

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي «برج بوعريريج»

Université Mohamed El Bachir El Ibrahim – Bordj Bou Arreridj
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Sciences de la Matière



كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم علوم المادة

Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Master

Filière : Physique
Option : Physique des Matériaux

THÈME : Etude de la radioactivité naturelle dans certains matériaux de construction (ciment blanc, ciment noir, béton contenant de l'Amiante) régions de Djaafra, Mansora, Bordj-Bouarreridj, en Algérie

Préparé par : AMAL MEBAREK MANSOURI

Soutenu le : 26/06/2023

De vant le jury :

Président : Dr Noudjoud lebga	MCA	Université de BBA
Rapporteur : Dr Hadda Kebir	MCA	Université de BBA
Examineur : Dr Nadjima Benkara Mohamed	MCB	Université de BBA

Année Universitaire 2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



DEDICACES

Je dédie cette thèse à...

A ma très chère mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

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

A mon très cher Père

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

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

A mon très cher frère walid

Mon cher frère qui m'est le père et la mère, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mon ange gardien et mon fidèle compagnon dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A ma seule sœur yousra

Ma seule et le plus proche du cœur, le don que Dieu m'a accordé, mon refuge et mon soutien, mon inspiration. Je te souhaite un avenir prospère plein de succès, ma gentille soeur jumelle

A mon très cher frère abderrahman

Mon cher petit frère présent dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées.

Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A tous les membres de ma famille, petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mes chères amies

Ahlem , Rayane , Nawel , Widad ,Fouzia

AMAL MEBAREK MANSOURI

Remerciements

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

J'exprime mes sincères remerciements à madame Noudjoud lebga pour m'avoir fait l'honneur d'accepté de présider le jury de ce mémoire.

J'exprime ma gratitude à toutes les personnes rencontrées lors des recherches que j'ai effectuées

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

SOMMAIRE :

CHAPITRE I : La radioactivité naturelle

I-1 Introduction.....	.....
I-2 La radioactivité dans la nature.....	.....
I-2-1 Radionucléides primordiaux.....	.....
I-2-2 Cosmogenic .....	.....
I-2-3 Humains produits .....	.....
I-2-4 Radiation nucléaire terrestre .....	.....
I-3 Autres aspects intéressants de la radioactivité naturelle .....	.....
I-3 -1 Radioactivité naturelle dans le sol.....	.....
I-3-2 Radioactivité naturelle dans l'océan .....	.....
I-3-3 Nourriture .....	.....
I-3-3 Le corps humain .....	.....
I-3-4 La radioactivité naturelle des matériaux de construction .....	.....
I-4 Effets biologiques des rayonnements.....	.....
Références du chapitre I.....	.....

CHAPITRE II : L'AMIANTE

II-1 Introduction .....	.....
II-2 Les fibres : amiante et laines minérales.....	.....
II-2-1 L'Amiante.....	.....
II-3 Histoire.....	.....
II-4 Propriétés physico-chimique de l'amiante .....	.....

II-5	Produits industriels.....	.....
II-5-1	Secteur de la construction.....	.....
1.	Amiante-ciment.....	.....
2.	Flocages d'amiante.....	.....
II-6	Effets sanitaires des fibres d'amiante.....	.....
II-6-1	Fibrose pulmonaire et pleurale.....	.....
II-6-2	Cancer de divers organes : poumon, plèvre, péritoine, larynx et ovaires.....	.....
II-7	Procédé RECYCLING.....	.....
	Références du chapitre II.....	.....

CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET MATERIEL

III-1	Introduction.....	.....
III-2	Paramètres de test.....	.....
III-2-	Étalonnage en énergie des détecteurs HPGe.....	.....
III-2-	Résolution.....	.....
III-2-	Forme gaussienne du pic.....	.....
III-2-	Rapport Pic-au-Compton.....	.....
III-2-	Efficacité relative.....	.....
III-2-	Étalonnage en efficacité d'absorption totale FEPE.....	.....
III-3	Matériel et méthodes.....	.....
III-3-	Sources des rayons γ.....	.....
III-3-	Système de comptage.....	.....
III-4	Résultats et discussion.....	.....

III-4-Étalonnage en énergie
III-4-Résolution et forme de pic
III-4-Rapport Pic-au-Compton
III-4-Efficacité relative
III-4-Efficacité d'absorption totale FEPE
III-5-Deuxième partie : Mesure de la radioactivité des échantillons pré-levés de l'environnement
III-5-1Préparation des échantillons
III-5-2Mesure des activités spécifiques des échantillons
Conclusion
ANNEXE
Référence

Listes des Tableaux

Tableau I.1 Les nucléides primordiaux	
Tableau I.2 Les Nucléides cosmogoniques	
Tableau I.3 Les nucléides de Produit de l'homme	
Tableau I.4 Les nucléides de sol.....	
Tableau I.5 La Radioactivité naturelle dans le corps humain.....	
Tableau I-6 Radioactivité naturelle par l'océan.....	
Tableau I-7 Radioactivité naturelle dans les aliments.....	
Tableau I-8 Les estimations des concentrations d'uranium, de thorium et de potassium dans les matériaux de construction (NCRP 94 1987, sauf indication contraire).....	
Tableau II- 1 :Propriétés physiques et chimiques de l'amiante.....	
Tableau-II- 2: Production mondiale d'amiante (d'après World production of asbestos: Industrial minerals 1992).....	
Tableau-III- 1 : Résolutions des détecteurs existants en marché.....	
Tableau III -2 : Données nucléaires des sources d'étalonnage.....	
Tableau III-3 : Valeurs mesurées et garantis de FWHM, FWTM et FWFM.....	
Tableau III-4 : Valeurs mesurées et garantis de rapport Pic-au-Compton.....	
Tableau III-5: Valeurs mesurées et garantis de l'efficacité relative.....	
Tableau III-6 : Résultats expérimentales de l'étalonnage de l'efficacité avec les cinq sources références pour les 4 distances source-détecteur.....	
Tableau III-7 : Coefficients des polynômes d'ajustements des fonctions des efficacités d'absorption totales pour les deux positions.	

Listes des figures

- Figure I.1 La désintégration radioactive du thorium et en série de l'uranium
- Figure II-1 Forme moléculaire du silicate hydraté/.....
- Figure II- 2 Classement des variétés d'amiant.....
- Figure II- 3 Structure Chimique du chrysotile.....
- Figure II- 4. Structure microscopique des fibres amphiboles. Réimprimé avec permission.....
- Figure II- 5. Micrographies électroniques de fibres d'amiante : (a) chrysotile, (b) crocidolite.....
- Figure-II-5.Synoptique procédé Neo Eco Recycling – Amiante-Ciment.....
- Figure-III- 1. Résolution du détecteur. Représentation d'un pic ayant une forme gaussienne avec une largeur à mi-hauteur (FWHM ou FW1/2M), une largeur à dixième-hauteur (FWTM ou FW1/10M) et une largeur à cinquantième-hauteur (FWFM ou FW1/50M).....
- Figure III-2: Rapport Pic-au-Compton $P/C = A/B$. (a) Position sur le spectre de Co-60 de A et B (comptage sur une échelle logarithmique), et (b) la nature constante du continuum dans la région B (comptage sur une échelle linéaire).....
- Figure III-3 : Courbe d'étalonnage en énergie pour le détecteur GC3018 (La pente égale à 0.5 KeV/Canal).....
- Figure III- 4: Spectre de mesure au système de spectrométrie gamma à détecteur HPGe GC3018 (échelle LIN-LOG).....
- Figure III-5 : Pic Photoélectrique 1332.5 KeV typique bien défini à partir du spectre collecté.
- Figure III-6: Valeurs expérimentales de l'efficacité d'absorption totale FEPE (échelle LOG-LOG).
- Figure III-7 : Les trois phases de l'échantillon.....
- Figure III-8 : Localisation des trois matériaux de construction étudiées dans la région de Bordj-Bouarreridj, à l'est de l'Algérie.....
- Figure III-9 Schéma de la chaîne de spectrométrie gamma.....

Introduction

La connaissance de la distribution des radionucléides et des niveaux de rayonnement dans l'environnement est importante pour évaluer les effets de l'exposition aux rayonnements provenant de sources terrestres et extraterrestres. Le rayonnement naturel est d'origine terrestre et extraterrestre. Le rayonnement terrestre est dû à des nucléides radioactifs présents en quantités variables dans les roches, les matériaux de construction, l'eau, les sols et l'atmosphère. Certains de ces radionucléides provenant de ces sources sont transmis à l'homme par la chaîne alimentaire ou par inhalation, tandis que le rayonnement extraterrestre provient de l'espace sous forme de rayons cosmiques primaires. Les radionucléides naturels de l'uranium (^{238}U), du thorium (^{232}Th) et du potassium (^{40}K) sont présents dans la croûte terrestre. Lorsque ces radionucléides et leurs descendants subissent des désintégrations, des rayons gamma, bêta et alpha sont libérés dans l'environnement (UNSCEAR, 1993). Par conséquent, les êtres humains sont continuellement exposés aux rayonnements ionisants à l'intérieur et à l'extérieur de leurs habitations.

Les radionucléides naturels, dont l'origine remonte à la formation de la terre, sont les principaux responsables des sources externes d'irradiation de la population humaine. La répartition des radionucléides sur Terre est liée aux types de roches dont les sols sont issus et aux processus qui les concentrent. Les niveaux de rayonnement les plus élevés sont associés aux roches ignées telles que le granit, tandis que les niveaux de rayonnement les plus faibles sont associés aux roches sédimentaires.

les niveaux de rayonnement plus faibles sont associés aux roches sédimentaires, à l'exception du schiste et des roches phosphatées (rapport NCRP, 1993). Les matériaux de construction sont dérivés de la surface de la terre et contiennent donc des nucléides radioactifs qui contribuent aux rayonnements ionisants extérieurs et intérieurs dans les bâtiments. Une exposition prolongée à ces rayonnements peut entraîner de graves risques pour la santé, notamment le cancer, la maladie des rayons et les mutations génétiques (ICPR PUB.26, 1977). Le transfert linéaire d'énergie (LTE) des sources de rayonnement naturel, qu'elles soient élevées ou faibles, est moyenné. Les expositions annuelles mondiales devraient se situer entre 1 et 10 mSv, 2,4 mSv étant l'estimation actuelle de la valeur centrale (UNSCEAR, 2000).

Résumé

Les matériaux de construction constituent une source potentielle de radionucléides radioactifs à l'intérieur des bâtiments. Les deux voies par lesquelles les matériaux de construction transmettent les doses de rayonnement aux personnes sont l'exposition externe et l'exposition interne.

La radioactivité naturelle est estimée en utilisant la méthode γ -spectroscopique avec un détecteur HGPE, en étudiant les différents niveaux de la radioactivité naturelle dans l'échantillon de ciment de la région du Bordj Bou Arreridj, en Algérie. L'échantillon a été prélevé marché local et les chantiers de construction et comment a été préparé pour les mesures du contenu radioactif.

A partir des spectres γ -ray mesurée, ont été déterminées les concentrations d'activité. L'activité variait de 1255-5186,11 Bq /kg pour le ^{238}U , de 716,52-2280,02Bq /kg pour ^{232}Th et 140Bq/kg pour ^{40}K .

Les activités sont comparées avec les données disponibles signalées dans (Swiss Federal Office of Public Health) et UNSCEAR (2000). Ces valeurs sont inférieures à la limite. Ce matériel examiné est acceptable pour une utilisation comme matériaux de construction.

ملخص

تعتبر مواد البناء مصدرًا محتملاً للنويدات المشعة داخل المباني. الطريقتان اللذان تنتقل من خلاله مواد البناء جرعات الإشعاع إلى الناس هما التعرض الخارجي والتعرض الداخلي.

يقدر النشاط الإشعاعي الطبيعي باستخدام طريقة التحليل الطيفي γ مع كاشف HGPE ، من خلال دراسة المستويات المختلفة للنشاط الإشعاعي الطبيعي في عينة الأسمنت من منطقة برج بوعريريج بالجزائر. تم أخذ العينة من السوق المحلي ومواقع البناء وكيفية تحضيرها لقياسات المحتوى الإشعاعي.

من أطيف أشعة جاما المقاسة، تم تحديد تراكيز النشاط. تراوح النشاط من 1255Bq/ kg - 5186,1 Bq/kg لـ ^{238}U

ومن 716,52Bq/ kg - 2280 Bq/kg لـ ^{232}Th ومن 140 Bq/ kg لـ ^{40}K .

تتم مقارنة الأنشطة بالبيانات المتاحة الواردة في (المكتب الفيدرالي السويسري للصحة العامة) و UNSCEAR (2000) هذه القيم أقل من الحد. هذه المادة التي تم فحصها مقبولة للاستخدام كمواد بناء.

CHAPITRE I :

La radioactivité naturelle

I-1 Introduction :

Wilhelm Röntgen, un physicien allemand, a reconnu pour la première fois le rayonnement pénétrant en 1895.

Il exige des radiographies et émet de la fluorescence. Henri Becquerel a fait la découverte que la décomposition radioactive de l'uranium a généré des radiations pénétrantes en 1896, deux mois plus tard. Cette découverte a conduit à un nouveau domaine de recherche sur les substances et le rayonnement radioactif qu'elles émettent [1].

L'idée que les atomes radioactifs se décomposent en structures plus légères parce qu'ils émettent des rayonnements a d'abord été mise en avant par Rutherford et Soddy. La découverte que la particule α était juste un atome ionisé de l'élément hélium fournit un soutien considérable à cette hypothèse. L'élément le plus lourd d'origine naturelle, l'uranium, fut bientôt considéré comme la substance mère parce que plusieurs des éléments nouvellement découverts ont été trouvés dans diverses fractions de minerai d'uranium [2]. Actuellement, il est connu que l'uranium se compose naturellement d'un mélange de ^{238}U (99,27%), ^{235}U (0,72%) et ^{234}U (0,006%). Le thorium et le potassium ont également été trouvés comme des parents radioactifs avec certains produits de désintégration.

Tous les matériaux de construction sont principalement composés de roches et de sol, qui contiennent tous deux des isotopes radioactifs naturels tels que les séries de désintégration ^{232}Th et ^{238}U et ^{40}K [3].

Puisque la partie radiologiquement la plus importante de la chaîne de décomposition est du radium (^{226}Ra), il est souvent appelé ^{226}Ra au lieu de ^{238}U . Ces radionucléides sont des sources extérieures et de l'exposition à la radiation interne dans les maisons. La radiation gamma directe provoque une exposition externe, mais l'inhalation de matériaux radioactifs tels que le gaz de radon inerte (^{222}Rn , résultat de la fille de ^{226}Ra) et le thoron (^{220}Rn), et leurs sous-produits à court terme, provoque l'exposition interne aux particules alpha. Les activités spécifiques des matières premières et produits fabriqués à partir de ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K dans la construction sont principalement déterminées par les conditions géologiques et géographiques ainsi que les propriétés géochimiques de ces matériaux [4].

La majorité de l'exposition provient des matériaux de construction qui contiennent des radionucléides naturels, dont ces éléments radioactifs. Étant donné que les gens passent la majorité de leur temps (environ 80 %) à l'intérieur, il est essentiel de comprendre la radioactivité naturelle de ces matériaux afin d'estimer le niveau d'exposition du public [5].

La connaissance de cette radioactivité facilite également l'analyse du risque radiologique associé et l'élaboration de normes et de directives nationales pour des recommandations mondiales [6].

L'une des principales causes d'exposition aux rayons gamma de l'extérieur est la radioactivité naturelle des matériaux de construction. Les rayons gamma libérés par les chaînes de désintégration des éléments uranium et thorium, ainsi que le ^{40}K présent naturellement dans les matériaux de construction, sont les sources d'exposition les plus externes. On les trouve à l'état de traces dans le sol et les matériaux de construction. L'évaluation de tout dommage radioactif potentiel pour l'humanité résultant de l'utilisation de ces matériaux est rendue possible par la connaissance de la radioactivité présente dans les matériaux de construction [7-8].

Les matières radioactives naturelles, parfois appelées MRN, sont un autre nom pour ces composés. Les MRN sont des matières radioactives d'origine naturelle. Depuis la création de la Terre, les MRN ont été produites par les supernovae et les principales particules qui martèlent constamment la croûte terrestre.

Les MRN sont présentes presque partout, y compris dans les sols, l'air, l'approvisionnement public en eau, le pétrole et même le potassium radioactif (^{40}K) dans le corps humain. Par conséquent, les NORM ont toujours existé sur notre planète[9].

L'isotope radioactif du potassium (^{40}K) et les radionucléides de la série de désintégration du thorium (^{232}Th) et de l'uranium (^{238}U) sont les radionucléides naturels les plus importants dans les matériaux de construction, les roches et les sols. [10].

Cette étude a utilisé un spectromètre à rayons gamma pour évaluer la concentration de l'activité spécifique de ^{226}Ra , ^{232}Th , et ^{40}K dans les briques de Tafna, Tounane.

I-2 La radioactivité dans la nature :

Depuis la nuit des temps, notre planète est radioactive. Les plus de 60 radionucléides (éléments radioactifs) qui existent dans la nature peuvent être divisés en trois groupes :

1. Primordial: dès avant la création de la Terre
2. Cosmogenic: formé à la suite de l'interaction des rayons cosmiques
3. Human produit: Amélioré ou formé en raison des actions humaines (quantités mineures par rapport aux ressources naturelles) [11].

La terre, l'eau et l'air contiennent tous des radionucléides sous leurs formes naturelles. Puisque nous sommes un produit de notre environnement, on peut même les découvrir en nous. Les radionucléides sont présents dans l'air, les aliments et l'eau que les humains respirent et ingèrent chaque jour. Les roches et le sol de notre planète, les mers et les océans, ainsi que les matériaux utilisés pour construire nos maisons et nos bâtiments, contiennent fréquemment de la radioactivité naturelle. Il n'y a aucun endroit sur Terre où l'on ne trouve pas de radioactivité naturelle.

Les substances radioactives sont souvent appelées isotopes radioactifs, radionucléides ou simplement nucléides. On connaît près de 1500 nucléides radioactifs distincts. Sur la base de l'élément et du poids atomique, les radionucléides sont fréquemment représentés. Par exemple, le tritium radioactif de poids atomique 3 est représenté par H-3 ou ^3H . Une autre illustration est la réduction de l'uranium en U-235 ou ^{235}U , dont le poids atomique est de 235.

I-2-1 Radionuclides Primordiaux :

Lorsque la planète et le cosmos sont nés, des radionucléides primordiaux ont été laissés derrière eux. Ces radionucléides ont souvent des demi-vies longues, souvent de l'ordre de centaines de millions d'années. Les radionucléides dont la demi-vie est supérieure à 30 ans ne sont pas détectables. Cette catégorie comprend également les descendants ou les produits de désintégration des radionucléides à longue durée de vie.

Tableau I.1 Les nucléides primordiaux [12].

Nuclide	Symbole	Demi-vie	Activité Natural
Uranium (235)	^{235}U	0.7×10^9 ans	0.72% Tout d'uranium naturel
Uranium (238)	^{238}U	4.47×10^9 ans	99.2745% Tout d'uranium naturel; 0.5 to 4.7 ppm uranium total dans le type de roche commune.
Thorium (232)	^{232}Th	1.41×10^{10} ans	1.6 to 20 ppm dans les types de roches communes avec une moyenne de croûte 10.7 ppm.
Radium (226)	^{226}Ra	1.60×10^3 ans	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) Dans le calcaire et 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) Dans les roches ignées (plutoniques).
Radon (222)	^{222}Rn	3.82 jour	Gaz Noble; concentrations atmosphériques annuelles moyennes comprise entre environ 0.016 pCi/L (0.6 Bq/m ³) à 0.75 pCi/L (28 Bq/m ³).
Potassium (40)	^{40}K	1.28×10^9 ans	sol - 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

D'autres radionucléides primordiaux sont ^{50}V , ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{115}In , ^{123}Te , ^{138}La , ^{142}Ce , ^{144}Nd , ^{147}Sm , ^{152}Gd , ^{174}Hf , ^{176}Lu , ^{187}Re , ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{209}Bi

I-2-2 NORM terrestre :

La croûte et le manteau terrestres contiennent des matières radioactives et l'activité humaine augmente l'exposition radiologique dans les zones où ces matières sont présentes. Il peut s'agir de matières

originales (comme l'uranium et le thorium) ou de produits de désintégration de ces matières, comme le potassium 40, qui font partie de la série typique des chaînes de désintégration. Les séries du thorium et de l'uranium sont les deux chaînes les plus importantes qui fournissent des nucléides importants dans les NORM :

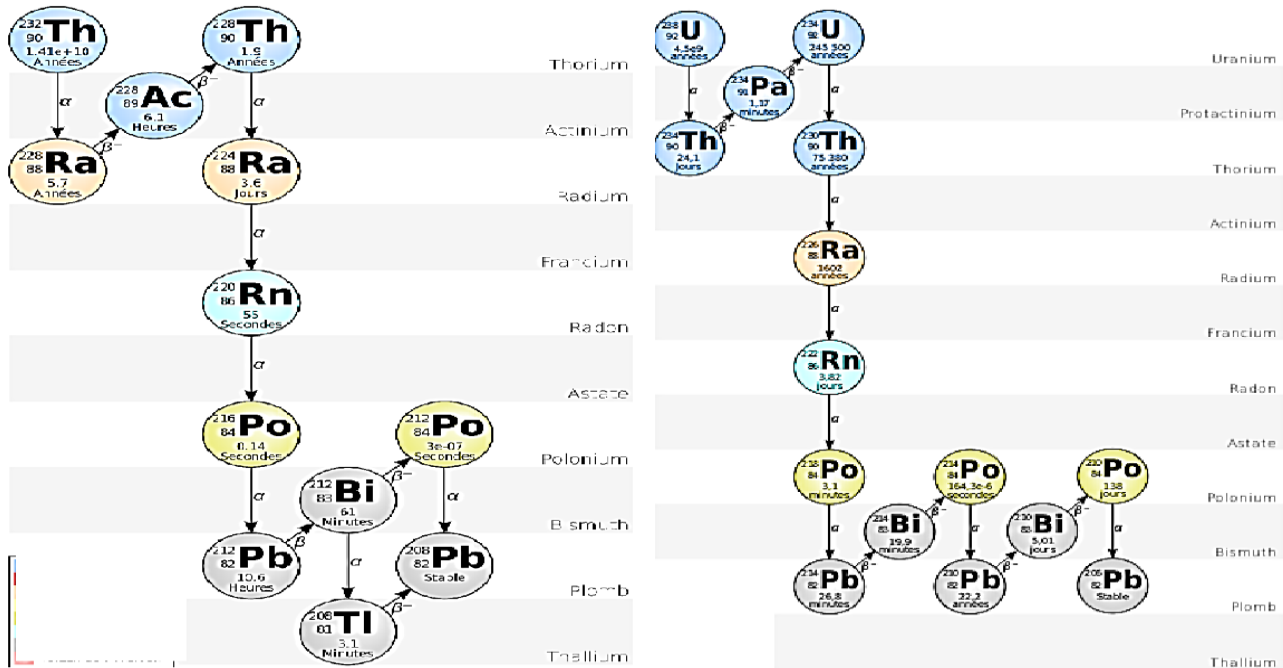


Figure I.1 La désintégration radioactive du thorium et en série de l'uranium

Le potassium 40 est une source importante de NORM terrestres (K-40). Le K-40 a une longue demi-vie (1,28 milliard d'années), c'est pourquoi il est encore présent en quantités détectables aujourd'hui. Il crée 0,012 % du potassium naturel, qui est principalement constitué de K-39 et K-41 stables et se désintègre en particules bêta, principalement en calcium-40.

I-2-3 Cosmogenic :

L'espace tout entier est rempli de rayonnements cosmiques, dont la source principale se trouve en dehors de notre système solaire. Des particules lourdes à grande vitesse aux photons et muons à haute énergie, le rayonnement peut prendre de nombreuses formes différentes. La majorité du rayonnement cosmique interagit avec la haute atmosphère et crée des nucléides radioactifs. Leur demi-vie peut être très longue, bien que la plupart d'entre eux soient plus courts que les nucléides primordiaux. Le tableau suivant énumère les nucléides cosmogéniques typiques :

Tableau I.2 Les Nucléides cosmogoniques [12].

Nuclide	Symb ol	Demi-vie	Source	Natural Activity
Carbon 14	^{14}C	5730 yr	Interactions des rayons cosmiques, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$	6 pCi/g (0.22 Bq/g) en matière organique
Hydrogen 3 (Tritium)	^3H	12.3 yr	Interactions des rayons cosmiques avec N et O, la spallation des rayons cosmiques, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$	0.032 pCi/kg (1.2 x 10 ⁻³ Bq/kg)
Beryllium 7	^7Be	53.28 days	Interactions des rayons cosmiques avec N et O	0.27 pCi/kg (0.01 Bq/kg)

D'autres radionucléides cosmogéniques sont ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{80}Kr , ^{14}C , ^{32}Si , ^{39}Ar , ^{22}Na , ^{35}S , ^{37}Ar , ^{33}P , ^{32}P , ^{38}mg , ^{24}Na , ^{38}S , ^{31}Si , ^{18}F , ^{39}cl , ^{38}cl , ^{34}mCl .

I-2-4 Produits Humain :

Depuis que l'homme a commencé à utiliser les rayonnements il y a un siècle, il a contribué au stock naturel. En raison des demi-vies plus courtes de la majorité des nucléides, les quantités sont modestes par rapport aux quantités naturelles mentionnées ci-dessus et ont considérablement diminué depuis la fin des essais au sol pour les armes nucléaires. Certains produits ou nucléides humains améliorés sont disponibles.

Tableau I.3 Les nucléides de Produit de l'homme [12].

Nuclide	Symbole	Demi-vie	Source
Tritium	^3H	12.3 ans	Produit à partir de tests et fission armes réacteurs, les installations de retraitement, la fabrication d'armes nucléaires.
Iodine 131	^{131}I	8.04 jours	Produits de fission produite à partir de tests et fission armes réacteurs, utilisé dans le traitement médical des problèmes de thyroïde.
Iodine 129	^{129}I	1.57×10^7 ans	Produits de fission produite à partir de tests et fission armes réacteurs.
Cesium 137	^{137}Cs	30.17 ans	Produits de fission produite à partir des testes d'arme et réacteurs de fission.
Strontium 90	^{90}Sr	28.78 ans	Produits de fission produite à partir de tests et fission armes réacteurs
Technetium 99	^{99}Tc	2.11×10^5 ans	Produit de désintégration de ^{99}Mo , utilisé dans le diagnostique médical.
Plutonium 239	^{239}Pu	2.41×10^4 ans	Produit par bombardement neutronique de ^{238}U $(^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta)$.

I-3 Autres aspects intéressants de la radioactivité naturelle

I-3-1 La Radioactivité naturelle dans le sol :

Quelle est la quantité de radioactivité naturelle contenue dans un mile carré de sol d'une profondeur d'un pied ? Ce volume ($7\,894 \times 10^5 \text{ m}^3$) et les activités indiquées sont estimés dans le tableau ci-joint. Il convient de noter que les niveaux d'activité varient considérablement en fonction du type de sol, de la composition des minéraux et de la densité ($1,58 \text{ g/cm}^3$ a été utilisé pour cette estimation). Ce tableau présente des calculs avec des nombres courants.

Tableau I.4 Les nucléides de sol [12].

Nuclide	Activité utilisés dans le calcul	Masse de Nuclide	Activité trouvé dans le volume de sol
Uranium	0.7 pCi/g (25 Bq/kg)	2,200 kg	0.8 Curies (31 GBq)
Thorium	1.1 pCi/g (40 Bq/kg)	12,000 kg	1.4 Curies (52 GBq)
Potassium 40	11 pCi/g (400 Bq/kg)	2000 kg	13 Curies (500 GBq)
Radium	1.3 pCi/g (48 Bq/kg)	1.7 g	1.7 Curies (63 GBq)
Radon	0.17 pCi/g (10 kBq/m ³) sol	11 µg	0.2 Curies (7.4 GBq)
	Total:	>17 curies (>653 GBq)	

I-3-2 Corps humain

Pour un adulte 70,000 grammes, le tableau suivant représente les concentrations estimées de radionucléides calculées en fonction des données de CIPR 30

Tableau I.5 La Radioactivité naturelle dans le corps humain. [12]

Nucléide	Masse totale de nucléides Trouvé dans le corps	L'activité totale de nucléides Trouvé dans le corps	L'apport quotidien de nucléides
Uranium	90 µg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 µg
Thorium	30 µg	3 pCi (0.11 Bq)	3 µg
Potassium 40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Radium	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
Carbone 14	22 ng	0.1 µCi (3.7 kBq)	1.8 ng
Tritium	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polonium	0.2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 fg

I-3-3 La Radioactivité naturelle dans l'océan :

Quelle est la quantité de radioactivité naturellement présente dans les eaux de la planète ?

Les radionucléides sont présents dans toutes les eaux de la planète, y compris l'eau de mer. L'Almanach mondial 1990 a été utilisé pour calculer les quantités d'eau des océans dans le tableau suivant :

Tableau I-6 Radioactivité naturelle par l'océan

Nucléide	L'activité utilisé dans le calcul	L'activité dans l'océan		
		Pacifique	Atlantique	Tous les océans
Uranium	0.9 pCi/L (33 mBq/L)	6×10^8 Ci	3×10^8 Ci	1.1×10^9 Ci
Potassium 40	300 pCi/L (11 Bq/L)	2×10^{11} Ci	9×10^{10} Ci	3.8×10^{11} Ci
Tritium	0.016 pCi/L (0.6 mBq/L)	1×10^7 Ci (370 PBq)	5×10^6 Ci (190 PBq)	2×10^7 Ci (740 PBq)
carbone 14	0.135 pCi/L (5 mBq/L)	8×10^7 Ci (3 EBq)	4×10^7 Ci (1.5 EBq)	1.8×10^8 Ci (6.7 EBq)
Rubidium 87	28 pCi/L (1.1 Bq/L)	1.9×10^{10} Ci	9×10^9 Ci	3.6×10^{10} Ci

I-3-4 Nourriture :

Chaque aliment contient une quantité infime de radioactivité. Les radionucléides les plus courants dans les aliments sont l'uranium 238 (^{238}U), le radium 226 (^{226}Ra) et le potassium 40 (^{40}K). Vous trouverez ci-dessous une liste de plusieurs aliments courants avec leur teneur en ^{40}K et ^{226}Ra [11].

Tableau I-7 Radioactivité naturelle dans les aliments [9].

Nourriture	^{40}K pCi/kg	^{226}Ra pCi/kg
Banane	3,520	1
noix du Brésil	5,600	1,000-7,000
carotte	3,400	0.6-2
Pommes de terre blanches	3,400	1-2.5
bière	390	---
Viande rouge	3,000	0.5
Lima Bean brut	4,640	2-5
L'eau potable	---	0-0.17

I-3-5 La radioactivité naturelle des matériaux de construction :

Les matériaux de construction contiennent des radiations, comme cela a été établi précédemment. Les niveaux estimés d'uranium, de thorium et de potassium dans quelques-uns des matériaux de construction les plus courants sont énumérés ci-dessous [9].

Tableau I-8 Les estimations des concentrations d'uranium, de thorium et de potassium dans les matériaux de construction (NCRP 94 1987, sauf indication contraire)

Matériel	Uranium		Thorium		Potassium	
	pp m	mBq/g (pCi/g)	pp m	mBq/g (pCi/g)	pp m	mBq/g (pCi/g)
Granite	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4.0	1184 (32)
Grès	0.4 5	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
Ciment	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
Calcaire béton	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
Béton Grès	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
Panneaux muraux secs	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)
Sous-produit de gypse	13. 7	186 (5.0)	16. 1	66 (1.78)	0.0 2	5.9 (0.2)
Gypse naturel	1.1	15 (0.4)	1.8	7.4 (0.2)	0.5	148 (4)
Bois	-	-	-	-	11. 3	3330 (90)
Brique de terre cuite	8.2	111 (3)	10. 8	44 (1.2)	2.3	666 (18)

La terre/argile utilisée pour fabriquer les briques est brûlée dans des fours. Les trois principaux radionucléides sont le ^{40}K , le ^{232}Th et ses produits de désintégration. La radioactivité des briques est mesurée afin d'évaluer les concentrations de radionucléides qui peuvent être utilisées pour définir les substances et relier les caractéristiques radiométriques aux caractéristiques physiques du matériau.

I-4 Effets biologiques des rayonnements :

Nous examinons souvent la manière dont les rayonnements affectent les cellules vivantes tout en tenant compte de leurs effets biologiques. Les effets biologiques d'une faible exposition aux rayonnements sont si négligeables qu'ils ne sont pas visibles. Les carcinogènes chimiques et les dommages induits par les rayonnements résistent aux processus de guérison de l'organisme. Par conséquent, les effets biologiques du rayonnement sur les cellules vivantes peuvent avoir les trois effets suivants : Les cellules peuvent être blessées ou endommagées de trois manières : (1) elles peuvent se guérir elles-mêmes, sans laisser de dommages durables ; (2) elles peuvent disparaître naturellement, comme le font chaque jour les millions de cellules du corps ; ou (3) elles peuvent être mal réparées, ce qui entraîne un changement biophysique.

Les populations exposées à des quantités relativement élevées de rayonnements ionisants constituent la principale source de données pour les associations entre l'exposition aux rayonnements et le développement du cancer (par exemple, les survivants des bombardements atomiques au Japon et les personnes ayant bénéficié de certaines procédures médicales diagnostiques ou thérapeutiques).

Les cancers du sein, de la vessie, du colon, du foie, du poumon, de l'œsophage, de l'ovaire, les myélomes multiples et les leucémies de l'estomac sont liés à une exposition à des doses élevées (plus

de 50 000 mrem). Selon la documentation du ministère de la santé et des services sociaux, il pourrait y avoir un lien entre l'exposition aux rayonnements ionisants et les cancers du pancréas, de la prostate, du larynx, de la gorge et de la cavité nasale.

La période de latence, qui peut être de plusieurs années, est l'intervalle entre l'exposition aux rayonnements et la découverte du cancer. Les tumeurs malignes

pouvant résulter d'une exposition aux rayonnements sont identiques à celles qui peuvent survenir naturellement ou à la suite d'un contact avec d'autres agents cancérigènes. Les recherches de l'Institut national du cancer montrent également que nombre de ces maladies sont causées chimiquement par divers dangers environnementaux et par des choix de mode de vie, tels que le tabagisme, la consommation d'alcool et une mauvaise alimentation. Bien que le rayonnement peut provoquer des cancers à fortes doses et débits de dose élevés, il n'existe pas actuellement de données pour établir sans équivoque la survenue d'un cancer après une exposition à de faibles doses et débits de dose -. Dessous de 10.000 mrem (100 mSv) [13].

Références du chapitre I :

- [1] Shapiro J., .Radiation Protection., A guide for scientists and physicists, Harvard University press, Cambridge, Massachusetts (1972).
- [2] Ralph E. Lapp & Howard L. Andrews, . Nuclear Radiation Physics. fourth edition, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1972).
- [3] Faghihi R, Mehdizadeh S, Sina S (2010) Natural and artificial radioactivity distribution in soil of Fars province, Iran. Radiat Prot Dosim 138:1–9
- [4] UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation. Report to General assembly, with scientific annexes, United Nations, New York, 1993.
- [5] Stoulos S., Manolopoulo M., Papastefanou C., 2003. Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece, Journal of Environmental Radioactivity, 69 (3): 225–240.
- [6] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly with Annex B: Exposures from Natural Sources of Radiation. United Nations, New York.
- [7] Lu Xinwei., (2005) Natural radioactivity in some building materials of Xi'an, China. Radiation Measurements, 40, 94-97.
- [8] Pavildou, S., Koroneos, A., Papastefanou, C., Christfides, G., Stoulos, S., Vavelides, M. (2006). Natural radioactivity of granites used as building materials. J.Env.Radioact., 89,48 60.
- [9] Stuart Hunt and Associates Ltd, A Brief Discussion about Naturally Occurring Materials (NORM)[online],USA:SHA,2002.Available from:
<http://www.stuarthunt.com/Downloads/Docs/NormText.pdf> [Accessed 31 Aug 2008]
- [10] UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, Vol. 1, Annex B, United Nations, New York (2000).
- [11] Natural radioactivity. Radiation Information networks "Radioactivity in Nature".
[http:// www.physics.isu.edu/radinf/natural.html](http://www.physics.isu.edu/radinf/natural.html) 22 :26 / 06/03/2023
- [12] Argonne National Laboratory, Web page on the Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) program on the website for Environmental Science Division (/ZS/\$www.evs.anl.gov), last accessed July 2011.
- [13] FACT SHEET.US.NRC (united states nuclear regulatory commission, protecting people and the environment).

CHAPITRE II : L'AMIANTE

II-1 Introduction :

Le terme "amiante" s'applique à une variété de minéraux silicatés fibreux d'origine naturelle. Les deux configurations minérales primaires de l'amiante serpentin (chrysotile) et de l'amphibole sont divisées en six grandes mines d'amiante. (actinolite, amosite, anthophyllite, crocidolite et trémolite).

L'amiante blanc, également connu sous le nom de serpentine, a la formule chimique parfaite $Mg_3(OH)_4(Si_2O_5)$. Ce minéral, qui est composé de feuilles de silicate avec des feuilles tétraédriques et octaédriques, est le type d'amiante le plus utilisé commercialement et représente plus de 90 % de toute la production d'amiante dans le monde[1]. Les silicates à double chaîne connus sous le nom d'amphiboles ont une structure en chaîne, un comportement fibreux et sont structurellement allongés dans une direction cristalline privilégiée. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit une fibre d'amiante comme une particule ayant un rapport d'aspect supérieur à 3:1, une longueur supérieure à 5 m et une largeur inférieure à 3 m [2–4]. Ces minéraux ont été utilisés dans le commerce en fonction de leur composition minéralogique, de leur structure et de leurs caractéristiques physiques. Les différents types d'amiante ont des propriétés physiques uniques. Les fibres d'amiante chrysotile sont plus dures et plus cassantes que les fibres d'amiante amphibole, qui sont plus fines, plus souples et capables de se tisser [5]. Les propriétés chimiques et physiques de l'amiante sont indiquées dans le tableau 1.

Les qualités physiques exceptionnelles des fibres d'amiante, notamment leur grande résistance à la traction, leur faible conductivité thermique, leur non-biodégradabilité, leur grande résistance électrique, leur résistance aux attaques acides et alcalines et leur capacité d'absorption acoustique, leur ont valu d'être largement utilisées dans le monde entier [3].

En raison de ces qualités, l'amiante a été largement utilisé dans une variété de matériaux de construction, y compris les feuilles plates, les tuiles, les matériaux de couverture ondulés, les tuyaux d'eau de pluie et de pression, les sprays acoustiques et thermiques, les plâtres, les peintures, les produits de revêtement de sol, et bien plus encore.

La concentration d'amiante a varié de 25 % en poids à plus de 90 % afin de créer une substance abordable et facile à utiliser pour réparer les bardeaux, les trous de clous, les lucarnes, les puits de lumière, les dalots et les joints de cheminée.

À partir de 1905, le matériau composite a été utilisé à diverses fins, Sa production a été.

Tableau I 1 : Propriétés physiques et chimiques de l'amiante [6]

Nom	Formule	Couleur	Éclat	Densité (gcm ⁻³)	Dureté (Mohs)	Décomposition Température (°C)	de fusion de la matière résiduelle (°C)
Chrysotile	Mg ₃ (OH) ₄ (Si ₂ O ₅)	Du blanc au gris-vert	Soyeux	2.4–2.6	2.5–4	450–700	1500
Crocidolite	Na ₂ (Fe ²⁺ + ₃ Fe ³⁺ + ₂)Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Bleu à foncé	Soyeux à terne	3.2–3.3	4	400–600	1200
Amosite	Fe ²⁺ ₂ Fe ²⁺ ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH)	Gris jaunâtre à brun foncé brun	Vitreux à nacré	3.1–3.2	5.5–6	600–800	1400
Anthophyllite	Mg ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Gris à vert	Vitreux, nacré sur le clivage	2.85–3.2	5.5–6	800–850	1450
Trémolite	Ca ₂ (Mg _{5.04.5} Fe ²⁺ _{0.0–0.5})Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Blanc, gris	Vitreux et soyeux Vitreux à	2.99–3.03	5–6	950–1040	1315
Actinolite	Ca ₂ (Mg _{4.5–2.5} Fe ²⁺ _{0.5–2.5})Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Vert pâle à foncé vert	Vitreux à nacré	3	5–6	620–960	1400

De 1930 à 1970 environ, où il a atteint son maximum, il a augmenté. De 1970 à 1990, il est resté pratiquement inchangé [7].

Lorsque les propriétés cancérogènes de l'amiante ont été découvertes et amplement étayées par de nombreuses études, l'ère de l'amiante dans les pays industrialisés a pris fin. En réalité, l'amiante a été identifié comme un agent cancérogène pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer [8, 9]. Les maladies liées à l'amiante, telles que le cancer du poumon, le mésothéliome et l'asbestose, provoquées par l'exposition professionnelle, coûtent la vie à plus de 107 000 personnes chaque année [10, 11]. La libération de fibres d'amiante par les marchandises constitue un risque majeur, car les fibres pénètrent dans le système respiratoire et provoquent l'asbestose et la cancérogénèse. Il est bien connu que la taille des fibres d'amiante est un facteur crucial, les plus dangereuses ayant une longueur comprise entre 5 et 10 µm et une largeur comprise entre 0 et 1 µm [8].

Depuis que l'on a découvert que les dommages causés par l'amiante peuvent affecter les personnes vivant à proximité des industries ainsi que les travailleurs des usines, les problèmes de santé liés à l'amiante sont redevenus une question sociale [10, 11]. La variété friable de l'amiante est actuellement l'objet principal du contrôle dans la perspective d'éviter l'exposition. En réalité, en raison de la nature des produits à base d'amiante, des fibres d'amiante peuvent finir par être libérées avec le temps. La conférence générale de l'Organisation internationale du travail (OIT) a approuvé une déclaration concernant l'amiante, demandant à tous les États membres de soutenir activement une interdiction mondiale de toutes les formes d'amiante et de déchets contenant de l'amiante [12].

II-2 Les fibres : amiante et laines minérales

Les particules allongées dont le rapport longueur/diamètre est d'au moins trois sont appelées fibres. Seules de très petites fibres inhalées (d'un diamètre inférieur à 3,5 microns) ont la capacité de pénétrer dans la plèvre.

En fonction de leur composition chimique, les fibres peuvent être classées comme organiques, inorganiques, naturelles ou synthétiques. Nous nous intéresserons ici plus particulièrement aux fibres naturelles inorganiques telles que les fibres d'amiante et les laines minérales, qui sont toutes deux classées sous le terme générique de "fibres minérales artificielles" (FMA)[13].

II -3 L'AMIANTE :

L'amiante est une variante naturelle du silicate hydraté avec une structure cristalline fibreuse et des minéraux (calcium, fer, magnésium et sodium). Un silicate est un minéral structuré à partir d'une unité de base qui est l'ion silicate $[\text{SiO}_4]^{4-}$. On parle du tétraèdre SiO_4 . Le tétraèdre SiO_4 est extrêmement stable. Seul l'acide fluorhydrique peut dissoudre le squelette silicique en formant des fluoro-silicates hydrosolubles (SiF_4) On parle de silicate hydraté lorsqu'au sein d'un ion silicate, certains atomes d'oxygène sont remplacés par des groupes hydroxyle (OH).

Le groupe ionique SiO_4 possède la particularité de pouvoir constituer des polymères en mettant en commun certains atomes d'oxygène (ou groupe hydroxyle). [14]

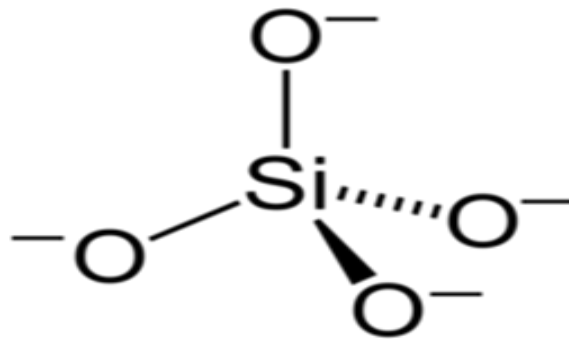


Figure II-1 Forme moléculaire du silicate hydraté

II -4 Histoire :

Des rapports font état d'ucclérations rapides de l'amiante qui ont tiré parti de la chaleur et des capacités de renforcement de la matrice de la fibre d'amiante. La première utilisation connue de l'anthophyllite remonte à la Finlande (vers 2500 JC), où elle était utilisée pour renforcer les poteries et les objets de la vie quotidienne, De nombreuses références anciennes évoquent l'utilisation de fibres d'amiante dans la fabrication de mèches de lampes et de vêtements pour les crématoires. Par exemple, Marco Polo a parfois présenté d'autres utilisations des fibres d'amiante dans des matériaux résistants à la chaleur ou aux flammes. En utilisant des fibres de chrysotile extraites des gisements des montagnes de l'Oural, Pierre le Grand de Russie a commencé la production de papier d'amiante à la fin du XVIIe siècle. Avec l'apparition des textiles en amiante en Italie au XIXe siècle, l'utilisation des fibres d'amiante à une véritable échelle industrielle a été établie. D'importants gisements d'amiante ont été découverts dans le monde entier à la fin du XIXe siècle et l'exploitation a commencé au Canada (1878), en Afrique du Sud (1893, 1908-1916) et en URSS au début du siècle, La demande de particules d'amiante a augmenté de façon spectaculaire pour de nombreuses utilisations, notamment pour l'isolation thermique des machines à vapeur et d'autres technologies. En outre, la machine Hatschek, mise au point en 1900 pour fabriquer des plaques en continu à partir d'un composite d'amiante-ciment, a ouvert un important débouché industriel aux fibres d'amiante [15].

La fabrication de fibres d'amiante à des fins militaires, principalement pour l'isolation thermique et la protection contre les incendies, s'est développée à la suite de la Seconde Guerre mondiale. Après la guerre, ces applications ont ensuite été étendues aux constructions résidentielles ou commerciales. Fin des années 1960 et début des années 1970, L'utilisation de particules d'amiante pour l'isolation thermique a été fortement réduite (ou interdite) après que l'on a découvert que l'exposition prolongée aux fibres d'amiante en suspension dans l'air entraînait des problèmes de santé. Dans la majorité des applications contemporaines, les fibres d'amiante sont généralement enfermées dans un matris, qui est généralement fait de ciment ou de résines organiques. La production mondiale de fibres d'amiante

a atteint un maximum de 5×10^6 t en 1979 ; elle a ensuite diminué jusqu'en 1986 pour atteindre 4×10^6 t, après quoi elle a augmenté.

$4,3 \times 10^6$ t en 1989, rapidement. La Russie représente 60 % des lieux d'extraction d'amiante argileux dans le monde, suivie du Canada (16 %), de l'Écorce, du Zambabwe, de la Chine et de l'Afrique du Sud. L'Afrique du Sud produit également la majorité de la cocidolite et de l'amosite. Actuellement, des sociétés d'extraction de fibres d'amiante opèrent dans 21 pays différents.

II -5 Propriétés physico-chimique de l'amiante :

L'amiante est issu de 2 familles de minéraux : les Amphiboles et les Serpentes.

Toutes les Amphiboles et Serpentes ne sont pas de l'amiante. Au sein de ces familles, seuls les minéraux ayant une structure cristalline fibreuse sont de l'amiante. Cette structure cristalline, qui détermine la forme et la taille des fibres, est un élément de différenciation important entre l'amiante serpentine (le chrysotile) et les amiantes amphiboles. C'est le mode et le degré de polymérisation des ions silicates qui est à l'origine de la classification des 6 variétés d'amiante [13].

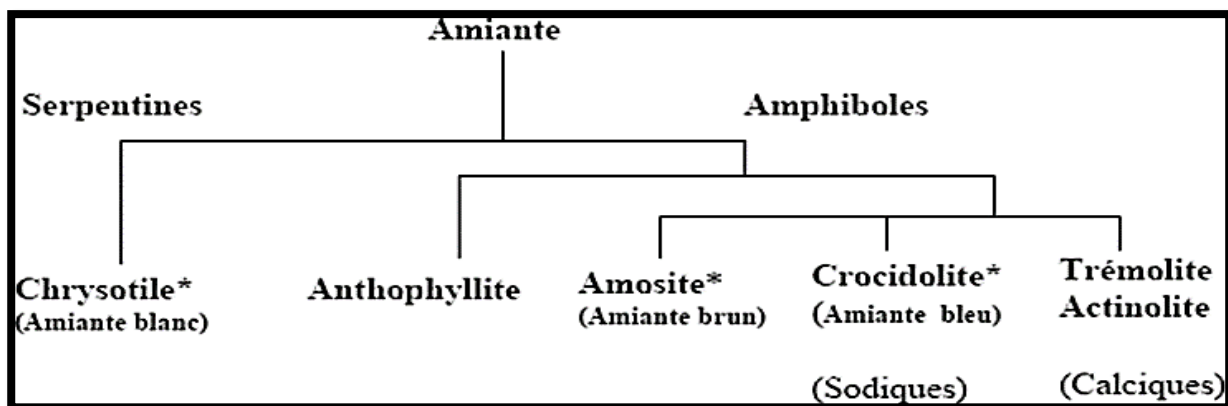


Figure II- 2 Classement des variétés d'amiant

Le chrysotile est principalement un silicate hydraté à base de magnésium.

Des anions d'oxygène (O^-) ou d'hydroxyle (OH^-) sont présents autour des cations Si^{4+} ou Mg^{2+} . La structure cristalline du chrysotile est décrite comme un polymère formé par la superposition en différentes couches d'une couche tétraédrique, Te (tétraèdres SiO_4 associés entre eux), associée à une couche octaédrique, Oc, appelée brucite en référence à sa composition et à sa structure, qui ressemblent à celles de la brucite, un minéral d'hydroxyde de magnésium ($Mg(OH)_2$) sous forme fibreuse. Deux des trois groupes hydroxyles de cette couche de la maille $Mg_3(OH)_6$ de la brucite sont remplacés par des atomes d'oxygène aux extrémités des tétraèdres.

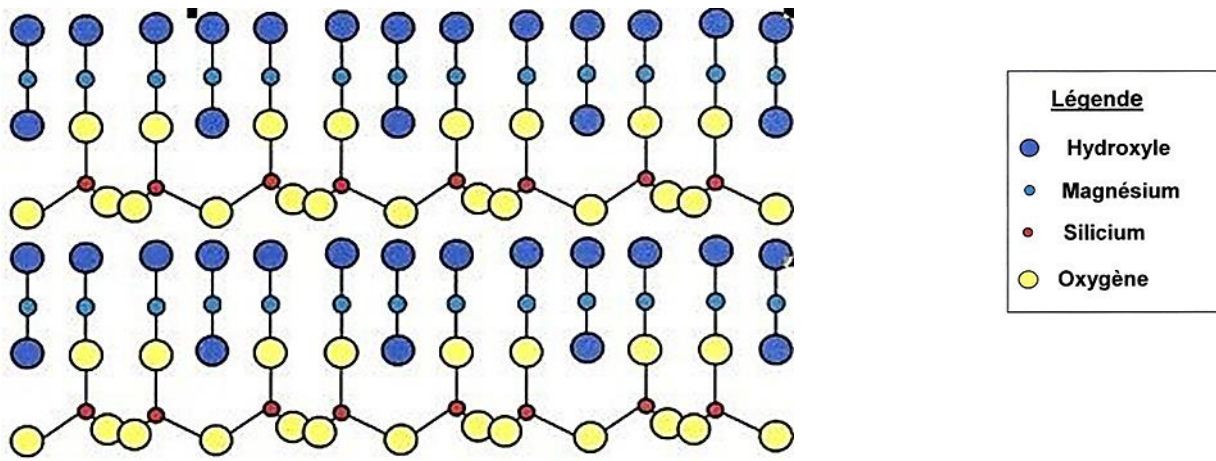


Figure II- 3 Structure Chimique du chrysotile

Les amphiboles. Comme le montre la figure 4, les deux rubans tétraédriques de silicate qui constituent la structure cristalline commune des minéraux amphiboles sont empilés l'un sur l'autre. Les cations métalliques équilibrent le plan des sites de valence anionique produit par la disposition des rubans jumeaux. La cellule unitaire comporte sept sites cationiques de trois types différents et, sans perturber de manière significative le réseau, ces sites peuvent accueillir une large gamme de cations métalliques [15].

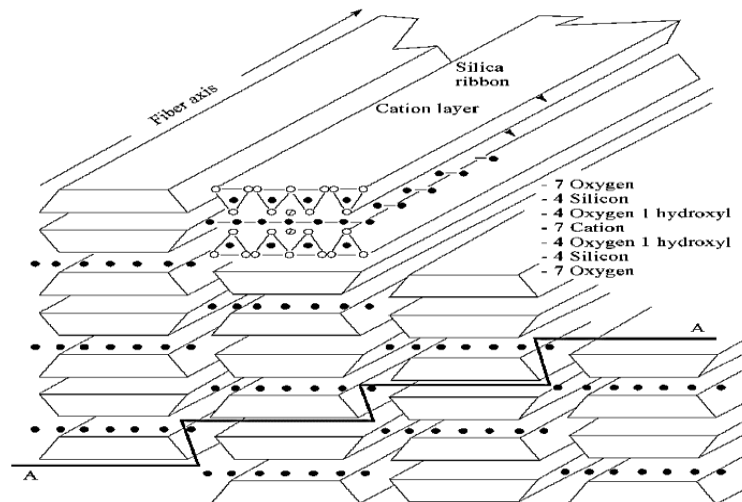


Figure II- 4. Structure microscopique des fibres amphiboles. Réimprimé avec permission.

La structure cristalline atomique des amphiboles n'entraîne pas nécessairement le développement de fibres, contrairement aux fibres de chrysotile. Les amphiboles asbestiformes doivent être le résultat de plusieurs nucléations et de circonstances de croissance particulières. En outre, bien que les distinctions macroscopiques entre les cristaux d'amphiboles massives et asbestiformes soient claires, les structures cristallines des deux types ne diffèrent pas significativement les unes des autres. En

outre, les amphiboles non fibreuses présentent des voies de clivage préférentielles qui aboutissent à des fragments ayant la forme de fibres.

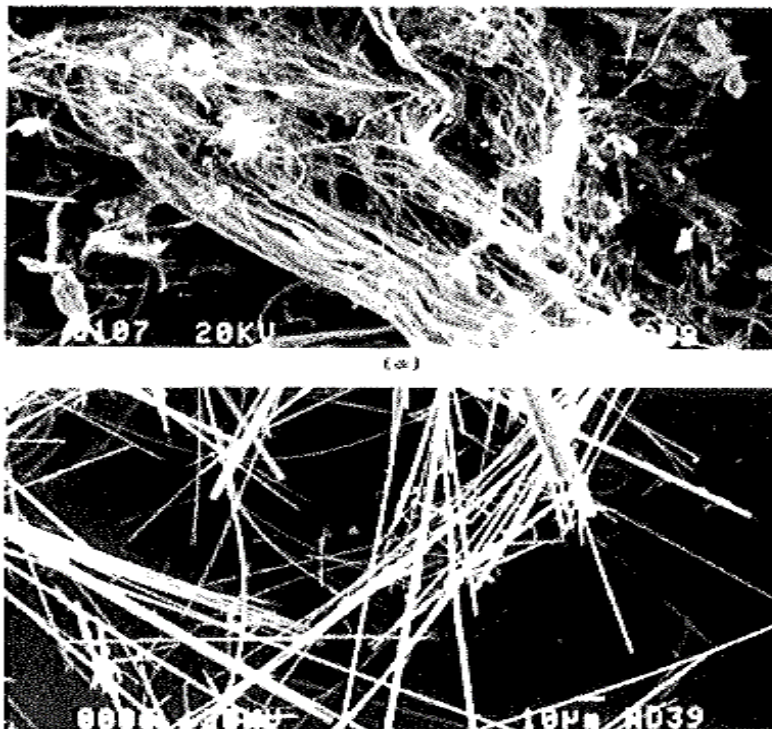


Figure II- 5. Micrographies électroniques de fibres d'amiante : (a) chrysotile, (b) crocidolite

SiO₂, MgO (39-44%) et eau (12-15%). Le minéral est souvent accompagné d'inclusions macroscopiques ou d'impuretés de substitution, ces dernières pouvant représenter 20 %, voire plus, de la masse. Les impuretés les plus fréquentes sont le fer et l'aluminium, mais on trouve également du calcium, du chrome, du nickel, du manganèse, du sodium et du potassium. Par rapport au chrysotile, les amphiboles ont des compositions chimiques plus complexes et variées. Les cations prédominants sont Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Na⁺ et Ca²⁺ (tableau 2).

Le chrysotile et les amphiboles sont tous deux susceptibles de contenir des contaminants supplémentaires, en particulier ceux d'origine organique, pendant le transport ou le traitement commercial des fibres.

Tous les types d'amiante sont résistants aux bases fortes, ce qui les a rendus utiles dans les applications de ciment, mais le chrysotile a toujours été connu pour être très sensible aux acides, quelle que soit leur force, qui réagissent avec les groupes hydroxyles. Ensuite, les atomes de magnésium sont libérés, laissant un résidu de silice [16].

crocidolite étant plus résistante que l'amosite. Les cations qui quittent le squelette de silice sont ensuite lessivés pour provoquer la décomposition des amphiboles. Les amphiboles ont une surface

spécifique nettement inférieure à celle du chrysotile. Selon l'adsorption stationnaire, les fibres de crocidolite ont une surface spécifique de 3 à 15 m²/g contre 10 à 50 m² /g pour le chrysotile

Malgré une forte résistance thermique, tous les types d'amiante commencent à se dégrader en dessous de 1000°C. La cinétique de leur dégradation thermique progressive varie en fonction de l'espèce. À 800 °C, le chrysotile subit une déshydroxylation complète qui aboutit à la création d'un produit amorphe complexe. Si la transformation est effectuée sans osyst, les principaux sous-produits de la décomposition thermique des amphiboles sont le pynxène Na-Fe, la magnétite et la silice vitreuse.

Le chrysotile présente un niveau intermédiaire de résistance à la fracture en termes de qualités de résistance mécanique, qui diffèrent considérablement d'une espèce d'amphibole à l'autre. La classification de la crocidolite selon et al est la suivante : Elise > Chrysotile > Amosite Anthophyllite [16].

II -5 Produits industriels

II -5 -1 Secteur de la construction :

1 -Amiante-ciment

Depuis la fin des années 1960, ce matériau, qui peut prendre différentes formes et caractéristiques, est le plus utilisé en France. Il est composé d'un mélange homogène de ciment et de fibres (environ 10 % de fibres et 90 % de ciment). Plus de 400 usines le produisent, ce qui en fait l'un des matériaux de couverture les plus utilisés dans le monde.

Tableau-II- 2: Production mondiale d'amiante (d'après World production of asbestos: Industrial minerals 1992)

	1967	1990
<i>Canada</i>	664546	682200
<i>Brésil</i>	212807	210000
<i>Zimbabwe</i>	193295	190000
<i>Chine</i>	144673	160000
<i>Afrique du Sud</i>	135074	147500
<i>Italie</i>	118352	20000
<i>Grèce</i>	60134	72500
<i>USA</i>	50600	17427**
<i>Inde</i>	29110	37000
<i>Swaziland</i>	25925	35000
<i>Chypre</i>	18070	-
<i>Yougoslavie</i>	10964	7000
<i>Colombie</i>	6600	8000
<i>L'Iran</i>	3300	3500

<i>Japon</i>	3143	3500
<i>Corée</i>	2518	2300
<i>Turquie</i>	806	-
<i>Bulgarie</i>	400	400
<i>Argentin</i>	332	300
<i>Egypte</i>	209	300

*a rexeption de la Russie (ex URSS)

**chiffre pour l'année 1989

articles pour l'étanchéité (joints en élastomère d'amiante, joints uniques,... joints,...) ;

les cartons utilisés pour revêtir les plafonds, les murs et les portes coupe-feu, les feutres bitumineux composés d'un mélange d'amiante et d'autres fibres, et les dalles de feutre en latex ;

quelques outils ou matériaux pour les revêtements céramiques, dans le béton pour les joints de traction, et divers produits isolants [16]

2 -Flocages d'amiante

En dehors des matériaux industriels utilisés dans la construction, l'amiante a été utilisée sous forme de flocons pour augmenter la résistance au feu d'une structure ou améliorer l'isolation acoustique ou phonique

Un revêtement est créé in situ par la technique du flocage en projetant et en faisant adhérer un enchevêtrement de fibres liées entre elles par un liant (ciment, plâtre, etc.),

On peut distinguer deux variétés de flocages plus couramment utilisées : l'une comporte une couche épaisse (> 2 cm environ) de matériau velouté ou duveteux de faible densité et souvent friable, et l'autre une fine couche (1,5 cm environ) de matériau dur de densité plus élevée et moins friable. La première forme de flocage était souvent fabriquée par voie sèche, l'amiante représentant entre 50 et 90 % de la masse, et la seconde par voie humide, avec 5 à 30 % d'amiante. Ces flocages ont été utilisés dans diverses applications :

- protection incendie d'ossatures métalliques (poteaux et poutres);
- protection incendie complémentaire sous planchers béton
- absorption acoustique en plafond et en mur (dans les amphithéâtres ou dans les ateliers bruyants par exemple);
- correction thermique (quelquefois associée avec protection incendie) en sous face de plancher sur sous-sol par exemple [16].

II -6 Effets sanitaires des fibres d'amiante :

II -6 -1 Fibrose pulmonaire et pleurale :

L'inhalation de fibres d'amiante peut provoquer une asbestose, une pneumopathie infiltrante fibrosante diffuse à évolution lente qui provoque des douleurs respiratoires. Les plaques pleurales, qui indiquent une exposition à l'amiante dans 80 à 90 % des cas, surtout si elles sont bilatérales, sont un épaississement fibreux de la plèvre qui peut parfois se calcifier. Elles sont le plus souvent asymptomatiques, liées au niveau d'exposition et ont une longue période de latence (plus de 15 ans après l'exposition initiale à l'amiante). Elles ne développent pas systématiquement un mésothéliome ou un cancer du poumon [14].

Cancer de divers organes : poumon, plèvre, péritoine, larynx et ovaires :

Quelle que soit la nature du minéral qui les compose, les fibres d'amiante sont toutes cancérigènes. Elles sont responsables des mésothéliomes péritonéaux ou pleuraux et des tumeurs malignes broncho-pulmonaires. L'amiante serait à l'origine de la maladie spécifique connue sous le nom de mésothéliome.

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a reconnu en 2009 le cancer du larynx et le cancer de l'ovaire comme deux nouveaux cancers causés par l'exposition à l'amiante, après avoir catégorisé l'amiante comme un cancérogène connu en 1977. En revanche, il a estimé qu'il n'y avait pas suffisamment de preuves concernant les tumeurs malignes de l'estomac, du pharynx et du côlon-rectum.

Procédé RECYCLING :

Le procédé est basé sur une destruction de la structure fibreuse de l'amiante par une attaque acide à chaud. L'acide utilisé étant de l'Acide Chlorhydrique dilué à 8,5%. Puis une récupération de la silice sous forme solide.

Les coproduits présents dans la phase liquide sont également récupérés sous forme d'hydroxydes et de chlorures. La méthode pour les déchets d'amiante marginalement pollués par des liants hydrauliques (flocage) et pour l'amiante-ciment est décrite dans les schémas ci-dessous.

Amiante - Ciment

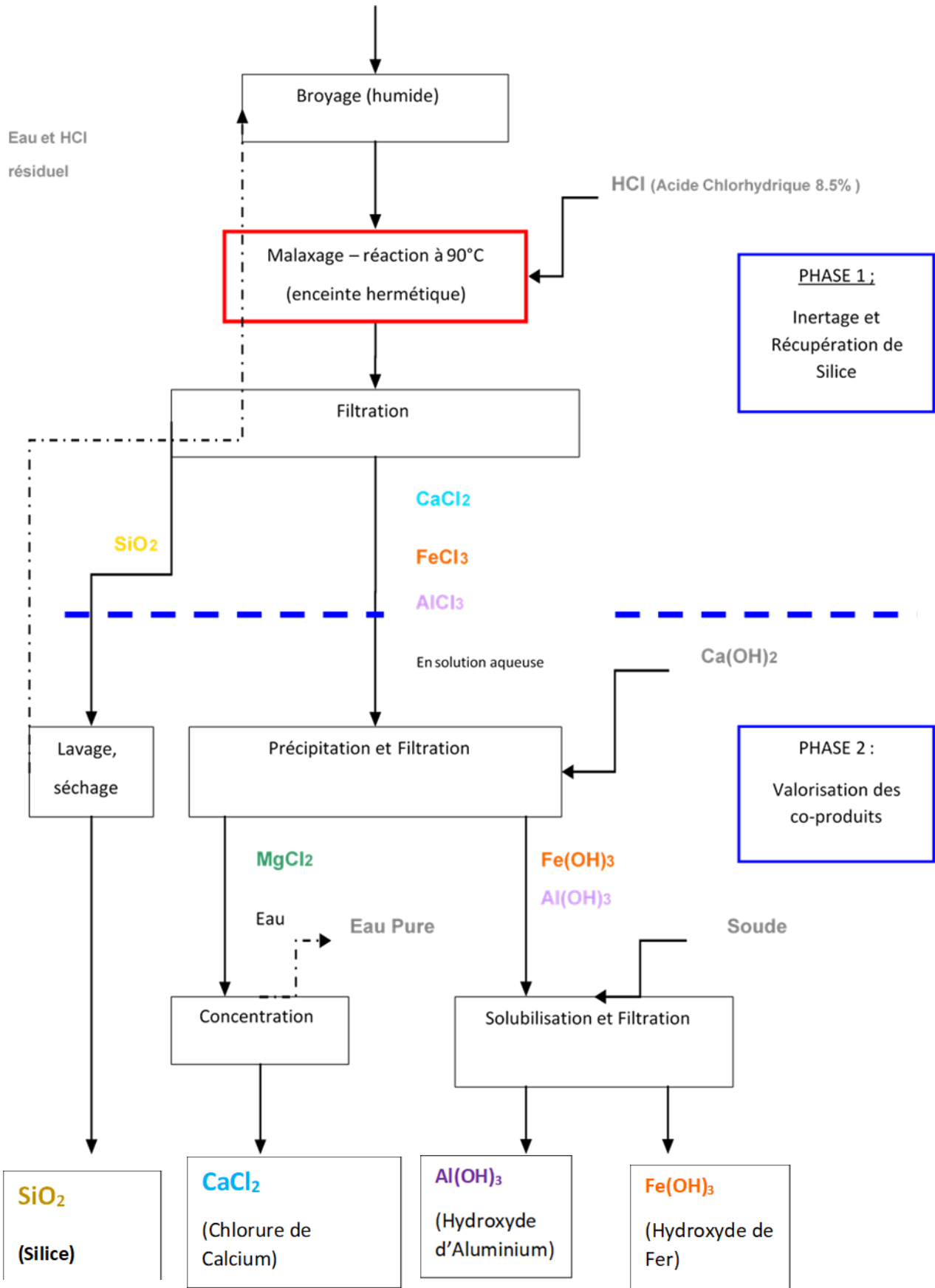


Figure-II-5.Synoptique procédé Neo Eco Recycling – Amiante-Ciment

Un équipement transportable peut être utilisé pour effectuer le processus d'inertage directement sur le chantier.

Le site de Baudelet environnement à Blaringhem accueillera l'installation fixe plus importante nécessaire à la phase de valorisation.

La serpentine, l'amphibole et d'autres variétés d'amiante peuvent être traitées. Par ailleurs, les déchets d'amiante peuvent se présenter sous de nombreuses formes (flocages, liés au plâtre, au ciment, plaques de fibrociment, etc.) [14].

Références du chapitre 2 :

- [1]. Yanagisawa K, Kozawa T, Onda A, Kanazawa M, Shinohara J, Takanami T, Shiraishi M (2009) A novel decomposition technique of friable asbestos by CHCl₃-decomposed acidic gas. *J Hazard Mater* 163:593–599
- [2]. Yvon Y, Sharrock P (2011) Characterization of thermochemical inactivation of asbestos containing wastes and recycling the mineral residues in cement products. *Waste Biomass Valor* 2:169–181
- [3]. Leonelli C, Veronesi P, Boccaccini DN, Rivasi MR, Barbieri L, Andreola F, Lancellotti I, Rabitti D, Pellacani GC (2006) Microwave thermal inertisation of asbestos containing waste and its recycling in traditional ceramics. *J Hazard Mater B* 135:149–155
- [4]. Kusiorowski R, Zaremba T, Piotrowski J, Podworny J (2015) Utilisation of cement-asbestos wastes by thermal treatment and the potential possibility use of obtained product for the clinker bricks manufacture. *J Mater Sci* 50:6757–6767
- [5]. Kusiorowski R, Zaremba T, Piotrowski J, Adamek J (2012) Thermal decomposition of different types of asbestos. *J Thermal Anal Calorimetr* 109:693–704
- [6]. Klein C (2002) *The manual of mineral science*, 22nd edn. Wiley, Amsterdam. ISBN 0-471-25177-1
7. Min SY, Maken S, Park JW, Gaur A, Hyun JS (2008) Melting treatment of waste asbestos using mixture of hydrogen and oxygen produced from water electrolysis. *Korean J Chem Eng* 25:323–328
- [8]. IARC (1987) Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC monographs volumes I to 42. IARC, Lyon, IARC Monographs, Suppl. 7, 139–142
- [9]. WHO (2006) Elimination of asbestos-related diseases. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/occupational_health/publications/asbestosrelateddiseases.pdf.
- [10]. Deng Q, Lan YJ, Wang MZ (2009) 30 years follow up study: the dose-response relationship of asbestos exposure and asbestosis. *Mod Prev Med* 36:2027–2029
- [11]. Wang X, Courtice MN, Lin S (2013) Mortality in chrysotile asbestos workers in China. *Curr Opin Pulmon Med* 19:169–173
- [12]. ILO (2006) Resolution concerning asbestos (Adopted by the 95th Session of the International Labour Conference, June 2006). International Labour Organization, Geneva. http://www.ilo.org/safework/info/standards-and-instruments/WCMS_108556/lang--en/index.htm. Last accessed Jan 2018
- [13] THÈSE pour le DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 2 Mention : Sciences, Technologies, Santé
Option : Épidémiologie et Santé Publique Présentée et soutenue publiquement *Le 3 décembre 2010*
- [14]. RECORD, Gestion de la fin de vie des matériaux à base d'amiante et autres matériaux fibreux. *Revue internationale des différents procédés de traitement*, 2016, 174 p, n°14-0333/1A
- [15]. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (4th Edition) Page 344-348
- [16]. Les Éditions INSERM, 1997 101, rue de Tolbiac 75013 Paris

**CHAPITRE III :
METHODOLOGIE ET
MATERIEL**

III-1 INTRODUCTION

La spectrométrie gamma est l'une des méthodes radioanalytiques les plus utilisées dans la détermination et la quantification des radionucléides, naturels et artificiels, dans différentes activités, par exemple dans l'analyse d'échantillons environnementaux ou dans les expériences d'activation [1 – 5]. Un radionucléide émettant un rayonnement gamma peut être mesuré qualitativement et quantitativement à l'aide d'un système de spectrométrie gamma.

La précision de la mesure dépend des performances des différents systèmes des détecteurs. L'un de ces types de détecteurs bien connus est le détecteur au germanium de haute pureté (HPGe). Afin d'obtenir des mesures de haute qualité, les performances du détecteur HPGe doivent être soigneusement vérifiées par rapport à ses spécifications, en particulier lors de l'installation et de la

mise en service. Une « fiche de données d'assurance qualité » sera émise pour chaque système de spectrométrie gamma à base de HPGe et certaines spécifications de performance seront spécifiées dans cette fiche de données. Ces spécifications de performance, à savoir la résolution, la forme des pics, le rapport Pic-au-Compton et l'efficacité relative, doivent être testées et vérifiées lors de la mise en service et programmées périodiquement pour garantir l'intégrité de système de spectrométrie.

La qualité des mesures effectuées par spectrométrie gamma dépend aussi de la connaissance de l'efficacité de détection. Dans le spectre des rayons gamma, un pic d'absorption totale contient toutes les informations nécessaires pour identifier et quantifier un isotope radioactif dans un échantillon car le nombre de photons détectés est proportionnel à la concentration de cet isotope. Cependant, afin de déterminer le nombre de photons émis par l'échantillon, il faut avoir une courbe d'efficacité pour toute la gamme énergétique du spectre des rayons gamma. Par conséquent, le calcul et/ou la mesure l'efficacité du détecteur pour l'absorption totale des rayons gamma (Full-Energy Peak Efficiency FEPE) doit être soigneusement effectuée avant toute mesure. Cette efficacité d'absorption totale FEPE est une fonction complexe, qui dépend des conditions de mesure (géométrie source-détecteur) et également des caractéristiques du détecteur, à savoir ses dimensions et sa composition. La courbe de l'efficacité d'absorption totale FEPE peut être obtenue expérimentalement en mesurant un grand nombre de sources standards « ou références » primaires à de nombreuses énergies qui possèdent des dimensions géométriques, des configurations de source et des spécifications physicochimiques très similaires à celles de l'échantillon d'intérêt [6 – 8].

Ce travail met en évidence l'importance de ces spécifications de performance, quel est la valeur attendue (garantie) et le résultat du processus de vérification pour un détecteur coaxial HPGe utilisé dans ce travail.

III-2 PARAMÈTRES DE TEST

III-2-1 ÉTALONNAGE EN ÉNERGIE DES DÉTECTEURS HPGe

Dans les expériences de spectroscopie de rayons γ , l'étalonnage en énergie des détecteurs HPGe est très essentiel. Pour effectuer un fiable étalonnage en énergie des détecteurs HPGe, un ensemble de sources standards radioactives pouvant émettre de nombreux rayons γ avec des énergies précisément connues sont utilisées, telles que Eu-152, Ba-133, Co-60 et Cs-137. Cependant, lorsque les rayons γ à haute énergie (par exemple, $E \geq 3500$ KeV) nécessitent une analyse, ces régions d'énergie ne peuvent pas être calibrées par les sources susmentionnées car aucune d'entre elles ne peut produire les rayons γ intenses requis avec des énergies supérieures à 3500 KeV [9 – 10]. De plus, les quelques sources standards radioactives pouvant émettre des rayons γ avec des énergies supérieures à 1500 KeV ont des durées de vie courtes [11] : Ga-66 (833,5 – 4806 eV, 13 rayons γ au total, $T_{1/2} = 9,49$ h), 10 rayons γ avoir des énergies supérieures à 1500 KeV ; 24 Na (1368,6 et 2754 KeV, $T_{1/2} = 14,997$ h) ; Co-56 (846,8 – 3548,1 KeV, 14 rayons γ au total, $T_{1/2} = 77,236$ d), 9 rayons γ ont des énergies supérieures à 1500 KeV [10 – 11].

En supposant qu'un détecteur HPGe est calibré par la source Eu-152, ce détecteur pourrait mesurer exclusivement les rayons γ avec des énergies jusqu'à environ 1500 KeV puisque l'énergie mesurée n'est valable que dans cette région d'étalonnage. Dans la région d'extrapolation, l'énergie mesurée dérivée du coefficient d'étalonnage peut s'écarter considérablement de la valeur réelle.

III-2-2 RÉOLUTION

L'IUPAC définit la résolution en spectroscopie optique comme la différence minimale de nombre d'onde, de longueur d'onde ou de fréquence (donc on parle de l'énergie) entre deux lignes dans un spectre qui peut être distinguée. Le pouvoir de résolution, R, est donné par le nombre d'onde de transition, la longueur d'onde ou la fréquence (ou l'énergie), divisé par la résolution [12].

Une bonne résolution est appréciée pour deux raisons :

- La première raison est que les rayons gamma qui sont proches en termes d'énergie peuvent être mesurés séparément. Lorsque les centroïdes des pics de bonne forme sont espacés de $3 \times \text{FWHM}$ (largeur à mi-hauteur), les pics individuels sont clairement séparés. Au niveau à cinquantième-hauteur et avec des aires égales dans chaque pic, il y a un chevauchement négligeable, car avec une forme gaussienne la FWHM (largeur cinquantième-hauteur) égale à $2,376 \times \text{FWHM}$. Si les pics de surfaces égales n'étaient séparés que de $1 \times \text{FWHM}$, ils peuvent alors être facilement identifiés visuellement comme un multiplet.
- Une deuxième raison de rechercher une haute résolution est moins critique et concerne les spectres contenant de petits pics sur un bruit de fond incertain. Avec une bonne résolution, un pic contenant peu de comptages concentrera ces comptages dans quelques canaux seulement, et ces canaux se démarqueront plus distinctement au-dessus du continuum de bruit de fond, permettant une détection et une mesure plus fiables. Ce point est normalement la raison de préférer les détecteurs HPGe aux détecteurs NaI(Tl) pour les mesures des basses activités, même si NaI(Tl) est susceptible d'avoir une plus grande efficacité de comptage.

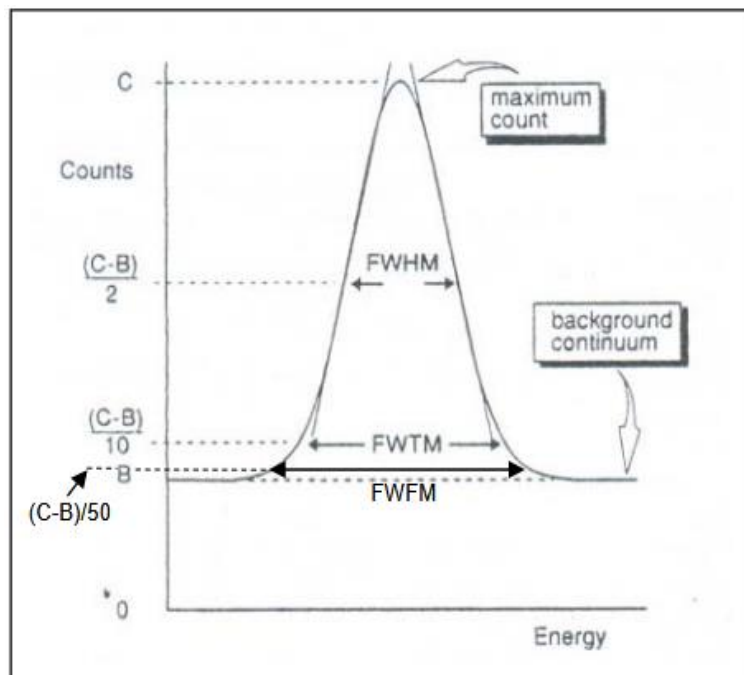


Figure-III- 1. Résolution du détecteur. Représentation d'un pic ayant une forme gaussienne avec une largeur à mi-hauteur (FWHM ou FW1/2M), une largeur à dixième-hauteur (FWTM ou FW1/10M) et une largeur à cinquantième-hauteur (FWFM ou FW1/50M).

Pour déterminer la résolution du détecteur, on place la source sur une distance de « End-Cap » du détecteur et on accumule un spectre dans l'analyseur multicanal (MCA) de sorte que le pic de référence (pic 1332,5 KeV de Co-60 pour le détecteur coaxial) ait au moins 10 000 coups dans le

canal de pic ayant le comptage maximal pour minimiser l'erreur de comptage statistique. Les logiciels commerciaux modernes fourniront la valeur de résolution en KeV lorsque le pic est marqué.

La figure 1 indique comment le FWHM, le FWTM et le FWFm peuvent être déterminés dans un pic gaussien acquis dans le spectre du détecteur HPGe.

Tableau-III- 1 : Résolutions des détecteurs existants en marché [13].

Detector Type	Photon Energy (KeV)		
	5.9	122	1332.5
Coaxial p-type	–	0.8 – 1.4	1.7 – 2.5
Coaxial n-type	0.66 – 1.2	0.8 – 1.4	1.7 – 2.7
Short n-type	0.3 – 0.5	0.6 – 0.72	–
Well	–	– 1.4	1.9 – 2.3
Planar	0.14 – 0.4	0.48 – 0.72	–
Ultra-low energy	0.14 – 0.16	0.48 – 0.72	–
Si(Li)	0.16 – 0.25	–	–

Tableau-III- 1 indiquant la valeur de résolution (en KeV) pour différents types de détecteurs disponibles dans le marché. Dans la plupart des cas, la résolution est mesurée sur la ligne de pic de la source standard en fonction de la gamme d'énergie du détecteur. Pour la gamme de hautes énergies (jusqu'à 10 MeV) on utilise généralement la ligne de pic 1332.5 KeV de Co-60 comme spécification de performance tandis que pour le détecteur de gamme des basses énergies (jusqu'à 1 MeV) on utilise, de préférence, Co-57 (122 KeV) ou Fe-55 (5,9 KeV) comme indicateur.

III-2-3 FORME GAUSSIENNE DU PIC

La forme gaussienne du pic est déterminée en calculant le rapport de FWTM sur FWHM et le rapport de FWFm sur FWHM pour vérifier s'il y a un élargissement du pic dans le temps. La valeur théorique du rapport FWTM/FWHM est de 1,823. Dans la pratique une valeur de ce rapport $\leq 1,9$ doit être acceptable. Alors que la valeur théorique du rapport FWFm/FWHM est de 2,376. Pour le pic gaussien devrait être $\leq 2,5$ en pratique [13]. Généralement, FWFm/FWHM n'est pas garanti par les fabricants car la valeur FWFm est très influencée par le continuum Compton (Bruit de fond).

III-2-4 RAPPORT PIC-AU-COMPTON

La mesure du rapport Pic-au-Compton est basée sur le même pic ayant l'énergie 1332,5 KeV de Co-60 utilisé pour la mesure de la résolution. Ce rapport, tel que décrit dans la norme ANSI/IEEE [14], est le nombre des coups dans le plus grand canal du pic 1332,5 KeV au nombre moyen de coups dans les canaux représentant la gamma des énergies entre 1040 et 1096 keV, qui fait partie de la région Compton associée au pic de 1332,5 KeV. Cette valeur de rapport est analogue à un rapport

Signal/Bruit. Pour ce faire, on accumule le spectre jusqu'à ce qu'il y ait plusieurs milliers de coups dans le canal de pic considéré, puis on calcule le rapport en fonction des informations du spectre.

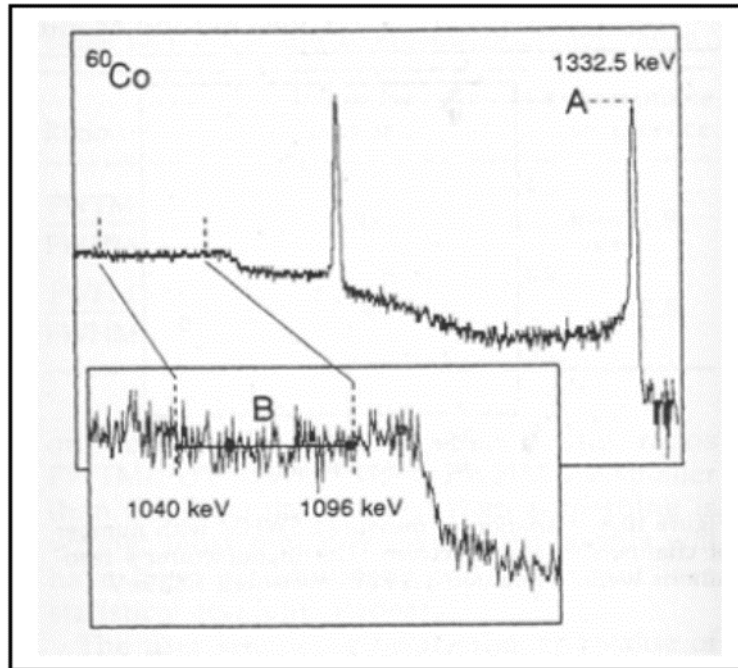


Figure III-2: Rapport Pic-au-Compton $P/C = A/B$. (a) Position sur le spectre de Co-60 de A et B (comptage sur une échelle logarithmique), et (b) la nature constante du continuum dans la région B (comptage sur une échelle linéaire).

Normalement, on peut s'attendre à ce que le rapport Pic-au-Compton calculé corresponde à la spécification citée si la spécification de résolution a été respectée. Une perte du rapport Pic-au-Compton qui ne s'accompagne pas d'une dégradation correspondante de la mesure de résolution d'énergie est probablement due à la présence d'un matériau absorbant à proximité du détecteur ou de la source, ou à un bruit de fond de K-40 provenant des murs en béton ou à la présence d'autres sources de rayonnement. Figure 2 indiquant comment la valeur de crête à Compton peut être calculée.

On comprendra que, plus la résolution est bonne plus le pic est étroit, plus la valeur des comptages de canaux de pic de 1332,5 KeV est élevée et plus le rapport Pic-au-Compton est élevé. De même, plus l'efficacité d'absorption totale est grande, plus il y a un comptage élevé dans le pic et plus la valeur des comptages de canaux de pic de 1332,5 KeV est élevée. Plus le détecteur est grand, plus la probabilité d'absorption totale du rayon gamma (capturant toute l'énergie gamma par n'importe quel processus) est grande et aura donc plus de comptage dans les pics et moins dans le continuum Compton, augmentant le rapport Pic-au-Compton. D'où un pic photoélectrique plus grand et un continuum Compton bas, c'est-à-dire un rapport pic à Compton plus élevé. Les valeurs du rapport Pic-au-Compton pour 1332,5 KeV vont d'environ 40:1 pour un petit détecteur à efficacité relative de 10% à plus de 90:1 pour certains détecteurs grands [13].

III-2-5 EFFICACITÉ RELATIVE

L'efficacité relative est calculée sur la base de la norme IEEE 325-1996 [14]. La procédure doit être suivie soigneusement pour obtenir des résultats significatifs. Pour effectuer ce test, on place perpendiculairement une source standard ponctuelle de Co-60 (précision de 1 % en activité) à 25 cm de « End-Cap » de détecteur. L'activité actuelle de cette source doit être calculée sur la base du taux de décroissance du Co-60. L'efficacité absolue du détecteur au germanium pour les photons d'énergie 1332,5 KeV est mesurée avec des corrections de temps mort appropriées. L'efficacité absolue est donnée par le rapport des comptages totaux dans le pic de 1332,5 KeV au nombre total de désintégrations de la source pendant la durée de vie écoulée. (Temps active = temps réel - temps mort, y compris le temps mort de l'amplificateur et de l'analyseur). Il est suggéré qu'au moins 20 000 comptages soient accumulés dans le pic 1332,5 KeV. Le rapport de l'efficacité absolue du détecteur au germanium à l'efficacité d'un détecteur à scintillation NaI(Tl) 3''×3'' à 25,0 cm (connu comme étant de $1,2 \times 10^{-3}$) est calculé. Le rapport, exprimé en pourcentage, est donné comme l'efficacité relative du détecteur.

$$\varepsilon_{REL.}(\%) = \frac{S/t_m}{p \times A_0 \times e^{-\lambda t_d} \times 1,2 \times 10^{-3}} \times 100 \quad (1)$$

Avec S : La surface sous le pic 1332.5 KeV du Co-60 ; t_m : Temps de mesure en secondes ; p : Intensité de transition du pic 1332.5 KeV (égale à 0.999845) ; λ : La constante de décroissance du Co-60; A_0 : L'activité initiale de Co-60 donnée par le fournisseur ; t_d : Le temps compris entre la date de fabrication de la source et la date d'acquisition.

ÉTALONNAGE EN EFFICACITÉ D'ABSORPTION TOTALE FEPE

Le nombre d'impulsions recueillies dans un pic correspondant à une énergie E (pic d'absorption totale) est proportionnel au nombre de photons d'énergie E émis par le radionucléide et à l'efficacité d'absorption totale FEPE du détecteur pour cette énergie E :

$$N_p/t_m = p_\gamma \times \varepsilon_p(E) \times A_0 \times \Pi C_i \quad (2)$$

où N_p/t_m : taux de comptage net enregistré sous le pic correspondant à la transition d'énergie E (s^{-1}) ; t_m : temps actif d'acquisition du spectre (en sec) ; $\varepsilon_p(E)$: l'efficacité d'absorption totale du détecteur utilisé pour l'énergie E ; I_γ : intensité d'émission du photon gamma d'énergie E ; A_0 : l'activité absolue de la source référence à la date de référence (en KBq) ; ΠC_i : produit de facteurs correctifs à prendre en compte comprenant d'une manière générale : les coïncidences $X - X$, $X - \gamma$, $\gamma - \gamma$, la décroissance radioactive, les pertes de comptage dues aux empilements électriques,

l'absorption dans les supports et l'auto-absorption due à la source elle-même. Les différents facteurs de corrections sont:

$$\Pi C_i = C_D \times C_M \times C_{EE} \times C_{AA} \times C_{COI} \quad (3)$$

- C_D est la correction de décroissance pour ramener le comptage à la date de référence :

$$C_D = e^{-\lambda t_d}$$

où t_d est le temps de décroissance de la source référence (la différence entre la date de début de la mesure et la date de référence) et λ est la constante de décroissance du radionucléide de cette source.

- C_M est correction de décroissance pendant la mesure :

$$C_M = \frac{(1 - e^{-\lambda t_m})}{\lambda t_m}$$

- C_{EE} est la correction liée aux empilements électriques. Les activités utilisées sont de quelques centaines de kilos becquerels. Elles créent un taux de comptage de quelques centaines de coups par seconde ce qui permet de rendre négligeable les phénomènes liés aux empilements électriques.
- les corrections d'absorption dans les supports et d'auto-absorption C_{AA} sont négligeables. Les sources références sont constituées d'un dépôt de solution radioactive sur un film Mylar[®] fin n'ayant pas d'influence sur l'absorption du rayonnement. La goutte après séchage crée un dépôt extrêmement fin qui n'offre pas de phénomène d'auto-absorption aux énergies qui nous intéressent.
- Selon De Felice et al. [15], les écarts des efficacités d'absorption totale FEPE, corrigées par les effets de sommation par coïncidence (sources ponctuelles ^{133}Ba , et ^{152}Eu positionnées à 10 cm de la surface du détecteur), par rapport aux efficacités d'absorption totale FEPE pour les sources mono-énergétiques ne dépassent pas 1. Ce serait approximativement l'erreur dans les valeurs d'efficacité due à la négligence de cet effet dans ce travail. De plus, les angles solides de détection utilisés sont très faibles. Dans le cas du détecteur GC4018 (61.5 mm de diamètre) et pour une distance source-détecteur de 17.8 cm (8 anneaux), cet angle est de 9.6×10^{-2} sr, de ce fait, les termes correctifs C_{COI} restent du second ordre.

En raison des problèmes rencontrés dans les méthodes expérimentales, la détermination de l'efficacité d'absorption totale FEPE est un ancien problème et il n'existe pas de méthode unique et universelle

de calcul de l'efficacité. Plusieurs auteurs ont proposé et appliqué diverses méthodes non-expérimentales pour déterminer l'efficacité d'absorption totale FEPE et ont fourni des solutions utiles pour surmonter ces problèmes [16 – 27].

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

III-3-1 SOURCES DES RAYONS γ

L'efficacité d'absorption totale FEPE a été étalonnée dans le domaine énergétique de 53 à 1408 KeV en utilisant un ensemble des sources de référence ponctuelles, à savoir : ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{60}Co , ^{137}Cs et ^{152}Eu . Les sources ont été fournies par LEA-CERCA, France. Les caractéristiques des sources utilisées dans le cadre de l'étalonnage du détecteur GC3018 sont regroupées dans le tableau 2.

Les cinq radionucléides se présentent sous la forme de sources. Marinelli Avec ces sources de rayonnement, une distribution presque uniforme des pics d'étalonnage peut être obtenue dans le domaine d'énergie comprise entre 53 et 1408 KeV, ce qui réduira la probabilité d'occurrence d'oscillations non physiques. De plus, les pics d'étalonnage appliqués ont été regroupés dans le tableau 1 pour plus de commodité. Ce tableau contient également les activités certifiées à la date de référence. Les demi-vies utilisées et les intensités d'émission des photons gamma sont tirées à partir de la base de données de l'AIEA-2007 [28].

Tableau 2 : Données nucléaires des sources d'étalonnage.

Source	Énergie (KeV)	I_γ (%)	A_0 (KBq)	$\Delta A_0/A_0$	date REF.	date MES.
Ba-133	81	32.90	31200	0,01	18/6/03 12:00	17/4/23 14:31
	223.23	0.45				
	276.4	7.16				
	302.85	18.34				
	356.02	62.05				
	383.85	8.94				
Eu-152	121.78	28.41	4170	0,01	29/11/00 12:00	16/4/23 9:57
	244.7	7.55				
	295.94	0.44				
	344.28	26.59				
	367.79	0.86				
	411.12	2.24				
	443.96	3.12				
	488.68	0.41				
	503.47	0.15				
	586.26	0.46				
	656.49	0.14				
	678.62	0.47				
	688.67	0.84				
	719.35	0.33				
	778.9	12.97				
	810.45	0.32				
	867.38	4.24				
	919.33	0.43				
	964.08	14.50				
	1085.87	10.13				
	1089.74	1.73				
1112.07	13.41					
1212.95	1.42					
1249.94	0.19					
1299.14	1.63					
1408.01	20.85					

III-3-2 SYSTÈME DE COMPTAGE

Les mesures expérimentales ont été effectuées avec un détecteur HPGe coaxial de type p (modèle GC3018, Canberra Industries). L'efficacité nominale relative spécifiée pour ce détecteur est de 36,6 de l'efficacité du détecteur NaI (Tl) 3''× 3'' cm². La résolution (FWHM) et le rapport Pic-au-Compton (P/C) pour l'énergie de la raie 1,3325 MeV de Co-60, qui se sont avérés être respectivement de 1,8 keV et 61:1.

Le détecteur est installé dans un château de plomb de 10 cm d'épaisseur (modèle 650 N), et protégé de rayons X, produits dans le plomb, par deux couches en étain de 1 mm et en cuivre de 1,6 mm [29]. Le détecteur HPGe est associé à un préamplificateur (modèle 2012C) et à Analyseur de signaux numériques (Lynx Digital Signal Analyzer LDSP) avec un temps de mise en forme de 4 μ s. Les gains grossier et fin étaient respectivement de 4 et 0.96420x. Une haute tension recommandée de

4000 V a été appliquée au détecteur. L'acquisition des spectres et l'identification des rayons gamma des radionucléides ont été faite à l'aide d'un logiciel d'analyse GENIE 2000. La déconvolution de tous les spectres a été faite à l'aide Du module INTERACTIVE PEAK FIT de GENIE2000 [30].

III-4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-4-1 ÉTALONNAGE EN ÉNERGIE

Genie2000 permet de visualiser en temps réel la sortie de l'analyseur multicanaux, à savoir un spectre avec en abscisse le numéro de canal et en ordonnée le nombre de coups dans ce canal. De manière à pouvoir identifier les désintégrations radioactives mises en jeu, le spectre doit être étalonné en énergie. Cela consiste à établir une relation polynômiale entre le numéro de canal et l'énergie déposée dans le cristal. Le spectre obtenu est alors un ensemble de pics distribués en énergie se rajoutant à un fond. L'énergie du pic correspond à l'énergie du photon incident, ce qui permet d'identifier le radioélément émetteur gamma.

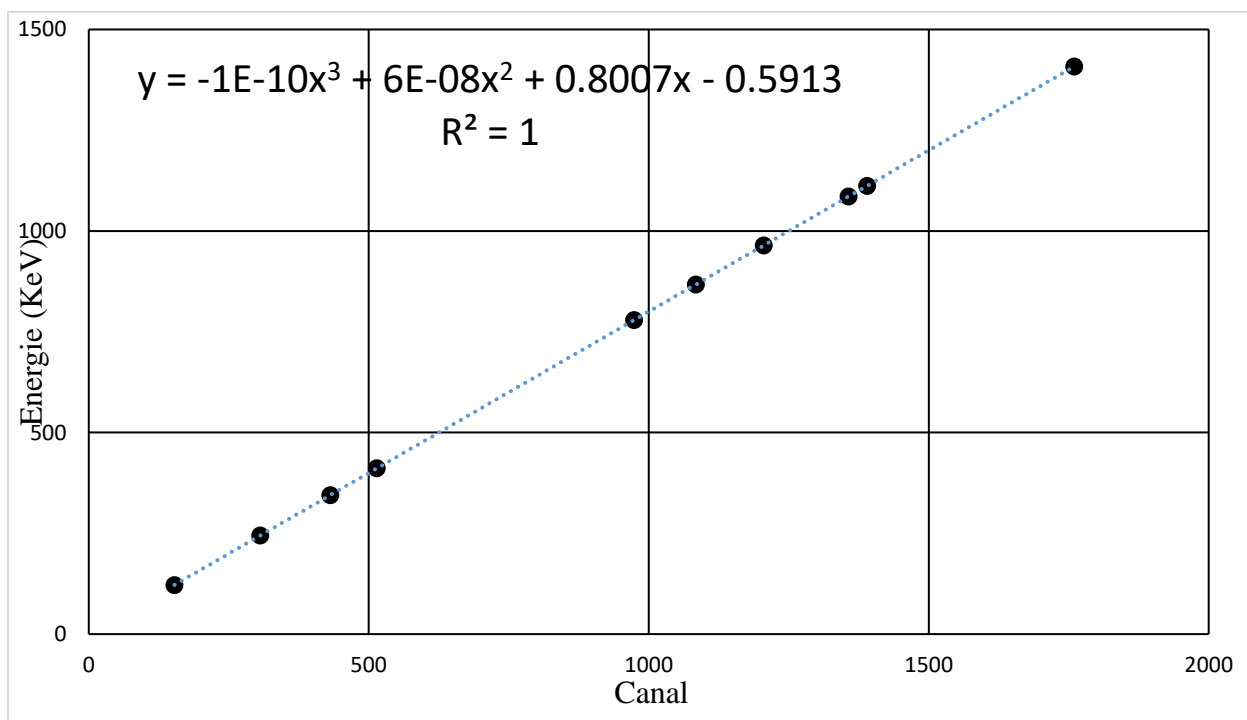


Figure III-3 : Courbe d'étalonnage en énergie pour le détecteur GC3018 (La pente égale à 0.5 KeV/Canal)

Cet étalonnage est fait à l'aide d'une source d'étalonnage d'Eu-152. Le résultat obtenu est présenté par la figure 3 ou la formule polynomiale de lissage (fitting) de l'énergie en fonction du numéro du canal est calculée par un algorithme approprié de GENIE2000.

III-4-2 RÉOLUTION ET FORME DE PIC

La figure 4 ci-dessous montre le spectre en temps réel collecté en comptant une source de ^{60}Co à une distance de 25 cm au-dessus de « End-Cap » du détecteur coaxial HPGe. Le pic photoélectrique 1332.5 KeV est mentionné par l'étiquette de son énergie tandis que le continuum représente la région de 1040 keV à 1096 keV. Toutes les données intéressées ont été accumulées et le calcul a été effectué sur la base des spécifications de performance.

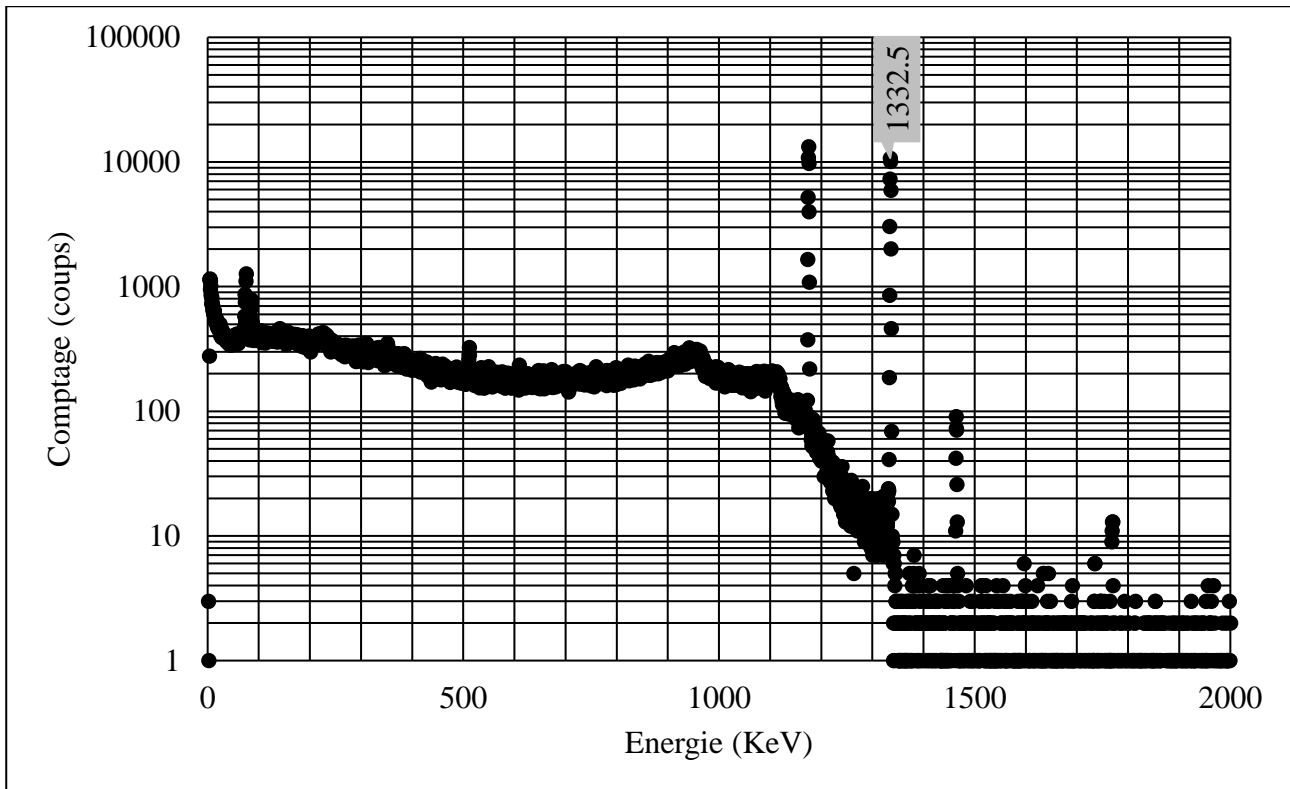
Tableau III-3 : Valeurs mesurées et garantis de FWHM, FWTM et FWF.

Paramètre	Valeur Calculée	Valeur garantie ou théorique	Bias relative (%)
FWHM (KeV)	1.801	1.800	0.06
FWTM (KeV)	3.257	3.280	0.69
FWFM (KeV)	4.300	4.276	-0.57
FWTM/FWHM	1.808	1.823	-0.80
FWFM/FWHM	2.387	2.376	0.48

III-4-3 RAPPORT PIC-AU-COMPTON

Tableau III-4 : Valeurs mesurées et garantis de rapport Pic-au-Compton.

Comptage au canal maximum du pic 1332.5 KeV	10760
Comptage total entre 1040 et 1096 KeV	20304
Nombre des canaux	112
Comptage moyen	181.286
Rapport Pic-au-Compton mesuré	59.4:1
Rapport Pic-au-Compton garanti	61:1
Bias relative (%)	3.55



III-4-4 EFFICACITÉ RELATIVE

Tableau III-5: Valeurs mesurées et garantis de l'efficacité relative.

E=1332.5 KeV, X-S-D=25 cm	
Activité initiale de la source Co-60 (KBq)	406.6
Temps de décroissance (jours)	5640.13
Période de Co-60 (Jours)	1925.23
Intensité du pic 1332.5 de Co-60	0.999856
Surface du pic 1332.5 (coups)	40630
Temps de mesure (s)	2170
Efficacité relative mesurée (%)	29.25
Efficacité relative garantie (%)	35.1
Bias relative (%)	16.68

Au cours d'une analyse de spectre, l'ajustement de courbe est une technique standard dans laquelle les paramètres d'une fonction d'ajustement sont modifiés pour décrire au mieux les données. Les pics photoélectriques pour les détecteurs HPGe sont bien décrits par une distribution gaussienne ou normale. La courbe présentée dans la figure 4 est un exemple typique d'ajustement gaussien.

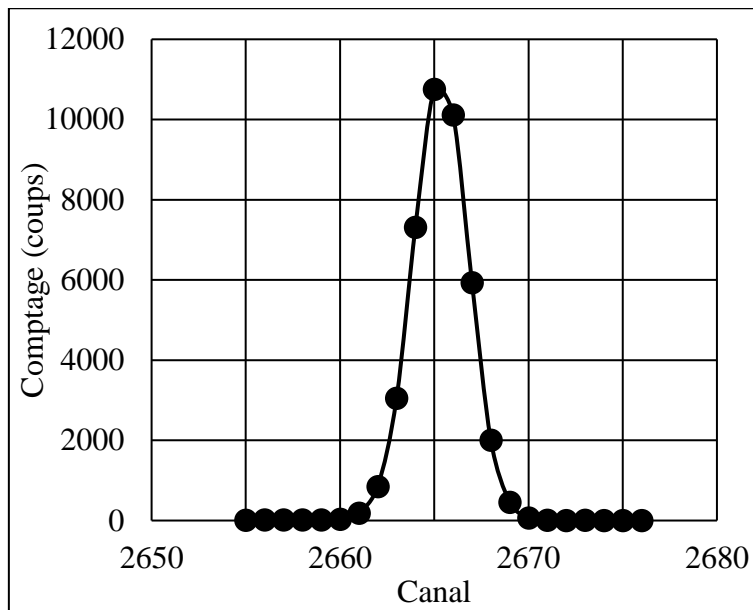


Figure III-5 : Pic Photoélectrique 1332.5 KeV typique bien défini à partir du spectre collecté.

L'approche adoptée dans l'ajustement de courbe consiste à supposer que les données suivent une certaine fonction qui contient un certain nombre de paramètres inconnus. Ensuite, les paramètres sont modifiés pour « s'adapter au mieux » aux données. Nous allons ajuster les pics photoélectriques dans nos spectres gamma et supposer que le photopic a la forme d'une fonction gaussienne due au rayon gamma plus un bruit de fond. Nous limiterons notre ajustement aux données autour du photo pic où ces hypothèses s'appliquent.

La racine de tous les programmes d'analyse de spectre est la capacité de localiser les pics de rayons gamma. Une mauvaise résolution empêchera deux photo pics proches de se distinguer et apparaîtra comme un grand pic additionné. Pour vérifier la résolution, le meilleur test serait de déterminer FWHM, FWTM et FWFM comme décrit ci-dessus.

La forme du pic avec un rapport compris dans les limites indiquées ci-dessus doit être considérée comme un critère nécessaire mais non suffisant. Si les rapports pour FWTM/FWHM et FWFM/FWHM sont inférieurs aux valeurs gaussiennes, alors quelque chose ne va pas. Il se peut très probablement que les comptages insuffisants aient été accumulés et que le résultat soit un accident statistique. D'autre part, si les rapports sont supérieurs à la valeur de pratique, cela peut indiquer que le pic a un taille-basse ou taille-haute. Cependant, des pics de mauvaise forme, ayant, par exemple, une taille-basse ou taille-haute peuvent toujours donner des rapports raisonnables, tout comme les pics qui sont élargis aux trois hauteurs de mesure.

Un rapport Pic-au-Compton faible se traduira par des pics mal définis sur le spectre qui peuvent être négligés lors de l'analyse spectrale. En pratique, un rapport Pic-au-Compton plus grand signifie de meilleures statistiques de comptage dans des spectres complexes avec une capacité améliorée à

mesurer des pics à faible énergie en présence d'un continuum Compton à partir de gammas à plus haute énergie. Une faible efficacité relative signifie que moins de comptages peuvent être accumulés sur le même temps de comptage, ce qui entraîne une erreur statistique de comptage plus élevée.

III-4-5 EFFICACITÉ D'ABSORPTION TOTALE FEPE

À partir de l'équation (2), l'efficacité d'absorption totale FEPE est déterminée à partir de sources d'activité connue :

$$\varepsilon_p(E) = \frac{N_p/t_m}{p_\gamma \times A_0 \times \Pi C_i} \quad (4)$$

Les mesures d'efficacité ont été effectuées pour 2 positions notées par G06 et G08, correspondantes aux distances source-détecteur 140 et 180 mm respectivement. Les temps d'acquisition des spectres ont été choisis en fonction des activités des sources pour maintenir l'incertitude statistique sur les surfaces des pics principaux en dessous de 1%. Le temps mort varie entre 1% et 3.2% en fonction de la position et la source elle-même. Les contributions de bruit de fond ont été soustraites des spectres de source standard correspondante. Les régions d'intérêt et les surface des pics ont été sélectionnés automatiquement et calculées avec GENIE 2000. La déconvolution de tous les spectres a été faite à l'aide du module INTERACTIVE PEACK FIT de GENIE2000.

Tableau III-6 : Résultats expérimentales de l'étalonnage de l'efficacité avec les cinq sources références pour les 4 distances source-détecteur.

Source	Energie	ε	$\varepsilon/\Delta\varepsilon$ (%)
Ba-133	53,16	0,00307	2,09
	81	0,01156	1,36
	160,61	0,01642	1,47
	223,23	0,01373	1,59
	276,4	0,01134	1,23
	302,85	0,01062	1,23
	356,02	0,00932	1,05
	383,85	0,00894	1,21
Eu-152	121,78	0,01448	1,11
	244,7	0,01121	1,18
	295,94	0,01017	2,72
	344,28	0,00889	1,11
	367,79	0,00861	2,28
	411,12	0,00747	1,35
	443,96	0,00708	1,50
	586,26	0,00573	3,32
	678,62	0,00496	3,51
	778,9	0,00455	1,16
	867,38	0,00409	1,36
	964,08	0,00395	1,14
	1085,87	0,00373	1,25
	1089,74	0,00371	1,68
	1112,07	0,00361	1,17
	1212,95	0,00322	1,91
	1299,14	0,00308	1,73
1408,01	0,00299	1,12	

À l'issue des opérations de déconvolution de l'ensemble des spectres d'étalonnage, les surfaces de chaque pic sont relevées dans MO-EXEL pour réaliser les calculs nécessaires à la détermination des points de l'efficacité d'absorption totale FEPE du détecteur GC3018 suivant l'équation 4. La répartition des différents points mesurés expérimentalement de l'efficacité d'absorption totale FEPE en fonction de l'énergie est présentée dans le Tableau 6. La Figure 6 montre graphiquement les valeurs expérimentales des efficacités pour les deux positions. Chaque valeur expérimentale d'efficacité est accompagnée d'une incertitude standard, qui a été calculée comme la somme quadratique des incertitudes individuelles sur l'activité des radionucléides, la désintégration, les probabilités d'émission et les statistiques de comptage.

À partir de ces valeurs expérimentales de FEPE, il devient possible d'établir une fonction mathématique de lissage exprimant l'efficacité d'absorption totale FEPE en fonction de l'énergie à partir du logiciel GENIE 2000. L'expression analytique de cette fonction mathématique de lissage de la courbe d'efficacité FEPE obtenue est

$$\ln(\varepsilon_p(E)) = \sum_{n=1}^5 [\ln(E)]^n$$

Le résultat correspond à une courbe de lissage de l'efficacité d'absorption totale FEPE présentée par une fonction logarithmique polynomiale d'ordre 5 et calculée par l'algorithme APOLOG de GENIE 2000 en utilisant l'équation (5) et ces valeurs ont été utilisées comme données d'efficacité intrinsèque. Le tableau 7 montre les coefficients des polynômes décrivant les efficacités mesurées pour les deux positions.

Tableau 7 : Coefficients des polynômes d'ajustements des fonctions des efficacités d'absorption totales pour les deux positions.

Coefficient	Valeurs
a_0	-1865
a_1	1965
a_2	-856.6
a_3	203.2
a_4	-26.79
a_5	1.877
a_6	-0.05455

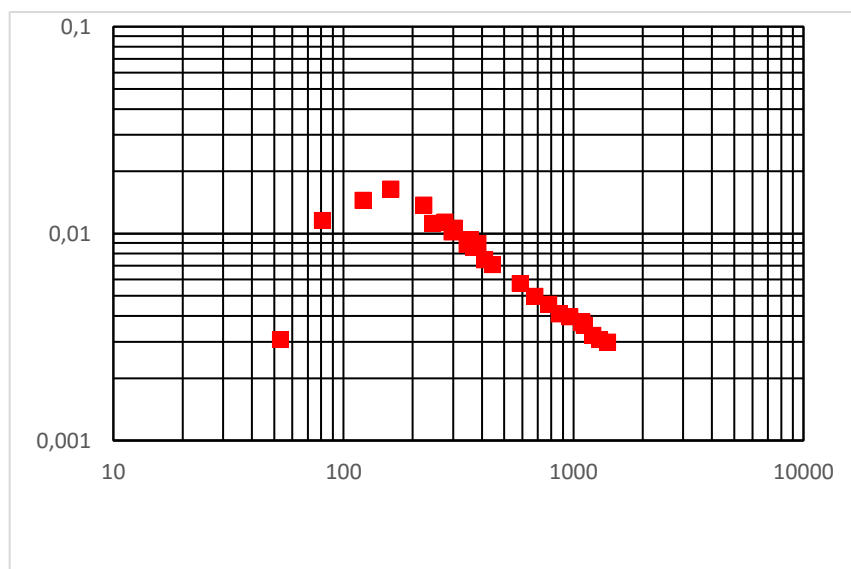


Figure III-6: Valeurs expérimentales de l'efficacité d'absorption totale FEPE (échelle LOG-LOG).

III-5 Deuxième partie : Mesure de la radioactivité des échantillons prélevés de l'environnement

Après avoir trouvé les pics d'un spectre particulier, l'étape clé de la spectrométrie γ consiste à corrélérer les régions de ces pics avec la concentration des radionucléides présents dans l'échantillon. La relation entre ces deux facteurs doit tenir compte à la fois des propriétés de la chaîne de mesure et de la géométrie de l'échantillon et du détecteur.

Les étapes ci-dessous donnent un aperçu du processus de travail.

III-5-1 Préparation des échantillons :

Les échantillons utilisés sont prélevés de différents sites, trois parmi eux ramenés de trois minerais différents :

L'échantillon E ciment blanche Hammam Dalaa

L'échantillon F ciment noir Hammam Dalaa

L'échantillon G béton Djaafra



Figure III-7 : Les trois phases de l'échantillon

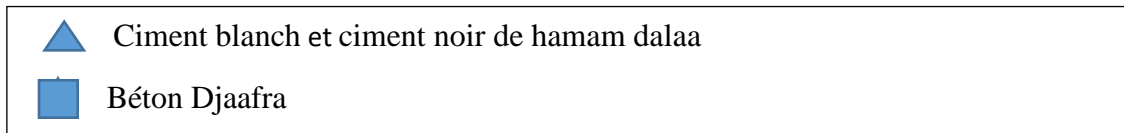
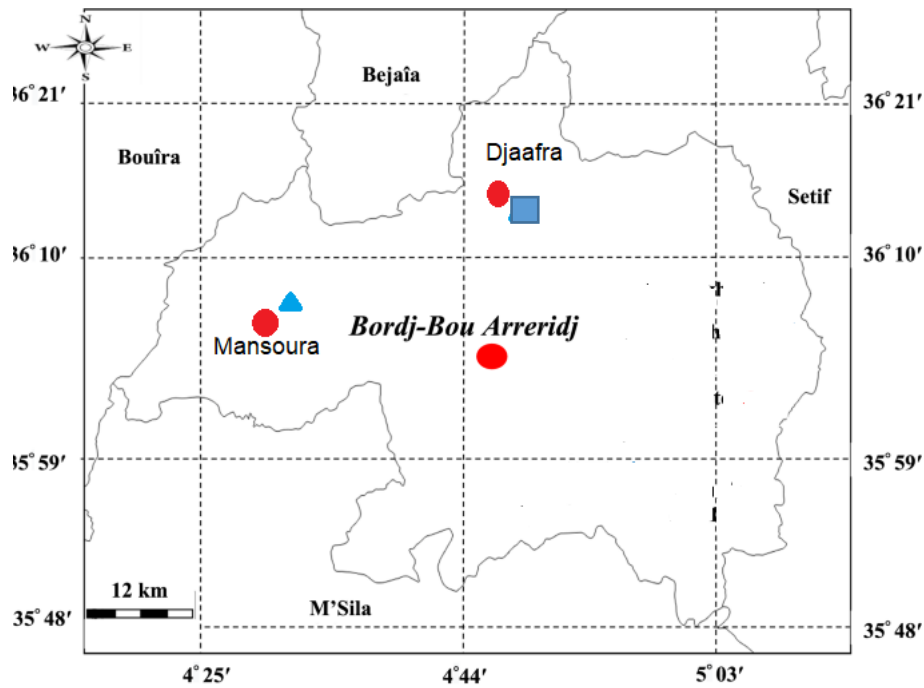


Figure III-8 : Localisation des trois matériaux de construction étudiées dans la région de Bordj-Bouarreridj, à l'est de l'Algérie

III-5-2 Mesure des activités spécifiques des échantillons

Après avoir réglé notre chaîne de mesure et avoir choisi les meilleurs paramètres de la chaîne, nous avons commencé les mesures quantitatives de chaque échantillon.

Le schéma de notre manipulation est illustré par la Figure III-9:

D'abord, on commence par la mesure du bruit de fond pendant 180000 s (50 heures) et puis pour le même temps de comptage on mesure les échantillons l'un après l'autre.

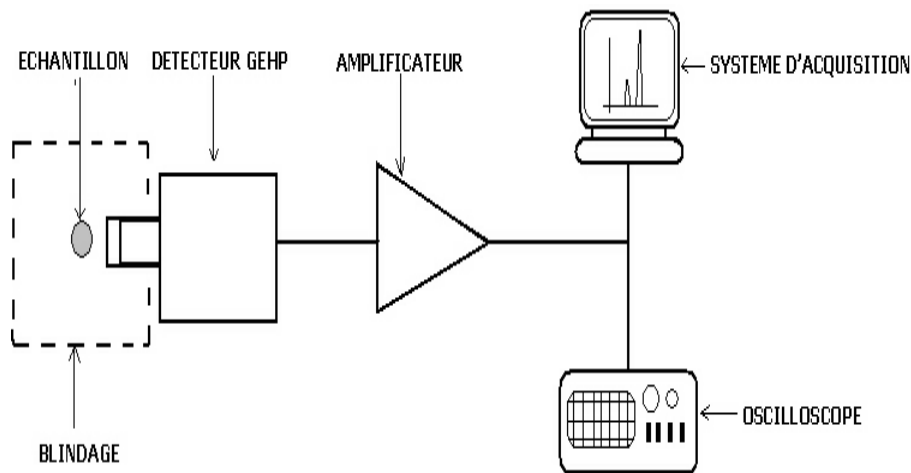


Figure III-9 Schéma de la chaîne de spectrométrie gamma

Concernant l'analyse quantitative, les activités spécifiques de chaque échantillon ont été calculées en appliquant la formule suivante :

$$A_s = \frac{S - B}{t_c \times p_\gamma \times \varepsilon \times C \times m}$$

A_s : Activité spécifique de l'échantillon

S : La surface sous le pic

B : Bruit de Fond

t_c : Temps de comptage, est égale à 180000 s (50heurs)

p_γ : Probabilité d'émission des rayonnements γ

ε : Efficacité absolue de notre détecteur

Calcul d'erreurs :

L'incertitude sur cette formule est obtenue par :

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_\gamma}{p_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2}$$

Où $\Delta t = 0 / \Delta m = 10^{-3}g$

Les résultats obtenus de l'activité spécifique des éléments dans les différents échantillons sont donnés par les tableaux suivants

Echantillon E (ciment blanche) :

m (kg)	$\Delta m/m$ (%)	tC (sec)
0,55527	1,801E-05	180000

Energie (keV)	Elément	P(%)	T _{1/2}	Origine	AS (Bq/kg)	Moyenne
63,29	²³⁴ Th	3.665	24.1 y	²³⁸ U series	37,26±2,13	2712,472±31,882
351	²¹⁴ Pb	35.6	26.8 min		3369,54±33,23	
609,3	²¹⁴ Bi	45.49	19.9 min		4730,61±60,27	
911,196	²²⁸ Ac	26.2	6.13 h	²³² Th series	54,64±2,00	716,52±27,99
727,1	²¹² Bi	6.65	1.01 h		351,68±33,62	
583,187	²⁰⁸ Tl	85	3.1 min		2401,611±72,52	
84,373	Th ²²⁸	1.22	1,9 Y		58,84±3,82	
1460,8	⁴⁰ K	10.67	⁹ 1.28×10 ⁹ y	Primordial	104,78±2,35	104,78±2,35

Echantillon F (ciment noir):

m (kg)	$\Delta m/m$ (%)	tC (sec)
0,55	1,815E-05	180000

Energie(k eV)	Elément	P(%)	T1/2	Origine	AS (Bq/ kg)	Moyenne
63,29	²³⁴ Th	3.665	24.1 y	238U series	27,412±2,114	1973,45±26,287
351	²¹⁴ Pb	35.6	26.8 min		3393,991±47,975	
609,3	²¹⁴ Bi	45.49	19.9 min		2498,946±29,191	
911,196	²²⁸ Ac	26.2	6.13 h	232Th series	62,322±2,114	788,9±28,650
727,1	²¹² Bi	6.65	1.01 h		438,315±34,268	
583,187	²⁰⁸ Tl	85	3.1 min		2613,783±74,938	
84,373	^{Th228}	1.22	1,9 Y		41,192±3,279	
1460,8	⁴⁰ K	10.67	1.28×10 ⁹ y	Primordial	143,72±2,99	143,72±2,99

Echantillon G (béton) :

m (kg)	$\Delta m/m$ (%)	tC (sec)
0,56142	1,781E-05	180000

Energie (k eV)	Elément	P(%)	T1/2	Origine	AS (Bq/ kg)	Moyenne
351	²¹⁴ Pb	35.6	26.8 min	238U series	4418,841±40,070	5186,11±55,80
609,3	²¹⁴ Bi	45.49	19.9 min		5953,38±71,53	
911,196	²²⁸ Ac	26.2	6.13 h	232Th series	133,45±3,16	2280,02 ±52,74
727,1	²¹² Bi	6.65	1.01 h		852,77±43,65	
583,187	²⁰⁸ Tl	85	3.1 min		5853,82±111,42	
1460,8	⁴⁰ K	10.67	1.28×10 ⁹ y	Primordial	83,40±2,01	83,40±2,01

Analyse et discussion

D'après l'analyse qualitative de tous les spectres obtenus pour les échantillons, on a constaté la présence des mêmes éléments radioactifs dans tous les spectres et qui appartiennent aux deux familles radioactives ^{238}U (^{234}Th , ^{214}Pb , ^{210}Pb et ^{214}Bi), ^{232}Th (^{228}Ac , ^{212}Bi , ^{212}Pb , et ^{208}Tl) avec la forte présence de l'élément primordial ^{40}K .

On a aussi constaté l'absence des radionucléides de la famille radioactive

^{238}U , ainsi que tous les radioéléments naturels d'origine cosmique comme le ^7Be , ^{22}Na etc. Cette absence peut être expliquée par leurs faibles concentrations dans les échantillons et leurs faibles demi-vies. Leurs gammas n'arrivent pas à émerger du bruit de fond, parce que notre blindage n'était pas suffisant.

C'est le même cas pour les radioéléments d'origine artificielle, où nous n'avons trouvé aucune trace de leurs pics dans les spectres, ce qui explique la non contamination des sites de prélèvement d'échantillons par des radionucléides d'origine artificielle comme le ^{137}Cs par exemple.

Concernant l'analyse quantitative, nous avons trouvé des valeurs différentes d'un échantillon à un autre. Globalement, elles ont été pour le radioélément

^{40}K , 83-143,721 Bq/ kg, pour la famille ^{232}Th , 716,52-2280,02 Bq/ kg et celle de ^{238}U ,

1255-5186,11 Bq/ kg

Avant de commencer l'analyse de chaque échantillon individuellement nous donnons quelques ordres de grandeurs concernant les activités spécifiques des familles radioactives ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K fournis par les deux références suivantes :

Les activités "normales", de l'avis de Prof. Dr. Hansruedi Völkle (Swiss Federal Office of Public Health) [30] et [31], En fonction du niveau d'activité de chaque personne, ils ont été répartis en trois groupes : élevé, moyen et faible.

High activity concentration (Bq/kg)	
^{238}U	1857.4-4062.16
^{232}Th	29.33-151.27
Medium activity concentration (Bq/kg)	
^{238}U	412.66-600.00
^{232}Th	15.70-20.51
Low activity concentration (Bq/kg)	
^{238}U	18.13-132.36
^{232}Th	0.87-13.13

Nous avons découvert que l'importance de certaines activités variées d'un échantillon à l'autre.

L'activité particulière de l'échantillon G dans la famille ^{238}U est considérée comme un composant de haute activité. Les échantillons E et F présentent une activité spécifique très faible par rapport à l'échantillon G.

Pour la famille ^{232}Th , nous avons constaté une activité spécifique très importante dans l'échantillon G (minerai de Phosphate), elle est plus grande que F et E, ce qui montre la richesse du minerai du Phosphate en famille radioactive ^{232}Th .

Concernant le ^{40}K , nous avons trouvé des activités spécifiques négligeables pour tous les échantillons.

Nous sommes conscients qu'il nous est impossible de comparer directement nos résultats à ceux d'autres publications publiées sur d'autres sites web. Le type d'activité dépend de l'emplacement et du type de sol.

Il convient de noter que les minerais comme les minerais de phosphate contiennent de grandes quantités d'éléments radioactifs naturels. C'est le cas de nos échantillons.

Comparées à d'autres échantillons prélevés à la surface du sol, les valeurs d'activité spécifique quelque peu élevées de nos échantillons sont en grande partie dues à cela.

Conclusion générale

La présente étude a été réalisée pour établir des données de référence concernant les niveaux de concentration des radionucléides naturels ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K dans les matériaux de construction.

L'utilisation de la spectrométrie à rayons gamma dans le district de bordj bouarredj. Les concentrations moyennes d'activité mesurées pour les trois radionucléides sont comparables aux valeurs des études publiées. La formule fournie par UNSCEAR (2000) et EC (1999) a été utilisée pour évaluer les valeurs estimées des risques radiologiques : les indices internes, externes, alpha et gamma liés aux matériaux de construction sont plus faibles. La valeur de l'équivalent uranium est inférieure à la limite de sécurité recommandée. Par conséquent, on estime que l'utilisation de matériaux de construction dans la région étudiée ne présente qu'un risque radioactif négligeable pour la population locale. Les informations produites ici pourraient être utiles pour l'établissement de directives de radioprotection par des organisations accréditées pour la défense de la population générale contre les dangers des rayonnements.

ANNEXE

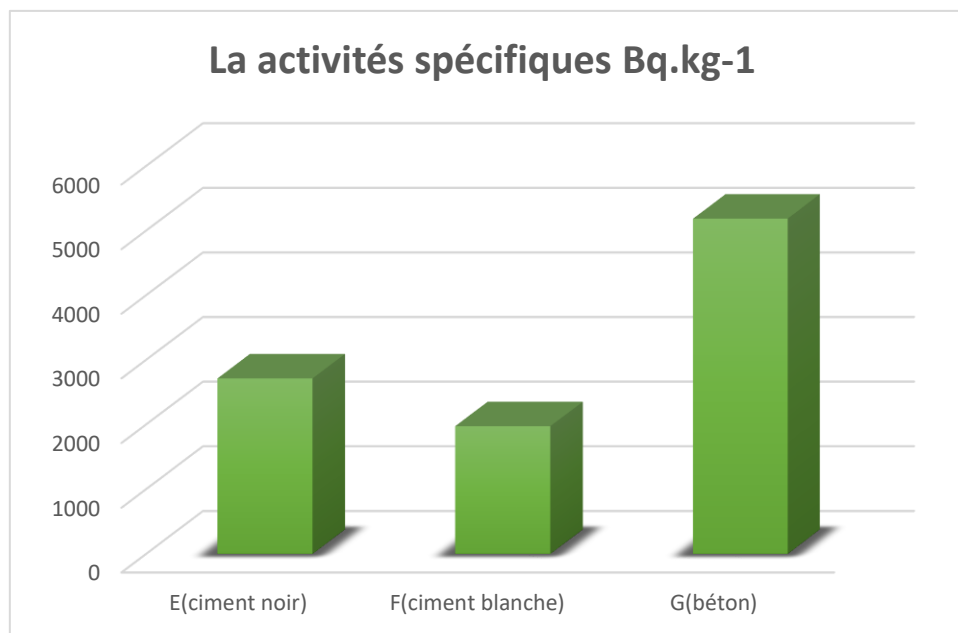


Figure 1. Activité spécifique de l'uranium (Bq/ Kg) dans Les trois échantillons

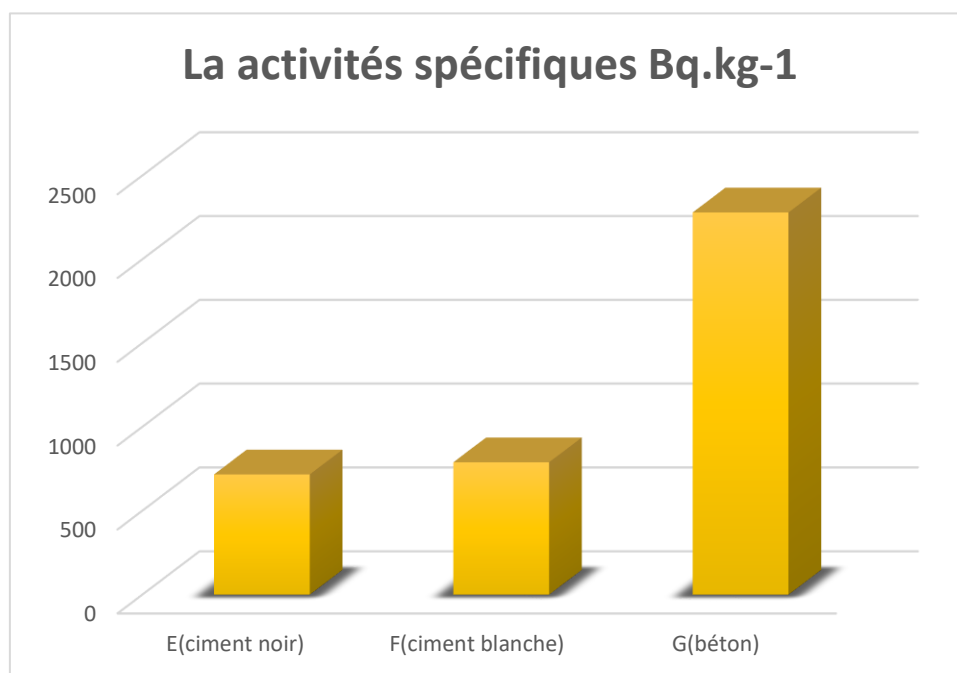


Figure 2. Activité spécifique de thorium (Bq/ Kg) dans Les trois échantillons

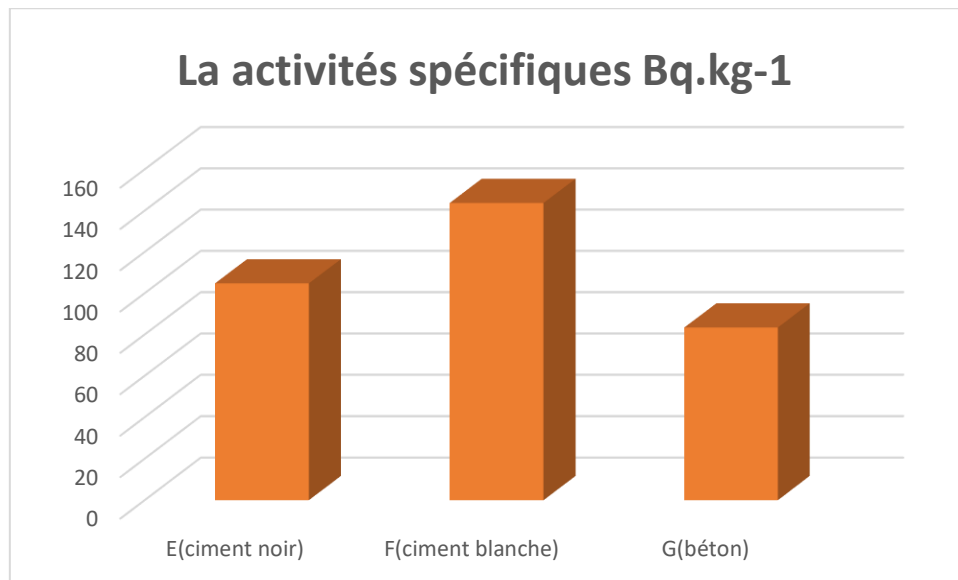
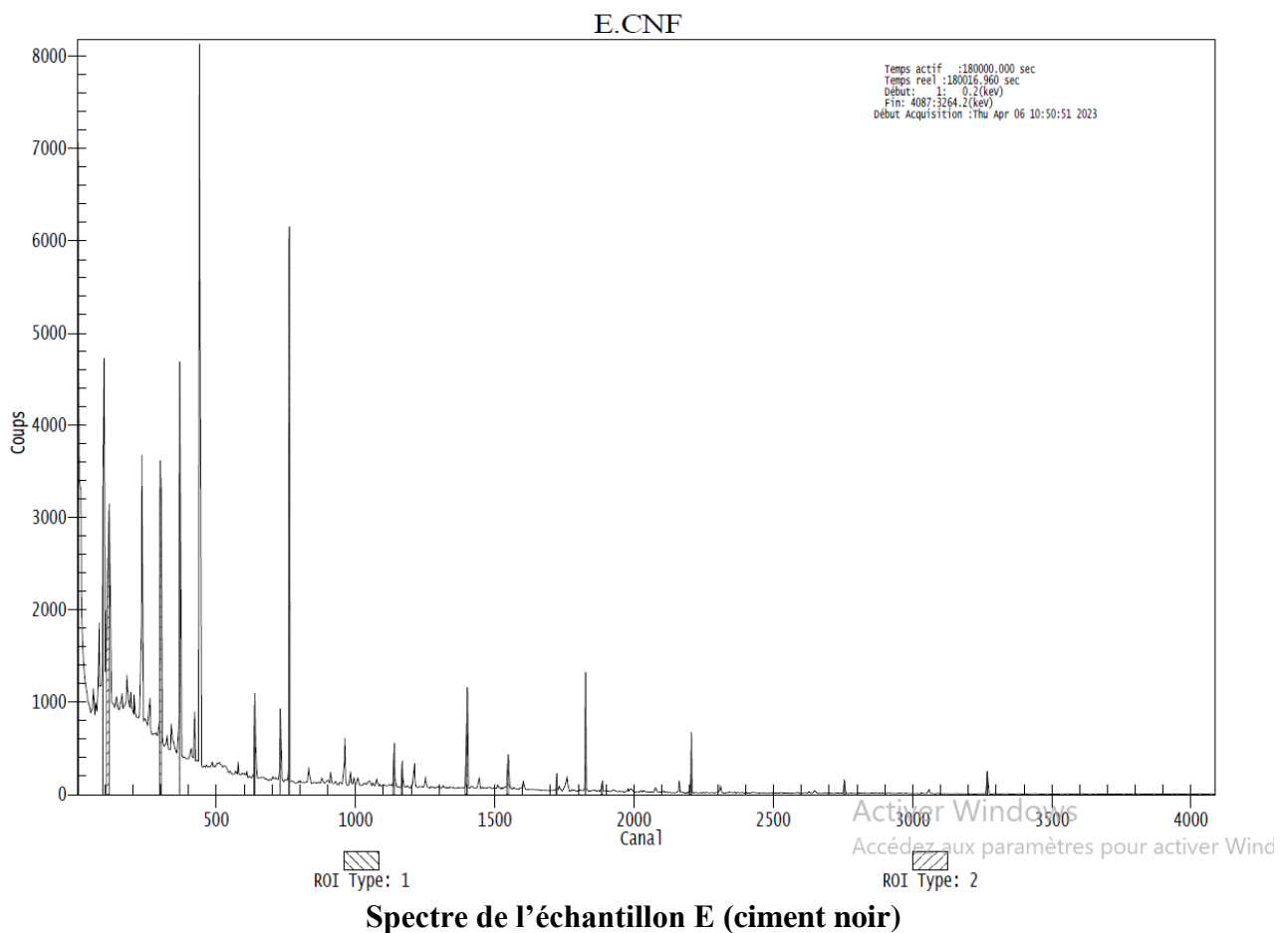
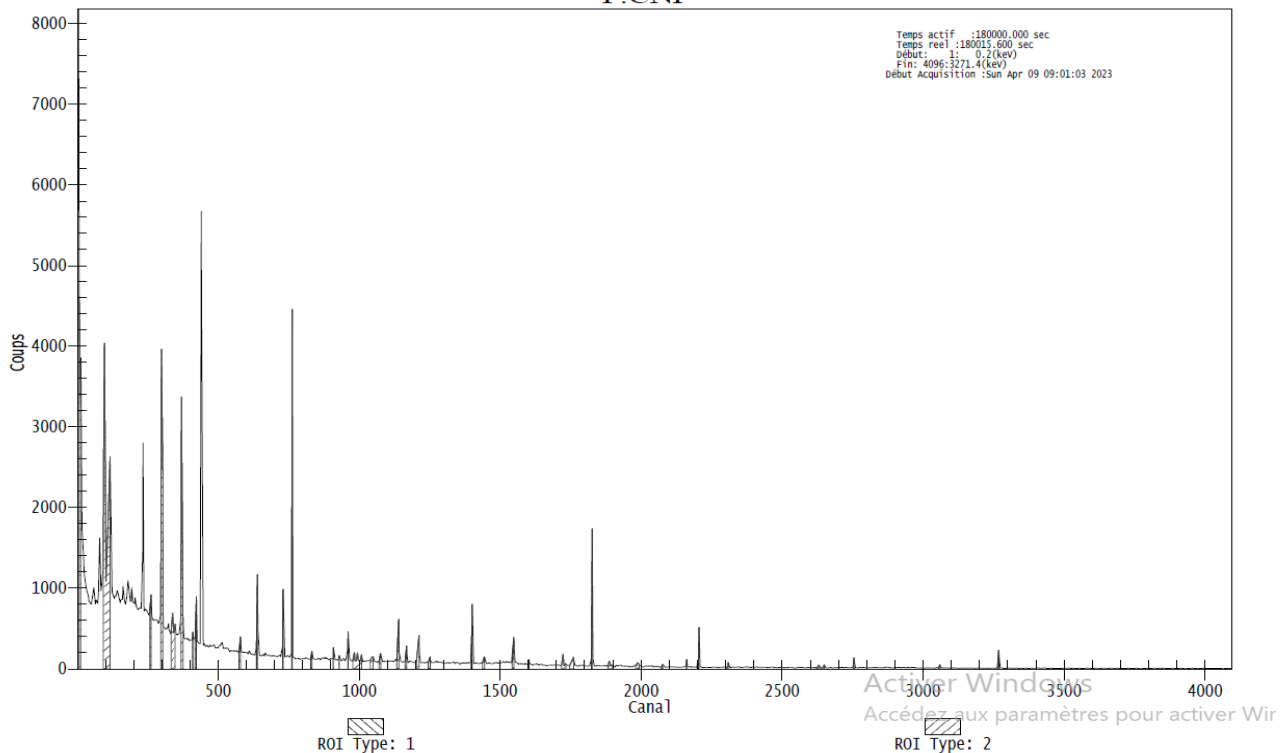


Figure 3. Activité spécifique de potassium (Bq/ Kg) dans Les trois échantillons

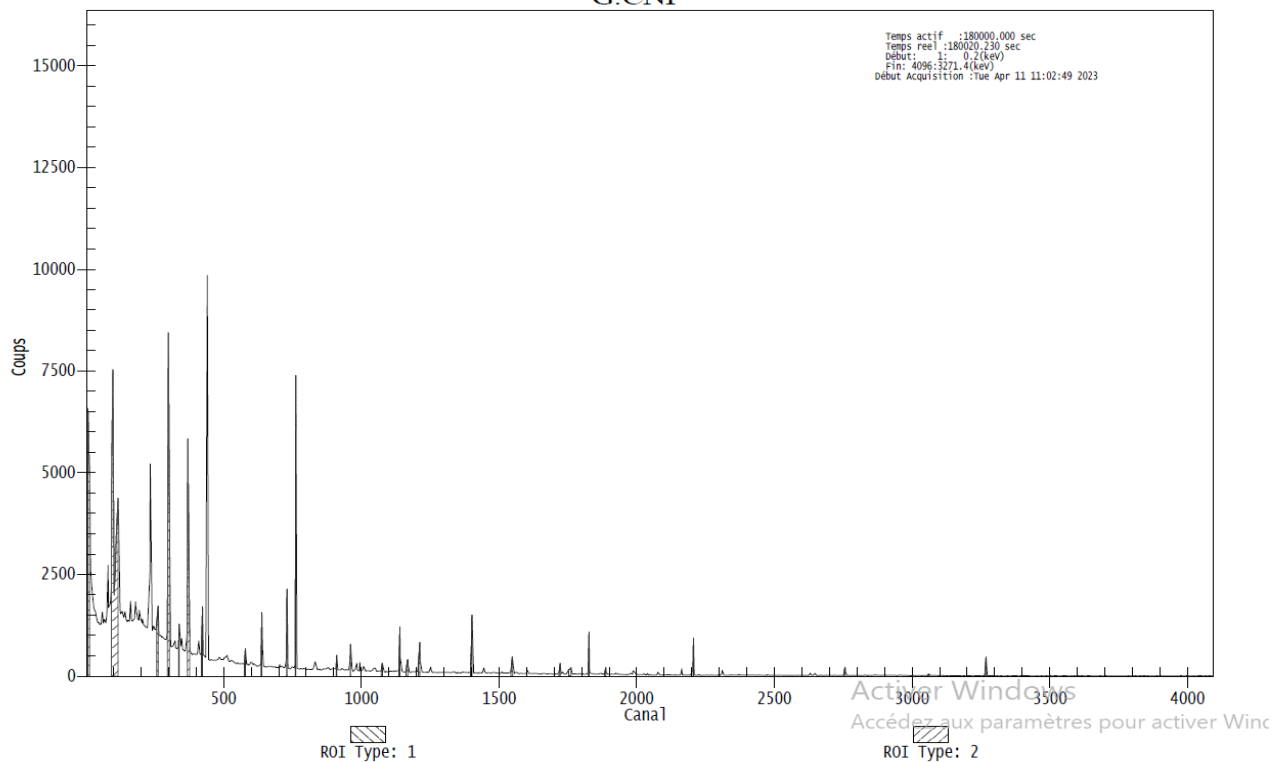


F.CNF



Spectre de l'échantillon F (ciment blanche)

G.CNF



Spectre de l'échantillon G (béton)



Figure4 : Prélèvement Lycée djaafra

ANNEXE 2

UNSCEAR : Comité scientifique des nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

NCRP : a pour mission de contribuer à la diffusion d'informations et de données de recherche sur les lignes directrices en matière d'exposition et de protection contre les rayonnements, dans l'intérêt du public (National Council on Radiation Protection & Measurements).

ICPR PUB : Les Annales de la ICPR sont la source officielle de recommandations et d'orientations (International Commission on Radiological Protection)

$$1\text{ nGy} = 1\text{ Sv}$$

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

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

Radioélément : élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs.

Radionucléides : atomes d'éléments radioactifs naturels ou artificiels.

Activité : nombre de désintégration par unité de temps

Références

- [1] AIEA, Mesure des radionucléides dans les aliments et l'environnement : un guide, Rapports techniques n° 295, AIEA, Vienne, 1989.
- [2] Michael F. L'Annunziata, Handbook of Radioactivity Analysis, Third Edition, Elsevier, Amsterdam, 2012.
- [3] Gordon L. Gilmore, Spectrométrie Pratique et Gamma Ray, Deuxième Édition, John Wiley & Sons, Chichester, 2008.
- [4] M. Deborah Pearsall, Encyclopédie d'archéologie, vol. 2, Elsevier, Amsterdam, 2008.
- [5] S.J. Parry, Encyclopedia of Analytical Science, deuxième édition, 2005, pp. 1–10.
- [6] Diango M. Montalván-Olivares, M.V. Manso Guevara and Fermin G. Velasco, Determination of the HPGe detector efficiency in measurements of radioactivity in extended environmental samples, Applied Radiation and Isotopes, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.09.017>
- [7] Azbouche, A., Belgaid, M., Mazrou, H., 2015. Monte Carlo calculations of the HPGe detector efficiency for radioactive measurement of large volume environmental samples. J. Environ. Radioact. 146, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.04.015>
- [8] Belgin, E.E., Aycik, G.A., 2015. Derivation of an efficiency-calibration simulation for a well-type HPGe detector using the Monte Carlo approach and analytical techniques. Rad. Meas. 73, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2014.10.003>
- [9] E.K. Warburton, D.E. Alburger, D.J. Millener, Energies and branching ratios of transitions in ^{13}C . Phys. Rev. C 22(6), 2330–2340 (1980), <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.22.2330>
- [10] F. Ajzenberg-selove, J.H. Kelley, C.D. Nesaraja. Adopted levels, gammas for ^{13}C .
- [11] Z.R. Shi, K. Xu, L.H. Li, Standard Source of High Energy c-Ray (China Institute of Atomic Energy, Beijing, 2008), pp. 206–210.
- [12] IUPAC, (1997), Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Online corrected version: (2006–) "Resolution in optical spectroscopy".
- [13] Gordon L. Gilmore, Spectrométrie Pratique et Gamma Ray, Deuxième Édition, John Wiley & Sons, Chichester, 2008.
- [14] IEEE Standard Association, (1996), IEEE Standard 325-1996, "Standard Test Procedures for Germanium Gamma-ray Detectors".
- [15] De Felice, P., Angelini, P., Fazio, A., Biagini, R., 2000. Fast procedures for coincidence summing correction in γ -ray spectrometry. Appl.Radiat.Isot. 52, 745-752.
- [16] Abbas, M.I., 2006. Analytical calculations of the solid angles subtended by a well-type detector at point and extended circular sources. Appl Radiat Isot. 64, 1048-1056.;

- [17] Arnolda, D., Sima, D., 2004. Extension of the efficiency calibration of germanium detectors using the GESPECOR software, *Appl Radiat Isot.* 61, 117 – 121.
- [18] Garcia-Talavera, M., Neder, H., Daza, M.J., Quintana, B., 2000. Towards a proper modeling of detector and source characteristics in Monte Carlo simulations *Appl Radiat Isot.* 52, 777 – 783;
- [19] Hemler, R.G, 2003. Modern tools for precise γ -ray spectrometry with Ge detectors. *Nucl. Instrum. Methods in Physc. Res.* 505, 297 – 305.
- [20] Karamanis, D., Lacoste, V., Andriamonje, S., Barreau, G., Petit, M., 2002. Experimental and simulated efficiency of a HPGe detector with point-like and extended sources. *Nucl. Instrum. Methods in Physc. Res. A.* 487, 477 – 487.
- [21] Laborie, J.-M., Le Petit, G., Abt, D., Girard, M., 2000. Monte Carlo calculation of the efficiency calibration curve and coincidence-summing corrections in low-level gamma-ray spectrometry using well-type HPGe detectors. *Appl Radiat Isot.* 53, 57 – 62.
- [22] Lepy, M.C., 2007. Total efficiency calibration for coincidence summing corrections, *Nucl. Instrum.Meth.Phys. Res. A.* 579, 284-287.;
- [23] Pomme, S., 2004. A complete series expansion of Ruby's solid angle formula. *Nucl.Instrum. Methods A.* 531, 616 – 620.
- [24] San Miguel, E.G., Perez-Moreno, J.P., Bolivar, J.P., Garcia-Tenorio, R., 2004. A semi-empirical approach for determination of low-energy gamma-emitters in sediment samples with coaxial Ge-detectors. *Appl Radiat Isot.* 61, 361 – 366.
- [25] Schoenfeld, E., Janssen, H., Klein, R., Hardy, J.C., Iacob, V., Sanchez-Vega, M., Griffin, H.C., Ludington, M.A., 2002. Precise efficiency calibration of an HPGe detector: source measurements and Monte Carlo calculations with sub-percent precision. *Appl. Radiat. Isot.* 56, 215 – 222.
- [26] Vidmar, T., Korun, M., Likar, A., Martincic, R., 2001a. A semi-empirical model of the efficiency curve for extended sources in gamma-ray spectrometry. *Nucl. Instrum. Meth. A* 470, 533 – 547.
- [27] Vidmar T., Korun, M., Likar, A., Lipoglavšek, M., 2001b. A physically founded model of the efficiency curve in gamma-ray spectrometry. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 34, 2555 – 2560.
- [28] Update of X Ray and Gamma Ray Decay Data Standards For Detector Calibration and Other Applications, Vol. 1, – Recommended Decay Data, High Energy Gamma Ray Standards and Angular Correlation Coefficients, – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2007.
- [29] Canberra, 2013. Model 747 and 747E Lead Shield, Canberra Industries, Inc.
- [30] GENIE 2000 Spectroscopy Software, Customization Tools and Operation Manuals, Canberra Industries, Inc (2009).

[30] Völkle.H, Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en suisse pour 2002 :
vue d'ensemble, OFSP, 2002

[31] Völkle.H, M. Jungck, Radioactivité du sol et de l'herbe, OFSP, 2002