude appelé niveau de référence de la radioactivité, nécessite la mesure de celle-ci dans certains échantillons de l'environnement à savoir le sol, l'eau et l'air, ainsi qu'éventuellement la mesure du gamma ambiant (celui-ci fera l'objet d'une étude à part).

Le choix et la localisation des lieux de prélèvement dépendent des données radiologiques préliminaires ainsi que de diverses études complémentaires réalisées dans l'environnement du site (CRND) et qui concerne spécialement, la météorologie, la pédologie et l'hydrologie.

Le niveau de la radioactivité dans les échantillons de l'environnement étant généralement faible, plusieurs méthodes sont envisageables pour sa mesure. Parmi ces méthodes, on distingue la mesure directe par spectrométrie gamma, qui est la plus utilisée.

1.5.1. Définition du niveau de référence de la radioactivité

Le point zéro radiologique ou niveau de référence représente l'état initial de la radioactivité qui règne autour des installations nucléaires de base. C'est une situation radiologique qui permet d'évaluer, d'une part la radioactivité naturelle d'origine cosmique et terrestre, et d'autre part la radioactivité artificielle provenant éventuellement des retombées globales de l'exploitation des installations nucléaires. Il permet de confirmer toute fluctuation de la radioactivité, provenant d'autres origines. [16].

La détermination de ce niveau de référence constitue la base d'un futur plan de surveillance radiologique du site. Son établissement est étroitement lié à l'étude préliminaire du site et nécessite la mesure des niveaux de la radioactivité dans certains échantillons de l'environnement. [17]

1.5.2. Périodicité du niveau zéro radiologique

Les paramètres spécifiques au site, déterminés au préalable dans l'étude préliminaire à savoir les voies critiques de transfert de la radioactivité et les coefficients de transfert d'un compartiment à un autre, varient dans le temps. Cette variation peut être causée par l'impact des installations nucléaires sur l'environnement, qui apporte des charges chimiques et thermiques en modifiant l'évolution des écosystèmes terrestres et aquatiques, comme elle peut être causée par certaines activités humaines, telle que l'agriculture et l'industrie. La fréquence habituelle de détermination du niveau de référence de la radioactivité varie de 5 à 10 ans, cependant cette fréquence peut être rapprochée dans le cas de la détermination d'une nouvelle voie critique de transfert causée par l'une ou l'autre des variations citées précédemment [16].

1.5.3. Elaboration d'une approche théorique pour la détermination du niveau de référence de la radioactivité autour des installations nucléaires.

La méthodologie suivie pour la détermination du niveau de référence de la radioactivité autour des installations nucléaires est basée essentiellement sur l'étude radiologique préliminaire qui consiste en une description par enquête bibliographique et sur terrain des paramètres actuels et futurs de l'environnement[17]. Elle permet d'analyser et de quantifier les différentes voies de transfert de la radioactivité rejetée par des installations nucléaires, pour atteindre éventuellement les populations et l'environnement avoisinant.

A partir de cette étude, il est possible de disposer de données concernant les voies critiques compte tenu des caractéristiques géologiques, hydrologiques et météorologiques spécifiques au site. Elle permet également la détermination du groupe critique ainsi que la quantification des doses reçues par la population avoisinante, en fonction de la distance du point de rejet et des directions privilégiées. Cette quantification de doses est basée sur l'étude de la dispersion atmosphérique en utilisant les résultats expérimentaux d'une station météorologique sur site, pour disposer des statistiques pour la détermination de la direction du vent et de la classe de stabilité les plus prédominantes. Dans le cas de la non disponibilité de la station sur le site, des données peuvent être récoltées d'une autre station proche du site [18].

Toutes les données qui découlent de l'étude préliminaire vont servir de base pour la détermination du niveau de référence de la radioactivité autour du site nucléaire, surtout dans le choix de la matrice et des lieux de prélèvement, des radioéléments à identifier, ainsi que des techniques utilisées pour le prélèvement et la mesure de la radioactivité.

1.5.3.1. Le choix des radioéléments à identifier

L'étude du niveau de référence de la radioactivité autour des installations nucléaires est basée sur la mesure de la radioactivité naturelle et artificielle dans les échantillons de l'environnement. Pour la radioactivité naturelle, on s'intéresse au ^{40}K et aux deux familles radioactives ^{238}U et ^{232}Th . Parmi les descendants de ces deux chaînes, les plus importants sont l' ^{228}Ac , le ^{212}Pb , ^{214}Pb , et ^{214}Bi . En ce qui concerne la radioactivité artificielle, l'isotope du ^{137}Cs est le plus considéré dans ce type d'étude, pour les propriétés physico-chimiques qu'il présente.

1.5.3.2. Le choix de la matrice de prélèvement

Les échantillons de sol et de sédiment sont généralement les matrices les plus appropriées à ce type de travaux. Compte tenu de leur pouvoir de rétention de la radioactivité, ces échantillons peuvent être utilisés pour étudier le dépôt de la radioactivité en surface.

Les radioéléments, une fois déposés sur le sol, s'accumulent dans les couches superficielles. Le cumul de la radioactivité, est fonction d'une part du type de sol, et d'autre part des propriétés physico-chimiques des radionucléides. La radioactivité se fixe d'autant plus dans les particules fines, ce qui exige un prélèvement de sol argileux ou de sédiment de vase.

1.5.3.3. Le choix des lieux de prélèvement

Les lieux de prélèvement doivent être choisis en fonction des conditions météorologiques, suivant les secteurs prédominants du vent, et particulièrement des distances supposées recevoir les concentrations les plus élevées en matières radioactives. Ces mêmes points seront inclus dans le programme de la surveillance radiologique autour des installations.

Ces concentrations sont estimées par les modèles mathématiques de la diffusion atmosphérique. Dans le cas échéant ou l'on ne dispose pas de données météorologiques, le prélèvement peut être effectué dans les quatre directions à savoir le Nord, l'Est, l'Ouest et le Sud.

Les lieux de prélèvement peuvent être repérés par un quadrillage rectangulaire, en représentant les points dans un repère à coordonnées cartésiennes dont le centre est situé dans la région d'intérêt des installations. Ils peuvent être représentés également dans un repère à coordonnées polaires avec les directions géographiques.

Dans notre étude ces points sont repérés par GPS (Global Position System) par l'utilisation du Global mapper 15.

Les terrains de collection des échantillons doivent être plats et découverts, avec une assez bonne perméabilité. Ils doivent être non perturbés, non soumis à des érosions, et non travaillés, pour permettre de donner la meilleure représentativité possible.

Chapitre II

Zone d'étude

2. ZONE D'ETUDE

2.1. Environnement du site

Alger, la Capitale de l'Algérie, avec une population de plus de trois millions, représente la plus importante concentration des investissements et institutions gouvernementales. Elle est le centre intellectuel, social, culturel, politique et économique du pays.

Le site Centre de Recherche Nucléaire de Draria (CRND) est situé à quelques 10 Km au Sud du chef-lieu de la Wilaya d'Alger. Il est localisé dans la région de Sebala entre les localités de Draria, El-Achour, Ben Aknoun, Texiraine et Saoula, le site CRND représente une superficie d'environ 15.5 Hectares avec un périmètre de quelques 1730 m.

Le terrain du site est caractérisé par une morphologie plus ou moins plane avec une zone d'exclusion située au Sud-Ouest du centre,(Figure 2.1).



Figure 2.1 : Photo Satellitaire du Site CRND, (Google earth, 2015)

2.2. Etude du sol

Le modèle géotechnique et dynamique du site a été déterminé en se basant sur l'analyse du rapport géotechnique de l'étude de sol. [19].

Selon les données des sondages carottés, le sol englobe les couches suivantes :

- Couche superficielle de remblais d'épaisseur 0.8 – 1 m.
- Couche de Limon sableux beige argileux en profondeur avec passages grésifiés d'épaisseur 15 – 20 m.
- Couche de grés de 4 m d'épaisseur qui n'apparaît pas partout (forme de lentilles).
- Socle de marnes relativement altérées, apparaissent à partir de 16 – 25 m
- la densité sèche du sol varie de 1.58 à 2.78 t/m³.
- La teneur en eau varie entre 14 et 29 %.
- Le degré de saturation varie entre 46 et 100 %.
- Le pourcentage des éléments fins varie entre 73 et 100% et les limites de Casagrande montrent un sol peu à très plastique.

2.3. Données météorologiques

La dispersion des radionucléides dans l'atmosphère ainsi que leur déposition sur le sol, sont fonction des conditions de rejets (routiniers ou accidentels) d'une part, et des conditions météorologiques d'autre part. Les données spécifiques au site, s'étalent sur une période de 7 années .Cependant nous estimons que les données relatives à la station deBouzareah sont plus représentatives. Le tableau 2.1. regroupe les différentes directions géographiques ainsi que la fréquence directionnelle du vent.[20].

De plus d'autres données sont disponibles ceux de Mahalma par exemple mais le choix s'est porté sur Bouzareah pour deux raisons essentielles :

- Bouzareah et Draria appartiennent au massif d'Alger donc pratiquement la même hauteur du niveau de la mer.
- Draria ne dispose pas d'une station météorologique.

Tableau 2.1. Les différentes directions géographiques ainsi que la fréquence directionnelle du vent. (Rose de vent) [20].

Direction du vent	Vitesse en Kt						total
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-21	≥22	
Nord	3%	1%	1%	0%	0%	0%	5%
Nord Est	2%	0%	0%	0%	0%	0%	2%
Est	4%	5%	12%	6%	0%	0%	27%
Sud Est	1%	1%	1%	0%	0%	0%	3%
Sud	2%	1%	1%	1%	0%	0%	5%
Sud –Ouest	1%	1%	1%	0%	0%	0%	3%
Ouest	4%	5%	10%	5%	1%	0%	25%
Nord-Ouest	2%	2%	5%	2%	0%	0%	11%
Subtotal	19%	16%	31%	14%	1%	0%	81%
Calmes							19%
Total							100%

Les données de vent utilisées pour l'élaboration des roses de vent sur la station de Bouzareah s'étalent du 1^{er} mars au 31 mai 2015.

En conclusion, Les vents qui dominant sur la région de Bouzareah sont de secteur **EST** « 27% » de l'ensemble des directions, et de secteur **OUEST** « 25% » ; avec des vitesses qui peuvent atteindre les 11Kt et dépassant épisodiquement les 17Kt.

Les vents calmes présentent 19% de l'ensemble des observations.

Kt : vitesse du vent en nœuds

Le **nœud** est une unité de mesure de la vitesse utilisée en navigation maritime et aérienne. Un nœud correspond à un mille marin par heure, soit 1 852 mètres par heure ou 0,514 mètre par seconde.

Une autre donnée, concernant la hauteur moyenne des précipitations, qui peut être importante dans le cas de la quantification des dépôts humides sur le sol. Elle est résumée dans le tableau 2.2

Tableau 2.2. Cumul mensuel des précipitations en mm enregistré à la station de Bouzareah de 2009 à 2014 [20]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
2009	127.1	19.1	67.1	109.1	29.7	0.2	4.8	5.6	78.1	48.3	79.8	132.5
2010	100.3	96.2	154.5	94.8	40.1	2.9	0.8	62.8	22	192	196.9	127.3
2011	109.3	163.2	45.8	131.2	156.6	25.6	3.7	0.4	37.3	66.4	309.1	99.3
2012	36.8	284.9	99.3	197	23.9	2	0.9	11.3	27.7	135.2	195.3	54.5
2013	204.8	149.1	122.4	111.3	284.1	1	2.7	3.3	20.8	39.6	219	79.4
2014	102.9	59.6	79.9	2.6	19.1	72.8	1.3	2.7	23.9	44.4	79.6	172.4

2.4. Données démographiques

Dans le cas des effluents gazeux, seules les distances à vil d'oiseau sont importantes pour l'étude de la dilution des radioéléments dans l'atmosphère [21]. Dans notre cas les deux communes qui se situent à moins de 1.5 Km du Centre de recherche Nucléaire de Draria (CRND) et dans les deux directions privilégiées du vent, sont Draria et El Achour, situées respectivement au sud et à l'est du CRND. Les données relatives de la commune d'El Achour et de Draria montrent que le nombre d'habitants est estimé à 45000, sur une superficie de 1100 hectares, selon les sources de l'APC de Draria.

2.5. Données hydrologiques

Les eaux souterraines sont prépondérantes que les eaux superficielles. Elles représentent 83% de l'eau consommée dans la région [22]. L'analyse de l'eau a montré qu'elle est chimiquement potable [23].

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Échantillonnage et conditionnement

III.1.1.Introduction

Il est nécessaire de prélever des échantillons de sol pour des études d'impact de radioactivité car cette matrice représente le siège de toute contamination quelque-soit sa provenance (atmosphère, eau, matériaux).

III.1.1.1. Échantillonnage de sol

L'échantillonnage a été effectué le 12 juin 2016, au Centre de Recherche Nucléaire de Draria, en différents points non perturbés. A cet effet huit points de prélèvement ont été choisis en différents endroits.

Le prélèvement d'échantillon de sol de surface a été effectué selon la méthode de la diagonale sur une surface d'un mètre carré (1m²) (**figure III.1**) à l'aide d'une pelle-pioche. Les prélèvements sur les 5 points sont alors mélangés pour constituer un seul échantillon moyen représentatif dont la masse varie entre 2kg à 3kg, qui est mis dans un sachet en plastique sur lequel sont portés les renseignements nécessaires (le lieu de prélèvement, la date,). Les conditions de prélèvement sont les mêmes pour les 8 échantillons, qui ont été transférés au laboratoire où ils seront préparés pour l'analyse.

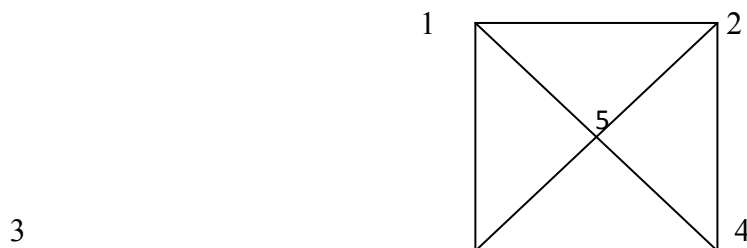


Figure III.1 : Méthode de diagonale pour l'échantillonnage du sol de surface.

La première phase de cette étude consiste à prélever huit échantillons de sol autour des installations nucléaires. Ces derniers sont prélevés selon les huit directions géographiques.

Faute d'un système GPS, la prise de coordonnées de ces points se fait par le logiciel Global Mapper (version 15 ; 64 bit) avec une précision de 10 mètres.

Les points de prélèvements sont situés comme indiqué dans la carte donnée ci-dessous :



Figure III.1 : PhotoSatellitaire du Site CRND, Positionnement des points de prélèvements.

Tableau III.1 : Les coordonnées de prélèvements des différents échantillons

Point de prélèvement	Coordonnées de prélèvement	
	Latitude (Nord)	Longitude (Est)
P1	36° 43' 31.6785"	3° 00' 18.6568"
P2	36° 43' 32.3628"	3° 00' 21.1926"
P3	36° 43' 37.4343"	3° 00' 21.2731"
P4	36° 43' 35.6633"	3° 00' 25.7207"
P5	36° 43' 27.0498"	3° 00' 29.5646"
P6	36° 43' 28.3050"	3° 00' 34.8053"
P7	36° 43' 30.2295"	3° 00' 35.3807"
P8	36° 43' 31.0949"	3° 00' 33.0261"

Il est à noter que la dénivellation entre les points (P1, P2, P3, P4) et (P5 P6 P7 P8) est de 25 mètres.

III.1.1.2. Conditionnement

Après le prélèvement, les échantillons de sol sont séchés à l'air libre au laboratoire, ensuite à l'étuve (**Figure B.1**) pendant 24 heures à une température avoisinant les 110°C. Après séchage, les échantillons sont broyés à l'aide d'un concasseur à mâchoires PULVERISETTE 1 (**Figure B.2**) pour une bonne homogénéisation.

Après chaque broyage, le concasseur doit être aspiré et nettoyé pour éviter toute éventuelle contamination d'un échantillon à un autre. Enfin, chaque échantillon est tamisé par un tamis d'un diamètre inférieur à 0.160 mm de diamètre à l'aide d'une tamiseuse à vibrations analysette 3 SPARTAN (**Figure B.3**) et pesé à l'aide d'une balance de précision de 0,01g de marque KERN (**Figure B.4**), une fraction de masse donnée de chaque échantillon est mise dans un sac hermétiquement fermé de 1kg. (Voir en annexe B différentes photos relatives au conditionnement du sol) (**Figure B.5**)

Tableau III. 2. Masses tamisées à analyser

Echantillons	Masse tamisée (gr)	Masse tamisée à analyser (gr)
P1	567	200
P2	549	200
P3	406	200
P4	370	200
P5	493	200
P6	430	200
P7	470	200
P8	423	200

L'échantillon passe directement au comptage par spectrométrie gamma dans un détecteur au GeHP (détecteur 2), (**Figure B.6**). Le temps d'acquisition est de 48 h suffisant pour avoir des résultats fiables.

Remarque :

Afin de déterminer la profondeur du sol sur laquelle notre étude va se baser pour déterminer le niveau de référence en ^{137}Cs , deux échantillons ont été pris : **(voir annexe A Spectres d'analyses des sols)**

- Le premier à une profondeur de 05 cm, du sol qui a donné une valeur de 0.33 ± 0.07 Bq/kg (184Cps à 19%), avec une granulométrie de 1mm environ.
- Le deuxième à une profondeur de 10 cm, du sol qui a donné une valeur de 0.39 ± 0.11 Bq/kg (197 Cps à 17%), avec une granulométrie de 1mm environ.

Etant donné que les valeurs des activités spécifiques pour le ^{137}Cs sont pratiquement les mêmes, avec une granulométrie de 1mm environ, il ressort qu'il n'y a aucun apport récent justifiant la contamination de la couche superficielle pouvant aller jusqu'à 10 cm de profondeur. La concentration dépend aussi bien de la nature du sol que de sa granulométrie. Pour cette dernière on est passé d'une granulométrie de 1 mm à 0.160 mm car le Cs-137 a tendance à se fixer sur les fines particules.

III .1.2. Eaux

Dans le cas d'eaux deux échantillons ont été prélevés, il s'agit d'une eau de robinet (eau de ville), et d'une eau de source. Les eaux souterraines du centre de recherche Nucléaire de Draria déversent vers oued el Ghoula via cette source. Etant donné que la radioactivité existe à l'état de traces, donc il est difficile de la mesurer sans procéder à une concentration des radioéléments à partir de grands volumes d'eau. Pour concentrer l'échantillon il est possible :

- D'entraîner spécifiquement certains radionucléides à l'aide d'adsorbant «Co-précipitation ».
- D'évaporer l'eau

Dans notre étude, on a utilisé la première technique pour traiter notre échantillon à l'aide d'un adsorbant qui est l'ammonium molybdo-phosphate (AMP). Elle est utilisée pour mesurer la radioactivité artificielle (^{137}Cs) dans l'échantillon ; au cas où elle existe.

❖ L'AMP

C'est un adsorbant de couleur jaune, son nom scientifique est l'Ammonium Molybdo-Phosphate et sa formule chimique est $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (**Figure B.7**). Ce réactif joue le rôle d'un fixateur, il retient les ions de Césium et forme un complexe qui va se précipiter avec les ions de Césium.

❖ **Traceur radioactif**

Le traceur utilisé dans la méthode de séparation radiochimique (Co-précipitation) est le ^{134}Cs qui est un isotope radioactif du radionucléide recherché (^{137}Cs) non présent dans les échantillons d'environnement, il est purement artificiel. Cet élément artificiel est d'une activité de 103Bq/g à la date du 22/11/1995 à 12h00, d'une masse volumique 0,999 g/cm³. Ce radioélément est utilisé pour la mesure du rendement de séparation, il doit remplir les critères suivants :

- Absence totale dans les échantillons d'intérêt de l'environnement (eau de source ou de robinet) à cause de sa courte durée ($T_{1/2}=2,06\text{ans}$).
- Il a les mêmes propriétés physico-chimiques que celle du radioélément d'intérêt recherché (^{137}Cs).

Les pertes de radionucléide sont inévitables en cours du traitement. Elles sont quantifiées au moyen de ce traceur ajouté au début du traitement.

Après un traitement chimique ou une séparation radiochimique, il est toujours nécessaire d'évaluer avec quel rendement chimique la séparation a été faite, il s'agit de quantifier les pertes lors de la concentration.

Le rendement chimique est donné par la relation suivante :

$$R = \frac{A_m}{A_{inj}} \quad (10)$$

Où :

- A_m : Activité de ^{134}Cs mesurée par le comptage.
- A_{inj} : Activité de ^{134}Cs corrigée injectée dans l'échantillon.

III .1.2.1. Échantillonnage

Le prélèvement des échantillons des deux eaux (eau de source et eau de robinet) ont été réalisés le 17/07/2016.

Les prélèvements des échantillons destinés à la mesure de la radioactivité ont été recueillis dans des jerricans en matière plastique de 20l et 30l.

III .1.2.2. Conditionnement

Les échantillons d'eau prélevés sont transférés au laboratoire de radiochimie. Les jerricans de chaque échantillon ont été transvasés dans deux bassines en polyéthylène de 70 litres chacune.

Dans l'attente d'être analysés, les échantillons ont été acidifiés par de l'acide chlorhydrique HCl pour ajuster le pH à une valeur pratiquement de 1.5 et agités par un agitateur mécanique de type METABO (**Figure B.8**).

III .1.2.2.1. Traitement radiochimique des échantillons

La technique de co-précipitation est la plus utilisée, car elle est pratiquement simple et ne nécessite pas des équipements coûteux. Le but de cette méthode d'analyse est de concentrer et regrouper le radioélément d'intérêt présent dans l'eau sous forme de précipité de quelques millilitres obtenus par décantation pour une analyse fine au laboratoire.

Protocole expérimental

Après avoir ajusté le pH et bien agité l'échantillon, on procède comme suit :

- Une quantité de 15g de poudre d'AMP a été pesée à l'aide d'une balance de précision de type KERN et dissoute dans un volume de 50ml d'eau distillée acidifiée d'un pH qui varie dans l'intervalle [1-2], la solution est laissée en agitation sur une plaque chauffante-agitateur de type OSI-Rotalab, pendant 30 minutes (**Figure B.9**).
- Ensuite, un volume de 1 ml de ^{134}Cs est injecté par une micropipette dans l'échantillon (**Figure B.10**).
- Après la préparation de la solution d'AMP on la transvase dans les deux bassines, et on continue l'agitation pour une durée de 3 heures environ (**Figure B.11**).
- On arrête l'agitation et on laisse décanter pendant une nuit.
- Après décantation, l'échantillon se présente sous forme de deux phases (précipité et surnageant), on élimine alors le maximum de surnageant à l'aide d'une pompe, puis le précipité sera collecté dans un flacon, ensuite on lave les parois des bassines avec l'eau distillée acidifiée.
- Le volume restant (quelques litres) nécessite un deuxième et, éventuellement, un troisième cycle décantation-séparation des phases, jusqu'à ce qu'on obtienne un précipité

de volume inférieur à 100 ml (**Figure B.12**). L'échantillon est alors passé directement au comptage par spectrométrie gamma dans le détecteur 2, en fixant un temps d'acquisition suffisant (48 heures) pour avoir des résultats fiables.

III .1.3. L'air

III .1.3.1.Échantillonnage

La surveillance de la radioactivité autour de l'installation nucléaire et la capture des aérosols atmosphériques est assurée par un dispositif de prélèvement d'air sur filtre fixe, installé à la terrasse de la direction générale du Centre de Recherche Nucléaire de Draria (CRND) de marque HVO-3500 AFC d'un débit moyen de 40 m³/h (**Figure B.13**).

L'appareillage est constitué d'un système d'aspiration, d'un compteur volumétrique et d'un manchon porte-filtre protégé des précipitations par un capot en aluminium.

La forme de capot permet de réduire l'incidence des turbulences atmosphériques, de prélever en modifiant le moins possible la distribution granulométrique de l'aérosol. Il permet également de conduire les particules aspirées jusqu'au filtre avec un minimum de perte et d'empêcher au maximum la pénétration de l'eau de pluie, des insectes et des débris végétaux.

Les prélèvements ont été effectués par des filtres en papier de haute pureté et de dimensions 20 x 25 cm (**Figure B.14**), ils retiennent les poussières et les aérosols en suspension dans l'air. Ils sont adaptés à la mesure des radioéléments d'intérêt.

Au total, quatre filtres ont été prélevés. Pour chaque filtre le volume varie entre 6031 et 6495 m³, et la durée de prélèvement est pratiquement de 07 jours (**Tableau A.1**).

Les principales étapes du prélèvement sont :

- La mise en place et le retrait du filtre qui peut s'avérer délicate étant donné la fragilité de la matrice.
- La mise en marche et l'arrêt du préleveur.
- Les formalités de transmission (fiche d'identification du prélèvement, renseignements météorologiques, état du filtre lors du retrait, remarques éventuelles).

III .1.4.2. Conditionnement

Après le retrait du porte-filtre, il est plié de telle sorte que ce dernier épouse la surface du détecteur, est soigneusement placé dans un sachet en plastique sur lequel sont portés les renseignements nécessaires (Numéro de filtre, date de début du prélèvement, date de fin du prélèvement) dans le but d'avoir la meilleure efficacité de comptage. L'échantillon est alors passé directement au comptage par spectrométrie gamma dans un détecteur au GeHp (détecteur 4), en fixant un temps d'acquisition suffisant de 48 h pour avoir des résultats fiables.

III.2.Méthode d'analyse

III.2.1.Introduction

La spectrométrie gamma est une technique d'analyse nucléaire sensible, non destructive et précise qui permet d'identifier et de quantifier les radioéléments naturels et/ou artificiels émetteurs de rayonnements gamma présents dans l'échantillon à analyser et de contrôler la contamination radioactive dans divers produits. Elle offre un outil d'analyse performant qui permet en une seule mesure et avec une préparation simple de l'échantillon d'identifier les éléments radioactifs présents. Elle est basée sur l'utilisation des détecteurs à semi-conducteur au germanium hyper pur Ge(Hp).

III.2.2.Principe de la spectrométrie gamma

Le principe de la détection est basé sur l'interaction entre les photons γ et la matière du détecteur (géranium hyper pur) générant la production d'un signal électrique sous forme d'impulsion. Pour fonctionner le détecteur doit être polarisé par une alimentation haute tension, l'impulsion du courant crée est transformée en impulsion de tension par le préamplificateur et amplifiée par l'amplificateur. Elle est ensuite convertie numériquement par le convertisseur analogique numérique puis rangée dans la mémoire de l'analyseur multicanaux. L'ensemble des éléments qui composent une chaîne de détection et qui contribuent à la proportionnalité entre l'énergie cédée et l'impulsion finale doivent être remarquablement stables et linéaire.

La spectrométrie gamma permet de réaliser une analyse quantitative et qualitative des éléments radioactifs présents dans l'échantillon selon le but recherché.

- L'analyse qualitative repose principalement sur l'indentification des radioéléments présents dans l'échantillon, ceci est possible grâce à la mesure de l'énergie du rayonnement gamma émis par le radioélément. [24].
- L'analyse quantitative permet en plus de l'identification des radioéléments, la détermination de l'activité spécifique, qui est basée sur l'intensité de l'émission du rayonnement gamma de chaque radioélément. [24].

III.2.3. Les constituants de la chaîne de détection

Deux chaînes de spectrométrie gamma (**Figure B.15**) ont été utilisées pour l'analyse des radioéléments dans les échantillons de sol, l'air, et l'eau.

Chaque chaine de spectrométrie gamma est constituée de :

- Détecteur Ge-HP.
- Alimentation haute tension.
- Alimentation basse tension.
- Préamplificateur.
- Amplificateur.
- Convertisseur analogique-numérique.
- Analyseur multi canal (MCA).
- Logiciel Génie 2000 piloté sur un ordinateur.

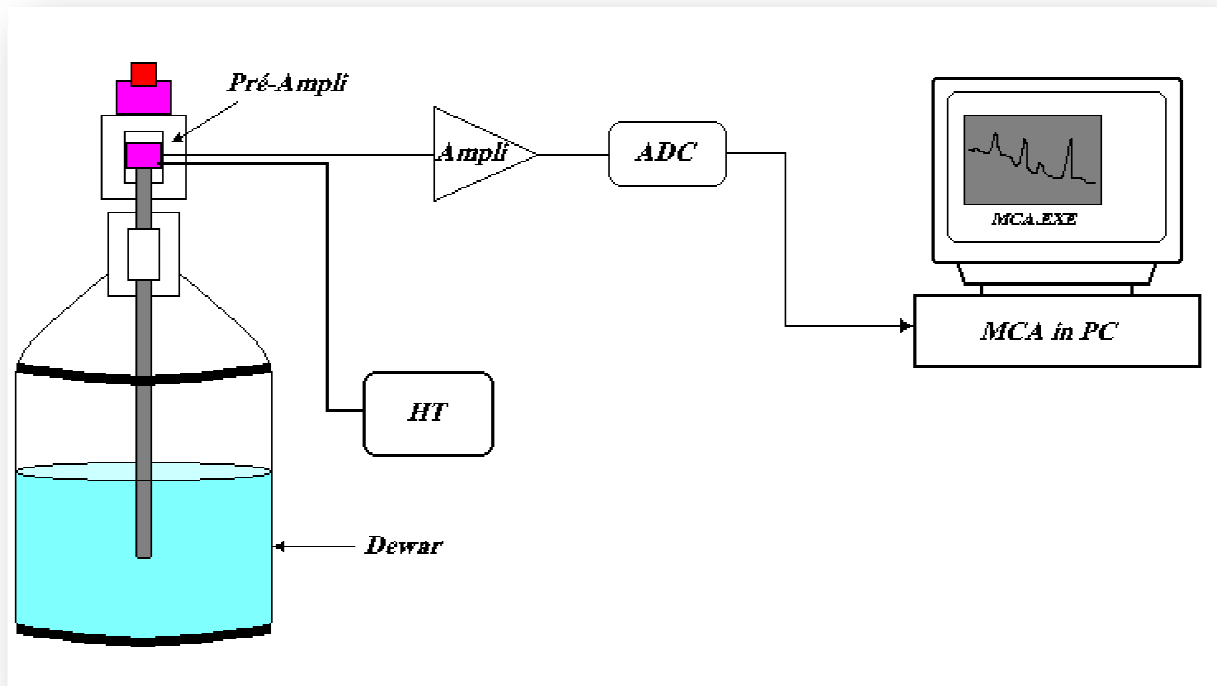


Figure III.2 : Dispositif expérimental de la spectrométrie gamma [25]

III.2.3.1. Détecteur Ge-HP

Les mesures ont été effectuées à l'aide de deux détecteurs à semi-conducteur de type germanium hyper pur Ge(Hp) de type P, d'une géométrie coaxiale. Caractérisés par un excellent pouvoir de résolution et permettant d'atteindre un rendement de détection acceptable.

Les caractéristiques des deux détecteurs utilisés sont résumées dans le tableau III.3

Tableau III.3 : Caractéristiques des détecteurs.

Caractéristiques de détecteur	Détecteur 2	Détecteur 3
Efficacité relative (%)	30	40
Tension de polarisation (Volt)	4000	3500

Le détecteur est entouré d'un château de blindage à bas bruit de fond, composé principalement du plomb de 10 cm d'épaisseur et une couche de cuivre de 2mm afin de réduire la contribution du spectre de rayons X du plomb.

Il est relié à un réservoir d'azote liquide à 77°K (Dewar), qui assure le refroidissement du détecteur d'une part, et par le biais d'un préamplificateur d'amplitude à une électronique de détection, d'autre part. Les spectres gamma délivrés par le détecteur, sont analysés par le logiciel GENIE 2000.

III.2.3.2. Alimentation haute tension

La haute tension (dynamique de 0 à ± 5 ou 6 KeV) permet de polariser le semi-conducteur afin d'obtenir une zone désertée importante dans le cristal Ge HP.[11]

III.2.3.3. Alimentation basse tension

Elle fournit les basses tensions continues (± 6 , ± 12 , et ± 24 v) nécessaires à la polarisation des autres éléments électroniques de la chaîne. [11]

III.2.3.4. Préamplificateur

C'est le premier dispositif rencontré en sortie du détecteur, où il est placé à proximité du cristal de germanium sous le même capot. Son rôle est d'assurer le transfert du signal vers l'amplificateur. Le préamplificateur assure les fonctionnalités suivantes :

- Conversion de charge en impulsion de tension.
- Réaliser une première amplification générée par l'interaction du gamma avec le Cristal.
- Réduire le bruit électronique.
- Récupérer le maximum de signal.

III.2.3.5. Amplificateur

Le rôle de l'amplificateur est de porter les impulsions sortant du préamplificateur à plusieurs volts. Il réalise ensuite une mise en forme quasi gaussienne qui permettra au codeur

de quantifier très précisément sa hauteur, de plus il permet de filtrer une partie des parasites de haute fréquence. L'amplification est toujours réalisée le plus tôt possible afin de limiter le bruit généré par le module de mise en forme.

III.2.3.6. Le convertisseur analogique-numérique

Le convertisseur analogique-numérique (ADC) transforme l'amplitude du signal électrique fourni par l'amplificateur en valeur numérique qui est proportionnel à l'énergie déposée dans le cristal.

III.2.3.7. L'analyseur multi canal (MCA)

L'analyseur multicanaux sert à collecter et enregistrer les événements issus de l'ADC en les classant, il Permet de trier les impulsions en fonction de leur amplitude. Il est doté de mémoire permettant de stocker ces données dans des canaux correspondant à des intervalles de tension et de les transmettre en ligne vers un ordinateur. Les enregistrements obtenus sont des histogrammes qu'on appelle « spectre différentiels de hauteur d'impulsion ».

Ce logiciel Utilisé permet également de réaliser une première analyse qualitative et quantitative des spectres [25].

III.2.3.8. Logiciel Génie 2000

Une fois transmis à la mémoire centrale de l'ordinateur, les signaux sont traités par un logiciel spécialisé « Génie 2000 ». L'ordinateur est donc conçu dans le but de visualiser la distribution des impulsions, en fonction de leurs énergies ou du numéro de canal correspondant sous forme d'un histogramme : c'est le spectre (ensembles des pics) qui doit être étalonné en énergie pour pouvoir identifier les désintégrations radioactives mises en jeu. Ce système assure les fonctions suivantes :

- La gestion des acquisitions.
- La mesure des paramètres de la chaîne de spectrométrie (résolution, énergie, rendement).
- La localisation des pics d'absorption totale.
- Le calcul des énergies et de la surface de chaque pic.

III.3. Conditions expérimentales

III.3.1. Etalonnage en énergie

L'étalonnage en énergie de la chaîne est une étape primordiale pour identifier tous les éléments radioactifs présents dans un échantillon à étudier. Il consiste à faire correspondre à

chaque canal de l'analyseur multicanaux une énergie correspondante afin d'avoir une fonction entre l'énergie et le numéro du canal.

Dans le présent travail, l'étalonnage en énergie des deux détecteurs est effectué à l'aide de trois sources radioactives (^{60}Co , ^{137}Cs et ^{241}Am) dont les raies d'intérêt sont respectivement (1173,2 keV, 1332,5 keV), 661,6 keV et 59,5 keV).

La droite de calibration en énergie est tracée à l'aide de logiciel génie 2000, après un comptage de ces sources dans chaque détecteur.

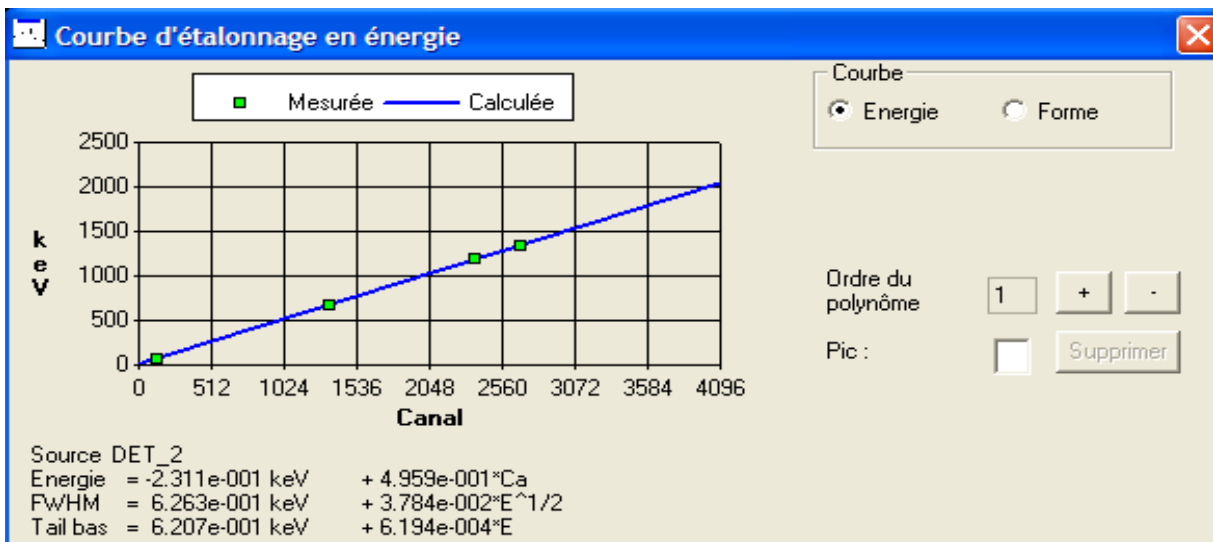


Figure III.3 : Droite de calibration en énergie.

III.3.2. Bruit de fond

Après l'opération de la calibration en énergie et avant de passer au comptage de nos échantillons, on fait un comptage pour chaque flacon ou/et filtre qui seront utilisés pour les échantillons.

Le bruit de fond est le comptage ou l'enregistrement d'un spectre dans des conditions normales d'utilisations de la chaîne de mesure en l'absence de la source dont on veut compter le rayonnement.

Toute chaîne de comptage présente un bruit de fond provenant de différentes sources, à savoir :

- les radionucléides naturels présents dans les matériaux auxiliaires du détecteur.

- les radionucléides naturels présents dans les matériaux de construction du laboratoire (murs, parterre du local, etc.).
- les rayons cosmiques.
- les signaux de l'électronique associée.

La connaissance de ce bruit de fond est utile pour améliorer la justesse des résultats de mesure de l'activité, notamment dans le cas de présence de radioactivité à l'état des traces [24]. Ce bruit de fond doit être soustrait des résultats du comptage net des radionucléides d'intérêts.

III.3.3. Etalonnage en efficacité

L'efficacité de détection (ε) est un facteur qui permet de passer des valeurs mesurées du comptage aux activités des échantillons.

Pour déterminer l'efficacité de détection d'un échantillon, on doit disposer d'une source standard ayant les mêmes caractéristiques que l'échantillon à mesurer (densité, volume), en se plaçant dans les mêmes conditions de mesure.

D'une façon générale, l'efficacité est le nombre de photons détectés sur le nombre de photons émis par la source.

L'efficacité de détection est donnée par relation suivante :

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot t \cdot I} \quad (11)$$

Avec :

N : Nombre de coup détectés dans la raie d'énergie étudiée.

A : Activité de la source standard corrigée à la date de comptage en Bq.

I : Probabilité d'émission radioactive de chaque énergie, donnée tabulée.

t : Temps de comptage en seconde.

La grande diversité des échantillons de l'environnement, pose un certain problème, du fait qu'il faut disposer de plusieurs standards de différentes composition et géométrie, ce qui nécessite plus de moyens.

L'¹⁵²Eu permet un étalonnage depuis 122 KeV jusqu'à 1400 KeV grâce aux différentes raies gamma intenses.

III.3.3.1. Préparation des standards

Dans cette étude, trois standards ont été utilisés à savoir un standard sol, standard eau, et standard d'air.

- **Standard desol**

Nous avons compté le standard sol qui a été préparé auparavant par l'équipe du laboratoire de l'environnement à partir de ^{152}Eu avec une activité de 1255,275 Bq. Cette activité a été injectée dans l'échantillon standard d'une géométrie de 200 ml.

- **Standard eau**

Le standard d'eau a été préparé auparavant par l'équipe du laboratoire de l'environnement selon le protocole suivant :

- Mettre 90 ml d'eau dans le même flacon de comptage.
- Ajuster le pH entre 1 et 2 en ajoutant quelques gouttes de HCl concentré à 37%, tout en agitant la solution.
- Injecter 5 ml de ^{152}Eu (activité 207,14Bq a été corrigée à la date 28/04/2014).
- Laisser en agitation pour 5 min.
- Ajouter 15g d'AMP.
- Continuer l'agitation pendant 10 min.
- Compter le précipité par la spectrométrie gamma.

- **Standard Filtre**

En raison de la gamme d'énergie des radioéléments d'intérêt émetteurs gamma allant de 30 à 2000 KeV, un échantillon standard a été préparé en utilisant un filtre rectangulaire propre et une source radioactive liquide d' ^{152}Eu .

L'échantillon standard a été contaminé par 5ml de ^{152}Eu , et séché à l'étuve, dont l'activité de la source radioactive corrigée à la date de 23/03/2015 est de 197, 794 Bq.

III.3.4. Analyse des spectres

Les spectres sont formés d'une succession de pics. L'analyse de spectre a été effectuée à l'aide de logiciel Génie 2000 qui permet de donner le comptage net pour chaque radio élément présent dans l'échantillon.

Le spectre a été dépouillé manuellement afin d'identifier l'élément par la recherche de pic d'intérêt. Une fois ceci fait, on obtient les informations suivantes : l'énergie, le radionucléide émetteur gamma cette même énergie, et la surface net.

Les valeurs de surfaces nettes et le temps de comptage sont ensuite utilisés afin de calculer l'activité des radioéléments d'intérêt par l'équation (12).

III.3.5. Calcul des activités et leurs incertitudes

III.3.5.1. Calcul de l'activité

Pour le calcul d'activité, on considère toujours le radioélément ayant la probabilité d'émission la plus importante, dans le but d'avoir la meilleure statistique de comptage et par conséquent un résultat fiable.

Les énergies en keV correspondant aux radioéléments utilisés dans ce travail sont :

^{212}Pb (238,6), ^{214}Pb (352), ^{214}Bi (609,3), ^{137}Cs (661,6), ^{228}Ac (911,2), ^{40}K (1460,8).

L'activité spécifique est en Bq/m³ pour les échantillons liquides ou en Bq/kg pour les échantillons Solides, elle est liée directement à la surface du pic selon l'expression suivante[26] :

$$A = \frac{N_R}{\varepsilon \cdot t \cdot I \cdot G} \quad (12)$$

Où :

$N_R = N_{\text{net}} - N_{\text{bf}}$: Surface d'un pic de l'élément considéré (N_{bf} : Surface de bruit de fond au pic du radioélément considéré).

ε : Efficacité ou rendement de détection.

I : Probabilité d'émission radioactive de chaque énergie, donnée tabulée.

t : Temps de comptage en second.

G : Facteur de géométrie (masse ou volume).

III.3.5.2. L'incertitude absolue sur l'activité

Elle est donnée par la loi de propagation de l'erreur qui est donnée par la relation suivante [26] :

$$\frac{\delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\delta NR}{NR}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta G}{G}\right)^2 + \left(\frac{\delta t}{t}\right)^2} \quad (13)$$

Où :

$\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta G}{G}\right)^2 + \left(\frac{\delta t}{t}\right)^2$ est estimé à 1%

III.3.5.3. Calcul de l'activité minimale détectable[27]

L'activité minimale détectable est l'activité la plus petite que nous pouvons quantifier. Elle se calcule comme suit :

$$AMD = 2.65 * \sqrt{NB_{BF}} / (\varepsilon * I * m * t) \quad (14)$$

ε : Efficacité ou rendement de détection.

I : Probabilité d'émission radioactive de chaque énergie,

t : Temps de comptage en second.

m: masse en Kg

Chapitre IV

Résultats et discussions

Les résultats obtenus de l'analyse des échantillons d'environnement (sol, eau, air) par l'utilisation de la spectrométrie gamma, sont présentés dans ce présent chapitre.

La préparation des standards de ces échantillons nous a permis de calculer les efficacités qui ont été utilisées pour le calcul des activités des différents radioéléments d'intérêt.

IV.1. Efficacités des différents radioéléments d'intérêt

Les efficacités ont pour rôle de déterminer les activités spécifiques des radioéléments d'intérêt émetteurs gamma par unité de masse (Bq/kg) ou par unité de volume (Bq/l) de nos échantillons.

Tableau IV.1 : Résultats de dépouillement du spectre de standard filtre

IV.1.1. Standard Filtre :

Le standard d'aérosol a été compté pendant 107114 s. Le logiciel de traitement du signal Génie 2000 a permis à partir des résultats obtenus après le dépouillement de spectre acquis (Tableau IV.1), de tracer une courbe d'efficacité en fonction de l'énergie (Figure IV.1).

Energie (keV)	Demi - vie (a)	Intensité (%)	Temps de comptage (s)	N (cps)	$\pm\Delta N/N$ (%)	Efficacité (%)	Activité Corrigée (Bq)
121,78	13,51	28,4	107114	155293	0,26	2,28± 0.07	198
244,70		7,54		23133	0,74	1,45±0.04	
344,28		26,52		83054	0,36	1,48±0.04	
411,126		2,246		5055	1,89	1,06±0.04	
443,96		3,1		6059	1,95	0,92±0.04	
778,92		12,94		19418	0,77	0,71±0.02	
867,39		4,23		4470	1,86	0,50± 0.02	
964,05		14,6		15465	0,85	0,50±0.02	
1085,84		10,09		10651	1,17	0,50±0.02	
1112,09		13,56		13526	0,91	0,47±0.02	
1408,02		20,8		16736	0,78	0,38±0.01	

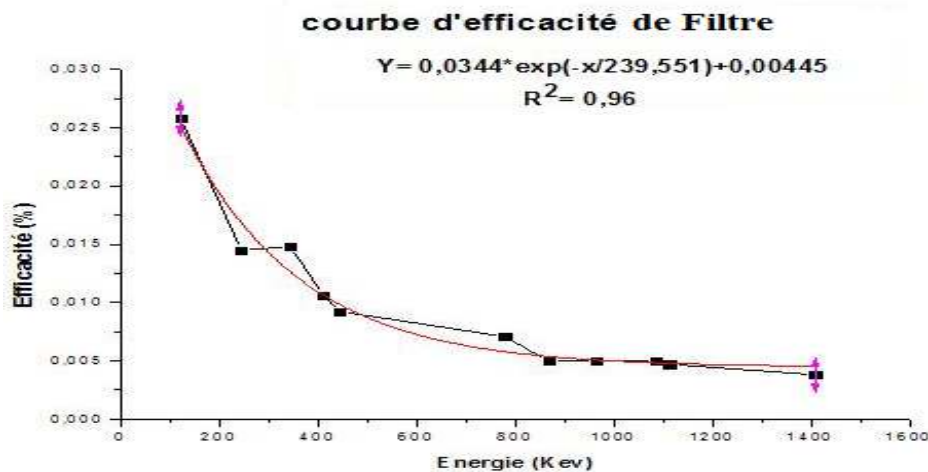


Figure IV.1 : Courbe d'efficacité d'un standard filtre

Les énergies des différents radioéléments d'intérêt ont été remplacées dans cette équation, ce qui nous a permis de calculer les efficacités de ces radioéléments et les résultats obtenus sont donnés dans le **Tableau IV.2**.

Tableau IV.2 : Efficacités des radioéléments d'intérêt étudiés dans les filtres

Radioélément	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K
Energie (keV)	238	352	609	911	1460
Intensité (%)	43,6	37,1	46,1	29	10,7
Efficacité	1,72	1,24	0,72	0,52	0,45
(%)	± 0,12	± 0,11	± 0,06	± 0,06	± 0,03

IV.1.2. Standard Sol

L'échantillon standard de sol d'une géométrie de 200 cc a été compté pendant 67850 s. Le logiciel de traitement du signal Génie 2000 a permis à partir des résultats obtenus après dépouillement du spectre acquis (**Tableau IV.3**), de tracer une courbe d'efficacité en fonction de l'énergie (**Figure IV.2**).

Tableau IV.3 : Résultats de dépouillement du spectre de standard sol

Energie (keV)	Demi-vie (a)	Intensité (%)	Temps de comptage (s)	N (cps)	$\pm \Delta N/N$ (%)	Efficacité (%)	activité Corrigée (Bq)
121,78	13,51	28,4	67850	327763	0,19	3,87 \pm 0.12	440
244,70		7,54		63226	0,48	2,81 \pm 0.08	
344,28		26,52		184168	0,24	2,33 \pm 0.07	
411,126		2,246		11988	1,36	1,79 \pm 0.06	
443,96		3,1		16220	1,08	1,75 \pm 0.06	
778,92		12,94		46285	0,52	1,20 \pm 0.04	
867,39		4,23		12623	1,25	1,00 \pm 0.03	
964,05		14,6		43947	0,53	1,01 \pm 0.03	
1085,84		10,09		26796	0,76	0,89 \pm 0.03	
1112,09		13,56		39576	0,54	0,98 \pm 0.03	
1408,02		20,8		49161	0,46	0,79 \pm 0.02	

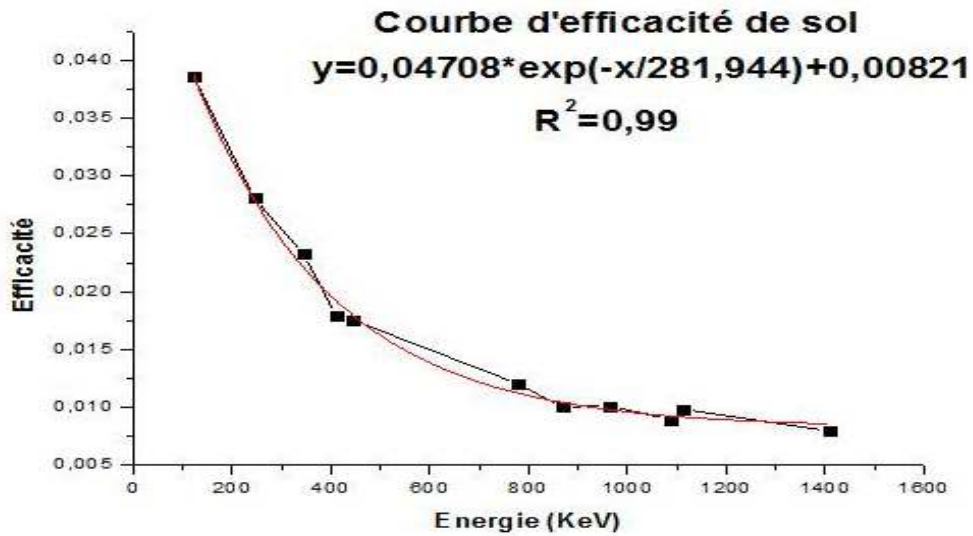


Figure IV.2 : Courbe d'efficacité d'un standard de sol

En remplaçant les énergies des différents radioéléments d'intérêt dans cette équation, nous pourrions calculer l'efficacité de ces radioéléments et les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau IV.4**.

Tableau IV.4 : Efficacités des radioéléments d'intérêt étudiés dans le sol

Radioélément	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	¹³⁷ Cs	²²⁸ Ac	⁴⁰ K
Energie (keV)	238	352	661	911	1460
Intensité (%)	43,6	37,1	85,2	29	10,7
Efficacité	2,84	2,17	1,27	1,00	0,84
(%)	±0,14	±0,18	±0,06	±0,05	±0,04

IV.1.3. Standard eau

Le standard eau de la géométrie 100 cc a été compté pendant 54000 s, et le logiciel de traitement du signal Génie 2000 a permis à partir des résultats obtenus après le dépouillement du spectre acquis (**Tableau IV.5**), de tracer une courbe d'efficacité en fonction de l'énergie (**Figure IV.3**).

Tableau IV.5 : Résultats de dépouillement du spectre de standard eau.

Energie (keV)	Demi-vie (a)	Intensité (%)	Temps de comptage (s)	N (cps)	± $\Delta N/N$ (%)	Efficacité (%)	activité Corrigée (Bq)
121,78		28,4		220573	0,26	6,94 ± 0.21	
244,70		7,54		42637	0,74	5,08 ± 0.16	
344,28		26,52		126783	0,36	4,26 ± 0.13	

411,126	13,51	2,246	54000	7609	1,89	3,10 ± 0.10	207
443,96		3,1		10933	1,59	3,15 ± 0.10	
778,92		12,94		29747	0,77	2,05 ± 0.06	
867,39		4,23		7630	1,06	1,62 ± 0.06	
964,05		14,6		29939	0,85	1,85 ± 0.06	
1085,84		10,09		21327	0,91	1,93 ± 0.07	
1112,09		13,56		25962	4,13	1,71 ± 0.05	
1408,02		20,8		32361	2,04	1,39 ± 0.04	

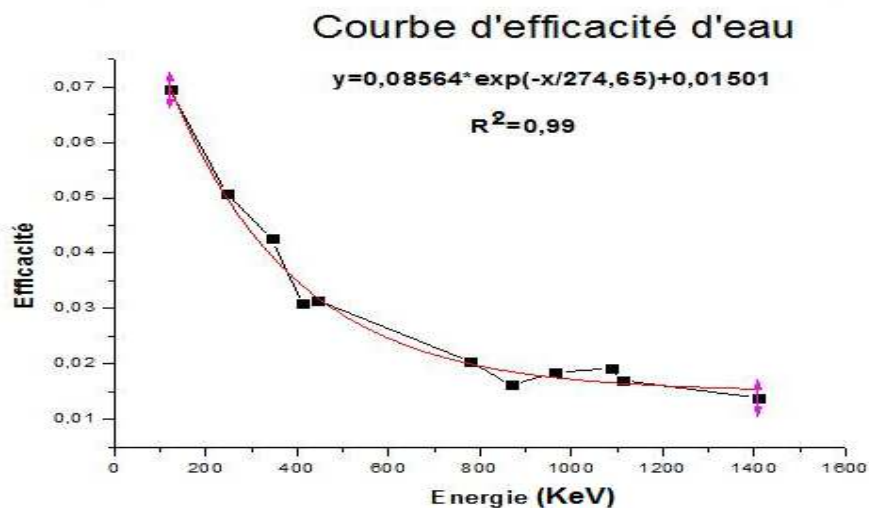


Figure IV.3 : Courbe d'efficacité d'un standard d'eau

La substitution des énergies des différents radioéléments d'intérêt dans cette équation nous a permis de calculer l'efficacité de ces radioéléments et les résultats obtenus sont projetés dans le **Tableau IV.6.1** et le **Tableau IV.6.2**

Tableau IV.6.1 : Efficacités des radioéléments d'intérêt étudiés dans l'eau de robinet du CRND

E (KeV)	N	ΔN (%)	T(S)	Eff (%)	Δeff	I(%)	A(Bq)	ΔA	ΔA/A
604	892	4,62	172800	2.5	0,048	97	0,22	0,0099	5%
795	650	5,72%	172800	2.1	0,038	85	0,21	0,0107	5%

Tableau IV.6.2 : Efficacités des radioéléments d'intérêt étudiés dans l'eau de source du CRND

E (KeV)	N	ΔN (%)	T(S)	Eff (%)	Δeff	I(%)	A(Bq)	ΔA	ΔA/A
604	944	4,50	152553	2.5	0,048	97	0,25	0,0118	5%
795	754	4,50	152553	2.1	0,034	85	0,28	0,0138	5%

IV.2. Rendement chimique

Afin de déterminer la radioactivité artificielle, l'échantillon d'eau a été traité par la technique de co-précipitation d'AMP. Après ce traitement chimique, il est toujours nécessaire d'évaluer avec quel rendement chimique la séparation a été faite. Il s'agit d'évaluer l'activité du ¹³⁷Cs dans notre échantillon.

En calculant le rendement chimique par l'équation précédente (10), les activités corrigées sont représentées dans le **Tableau IV.7**.

Tableau IV.7 : Activités spécifiques et rendement chimique des radioéléments d'intérêt pour la technique de co-précipitation.

	Volume de l'échantillon (litres)	Volume injecté de ¹³⁴ Cs (ml)	activité corrigée du ¹³⁴ Cs (Bq)	activité calculée du ¹³⁴ Cs (Bq)		Rendement Chimique (%)
				E=604 (keV)	E=795 (keV)	
Eau de robinet	55	1	0.22	0.213	0,211	96
Eau de source	55	1	0.22	0.255	0.277	81

IV.3. Activités spécifiques des radioéléments d'intérêt

Les activités spécifiques par unité de masse (Bq/kg) ou par unité de volume (Bq/m³) ou bien (Bq/l), ainsi que leurs incertitudes ont été calculées à l'aide des équations (12) et (13), respectivement.

L'ensemble des résultats obtenus pour les différents échantillons, à savoir le sol, l'eau de robinet et l'eau de source et les aérosols sont donnés ci-dessous.

IV.3.1. Aérosols

Les comptages ont été faits pour avoir une appréciation globale sur le niveau de radioactivité naturelle et artificielle dans l’air autour du CRND.

Après analyse des spectres, la radioactivité qu’on a trouvée dans les filtres d’aérosol contient une diversité de radioéléments naturels terrestres provenant essentiellement des chaînes naturelles ^{238}U , ^{235}U et ^{232}Th .

L’exploitation des données d’analyses des spectres d’acquisition (voir annexe A Spectres d’analyses des aérosols) des radioéléments présents dans nos filtres a permis de calculer les activités et leurs incertitudes, dont les résultats sont mentionnées dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Activités spécifiques des différents radioéléments d’intérêt dans les filtres

Radioélément		^{212}Pb	^{214}Pb	^{214}Bi	^{228}Ac	^{40}K
Energie (keV)		238	352	609	911	1460
Activité et Incertitude en ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	F1	5414 ± 91.1	6014 ± 107	4674 ± 157	8785 ± 122	249652 ± 426
	AMD	5.12	8.54	11.51	14.92	16.26
	F2	7828 ± 90.4	9042 ± 102	10957 ± 223	7092 ± 108	269962 ± 429
	AMD	5.14	8.41	11.33	14.66	16.01
	F3	5753 ± 87.1	9484 ± 103.2	7365 ± 127	4643 ± 95.3	259697 ± 534
	AMD	6.69	9.26	14.39	17.90	23.04
	F4	11040 ± 194.3	10318 ± 123	11674 ± 243	3966 ± 97.1	266276 ± 544
	AMD	6.79	9.40	14.91	18.17	23.39

d’aérosol.

N.B. : F : Filtre, AMD : Activité Minimale Détectable est calculée conformément à la formule 14 du chapitre III

IV.3.2. Sol

Les comptages ont été faits pour avoir une appréciation globale sur le niveau de radioactivité naturelle et artificielle dans nos échantillons de sol dans différentes directions géographiques.

Après analyse des spectres, la radioactivité qu'on a trouvé dans les huit échantillons de sol contient une diversité de radioéléments naturels, provenant essentiellement des chaînes naturelles ²³⁸U, du ²³²Th, et du potassium ⁴⁰K, en plus d'un autre radioélément artificiel ¹³⁷Cs.

L'exploitation des données d'analyses des spectres d'acquisition (voir annexe A Spectres d'analyses des sols) des radioéléments présents dans nos échantillons a permis de calculer les activités et leurs incertitudes, dont les résultats sont mentionnés dans le Tableau IV.9.

Tableau IV.9 : Activités spécifiques des différents radioéléments d'intérêt dans les huit échantillons de sol

Radioélément	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	¹³⁷ Cs	²²⁸ Ac	⁴⁰ K	
Energie (keV)	238	352	609	661	911	1460	
Intensité (%)	45	36.6	45	85	29	10.7	
Activité et incertitude (Bq/kg)	P1	20.22 ± 1.10	19.29 ±1.10	20.20 ±0.93	9.10 ±0.28	29.40 ±1.09	509 ± 14.69
	AMD	0.29	0,34	3,91	0,29	0,73	2,13
	P2	18.83 ±1.03	16.78 ±0.98	17.83 ±0.86	6.02 ± 0.26	30.41 ± 1.19	482.90 ± 14.33
	AMD	0,24	0,28	3,06	0.26	0,61	1,86
	P3	2.71 ±0.15	2.38 ± 0.14	2.55 ± 0.12	0.14 ±0.02	3.93 ± 0.15	57.28 ±1.71
	AMD	0,11	0,21	2,23	0.02	0,25	2,81
	P4	22.90 ±1.23	20.23 ± 1.15	20.88 ±0.98	0.78 ±0.15	34.20 ±1.21	483.41 ±13.93
	AMD	0,31	0,36	4,12	0.15	0,78	2,51

P5	20.28 ±1.10	18.70 ± 1.10	19.49 ±0.90	0.58 ±0.14	22.90 ±0.83	447.40 ±12.95	Acti vité Min imal e Dét ecta ble : est calc ulée conf orm éme nt à
AMD	0,29	0,35	3,95	0.14	1,05	2,17	
P6	19.94 ±1.10	14.48 ± 0.85	13.36 ±0.64	0.86 ±0.17	105.18 ±4.24	832.18 ±25.11	
AMD	0,22	0,36	4,89	0.16	0,29	5,09	
P7	23.80 ±1.29	18.50 ± 1.06	19.62 ±0.90	0.68 ±0.13	34.30 ±1.23	483 ±13.97	
AMD	0,29	0,35	3,93	0.13	0,74	2,00	
P8	19.30 ±1.05	16.77 ± 0.96	17.16 ±0.80	0.58 ±0.13	28.46 ±1.06	446.98 ±12.98	
AMD	0,28	0,33	3,79	0.14	0,73	2,15	

la formule 14 du chapitre III

IV.3.3. Eau de source et de robinet

Après avoir procédé à la séparation radiochimique pour la fixation du ^{137}Cs , éventuellement présent dans l'eau de source ou de robinet, un dépouillement de spectres de comptage (**voir annexe A Spectres d'analyses des eaux**) a été effectué pour, d'une part identifier la présence de radioélément d'intérêt dans l'échantillon, et d'autre part évaluer son activité spécifique par unité de volume. En conclusion, aucune présence de ^{137}Cs dans nos échantillons d'eau.

IV.4. Interprétation

IV.4.1. Rendement chimique

Le résultat final des rendements chimiques remarqué peut être expliqué soit par :

81% pour l'eau de source

- Présence des matières en suspension (particules fines) dans les précipités.
- Perte des traces de la quantité du traceur (^{134}Cs) injecté, lors de l'évacuation du surnageant et aussi à la fixation des ions de ^{134}Cs sur les parois des bassines.

96 % pour l'eau de robinet

- Présence de très faibles matières en suspension (particules fines) dans les précipités, cela veut dire que l'eau de robinet ou bien de ville est bien traitée, contrairement à l'eau de source.
- Légère perte des traces de la quantité du traceur (^{134}Cs) injecté, lors de l'évacuation du surnageant et aussi il n'y a pas eu une fixation des ions de ^{134}Cs sur les parois des bassines.

IV.4.2. eau source et eau de robinet :

L'analyse des échantillons d'eau par spectrométrie gamma n'a révélé aucune présence de ^{137}Cs .

IV.4.3. Sol

Les activités spécifiques des radioéléments d'intérêt pour les échantillons de sol sont représentées dans les histogrammes ci-dessous par leur famille de désintégration, tout en se référant au chapitre I, figure I.5.

En premier lieu on a voulu donner un aperçu sur le niveau de radioactivité qui règne au niveau du sol du CRND.

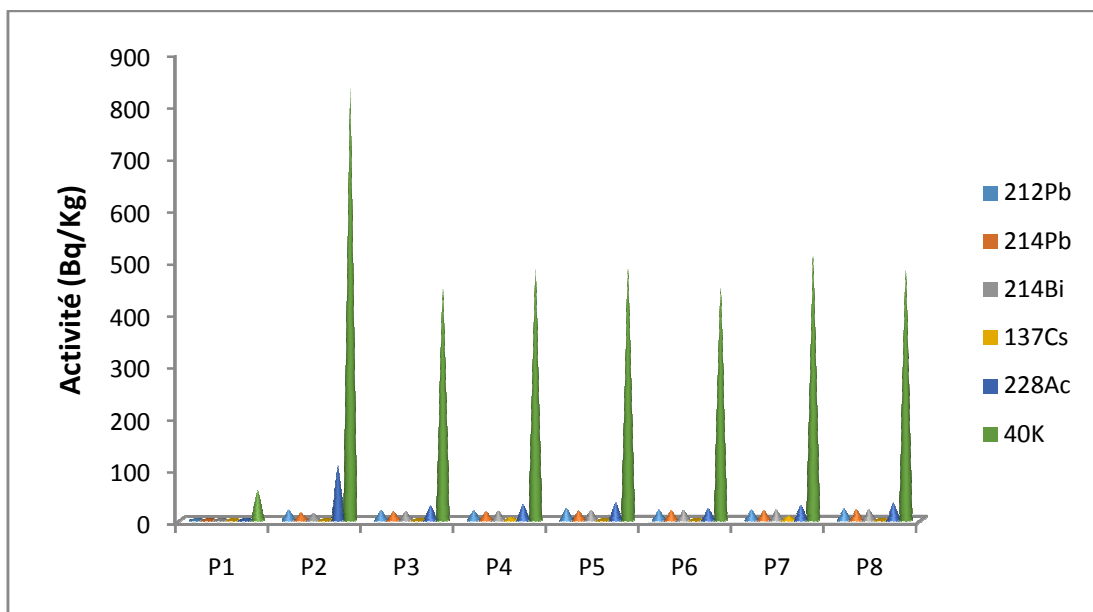


Figure IV.4 : Variations des activités spécifiques des radionucléides des échantillons de sols dans le CRND

D'après la figure IV.5. le ^{40}K est prédominant par rapport aux autres éléments étudiés. En second lieu on voit l'apparition du ^{214}Bi qui présente des activités spécifiques de l'ordre de moitié du ^{40}K .

Radionucléides de la famille d'uranium ^{238}U

D'après les résultats de la figure. IV.5, on constate que les activités spécifiques des radioéléments de la famille d' ^{238}U diffèrent d'un échantillon à l'autre pour les huit échantillons.

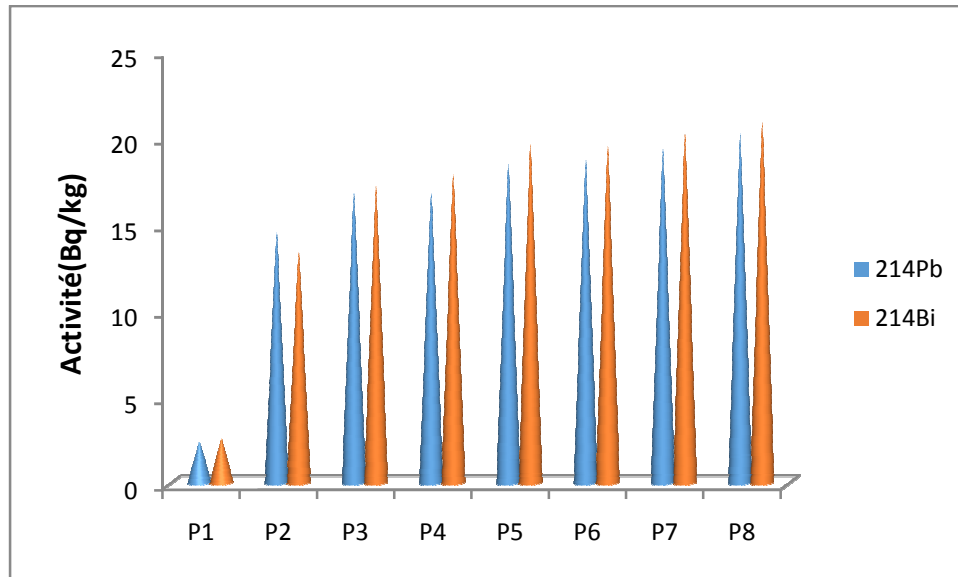


Figure IV.5 Variations des Activités spécifiques des radionucléides de la famille de ^{238}U dans les échantillons de sols.

Les activités spécifiques du ^{214}Pb varient entre une valeur minimale de l'ordre de $(2.38 \pm 0.14 \text{ Bq/kg})$, et une valeur maximale de l'ordre de $(20.23 \pm 1.15 \text{ Bq/kg})$, avec des valeurs moyennes de l'ordre de $(14.48 \pm 0.85 \text{ Bq/kg})$ et $(19.29 \pm 1.10 \text{ Bq/kg})$ enregistrées au niveau des autres points.

De plus, les activités spécifiques du ^{214}Bi varient entre une valeur minimale de l'ordre de $(2.55 \pm 0.12 \text{ Bq/kg})$, et une valeur maximale de l'ordre de $(20.88 \pm 0.98 \text{ Bq/kg})$ et avec des valeurs moyennes de l'ordre de $(13.36 \pm 0.64 \text{ Bq/kg})$ et $(20.20 \pm 0.93 \text{ Bq/kg})$ enregistrées au niveau des autres points.

Ces deux éléments présentent des activités spécifiques du même ordre de grandeur habituellement. Ils ont la même origine, c'est-à-dire qu'ils proviennent de l'émanation du gaz ^{222}Rn .

Radionucléides de la famille de Thorium ^{232}Th

D'après les résultats représentés dans la (Figure IV.6), les activités spécifiques des radioéléments des descendants du ^{232}Th (^{212}Pb et ^{228}Ac) sont semblables pour les huit échantillons de sol. Ces radioéléments sont issus de la désintégration radioactive de gaz radioactif ^{220}Rn dans l'atmosphère.

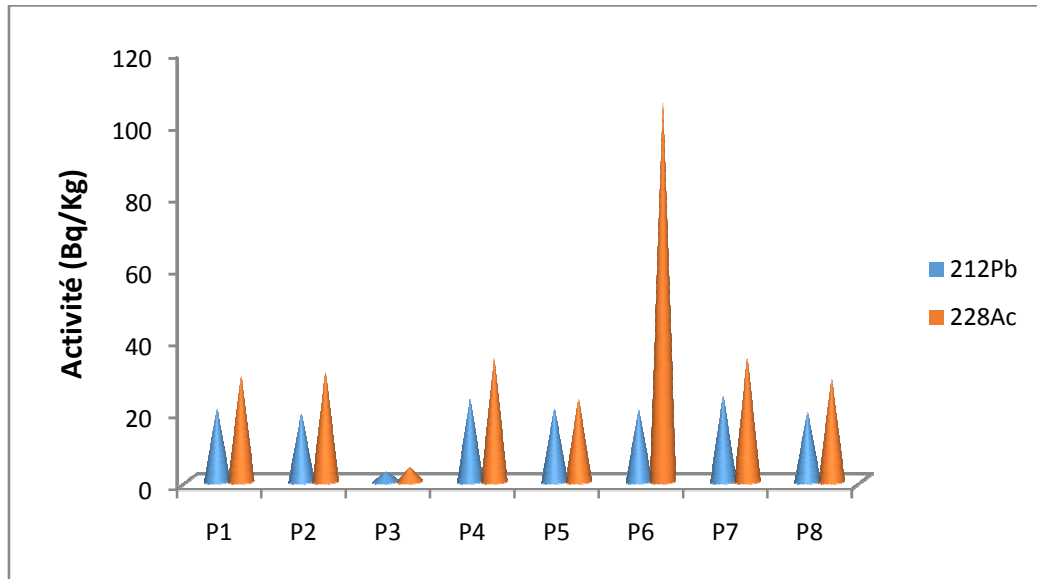


Figure IV.6. Variations des activités spécifiques des radionucléides de la famille de ^{232}Th dans les échantillons de sols.

Les activités spécifiques de ^{212}Pb et d' ^{228}Ac , varient entre des valeurs minimales de l'ordre de (2.71 ± 0.15 Bq/kg) et (3.93 ± 0.15 Bq/kg) respectivement enregistrées au point 3, et des valeurs maximales de l'ordre de (23.80 ± 1.29 Bq/kg) et (105.18 ± 4.24 Bq/kg) enregistrées au point P6 et au point P7 respectivement.

Les valeurs moyennes allant de (18.83 ± 1.03 Bq/kg à 22.90 ± 1.23 Bq/kg) pour le ^{212}Pb et allant de (22.90 ± 0.83 Bq/kg) à (34.3 ± 1.23 Bq/kg) pour l' ^{228}Ac enregistrées au niveau des autres points.

Les activités spécifiques de ^{212}Pb et d' ^{228}Ac sont pratiquement les mêmes, à part le point P6 qui présente une activité spécifique élevée par rapport aux autres points.

Activités spécifiques du ^{40}K

Les activités spécifiques observées d'après la figure IV.7 ci-dessous sont très élevées par rapport aux autres radionucléides, car son origine est purement terrigène.

L'activité spécifique du ^{40}K , croit ainsi de la surface du sol vers les horizons plus profonds, avec des valeurs de (57.28 ± 1.71 Bq/kg) et (832.18 ± 25.11 Bq/kg) respectivement enregistrée aux points P3 et P6. Les autres points, les activités spécifiques varient entre une valeur maximale allant de (446.98 ± 12.98 Bq/kg) à (509 ± 14.69 Bq/kg) pour les autres points. .

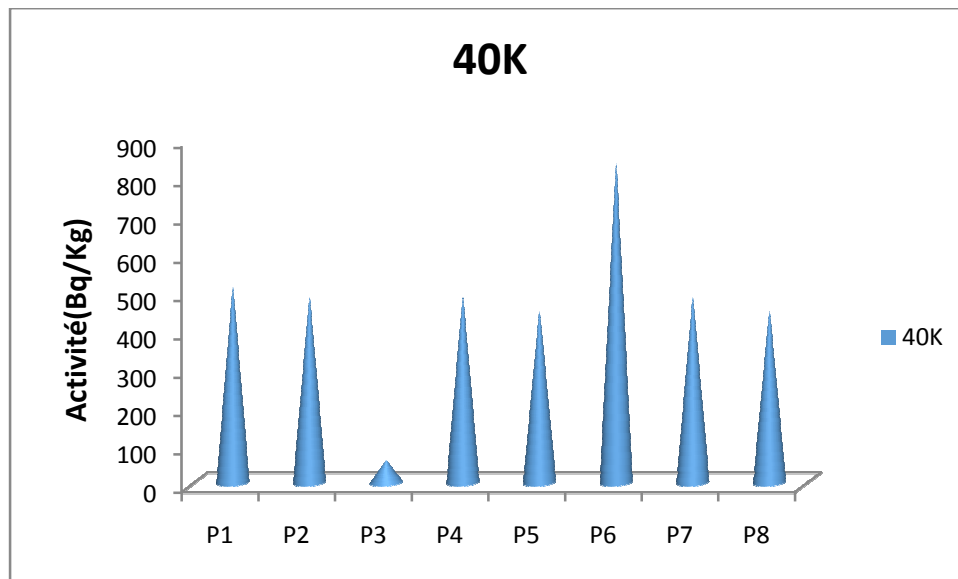


Figure IV.7 : Variations des activités spécifiques du 40K dans les échantillons de sol

Du point de vue radioactivité naturelle, les activités spécifiques du ^{40}K décroît en fonction de l'augmentation des altitudes des échantillons de sol, puisque d'après le bureau des études de sol la dénivellation entre le point P3 et le point P6 est de 25 mètres.

Activités spécifiques du ^{137}Cs

Les résultats montrent clairement la présence du ^{137}Cs dans les huit échantillons, dont les activités spécifiques décroît en fonction de la décroissance des altitudes, contrairement à la radioactivité naturelle. Ce dernier accumulé dans le sol suite aux retombés radioactives par voie sèche ou et/ou humide.

L'activité spécifique maximale du ^{137}Cs , de 9.10 ± 0.28 Bq/kg est enregistrée au point P1 et l'activité spécifique minimale de 0.14 ± 0.022 Bq/kg est enregistrée au point P3. Pour les autres sols, les activités spécifiques varient entre (0.58 ± 0.14 Bq/kg) et (6.02 ± 0.26 Bq/kg) pour les autres points.

Les activités spécifiques trouvées sont pratiquement faibles

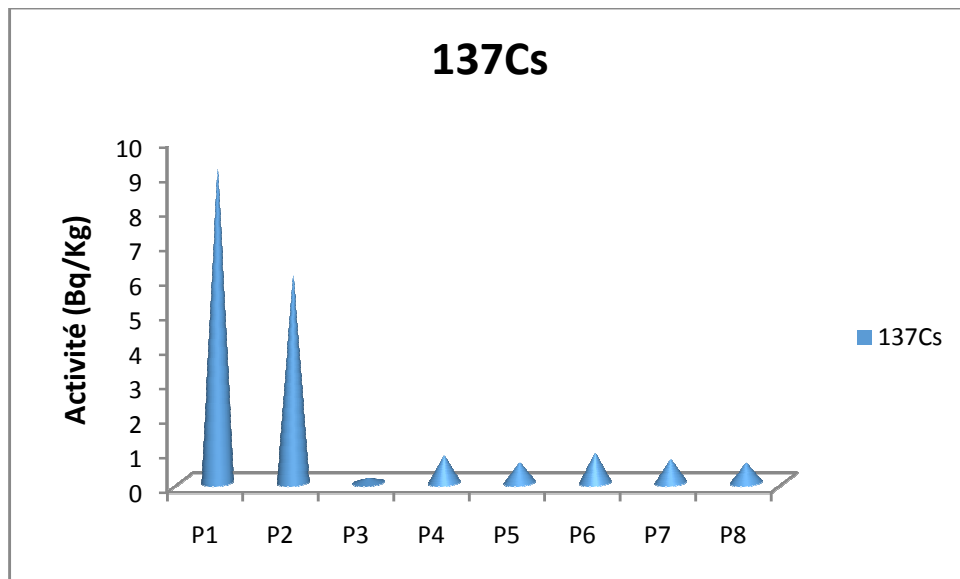


Figure IV.8 : Variations des activités spécifiques du ¹³⁷Cs dans les échantillons de sol

Normes : elles ont varié selon les pays, les époques et les produits (plus sévères pour le lait que la viande, car le lait est davantage consommé par les enfants, qui sont plus vulnérables au césium 134 ou 137).

À titre d'exemple, pour la viande :

- 600 Bq/kg est la norme européenne actuellement en vigueur à ne pas dépasser pour la venaison et la viande d'animaux d'élevage ; [28].
- 500 Bq/kg est la norme pour le Japon ; [29].
- 3 700 Bq/kg est la norme, beaucoup plus laxiste, édictée en URSS à la suite de l'accident de Tchernobyl avant d'être redescendue à 740 Bq/kg en Russie en 1990[30].
- 592 Bq/kg est la norme actuelle pour les pommes de terre et la viande en Biélorussie, décidée par le gouvernement, une fois la république devenue indépendante.

Cet exemple de normes a été illustré dans le but de montrer que la valeur de 9.10 ± 0.28 Bq/kg ne peut en aucun cas être nocive pour l'être humain soit en cas d'exposition ou en cas d'ingestion.

IV.4.4. Aérosol

Les radioéléments quantifiés dans les échantillons d'air sont tous d'origine naturelle, avec des niveaux d'activités, habituellement trouvés, et des niveaux d'activités assez élevés.

Les activités spécifiques des radioéléments d'intérêt pour les échantillons d'aérosols sont représentées dans les histogrammes ci-dessous.

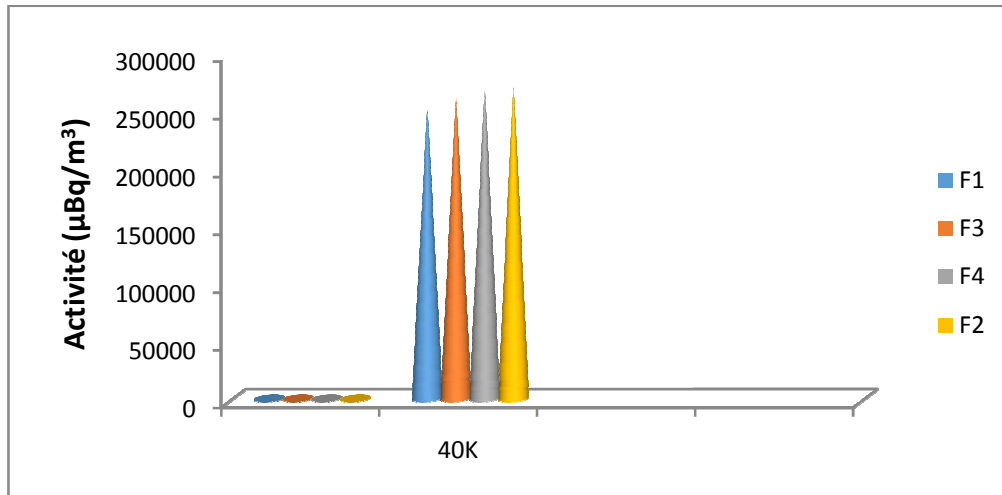


Figure IV.9 : Variations des activités spécifiques des radionucléides des échantillons des filtres au CRND

D'après la figure IV.9, le ^{40}K est prédominant par rapport aux autres éléments étudiés. Les autres activités spécifiques des autres éléments d'intérêt sont de l'ordre de 3 à 6 fois inférieures au ^{40}K .

Il y a aussi lieu de noter l'absence totale du ^{137}Cs .

Radionucléides de la famille d'uranium ^{238}U

Les activités spécifiques du ^{214}Pb varient entre une valeur minimale de l'ordre de $(6014 \pm 107 \mu\text{Bq/m}^3)$ et une valeur maximale de l'ordre de $(10318 \pm 123 \mu\text{Bq/m}^3)$, avec des valeurs intermédiaires de l'ordre de $(9042 \pm 102 \mu\text{Bq/m}^3)$ et $(9484 \pm 123 \mu\text{Bq/m}^3)$.

Les activités spécifiques du ^{214}Bi varient entre une valeur minimale de l'ordre de $(4647 \pm 157 \mu\text{Bq/m}^3)$ et une valeur maximale de l'ordre de $(11674 \pm 243 \mu\text{Bq/m}^3)$, avec des valeurs intermédiaires de l'ordre de $(7365 \pm 127 \mu\text{Bq/m}^3)$ et $(10957 \pm 223 \mu\text{Bq/m}^3)$.

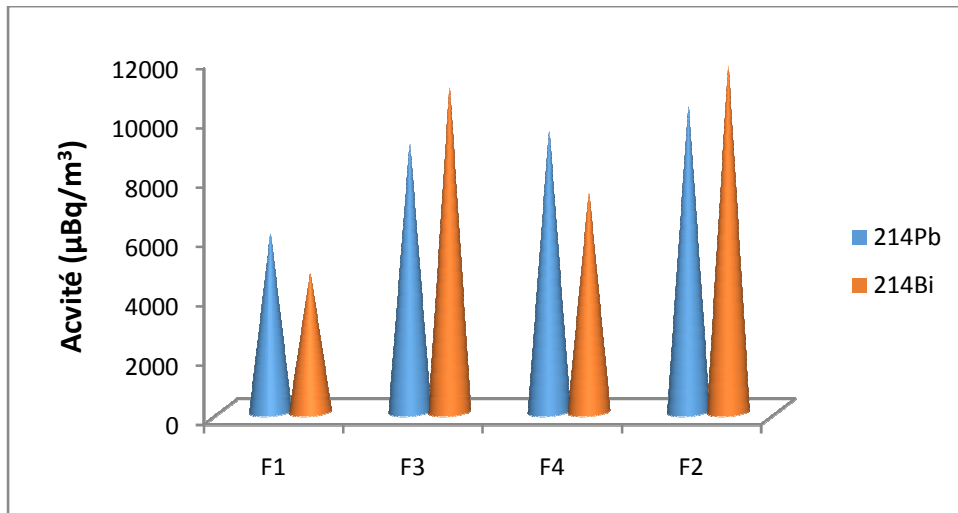


Figure IV.10 : Variations des activités spécifiques des radionucléides de ^{212}Pb et ^{214}Bi dans l'échantillon d'aérosols.

D'après les résultats de la (Figure V.10) on constate que les activités spécifiques de ^{212}Pb s'inscrivent dans les plages de variations habituellement trouvé par [16].

Cette stabilité d'activité est normale car le volume d'air aspiré par la pompe est presque le même avec une valeur moyenne de $39.5\text{m}^3/\text{h}$

Radionucléides de la famille de Thorium ^{232}Th

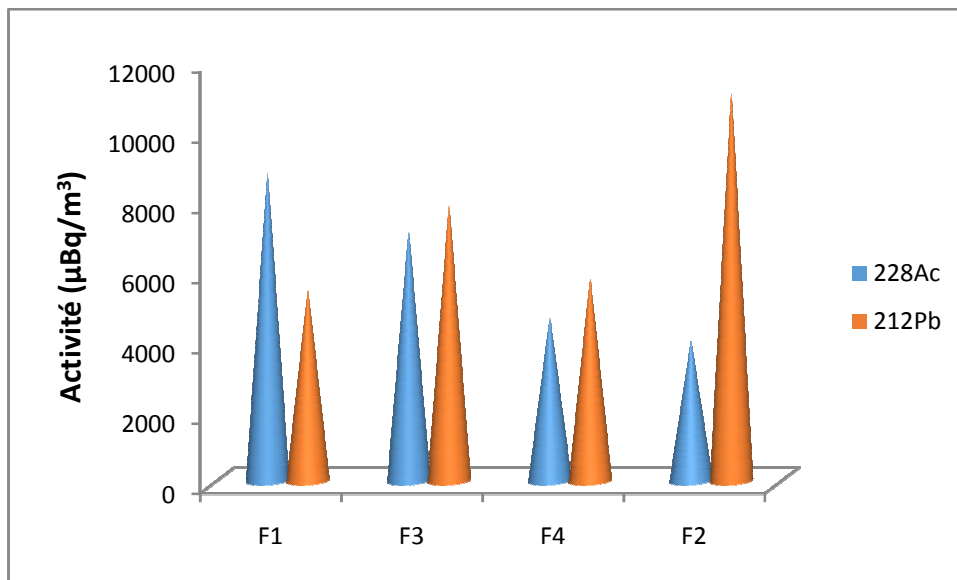


Figure IV.11 : Variations des activités spécifiques des radionucléides de la famille de ^{232}Th dans les échantillons d'aérosols.

D'après les résultats représentés dans la (Figure IV.11) les activités spécifiques des radioéléments des descendants du ^{232}Th (^{212}Pb et ^{228}Ac) sont pratiquement élevés.

Les activités spécifiques de ^{212}Pb varient entre une valeur minimale de l'ordre de ($5415 \pm 91.1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), et une valeur maximale de l'ordre de ($11041 \pm 194 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) avec des valeurs intermédiaires de l'ordre de ($5773 \pm 87.1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ et $7828 \pm 90.4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Les activités spécifiques de ^{228}Ac varient entre une valeur minimale de l'ordre de ($3966 \pm 470 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), et une valeur maximale de l'ordre de ($8785 \pm 221 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) avec des valeurs intermédiaires de l'ordre de ($4643 \pm 320 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ et $7092 \pm 181 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Ces valeurs qui restent pratiquement élevées des activités spécifiques sont dues principalement à la nature et la qualité du sol qui est dans son état naturel. On note que seulement 20% de la superficie du CRND qui est viabilisé.

Activités spécifiques du ^{40}K

Les activités spécifiques de ^{40}K varient entre une valeur minimale de l'ordre de ($249652 \pm 426 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), et une valeur maximale de l'ordre de ($269962 \pm 429 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) avec des valeurs intermédiaires de l'ordre de ($259697 \pm 534 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ et $266276 \pm 544 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

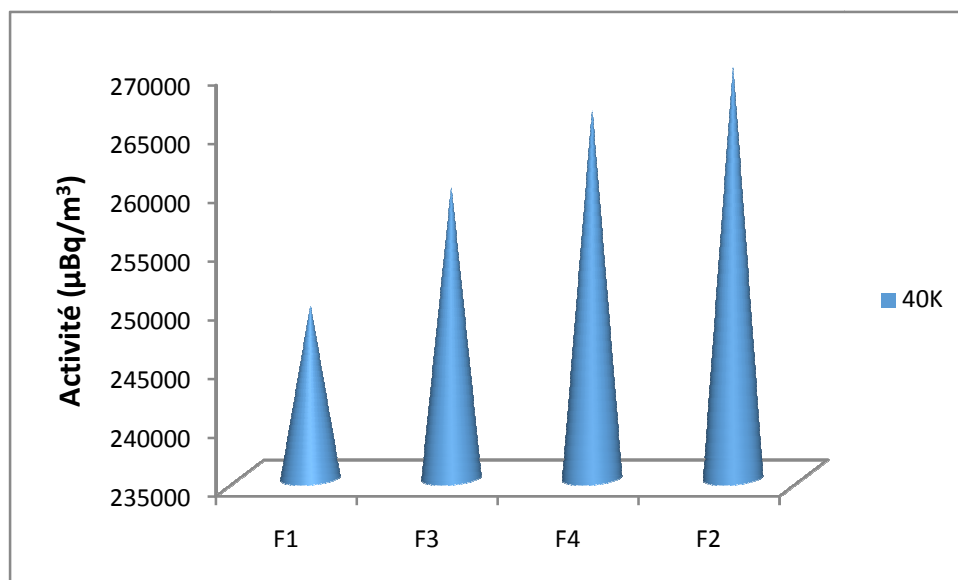


Figure IV.12 : Variations des activités spécifiques du ^{40}K dans les échantillons d'aérosols.

Les activités spécifiques observées d'après la **Figure IV.12** sont élevées, car son origine est purement terrigène et qui est lié directement à la nature et la qualité du sol du CRND.

Introduction

Depuis l'avènement du nucléaire, plusieurs sources de radioactivité ont été responsables de la contamination de l'environnement. L'origine de cette radioactivité provient de diverses sources, principalement, les retombées globales des tests et explosions nucléaires et les accidents nucléaires, particulièrement celui de Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011), ainsi que les installations nucléaires.

Quelque soit l'origine de cette radioactivité artificielle ou même naturelle, son impact sur l'homme et son environnement est le même. Ceci a poussé l'homme à étudier son comportement dans les divers compartiments de l'environnement, son cheminement, ainsi que l'identification de ses différentes voies de transfert, dans le but de se protéger.

Dans le cadre de l'adoption des technologies de pointe et la diversification énergétique, l'Algérie s'est doté d'installations nucléaires de base (INB) à des fins de recherches pacifiques, spécialement dans le domaine de la santé.

Comme toutes autres installations nucléaires de base, ces dernières sont susceptibles de rejeter des matières radioactives dans l'environnement. En situation normale, ces rejets doivent être inférieurs aux limites fixées par les autorités compétentes. Cependant, en cas de situations accidentelles et de rejets extrêmes, ces derniers peuvent être importants et constituer ainsi un risque radiologique pour la population avoisinante et son environnement.

La surveillance radiologique autour de ces installations nucléaires de base ne peut se faire qu'après l'établissement d'un état initial de la radioactivité, représentant le niveau de la radioactivité naturelle et surtout artificielle dans les différents compartiments de l'environnement au cours du temps. Cet état, appelé aussi niveau de référence de la radioactivité, permet d'évaluer l'éventuel degré de contamination et de connaître son cumul résultant des différentes sources. Il permet également de déceler dans l'avenir toute éventuelle contamination et d'en déduire le nouvel apport.

La réalisation de ce travail, basée sur les objectifs préalablement définis, a nécessité le choix de la matrice, du lieu de prélèvement, ainsi que des radioéléments naturels et artificiels à quantifier, pour arriver à la mesure par comptage direct par spectrométrie gamma, de la radioactivité naturelle et artificielle dans certains échantillons de l'environnement.

Introduction

Concernant la matrice de prélèvement, les échantillons de sol, d'eau (eau potable de robinet et de source) et d'air ont été choisis comme étant les plus appropriés à ce type d'étude. Quant aux choix des radioéléments à quantifier, on s'est intéressé au ^{40}K et aux descendants des familles radioactives de ^{238}U et ^{232}Th pour la radioactivité naturelle et au ^{137}Cs pour la radioactivité artificielle.

Concernant les lieux de prélèvement, le choix a été fait de telle sorte à obtenir la meilleure représentativité possible. Celle-ci est basée essentiellement sur le choix d'un terrain plat et découvert, ayant une bonne perméabilité, non perturbé, non travaillé et non soumis à des érosions.

Ils sont aussi choisis en fonction des conditions météorologiques, suivant les secteurs prédominants du vent, et particulièrement des distances supposées recevoir les concentrations radioactives les plus élevées. Ces mêmes points seront inclus dans le programme de la surveillance radiologique autour des installations.

Cette étude comporte deux principaux axes. Le premier concerne la partie théorique avec des généralités sur la radioactivité, une approche sur la détermination du niveau de référence. Le deuxième axe porte essentiellement sur tous les aspects pratiques abordés tout au long de ce travail, ainsi que la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.

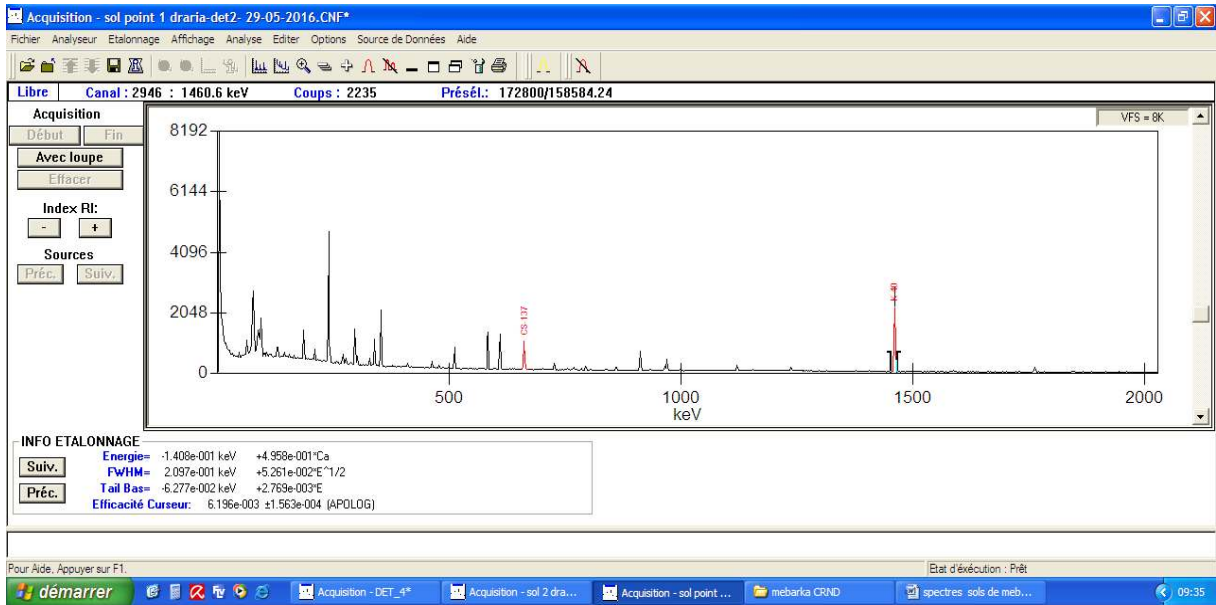
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **BEY P., GERARD J P., SCHLUMBERGER M.**, Faut-il avoir peur de la radioactivité. 196 p.2013.
- [2]. **COHEN Y.** Les grandes étapes de la découverte et de l'utilisation des radioéléments.1997.
- [3]. **DELACROIX D, GUERRE J-P, LEBLANC P.** Guide pratique Radionucléides & Radioprotection.261p.2006.
- [4].**OUICHAOUI S.** Introduction A La Physique Nucléaire, Tome 1 constitution de la matière et noyaux. Edition Office des publications universitaires. ALGER, 290 p.1992.
- [5]. **MAALEM Ms.** Rayonnements : exercices corrigés avec rappel de cours. Tome 1. 1ère Edition.1998.
- [6]. **BAGGENSTOS M., GRAF H., HUBER O., LOOSLI H et ZELLER W.** Radioactivité et radioprotection. Office fédéral de la santé publique, 3003 Berne .département fédéral de l'intérieur DFI, page 5.1990.
- [7]. **DZIRI S.** Etude expérimentales et simulations Monte Carlo en spectrométrie γ : Correction des effets de cascade et de matrice pour des mesures environnementales .Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg. 172 p.2013.
- [8]. **E-HOLM.** « Radioecology, lectures in the environmental radioactivity », World Scientific.1994.
- [9] **R.L-KATHERN,** « radioactivity in the environmental, sources distributions and surveillance, »Harwood academic publisher, 1984.
- [10]. **IRSN.** Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : une pollution radioactive à l'échelle planétaire.2006.
- [11]. **LE PETITG., G RANIER G.**Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement, Ed. Lavoisier.2002.
- [12]. **PHARABOD O., SHAPIRA JP.** Les grands accidents nucléaires de Windscale à Tchernobyl. Edition Calmann-Levy.1981.
- [13]. **PARKOLA O.** Assessing environmental radioactivity : In international syposium contamination following a major nuclear accident. Vienna.1989.
- [14]. **DANIEL J. MADIGAN, ZOFIA BAUMANN, OWYN E. SNODGRASS, HALIM A. ERGÜL, HEIDI DEWAR, ET NICHOLAS S. FISHER** « Radiocesium in Pacific Bluefin Tuna Thunnus orientalis in 2012 Validates New Tracer Technique » *Environ. Sci. Technol (American Chemical Society)* 2013-02-11 47 (5), p. 2287–2294.2013

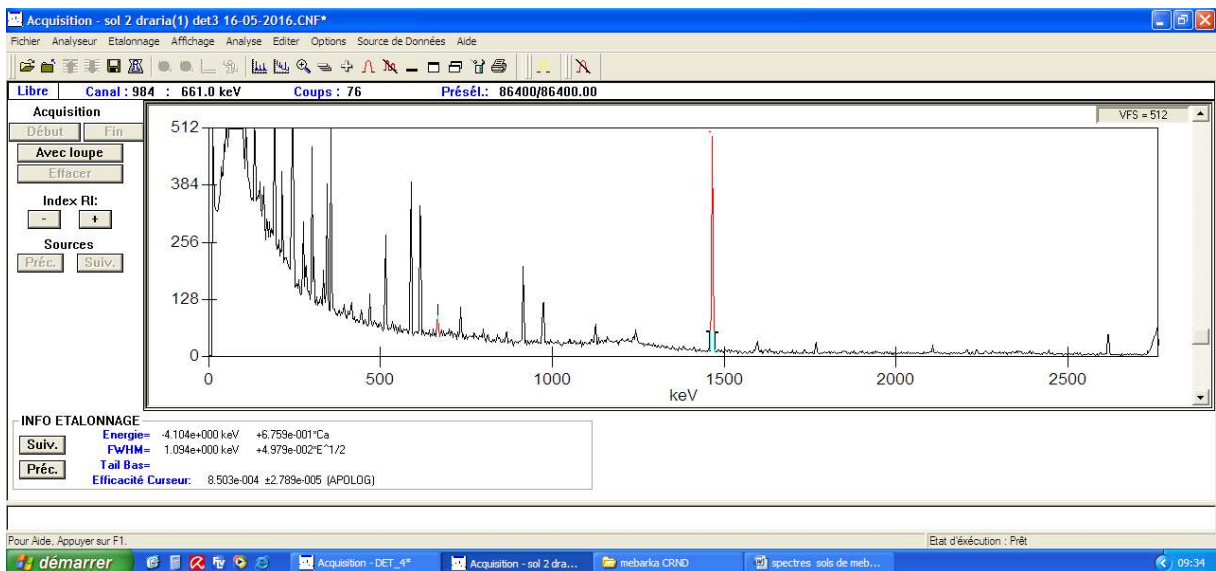
- [15]. **LAKHDAR B.** Mesure par spectrométrie gamma du niveau de radioactivité naturelle et artificielle dans le milieu sédimentaire marin. 1992.
- [16]. **NOUREDDINE A.** Etat de référence de la radioactivité sur le territoire national. Rapport d'activité CRS. Alger. 1994
- [17]. **CEA.** Rapport sur méthodologies des études de sites nucléaires, laboratoire de radioécologie. 1994
- [18]. **PROCEEDINGS OF SYMPOSIUM Warsaw :** Environmental surveillance around nuclear installations. 1973.
- [19]. **LHCC :** Etudes établies par Le Laboratoire de l'Habitat et de la Construction du Centre). 2014 – 2015
- [20]. **ONM :** Office National de la Météorologie/division études et assistance 2014.
- [21]. **A. ZITOUNI :** Eléments de rapport préliminaire de sureté, BUENOS AIRES. 1986.
- [22]. **AIEA.** Safety Series: Siting of Nuclear Facilities, Vienna. 1995.
- [23]. **A. GHEDDOU :** Développement d'un logiciel pour l'optimisation de la mesure de la radioactivité Gamma dans les échantillons de l'environnement, de divers densités et dans différentes géométrie de comptage. CRS .1996.
- [24]. **AZBOUCHE A.** Cours PGEC : Principe de détection : Technique de mesure .DTN/CRNA. 2012.
- [25]. **AZBOUCHE A.** Utilisation des techniques nucléaires (FRN) pour la quantification de l'érosion du sol : Expérience Algérienne « Supportions Innovative Agriculture Practices to Combat land dégradation. 2013.
- [26]. **AIEA.** Measurement of Radionuclides in Food and the Environment a Guidebook, International Atomic Agency, VIENNA, 1989 IAEA, STI/DOC/10/295, ISBN 92-0-125189-0, ISSN 0074-1914. 1989.
- [27]. **USDA.** Determining Lower Limit of Detection (LLD) and Minimum Detectable Activity for Radiation Measurements. Technical Bulletin. 1995.
- [28]. **IRSN.** Synthèse des informations disponibles sur la contamination radioactive de l'environnement terrestre japonais provoquée par l'accident de Fukushima Dai-ichi ; 27 septembre. 2011.
- [29]. **CRIIRAD.** Les normes de contamination des aliments en vigueur au JAPON [archive], in *Japon : chronique d'une contamination annoncée*, Communiqué. Dimanche 20 mars, consulté -10.08.2011
- [30]. **ASN.** Les normes de consommation et de commercialisation des produits alimentaires [archive], page mise à jour le 10 décembre 2009 , consultée 19-08-2011. 2009.

ANNEXE A

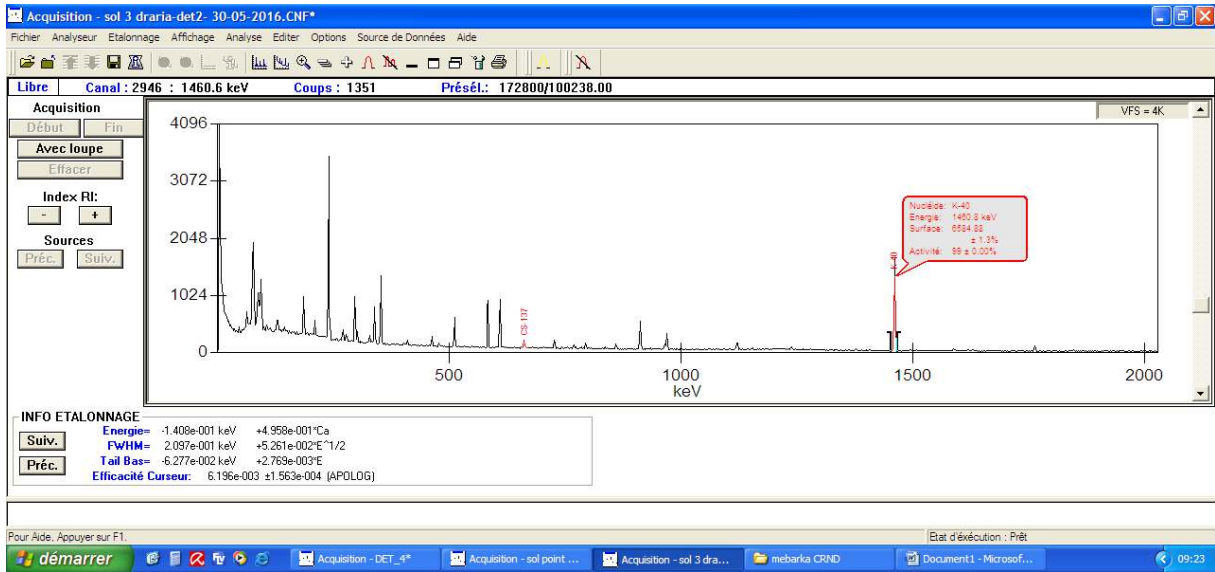
Spectres d'analyses des sols



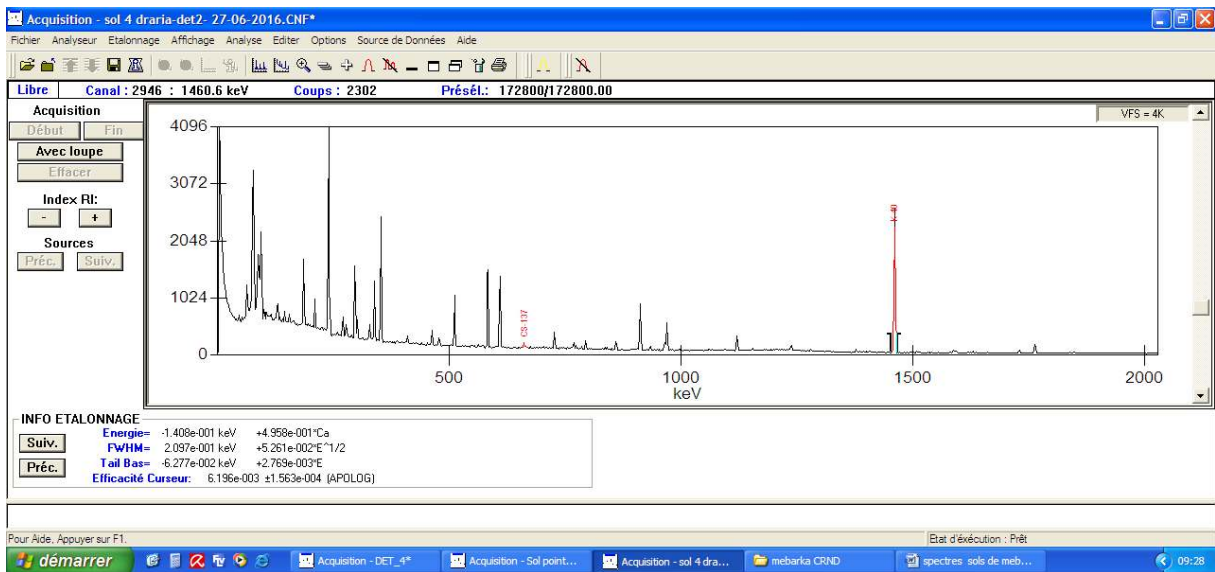
Analyse du sol Point 1 CRND- détecteur 2- 29-05-2016



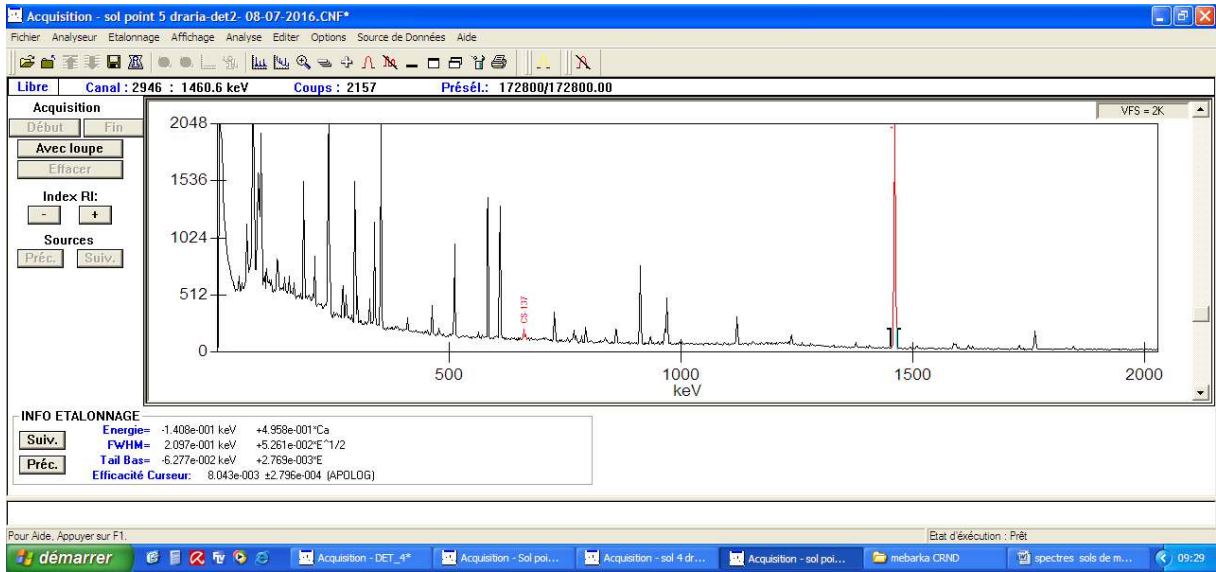
Analyse du sol Point 2CRND- détecteur 3/ 16-05-2016



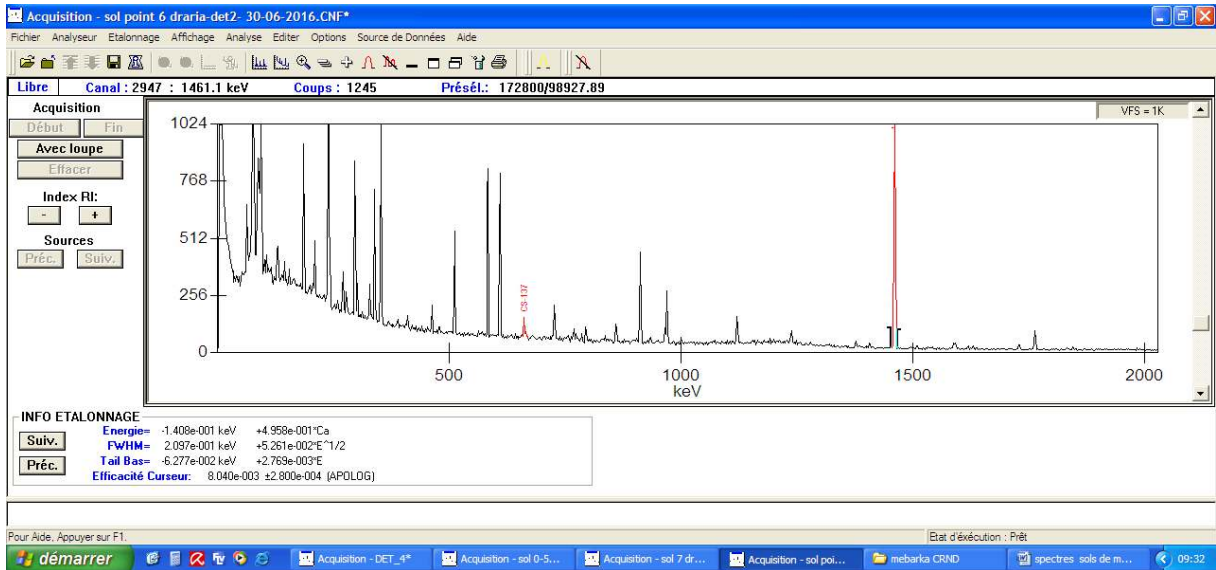
Analyse du sol Point 3CRND- détecteur 2/30-05-2016



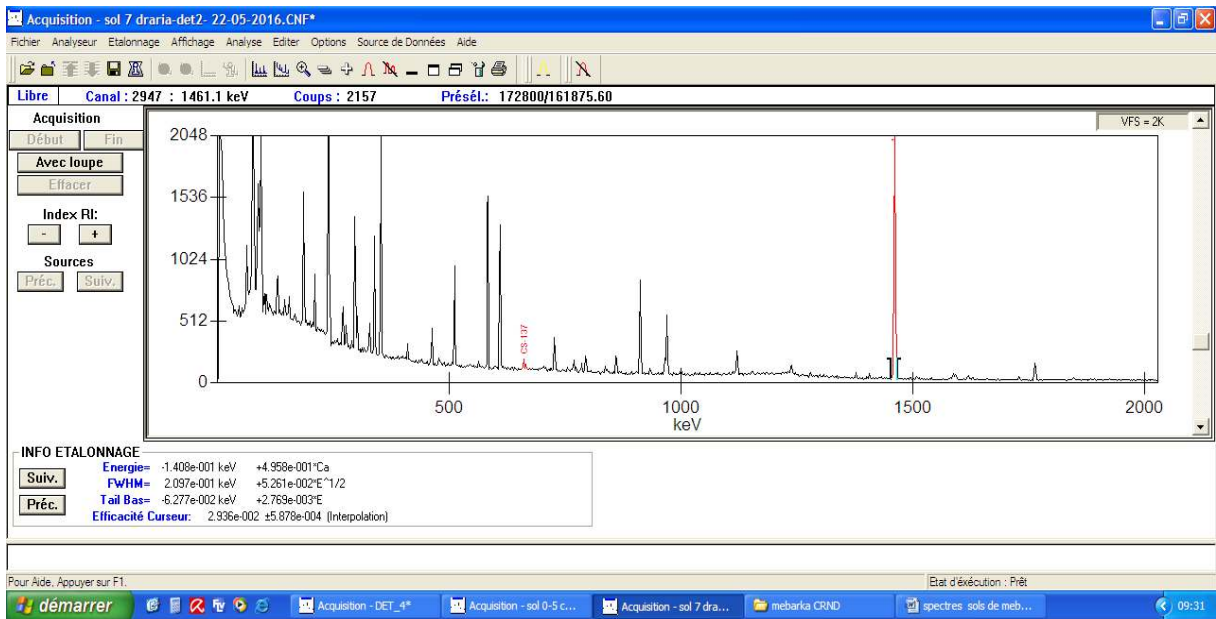
Analyse du sol Point 4CRND- détecteur 2/27-06-2016



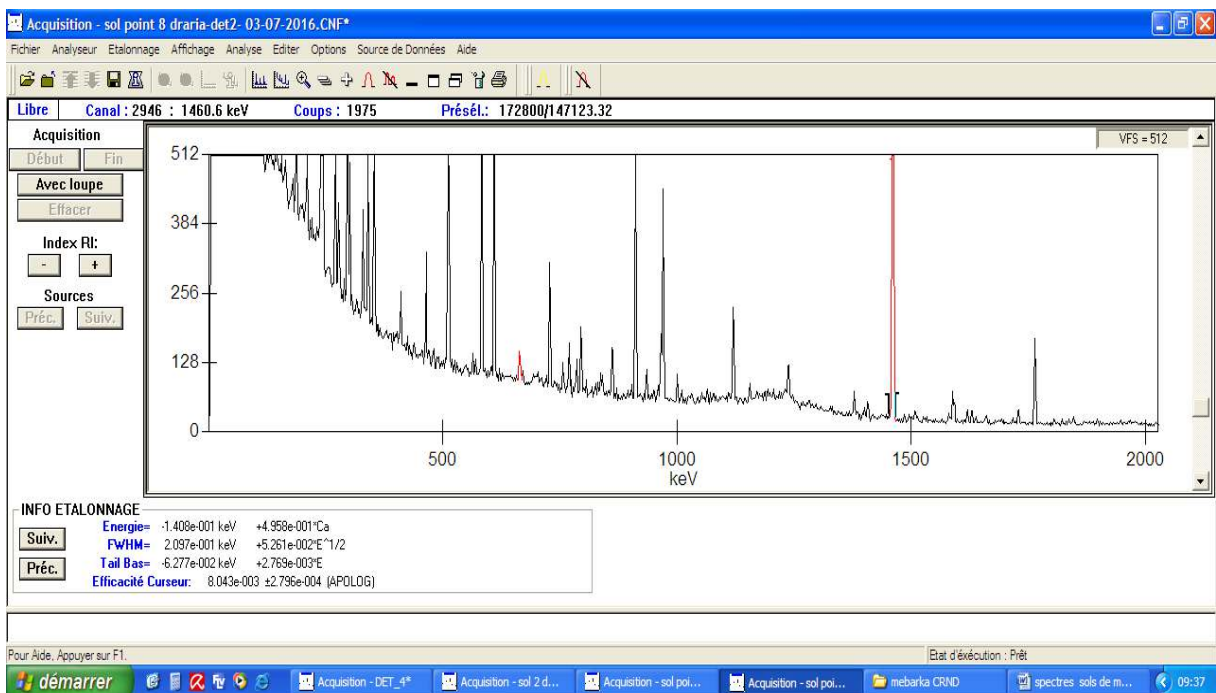
Analyse du sol Point 5CRND- détecteur 2/08-07-2016



Analyse du sol Point 6 CRND- détecteur 230-06-2016

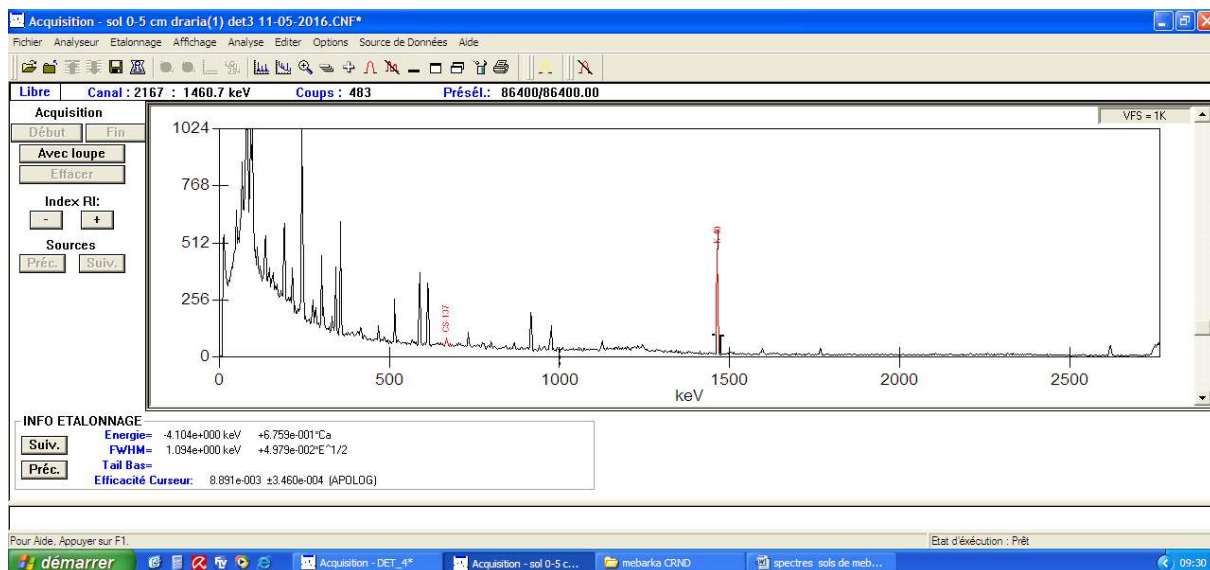


Analyse du sol Point 7CRND- détecteur 222-05-2016

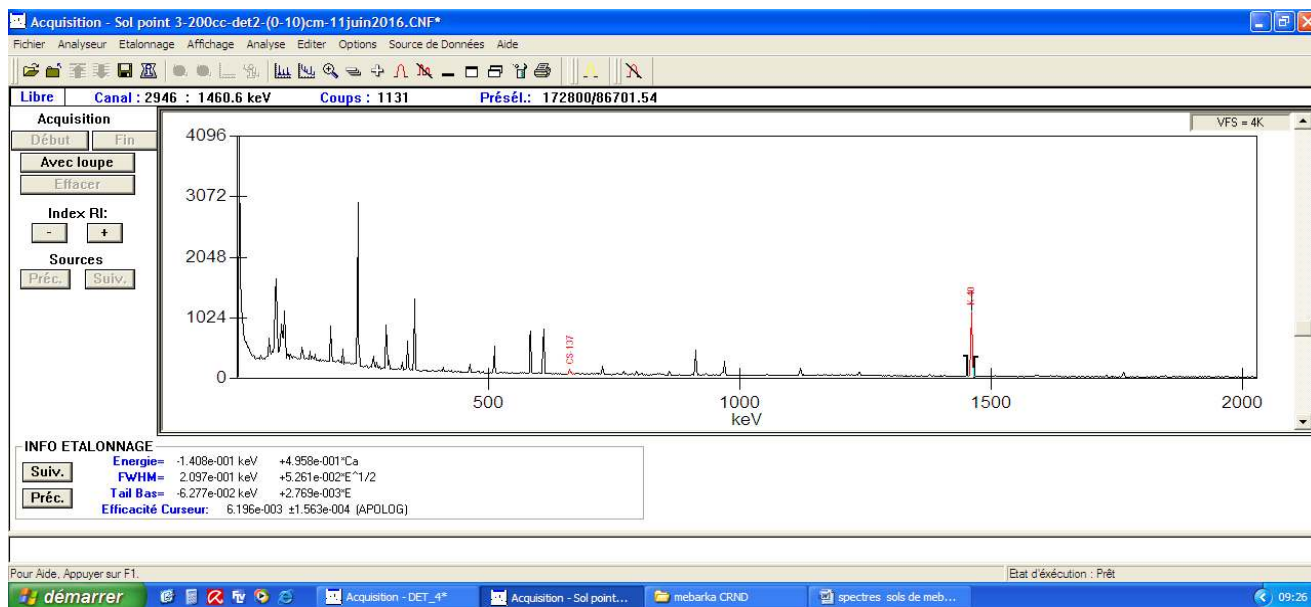


Analyse du sol Point 8CRND- détecteur 203-07-2016

ESSAI PRELIMINAIRE POUR ECHANTILLONNAGE

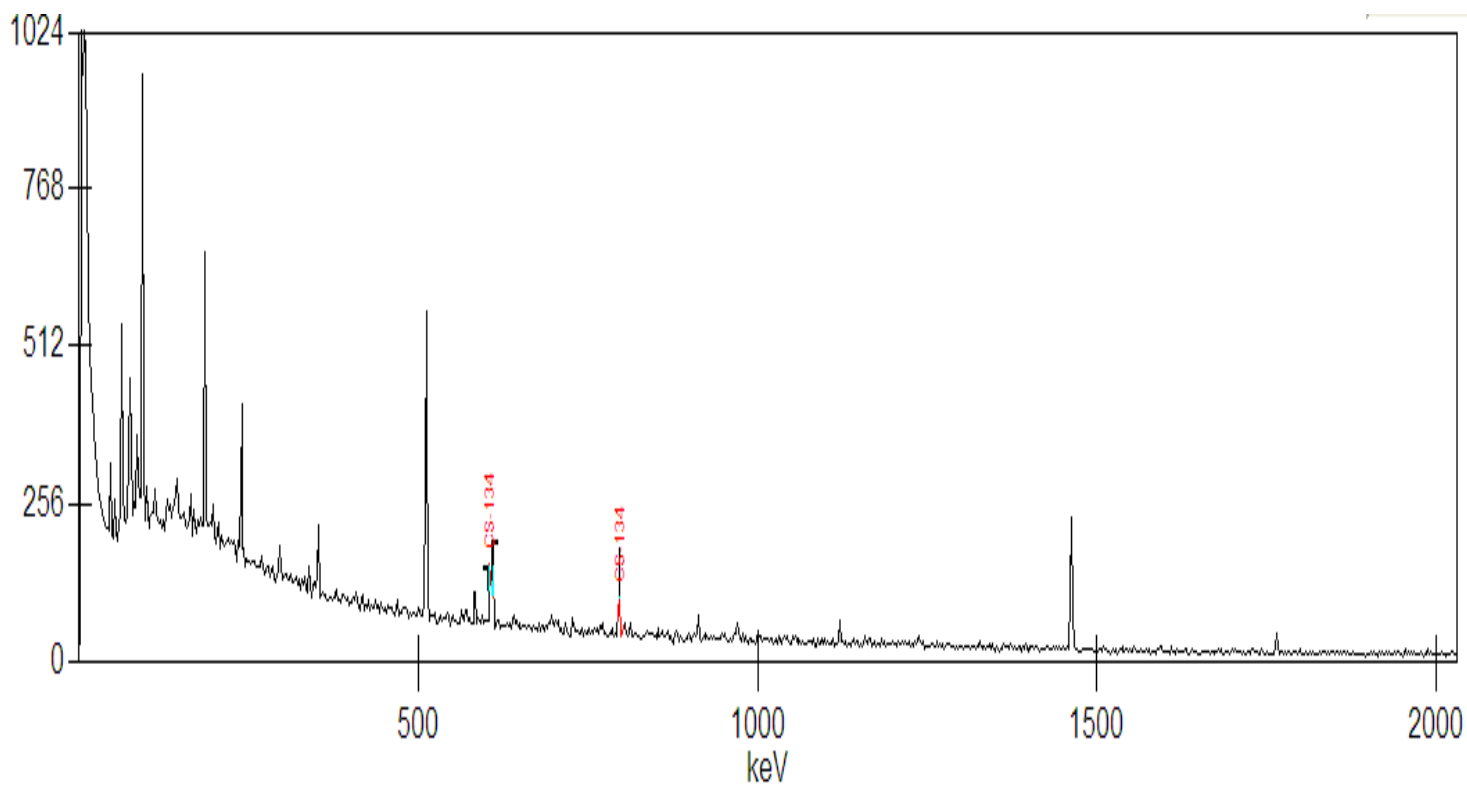


Analyse du sol
Point A CRND- détecteur 3 (0-5cm) 11-05-2016
(Taille des grains environ 1 mm)

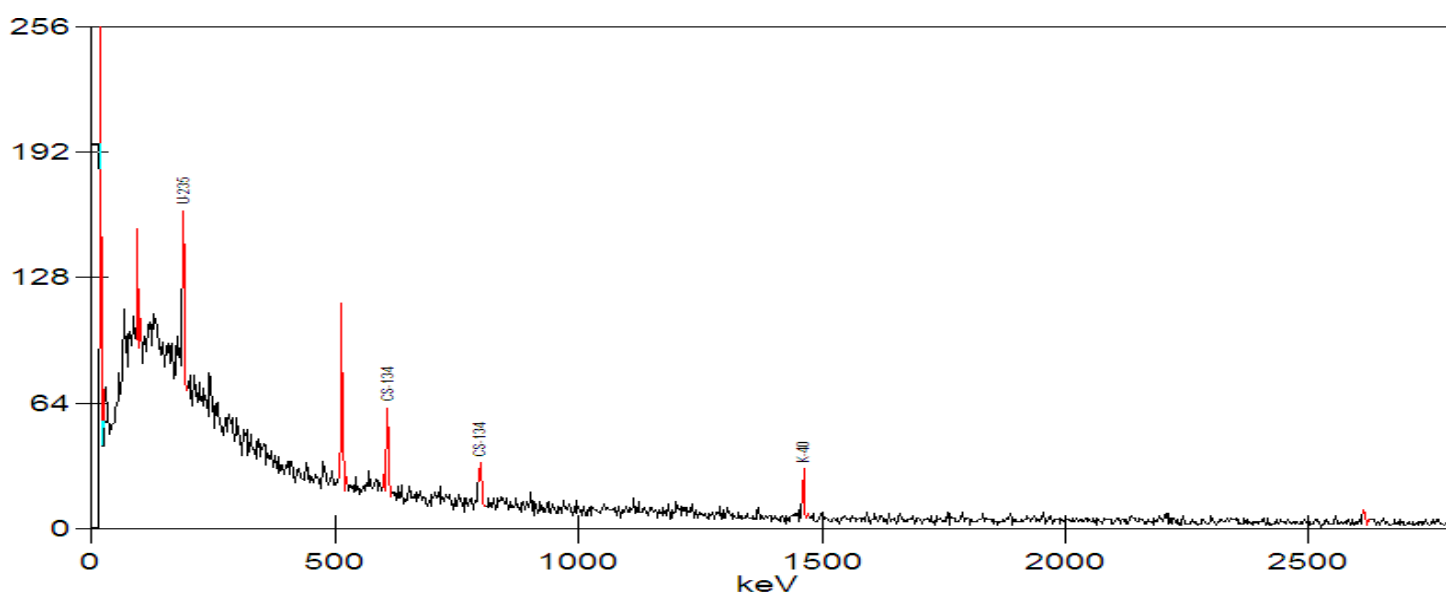


Analyse du sol
Point B CRND- détecteur 2 (0-10cm) 11-06-2016
(Taille des grains ≤ 0.160 mm)

Spectres d'analyses des eaux

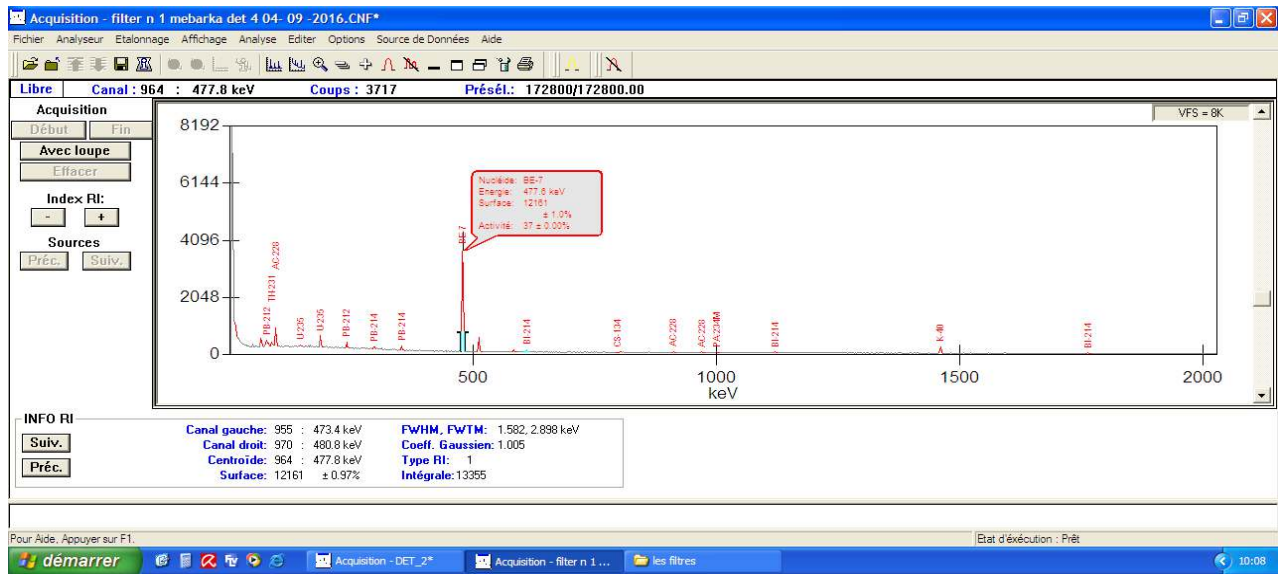


Spectre d'eau de robinet CRND

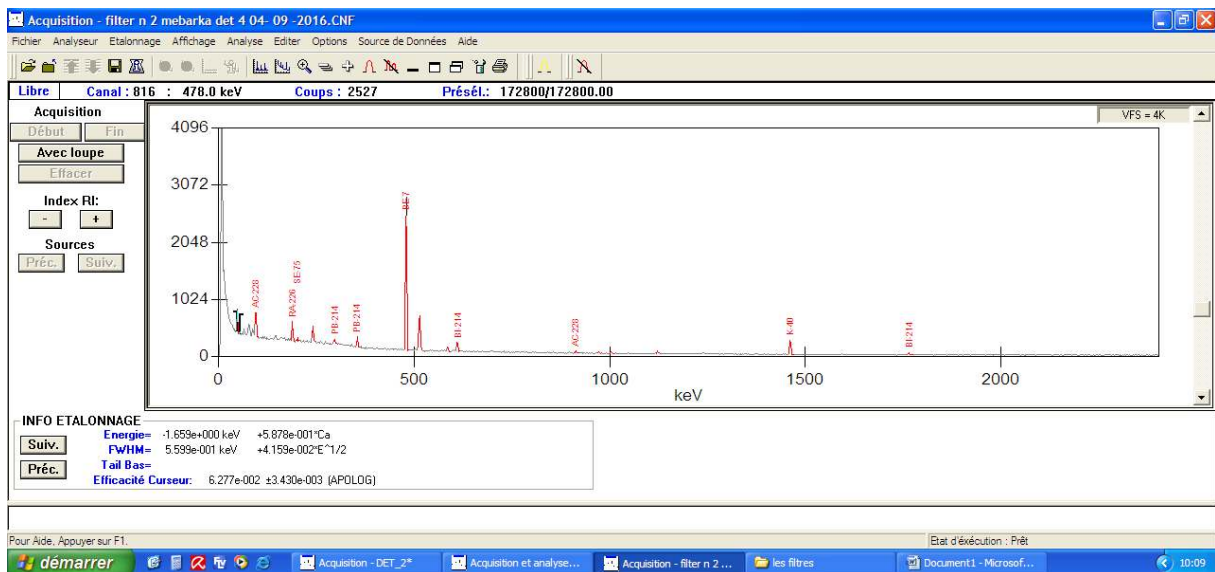


Spectre d'eau de source CRND

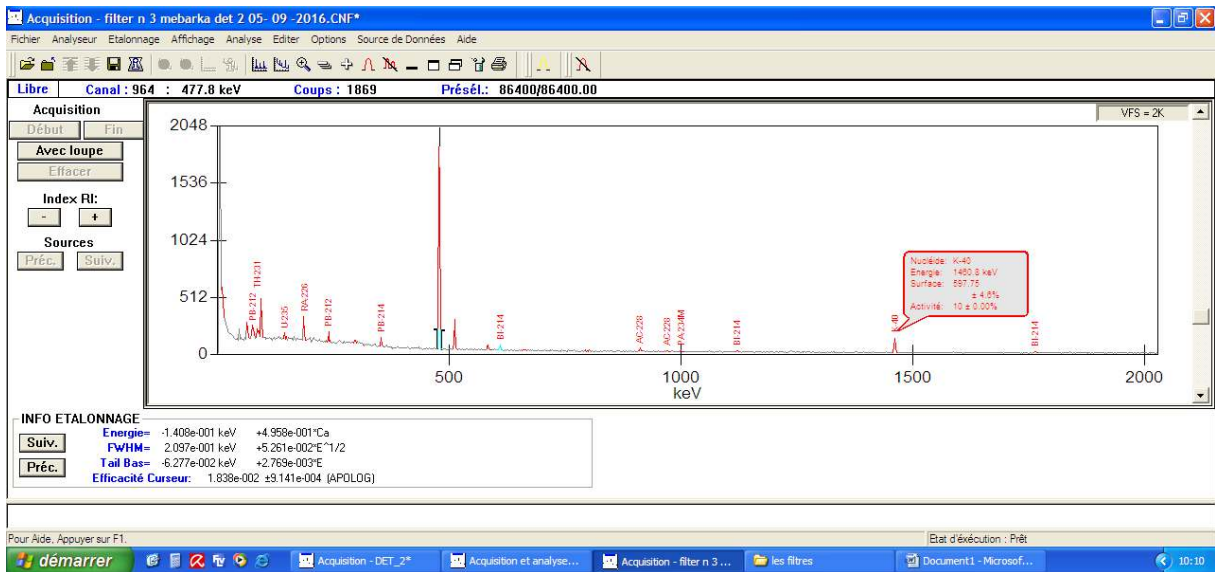
Spectres d'analyses des aérosols



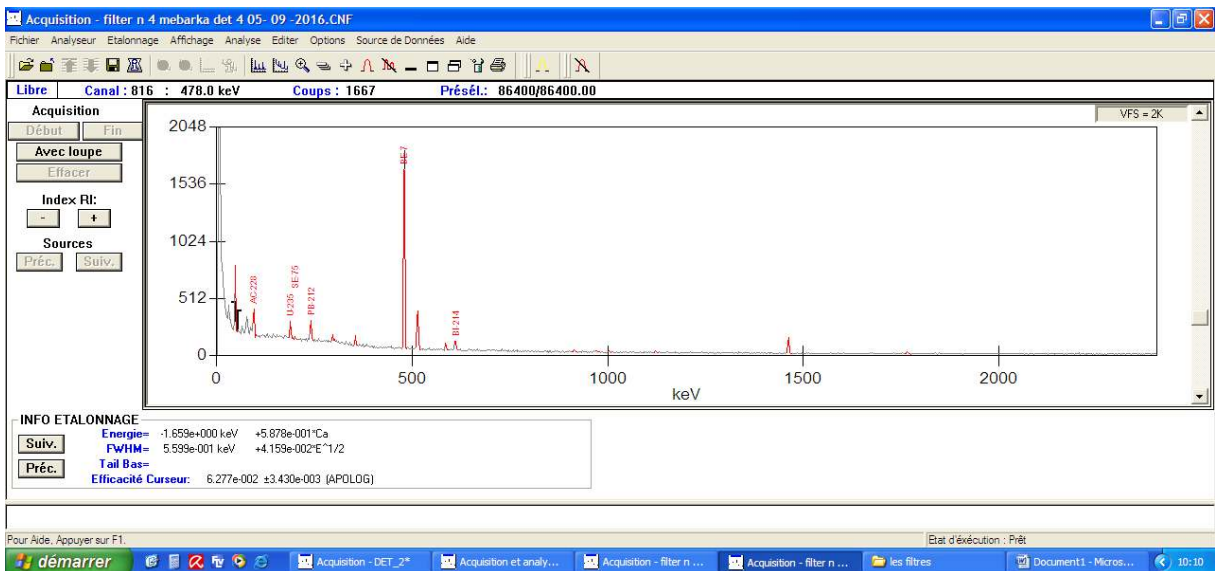
Analyse du Filtre-1- 04/09/2016



Analyse du Filtre-2- 04/09/2016



Analyse du Filtre-3- 05/09/2016



Analyse du Filtre-4- 05/09/2016

Filtre N°	Date début de prélèvement	Date fin de prélèvement	Temps de collecte (min)	Débit (m³/h)	Volume (m³)	Conditions météorologiques
F1	31/07/2016	07/08/216	9360.4	39.3	6131	ensoleillé
F2	07/08/216	14/08/2016	9759.6	39.9	6490	ensoleillé
F3	14/08/2016	21/08/2016	10200	40.2	6834	ensoleillé
F4	21/08/2016	28/08/16	9840.5	39.6	6495	Vent modéré

Tableau A.1 : Synoptique des différents prélèvements d'aérosols et conditions météorologiques.

ANNEXE B



Figure B.1 : Etuve de marque memmert.



FigureB.2 : Concasseur à mâchoires PULVERISETTE 1, modèle I



Figure B.3: Tamiseuse à vibrations ANALYSETTE 3 SPARTAN



FigureB.4 : La balance de précision de 0.01 de marque KERN



Différentes tailles durant broyage et le tamisage

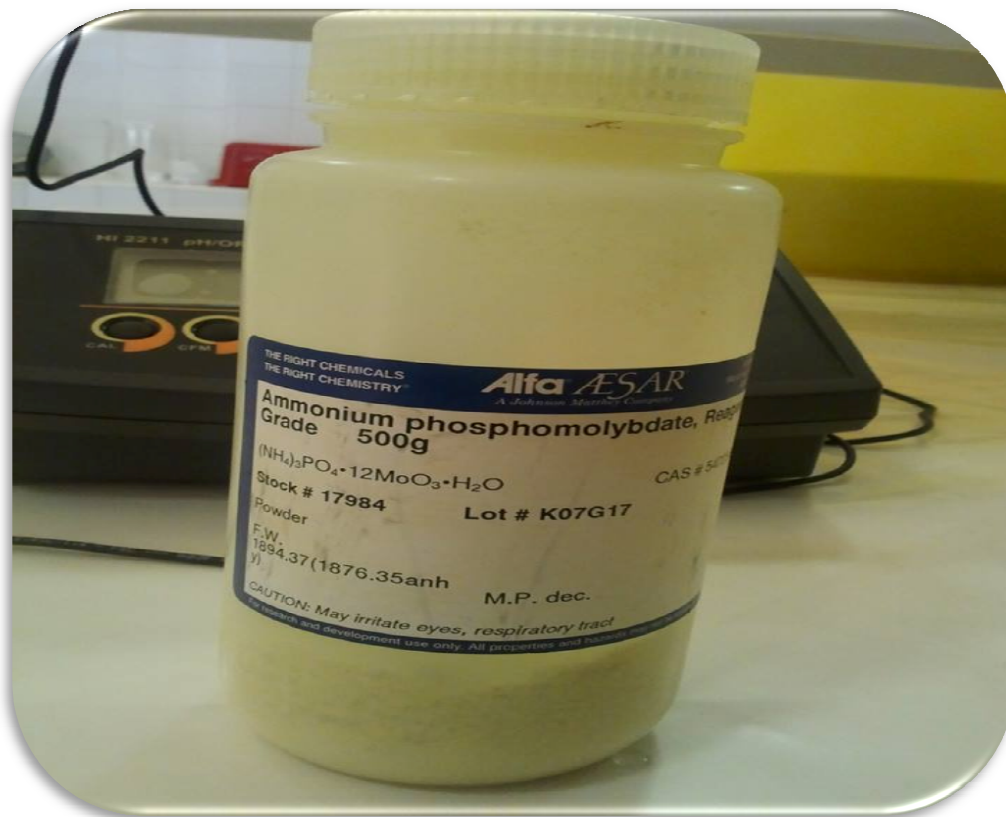
Conditionnement avant comptage



FigureB.5 passage du sol vers conditionnement



FigureB.6 :L'échantillon de sol placé dans le détecteur.



FigureB.7 :Bouteille d'AMP.



Figure B.8 : Agitation mécanique.

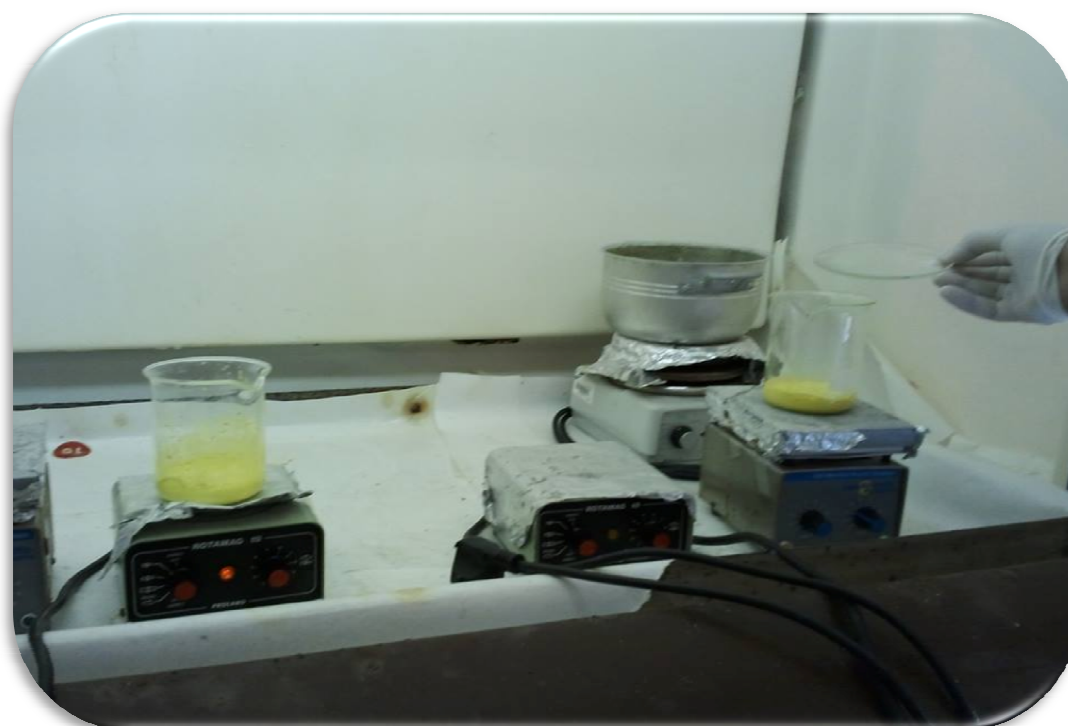


Figure B.9: Préparation d'AMP.



Figure B. 10: L'injection du traceur radioactif.



Figure B.11: L'ajout d'AMP.



Figure B.12 :L'échantillon de l'eau après concentration.



FigureB.13: Préleveur d'aérosols de marque HVO-3500 AFC.



Figure B.14 : Filtre papier.



Figure B.15 : La chaîne de spectrométrie gamma.