

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK
BEN YAHIA - JIJEL**



**FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET
INFORMATIQUE
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE**

Série :

**Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de
Master en physique**

Spécialité : Physique Médicale

Par

BELDJOURI Yousra

BOUDHOUS Khadija

Intitulé

**Mesure de radionucléides de traces faibles concentration
dans des échantillons de certaines plantes médicinales**

Soutenue le :08/09/2022 devant le jury:

Président :	A.BELAFRITES	Professeur.Univ. de Jijel
Rapporteur :	D.BOUMALA	MCB. Univ. de Jijel
Examineurs:	A.TEDJANI	MCA. Univ. de Jijel

Remerciements

Louanges tout d'abord à ALLAH qui est l'origine de toute réussite dans notre vie.

*Notre profonde gratitude et sincères remerciements vont à notre promoteur Monsieur **BOUMALA Dalil** pour nous avoir confié ce travail, pour son suivi, sa bienveillance, sa rigueur scientifique, ses discussions fructueuses, ses hautes qualités humaines.*

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury, qui ont accepté de juger ce modeste travail.

A tous nos enseignants du département physique de l'Université Mohammed Saddik Ben Yahia de Jijel.

Nous n'oublions pas de remercier, vivement, tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Merci à tous...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, qui sont la cause de mon existence dans cette vie, pour leur soutien, leur patience et leur amour qui m'ont donné la force pour continuer mes études.

A mes frères et sœurs.

A mon mari.

A mes amis (e).

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

YOUSRA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, qui m'ont encouragé à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont fourni les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.

A mes chers frères.

A mes chères sœurs.

A mes chères amies, Lilya, Khadidja, Mouna, Choroq, Asma, Kaotar

Khadidja

Table des matières

INTRODUCTION

Chapitre I : Généralités sur les plantes médicinales et la phytothérapie.

Introduction	3
I. Définition les plantes médicinales	3
I.1. Principe actif.....	3
I.1.1. Principaux groupes.	4
a. Composé phénolique.....	4
a.1. Acide phénolique.....	4
a.2. Flavonoïde.....	4
a.3. Tanins.....	5
a.4. Lignines.....	5
b. Les alcaloïdes.....	5
c. Terpènes et stéroïdes.....	5
c.1. Saponines.....	6
c.2. Huiles essentielles.....	6
I.2. Conservation et stockage.....	7
I.3. Usage médicale	8
I.4. Bienfaits des plantes médicinales.....	9
II. Phytothérapie.....	10
II.1. Définition la phytothérapie.....	10
II.2. Forme d'administration.....	10
II.3. Règlement et législation.....	11
II.4. Polluants (contaminations).....	11
II.4.1. Radioactive.....	11
II.4.2. Métaux lourd.....	12
II.5. Phytomédicament.....	12
II.6. Avantages et efficacité de la phytothérapie.....	12
II.7. Inconvénient et limites d'utilisation de la phytothérapie.....	13

Chapitre II : Interactions gamma-matière & spectrométrie gamma.

Partie I : Interactions gamma-matière.

Introduction.....	15
I.1. Effet photoélectrique.....	15
I.2. Effet Compton.....	16
I.3. Phénomène de matérialisation e^+ / e^- (création de paires).....	16
I.4. Prédominance du type d'interaction.....	17
I.5. Coefficient d'atténuation.....	17

Partie II : De la Spectrométrie gamma à la dosimétrie.

Introduction.....	18
II.1. Notions de base sur la spectrométrie gamma et les détecteurs Ge(HP).....	19
II.1.1. Principe physique de la spectrométrie gamma.....	19
II.1.2. Principe de la détection des photons.....	20
II.1.3. Limitations et spécifications de la technique de mesure.....	21
II.1.3.1. Limite de détection.....	21
II.1.3.2. Bruit de fond.....	21
II.1.3.3. Rapport signal sur bruit.....	22
II.1.4. Nature physique et intérêt d'un détecteur Ge(HP).....	22
II.1.4.1. Physique de semi-conducteurs.....	22
II.1.4.2. Détecteur Ge(HP).....	23
-Détecteur planaire.....	24
-Détecteur coaxial.....	24
-Détecteur puits.....	25
II.1.5. Spectrométrie gamma, quelle sensibilité par rapport aux autres techniques ?.....	25
II.2. Chaîne de mesure.....	26
II.2.1. Le détecteur.....	26
II.2.2. Electronique associées aux détecteurs.....	26
II.2.3. Caractéristiques des performances d'un détecteur.....	29

II.3. Spectrométrie gamma à bas bruit de fond.....	32
II.3.1. Origine du bruit de fond d'un détecteur Ge(HP).....	32
II.3.1.1. La radioactivité des matériaux.....	32
II.3.1.2. Les rayonnements cosmiques.....	32
II.3.2. Optimisation de blindages.....	32
III. Dosimétrie des rayonnements.....	33
III.1. Grandeurs physiques	33
III.1.1. La fluence	33
III.1.2. Le kerma.....	33
III.1.3. La dose absorbée.....	33
III.2. Grandeurs de protection.....	34
III.2.1. Grandeurs dosimétriques.....	34
III.2.1.1. Dose équivalente.....	34
III.2.1.2. Dose efficace.....	35
III.2.1.3. Dose engagée.....	36
III.2.2. Grandeurs radiologiques.....	36
III.2.2.1. Radium équivalent (R_{eq}).....	36
III.2.2.2. Indice du risque externe (H_{ex}).....	36
III.2.2.3. Indice du risque interne (H_{in}).....	37
III.2.2.4. Débit de dose absorbée dans l'air	37
III.2.2.5. Taux de dose effective annuel	37

Chapitre III : Mesures expérimentales, Résultat et discussion

Introduction.....	41
Partie I : Mesure des faibles radioactivités, échantillonnage, instrumentation et mesure.....	41
I.1. Problèmes liés aux mesures des faibles radioactivités.....	41
I.2. Préparation et conditionnement des échantillons.....	42
I.2.1. Echantillons analysés	42
I.2.2. Préparation des échantillons	43
I.3. Instrumentation.....	44
I.3.1. Description du spectromètre BEGe (Broad Energy Ge).....	44
I.4. Mesures expérimentales.....	45
I.4.1. Étalonnage du dispositif de mesure.....	45
I.4.1.1. Standard de référence IAEA-447.....	45
I.4.1.2. Etalonnage en énergie.....	48
I.4.1.3. Etalonnage en efficacité.....	50
Partie II : Résultats et discussion.....	51
II.1 Synthèse.....	51
II.2. Analyse qualitative.....	51
II.3. Analyse quantitative.....	52
II.4. Détermination des activités spécifiques de ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th , ^{40}K	52
II.5. Calcul des paramètres radiologiques	54
II.6. Discussion des résultants.....	55
II.6.1. Résultants d'analyse.....	55
II.6.2. Discussion des doses et évaluation de l'impact radiologique.....	56
II.6.2.1. Radium équivalent	56
II.6.2.2. Indices de risque interne et externe.....	57
II.6.2.3. Débit de dose.....	57
Conclusion générale.....	58
Bibliographie.....	59

Liste des figures

Schéma (I.1) : composition des saponines.....	6
Figure (II.1) : Mécanisme de l'effet photoélectrique.....	15
Figure (II.2) : mécanisme de l'effet Compton.....	16
Figure (II.3) : phénomène de création de paires.....	16
Figure (II.4) : Domination de chacun des effets d'interaction des photons en fonction de leur énergie.....	17
Figure(II.5) : Coefficients d'atténuation massique en fonction de l'énergie des photons dans le plomb.....	18
Figure (II.6) : Spectre enregistré à la sortie d'un Analyseur Multicanaux.....	20
Figure (II.7): Description du principe de détection des photons dans un détecteur Ge.....	21
Figure (II.8) : Schéma de la structure de bandes électroniques dans un isolant, un conducteur et un semi-conducteur.....	22
Figure (II.9) : Jonction PN polarisée en inverse pour augmenter l'efficacité de détection....	23
Figure (II.10) : Schéma de configurations des détecteurs Ge HP utilisées en spectrométrie γ : Détecteur planaire (gauche), coaxial (milieu) et détecteur puits (droite).....	24
Figure (II.11) : Schéma comparatif des sensibilités de mesure des différentes techniques pour l'uranium.....	25
Figure (II.12) : Schéma simplifié d'une chaîne de spectrométrie gamma.....	26
Figure (II.13) : principe d'un analyseur monocanal.....	29
Figure (II.14) : principe d'un analyseur multi -canal.....	29
Figure (II.15) : Distribution gaussienne du pic d'absorption totale.....	30
Figure (II.16) : Notion élémentaire d'angle solide.....	31
Figure (III.1) : cotes et dimensions du détecteur BEGe.....	44
Figure (III.2) : Courbe d'étalonnage en énergie.....	49
Figure (III.3) : Spectre expérimental du standard IAEA-447.....	50

Figure (III.4) : Courbe d'étalonnage expérimentale en efficacité.....	51
Figure (III.5) : Filiations radioactivités et points d'équilibre séculaire de séries ^{238}U (^{226}Ra) et ^{232}Th	53
Figure (III.6) : les activités spécifiques de ^{226}Ra et de ^{40}K et de ^{232}Th dans cinq échantillons.....	56
Figure (III.7) : Les valeurs de Radium équivalent pour les cinq échantillons.....	56
Figure (III. 8) : Les indices du risque pour les cinq échantillons.....	57
Figure (III.9) : Les débits de doses pour les cinq échantillons.....	57

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : bienfaits des plantes médicinales.....	10
Tableau (II.1) : Facteur de pondération radiologique WR	34
Tableau (II.2). Facteurs de pondération WTP Pour différents tissus et organes.....	35
Tableau (III.1) : Caractéristiques des échantillons analysés.....	43
Tableau (III.2) : Caractéristiques de détecteur BEGe(BE3825).....	45
Tableau (III. 3) : Activités du standard IAEA-447 à la date de référence (15 /11/2009)...	46
Tableau (III.4) : Activités du standard IAEA-447, au jour de l'acquisition estimées par le logiciel Darwin (activités restantes).....	47
Tableau (III.5) : Radioéléments identifiés dans les cinq échantillons analysés.....	52
Tableau (III. 6) : tableau résume les différents radioéléments utilisés pour calculer les Activités spécifiques des radionucléides ^{226}Ra , et ^{232}Th	53
Tableau (III.7) : Activités spécifiques du ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , pour les échantillons analysés.....	54
Tableau (III.8) : calcul de radium équivalent, indices du risque et estimation des doses.....	55

Introduction générale

La phytothérapie est l'une des plus anciennes médecines du monde et elle représente un traitement alternatif sans créer de nouvelles maladies malgré le formidable développement de l'industrie pharmaceutique et chimique, l'intérêt populaire pour la phytothérapie n'a cessé de se développer.

Selon l'organisation mondiale de la santé (WHO), 80% de la population mondiale utilise actuellement des herbes comme traitement médical primaire en raison de sa facilité de disponibilité.

Dans le cadre de ce travail, des cinq échantillons des plants médicinaux ont été analysés par la technique de spectrométrie gamma. Il s'agit de déterminer et quantifier les radionucléides naturels.

La spectrométrie gamma est née de la rencontre de deux grandes découvertes qui ont bouleversé notre quotidien. D'une part l'utilisation de la radioactivité au bien être de l'homme, et la révélation qu'elle est partout présente depuis la création de l'Univers, d'autre part l'essor de l'industrie des semi-conducteurs qui a permis l'amélioration constante des performances des détecteurs. L'objectif principal de la spectrométrie est de caractériser les éléments radioactifs d'une source inconnue par l'étude de l'énergie des photons gamma émis. Quand un photon interagit avec un détecteur, son énergie photonique est convertie en une impulsion électrique, dont l'intensité est mesurée. L'histogramme obtenu en collectant les événements peut être utilisé pour identifier les éléments radioactifs et de mesurer leur activité. Pour élargir la gamme de ce type de mesure aux faibles activités, il est important d'améliorer la sensibilité de détection des moyennes de mesure. Dans ce contexte, il faut disposer le système de détection à bas bruit de fond, ces dispositifs permettant d'atteindre des meilleures sensibilités de l'ordre de quelques mBq/Kg.

Le présent mémoire comporte trois chapitres, le premier présente une recherche bibliographique à propos des plantes médicinales et de leurs propriétés (phytothérapie).

Le second chapitre consacré à la technique de spectrométrie gamma. Les principales considérations expérimentales liées à cette technique seront présentées : son principe, nature physique et intérêt d'un détecteur Ge(HP), la chaîne de mesure. La technique de spectrométrie gamma à bas bruit de fond est en fin présentée.

Chapitre I

Généralités sur les plantes médicinales et la phytothérapie

Introduction

Si l'on ne sait pas précisément ce que nos ancêtres mangeaient au début de l'humanité il y'a 5 à 7 millions d'années, il est certain que les plantes faisaient partie de leur alimentation quotidienne. Ils découvraient très tôt dans leur évolution que ces plantes ne représentaient pas uniquement une source d'alimentation mais pouvaient également soulager voire guérir certaines maladies. Aujourd'hui les principes actifs des plantes sont des composants essentiels d'une grande partie de nos médicaments et produits de soins. Malgré les multiples progrès de la médecine moderne, il y 'a un net regain d'intérêt vis-à-vis de la phytothérapie. Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) plus de 80 % de la population mondiale ont recours à la Pharmacopée traditionnelle pour faire face aux problèmes de la santé. En effet, sur les 300 000 espèces végétales recensées sur la planète plus de 200000 espèces vivent dans les pays tropicaux d'Afrique ont des vertus médicinales.

I. Définition des plantes médicinales

Une plante médicinale est une plante utilisée pour ses propriétés thérapeutiques. Cela signifie Qu'au moins une de ses parties peut être employée dans le but de se soigner. Leur efficacité relève de leurs composés, très nombreux et très variés en fonction des espèces, et qui présentent des effets thérapeutiques différents. Exemples : l'absinthe (troubles de la digestion) ; le lin (constipation) ; le tilleul (fièvre) [1]. Selon l'OMS, plus de 20000 plantes utilisées dans le monde pour ses propriétés pharmacologique, dont environ 3000 ayant fait l'objet d'études scientifiques [2].

I.1. Principe actif

C'est une molécule présentant un intérêt thérapeutique curatif ou préventif pour l'Homme ou l'animal. Le principe actif est contenu dans une drogue végétale ou une préparation à base de drogue végétale. Une drogue végétale en l'état ou sous forme de préparation est considérée comme un principe actif dans sa totalité, que ses composants ayant un effet thérapeutique soient connus ou non [4].

I.1.1. Principaux groupes

Les métabolites secondaires sont classés en trois grands groupes : les composés phénoliques, terpènes et alcaloïdes. Chacune de ces classes renferme une très grande diversité de composés qui possèdent une très large gamme d'activités en biologie humaine [5].

a. Composés phénoliques

Les polyphénols ou composés phénoliques forment une grande classe de produits chimiques qui on trouve dans les plantes au niveau des tissus superficielles, ils sont des composés photochimiques polys hydroxylés et comprenant au moins un noyau aromatique à 6 carbones. Ils subdivisent en sous classe principales ; les acides phénols, les flavonoïdes, les lignines, les tanins [6].

a.1. Acide phénolique

Les phénols ou les acides phénoliques sont des petites molécules constituées d'un noyau benzénique et au moins d'un groupe hydroxyle, elles peuvent être estérifiées, étherifiées et liées à des sucres sous forme d'hétérosides, ces phénols sont solubles dans les solvants polaires, leur biosynthèse dérive de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique. Les phénols possèdent des activités anti-inflammatoires, antiseptiques et analgésiques [9].

a.2. Les flavonoïde

Les flavonoïdes représentent une classe de métabolites secondaires largement répandus dans le règne végétal. Presque toujours hydrosolubles, ce sont des pigments quasiment universels des végétaux et sont en partie responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Les flavonoïdes sont susceptibles d'assurer la protection des tissus contre les effets nocifs du rayonnement UV, ils jouent aussi un rôle dans la défense des plantes contre les micro-organismes pathogènes, dans la fertilité des plantes et dans les interactions plante-microbe. Ces pigments représentent des signaux visuels qui attirent des animaux pollinisateurs (les anthocyanes, les auronnes et les chalcones). Les flavonoïdes sont largement abondants dans les légumes, les feuilles (salade, choux, épinards, etc), ainsi que dans les téguments externes des fruits [7].

a.3. Tanins

Beaucoup de plantes contiennent des tanins à un degré plus ou moins élevé. Ceux-ci donnent un goût amer à la plante. Les tanins sont des composés polys phénoliques. Qui contractent les tissus en liant les protéines et en les précipitant en créant ainsi une couche protectrice. Les plantes riches en tanins sont beaucoup utilisées pour les affections digestives; en cas de diarrhée, ulcère et pour soulager les hémorroïdes [8,9]. Et ils peuvent avoir plusieurs activités biologiques dont l'activité anti-oxydante, anti-inflammatoire, antifongique, anti-tumorale, antivirale et anti-diarrhéique [7].

a.4. Lignines

Composés qui s'accumulent au niveau des parois cellulaires (tissus sclérenchymes ou le noyau des fruits), au niveau de sève brute qu'ils permettent la rigidité des fibres, ils sont le résultat d'association de trois unités phénoliques de base dénommées monolignols de caractère hydrophobe [29].

b. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont l'une des catégories les plus importantes de principes actifs dans la matière médicale. Ce sont des bases azotées généralement hétérocycliques, douées d'une activité pharmacodynamique marquée. Pour la plupart se sont des poisons végétaux dotés d'une action spécifique. Certains ont une action médicale sur l'appareil digestif tel que l'aesine d'aesculushippocastanum qui possède une action anti hémorroïdaire [10,11]. Sont des composés qui sont extraits de plantes et qui sont utilisés dans de nombreux cas et pour diverses raisons : antalgiques, antipaludéen, substances paralysantes, poisons ou encore en tant que stupéfiants. Elles ont un coté stimulant non négligeable mais sont aussi des substances toxiques aux effets néfastes pour l'organisme [12].

c. Terpènes et stéroïdes

Les trapézoïdes sont une vaste famille de composés naturels près de 15000 de molécules différentes et de caractère généralement lipophiles, leurs grandes diversités due au nombre de base qui constituent la chaîne principal de formule $(C_5H_8)_n$ selon la variation de nombre n, dont les composés mono terpènes, ses qui terpènes, diterpènes, triterpènes [13]. Ces molécules présentent en forme des huiles essentielles ; parfums et goût des plants, pigments (carotène), hormones (acide abscissique), des stérols (cholestérol). Les stéroïdes sont des triterpènes est

étracycliques, possèdent moins de 30 atomes de carbone, synthétisés à partir d'un triterpène acyclique [14].

c.1. Les saponines

Les saponines constituent un vaste groupe d'hétérosides très fréquents chez les végétaux. Ils sont caractérisés par leurs propriétés tensioactives car ils se dissolvent dans l'eau en formant des solutions moussantes. Ils sont principalement produits par les plantes mais aussi par les organismes marins. Structuralement, les saponines peuvent être classés en deux groupes selon la nature de la génine : les saponines à génines triterpéniques, de loin les plus nombreux existant chez les angiospermes dicotylédones et chez certains animaux marins et celles à génines stéroïdiques, presque exclusivement présentes chez les angiospermes monocotylédones. Les saponosides peuvent être présente dans les différents organes de la plante tels que les racines, les feuilles, les graines...

Parmi les plantes les plus riches en saponosides, on note :

- Les racines de réglisse.
- Les racines de ginseng.
- Les feuilles de bouillon blanc.
- Les graines de fenugrec [15].

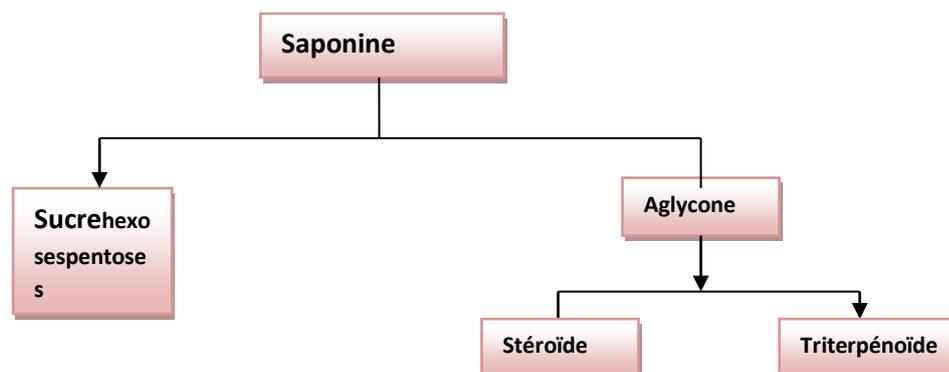


Schéma 1 : composition des saponines.

c.2. Huiles essentielles

Une huile essentielle ou essence se décrit communément comme un mélange de composés aromatiques extrait d'une plante, obtenu par entraînement à la vapeur ou par hydrodistillation, cette dernière, étant développée par les Arabes vers le IX^{ème} siècle, notamment, après le

développement de l'alambic par Avicenne. Les huiles essentielles (HE) ont été utilisées depuis des millénaires pour leurs vertus thérapeutiques (antiseptique, antibactérienne, antivirale, analgésique, sédative, anti-inflammatoire...) et ont été largement utilisées en tant que fragrance et le sont toujours.

Actuellement, le règne végétal nous offre une grande diversité permettant d'obtenir plus de 3000 HE, parmi lesquelles, environ 300 sont importantes d'un point de vue commercial. Spécialement dans l'industrie pharmaceutique, l'agroalimentaire, le cosmétique et la parfumerie. Selon la pharmacopée européenne, une HE est : un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'HE est plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition.

D'un point de vue chimique, les HE sont des liquides odorants de consistance huileuse, très volatils, dotés de caractère hydrophobe, solubles dans les solvants organiques et de densité inférieure à celle de l'eau. Les HE sont synthétisés par les plantes par ses différents organes : à partir de racines (iris), de bulbes (ail) ou de rhizomes (gingembre). Elles peuvent aussi être issues de la tige (petits grains), du la tige (petits grains), du bois (rose, cèdre) ou encore de l'écorce (cannelle). Les feuilles (eucalyptus, citronnelle), les bourgeons (pin), les fleurs (rose), les fruits (orange). Et les graines (muscade, anis). Pour certaines HE, comme celles de la lavande ou de la sauge, c'est la plante entière qui est utilisée. Dans la nature, les HE semblent jouer un rôle dans la protection des végétaux contre les agressions extérieures causées par les microorganismes, contre les insectes et même les animaux herbivores [16].

I.2. Conservation et stockage

Les PAM sont conservées à l'abri de la lumière, air et au sec dans des récipients en porcelaine, faïence ou verre teinté, boîtes sec en fer blanc, sacs en papier ou des caisses. Cette technique est nécessaire pour les plantes qui subissent des transformations chimiques sous l'influence des ultraviolets. Les plantes riches en produits volatiles et qui s'oxydent rapidement sont conservées dans un milieu étanche [22,23]. Les principales conditions de stockage des plantes médicinales à l'officine sont :

- Une température constante (une température élevée double la vitesse de dégradation des plantes) comprise entre 15 et 18° C.

- Un taux d'humidité inférieur à 60%.
- Une fragmentation seulement au moment de la délivrance, ce qui permet de limiter le contact avec l'air.
- Une conservation dans un récipient fermé hermétiquement, de préférence opaque et non réactif envers la plante.

En ce qui concerne la durée de conservation, elle est d'environ deux ans pour les fleurs, feuilles et tiges herbacées, et de quatre ans pour les racines, écorces et tiges plus coriaces [24].

I.3. Usage médical

L'utilisation des plantes médicinales est répandue depuis le début de l'humanité et jusqu'à présent, malgré le développement de médicaments thérapeutiques ces derniers temps, mais de nombreuses personnes dans le monde en dépendent encore pour la médecine et le traitement. De nombreux composés présents dans les plantes et les herbes médicinales sont utilisés pour fabriquer de nombreux médicaments efficaces.

- **Gingembre**

Dans de nombreux pays asiatiques, en particulier en Inde, le gingembre est utilisé dans le cadre d'une alimentation saine quotidienne. Comme les propriétés médicinales du gingembre peuvent traiter de nombreuses maladies. Les racines de gingembre ont également de nombreuses utilisations comme antibactériennes, antivirales et antioxydantes.

- **Thé vert**

Le thé vert est l'une des boissons santé les plus célèbres de tous les temps, et il est originaire du continent australien. Il a des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales. Actuellement, l'herbe est utilisée dans la fabrication de savons, d'hydratants et de produits pour le bain.

- **Sauge**

La plante de sauge est une herbe belle et douce au toucher. Les feuilles et les racines de la sauge peuvent être utilisées pour traiter efficacement un certain nombre de maladies. Il est également riche en nutriments dans une large mesure, en plus des antioxydants.

- **Fleur de camomille**

La fleur de camomille est la plante médicinale la plus célèbre jamais utilisée depuis l'Antiquité, ou les gens ont remarqué ses effets positifs et efficaces sur la santé générale du corps, car elle

contient des éléments uniques utilisés dans le traitement de nombreuses maladies sans le moindre effet secondaire.

- **Thym**

Le thym est utilisé comme plante aromatique. Les fleurs, les branches et l'huile ont de nombreux avantages pour la santé. Dans l'Égypte ancienne, le thym était utilisé pour traiter de nombreuses conditions médicales. Le thym est également une plante qui possède de fortes propriétés antifongique, antivirales, antiseptiques et antiparasitaires.

- **Ail**

L'ail, membre de la famille des oignons, est utilisé dans divers plats dans des nombreux pays. C'est aussi une herbe populaire qui peut traiter un grand nombre de maladies. De plus, il est calorique et riche en nutriments. L'ail contient de la vitamine C, B6, du manganèse et des fibres. L'odeur forte et piquante du soufre dans l'ail aide à repousser les insectes et même les serpents [17].

I.4. Bienfaits des plantes médicinales

Les bienfaits des plantes médicinales regorgent de minéraux, de vitamines, d'oxygène et traitent de nombreuses maladies différentes. Nous allons donc parler de certains des bienfaits des plantes médicinales [17].

Plante	Bienfaits
Gingembre	<ul style="list-style-type: none">- Manger une boisson de gingembre conduit à la stabilité et à l'équilibre du système digestif.- Résistance au cancer, au diabète et à l'asthme.- Nettoyer les vaisseaux sanguins à l'intérieur du corps.
Thé vert	<ul style="list-style-type: none">- Traite les maux de tête, les rhumes et les maux de dents.- Élimine les pellicules et rafraîchit le cuir chevelu.- Traitement rapide des plaies et des brûlures.
Sauge	<ul style="list-style-type: none">- Traiter des maladies de l'estomac.- Améliorer considérablement les performances de la mémoire.- Apaisant les maux de dents et éliminant les mauvaises odeurs de bouche.
Fleurs de camomille	<ul style="list-style-type: none">- Stabiliser la glycémie et réduire les brûlures estomac.- Empêcher la propagation des bactéries dans le corps.- Prévention du diabète et des crampes musculaires.

Thym	<ul style="list-style-type: none">- Traiter le rhume et la toux.- Il est apaisant pour le système nerveux et aide à se détendre.- Réduire le risque de cancer du colon.
Ail	<ul style="list-style-type: none">- Améliorer la santé du système immunitaire du corps.- Abaisser la tension artérielle et prévenir les maladies cardiovasculaires.- Aide à prévenir la propagation du cancer.

Tableau (I.1) : Bienfaits des plantes médicinales.

II. Phytothérapie

II.1. Définition de la phytothérapie

D'un point de vue étymologique, le terme "phyto" de phytothérapie provient du grec ancien.avec le terme plus précis de "phyton" et signifie "végétal". La phytothérapie est donc la "Thérapie par le végétal ou par le monde végétal", aujourd'hui nous considérons davantage la phytothérapie comme la "thérapie par les plantes" ou plus exactement la méthode thérapeutique utilisant des plantes médicinales dans le traitement de maladies. Selon l'OMS, la phytothérapie est le traitement médical le plus utilisé au monde [3].

II.2. Formes d'administration

Les plantes médicinales sont la base des teintures mères. En effet, ce sont ces mêmes plantes qu'on laisse macérer dans de l'alcool afin d'obtenir une solution aux vertus thérapeutiques, plus ou moins puissantes, qui serviront à la préparation d'huiles essentielles et de médicaments homéopathiques.

Pour extraire les principes actifs de la plante, il est également possible de procéder à une décoction¹. Il s'agit de porter à ébullition le mélange des plantes, préalablement coupées en petits morceaux dans de l'eau, puis de le filtrer. On peut les utiliser en usage externe et interne. En interne, on les retrouve en tisane et en infusion. Pour cela, on utilise principalement les feuilles et les fleurs. En usage externe, elles sont appliquées sous forme de compresse, de cataplasme (plante broyée dont on dispose le jus sur la blessure), de pommades et d'onguent [18]. Rappelons que les plantes médicinales et les médicaments à base de plantes inscrits dans la pharmacopée française sont administrables par voie orale, par inhalation ou localement (jamais en injection) et peuvent être utilisée sans l'intervention d'un médecin [19].

II.3. Règlement et législation

La phytothérapie revient en force depuis plus d'une dizaine d'années, à tel point qu'actuellement, 45 % des Français déclarent avoir recours à des plantes médicinales ou médicaments à base de plantes pour se soigner. C'est pourquoi la législation française et européenne ont dû évoluer face à cette demande croissante, afin d'assurer le bon usage et la sécurité des produits de phytothérapie. Bien qu'une Pharmacopée, des règles et des procédures simplifiées d'autorisation de mise sur le marché (AMM) existaient déjà en France, ces règles et procédures ont été marquées en 2004 par des directives européennes sur les médicaments traditionnels à base de plantes. Ainsi, la directive européenne 2004/27/CE a été publiée pour prévoir un nouveau régime d'autorisation simplifié pour la mise sur le marché des médicaments traditionnels à base de plantes. Cinq critères cumulatifs ont été définis pour qualifier les médicaments traditionnels à base de plantes :

- Disposer d'indications propres à des médicaments traditionnels à base de plantes conçus et destinés à être utilisés sans la surveillance d'un médecin.
- Être administrés selon un dosage et une posologie spécifiée.
- Présenter des formes et préparations administrées par voie orale, externe et ou inhalée.
- Avoir un usage médical reconnu pendant au moins 30 ans avant la date de demande dont 15 ans dans l'espace de la communauté européenne.
- Disposer de données suffisantes sur l'usage traditionnel du médicament (innocuité démontrée, conditions d'emploi spécifiées, effets pharmacologiques et efficacité plausibles du fait de leur ancienneté et de l'expérience) [19].

II.4. Polluants (contaminants)

II.4.1. Radioactivité

La pollution radioactive est l'un des problèmes environnementaux les plus graves car elle menace la vie humaine, animale et végétale en raison de la diffusion de l'utilisation de matières radioactives dans plusieurs domaines.

Le sol contient de nombreux isotopes radioactifs naturels tels que l'uranium, le thorium, le radium, le potassium et autres. Il contient également de nombreux isotopes radioactifs industriels (les réacteurs et les accélérateurs nucléaires). Les matières radioactives se répandent dans la solution du sol et sont absorbées par la plante et s'accumulent dans les branches, les racines, les

feuilles et les fruits, ou les matières radioactives contenues dans la poussière peuvent tomber directement sur les feuilles et les fruits des plantes [20].

II.4.2. Métaux lourds

Ce sont des éléments chimiques métalliques comme le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le nickel, l'aluminium, le cuivre, le zinc, le brome. Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en de très faibles quantités. Certains d'entre eux, comme le cuivre et le zinc sont nécessaires au fonctionnement de notre organisme à condition qu'ils soient absorbés en petite quantité mais ils peuvent pour des teneurs élevées (et sous forme chimique biodisponible), devenir toxique ils représentent un risque pour notre santé. Les métaux lourds peuvent provenir de plusieurs sources d'origine naturelles ou anthropiques.

Les métaux sont naturellement présents dans la croûte terrestre. Ce sont des éléments métalliques naturels, de densité supérieure à 5 g/cm³ et tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium ($Z = 11$). Les éléments naturellement présents dans les sols dont certains sont indispensables aux plantes [21].

II.5. Phytomédicament

On entend par phytomédicaments les produits à base de plantes ayant obtenu une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) ou un enregistrement auprès des autorités compétentes. Les médicaments à base de plantes ont deux caractéristiques spéciales qui les distinguent des médicaments chimiques : l'utilisation de plantes brutes et l'usage prolongé [25,26].

II.6. Avantages et efficacité de la phytothérapie

La phytothérapie qui repose sur des remèdes naturels est bien acceptée par l'organisme, et souvent associée aux traitements classiques. Elle connaît de nos jours un renouveau exceptionnel en occident, spécialement dans le traitement des maladies chroniques comme l'asthme ou l'arthrite [27].

- De nombreuses études scientifiques relatent les effets bénéfiques des plantes, et leur efficacité dans la plupart des domaines médicaux. Il existe aujourd'hui quatre organismes s'attachent à démontrer leur efficacité : L'EMA, l'ESCP, l'OMS et la Commission E en Allemagne. Ces 4 instances répertorient les vertus médicinales des plantes, et se prononcent sur leur utilité dans le traitement de certaines maladies.

- Les médicaments chimiques provoquent souvent des néfastes contrairement aux phyto-médicaments qui ne présentent quasi pas d'effets secondaires si utilisé avec précaution.
- Les plantes médicinales sont beaucoup moins chères que les médicaments de synthèse.
- La phytothérapie est accessible à tous et ne nécessite pas d'obtenir une ordonnance.
- Se soigner par les plantes représente une alternative reconnue par la médecine et dénuée de tout effet toxique pour l'organisme.

II.7. Inconvénients et limites d'utilisation de la phytothérapie

Dans les conditions normales d'utilisation de la plante médicinale, est susceptible de faire preuve d'effets secondaires en règle générale indésirables. Dans certains cas, l'utilisation de plantes peut être la source d'intoxication [28].

- La toxicité peut être aussi due à l'utilisation d'une dose excessive ou une erreur d'identification de la plante.
- Certaines plantes contiennent des toxines cela rend la consommation d'une petite quantité potentiellement mortelle.
- Une mauvaise interprétation des symptômes peut être très dangereuse car la plupart des médicaments à base de plantes sont basés sur l'automédication.
- Il y a certaines herbes qui sont déconseillées aux enfants ainsi qu'aux femmes enceintes car elles sont dangereuses pour eux.

Chapitre II

Interactions gamma-matière & Spectrométrie gamma

Partie I : Interactions gamma-matière

Introduction

Lorsqu'un faisceau des photons gamma pénètre dans un milieu, il subit une atténuation. Cette atténuation est liée à des interactions élémentaires entre les photons incidents et les constituants du milieu. Ces interactions peuvent conduire à une absorption ou à une diffusion du photon incident. L'absorption des photons gamma par la matière se fait par trois mécanismes dont l'importance relative dépend de :

- La nature du matériau absorbant.
- L'énergie du photon incident.

Ces trois mécanismes sont : L'effet photoélectrique, l'effet Compton et le phénomène de matérialisation ou l'effet de création de paires [30].

I.1. Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est le phénomène physique le plus efficace pour absorber ces rayonnements. Le photon gamma absorbé, en interagissant avec un électron lié à un atome pour l'éjecter. L'énergie du photon doit être supérieure à l'énergie de liaison de l'électron : $h\delta > W_s$ une partie de cette énergie sert à libérer l'électron du cortège électronique, il conserve l'excédent sous forme d'énergie cinétique [31].

$$E = h\delta - W_s \tag{II.1}$$

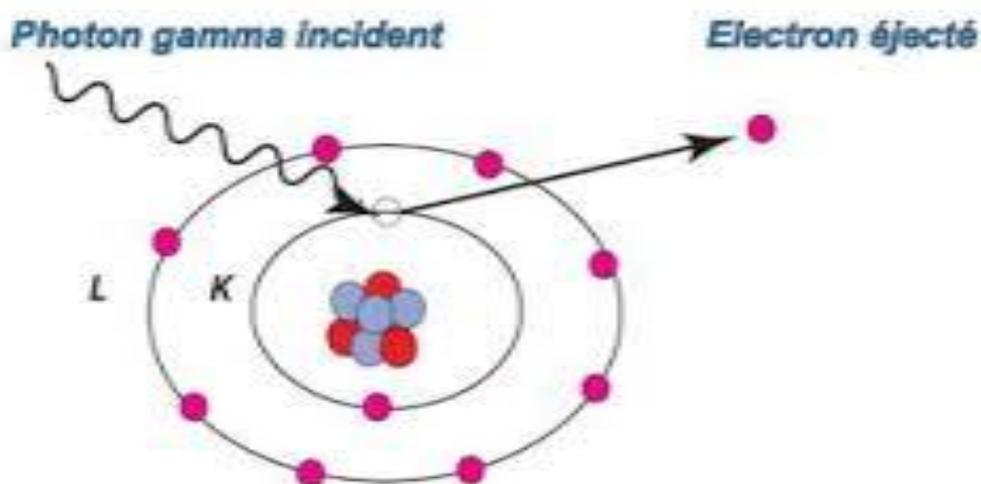


Figure (II.1) : Mécanisme de l'effet photoélectrique

I.2. Effet Compton

L'effet Compton est un processus par lequel le photon incident d'énergie $E = h\nu$ interagit avec un électron atomique peu lié ou libre. Le photon est diffusé dans une direction faisant un angle φ avec sa direction initiale et avec une énergie E_d . L'électron est orienté vers une direction faisant un angle θ avec la direction initiale du photon incident et acquiert une énergie cinétique E_c qui vaut $E_c = E - E_d$. (II.2)

L'électron Compton ainsi éjecté est appelé électron de recul. Tous les cas intermédiaires sont possibles entre le choc tangentiel où le photon incident n'est pas dévié et le choc frontal où le photon incident est rétrodiffusé et où le transfert d'énergie à l'électron maximum [32].

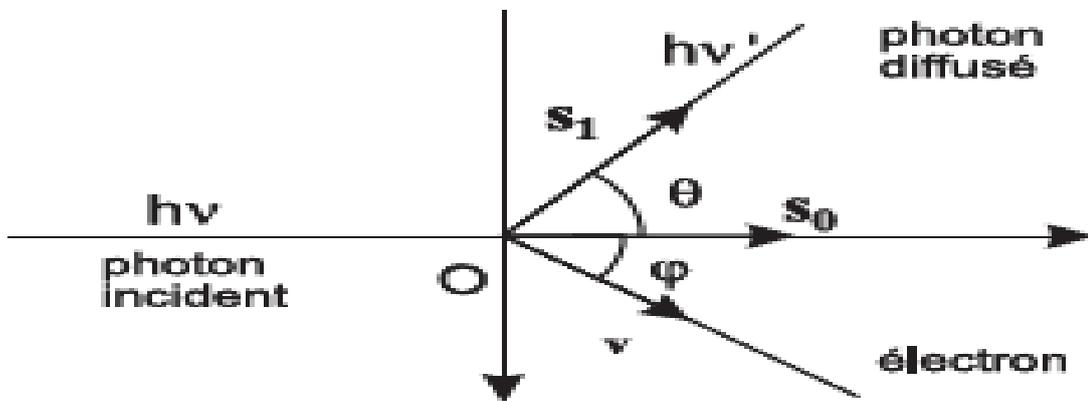


Figure (II.2) : Mécanisme de l'effet Compton

I.3. Phénomène de matérialisation e^+ / e^- (création de paires)

Le photon incident interagit avec le champ coulombien d'un électron ou du noyau. Crée un électron et un positron.

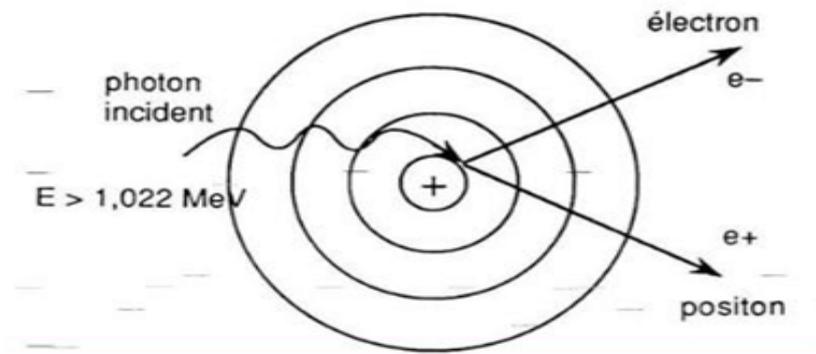


Figure (II.3) : Phénomène de création de paires

Le positron peut s'annihiler avec l'électron on aura alors un pic d'annihilation à 511keV. Cependant, la matérialisation (e^-/e^+) n'a lieu que pour des énergies de photon incident supérieur à deux fois l'énergie de masse d'un électron ($2 \times 511 = 1022 \text{ keV}$). La création de paires est donc favorisée uniquement pour des photons de grande énergie.

I.4. Prédominance du type d'interaction

L'effet photoélectrique prédomine à basse énergie et dans les matériaux de numéro atomique élevé, la diffusion Compton domine aux énergies intermédiaires et la création de paires est importante à haute énergie figure.

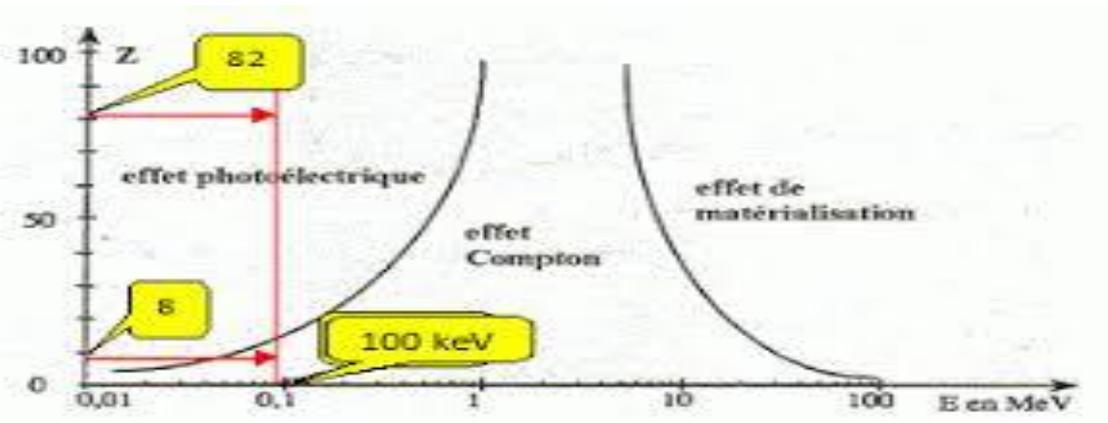


Figure (II.4) : Domination de chacun des effets d'interaction des photons en fonction de leur énergie

I.5. Coefficient d'atténuation

Un flux de photons traversant un matériau se trouve atténué par les interactions qu'il subit :

$$N_{int} = -dN = N_0 \mu dx \quad (\text{II.3})$$

Sachant que μ est le coefficient linéique global d'atténuation dont l'unité est le cm^{-1} . Il dépend de l'énergie des photons incidents et de la nature du matériau. La figure (II.5) donne les valeurs du coefficient d'atténuation massique dans plomb. Il suffit de le multiplier par la densité du matériau plomb pour avoir le coefficient d'atténuation linéique [33]. Il suffit d'intégrer cette formule on trouve le nombre de photons transmis :

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x} \quad (\text{II.4})$$

Où N_0 est le nombre des photons incidents; x est l'épaisseur traversée.

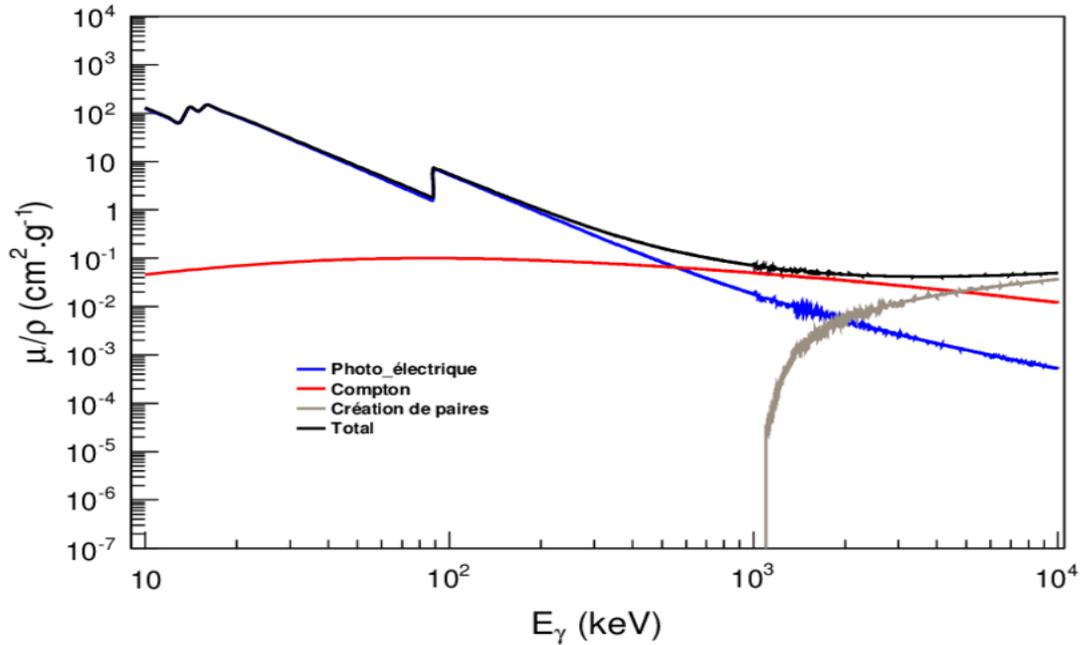


Figure (II.5) : Coefficients d'atténuation massique en fonction de l'énergie des photons dans le plomb

Partie II : De la spectrométrie gamma à la dosimétrie

Introduction

La spectrométrie gamma in fine a pour but de mesurer l'émission de photons gamma le domaine de 20 keV à 10 MeV, avec une résolution en énergie suffisante pour permettre l'observation de structures particulières dans le spectre en énergie. C'est dans ce domaine en énergie que sont émis les photons de désexcitation des noyaux d'atomes.

De la même façon que les transitions atomiques entre les niveaux d'énergie des électrons donnant naissance à des raies spectrales caractéristiques de l'élément impliqué, dans les domaines optique et ultraviolet, les transitions nucléaires entre les niveaux d'énergie d'un noyau excité donnent naissance à des raies spectrales à des énergies de quelques dizaines de keV à quelques MeV qui permettant d'identifier le noyau émetteur.

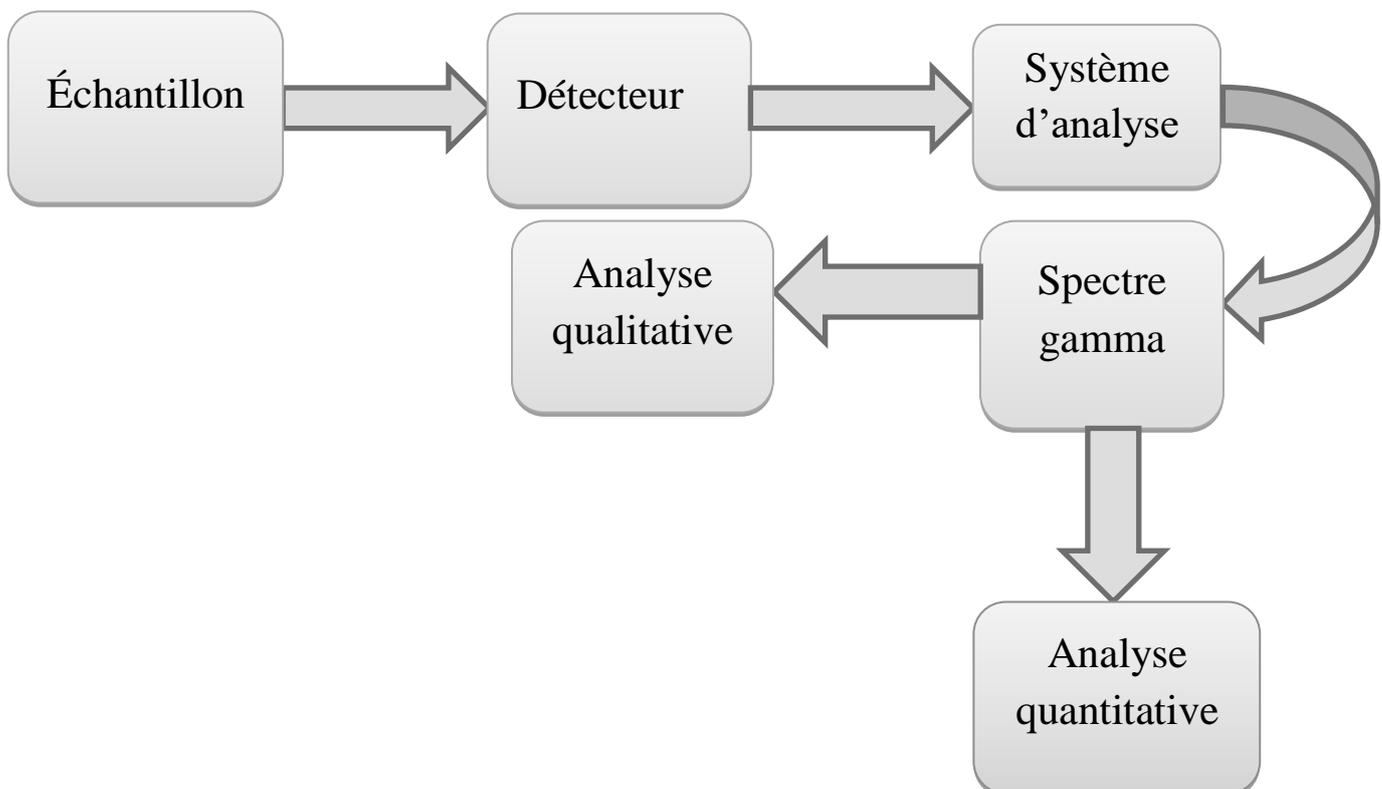
Les détecteurs gamma qui ont la meilleure résolution en énergie pour réaliser les mesures spectroscopiques les plus précises sont des semi-conducteurs en germanium (Ge). Ils ont une résolution en énergie de l'ordre de 0.2 %.

Le contrôle et la caractérisation radioactifs devient un besoin très important et obligatoire, pour répondre à ces besoins regroupés sous le terme de mesure nucléaire. Ces méthodes de mesure pouvant être destructives ou non destructives, permet les derrières on distingue la spectrométrie gamma.

II.1. Notions de base sur la spectrométrie gamma et les détecteurs GeHP

II.1.1. Principe physique de la spectrométrie gamma

La spectrométrie gamma est une technique non destructive de mesure nucléaire utilisée pour identifier et quantifier des éléments radioactifs par la mesure de l'énergie et du nombre des photons gamma émis par la source. Cette technique consiste à détecter les photons gamma émis en convertissant l'énergie qu'ils déposent dans le matériau adapté en signal électrique. Le traitement de ces signaux permet d'obtenir un histogramme ou spectre. A partir de l'histogramme enregistré ou spectre, il est alors possible d'identifier différents radioéléments (analyse qualitative) et de déterminer leurs concentrations (quantitatives) dans l'échantillon analysé.



La spectrométrie gamma a pour but l'identification des différents radioéléments présents dans un échantillon radioactif (d'après l'énergie du pic) et la détermination de leurs

activités (d'après l'aire du pic). On tire profit des informations issues de l'analyse du pic de pleine énergie (photoélectrique) et de l'étalonnage du détecteur en énergie et en efficacité. Le spectre obtenu est composé de raies qui constituent une représentation graphique du taux d'impulsions détectées en fonction de l'énergie [34]. Si on considère une source radioactive mono-énergétique (émettant une seule énergie), théoriquement le spectre devrait montrer une seule raie, mais comme l'interaction du rayonnement avec la matière donne lieu à des effets combinés (effet Compton, effet de matérialisation.) qui viennent se superposer avec l'événement dont on a besoin (effet photoélectrique) [35].

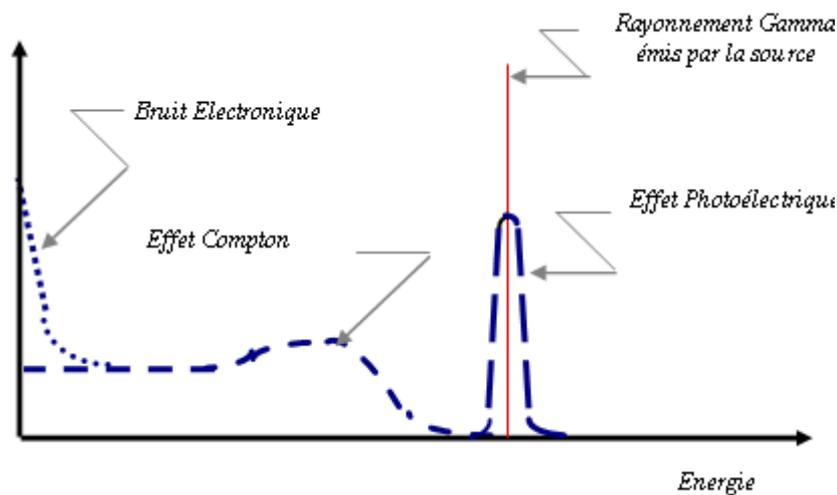


Figure (II.6) : Spectre enregistré à la sortie d'un analyseur multicanaux

II.1.2. Principe de la détection des photons

Le principe physique de la détection des rayonnements est basé sur leur interaction avec la matière constituant le détecteur. Lorsqu'un rayonnement d'énergie E traverse un milieu (détecteur), il cède une partie ou la totalité de son énergie à un ou des électrons du Ge, selon les différents processus d'interaction rayonnement-matière (effet photoélectrique, effet Compton, création de paires, ... etc.). Les électrons vont par collisions créer des paires électrons-trous dans le semi-conducteur. La quantité de charges obtenues est proportionnelle à l'énergie déposée par le photon : $Q \propto N_{charges} \propto E_{déposée}$.

Les charges sont rapidement collectées sur une capacité qui se décharge à travers une résistance. La tension aux bornes de la résistance produit donc une impulsion dont l'intégrale est proportionnelle à l'énergie déposée par le photon. Ce signal est ensuite amplifié et met en forme pour obtenir une impulsion dont la hauteur est proportionnelle à l'énergie déposée par le photon. La hauteur de cette impulsion est ensuite convertie en valeur numérique appelée numéro de

canal. On construit ainsi le spectre en comptant le nombre d'évènements dans chaque cana [31,36].

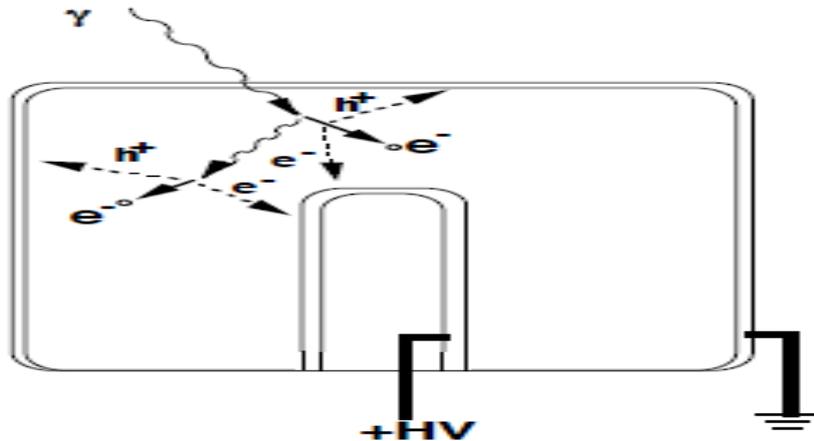


Figure (II.7) : Description du principe de détection des photons dans un détecteur Ge

II.1.3. Limitation et spécifications de la technique de mesure

II.1.3.1. Limite de détection

Pour les mesures de bas niveau, le critère décisif est la limite de détection, qui spécifie la contribution minimale de l'échantillon pouvant être détectée, avec une probabilité d'erreur donnée. Si B est le bruit de fond du détecteur, ϵ le rendement d'absorption totale et LTMH (*full width at half maximum*) la résolution, alors la limite de détection LD pour un temps de mesure Δt , peut s'exprimer de la façon suivante [37,38].

$$LD \propto \frac{\sqrt{B \cdot FWHM}}{\epsilon \cdot \Delta t} \quad (II.5)$$

Les limites de détection changent d'un élément à un autre et dépendent de plusieurs facteurs. Quelques éléments deviennent très radioactifs après irradiation, mais ce n'est pas le cas pour tous les éléments. Habituellement, la limite de détection dépend des "autres" éléments présents dans l'échantillon (la matrice), et amplifie le bruit de fond. Ce bruit ne produit pas des résultats faux. Mais les limites de détection passent à des valeurs élevées [39].

II.1.3.2. Bruit de fond

Le problème commun à toutes les expériences des mesures de la radioactivité est d'éviter, ou tout au moins de minimiser les événements de bruit de fond dus aux impuretés radioactives en provenance du détecteur lui-même, de son blindage et de l'environnement. Pour améliorer la limite de détection, le bruit de fond doit être réduit au maximum. Le spectre de bruit de fond est dû à la combinaison de différentes composantes :

- Les rayons gamma de l'environnement ;
- La radioactivité des matériaux qui construit le détecteur ;
- La radio pureté dans le blindage ;
- Les rayons cosmiques [31].

II.1.3.3. Rapport signal sur bruit

L'information la plus importante est donnée par les photons qui déposent toute leurs énergies dans le détecteur. Les photons gamma qui forment des paires (e+ e-), ainsi que les photons issus de l'annihilation du (e+) s'échappent aux compteurs : le dépôt d'énergie est alors partiel. Ces événements sont comptés par le détecteur mais ne contribuent pas aux pics de pleine énergie, ils constituent une grande source de bruit .la grandeur qui traduit la qualité du détecteur est le rapport signal /bruit appelé aussi pic sur total (pt) est donnée comme suit [40] :

$$PT = \frac{N_{pic}}{N_{dét}} \tag{II.6}$$

II.1.4. Nature physique et intérêt d'un détecteur Ge (HP)

II.1.4.1. Physique des semi-conducteurs

Dans un solide cristalline,les électrons ne peuvent occuper que des niveaux d'énergie situés à l'intérieur de bandes permises comme les bandes de valence et de conduction. Par définition, le passage des électrons de la bande de valence à celle de conduction est systématique pour un conducteur et impossible pour un isolant ; dans un cas intermédiaire, dit semi-conducteur, cette transition n'a lieu que suite à une excitation (agitation thermique ou particule ionisante).

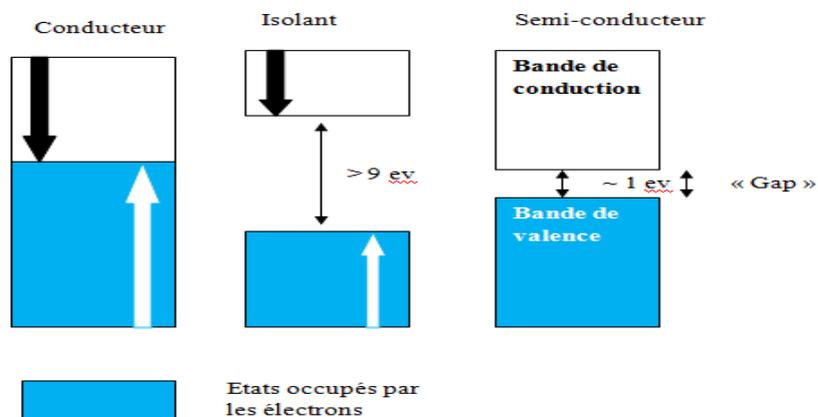


Figure (II.8) : Schéma de la structure de bandes électroniques dans un isolant, un conducteur et un semi-conducteur

L'écart entre bandes de valence et de conduction, noté E_g (énergie du gap) est typiquement de l'ordre de l'électronvolt pour un semi-conducteur. Si un champ électrique est appliqué dans le semi-conducteur, les électrons présents dans la bande de conduction (et les trous correspondants dans la bande de valence) deviennent mobiles et créent un courant. le dépôt d'une quantité d'énergie E_γ par un rayonnement ionisant peut se traduire par la création d'un nombre proportionnel de paires électrons-trous :

$$N_{eh} = \frac{E_\gamma}{W_{eh}} \quad (\text{II.7})$$

Où : W_{eh} est l'énergie nécessaire pour créer une paire électron-trou.

Afin de drainer les porteurs de charge jusqu'aux bornes du semi-conducteur (électrodes de collecte) sans recombinaison, il est nécessaire de former une zone désertée de tout porteur libre. Ce type de zone, dite zone de déplétion, est obtenue avec les semi-conducteurs par une polarisation inverse des jonctions PN ou PIN [41].

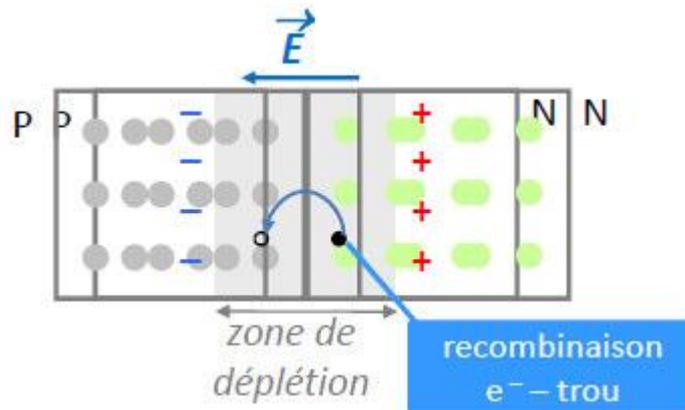


Figure (II.9) : Jonction PN polarisée en inverse pour augmenter l'efficacité de détection

II.1.4.2. Détecteur Ge (HP)

On distingue deux types de détecteurs germanium : les détecteurs compensés au lithium Ge (Li) et les détecteurs au germanium hyper pur Ge (HP). Les détecteurs Ge (Li) sont fabriqués du même façon que les détecteurs Si (Li). Cette génération de détecteur à et commercialisée depuis le début des années 60 jusqu'au début des années 80. Le lithium diffusant à température ambiante, les détecteurs Ge(Li) ne peuvent être utilisés à température ambiante. Les détecteurs germanium existent sous trois grandes catégories configurations géométriques, à savoir : configuration planaire, configuration coaxiale et configuration puits [42].

Ces trois catégories de détecteurs se distinguent avant tout par leur géométrie qui leur fait procurer des caractéristiques distinctes (Figure (II.10)) :

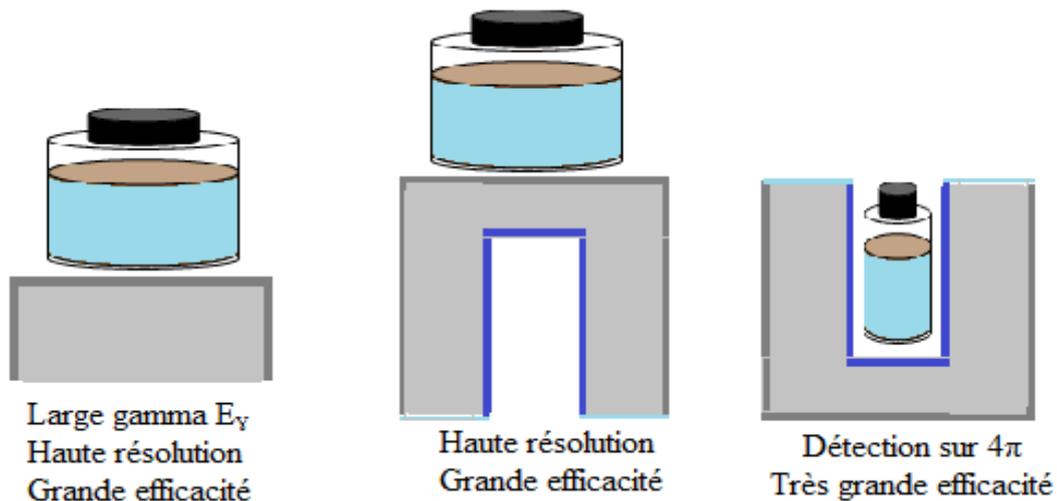


Figure (II.10) : Schéma de configurations des détecteurs Ge HP utilisées en spectrométrie γ .
Détecteur planaire (gauche), coaxial (milieu) et détecteur puits (droite)

- Détecteur planaire

Pour les détecteurs plans, les contacts électriques sont posés sur les deux surfaces parallèles. Ils sont obtenus par les techniques d'implantation ionique, par l'utilisation des accélérateurs ou par évaporation ou diffusion. La méthode d'implantation a pour avantage de produire des contacts très fins qui favorise une bonne détection à faible énergie. Généralement, un détecteur planaire a une fine fenêtre d'entrée à base de carbone époxy ou de béryllium, qui tient à la fois le détecteur sous vide et permet aux photons de faibles énergies de la traverser. Les détecteurs plans ont des diamètres de quelques centimètres et des épaisseurs qui vont jusqu' à 3 cm [42].

- Détecteur coaxial

De forme cylindrique avec la partie centrale creuse, les contacts électriques sont disposés le long de la surface externe et tapissent l'intérieur du cristal, avec une fenêtre d'entrée qui peut être en aluminium. Ils ont des gros volumes qui permettent d'optimiser les efficacités pour les hautes énergies. Ce type de détecteur est étendu à des basses énergies en remplaçant la fenêtre d'entrée par du béryllium. Le choix du cristal pour le détecteur dépend de la gamme fenêtre dénitée par du béryllium. D'énergie qui intéresse l'utilisateur. Le cristal de type p est recommandé pour des mesures de routine à moyenne et hautes énergies. Le coût d'un cristal p est supérieur à celui de type n, bien que ce dernier soit plus indiqué pour descendre à des énergies de l'ordre de kV avec

une bonne efficacité. Dans la littérature on trouve plusieurs études approfondies sur le processus de fabrication [42].

- Détecteur puits

Pour la mesure de faibles activités, l'utilisation d'un détecteur volumineux est nécessaire afin d'augmenter l'efficacité de la détection tout en réduisant le temps d'acquisition. Cependant, pour des sources très actives, des détecteurs à faible volume sont préconisés. Pour pallier les gros volumes du détecteur, les détecteurs puits sont plus appropriés la mesure de faible quantité d'échantillons et les basses énergies. Ils ont la même configuration que le coaxial sauf que le puits joue le rôle de réceptacle de l'échantillon. Ce dernier est positionné au centre du cristal, ce qui permet l'augmentation de l'efficacité de détection dans un angle voisinant les 4π . Le majeur inconvénient d'un détecteur puits, est sa grande sensibilité aux effets de pic-somme [42].

II.1.5. Spectrométrie gamma, quelle sensibilité par rapport aux autres techniques ?

La spectrométrie gamma est parmi les techniques d'analyse multi-élémentaires. Les plus utilisées pour les mesures environnementales. Cependant, elle est concurrencée par d'autres techniques en termes de sensibilité, telle que les mesures par spectrométrie de masse ICP-MS (Inductive LyCoupled Plasma Mass Spectrometry), AMS(Accelerator Mass Spectrometry), par la méthode optique ICP-OES (InductivelyCoupledPlasma Optical Emission Spectrometry) et les méthodes nucléaires (spectrométrie alpha, scintillation liquide, . . .).

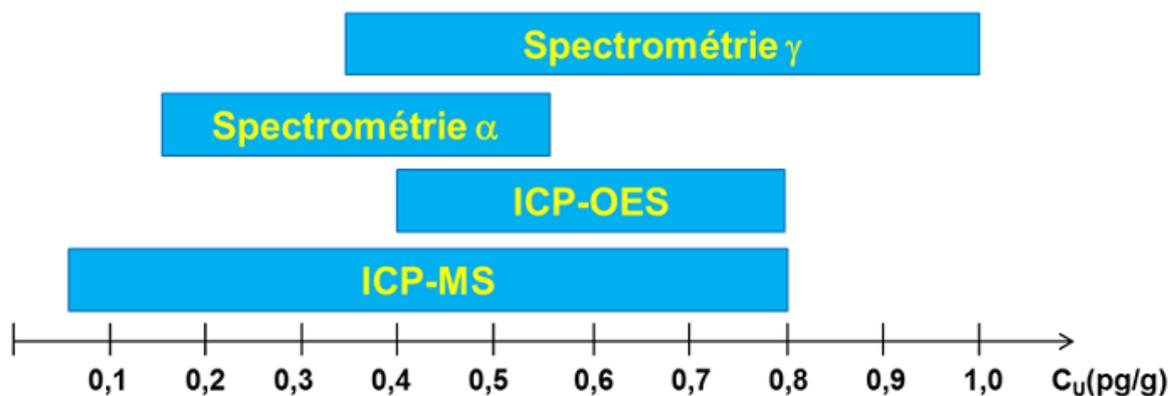


Figure (II.11) : Schéma comparatif des sensibilités de mesure des différentes techniques pour l'uranium

Pour les mesures des faibles radioactivités, le choix d'une technique dépend essentiellement de la période du radioélément et de l'intensité de la démission pour les méthodes radiométriques. La figure (II.11) montre une comparaison des sensibilités de mesures des différentes techniques pour l'uranium. Pour les radionucléides de longues périodes, la spectrométrie gamma est

certainement la moins performante, néanmoins elle présente d'autres avantages du fait de sa nature non destructive et sa simplicité d'utilisation [43].

II.2. Chaîne de mesure

Les détecteurs gamma qui ont la meilleure résolution en énergie pour effectuer les mesures spectroscopiques les plus précises sont des semi-conducteurs en germanium, ils ont une résolution en énergies de l'ordre de 2%. La chaîne de mesure est constituée d'un détecteur, un préamplificateur, un amplificateur, un convertisseur analogique numérique (ADC), une électronique d'acquisition et un logiciel d'analyse. La figure représente le schéma synoptique d'une chaîne de mesure dédiée à la spectrométrie γ .

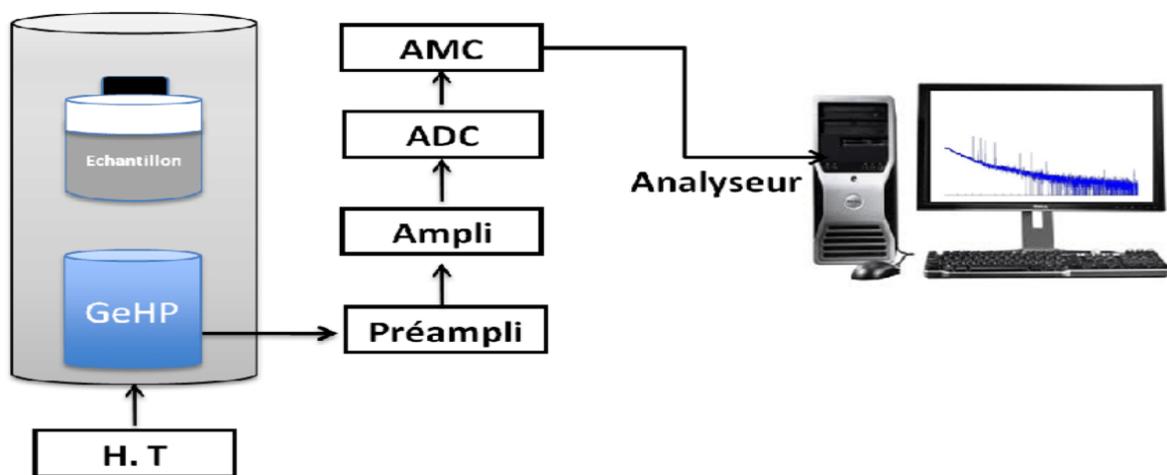


Figure (II.12) : Schéma simplifié d'une chaîne de spectrométrie gamma

II.2.1. Le détecteur

Les détecteur semi- conducteurs utilisés dans la spectroscopie nucléaire travaillent dans la gamme d'énergie entre 1kev et 10Mev.une fraction des rayons gamma émis par l'échantillon placé devant le détecteur frappent celui-ci et transmettent leurs énergies à un électron dans le cristal de germanium, qui excite à son tour d'autres électrons, en provoquant une avalanche des électrons secondaires. L'énergie des électrons primaires est utilisée pour la production d'une paire électron-trous qui sera par la suite collectée. Cette énergie est convertie en courant électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie du rayon incident [34].

II.2.2. Électronique associée aux détecteurs

Le rôle essentiel de l'électronique est d'assurer l'amplification, la mise en forme et l'acquisition du signal délivré par le spectromètre gamma.

- Alimentation haute tension

Tous les détecteurs de rayonnement gamma exigent une alimentation à haute tension pour fournir le champ électrique qui collecte la charge produite par l'interaction de rayons gamma dans le détecteur. Les alimentations électroniques utilisées doivent remplir les conditions suivantes :

- Entre réglables pour ces tensions imposées par les détecteurs (jusqu'à 5000 volts pour certaines jonctions).
- Pouvoir supporter sans haute de tension le courant débité par le détecteur (1 à 15 mA selon le détecteur).
- Etre stabilisées à hauteur de l'exigence des détecteurs.
- Ne pas présenter de dérives aux cours du temps.
- Avoir un bruit très faible [35].

- Préamplificateur

En général on a besoin d'éloigner le détecteur de l'électronique de traitement ; on dispose un préamplificateur au plus près du détecteur pour :

- Récupérer le maximum de signal ;
- Réduire le bruit ;
- Minimiser les effets capacitifs ;
- Adapter l'impédance élevée du détecteur avec la basse impédance du câble coaxial de transport du signal puis de l'électronique de traitement ;
- Effectuer une première mise en forme du signal (production de l'impulsion à traiter) ;
- Amplifier avec un gain fixe.

Il existe trois types de préamplificateurs :

- en tension ;
- en charge ;
- en courant.

Les préamplificateurs sensibles à la tension sont en général utilisés sauf pour les jonctions où on leur préfère ceux sensibles à la charge.

- Amplificateur

L'amplificateur porte l'impulsion fournie par le préamplificateur à plusieurs volts sous une forme quasi gaussienne qui permet au codeur de quantifier très précisément sa hauteur de plus, il permet de filtrer bon nombre de parasites de fréquence élevées. Les caractéristiques essentielles d'un amplificateur sont :

- La valeur du gain maximal en tension ;
- La plage de réglage des filtres (constantes de temps) ;
- La dynamique du signal de sortie (amplitude maximales) ;
- Le temps de restitution de la valeur de gain en cas de sur charge du signal d'entrée [36].

- Codeur ou convertisseur analogique-numérique

La conversion de la valeur de crête d'une impulsion en une valeur numérique se fait à l'aide d'un convertisseur analogique (CAN). Cette valeur est l'adresse à laquelle électronique acquisition incrémentera le contenu d'un canal de l'analyseur. Les principales caractéristiques d'un CAN sont :

- Le domaine de mesure (0-5 V ou 0-10 V) ;
- Le nombre de pas de conversion (4096, 8192 ou 16384) ;
- La linéarité intégrale et différentielle ;
- Le temps de conversion (temps morte) [36].

- Analyseur monocanal

L'analyseur, ou sélecteur, monocanal est fondé sur le principe suivant : deux discriminateurs bas associés à une fonction d'anti-coïncidences permettent de ne prendre en compte que les impulsions dont l'amplitude est comprise dans une fenêtre définie comme l'écart entre les deux seuils de discrimination. Il engendre une impulsion logique lorsque l'amplitude de l'impulsion analogique à l'entrée est comprise dans la fenêtre. En balayant avec une fenêtre constante l'ensemble des valeurs du seuil bas, on peut reconstituer un spectre d'amplitudes d'impulsions proportionnelles aux énergies cédées dans le détecteur.

- Analyseur multicanaux

Un analyseur multi canal comprend un codeur analogique numérique, une mémoire divisée en segments, aussi appelée canaux et un écran de visualisation, ces éléments permettent

respectivement de convertir les tensions électriques en nombre, de classer ces nombres dans les canaux de mémoire, et de visualiser le contenu de l'ensemble des canaux. Cette visualisation finale s'effectue grâce à un système incorporé ou bien en liaison avec un micro-ordinateur.

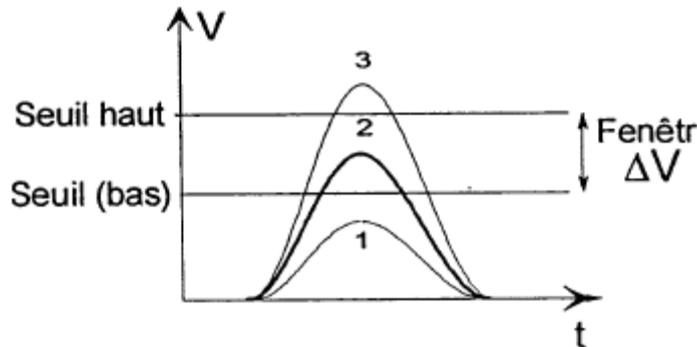


Figure (II.13) : Principe d'un analyseur monocanal

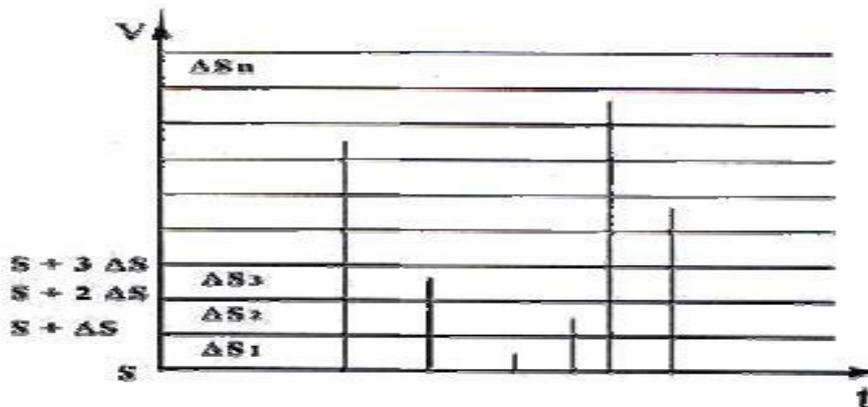


Figure (II.14) : Principe d'un analyseur multi-canal

II.2.3. Caractéristiques des performances d'un détecteur

Cette section présente les différents critères généralement utilisés pour caractériser et comparer les performances des détecteurs.

- Résolution en énergie

La résolution en énergie d'un détecteur est définie par la largeur à mi-hauteur du pic photoélectrique. Elle exprime la capacité d'un détecteur à séparer (résoudre) deux énergies très voisines. Elle est notée par FWHM (*Full Width at Half Maximum*). Plus la FWHM est petite, plus la résolution du détecteur est bonne. Expérimentalement, on peut aussi déterminer la résolution du détecteur en pourcentage en divisant FWHM par la valeur de l'énergie du rayonnement H_0 (Ou E), [36].

$$R(\%) = \frac{FWHM}{H_0} \quad (\text{II.8})$$

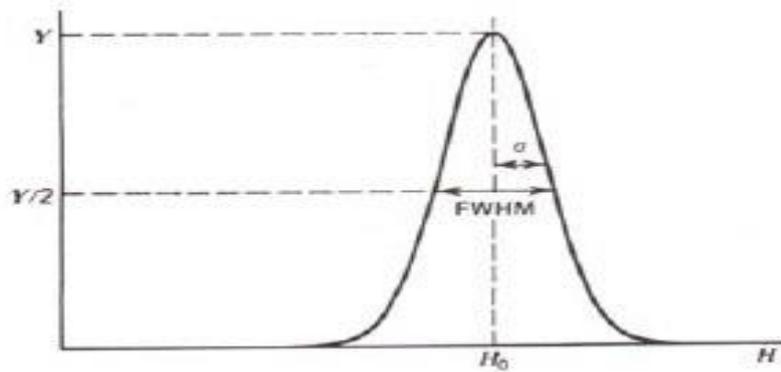


Figure (II.15) : Distribution gaussienne du pic d'absorption totale

Pour une courbe gaussienne, la largeur à mi-hauteur FWHM est proportionnelle à la fluctuation statistique (déviations standard) σ où $FWHM = 2,35 \sigma$. La réponse du détecteur est linéaire par rapport au nombre de charges créées $H_0 = k.n$, k est la constante de proportionnalité, et la déviations standard σ du pic est égale à $\sigma = k.\sqrt{N}$ (II.9). En conséquence,

$$FWHM = 2,35 \sigma = 2,35.K.\sqrt{N} \quad (II.10)$$

La résolution du détecteur due à l'erreur statique est $R (\%) = \frac{FWHM}{H_0} = \frac{2,35.K\sqrt{N}}{K.n}$ (II.11). Donc,

$$R (\%) = \frac{2,35}{\sqrt{n}} \quad (II.12)$$

Notons que dans la pratique la forme des pics n'est pas toujours parfaitement gaussienne [36].

- Efficacité de détection

L'efficacité de détection traduit la capacité de l'appareil à détecter un rayonnement spécifique pour une énergie spécifique et ainsi deux types d'efficacités sont déterminés [44]. L'efficacité absolue ou rendement d'un détecteur est le rapport des rayonnements mesurés sur les rayonnements émis par la source. L'efficacité est souvent exprimée en pourcentage du nombre de rayonnements incidents. Pour les compteurs de particules, on a :

$$\varepsilon_{abs} = \frac{\text{nombre d'impulsions comptées}}{\text{nombre de rayonnements émis par la source}} \quad (II.13)$$

L'efficacité intrinsèque ne prend en compte que les rayonnements ayant traversé le détecteur.

$$\varepsilon_{int} = \frac{\text{nombre d'impulsions comptées}}{\text{nombre de rayonnement recus par le détecteur}} \quad (II.14)$$

L'efficacité absolue est reliée à l'efficacité intrinsèque par la relation $\epsilon_{abs} = \frac{\Omega}{4\pi} \epsilon_{int}$ (II.15)

Où Ω est l'angle solide de détection ($\Omega = 2\pi(1 - \frac{d}{\sqrt{a^2+d^2}})$) (II.16) défini par la surface du détecteur vue de la source (Figure 14).

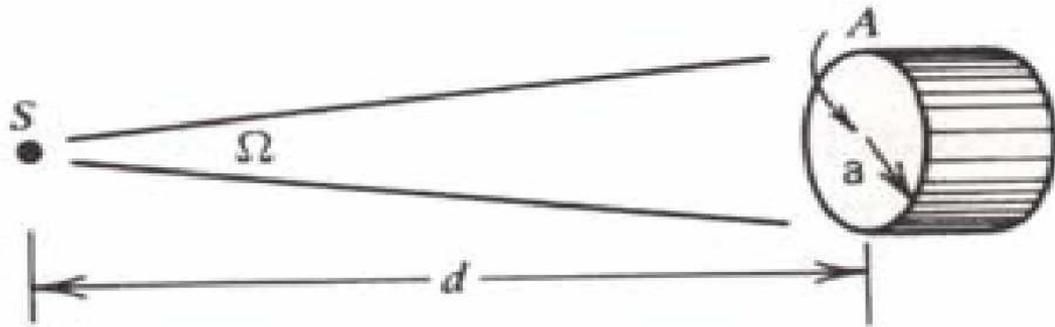


Figure (II.16) : Notion élémentaire d'angle solide

- Temps mort

L'électronique peut introduire des limitations sur le taux de comptage à cause des effets de temps mort et des problèmes liés à la collection de charge. Le temps mort correspond au temps minimal pour séparer deux évènements qui vont être transformés en deux signaux électriques distincts. Si une particule interagit avec le cristal alors que le signal délivré par une interaction précédente est en cours d'acquisition, elle ne donne lieu à aucun comptage car l'entrée est bloquée électroniquement. Le temps mort est relié à une limitation de l'électronique : les opérations telles que la conversion de la charge collectée aux électrodes en un signal électrique, l'amplification et le filtrage de ce signal nécessitent un temps assez long pendant lequel le signal est traité, sachant qu'un seul signal peut être traité à la fois. Les pertes de comptage liées au temps mort sont d'autant plus importantes que l'activité de la source est grande, car cela augmente la probabilité pour que deux gammas interagissent avec le cristal dans un laps de temps inférieur au temps mort. Le logiciel d'analyse de spectre fournit donc deux informations : le temps « réel » qui correspond au temps total pendant lequel les mesures ont été effectuées et le temps « actif » qui prend en compte le temps mort (le temps actif étant plus petit que le temps réel) [44].

II.3. Spectrométrie gamma à bas bruit de fond

Des activités peuvent être mesurées, suivant le type de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon, la taille et la géométrie de l'échantillon, le volume du cristal de Ge et le temps de la mesure. La technique de spectrométrie gamma à bas bruit de fond, grâce à sa grande sensibilité, est utilisée dans de nombreuses disciplines dès que l'on veut étudier ou suivre le comportement de noyaux radioactifs [45].

II.3.1. Origine du bruit de fond d'un détecteur Ge (HP)

Le spectre de bruit de fond est dû à la combinaison de différentes composantes : la radioactivité des matériaux qui construisent le détecteur et les rayonnements cosmiques.

II.3.1.1. La radioactivité des matériaux

Elle a trois origines essentielles :

- une radioactivité naturelle qui regroupe les chaînes de ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th ainsi que ^{40}K ;
- une radioactivité artificielle (^{137}Cs produit des retombées des expérimentations d'engins nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl, ^{60}Co produit de l'utilisation de sources industrielles) ;
- une radioactivité cosmogonique créée par le rayonnement cosmique.

II.3.1.2. Les rayonnements cosmiques

Il est composé principalement de muons (75%), d'électrons, de protons (25%) et de neutrons (quelques %). Il est à l'origine de particules secondaires créées essentiellement dans le blindage et détectées par le spectromètre.

II.3.2. Optimisation du blindage

Le problème commun à toutes l'expérience nucléaire est d'éviter, ou tout au moins de minimiser les événements de bruit de fond dus aux impuretés radioactives en provenance du détecteur lui-même ou de son blindage ou du à la radioactivité. D'autre part les processus de contrôle de l'environnement demandent également des spectromètres gamma à très bas bruit de fond de façon à accroître les sensibilités de mesure. C'est pour répondre à ces demandes, il est nécessaire d'optimiser le blindage du détecteur [46]. Le choix du blindage dépend de la nature du matériau (densité et Z) et de son épaisseur. Au regard d'un certain nombre de caractéristiques (Z important, facilité d'usinage, coût, pureté...) un matériau s'impose largement : le plomb [37].

III. Dosimétrie des rayonnements

La dosimétrie est un moyen de mesure de la dose des rayonnements, absorbée par la matière et de contrôle du bon fonctionnement de l'installation. Comme elle représente une assurance de résultats et de qualité pour les produits traités et une maintenance des performances des mesures acceptables [49]. En réalité, ce terme recouvre un ensemble de concepts qu'il convient de définir, Peut être classé en des grandeurs.

III.1. Grandeurs physiques

En radioprotection, les grandeurs physiques utilisées sont la fluence, le kerma et la dose absorbée.

III.1.1. La fluence

La fluence, notée Φ , est le rapport de dN par da , où dN est le nombre de particules incident en traversant une sphère de section da :

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (\text{II.17})$$

L'unité de la fluence est le m^2 .

III.1.2. Le kerma

Le kerma (Kinetic Energy Released in Matter), noté K , est le rapport de dE_{tr} par dm , où dE_{tr} est la somme des énergies cinétiques initiales de toutes les particules ionisantes chargées libérées par les particules ionisantes non-chargées dans un élément de volume de masse dm : $K = \frac{dE_{tr}}{dm}$. (II.18)

L'unité du kerma est le joule par kilogramme (J/kg), exprimée en Gray (Gy).

III.1.3. la dose absorbée

D est le quotient de $d\bar{\epsilon}$ par dm , $d\bar{\epsilon}$ est l'énergie moyenne impartie par le rayonnement ionisant à la masse dm de matière : $D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$ (II.19)

D est la valeur moyenne de la dose dans le volume de masse dm . Son unité [J kg^{-1}], est appelée le gray (Gy) : $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

III.2. Grandeurs de protection

Les grandeurs de protection, à savoir la dose équivalente à l'organe et la dose efficace sont associées aux doses absorbées dans l'organisme résultant d'une exposition externe ou interne.

Ces grandeurs ne sont pas directement mesurables, mais c'est à elles que s'appliquent les limites réglementaires, tant pour les doses reçues annuellement par les travailleurs que pour la délimitation des zones de travail [56].

III.2.1. Grandeurs dosimétriques

III.2.1.1. Dose équivalente

Pour un organe exposé à des rayonnements ionisants de types et d'énergies différents, la dose équivalente à l'organe est une somme pondérée des doses absorbées, exprimées en gray (Gy), dans cet organe associé aux divers rayonnements. La dose absorbée associée à chaque rayonnement d'un type et d'une énergie donnés est multipliée par le facteur de pondération pour le rayonnement correspondant qui tient compte, aux faibles doses, de la différence d'effet que peut induire chaque Type rayonnement.

Type de Rayonnement	W_R
Photon (toutes les énergies)	1
Electrons (toutes les énergies)	1
Neutrons	5
Energie inférieure à 10 Kev	10
De 10 à100 Kev	20
De 100Kev à 2 Mev	10
De 2 Mev à 20 Mev	10
Au-dessus de20 Mev	5
Protons d'énergie supérieure à 2 Mev	5
Particules alpha, fragments de fissions, noyaux lourds	20

Tableau(II.1) : Facteur de pondération radiologique W_R

La dose équivalente H_T à l'organe T est donnée par la relation : $H_T = \sum_R W_R D_{TR}$ **(II.20)**

Où : W_R est le facteur de pondération pour le rayonnement R, ces valeurs sont représentées dans le tableau (II.1). D_{TR} La dose absorbée dans l'organe ou tissu T exposé au rayonnement R [50]. H_T a les dimensions d'une énergie par masse unité. Pour ne pas risquer de la confondre avec une dose absorbée, parce que H_T n'est employé qu'en radioprotection, on lui attribue une unité spéciale, le sievert (Sv), telle que : $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ [51].

III.2.1.2. Dose efficace

La dose efficace est la somme des doses équivalentes aux différents organes et tissus du corps multipliées par des facteurs de pondération. Un des principaux objectifs de la dose efficace E est ainsi de quantifier les effets (cancers, probabilité d'effets héréditaires, perte de vie, ...) sur le corps entier d'un individu exposé à une irradiation locale. Pour ce faire, le facteur de pondération tissu est ajouté au concept de la dose équivalente selon l'équation :

$$E = \sum_T W_T H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{TR} \tag{II.21}$$

Où : H_T est la dose équivalente dans le tissu ou organe T et W_T est le facteur de pondération du tissu pour le tissu T. Le tableau suivant présente les valeurs du facteur de pondération W_T .

Tissus ou organes	$W_T(\%)$
Gonades	20
Moelle osseuse, Colon, Poumons, Estomac	12
Vessie, Sein, Foie, Œsophage, Thyroïde	5
Peau, Surface des os	1
Autres	5

Tableau (II.2) : Facteurs de pondération W_T Pour différents tissus et organes

III.2.1.3. Dose engagée

Les grandeurs dosimétriques (exposition, KERMA et dose absorbée) concernent uniquement l'exposition externe due aux rayonnements ionisants. Dans le cas de l'incorporation de radionucléides (exposition interne), l'irradiation dure tant que les radionucléides séjournent dans l'organisme. Leur décroissance est liée à leur période effective. T_e tient compte à la fois de la période physique T_p et de la période biologique T_b .

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b} \tag{II.22}$$

La dose reçue par un individu résultante de l'incorporation de radionucléides est donc intégrée sur une durée définie, on parle alors de dose engagée [42].

III.2.2. Grandeurs radiologiques

Pour évaluer les effets radiologiques pour les échantillons, il faut calculer certaines grandeurs :

III.2.2.1. Radium équivalent (Ra_{eq})

Le radium équivalent est l'indice commun exigé pour comparer les activités spécifiques des différents échantillons qui contiennent le ^{226}Ra , le ^{232}Th et le ^{40}K , qui prend les risques des rayonnements liés à eux. Le Ra_{eq} est défini comme suit :

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.77A_K \quad (\text{II.23})$$

Où : A_{Ra} , A_{Th} et A_K sont les activités spécifiques de ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K en Bq/kg respectivement. Les valeurs de Ra_{eq} doivent être inférieures à 370 Bq/kg pour une utilisation sûre [52].

III.2.2.2. Indice du risque externe (H_{ex})

Il est délivré pour limiter l'exposition aux rayonnements causés par l'utilisation des matières premières de la construction contenant des concentrations élevées des radionucléides naturels [53]. L'indice de risque externe est défini par la relation suivante :

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \quad (\text{II.24})$$

III.2.2.3. Indice du risque interne (H_{in})

En plus du risque externe, le radon et ses produits de courte durée sont également dangereux aux organes respiratoires. L'exposition interne au radon et à ses descendants est quantifiée par l'indice du risque interne, H_{in} qui est défini par la relation suivante :

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \quad (\text{II.25})$$

Pour une utilisation sans restriction, des matières premières de construction, H_{in} doit être inférieur à 1.0 [52].

III.2.2.4. Débit de dose absorbée dans l'air

Etant donné que les radionucléides naturels ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , sont uniformément répartis sur la terre, le débit de dose du au rayonnement gamma dans l'air extérieur à 1.0 m au-dessus du sol peut être calculé de nGy/an en utilisant la formule :

$$D = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.041A_K \quad (\text{II.26})$$

La valeur acceptable pour le débit de dose absorbée externe doit être inférieure à 59 nGy h^{-1} [48].

III.2.2.5. Taux de dose effective annuel

Il est calculé pour chaque ville à l'aide du facteur de conversion de 0.75 nGy^{-1} qui se traduit par le débit de dose absorbée (nGy h^{-1}) dans l'air à la dose efficace (mSv an^{-1}) et que comprend un facteur d'occupation extérieure de 0.2 [52].

$$H_R (\text{mSv.y}^{-1}) = D_R (\text{nGy.h}^{-1}) \times N_h (\text{hy}^{-1}) \times 0.7 (\text{SvGy}^{-1}) \times 0.2 \times 10^{-6} \quad (\text{II.27})$$

Où : D_R est les débits de dose absorbée dans l'air (nGy h^{-1}) et N_h (8766 hy^{-1}) est le nombre d'heures en 1an (365.25 jours en prenant l'année bissextile en compte).

Dans le dernier chapitre de cette mémoire, on revient sur les applications de ces différentes grandeurs par spectrométrie γ pour l'évaluation dosimétrique de quelques échantillons.

Chapitre III

Mesures expérimentales,

Résultats et discussion

Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre de mesure des faibles activités environnementales. Il porte sur l'analyse et la caractérisation de cinq échantillons de plantes médicinales par la technique de spectrométrie gamma à bas bruit de fond et l'évaluation de l'impact radiologique associé. Les mesures expérimentales sont réalisées au sein du Laboratoire Chrono-environnement de l'Université Bourgogne Franche-Comté (France). La première partie de ce chapitre concerne un aperçu général sur les problèmes liés aux mesures des faibles radioactivités, les échantillons analysés, l'instrumentation ainsi que les mesures réalisées. Dans la dernière partie nous présenterons les résultats obtenues et leurs discussions.

Partie I : Mesure des faibles radioactivités, échantillonnage, instrumentation et mesure

Les mesures de radioactivité posent un certain nombre de problèmes dont dépend étroitement de l'activité mesurée et de l'utilisation ultérieure du résultat.

I.1. Problèmes liés aux mesures des faibles radioactivités

- **Problème de géométrie** : dépendant de l'angle solide de détection (ensemble géométrique : source-détecteur).
- **Pertes de comptage dues au détecteur** : qui sont dues au temps mort caractérisant le détecteur BEGe.
- **Effet de coïncidences vrai (pic somme)** : Le phénomène de coïncidence intervient lorsque deux raies gamma γ_1 et γ_2 sont émises en cascade et qu'elles sont détectées simultanément, on obtient une impulsion correspondant à la somme des énergies déposées dans le détecteur par les deux raies.
- **Auto-absorption** : Un photon gamma émis au sein d'un milieu possède un parcours moyen, distance parcourue avant son interaction avec son environnement, dépendant de son énergie et de la densité du milieu traversé. Lorsqu'un photon est émis au sein d'une matrice volumique et homogène, il est possible qu'il interagisse avec des atomes de sa propre matrice se trouvant sur sa trajectoire. Dans ce cas il est considéré comme perdu.

I.2. Préparation et conditionnement des échantillons

I.2.1. Échantillons à analyser

Dans ce travail, on s'est intéressé par cinq plantes médicinales : Rosemary, Gingembre, fonouil, ocimums et camomile. Le tableau (III.1) présente quelques caractéristiques de ces échantillons analysés.

Plante	Dénomination scientifique	Masse (g)	Bienfaits
Rosemary	Salvia rosmarinus (rosmarinus)	17,08	<ul style="list-style-type: none"> - Favorise la digestion, régule les lipides, améliore la circulation sanguine. - Accélère la pousse des cheveux. - Soulage les rhumatismes.
Gingembre	Zingiber officinale	27.46	<ul style="list-style-type: none"> - Améliore la digestion. - Anti-inflammatoire. - Renforce le système immunitaire.
Fonouil	Foeniculum officinale	29.05	<ul style="list-style-type: none"> - Antispasmodique et sédative. - Régule le taux de cholestérol dans l'organisme. - Aide à la sudation et apaise l'inflammation.
Ocimum	Ocimum basilicum	22.61	<ul style="list-style-type: none"> - Aide à améliorer la digestion, en réduisant les flatulences. - Soulage les aigreurs d'estomac. - Aide à soutenir la détoxification hépatique.
Camomile	Chamaemelum	10.75	<ul style="list-style-type: none"> - Traite les troubles digestifs (dyspepsie). - Permet de lutter contre l'agitation ainsi que l'anxiété. - Soulage les irritations et les inflammations de la peau.

Tableau (III.1) : Caractéristiques des échantillons analysés

I.2.2. Préparation des échantillons

La préparation des échantillons nécessite un ensemble d'étapes du prélèvement jusqu'au conditionnement : le séchage, le broyage, le tamisage et le conditionnement.

- Prélèvement : Pour qu'un échantillon soit analysable et pour que les résultats des analyses pratiquées soient exploitables, les conditions suivantes doivent être respectées : une quantité de matière suffisante à l'analyse souhaitée, une fiche d'identification levant toute ambiguïté sur l'origine et la date de prélèvement de l'échantillon.

- Séchage : La teneur en eau (caractère hygroscopique) de certains échantillons peut biaiser la mesure. Pour éviter ce biais, le séchage de ces derniers est nécessaire à une température variant de 40°C à 100°C.

- Broyage : il permet d'assurer l'homogénéité de l'échantillon et son conditionnement dans un flacon (porte échantillon) adéquat.

- Tamisage : l'échantillon est fréquemment tamisé pour avoir la même taille des grains et de retirer les débris divers.

- Conditionnement : afin d'améliorer la représentativité de l'échantillon et de la mesure, il convient d'homogénéiser cet échantillon et de le conditionner dans une géométrie équivalente à celle de l'étalon.

Les échantillons de forme et de géométrie différentes, dont l'activité sera déterminée, présentent une distribution de radioactivité hétérogène. Les radioéléments recherchés sont le ^{226}Ra , le ^{232}Th et le ^{40}K . Pour obtenir des échantillons homogènes, ces derniers sont séchés à 100°C pendant 24 heures, puis broyés et tamisés (200 μm). Avant toute mesure par spectrométrie gamma, les échantillons tamisés ont été conditionnés et scellés dans des conteneurs standardisés SG50 étanches au radon pendant un mois, pour obtenir l'équilibre séculaire correspondant à 7 demi-vies de ^{222}Rn (3,8 jours) entre les radionucléides. Cette étape est nécessaire pour veiller à ce que le radon est confiné dans le volume et les descendants resteront également dans l'échantillon.

I.3. Instrumentation

I.3.1. Description du spectromètre BEGe (Broad Energy Ge)

Dans ce travail, le détecteur utilisé pour la quantification des émetteurs gamma est un GeHP de configuration planaire BEGe (Modèle BE3825, CANBERRA). L'une des caractéristiques des détecteurs plans est leur grande performance en matière d'efficacité pour la détection des photons gamma de basse énergie. Le BEGe peut justifier de cet avantage grâce notamment à sa

très fine fenêtre d'entrée en carbone époxy d'une épaisseur de 0,6 mm. Le système de détection est caractérisé par une efficacité relative de 20 % et d'une résolution nominale FWHM de 0,38 à 5,9 keV, 0,628 à 122 keV et 1,724 à 1332,5 keV. Il est ainsi doté d'une zone latérale entourant la zone active du cristal de l'ordre de 0,6 mm. Le cristal se caractérise par une épaisseur de 2,55 cm et un diamètre de 3,55 cm. Les matériaux qui entourent le cristal de germanium sont des matériaux de faible activité, notamment le cuivre du holder ainsi que l'aluminium du capot, une paroi supplémentaire en plomb archéologique de 2 cm a été ajoutée à l'intérieur du blindage en plomb initial 15 cm. cette configuration est donc faite de telle sorte à réduire bien efficacement le bruit de fond sur les spectres mesurés.

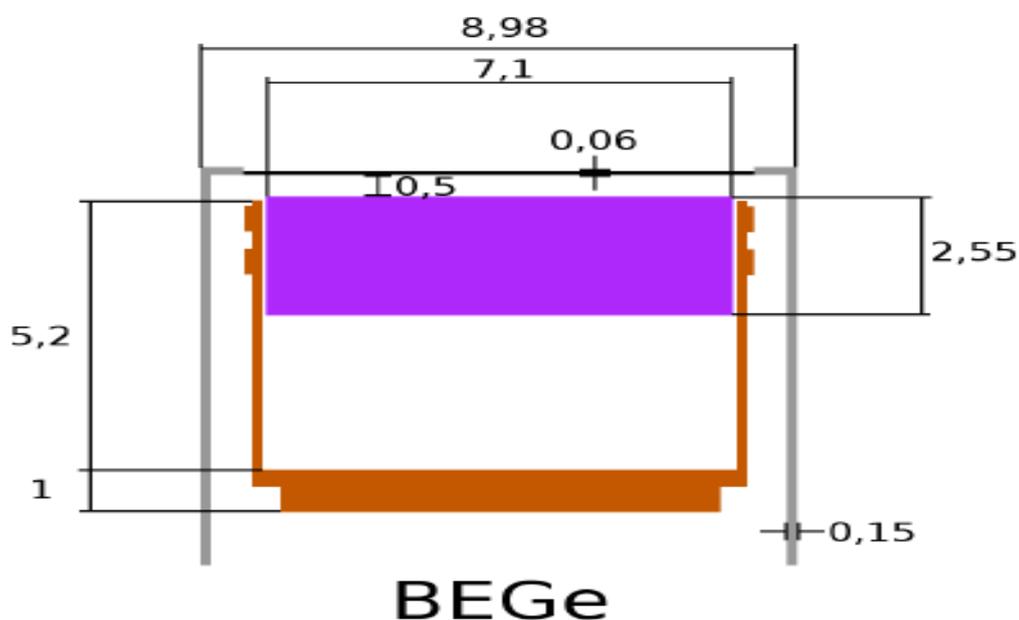


Figure (III.1) : Cotes et dimensions du détecteur BEGe

Caractéristiques	BE3825
Gamme d'énergie	5 KeV à 2 MeV
Surface	3800 mm ²
Epaisseur	25 mm
Efficacité nominale	> 28 %
Résolution à 5,9 keV	< 450 eV
à 122 keV	< 750 eV
à 1332 keV	< 2100 eV
Diamètre capot	89 mm

Tableau (III.2) : Caractéristiques de détecteur BEGe (BE3825)

II.3. Mesures expérimentales

II.2. Étalonnage du dispositif de mesure

L'analyse par spectrométrie gamma repose sur l'étude des pics d'absorption totale observés dans le spectre enregistré suite à la mesure d'un radionucléide donné. La relation entre le nombre d'impulsions enregistrées dans un pic et l'activité du radionucléide émettant les photons d'énergie correspondante nécessite la connaissance précise de l'efficacité d'absorption totale pour cette énergie, dans les conditions géométriques de la mesure. L'étalonnage en efficacité expérimentale conduit à des couples de valeurs discrètes de type (E; $\epsilon(E)$). La bonne interprétation des spectres relève donc du bon étalonnage des dispositifs de mesure, particulièrement les détecteurs gamma.

II.2.1. Standard de référence IAEA-447

Pour l'analyse des échantillons environnementaux, le standard de référence IAEA-447 commercialisé par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) a été choisi [54]. Ce standard est un échantillon de sol de nature organique contenant de la mousse (sol moussu). Ces principales caractéristiques sont les suivantes :

- il est commercialisé en assez grande quantité. Il est alors tout à fait possible de créer n'importe quelle géométrie selon l'échantillon à analyser ;
- il est de type sol, ce qui peut se rapprocher au mieux de la nature des échantillons à analyser ;
- les activités spécifiques des radioéléments sont certifiées.

Radionuclide	Valeur certifiée (Bq.kg ⁻¹)	Incertitudes (Bq.kg ⁻¹)
¹³⁷ Cs	425	10
²⁰⁸ Tl	13,0	0,5
²¹⁰ Pb	424	20
²¹⁰ Po	423	10
²¹² Pb	37,0	1,5
²¹⁴ Pb	26,0	2,0
²¹⁴ Bi	24,8	2,0
²²⁶ Ra	25,1	2,0
²²⁸ Ac	37,0	2,0
²³⁴ Th	25,5	2,0
²³⁴ U	21,8	3,0
²³⁸ U	22,2	0,8
²³⁸ Pu	0,15	0,015
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,3	0,16
²³² Th	37,3	2,0
²⁴¹ Am	2,2	0,2
⁴⁰ K	550	20
⁹⁰ Sr	5,0	0,3
²⁴¹ Pu	8,0	1,0

Tableau (III.3) : Activités du standard IAEA-447 à la date de référence (15/11/2009)

Le standard IAEA-447 contient les radionucléides naturels tels que les isotopes des séries ²³⁵U et ²³⁸U, ²³²Th ainsi que le ⁴⁰K (Tableau (III.3)). Il a accumulé en plus des radionucléides artificiels provenant des retombées atmosphériques comme le ¹³⁷Cs, l'²⁴¹Am ainsi que les isotopes 239, 240 et 241 du plutonium. Ces radionucléides avec leurs pics respectifs (raies gamma caractéristiques) ont été utilisés pour déterminer la courbe d'efficacité expérimentale pour la gamme d'énergies compris entre 45 et 2615 keV. Les radionucléides présents dans ce standard et leurs activités spécifiques certifiées à la date de référence du "15 Novembre 2009" sont représentés dans le tableau 3.1 [54]. Les activités spécifiques, autrement dit activités restantes au jour de l'étalonnage du détecteur BEGe, sont estimées par le logiciel DARWIN. Ce logiciel élaboré et distribué par le CEA est un ensemble de programmes de calculs de grandeurs physiques intéressant le cycle du combustible. Pour cette étude, nous avons utilisé ce logiciel pour déterminer les activités des radioéléments d'une filiation radioactive. L'évolution en fonction du temps des concentrations des noyaux radioactifs est régie par des équations différentielles appelées équations de Bateman. Les activités spécifiques des radioéléments présents dans le

standard IAEA-447 estimées par le logiciel DARWIN au jour de l'expérience sont répertoriées dans le tableau (III.4) [55].

Radionuclides	Activité (Bq.kg ⁻¹)	Incertitudes (Bq.kg ⁻¹)
¹³⁷ Cs	383,5	9,0
²¹⁰ Pb	378,7	18,0
²¹⁰ Po	378,7	9,0
²¹² Pb	8,3	0,3
²²⁶ Ra	25,1	2,0
²²⁸ Ac	15,5	0,8
²³⁴ U	21,8	0,8
²³⁸ U	22,2	0,8
²³⁸ Pu	0,15	0,02
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,3	0,2
⁴⁰ K	550	20
⁹⁰ Sr	4,5	0,3
²³² Th	37,3	2,0
²⁴¹ Am	2,2	0,2
²⁴¹ Pu	6,5	0,8

Tableau (III.4) : Activités du standard IAEA-447, au jour de l'acquisition estimées par le logiciel Darwin (activités restantes)

Une fois les activités restantes de ces radionucléides sont calculées (Tableau (III.4)), il est possible donc de choisir la géométrie de mesure du standard pour qu'elle soit identique à celle des échantillons qu'on veut analyser. On peut alors exprimer l'efficacité absolue de détection comme suit [56] :

EQ

avec C rassemblant toutes les éventuelles corrections à appliquer, à savoir : la correction d'auto-absorption et la correction de coïncidence.

Une quantité de 48 grammes du standard IAEA-447 a été emballée et scellée dans un conteneur en polyéthylène de géométrie standardisée SG50 pendant 4 semaines avant d'effectuer les mesures, afin d'assurer l'équilibre séculaire. Ensuite, l'étalon est positionné au contact de la fenêtre du détecteur et mesuré pendant 250.10³ s. Généralement, les échantillons environnementaux présentent des niveaux d'activité faibles. Pour avoir des résultats

statistiquement significatifs, il est nécessaire d'effectuer des mesures sur des durées de comptage relativement longues, qui peuvent aller jusqu'à plusieurs jours.

II.2.2. Étalonnage en énergie

La calibration en énergie permet de définir un lien entre le numéro de canal (compris entre 1 et 8192) et l'énergie. Cette correspondance canal-énergie doit être réalisée avant toute acquisition, sous peine d'obtenir des spectres gamma décalés en énergie. Pour la réaliser, la nature de la source à utiliser n'est pas un critère. Elle peut être volumique, ponctuelle, mono-énergétique ou multi-émettrice. La seule condition nécessaire est de connaître parfaitement l'énergie des photons qu'elle délivre.

L'étalonnage en énergie du détecteur BEGe a été réalisé dans un premier temps avec une source ponctuelle de ^{60}Co émettant des photons γ à 1,17 MeV et 1,33 MeV (Figure III.2). Cela a permis de repérer un éventuel décalage en énergie. La calibration complète a ensuite été réalisée avec une source volumique de ^{152}Eu émettrice de photons γ sur une large gamme d'énergie allant de 120 à 1400 keV. Les canaux et les énergies sont reliés par une relation polynomiale telle que [48] :

$$E = \sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i \quad (\text{III.29})$$

Cette relation peut être obtenue directement par le logiciel Génie-2000, ou peut être trouvée manuellement en répertoriant le numéro de canal associée à son énergie. L'étalonnage réalisé pour le détecteur BEGe donnait une relation où $n = 2$. Cet étalonnage en énergie est très important, notamment pour pouvoir utiliser les bibliothèques de données, les radioéléments étant définis à partir des énergies de leurs photons γ émis.

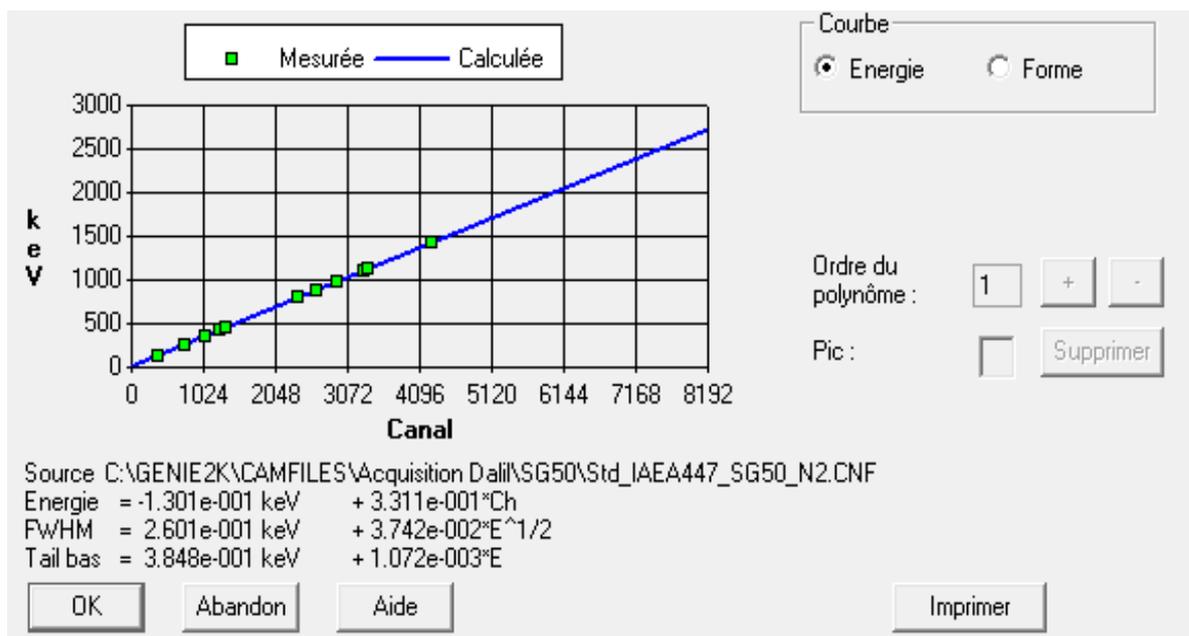


Figure (III.2) : Courbe d'étalonnage en énergie

Spectre expérimental de l'IAEA-447

La figure (III.3) représente le spectre expérimental du standard IAEA-447 mesuré en utilisant le détecteur BEGe pour un temps d'acquisition de 250.10^3 secondes. Les flèches indiquent les pics caractéristiques de chaque émetteur gamma présents. L'identification des pics se fait à partir des bibliothèques dans Genie 2000 contenant toutes les informations sur les radionucléides (énergie, probabilité d'émission...). La bibliothèque utilisée dans ce travail est Lib-Sediment.NLB qui contient les descendants de ^{238}U , ^{232}Th et l'élément primordial ^{40}K .

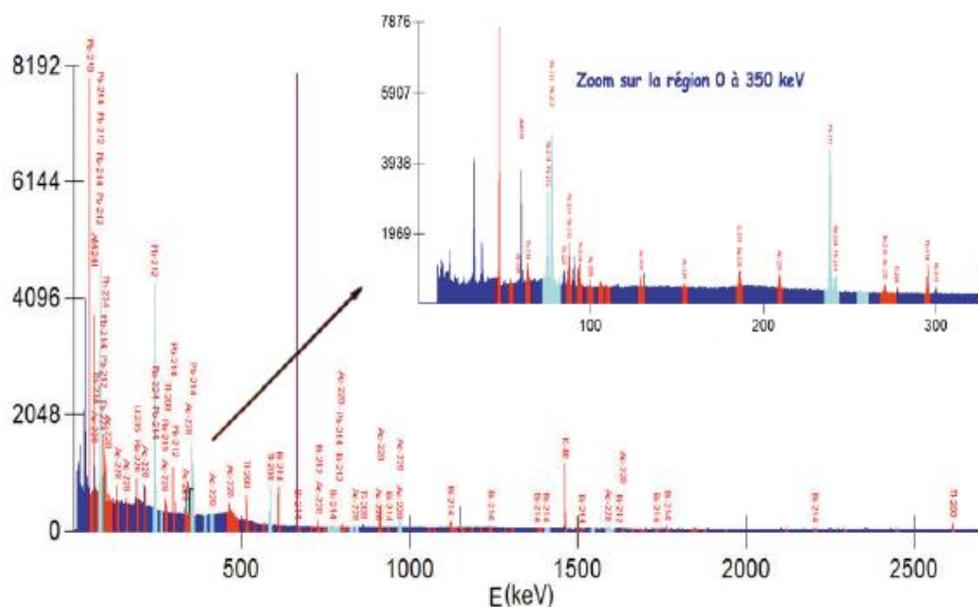


Figure (III.3) : Spectre expérimental du standard IAEA-447

II.2.3. Étalonnage en efficacité

L'étalonnage en efficacité donne le lien entre le nombre de coups relevés sur le spectre et le taux de désintégration des isotopes. Il est indispensable pour mener à bien une analyse quantitative des radioéléments présents dans les échantillons. L'activité des échantillons reposera sur cet étalonnage, de ce fait s'il y a une erreur sur l'efficacité, celle-ci se reportera inévitablement sur l'activité.

Le premier critère pour choisir la source ou l'échantillon standard qui nous permettra d'obtenir notre courbe étalon est la faible incertitude associée aux activités connues des radioéléments qui y sont présents. Le deuxième critère est la similitude entre les caractéristiques physico-chimiques du standard et de l'échantillon d'étude, c'est-à-dire la même géométrie et la même matrice. Nous verrons, dans la suite de ce chapitre, que ce critère est primordial et qu'une différence peut engendrer une mauvaise estimation de l'activité de l'échantillon d'étude. Dans l'idéal, les radioéléments présents dans le standard devraient être mono énergétiques afin d'éviter tout problème de coïncidence entre les photons gamma. Réunir tous ces critères reste cependant très difficile et il faut faire des compromis pour déterminer la courbe étalon. Cette courbe suit celle des sections efficaces avec le matériau détecteur. Chaque allure de la courbe d'efficacité dépend de la nature du détecteur, mais classiquement elle augmente à basse énergie jusqu'à un maximum vers 100 à 200 keV, puis décroît à des énergies plus importantes. Différents ajustements non linéaires existent afin de retrouver l'efficacité de détection pour n'importe quelle énergie. L'efficacité déterminée à partir de la relation [48] :

$$\epsilon(E) = \frac{S}{I\% \cdot A(Bq) \cdot t_{acq}} \quad \text{(III.30)}$$

S : surface nette du pic d'énergie donnée (nombre d'impulsion) ;
 A : activité de la source standard corrigé à la date de comptage ;
 I(%) : la probabilité d'émission gamma pour l'énergie du pic i ;
 t_c : temps d'acquisition.

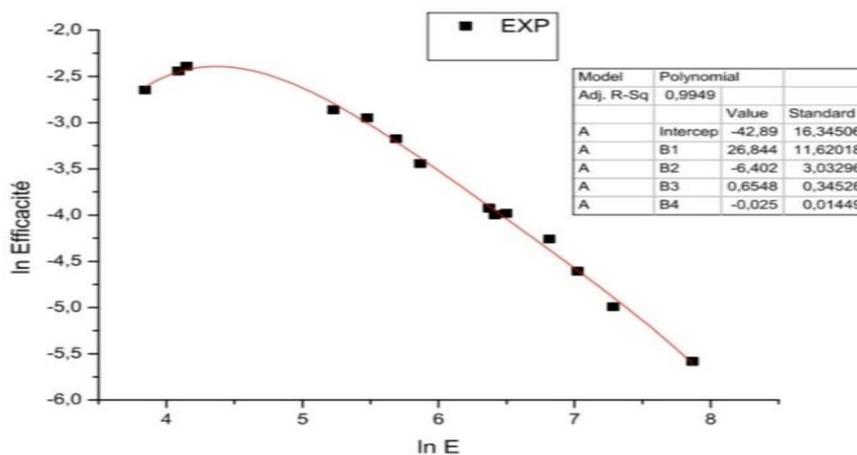


Figure (III.4) : Courbe d'étalonnage expérimentale en efficacité

Partie II : Résultats et discussion

III.1. Synthèse

L'objectif de ce travail est d'analyser et d'évaluer l'impact radiologique dans des échantillons de plantes médicinales par la technique de spectrométrie gamma à bas bruit de fond (Spectromètre BEGe), à savoir :

- Echantillon 1 : Salviarosmarinus (rosmarinus)
- Echantillon 2 : Zingiber officinale
- Echantillon 3 : Foeniculum officinale
- Echantillon 4 : Ocimum basilicum
- Echantillon 5 : Chamaemelum

III.1.1. Analyse qualitative

Un spectre est un ensemble de pics distribués en énergie, l'énergie du pic correspond à l'énergie du photon incident. Une fois l'étalonnage en énergie est réalisé, et que la relation liant le numéro du canal et l'énergie est établie, à ce moment l'énergie de chaque pic sera calculée, ce qui permet d'identifier le radioélément émetteur gamma, cette identification est faite selon la bibliothèque de radionucléides associée. L'identification d'un radionucléide peut se faire à partir d'une seule raie ou par un ensemble de raies caractéristiques du radionucléide considéré. Si certains radionucléides ont des raies suffisamment proches pour être discriminer, il est alors nécessaire d'avoir d'autres raies pour identifier le radionucléide et/ou entreprendre les calculs d'interférence [37].

L'analyse des échantillons de plantes médicinales a permis de confirmer l'existence des radioéléments issus des familles radioactives naturelles ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th et l'élément primordial ^{40}K . D'après les résultats obtenus, on constate la présence des radionucléides issus des trois familles radioactives naturelles avec différentes proportions.

Radioéléments recherché	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Radioéléments équilibre séculaire	^{214}Bi ^{214}Pb	^{208}Tl ^{212}Pb	Plus l'élément primordial

Tableau (III.5) : Radioéléments identifiés dans les cinq échantillons analysés

III.1.2. Analyse quantitative

L'analyse quantitative, ne peut se faire que si l'étalonnage en efficacité est réalisé au préalable, ce qui permet d'établir la relation entre l'énergie et l'efficacité. Une fois ceci effectué, l'analyse sort une liste de pics avec leurs surfaces respectives [37]. Pour déterminer l'activité spécifique de chaque radionucléide on utilise l'équation suivante :

$$A_S (\text{Bq}) = \frac{S}{I\% \cdot \varepsilon(E) \cdot t_c \cdot m(\text{kg})} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \dots \dots \dots C_i \quad (\text{III.31})$$

C_i sont les facteurs de correction (auto-absorption, temps morts, somme de coïncidences. . .).

III.2. Détermination des activités spécifiques de ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th , ^{40}K

Les activités spécifiques de ^{226}Ra et du ^{232}Th ont été calculées à partir de la valeur moyenne pondérée des activités spécifiques de leurs descendants, sachant qu'ils sont en équilibre séculaire.

– **Activité spécifique du ^{226}Ra** : Le ^{226}Ra est en équilibre séculaire avec ses premiers descendants ^{214}Pb et ^{214}Bi et en prenant comme activité spécifique du ^{226}Ra la valeur moyenne des activités de ces deux radioéléments qui par ailleurs sont presque identiques puisqu'ils sont en équilibre (figure (III.5)) :

$$A_{Ra-226} = \frac{A_{Bi-214} + A_{Pb-214}}{2} \quad (\text{III.32})$$

– **Activité spécifique du ^{232}Th** : Le ^{232}Th est en équilibre séculaire avec le ^{212}Pb et ^{208}Tl , donc pour calculer son activité spécifique en utilisant l'expression suivante (figure (III.5)) :

$$A_{Th-232} = \frac{A_{Pb-212} + A_{Tl-208}}{2} \quad (\text{III.33})$$

Radionucléide recherché	Période $T_{1/2}$	Radionucléide analysé	Période $T_{1/2}$
Ra-226	1102 ans	Pb-214	26.8 min
		Bi-214	19.7 min
Th-232	$1.40 \cdot 10^{10}$ ans	Tl-208	6.13 h
		Pb-212	10.6 h

Tableau (III. 6) : Tableau résume les différents radionucléides recherché et analysée utilisés

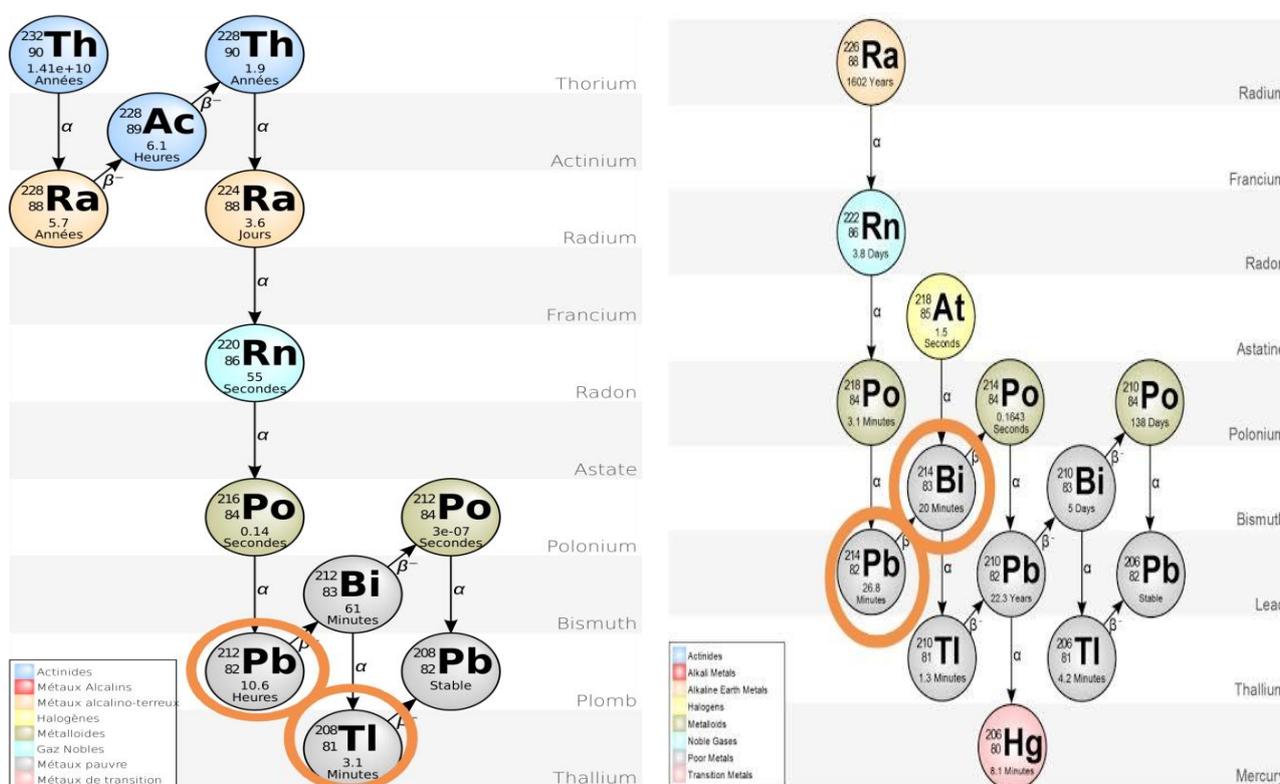


Figure (III. 5) : Filiations radioactives et points d'équilibre séculaire des séries ^{238}U (^{226}Ra) et ^{232}Th

➤ Les activités du ^{40}K ont été déterminées en utilisant directement la raie caractéristique 1460,82 keV.

Les résultats obtenus de l'activité spécifique des radionucléides dans les différents échantillons sont donnés par le tableau suivant :

Echantillons	Activités du ^{226}Ra	Activités du ^{232}Th	Activités du ^{40}K
Ech1	$16,9 \pm 5$	$5,86 \pm 2,5$	$415,99 \pm 50,11$
Ech2	$9,03 \pm 2,2$	$2,62 \pm 0,79$	$272,58 \pm 35,32$
Ech3	$16,83 \pm 4,5$	$1,51 \pm 0,89$	$886,52 \pm 94,21$
Ech4	$7,83 \pm 1,5$	$4,46 \pm 1,5$	$534,30 \pm 49,58$
Ech5	$10,88 \pm 1,89$	$2,3 \pm 0,6$	$743,51 \pm 62,31$

Tableau (III.7) : Activités spécifiques du ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K pour les échantillons analysés

III.3. Calcul des paramètres radiologiques

La connaissance des activités spécifiques des radioéléments ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K permet de calculer les paramètres radiologiques. Pour cela, on a utilisé les équations :

- $Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.77A_K$
- $H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$
- $H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$
- $D_R(\text{nGy}h^{-1}) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K$
- $EDR(\text{msv}.\text{an}^{-1}) = D_R(\text{nGy}.\text{h}^{-1}) \times (365.25 \times 24) \times 0.2 \times 10^{-6} \times 0.7$

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	Ra_{eq} (Bq/Kg)	H_{ex}	H_{in}	$D_R(\text{nGy}h^{-1})$	$EDR(\text{mSv}.\text{an}^{-1})$
Ech1	345.59	0.154	0.200	184.81	0.226
Ech2	222.66	0.091	0.115	119.42	0.146
Ech3	701.61	0.235	0.281	378.36	0.464
Ech4	425.61	0.149	0.170	229.11	0.281
Ech5	586.67	0.192	0.222	316.45	0.388

Tableau (III.8) : calcul de radium équivalent, indices du risque et estimation des doses.

IV. Discussion des résultats

IV.1. Résultats d'analyse

D'après l'analyse qualitative, on constate la présence des mêmes radioéléments pour les taux échantillons analysée, qui appartient aux les familles radioactivité avec différentes proportion ^{226}Ra (^{214}Bi et ^{214}Pb), ^{232}Th (^{208}Tl et ^{212}Pb).

L'élément ^{40}K qui sort bien tout le reste des radionucléides sont non mesurables (On a aussi constaté l'absence de tous radioéléments naturels d'origines cosmiques ou artificielles pour les trois échantillons).

A propos de l'analyse quantitative nous avons trouvé les activités spécifiques ^{226}Ra (Bq/Kg) Ech1(19.9), Ech2(9.03), Ech3(16.83), Ech4(7.83) et Ech5(10.88).

- pour le ^{232}Th (Bq /Kg), Ech1(5.86) , Ech2(2.62), Ech3(1.51), Ech4(4.46), Ech5(2.3).
- pour le ^{40}K , Ech1(415.99), Ech2(272.58), Ech3(886.52), Ech4(534.30), Ech5(743.51).

Par comparaison entre ces résultats ces résultats, on remarque les niveaux d'activités spécifique de l'élément ^{40}K obtenus sont remarquablement élevés pour les cinq échantillons. Ils varient dans l'intervalle [272.58 ,886.52] Bq /Kg pour le ^{226}Ra la plus grande valeur pour la Ech1 [16.9 Bq/Kg] et pour ^{232}Th on a trouvé la plus grande valeur pour échantillon1 [5.86Bq/Kg].

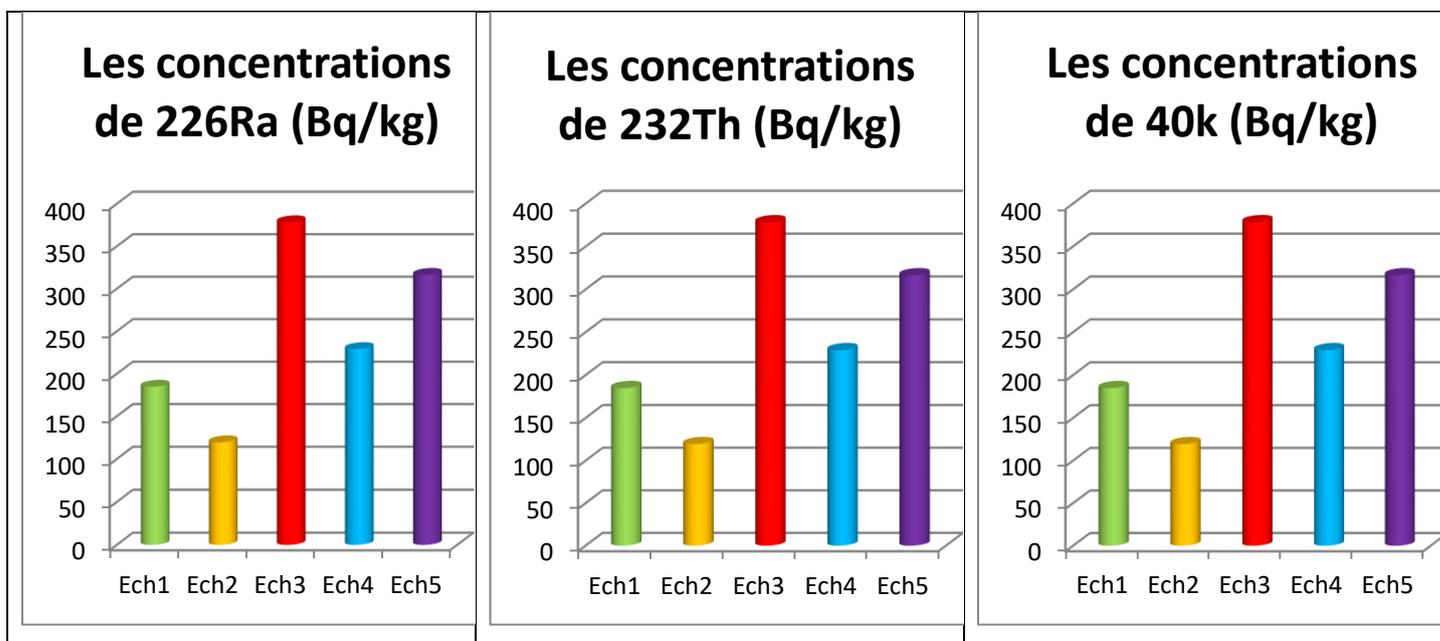


Figure (III.6) : les activités spécifiques de ^{226}Ra et de ^{40}K et de ^{232}Th dans cinq échantillons.

IV.2. Discussion des doses et évaluation de l'impact radiologique

IV.2.1. Radium équivalent

Les valeurs trouvées pour le radium équivalent $Ra_{\text{éq}}$ varient dans l'intervalle [701.61-222.66] Bq/Kg avec une valeur maximale pour le Ech3, et la moindre valeur est pour Ech2. Les valeurs de Ech3, Ech4 et Ech5 sont dépassent la valeur limite recommandée de 370 Bq/kg par CIPR (commission Internationale de Protection Radiologique) ; mais les valeurs des Ech1 et Ech2 sont inférieures à 370 Bq/kg.

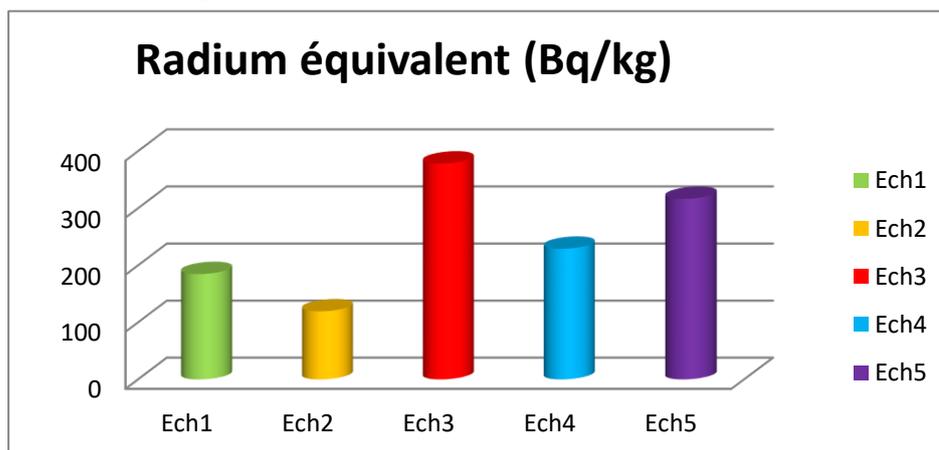


Figure (III.7) : Les valeurs de Radium équivalent pour les cinq échantillons.

IV.2.2. Indices de risque interne et externe

Les valeurs de l'indice du risque externe et interne obtenues pour les cinq échantillons analysés sont inférieures à l'unité comme stipule la norme ; pour le H_{ex} , se situ

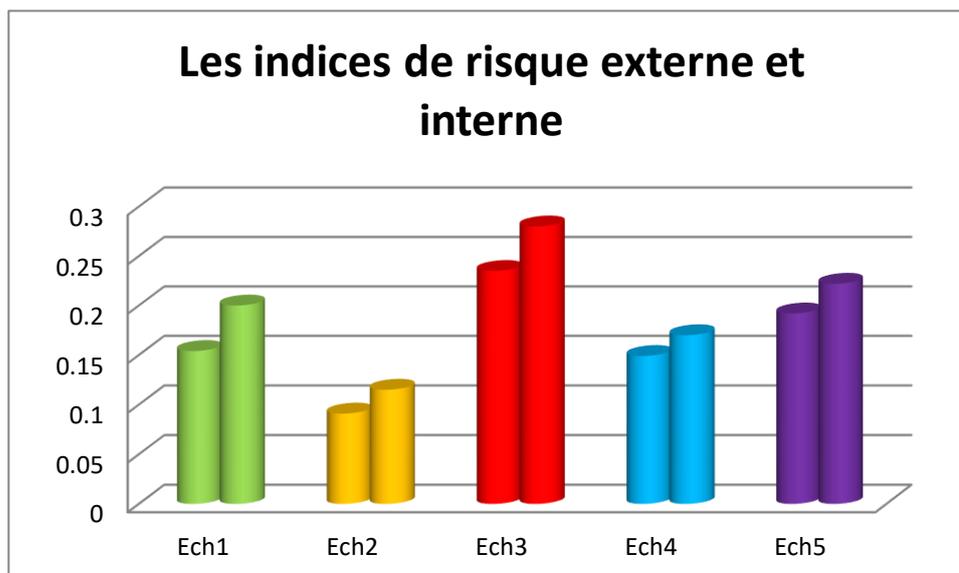


Figure (III. 8) : Les indices du risque pour les cinq échantillons.

IV.2.3. Débit de dose « $D_R(\text{nGy h}^{-1})$ »

Les valeurs de débit de dose absorbé dans l'air DR (nGy /h) obtenues sont très supérieures à la valeur limite (59 nGy/h). Elles varient de l'intervalle [119 .42-378.36] nGy /h la grande valeur est la Ech3, et la moindre valeur pour le Ech2.

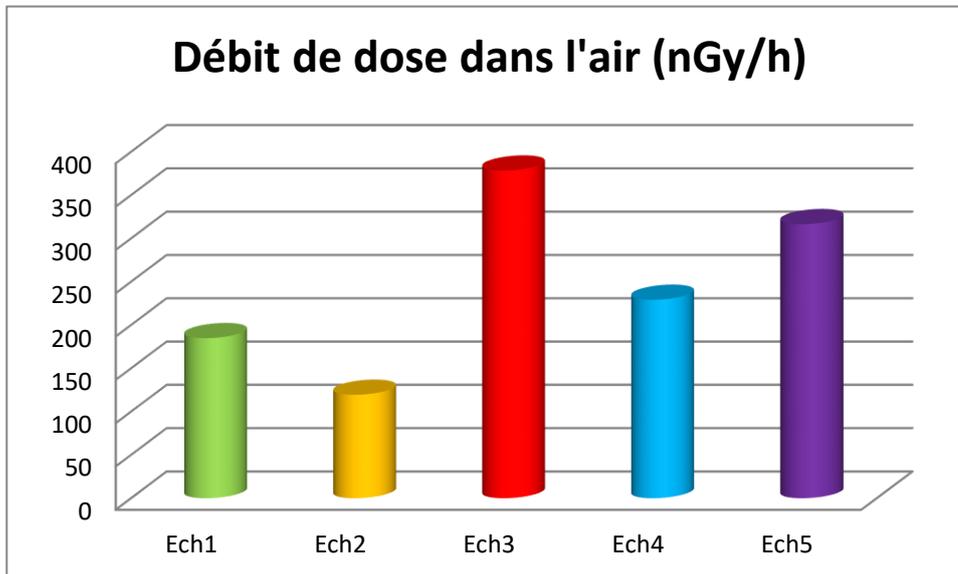


Figure (III.9) : Les débits de doses pour les cinq échantillons.

Conclusion générale

Ce travail a porté principalement sur l'application de la technique de spectrométrie gamma à des fins dosimétrique, la dosimétrie des rayonnements γ émis spontanément par les différents radioéléments présents dans des cinq échantillons pour l'évaluation de leurs impact radiologique. Afin d'atteindre des meilleures sensibilités de détection la spectrométrie gamma à bas bruit de fond est recommandée.

Les résultats obtenus montrent que les niveaux d'activité spécifique du 40K sont remarquablement élevés pour les cinq échantillons, dans l'intervalle [272.58 ,886.52] Bq/Kg. Pour les radioéléments 226Ra et 232Th, on a trouvé pratiquement des niveaux moins importants que ceux du 40K.

Les valeurs obtenues des activités spécifiques de 226Ra, 232Th et 40K, nous ont permis de calculer les paramètres radiologiques suivants : le radium équivalent R_{aeq} , l'index du risque externe H_{ex} et interne H_{in} , le débit de dose absorbée DR et le taux de dose effective annuel EDR. Ces facteurs nous ont permis d'évaluer l'impact radiologique dû aux échantillons analysés. Les résultats obtenus montrent que ces valeurs sont inférieures aux valeurs limites recommandées concernant tout produit alimentaire, soit un maximum de 600Bq/Kg.

En vue des résultats trouvés, ces plantes peuvent contenir des contaminants radioactifs qui sont capables de nuire à l'effet thérapeutique attendu. Pour cela, il faut se méfier des préparations de phytothérapie qui n'ont pas le statut de médicament.

Bibliographie

- [1] **Futura santé.** Définition-plante-médicinale, principe-actif-substance-active[en ligne]. [Consulté le 05/12/2017]. Disponible sur : [http:// :www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com)
- [2] [https://www.lero.fr/phytotherapie-la-medecine-par-les-plantes/](https://www.lero.fr/phytotherapie-la-medecine-par-les-plant/)
- [3] **Creapharma.** Définition de phytothérapie [en ligne]. [consulté jan 2018] disponible sur : <https://www.creapharma.ch/phytotherapie.htm>
- [4] **J.Y.CHABRIER,** Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie, thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1.
- [5] **Mansour A . 2009,** Investigation phytochimique de l'extrait n-butanol de l'espèce *Centaurea africana*. Mémoire de magister, Univ. Constantine, 8 p.
- [6] **Chakou F et Medjoudja K., 2014-** Etude bibliographique sur la phytochimie de quelques espèces du genre *Nitraria*. Mémoire de Licence, Univ. Kasdi Merbah, Orglà, 29p.
- [7] **D.AMENI,** Effets Antioxydants des Extraits de la plante médicinale *Daphne gnidium* L. utilisée en Algérie, thèse doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- [8] **Grunwald J. Janick C.** guide de la phytothérapie. 2^{ème} édition. Italie : marabout ; 2006.
- [9] **Iserin P.** Encyclopédie des plantes médicinales. 2^{ème} édition. Londres : Larousse ; 2001.
- [10] **Faugas G.** Guide des travaux pratiques en matière médicale pharmacognosie. France : JOUVE ; 1965
- [11] **Max R. Dominique R. Didierguedon. Christelle R-S.Elsa R.** 120 plantes médicinales, Edition 9. Paris : Alpen éditions, France ; 2007
- [12] <https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/PalmaresNutriments/Fiche.aspx?doc=alcaloides-substances-stimulantes-toxiques>

- [13] **Wichtl M., Anton R., 2009.** Plantes thérapeutiques tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. Édition LAVOISIR, Paris: 38, 41
- [14] **Hopkins W.G., 2003** – Physiologie végétale. Ed.Boeck et Lancier SA, Paris, 514 p.
- [15] **Guy Beddos Kougan Nkwokap.** Isolement et caractérisation des saponosides de trois plantes de la famille des araliaceae et dracaenaceae et évaluation de leurs activités cytotoxiques sur cellules tumorales. , thèse de doctorat. Université de Bourgogne, 2010. Français.
- [16] **EL-HACI Imad Abdelhamid.** Etude phytochimique et activités biologique de quelques plantes médicinales endimiques du sud de l'Algerie : *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur., *Anabasis aretioides* Moq. & Coss. Et *Limoniastrum feei* (Girard) Batt.thèse doctorat.Université Abou-bekr-Belgaid Tlemcen.
- [17] <https://www.rosepedia.com/top-medical-plants.html>
- [18] <https://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/DossiersComplexe.aspx?doc=plantes-medicinales>
- [19] <https://www.doctissimo.fr/html/dossiers/phytotherapie/articles/16244-phytotherapie-legislation.htm>
- [20] <https://almerja.net/reading.php?i=0&ida=1750&id=704&idm=38765>
- [21] **Kalonda et al. J. Appl. Biosci.** 2015 Profil des métaux lourds contenus dans les plantes vivrières consommées couramment dans quelques zones minières de la province du Katanga. Journal of Applied Biosciences 96:9049 – 9054. ISSN 1997–5902
- [22] **Delille L., 2013** – Les plantes médicinales d'Algérie. Ed. BERTI, Alger,122 p.

- [23] **Djeddi S., 2012** – Les huiles essentielles «Des mystérieux métabolites secondaires » :Manuel de formation destiné aux étudiants de Mastre. ED.Presses Académiques Francophones Grece,64p.
- [24] **Melle Anne-Sophie Limonier**, La Phytothérapie de demain : les plantes médicinales au cœur de la pharmacie. Thèse doctorat. Université de MARSEILLE.
- [25] **Max W. Robert A. F-C Czygan. D Frohne. K Hiller. Chr Holtzel (al)**. plantes thérapeutiques. 2^{ème} édition. Paris : éditions médicales internationales (Lavoisier) ; 2003.
- [26] EMEA. Définition des phytomédicaments. [en ligne]. [consulté : Jan 2018]. Disponible sur : [Http://www.emea.europa.eu](http://www.emea.europa.eu).L
- [27] **Iserin P., Masson M., Restellini J. P., Ybert E., De Laage de Meux A., Moulard F., Zha E., De la Roque R., De la Roque O., Vican P., Deelesalle –Féat T., Biaujeaud M., Ringuet J., Bloth J. et Botrel A.** 2001. Larousse des plantes medicinales : identification, préparation, soins. Ed Larousse. p10-12.
- [28] **A.CHRISTOPHE**, Limites et risques de la phytothérapie. Thèse doctorat. Université de limoges.
- [29] **Sarni-manchado P . et Cheynier V. (2006)**. Les polyphénols en agroalimentaire. *Ed Tec et Doc Lavoisier*.
- [30] **P.CHEVALLIER**, Interaction du rayonnement avec la matière, Université Pierre et Marie Curie, Techniques de l'ingénieur référence A214 (1986).
- [31] **F. AKEL**, Mesure par spectrométrie gamma à bas bruit de fond de l'activité spécifiques des éléments radioactifs présents dans l'environnement : Application aux matériaux de construction, thèse de magister, Université Mentouri-Constantine (2008).
- [32] **E.GROS D'AILLON**, Etude des performances spectrométriques des détecteurs gamma CdZnTe/CdTe monolithiques, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble I,(2005).

- [33] **F.COURTINE**, Etalonnage d'un spectromètre gamma en vue de la mesure de la radioactivité naturelle. Mesure expérimentales et modélisation par technique de MonteCarlo, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal (2007).
- [34] **F.MESSAID**, Technique d'échantillonnage et méthodes d'analyse d'échantillon de l'environnement par spectrométrie gamma, Mémoire d'ingénieur, Centre de recherche nucléaire d'Alger CRNA, (2002).
- [35] **W.HAMANI**, Cours électronique nucléaire.
http://membres.multimania.fr/wacelhamani/tele_fr.htm
- [36] **CH. LAKEHAL**, Mesures qualitatives et quantitatives des éléments radioactifs naturels présents dans des échantillons de l'environnement par spectrométrie γ , thèse de magister, Université Mentouri-Constantine.
- [37] **Gilbert le petit Guy Granier**, Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement, (2002).
- [38] **Laboratoire Notional Henri Becquerel**, Laspectrométrie de photons au LNHB : principes et applications, (2008).
http://www.nucleide.org/Gamma_spectro/NT_08-05_principe_spectro_gamma.pdf
- [39] **Jana Ene-Parent**, Analyse par activation neutronique de la charpie de sécheuses, diplôme de maitrise ès sciences appliquées (génie énergétique), Université deMontréal, (2000).
- [40] **R.Bouchama**, Détermination de la radioactivité gamma d'un sol contaminé par une explosion nucléaire, thèse de magister, Université Ferhat Abbas-SETIF, (2009).
- [41] **Benoît Pirard**, Etude et validation d'un spectromètre gamma pour la mesure de la composition chimique des surfaces planétaires, thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, (2006).
- [42] **S. DZIRI**, Etudes expérimentales et simulations Monte Carlo en spectrométrie γ : Correction des effets de cascade et de matrice pour des mesures environnementales, thèse de doctorat, Université Strasbourg.
- [43] **T.AZLI**, Simulation de la détection des rayonnements gamma par un détecteur en Germanium, thèse de doctorat, université de setif1_setif.
- [44] **W. BOUKHANFOUF**, Concentration de l'uranium : application aux fertilisants agricoles, thèse de doctorat, Université ferhat abbas-setif, (2011).
- [45] **Ph. Huber, F. Hubert et V. Raffestin-Tort**, La datation des vins : une application des mesures des très faibles radioactivités, Domaine du Haut-Vigneau - BP

120 – 33175 Gradignan Cedex, Centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan (CENBG), (2004).

- [46] **Laboratoire de Physique Subatomique et Cosmologique** : <http://lpsc.in2p3.fr>
- [47] **J. RODIER, J.Ph.CHASSANY**, Manuel de radioprotection pratique, MALOINE S.A. EDITEUR, (1974).
- [48] **D. BOUMALA**, The Elan Am386SC300 Portable Computer, University of New South Wales.
- [49] **M. AISSANI & I. YAHOUNI**, Dosimétrie des photons de haute énergie, Thèse de master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen (2011).
- [50] **CRNS**, Guide pratique : Réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants, version 2, (2010).
- [51] **D. BLANC**, Précis de physique nucléaire, DONUD, 2e édition, (2003).
- [52] **A.M. EL-Arabi**, ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications, Radiation Measurements 42 (2007) 94 – 100.
- [53] **O.S. Ajayi**, Measurement of activity concentrations of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th for assessment of radiation hazards from soils of the southwestern region of Nigeria, Radiat. Environ Biol Phys (2009) 48:323-332.
- [54] **Shakhashiro 2012, A. Shakhashiro, S. Tarjan, A. Ceccatelli, G. Kis-Benedek et M. Betti**. IAEA-447 : a new certified reference material for environmental radioactivity measurements. Appl Radiat Isot, vol 70, pages 1632–1643, 2012.
- [55] **Tsilanizara 2000, A. Tsilanizara, C.M. Diop, B. Nimal**. DARWIN : An Evolution Code System for a Large Range of Applications. Journal of Nuclear Science and Technology, Supplement 1, pages 845–849, 2000.
- [56] **Degrelle 2017**, Caractérisation numérique de la technique de spectrométrie gamma par simulation Monte-Carlo : Application à la datation d'échantillons environnementaux. Thèse de doctorat, Chimie - Physique, Université Bourgogne Franche-Comté, 2017.

ملخص

تحظى النباتات الطبية بشعبية كبيرة في مستحضرات العلاج النباتي. علاوة على ذلك ، قد تحتوي هذه النباتات على ملوثات مشعة قادرة على الإضرار بالتأثير العلاجي المتوقع. لهذا ، يجب أن يكون المرء حذرًا من مستحضرات طب الأعشاب التي ليس لها حالة دوائية ، لأنها لا تستفيد عمومًا من الضوابط الصارمة من حيث الملوثات السامة مثل المعادن الثقيلة ، وبقايا المبيدات ، والملوثات المشعة ، إلخ.

هذا العمل مخصص لقياس النشاط النوعي للعناصر المشعة المختلفة في Bq/Kg لخمس عينات من النباتات الطبية ، باستخدام تقنية قياس طيف غاما ذات الخلفية المنخفضة. هذه الطريقة غير المدمرة هي الأنسب لتحديد وتقدير العناصر المشعة المختلفة في هذه العينات.

مكنتنا القيم التي تم الحصول عليها من الأنشطة المحددة لـ Ra226 و Th232 و k40 من حساب المعاملات الإشعاعية التالية: مكافئ الراديوم Raeq ومؤشر المخاطر الخارجية Hex و Hin الداخلي ومعدل الجرعة الممتصة DR ومعدل الجرعة السنوي EDR الفعال . سمحت لنا هذه العوامل بتقييم التأثير الإشعاعي بسبب العينات التي تم تحليلها. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هذه القيم أقل من القيم الحدية الموصى بها لأي منتج غذائي ، أي بحد أقصى 600 بيكريل / كغم.

Abstract

Medicinal plants are very popular in phytotherapeutic preparations. Furthermore, these plants may contain radioactive contaminants which are capable of harming the expected therapeutic effect. For this, one must be wary of herbal medicine preparations that do not have drug status, because they do not generally benefit from rigorous controls in terms of toxic contaminants such as heavy metals, pesticide residues, radioactive contaminants, etc.

This work is devoted to measuring the specific activity of the different radio elements in Bq/Kg for five samples of medicinal plants, using the low background gamma spectrometry technique. This non-destructive method is best suited for the identification and quantification of different radio elements in these samples.

The values obtained from the specific activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K enabled us to calculate the following radiological parameters: the radium equivalent R_{aeq} , the external risk index H_{ex} and internal H_{in} , the absorbed dose rate DR and the dose rate effective annual EDR. These factors allowed us to assess the radiological impact due to the samples analyzed. The results obtained show that these values are lower than the recommended limit values for any food product, ie a maximum of 600 Bq/Kg.

Résumé

Les plantes médicinales sont très répandues en préparations phytothérapeutiques. Par ailleurs, ces plantes peuvent renfermer des contaminants radioactifs qui sont capables de nuire à l'effet thérapeutique attendu. Pour cela, il faut se méfier des préparations de phytothérapie qui n'ont pas le statut de médicament, car elles ne bénéficient pas généralement des contrôles rigoureux en matière de contaminants toxiques tels que les métaux lourds, résidus de pesticides, contaminants radioactifs, etc.

Ce travail est consacré à mesurer l'activité spécifique des différents radioéléments en Bq/Kg pour cinq échantillons de plantes médicinales, en utilisant la technique de spectrométrie gamma à bas bruit de fond. Cette méthode non destructive est la mieux adaptée pour l'identification et la quantification de différents radioéléments dans ces échantillons.

Les valeurs obtenues des activités spécifiques de ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , nous ont permis de calculer les paramètres radiologiques suivants : le radium équivalent R_{aeq} , l'index du risque externe H_{ex} et interne H_{in} , le débit de dose absorbée DR et le taux de dose effective annuel EDR . Ces facteurs nous ont permis d'évaluer l'impact radiologique dû aux échantillons analysés. Les résultats obtenus montrent que ces valeurs sont inférieures aux valeurs limites recommandées concernant tout produit alimentaire, soit un maximum de 600 Bq/Kg.