



COMENA  
Commissariat à l'Energie Atomique



AIEA  
Agence International de l'Energie Atomique



CRNA  
Centre de Recherche Nucléaire d'Alger

# FORMATION SUPERIEURE REGIONALE EN RADIOPROTECTION ET SURETE DES SOURCES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

---

## Intitulé du Mini-Projet :

**Evaluation de l'exposition due à la radioactivité renforcée dans les  
industries extractives  
(Cas de l'industrie du Cuivre au Katanga en RDC)**

.....

## Présenté par :

**Doudou DJAMBA TSHIKALA**

*Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA /AP.KAT)  
République Démocratique du Congo*

## Sous la supervision de

**M. SAIBI Hacène**

*Semaine d'évaluation du 29 mars au 02 Avril 2015*

## REMERCIEMENTS

A la fin de cette formation laissez-moi m'acquitter d'un devoir, celui de dire merci aux différentes personnes qui ont concouru à l'accomplissement de cette merveilleuse expérience. Il s'agit notamment de :

- ✚ En premier, de l'Eternel Dieu Tout Puissant maître de temps et des circonstances pour le souffle de vie et la grâce divine.
- ✚ A L'AIEA pour avoir initié et soutenu le projet RAF/0948 à travers sa coopération technique avec le Gouvernement de la République Démocratique et Populaire Algérienne dans l'optique de renforcer les capacités de ses Etats membres en radioprotection et sûreté des sources de rayonnements ionisants.
- ✚ Aux autorités de mon pays, en l'occurrence :
  - L'ex Ministre de l'ESURS **Monsieur Maker MWANGU FWAMBA** pour avoir validé mon ordre de mission.
  - **Le Professeur Vincent LUKANDA MWAMBA**, le Commissaire Général à L'Energie Atomique et NLO, pour avoir porté son choix sur ma modeste personne, bien sûr ensemble avec différents responsables du CGEA comme :
    - **Le Professeur Sébastien LUYINDULA**, Directeur Scientifique du CGEA,
    - **Monsieur François KAZADI KABUYA**, the head department of Radiation protection au CGEA/CREN-K.
    - **Monsieur Robert LWAMBA**, Chef d'Antenne Provinciale du CGEA/AP.KAT
- ✚ Aux autorités Algériennes à travers le COMENA, le CRNA, qui ont accepté de nous accueillir dans leurs installations.
- ✚ A toute l'équipe pédagogique sous la direction du **Dr Noureddine ABDELKADER** et de l'ensemble du personnel enseignant, en particulier **Mr SAIBI Hacène** pour nous avoir encadré pendant la réalisation de notre mini-projet et de **Mlle MESSILI Farida** pour son apport pendant nos manipulations au laboratoire de déchets radioactifs du CRNA.
- ✚ A Tous les participants du PGEC Alger 2014-2015, pour cette expérience que nous avons vécue dans une ambiance toute chaleureuse et conviviale.
- ✚ Enfin, à ma très chère épouse **Rachel NUMBI** et à mes très chers enfants **Graél TSHIKALA** et **Mérel TSHIKALA**, pour leur soutien et grand amour

*A vous tous, prière trouvez notre sentiment de reconnaissance et que Dieu vous bénisse.*

## SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCTION .....  | 7  |
| Chapitre I : CADRE JURIDIQUE NATIONAL .....   | 8  |
| 1) La loi Générale: .....   | 8  |
| 2) La Réglementation générale .....   | 8  |
| 3) Des réglementations spécifiques : .....  | 8  |
| Chapitre II : LA RADIOACTIVITE .....  | 10 |
| II.1. La radioactivité.....   | 10 |
| II.1.1. Les sources de la radioactivité .....   | 10 |
| II.1.1.1. La radioactivité naturelle .....  | 11 |
| II.1.1.1.1. Les rayonnements cosmiques.....   | 11 |
| II.1.1.1.2. Les rayonnements telluriques .....  | 11 |
| II.1.1.2. La radioactivité artificielle .....   | 14 |
| II.2. La notion de NORM et TE-NORM.....   | 14 |
| II.2.1. Le NORM .....   | 14 |
| II.2.2. Le TE-NORM .....  | 14 |
| Chapitre III : LES INDUSTRIES EXTRACTIVES ET LA PRODUCTION DES TE-NORM<br>.....                 | 15 |
| III.1. Introduction.....  | 15 |
| III.2. Les industries extractives et production de TE-NORM en RDC.....                          | 16 |
| III.2.1. La République Démocratique du Congo en bref.....                                       | 16 |
| III.2.1.1. Contexte général.....  | 16 |
| III.2.2. Les industries extractives en RDC.....   | 16 |
| III.2.3. Le TE-NORM dans l'industrie du cuivre .....  | 20 |
| III.2.3.1. Le Katanga la Province Cuprifère .....   | 20 |
| III.2.3.2. La production des TE-NORM, de l'exploration jusqu'à la production du cuivre<br>..... | 21 |
| III.2.3.2.1. Exploration – Prospection.....   | 21 |
| III.2.3.2.2. Exploitation des mines à ciel ou ouvert et souterraines.....                       | 21 |
| III.2.3.2.3. Le transport des minerais vers l'usine de traitement .....                         | 22 |
| III.2.3.2.4. Usine de traitement.....   | 22 |
| III.2.3.2.5. Les résidus .....  | 24 |
| Chapitre IV: LES RISQUES RADIOLOGIQUES POSES PAR LES TENORM.....                                | 26 |
| IV.1. Exposition externe .....  | 26 |
| IV.2. Exposition interne : .....  | 26 |
| IV.2.1. Inhalation de la poussière .....  | 26 |
| IV.2.2. Inhalation du Radon .....   | 27 |

---

|   |           |
|---|-----------|
| <i>IV.2.3. Ingestion de la poussière</i> .....  | 27        |
| <b>Chapitre V : EVALUATION DE L'EXPOSITION DUE A LA RADIOACTIVITE<br/>RENFORCEE</b> .....           | <b>28</b> |
| <i>V.1. Introduction</i> .....  | 28        |
| <i>V.2. Evaluation de l'exposition des travailleurs dans les industries extractives</i> .....       | 29        |
| <i>V.2.1. Exposition externe des travailleurs</i> .....   | 29        |
| <i>V.2.1.1. Mesures des débits de dose d'ambiance</i> .....   | 29        |
| <i>V.2.1.2. Evaluation de la dose efficace due à l'exposition externe</i> .....                     | 30        |
| <i>V.2.2. Exposition interne des travailleurs</i> .....   | 31        |
| <i>V.2.2.1. Evaluation de l'exposition par inhalation</i> .....                                     | 32        |
| <i>V.3. Prise en charge de déchets radioactifs</i> .....  | 36        |
| <i>V.3.1. Evaluation de l'activité</i> .....  | 36        |
| <i>V.3.2. Calcul de la concentration des radionucléides par Spectrométrie Gamma Ge(HP)</i><br>..... | 37        |
| <i>V.3.2.1. Matériel utilisé :</i> .....  | 37        |
| <i>V.3.2.2. Calibration en énergie</i> .....  | 38        |
| <i>V.3.2.3. La calibration en efficacité</i> .....  | 39        |
| <i>V.3.2.4. Calcul des activités</i> .....  | 40        |
| <i>V.3.2.5. Résultats de l'analyse des échantillons</i> .....                                       | 41        |
| <i>V.4. Mesure de radioprotection à mettre en place</i> .....                                       | 43        |
| <i>V.4.1. Protection des travailleurs</i> .....   | 43        |
| <b>Conclusion et recommandations</b> .....  | <b>45</b> |

## Liste des tableaux

- Tableau N°1 : Répartition des ressources minières de la RDC  
Tableau N°2 : Quelques réserves des ressources minières  
Tableau N°3 : Mesures de débits de dose  
Tableau N°4 : Calcul de la dose due à l'exposition externe  
Tableau N°5 : Estimation de la dose efficace dans les conditions du scénario  
Tableau N°6 : Résultats de filtres  
Tableau N°7 : Limite d'exemption du radium-226  
Tableau N°8 : Limite d'exemption de l'uranium U-235  
Tableau N°9 : Limite d'exemption du Pb-214  
Tableau N°10 : Limite d'exemption du Bi-214  
Tableau N°11 : Etalonnage en énergie du détecteur Ge-HP  
Tableau N°12 : Etalonnage en efficacité  
Tableau N°13 : Résultats échantillon D1  
Tableau N°14 : Résultats échantillon D2  
Tableau N°15 : Résultats échantillon D3  
Tableau N°16 : Résultats échantillon D4  
Tableau N°17 : Résultats échantillon D5

## Liste des abréviations

- CREN-K : Centre de Régionale d'Etudes Nucléaires de Kinshasa  
COMENA : Commissariat à l'Energie Atomique  
PGEC : Post Graduat Educational Course  
DESDR : Division de l'Environnement, Sûreté et des Déchets Radioactifs  
ESURS : Enseignement Supérieure et Reherche Scientifique  
NLO : National Liason Officer  
CGEA : Commissariat Général à l'Energie Atomique  
AP.KAT : Antenne provinciale du Katanga  
CRNA : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger  
AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique  
Ge (HP) : Germanium Hyper Pur  
RDC : République Démocratique du Congo

### Liste des figures

- Figure 1 : Courbe de décroissance radioactive  
Figure 2 : Séries radioactives naturelles de l'Uranium 238.  
Figure 3 : Séries radioactives naturelles de l'Uranium 235  
Figure 4 : Séries radioactives naturelles du thorium 232  
Figure 5 : Schéma de désintégration du  $^{40}\text{K}$ .  
Figure 6 : Pourcentage des industries productrices de TE-NORM  
Figure 7 : Carte administratif de la RDC  
Figure 8 : Carte géologique de la RDC  
Figure 9. : Les régions cuprifère et stannifère au Katanga (RDC)  
Figure 10 : Flowsheet général de la production du Cu  
Figure11 : Mode d'exposition du au TENORM  
Figure 12 : Spectre du bruit de fond  
Figure 13 : Spectre du filtre1  
Figure 14 : Spectre du filtre2  
Figure 15 : Courbe d'étalonnage en énergie  
Figure 16 : Courbe d'étalonnage en efficacité

### Liste des images

- Image 1 : Exploration minière du cuivre  
Image 2 : Mine à ciel ouvert  
Image 3 : Entrée de la mine de Kamoto à kolwezi/RDC  
Image 4 : Electrolyse du cuivre  
Image 5 : Déchet de l'hydrométallurgie  
Image 6 : Déchet de la pyrométallurgie de la GCM  
Image 7 : Echantillon de TENORM  
Image 8 : Préleveur d'air à travers un filtre  
Image 9 : échantillon dans la hotte  
Image 10 : Chaine de spectrométrie gamma  
Image 11 : Echantillon des TE-NORM

## INTRODUCTION

Les industries extractives contribuent au renforcement de la radioactivité naturelle, par le fait que la plus part des éléments à extraire s'accompagnent des radionucléides naturels. Ainsi, pendant l'extraction des matières premières naturelles il se passe d'une part une concentration des produits recherchés et d'autre part une concentration en radionucléides naturels qui étaient sans intérêt sur la chaîne de production.

La concentration en radionucléides naturels peut atteindre des proportions considérables, pour enfin devenir une source d'expositions pour l'homme et pour tout son environnement. Même si le niveau de radioactivité naturelle renforcée est parfois faible, mais les quantités produites sont souvent très importantes et nécessitent donc la mise en place d'une gestion et suivi appropriés.

Par ailleurs, une évaluation de cette exposition est indispensable afin de respecter les limites réglementaires fixées pour les personnes professionnellement exposées et les membres du public, c'est ainsi la mise en œuvre d'un dispositif d'évaluation de cette radioactivité naturelle renforcée dans les industries extractives s'avère alors nécessaire.

Pour y arriver nous allons évaluer les différentes expositions radioactives susceptibles d'être causées par les opérations dans une industrie extractive et enfin calculer la dose efficace en la comparant aux limites réglementaires et en y apportant les mesures de radioprotection nécessaires.

Donc, l'objectif générale de ce mini projet est d'assurer la protection des travailleurs, du public et de l'environnement contre les effets néfastes de rayonnements ionisants issus de la radioactivité naturelle renforcée dans les industries extractives en République Démocratique du Congo d'une manière générale et en particulier les industries d'extraction du cuivre dans la Province du Katanga.

## Chapitre I : CADRE JURIDIQUE NATIONAL

L'infrastructure nationale de sûreté radiologique pour les sources de rayonnements ionisants, des déchets radioactifs et du transport des matières radioactives comprend 3 niveaux en RDC:

### **1) La loi Générale:**

*Loi 017-2002 du 16 Octobre 2002 : Portant dispositions relatives à la protection contre les dangers de rayonnements ionisants et à la protection physique des matières et des installations nucléaires,*

### **2) La Réglementation générale**

*Décret N° 05/022 du 29 Mars 2005: Portant réglementation de la protection contre les dangers des rayonnements ionisants. Elle regroupe l'ensemble des mesures d'exécution des dispositions de la loi 017-2002.*

### **3) Des réglementations spécifiques :**

✚ *Ordonnance n°78-195 du 5 mai 1978, portant statut d'une entreprise publique dénommée Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA).*

✚ *La déclaration de la radioactivité des produits miniers et dépôt des échantillons, etc.*

Dans le cadre de ce travail nous allons épinglez les quelques articles cadrant avec le thème développé pour qu'après avoir obtenu les résultats nous puissions nous y référer.

#### ***Dans le décret N° 05/022 du 29 Mars 2005***

➤ **Article 4 :** *Sont exclues du champ d'application du présent Décret, les expositions dues à la radioactivité naturelle, aux rayons cosmiques et celles dues aux concentrations non modifiées de radionucléides naturels* contenus dans les matières premières ou toute autre source incontrôlable dont la liste sera déterminée par le Comité National de Protection contre les Rayonnements Ionisants.

➤ **Article 11:** L'exposition professionnelle de tout travailleur ne doit pas dépasser les limites ci-après:

***Dose effective de 20 mSv par an en moyenne sur 5 années consécutives.***

***Dose effective de 50 mSv en une seule année.***



Dose équivalente au cristallin de 150 mSv en une année.

Dose équivalente aux extrémités (mains et pieds) ou à la peau de 500 mSv en une année.

➤ **Article 18** : L'exposition du public imputable à l'utilisation des sources de rayonnements ionisants ne doit pas dépasser les limites ci-après :

***Dose effective de 1 mSv par an.***

Dose équivalente au cristallin de 15 mSv par an.

Dose équivalente à la peau de 50 mSv par an.

Dans des circonstances particulières faisant l'objet d'une autorisation spéciale, la dose efficace peut aller jusqu'à 5 mSv en une seule année à condition que la dose moyenne sur les 5 années consécutives ne dépasse pas 1 mSv par an. Ces limites s'appliquent aux groupes critiques pertinents.

➤ **Article 41**: *Est soumis à une autorisation préalable tout rejet des substances radioactives dans l'environnement à des niveaux supérieurs aux limites d'exemption* fixées par Arrêté Interministériel sur proposition du Comité National de Protection contre les Rayonnements Ionisants (CNPRI). Le détenteur d'autorisation est tenu à effectuer des études d'impact préalables pour identifier le groupe critique et les voies critiques d'exposition.

➤ **Article 42** : *Tout rejet de substances radioactives dans l'environnement doit faire l'objet d'une surveillance au point d'émission et d'une surveillance radiologique de l'environnement adaptée à la nature des opérations effectuées.*

➤ **Article 44** : *Les modalités de gestion des déchets radioactifs sont fixées par Arrêté Interministériel sur proposition du Comité National de Protection contre les Rayonnements Ionisants.*

## Chapitre II : LA RADIOACTIVITE

### II.1. La radioactivité

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables, cependant, certains atomes possèdent des noyaux instables, ceci est dû à un excès de protons, de neutrons, ou encore à un excès de deux. Ils sont dits radioactifs.

Les noyaux d'atomes radioactifs se transforment spontanément en d'autres noyaux d'atomes radioactifs ou non. Cette transformation irréversible d'un atome radioactif en un autre atome est appelée **désintégration**. Elle s'accompagne d'une émission de différents types de rayonnements.

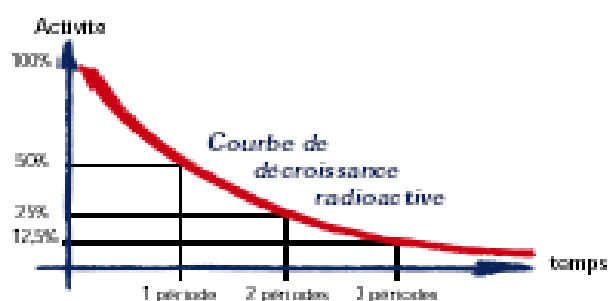


Figure 1 : Courbe de décroissance radioactive

**Le rayonnement alpha** est constitué d'un noyau d'hélium comprenant deux protons et deux neutrons, il porte deux charges positives.

**Le rayonnement bêta** est constitué d'un électron chargé négativement ou d'un positon chargé positivement. On parle alors des rayonnements  $\beta^-$  ou  $\beta^+$ . La radioactivité bêta est rendue possible par la présence dans le noyau des forces capables de transformer un nucléon d'une espèce dans l'autre (un neutron en proton ou un proton en neutron).

**Le rayonnement gamma** suit souvent une désintégration alpha ou bêta. Après émission de la particule alpha ou bêta, le noyau est encore excité car ses protons et ses neutrons n'ont pas trouvés leur équilibre. Il se libère alors rapidement d'un trop-plein d'énergie par émission d'un rayonnement gamma.

#### II.1.1. Les sources de la radioactivité

Il existe deux principales sources de radioactivité :

- ✚ La radioactivité naturelle
- ✚ La radioactivité artificielle

### **II.1.1.1. La radioactivité naturelle**

Elle comprend les rayonnements cosmiques et rayonnements telluriques.

#### **II.1.1.1.1. Les rayonnements cosmiques**

Le rayonnement cosmique provient du soleil, des étoiles et des autres galaxies. C'est la **composante primaire**. Elle est constituée pour l'essentiel de protons, d'électrons et d'alpha ayant de grandes énergies.

Ce rayonnement **cosmique primaire** interagit avec les noyaux des atomes de la haute atmosphère terrestre (oxygène et azote notamment) par spallation (interactions des particules de très haute énergie avec des noyaux plus lourds, ce qui entraîne la formation des noyaux plus légers), capture neutrons, etc. pour donner naissance **au rayonnement cosmique secondaire** (photons, protons, neutrons,) et aux **radionucléides cosmogéniques**. Ce sont ces rayonnements que nous recevons sur la terre.

#### **II.1.1.1.2. Les rayonnements telluriques**

Ce sont des éléments radioactifs qui ont existé sur la terre depuis sa création et ils sont présents dans les roches, les sols et dans beaucoup de matériaux de construction. Leur concentration est généralement très faible et elle varie selon la nature des roches. Ils se désintègrent en une seule fois pour donner un élément stable (comme le potassium 40); soient ils produisent une longue série de désintégrations (filiation radioactive) avant d'obtenir un élément stable : ce sont les familles radioactives de l'Uranium 238, l'Uranium 235 et du Thorium 232.

La plupart des éléments radioactifs existant à l'état naturel appartiennent à ces trois séries de transformations.

##### **a. Séries radioactives**

Une chaîne de désintégration, dite encore **filiation radioactive**, désigne une série de désintégrations, apparaissant par transformation spontanée d'un radio-isotope instable, permettant d'arriver à un élément chimique dont le noyau atomique est stable.

Le plomb est généralement le point stable auquel les chaînes de désintégration s'arrêtent.

#### **1. L'Uranium et ses séries de désintégration**

L'uranium naturel est un élément radioactif très répandu dans la nature. On le retrouve notamment dans les granites ainsi que dans d'autres gisements minéraux. Tel qu'il est extrait de son minerai contient 99.275% de l'isotope 238, 0.719% de l'isotope 235 et 0.005% de l'isotope 234. Les rayonnements émis par l'uranium sont principalement de type alpha.

L'uranium a 17 isotopes, tous radioactifs, dont 3 seulement sont présents à l'état naturel :  $^{238}\text{U}$  ;  $^{235}\text{U}$  et  $^{234}\text{U}$ . Le troisième isotope  $^{234}\text{U}$  appartient à la chaîne de désintégration de  $^{238}\text{U}$ .

➤ **L'uranium 238**

L'uranium 238 pénètre dans l'organisme par l'alimentation et il se concentre essentiellement dans les os et les reins. L'apport par l'eau de boisson est en général négligeable. Il comporte treize principaux descendants radioactifs émetteurs  $\alpha$ ,  $\beta^-$ , et  $\gamma$  et aboutit à un élément stable, le plomb.

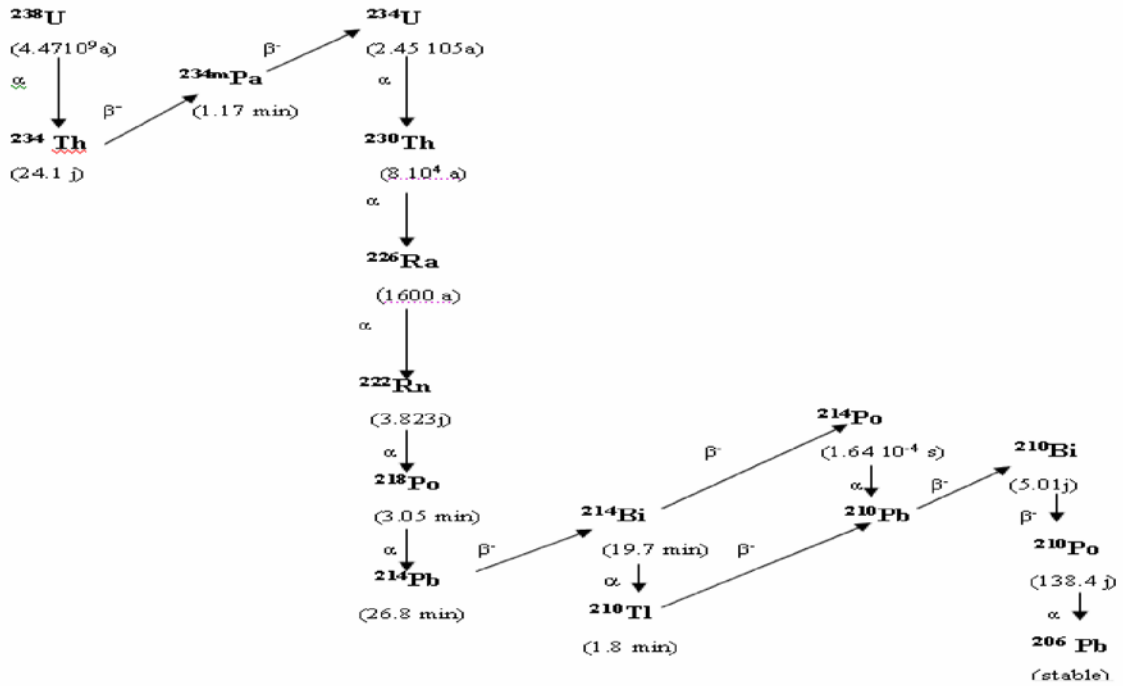


Figure2 : Séries radioactives naturelles de l'Uranium 238.

➤ **L'uranium 235**

L' $^{235}\text{U}$ , émetteur  $\alpha$ , il comprend treize descendants principaux dont le dernier est le  $^{207}\text{Pb}$  qui est stable.

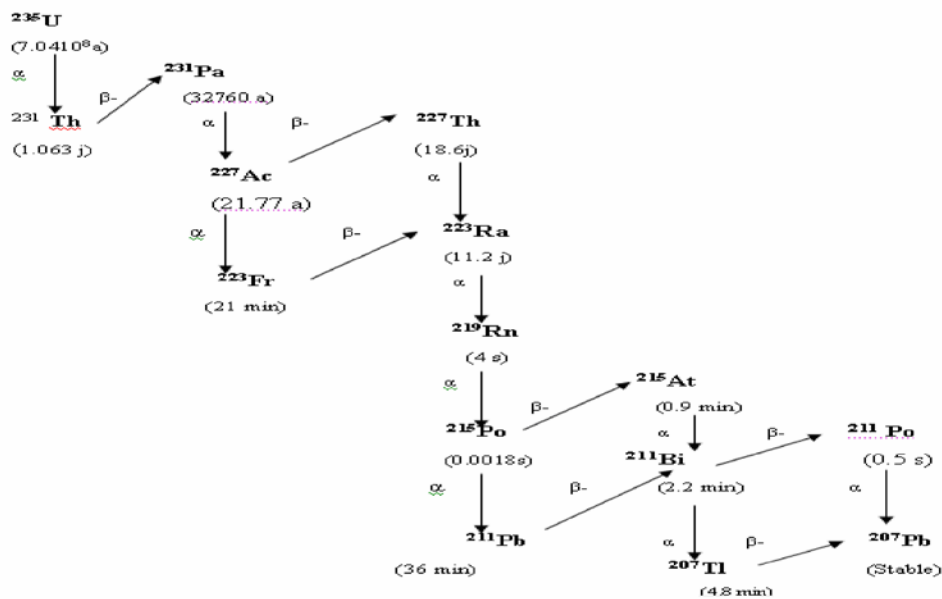


Figure 3 : Séries radioactives naturelles de l'Uranium 235.

## 2. Le Thorium et sa série de désintégration

Cette chaîne radioactive se termine par le  $^{208}\text{Pb}$  (Stable), le thorium naturel est composé presque entièrement de  $^{232}\text{Th}$  et de très petites quantités de  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Th}$  et  $^{227}\text{Th}$ . Il appartient à la série des actinides ; il est présent, en particulier, dans les chaînes de décroissance radioactive de l'uranium naturel. Il présente treize radio-isotopes.

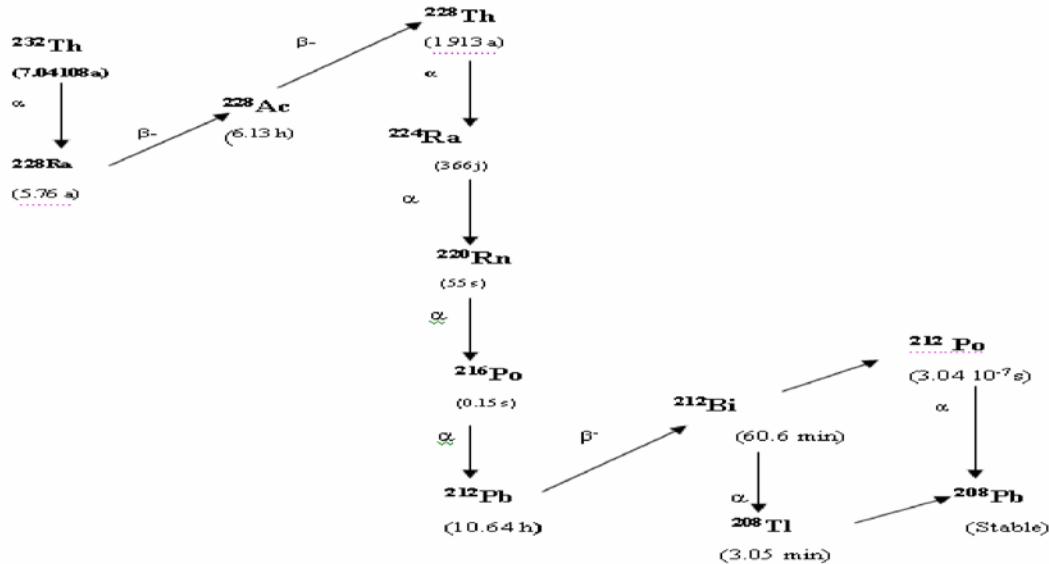


Figure 4 : Séries radioactives naturelles du thorium 232.

## 3. Le Potassium-40

Le Potassium-40 ( $^{40}\text{K}$ ) est un isotope radioactif naturel de l'élément potassium, l'abondance atomique relative du  $^{40}\text{K}$  est de 0,0117%. Il se situe entre deux isotopes stables et beaucoup plus abondants ( $^{39}\text{K}$  et  $^{41}\text{K}$ ) qui constituent 93,25% et 6,73 % de cet élément. Le potassium-40 possède la particularité de se désintégrer en deux noyaux différents : dans 89,28 % des cas en calcium-40 par désintégration bêta-moins ; dans 10,72 % des cas en argon-40 par capture électronique suivie d'un gamma de 1,46 MeV.

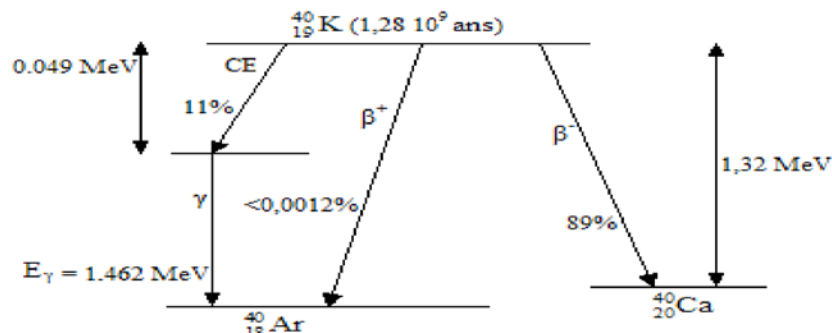


Figure 5 : Schéma de désintégration du  $^{40}\text{K}$ .

### **II.1.1.2. La radioactivité artificielle**

Il est possible de provoquer artificiellement cette instabilité en transformant le noyau d'un élément stable en noyau d'un élément instable par bombardement des particules (essentiellement alpha ou neutrons). On parle alors de radioactivité artificielle.

Les rayonnements émis sont semblables et ont les mêmes effets que ceux résultants de la radioactivité naturelle.

Il s'agit par exemple de :

- ✓ Générateurs de rayons X
- ✓ Réacteurs nucléaires
- ✓ Sources radioactives artificielles
- ✓ Sources isotopiques de neutrons
- ✓ Retombés nucléaires

## **II.2. La notion de NORM et TE-NORM**

### **II.2.1. Le NORM**

La quasi totalité des roches, des sols, et des eaux contiennent naturellement des faibles quantités des matières radioactives tel que l'Uranium, le Thorium, le potassium, et leurs descendants.

Ces matériaux contenant des radionucléides présents naturellement dans la croûte terrestre sont appelés NORM qui est l'acronyme anglo-saxon qui signifie : «*Naturally Occurring Radioactive Materials*». Qui se traduit par *Matériaux radioactifs induits naturellement*.

Les faibles concentrations en radionucléides de ces NORM et leur isolement dans des formations géologiques profondes font que, dans leur état naturel, ces matériaux sont inoffensifs pour l'homme et son environnement.

### **II.2.2. Le TE-NORM**

Le TE-NORM est aussi un acronyme anglo-saxon qui signifie «*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials*» et qui se traduit par *la radioactivité naturelle technologiquement renforcée*, elle est due aux activités humaines d'exploitation dans divers secteurs industriels, la radioactivité se trouve concentrée dans les produits et/ou les résidus. Et par conséquent le niveau de radioactivité devient supérieur à celui rencontré à l'état naturel.

## Chapitre III : LES INDUSTRIES EXTRACTIVES ET LA PRODUCTION DES TE-NORM

### *III.1.Introduction*

Une liste exhaustive des industries susceptibles de produire la radioactivité naturellement renforcée est difficile à déterminer car les éléments naturels radioactifs qui sont à la base des TE-NORM sont présents partout dans la croûte terrestre, la seule différence sera leur l'affinité par rapport à tel ou tel autre élément et cela va définir leur abondance d'un milieu à autre, d'un minerai à un autre et d'une industrie extractive à une autre.

Parmi ces industries on peut citer :

- ✚ *Le traitement des minerais : étain, niobium, aluminium, cuivre, fer, acier, zinc, molybdène, vanadium, hafnium,...*
- ✚ *Les industries du phosphate ;*
- ✚ *Les installations industrielles de combustion du charbon,*
- ✚ *La géothermie*
- ✚ *Industrie gazière et pétrolières*
- ✚ *Fabrication et utilisation des composés de thorium ;*
- ✚ *Matériaux réfractaires ;*
- ✚ *Industrie du titane ;*
- ✚ *Industrie des terres rares ;*
- ✚ *Les installations de traitement des eaux, etc.*

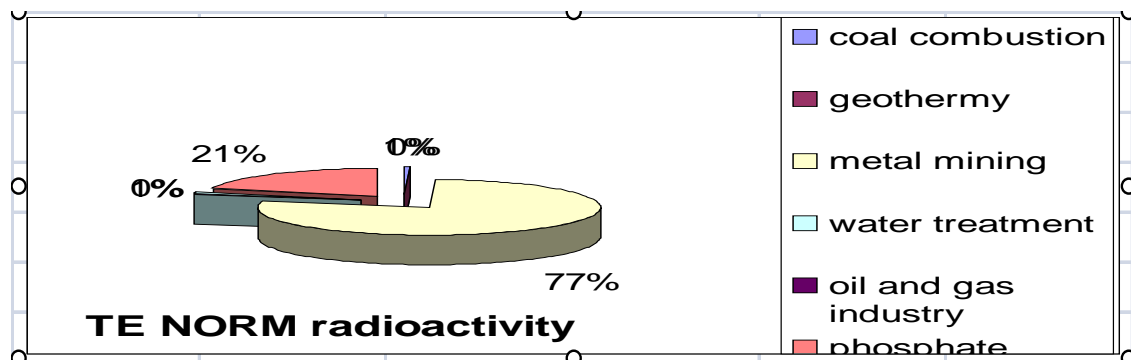


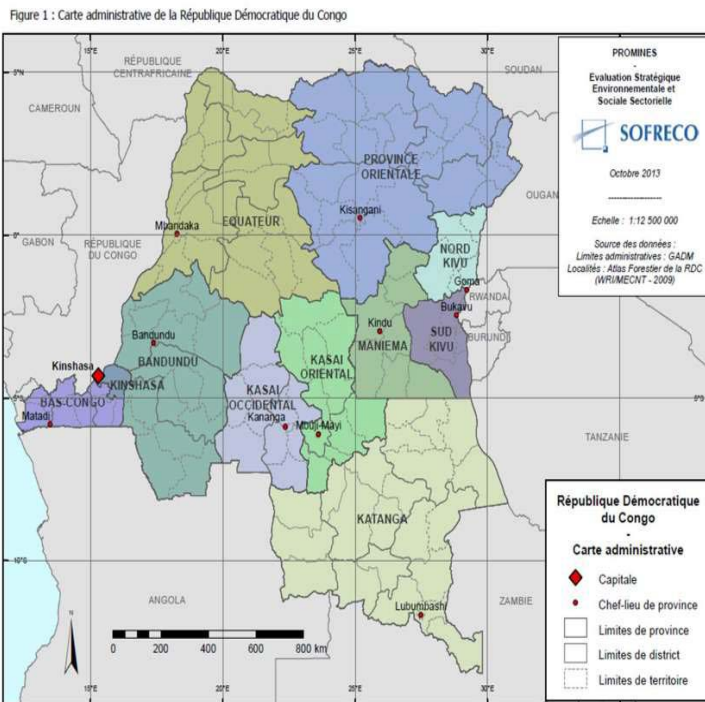
Figure 6 : Pourcentage des industries productrices de TE-NORM

### III.2. Les industries extractives et production de TE-NORM en RDC

#### III.2.1. La République Démocratique du Congo en bref

##### III.2.1.1. Contexte général

Figure 7 : Carte administrative de la RDC



Sa superficie est de 2.345.409 km<sup>2</sup>, à raison de 30 habitants par km<sup>2</sup>. Située en Afrique centrale, limitrophe de : la Tanzanie, la RCA, la République du Congo, l'Ouganda, l'Angola, la Zambie, le Soudan, le Burundi et le Rwanda. Avec ses énormes richesses naturelles, c'est l'un des « géants » de l'Afrique, près de 77 millions d'habitants en 2013, 450 ethnies, plus de 400 dialectes et 4 langues nationales. Située au cœur du massif forestier du bassin du Congo, elle renferme environ 60% des forêts. La superficie des forêts est estimée à 155 millions D'hectares. Et la surface

potentielle de terres arables est estimée à 80 millions d'hectares, soit la deuxième surface de terres cultivables au monde après le Brésil.

La RDC renferme sur son territoire 52 % des réserves totales d'eaux de surface du continent africain. L'hydrographie du pays, très étendue et dense, est caractérisée par le fleuve Congo qui traverse le pays d'Est en Ouest et reçoit les eaux d'une multitude d'affluents. Le réseau lacustre comporte des grands lacs à l'Est, Édouard, Albert, Kivu, Tanganyika, Moero, et deux autres lacs dans la cuvette centrale, Mai-Ndombe et Tumba. Bornée à l'Ouest par l'océan atlantique.

#### III.2.2. Les industries extractives en RDC

La RDC est considérée dans le monde entier, à juste titre d'ailleurs, comme étant un « scandale géologique » en raison de l'existence en son sous-sol des métaux rares et précieux très recherchés par les différentes économies émergentes du monde.

*Son sous sol renferme une large gamme des minerais dans des grandes réserves, Ainsi que d'importantes quantités d'hydrocarbures.*



A ce jour, seulement 30% des concessions minières ont été attribuées à des investisseurs pour la recherche et/ou l'exploitation. Et du côté des hydrocarbures, le terrain est jusque là presque non exploité.

Le potentiel minier de la RDC est très diversifié et *inégalement repart* dans toutes les provinces du pays comme le montre le tableau ci-dessous.

| <b>Provinces</b>          | <b>Principaux indices des gites minéraux et des pierres ornementales</b>   |
|---------------------------|--|
| <b>Bandundu</b>           | <i>Diamant, kaolin, argiles</i>  |
| <b>Bas Congo</b>          | <i>Bauxite, cuivre, plomb, zinc, vanadium, phosphate, or, diamant, manganèse, marbre, granites noir et rose, sel gemme, fer, argiles, pyrite, talc, silice, kaolin, barytine, sable et calcaire asphaltiques, calcaire et quartzite.</i>   |
| <b>Equateur</b>           | <i>Diamant, or, fer, calcaire, kaolin, argiles, cuivre, granite, niobium, ocre.</i>  |
| <b>Kasai Occidental</b>   | <i>Diamant, argiles, or, chrome, nickel, cobalt, platine, cuivre, fer, kaolin, plomb.</i>  |
| <b>Kasai Oriental</b>     | <i>Diamant, argiles, chrome, cobalt, cuivre, nickel, or, fer, kaolin, talc.</i>  |
| <b>Katanga</b>            | <i>Cuivre, cobalt, uranium, colombo-tantalite, or, platine, lithium, talc, wolfram, zinc, argiles, bismuth, cadmium, germanium, cassitérite, charbon, fer, granites, gypse, kaolin, manganèse, salines, béryl (émeraude), saphir</i>       |
| <b>Kinshasa</b>           | <i>Argiles, silice, kaolin, sable de verrerie et grès arkosique</i>  |
| <b>Maniema</b>            | <i>Or, cassitérite, amblygonite, argent, argiles, basnaerites, béryl, bismuth, diamant, diatomite, monazite, niobium, wolfram.</i>   |
| <b>Nord Kivu</b>          | <i>Or, cassitérite, amblygonite, argile, cuivre, diamant, fer, kaolin, manganèse, colombo-tantalite, plomb, talc, Argile, cassitérite, basnaesite, béryl, charbon, granite, monazite, niobium, or, platine, wolfram, colombo-tantalite</i> |
| <b>Sud Kivu</b>           | <i>Or, argent, diamant, argile, cuivre, fer, kaolin, colombo-tantalite, ocre, schistes bitumineux, talc.</i>   |
| <b>Province Orientale</b> | <i>Or, cassitérite, amblygonite, argent, argiles, basnaesite, béryl, bismuth, diamant, monazite, niobium, wolfram, colombo-tantalite.</i>  |

Tableau N°1 Répartition de ressources minières de la RDC/ Source ministère des mines RDC

L'exploitation de ces substances est assurée par *des sociétés minières publiques, mixtes et privées pour l'exploitation industrielle et par les exploitants miniers artisanaux en ce qui concerne l'exploitation artisanale.*

La découverte de la plupart des gisements connus à ce jour a été faite il y a bientôt un siècle à l'aide des méthodes et techniques rudimentaires. D'où, la probabilité d'en découvrir d'autres, à l'aide des techniques modernes de recherches, demeure très grande.

Les réserves géologiques pour quelques substances sont données dans le tableau ci- après :

| <i>N°</i> | <i>Substances Minérales</i> | <i>Quantités (tonnes)</i>   |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 01        | <i>Cuivre</i>               | <i>75 000 000</i>           |
| 02        | <i>Lithium</i>              | <i>31 00 000</i>            |
| 03        | <i>Niobium</i>              | <i>30 000 000</i>           |
| 04        | <i>Manganèse</i>            | <i>7 000 000</i>            |
| 05        | <i>Zinc</i>                 | <i>7 000 000</i>            |
| 06        | <i>Cobalt</i>               | <i>4 500 000</i>            |
| 07        | <i>Fer (plus de 60%)</i>    | <i>1 000 000</i>            |
| 08        | <i>Cassitérite</i>          | <i>450 000</i>              |
| 09        | <i>Or</i>                   | <i>600</i>                  |
| 10        | <i>Diamant</i>              | <i>(carats) 206 000 000</i> |
| 11        | <i>Colombo tantalite</i>    |                             |

*Tableau N°2 Quelques réserves de ressources minières / Source ministère des mines RDC*

***Une bonne nouvelle pour la RDC, à ce jour ou les estimations de la réserve mondiale de cuivre seraient autour de 480 et 600 millions de tonnes, il vient d'être découvert un gisement de 700 millions de tonnes dans une mine de KAMOA dans le sud du Katanga.***

En dépit de plusieurs difficultés qu'elle connaît, l'exploitation minière en République Démocratique du Congo demeure encore ***le fer de lance de l'économie nationale*** de par la hauteur de sa participation au PIB (28%). Les exportations des produits miniers représentent quant à elles, en valeur, près de 70% de la valeur totale des exportations de la RDC.



### III.2.3. Le TE-NORM dans l'industrie du cuivre

#### III.2.3.1. Le Katanga la Province Cuprifère

Le tableau 1 montre que le sous-sol Katangais est le plus pourvu avec environs 70% des ressources minières on y retrouve : le Cuivre, le cobalt, l'uranium, le colombo-tantalite, l'or, le platine, le lithium, le talc, le wolfram, le zinc, l'argile, le bismuth, le cadmium, le germanium, la cassitérite, le charbon, le fer, les granites, le gypse, le kaolin, le manganèse, salines, le béryl (émeraude), le saphir. Toute l'activité économique de la province en dépend.

Ces ressources sont surtout concentrées sur deux axes : l'arc cuprifère et la région stannifère.

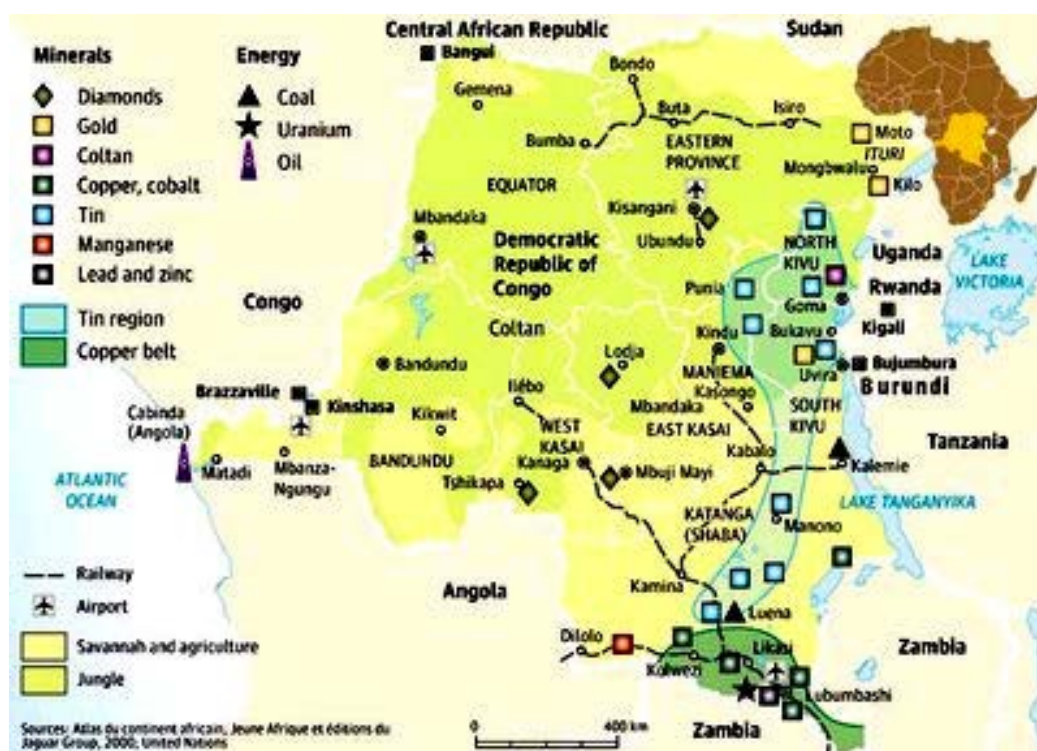


Figure 9. : Les régions cuprifère et stannifère au Katanga (RDC)

L'arc cuprifère (Copper belt), est une aire de 32.000 km<sup>2</sup>, alignée suivant l'axe NO-SE au Katanga méridional (Kolwezi-Likasi-Lubumbashi) et se prolonge jusqu'en Zambie. Dans cette aire, les opérations d'exploitation minière couvrent près de 18.900 km<sup>2</sup> représentant la concession regorgeant d'importants gisements de cuivre à haute teneur et les minerais associés tels que le cobalt, le zinc, le plomb, l'argent, le cadmium, le rhénium, la platine, l'uranium. La consistance des richesses minières de cette partie de la RDC fait que ce dernier regorge 50% des réserves mondiales de cobalt et 10% de cuivre.

**La région stannifère** (Tin region) est une aire alignée suivant l'axe SO-NE au Katanga septentrional (Kipamba-Mitwaba-Malemba Nkulu-Manono) et couvre près de 14.000 km<sup>2</sup>, et se prolonge jusqu'au Nord-Kivu en passant par le Maniema et le Sud-Kivu.

Il regorge d'importants gisements de la cassitérite (Etain), de l'or, du Coltan (Colombo Tantalite), de pegmatites, des terres rares,...

### **III.2.3.2. La production des TE-NORM, de l'exploration jusqu'à la production du cuivre**

#### **III.2.3.1.1. Exploration – Prospection**

Un projet minier peut commencer seulement quand on connaît l'extension et la valeur du dépôt de minerai.

Les informations sur la localisation et la valeur du dépôt de minerai s'obtiennent durant la phase de prospection, cette phase comprend les enquêtes, les études de terrain, les essais de sondage et d'autres excavations exploratoires les prochaines phases du projet minier peuvent ne pas s'ensuivre si l'exploration n'arrive pas à trouver des quantités suffisantes de dépôts de minerai à hautes teneurs.

Pendant cette étape la radioactivité est ramenée à la surface par les échantillons prélevés dans les puits de forage, cette opération entraîne aussi une exposition due à la poussière



*Image 1 exploration minière du cuivre*

#### **III.2.3.1.2. Exploitation des mines à ciel ou ouvert et souterraines**

##### **✚ Mines à ciel ouvert:**

L'exploitation débute par une découverte qui consiste à décaper la partie de la roche stérile, elle entraîne de tonnes des résidus et une exposition à la poussière c'est la plus répandue dans l'exploitation du cuivre au Katanga.



*Image 2 : mine à ciel ouvert*

#### ✚ Mines souterraines :

Dans l'exploitation souterraine, une quantité minimale de stériles est enlevée pour accéder au dépôt du minerai. L'accès à ce gisement de minerai consiste à creuser des galeries dans la roche stérile si les minéralisations visées sont en profondeur. Cela génère les eaux d'exhaure, la boue, le gaz radon,...



Image 3 : Entrée de la mine de Kamoto à Kolwezi/RDC

#### III.2.3.1.3. Le transport des minerais vers l'usine de traitement

Le transport se fait par différentes voies : camions, wagons, etc. une fois à l'usine de traitement les minerais sont stockés en remblais et il s'ensuit une opération d'homogénéisation à fin d'avoir une teneur homogène à alimenter à l'usine de traitement.

#### II.2.3.1.4. Usine de traitement

Le cuivre est traité par *voie humide (hydrométallurgie)* ou par *voie sèche (pyrométallurgie)*, le traitement est précédé selon le cas par une concentration ou enrichissement.

La détermination de l'une ou de l'autre méthode est fonction des plusieurs paramètres, entre autre : la nature du minerai (oxydé, sulfureux), la nature de la gangue, etc.

#### ✚ La concentration

Elle comprend les opérations de concassage, broyage, classification : qui ont pour but de libérer les minéraux en vue de passer à la flottation qui consistera à faire remonter à la surface les minéraux (partie riche en métaux) pour la séparer des boues (gangue) qui restent au fond.

#### ✚ Traitement hydrométallurgique

L'hydrométallurgie est une technique plus récente (début de 20e siècle) qui comporte une étape où le métal est solubilisé (d'où le préfixe "hydro") elle veut dire : la métallurgie par voie humide.

Un procédé d'hydrométallurgie typique comporte les étapes suivantes :

- ✓ **Lixiviation** : C'est la mise en solution des différents métaux à l'aide de l'acide sulfurique.
- ✓ **Décantation, filtration** : une séparation solide-liquide
- ✓ **Purification** : la séparation des différents métaux entre eux réalisée par différentes techniques (céméntation, précipitation, **extraction par solvant qui est utilisée dans la plus part des cas.**)
- ✓ **Electrolyse** : elle consiste à faire déposer le cuivre à la cathode, elle est réalisée en faisant



Image 4 électrolyse du cuivre

passer un courant électrique de forte puissance entre une anode et une cathode dans une solution métallique contenant l'élément à extraire.

- ✓ **Raffinage** : Une élimination des impuretés résiduelles qui peut être *thermique ou électrolytique*

#### ✚ **Traitement pyrométallurgique:**

Est une technique d'extraction qui comporte une étape où l'ensemble de la charge est fondue par la chaleur à fin d'extraire le métal d'intérêt (d'où le préfixe "pyro") elle veut dire : la métallurgie par voie sèche.

Elle comprend plusieurs étapes qui conduisent à l'obtention du cuivre métallique.

- ✓ **La première étape : le grillage** qui consiste à préparer la forme du minerai pour l'adapter à la méthode qui sera utilisée lors de la fusion, il peut être sulfatant, agglomérant, une désulfuration partielle, épurant (une élimination des éléments indésirables),...
- ✓ **La deuxième étape : la fusion**, elle consiste à fondre dans un four tous les composants de la charge à une température suffisante pour atteindre l'état liquide.  
Le type de fusion opéré avec les minerais de cuivre est une fusion pour matte, mélange de sulfures fondus, qui a pour but de rassembler le cuivre et tous les éléments chalcophiles (Ni, Co, Pb, Zn, métaux précieux, As, Sb, Se, Bi, Te...), en rejetant le fer et les éléments de gangue sous forme d'une scorie et en abaissant la teneur en soufre initiale par oxydation partielle en SO<sub>2</sub>.
- ✓ **La troisième : le convertissage**, une étape qui consiste à convertir la matte en cuivre métallique, ou blister, par oxydation du soufre restant avec de l'air atmosphérique ou enrichi à l'oxygène. Le soufre est oxydé en SO<sub>2</sub>, qui est entraîné hors du convertisseur, et les métaux plus oxydables que le cuivre passent dans la scorie.  
Le blister ainsi obtenu titre 98 à 99,5 % de cuivre, et contient un peu d'oxygène et les éléments chalcophiles signalés précédemment. Il est coulé dans un four à anodes sous forme de plaques d'anodes ou de lingots devant être ensuite **raffinés**.

### **III.2.3.1.5. Les résidus**

Les opérations d'extraction se terminent par la production des cathodes ou des lingots de cuivre d'une part et d'autre part des grands volumes des résidus, souvent liquides dans le cas de l'hydrométallurgie et solides dans le cas de la pyrométallurgie (scorie).

Ces résidus constituent une source importante d'exposition.

#### **+ Les déchets dus à l'extraction**

- ✓ Les stériles ;
- ✓ Les eaux d'exhaure de mines et d'infiltration de surface provenant de stocks de minerai et stériles ;
- ✓ l'air ayant servi à l'aérage des mines.

#### **+ Les déchets dus au traitement**

- ✓ Les résidus de traitement de minerai ;
- ✓ Les affluents liquides venant de l'usine ;
- ✓ L'air de la ventilation de l'usine et de l'extraction de poussières à différents postes de travail.



*Image 5 dechet de l'hydrométallurgie*



*Image 6 : déchet de la pyrométallurgie de la GCM*



**FLOWSHEET GENERAL DU TRAITEMENT DE CUIVRE PAR HYDROMETAL  
LURGIE OU PYROMETALLURGIE**

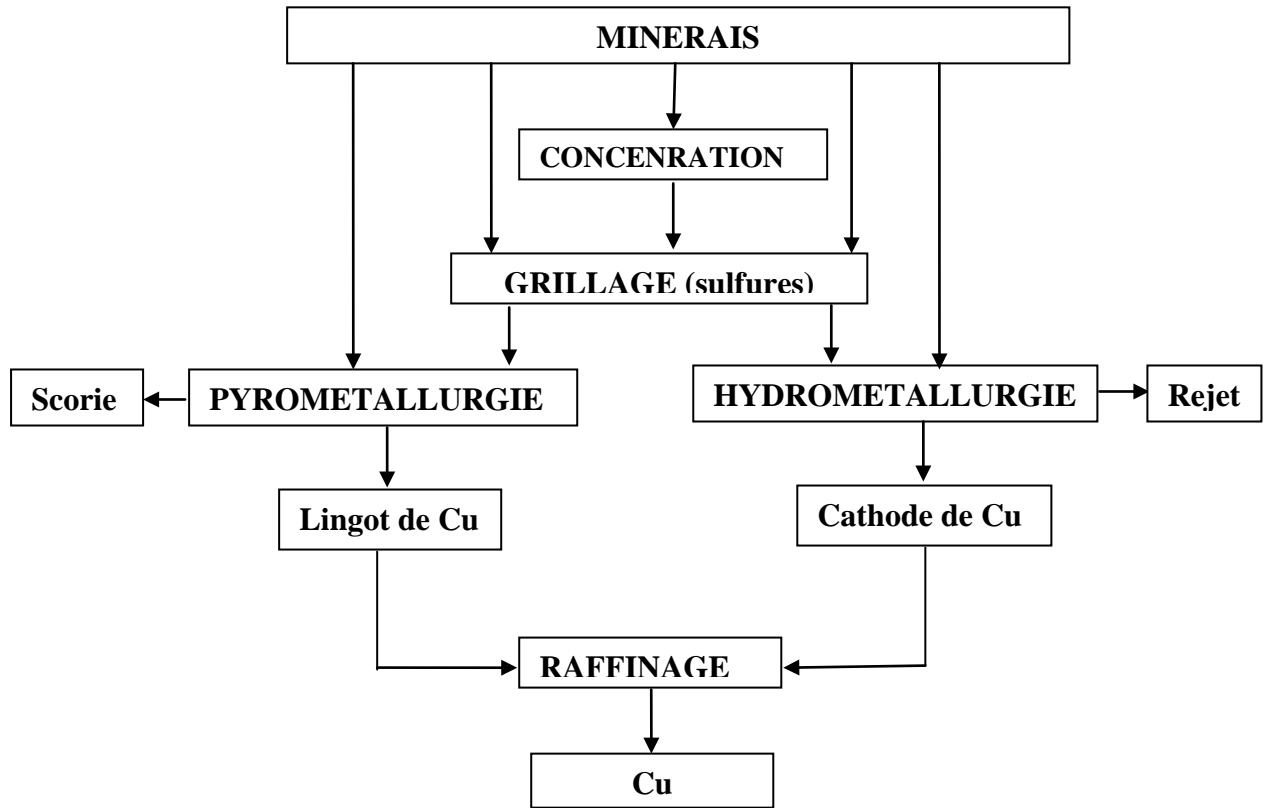


Figure 10 : Flowsheet général de la production du Cu

## Chapitre IV: LES RISQUES RADIOLOGIQUES POSES PAR LES TENORM

Dans l'extraction minière le travailleur et le public peuvent être exposés à des risques radiologiques divers tout au long de différentes étapes d'extraction comme citées ci-haut. Ces risques, lorsqu'ils ne sont pas maîtrisés peuvent causer un détriment important aux travailleurs et au public et affecter l'environnement.

Voici les principales voies d'exposition :

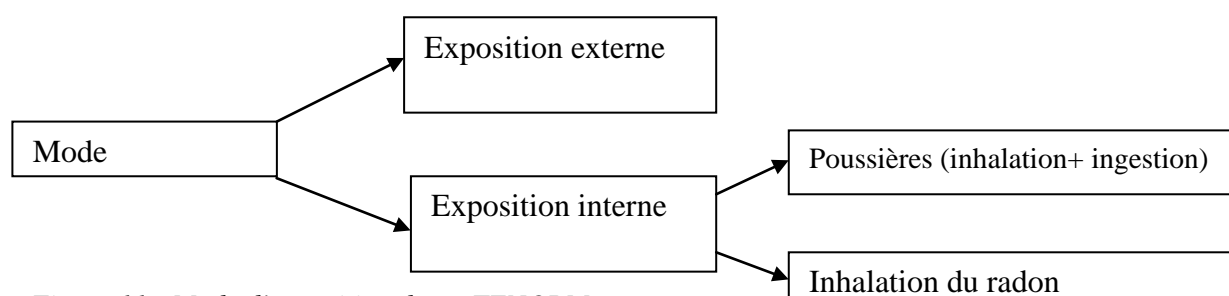


Figure 11 : Mode d'exposition du au TENORM

### IV.1. Exposition externe

Elle est essentiellement due, aux rayonnements  $\beta$  et  $\gamma$  émis par les produits de filiation de la chaîne de l'uranium présents dans les roches tout au long de l'extraction.

Ces rayonnement peuvent aussi être concentrés dans :

- ✚ Les dépôts de résidus de traitement dans les canalisations, les boues
- ✚ Les lieux de stockage des minerais ou des rejets,...

### IV.2. Exposition interne :

Elle résulte de l'inhalation ou ingestion

#### IV.2.1. Inhalation de la poussière

Des poussières sont en suspension dans les milieux d'extraction et de concentration des minerais, ces aérosols contiennent des quantités significatives de radionucléides et peuvent être inhalées.

Plusieurs activités peuvent engendrer la poussière lors de l'extraction et le traitement de minerais :

- ✚ Dans la mine : lors du forage, tir, concassage, manutention des roches,...
- ✚ Dans l'usine : lors des opérations de stockage, de concassage, de broyage,...

#### ***IV.2.2. Inhalation du Radon***

Le radon est un gaz rare radioactif incolore et inodore, il est chimiquement neutre : l'atome de radon en lui-même ne se fixe pas dans les poumons ni dans l'organisme humain. De ce fait, les doses délivrées par le radon proprement dit sont négligeables.

Ce sont ces descendants qui sont à l'origine des irradiations, et principalement ses descendants à vie courte Il s'agit du Po 218, Pb 214, Bi 214 et Po 214

Il se présente sous deux formes selon qu'il s'agit de la famille d'uranium ou du thorium : nous avons le  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) de la famille de  $^{232}\text{Th}$ , disparaît très vite ( $T_{1/2}= 55\text{s}$ ), sa contribution à la dose est moins importante, le  $^{222}\text{Rn}$  (radon) de la famille de  $^{238}\text{U}$ , il a la plus longue période ( $T_{1/2}= 3,8$  jours), donc plus large distribution dans l'atmosphère. Son impact radiologique est important.

Dans une atmosphère chargée en radon, celui-ci est très rapidement en équilibre séculaire avec ses descendants à vie courte.

#### ***IV.2.3. Ingestion de la poussière***

Contamination des mains, des objets portés à la bouche

## Chapitre V : EVALUATION DE L'EXPOSITION DUE A LA RADIOACTIVITE RENFORCEE

### V.1.Introduction

La dose efficace est la grandeur de protection qui sert de référence dans l'évaluation de la radioactivité, elle est définie afin de limiter la dose.

Elle englobe la dose due à l'exposition externe et celle due à l'exposition interne par incorporation de radionucléides. C'est une grandeur qui n'est pas directement mesurable mais qui peut être calculée à partir des grandeurs dosimétriques ou opérationnelles

Plusieurs approches peuvent être abordées pour la calculer :

1. **Un suivi dosimétrique individuel** : qui consiste en une évaluation des deux composantes : *exposition externe et interne*.
  - ✚ **L'exposition externe** qui est évaluée à partir des mesures des grandeurs Hp10, Hp 0.07 ou Hp 0.03
  - ✚ **L'exposition interne** qui est évaluée à partir des mesures directes (anthroporadiométrie) ou des mesures indirectes (radiotoxicologie).
2. **La surveillance des lieux de travail** qui consiste aussi en une évaluation de ces deux composantes (interne-externe) :
  - ✚ **L'exposition externe** évaluée sur les postes de travail d'une manière continue avec un détecteur d'ambiance fixe ou d'une manière discontinue avec le détecteur mobile
  - ✚ **L'exposition interne** qui est évaluée par l'activité incorporée par inhalation ou ingestion sur le lieu de travail qui peut aussi se faire d'une manière continue ou discontinue avec des pompes de prélèvement d'air.

La dose efficace totale,  $E_t$ , est la somme des composantes d'exposition externe et interne.

L'équation suivante est utilisée pour l'évaluation de la dose efficace totale,  $E_t$

$$E_t = H_p(10) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh}$$

Où,

$H_p(10)$  est l'équivalent de dose corps entier,

$e(g)_{j,ing}$  est le coefficient de dose pour l'ingestion,

$I_{j,ing}$  est l'apport de l'ingestion,

$e(g)_{j,inh}$  est le coefficient de dose pour l'inhalation, et

$I_{j,inh}$  est l'apport de l'inhalation

## ***V.2. Evaluation de l'exposition des travailleurs dans les industries extractives***

Pour des raisons d'indisponibilité des échantillons du minerai de cuivre, le travail pratique s'est fait sur des échantillons de TE-NORM en provenance de l'industrie pétrolière algérienne, bien préparé pour nous par l'équipe du laboratoire de déchets radioactifs du CRNA.

Le matériel utilisé et les échantillons d'analyse sont du Laboratoire des déchets radioactifs de la Division (DESDR) du CRNA.



*Image 7 Echantillon de TENORM*

Nous allons décrire ci-dessous comment nous avons procédé pour évaluer la dose efficace totale.

### ***V.2.1.Exposition externe des travailleurs***

L'évaluation de la dose due à l'exposition externe a été réalisée par des mesures de débits de dose au contact des nos échantillons, nous l'avons aussi fait à 10, 20, et 30 cm pour voir l'impact de la distance entre la source et la personne exposée.

#### ***V.2.1.1.Mesures des débits de dose d'ambiance***

En principe ces mesures doivent être prélevées sur toute la chaîne de production, de l'extraction du minerais jusqu'au produit final et sur le stockage de déchets.

Les radiamètres serviront à évaluer l'exposition aux rayonnements gamma tandis que les contaminamètres serviront à quantifier la contamination surfacique

Pour ce faire, on s'intéressera aux incrustations, aux dépôts de tartre et de boue sur les différents éléments de l'installation : cuves de dissolution, toiles et gâteaux de filtration, boues minières, tubages et les réservoirs de rétention,...

Par ailleurs, on procédera à des prélèvements d'échantillons aux points d'intérêt pour une analyse par spectrométrie.

On veillera à noter l'identification précise des points de mesure d'échantillonnage, les mesures de débits de dose et les caractéristiques du détecteur utilisé pour la mesure, puis toutes les autres données nécessaires dans une feuille de mesures appropriée.

Voici les résultats des mesures prises sur les échantillons étiquetés :  $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$ ,

✚ **Appareil de détection :**

- Automess 6150 AD 6/H
- n°série : 130178
- Plage de mesure : 0,01 $\mu$ Sv/h-10mSv/h pour des
- Energies de 60 keV-1,3 MeV

**Tableau N°3 : Mesures de débits de dose**

| Débit de dose à la surface ( $\mu$ Sv/h) | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Au contact</b>                        | 3.68  | 0.54  | 7.84  | 4.73  | 4.88  |
| <b>A 10 cm</b>                           | 1.03  | 0.20  | 2.34  | 1.08  | 2.15  |
| <b>A 20 cm</b>                           | 0.51  | 0.14  | 1.10  | 0.44  | 0.80  |
| <b>A 30 cm</b>                           | 0.20  | 0.11  | 0.65  | 0.21  | 0.25  |

**V.2.1.2. Evaluation de la dose efficace due à l'exposition externe**

$$E_{ext} = D * t$$

- ✚  $E_{ext}$  (Sv) : dose efficace ;
- ✚  $D$  ( $\mu$ Sv/h) : débit de dose moyen au poste de travail ;
- ✚  $t$ (s) : durée moyenne de travail par an

Temps=2000h

Dans un premier temps considérons que le travailleur a été exposé pendant 2000h de travail

**Tableau N°4 : Calcul de la dose due à l'exposition externe**

| Echantillons   | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Débit de dose à la surface (<math>\mu</math>Sv/h)</b> | 3.68  | 0.54  | 7.84  | 4.73  | 4.88  |
| <b>Dose efficace annuelle (mSv)</b>                      | 7.4   | 1.08  | 15.7  | 9.5   | 9.76  |

La contribution de l'exposition externe dans les industries extractives n'est pas la plus importante car :

- ✚ les radionucléides en présence émettent principalement des rayonnements alpha ou beta avec de faibles probabilités d'émission gamma,
- ✚ cette dose diminue avec la variation de la distance

Cependant, nous notons que les valeurs de doses des échantillons : D<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> et D<sub>5</sub>, dépassent la limite réglementaire de 1mSv par an pour ces travailleurs de maintenance considérés au départ comme travailleurs non exposés.

Dans les conditions normales de travail, il est impossible d'être au contact des ces matières 8 heures sur 8, les travailleurs les plus exposés dans ce cas précis sont par exemple ceux de la maintenance.

Imaginons par exemple qu'ils fassent une fois la maintenance pendant 7 heures par semaine, c'est-à-dire qu'ils passeraient dans ce cas environ 340 h par an

**Tableau N°5 : Estimation de la dose efficace dans les conditions du scénario**

| Echantillons                              | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>5</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Débit de dose à la surface (µSv/h)</b> | <b>3.68</b>    | 0.54           | <b>7.84</b>    | <b>4.73</b>    | <b>4.88</b>    |
| <b>Dose efficace annuelle (mSv)</b>       | <b>1.25</b>    | 0.18           | <b>2.82</b>    | <b>1.60</b>    | <b>1.23</b>    |

Cependant, nous notons que même en réduisant le temps d'exposition de ce travailleurs selon le scénario, les valeurs de doses des échantillons : D<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> et D<sub>5</sub>, dépassent toujours la limite réglementaire de 1mSv par an pour ces travailleurs de maintenance considérés au départ comme travailleurs non exposés.

Donc, au cas où ce scénario se vérifie, au vu des résultats ci-haut ces travailleurs doivent être considéré comme travailleurs sous rayonnements et toutes les mesures possibles de radioprotection doivent suivre.

### ***V.2.2.Exposition interne des travailleurs***

Comme nous l'avons dit ci-haut l'exposition interne peut se faire par l'évaluation de la radioactivité incorporée par inhalation ou ingestion des radionucléides dans l'organisme.

Dans les industries extractives l'inhalation des poussières radioactives et du gaz radon constituent les voies les plus probables d'incorporation de radionucléides

La dose efficace engagée de chaque radionucléide est évaluée à partir de la concentration du radionucléide dans l'air pondérée à la durée moyenne d'inhalation.

#### ***V.2.2.1. Evaluation de l'exposition par inhalation***

##### ***✚ Calcul de la concentration des radionucléides dans l'air à l'aide d'un préleveur d'air a filtre.***

Comme dit ci-haut la grande part de l'exposition dans les mines d'extraction est due à l'inhalation des poussières, c'est ainsi qu'il est nécessaire de prélever l'air dans les mines pour s'enquérir du niveau d'exposition due à l'inhalation des travailleurs ou du public résidants aux alentours des mines en utilisant un préleveur d'air.



*Image 8 : Préleveur d'air à travers un filtre*

Un préleveur d'air ambiant est un appareil constitué essentiellement d'une tête de prélèvement d'air, d'une ligne d'échantillonnage, d'une pompe d'aspiration de l'air et d'un débitmètre. Il comporte un système de filtration de l'air ambiant, destiné à recueillir de façon quantitative les fines particules recueillies sur un filtre en papier.

##### ***✚ Mode opératoire***

- Réglons la pompe dans un trépied ou un pied à environ 1 m de hauteur, puis enregistrons la date, l'heure de départ.
- Retirons le filtre au bout d'une durée précise de prélèvement.
- La quantité d'air prélevé est obtenue en multipliant le débit de la pompe par le temps



- Le filtre en papier est ensuite analysé par spectrométrie Gamma pour une identification des radionucléides en présence et l'évaluation de leur concentration
- La dose efficace engagée par inhalation  $E_{inh}$ , résultant de l'inhalation des poussières radioactives et du gaz Radon par un travailleur durant une période donnée (mensuelle, trimestrielle ou annuelle) est calculée par :

$$E_{inh} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{a,i} \cdot CF_{2,i} \cdot T_e$$

- $E_{inh}$  : Dose efficace engagée par inhalation [mSv]
- $C_{a,i}$  : La concentration moyenne du radionucléide  $i$  dans l'air [kBq/m<sup>3</sup>]
- $CF_{2,I}$  : Facteur de conversion pour le radionucléide  $i$  (valeurs tabulées), un débit respiratoire de 1,5 m<sup>3</sup> / h est recommandé par la CIPR pour un adulte effectuant des activités légères (IAEATECDOC-1162, p.107)
- $T_e$  : Durée estimative d'exposition [h]

Dans le cadre de notre travail, nous avons cherché à simuler l'environnement d'une mine en plaçant nos échantillons dans une hotte et en procédant au prélèvement de l'air en vue d'estimer la quantité qui pourrait être inhalée.

#### ✚ *Matériel et équipements utilisés*

- Une hotte
- Un plateau + échantillon
- Un préleveur d'air avec un débit de 40CFM= 68 m<sup>3</sup>/h

#### ✚ *Procédure*

Pour cela nous avons procédé de deux manières :

- 1) Un prélèvement d'air pendant une heure en mettant une faible ventilation dans la hotte
- 2) Un autre prélèvement pendant deux heures sans ventilation dans la hotte

Connaissant le débit de la pompe, le temps de prélèvement, nous pouvons déterminer le volume d'air qui a été piégé sur le filtre et connaître l'activité volumique (Bq/m<sup>3</sup>) après spectrométrie gamma du filtre.



*Image 9 : échantillon dans la hotte*

Par ailleurs, connaissant aussi le débit respiratoire d'un adulte, le temps de travail, nous pouvons calculer l'activité incorporée en ( $Bq/m^3$ ). Sachant cette activité nous pouvons calculer la dose due à l'inhalation selon la formule donnée ci-haut.

Cette expérience nous a permis non seulement d'avoir la quantité de l'activité incorporée, mais aussi elle nous a permis de voir l'influence de la ventilation dans l'environnement d'une mine ou d'une usine de traitement.

Voici ci-dessous les résultats trouvés dans le deux cas :

Etant donné que nous n'avions pas assez de temps pour préparer un standard filtre qui allait nous permettre de calculer les différentes activités sur nos deux filtres après prélèvement.

Nous nous sommes contentés des spectres des nos deux filtres.

*Tableau N°6 Résultats de filtres*

|  | <b>Masse des poussières piégées (g)</b> | <b>CPS (Ra-226)</b> |
|--|---|---------------------|
| <b>Filtre 1<br/>(avec ventilation)</b> | 0.006                                   | 37                  |
| <b>Filtre 2<br/>(sans ventilation)</b> | 0.041                                   | 59                  |

Figure 12 : Spectre du bruit de fond

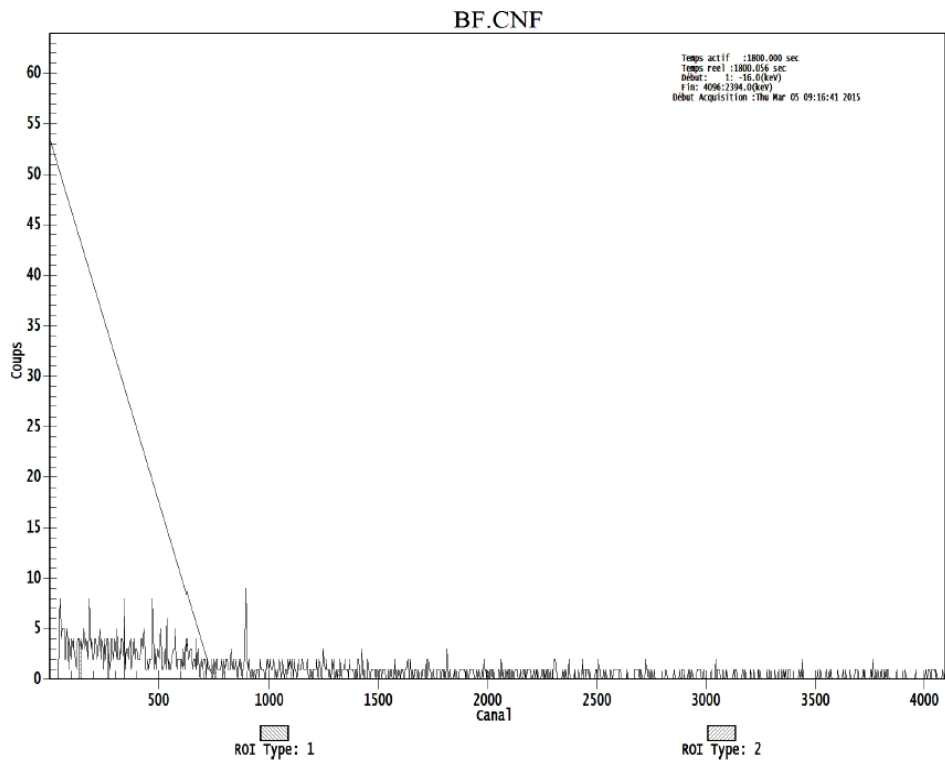


Figure 13 : Spectre filtre 1

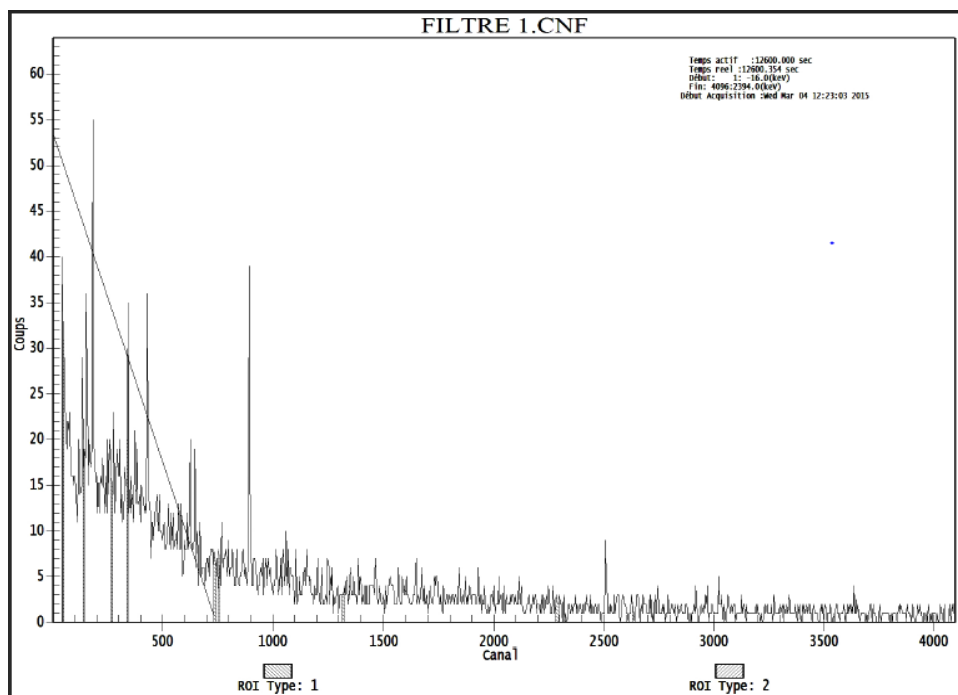
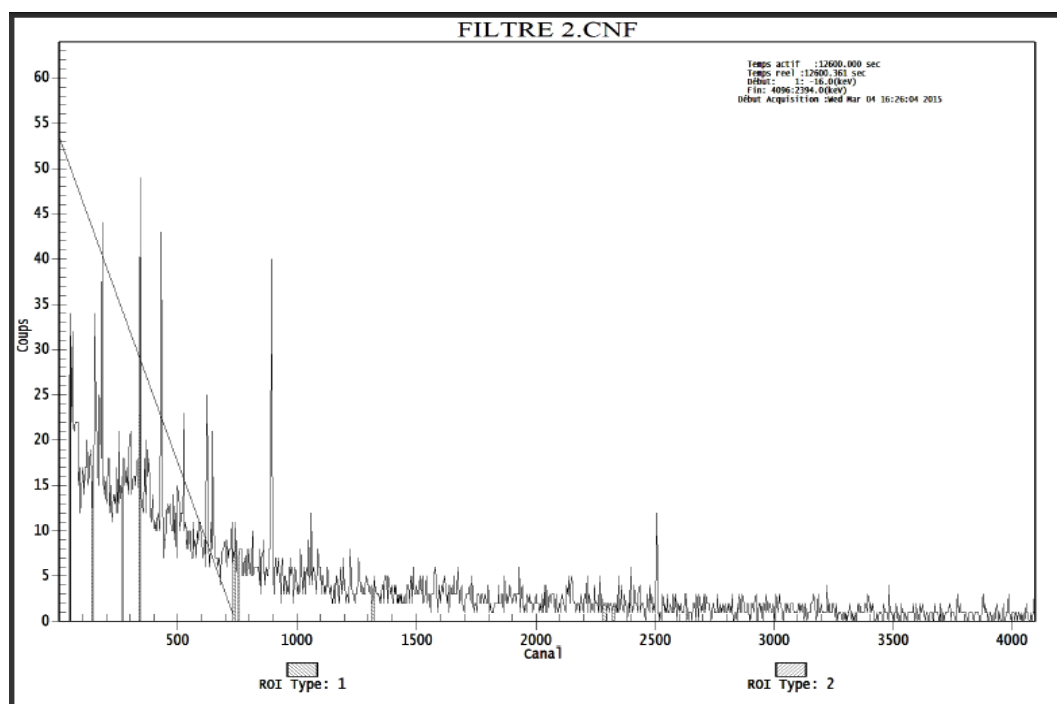


Figure 14 : Spectre filtre 2



Bien que nous n'avions pas pu quantifier les activités, néanmoins ces deux filtres nous ont permis de prouver effectivement la présence des particules radioactives piégées, d'où une incorporation radioactive due l'inhalation dans le cas d'un travailleur ou d'un membre du public.

Ces deux spectre nous ont aussi permis de voir la différence de la quantité piégée dans le deux cas d'où l'importance de la ventilation.

Ceci est prouvé par le rapport du nombre de coups par seconde (CPS) prélevé qui est de 1.6, c'est-à-dire que le deuxième filtre est 1.6 fois plus radioactif que le premier.

Avec la composante de la dose due à l'exposition interne et celle due à l'exposition externe, on peut enfin évaluer la dose efficace totale selon la formule susmentionnée.

### ***V.3. Prise en charge de déchets radioactifs.***

#### ***V.3.1. Evaluation de l'activité***

L'évaluation de l'activité dans les différents échantillons de TE-NORM s'avère importante en vue d'une meilleure gestion de ces derniers.

En effet, la réglementation nationale comme les normes internationales de l'AIEA ne prévoient pas des limites réglementaires sur les activités spécifiques mais prévoient par contre les limites d'exemption, ces sont des valeurs en dessous desquelles les radionucléides sont considérés comme inoffensifs à l'homme, ces valeurs reflètent le danger d'un radionucléide par rapport à un autre, elles tiennent compte à la fois des risques d'exposition internes et externes.

D'où, la connaissance des activités spécifiques est un atout majeur dans la meilleure prise en charge des TE-NORM.

Les tableaux ci-dessous nous donnent les limites d'exemptions et d'autres informations pertinentes sur les quelques radionucléides qui ont été détectés à la spectrométrie gamma dans nos échantillons.

**Tableau N°7 : Limite d'exemption du Radium-226**

**Radium - 226<sup>!!</sup>** **<sup>226</sup>Ra<sub>88</sub>**

Half life: 1600 years Risk group: 1  
Specific activity: 3.66E+10 Bq.g<sup>-1</sup> Decay to be considered: <sup>226</sup>Ra to <sup>210</sup>Po (pages 13, 165) Risk colour: Red

| Main emissions (keV) |     |                          |   |           |   | Exemption levels |    |
|----------------------|-----|--------------------------|---|-----------|---|------------------|----|
| Gamma or X           |     | Beta (E <sub>max</sub> ) |   | Electrons |   | Alpha            |    |
| E                    | %   | E                        | % | E         | % | E                | %  |
| E1                   | 186 | 3                        |   | 168       | 1 | 4602             | 6  |
| E2                   |     |                          |   |           |   | 4784             | 95 |
| E3                   |     |                          |   |           |   |                  |    |
| % omitted            |     | 1                        |   | 2         |   | < 1              |    |

| Transport (TBq)               |       |
|-------------------------------|-------|
| IAEA ST1 A <sub>1</sub> value | 0.2   |
| IAEA ST1 A <sub>2</sub> value | 0.003 |

**Tableau N°8 : Limite d'exemption de l'Uranium 235**

**Uranium - 235<sup>!!</sup>** **<sup>235</sup>U<sub>92</sub>**

Half life: 7.04E+8 years Risk group: 1  
Specific activity: 8.00E+04 Bq.g<sup>-1</sup> Decay to be considered: <sup>235</sup>U to <sup>211</sup>Po (pages 13, 165) Risk colour: Red

| Main emissions (keV) |     |                          |   |           |   | Exemption levels |    |
|----------------------|-----|--------------------------|---|-----------|---|------------------|----|
| Gamma or X           |     | Beta (E <sub>max</sub> ) |   | Electrons |   | Alpha            |    |
| E                    | %   | E                        | % | E         | % | E                | %  |
| E1                   | 16  | 29                       |   |           |   | 4365             | 17 |
| E2                   | 144 | 11                       |   |           |   | 4400             | 55 |
| E3                   | 186 | 57                       |   |           |   | 4599             | 5  |
| % omitted            |     | 23.6                     |   |           |   | 20.9             |    |

| Transport (TBq)               |           |
|-------------------------------|-----------|
| IAEA ST1 A <sub>1</sub> value | Unlimited |
| IAEA ST1 A <sub>2</sub> value | Unlimited |

**Tableau N°9 : Limite d'exemption du Plomb 214**

**Lead - 214** **<sup>214</sup>Pb<sub>82</sub>**

Half life: 26.8 minutes Risk group: 2  
Specific activity: 1.21E+18 Bq.g<sup>-1</sup> Risk colour: Orange

| Main emissions (keV) |     |                          |      |           |     | Exemption levels |   |
|----------------------|-----|--------------------------|------|-----------|-----|------------------|---|
| Gamma or X           |     | Beta (E <sub>max</sub> ) |      | Electrons |     | Alpha            |   |
| E                    | %   | E                        | %    | E         | %   | E                | % |
| E1                   | 295 | 19                       | 672  | 48        | 205 | 7                |   |
| E2                   | 352 | 37                       | 729  | 42        | 261 | 9                |   |
| E3                   | 786 | 1                        | 1024 | 6         | 335 | 2                |   |
| % omitted            |     | 47                       |      | 3         |     | 42               |   |

| Transport (TBq)               |   |
|-------------------------------|---|
| IAEA ST1 A <sub>1</sub> value | - |
| IAEA ST1 A <sub>2</sub> value | - |

**Tableau N°10 : Limite d'exemption du Bi-214**

**Bismuth - 214** **<sup>214</sup>Bi<sub>83</sub>**

Half life: 19.83 minutes Risk group: 3  
Specific activity: 1.64E+18 Bq.g<sup>-1</sup> Risk colour: Yellow

| Main emissions (keV) |      |                          |      |           |      | Exemption levels |   |
|----------------------|------|--------------------------|------|-----------|------|------------------|---|
| Gamma or X           |      | Beta (E <sub>max</sub> ) |      | Electrons |      | Alpha            |   |
| E                    | %    | E                        | %    | E         | %    | E                | % |
| E1                   | 610  | 46                       | 1540 | 18        | 592  | <1               |   |
| E2                   | 1764 | 16                       | 1892 | 8         | 1027 | <1               |   |
| E3                   | 2205 | 5                        | 3270 | 17        | 1323 | <1               |   |
| % omitted            |      | 54                       |      | 57        |      | 1                |   |

| Transport (TBq)               |   |
|-------------------------------|---|
| IAEA ST1 A <sub>1</sub> value | - |
| IAEA ST1 A <sub>2</sub> value | - |

### V.3.2. Calcul de la concentration des radionucléides par Spectrométrie Gamma Ge(HP)

#### V.3.2.1. Matériel utilisé :

- ✓ Chaîne de spectrométrie Gamma constituée des éléments suivants :
  - Détecteur Ge(HP) avec préamplificateur incorporé + Dewar d'azote liquide ;
  - Rack d'alimentation haute tension ;
  - Electronique associé : jauge du niveau d'azote, amplificateur, Convertisseur

- (ADC) et un analyseur multicanaux (MCA) ;
- Logiciel d'acquisition et de traitement GENIE 2000
- Ordinateur pour le traitement des résultats
- imprimante
- ✓ Sources gamma pour la calibration en énergie et en efficacité :  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{60}\text{Co}$  ;  $^{152}\text{Eu}$
- ✓ Echantillons à analyser
- ✓ Balance de précision

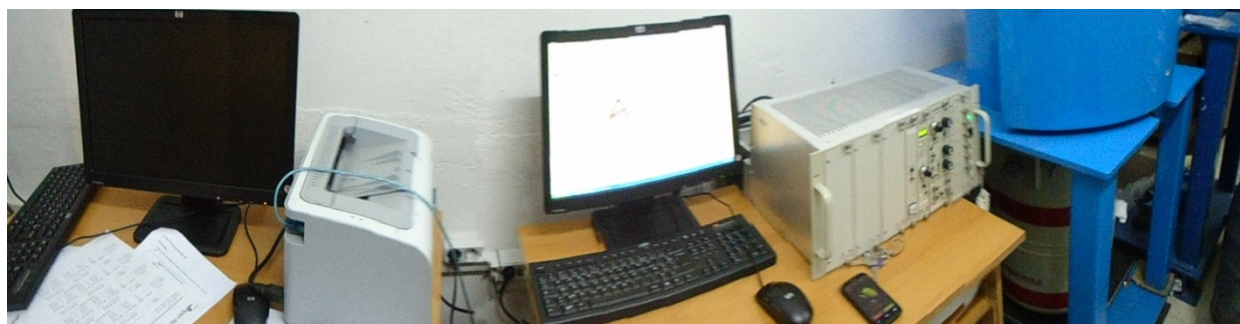


Image 10 : chaîne de spectrométrie gamma

### V.3.2.2. Calibration en énergie

Chaque canal où sont stockées des impulsions de même taille représente une fenêtre d'énergie. La calibration en énergie de la chaîne de détection va donc consister à traduire la correspondance qui existe entre les canaux et leurs énergies  $E = f(N^{\circ} \text{ canal})$ . Cette correspondance va ainsi nous permettre d'attribuer à un pic l'énergie qui lui correspond.

Nous réalisons cette opération au moyen de trois sources étalons dont nous connaissons à priori les énergies ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ).

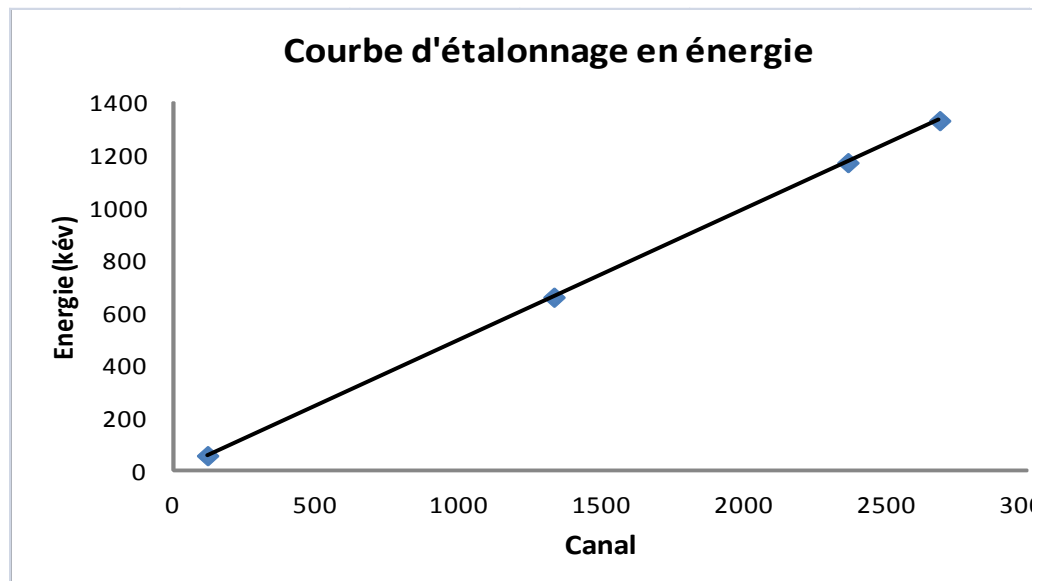
#### ✚ Procédure :

- Placer les trois sources étalons sur le capot du détecteur et fixer via le logiciel d'acquisition un temps de comptage (10 minutes par exemple) ;
- Démarrer l'acquisition ;
- A la fin du comptage, marquer les pics visualisés ;
- Déterminer les numéros de canaux

Tableau N°11 : Etalonnage en énergie du détecteur Ge-HP.

| Source        | Energie (Kév) | N° de canal |
|---------------|---------------|-------------|
| <b>Cs-137</b> | 661,6         | 1335        |
| <b>Am-241</b> | 59,5          | 120         |
| <b>Co-60</b>  | 1173          | 2366        |
|               | 1332,5        | 2688        |

Figure 15 : Courbe d'étalonnage en énergie



$$\text{Energie} = -1,654e+001 \text{kev} + 5,885e-001(\text{canal})$$

### V.3.2.3. La calibration en efficacité

En pratique, Il n'est pas possible de calculer les valeurs des efficacités pour différentes valeurs d'énergie  $\varepsilon = f(E)$  et pour toutes les géométries (en termes de porte-échantillons) qui sont utilisées dans le laboratoire.

Il est donc d'usage de préparer des échantillons standards et de déterminer l'efficacité de la chaîne de mesure de manière empirique. Ces échantillons standards doivent répondre aux exigences suivantes:

- ✚ Ils doivent être similaires aux échantillons à analyser : composition de la matrice, la forme physique et les dimensions.
- ✚ Ils doivent être de même possibles de placer ces échantillons dans la même position par rapport au détecteur.
- ✚ Ils doivent contenir un certain nombre de radionucléides émettant un grand nombre des photons d'énergies différentes pour couvrir le domaine d'énergie qui présente un intérêt.

Pour notre travail, nous avons utilisé un spectre du standard déjà prêt, il a été réalisé à partir d'un filtre contaminé d'une source polyénergétique d'Europium 152. Son spectre comporte en effet un nombre important de pics bien repartis en énergie et en intensité.

Tableau N°12 étalonnage en efficacité

| Energie KeV | Efficacité | Incertitude(%) |
|-------------|------------|----------------|
| 121,78      | 0,04119    | 3,17           |
| 244,69      | 0,02913    | 3,7            |
| 344,27      | 0,02343    | 3,23           |
| 443,98      | 0,0184     | 5,31           |
| 778,89      | 0,0124     | 4,14           |
| 964,01      | 0,01001    | 4,21           |
| 1085,78     | 0,01036    | 4,24           |
| 1112,02     | 0,00973    | 4              |



Image 11 : échantillon des TENORM

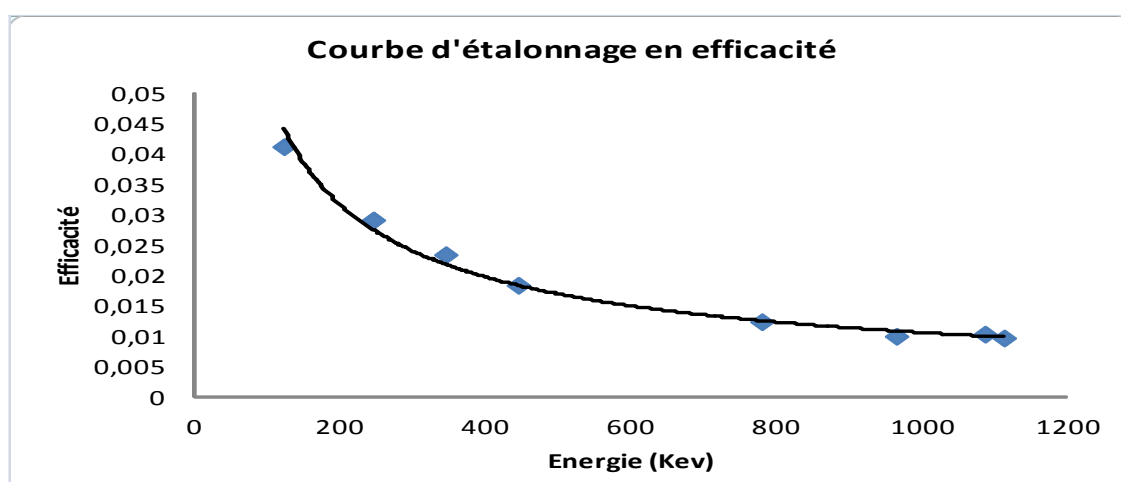


Figure 16 : courbe d'étalonnage en efficacité

$$\ln(\text{Eff}) = -2,686 + 2,827 \cdot 10^{-1} \cdot \ln(E) - 8,029 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(E)^2$$

#### V.3.2.4. Calcul des activités

##### Mode opératoire

- Peser et remplir les échantillons dans les fioles,
- Fermer hermétiquement pour contenir le gaz radon
- Laisser trois semaines environs pour atteindre l'équilibre séculaire entre le radon et ses descendants.
- Procéder au comptage à la spectrométrie gamma pendant trente minutes pour chaque échantillon



Connaissant le spectre du bruit de fond, la surface comptée, l'efficacité..., l'activité se calcule par la formule :

$$A = \frac{Net - Nbf}{\epsilon * I * m * t c}$$

- ✓ A : activité massique (Bq/g)
- ✓ I : probabilité d'émission du pic considéré (%)
- ✓ ε: efficacité de détection du pic à l'énergie considérée
- ✓ Net : surface nette du pic
- ✓ Nbf : surface du pic de « bruit de fond »
- ✓ m : masse de l'échantillon analyse en gramme (g)
- ✓ t : temps d'acquisition en seconde (s)

#### V.3.2.5. Résultats de l'analyse des échantillons

Tableau N°13 Résultats échantillon D1

| Radionucléide | Activité moyenne pondérée (Bq/g) | Erreur          | Masse échantillon (g) | Temps de comptage (s) |
|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| BI-212        | 5,93E+00                         | 1,48E+00        |                       |                       |
| BI-214        | 2,31E+02                         | 5,14E+00        |                       |                       |
| PB-214        | 2,21E+02                         | 6,09E+00        | 2,21E+01              | 1800                  |
| <b>RA-226</b> | <b>3,23E+02</b>                  | <b>2,60E+01</b> |                       |                       |
| U-235         | 1,96E+01                         | 1,70E+00        |                       |                       |

Tableau N°14 Résultats échantillon D2

| Radionucléide | Activité moyenne pondérée (Bq/g) | Erreur          | Masse échantillon (g) | Temps de comptage (s) |
|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| BI-212        | 5,28E-01                         | 2,52E-01        |                       |                       |
| PB-212        | 2,22E+00                         | 2,09E-01        |                       |                       |
| PB-214        | 4,19E+00                         | 2,52E-01        | 2,22E+01              | 1800                  |
| <b>RA-226</b> | <b>7,18E+00</b>                  | <b>2,21E+00</b> |                       |                       |
| U-235         | 4,36E-01                         | 1,35E-01        |                       |                       |

Tableau N°15 Résultats échantillon D3

| Radionucléide | Activité moyenne pondérée (Bq/g) | Erreur          | Masse échantillon (g) | Temps de comptage (s) |
|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| BI-212        | 6,39E+00                         | 8,59E-01        |                       |                       |
| PB-212        | 2,34E+01                         | 1,37E+00        |                       |                       |
| BI-214        | 6,58E+01                         | 1,67E+00        |                       |                       |
| PB-214        | 6,42E+01                         | 2,30E+00        | 2,25E+01              | 1800                  |
| <b>RA-226</b> | <b>9,41E+01</b>                  | <b>9,69E+00</b> |                       |                       |
| AC-228        | 9,02E+00                         | 5,38E-01        |                       |                       |
| U-235         | 5,72E+00                         | 6,17E-01        |                       |                       |

Tableau N°16 : Résultats échantillon D4

| Radionucléide | Activité moyenne pondérée (Bq/g) | Erreur          | Masse échantillon (g) | Temps de comptage (s) |
|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| BI-212        | 9,44E+00                         | 1,07E+00        |                       |                       |
| PB-212        | 2,26E+01                         | 1,03E+00        |                       |                       |
| BI-214        | 1,96E+01                         | 6,59E-01        |                       |                       |
| PB-214        | 2,33E+01                         | 8,35E-01        | 2,62E+01              | 1800                  |
| <b>RA-226</b> | <b>3,01E+01</b>                  | <b>4,72E+00</b> |                       |                       |
| AC-228        | 1,27E+01                         | 5,19E-01        |                       |                       |
| U-235         | 1,83E+00                         | 2,93E-01        |                       |                       |

Tableau N°17 Résultats échantillon D5

| Radionucléide | Activité moyenne pondérée (Bq/g) | Erreur          | Masse échantillon (g) | Temps de comptage (s) |
|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| BI-212        | 7,83E+00                         | 8,64E-01        |                       |                       |
| PB-212        | 2,16E+01                         | 1,29E+00        |                       |                       |
| BI-214        | 5,78E+01                         | 1,45E+00        |                       |                       |
| PB-214        | 5,31E+01                         | 2,00E+00        | 2,68E+01              | 1800                  |
| <b>RA-226</b> | <b>7,64E+01</b>                  | <b>9,59E+00</b> |                       |                       |
| U-235         | 4,64E+00                         | 6,02E-01        |                       |                       |

Pour des raisons de radioprotection, nous nous intéresserons essentiellement au pic du Radium-226.

**Remarque :** La limite d'exemption du Radium-226 recommandée par l'AIEA est de 10 Bq/g pour l'activité massique et de 10 000 Bq pour l'activité totale.

L'analyse des résultats obtenus par spectrométrie gamma nous permet de donner les observations suivantes :

Les activités spécifiques des échantillons D1, D3, D4, D5 sont supérieures à la limite d'exemption (3 à 32 fois supérieures à la limite d'exemption).

L'activité totale du radium-226 admissible est de 10 000Bq, or avec seulement 31g, 107g, 332g, 131g respectivement pour les échantillons D1, D3, D4, D5 on atteint déjà le 10 000 Bq, alors que les industries extractives en produisent des tonnes.

Il ressort donc que les résidus et déchets dans les industries extractives doivent être soumis au contrôle réglementaire et mieux, une évaluation de la contamination de tous les équipements et matériels de travail s'impose.

#### ***V.4. Mesure de radioprotection à mettre en place***

##### ***V.4.1. Protection des travailleurs***

L'évaluation des doses (externe + interne) permet de bien identifier les risques d'exposition aux rayonnements ionisants et sert de base dans la classification du personnel, dans la délimitation des zones de travail et dans le processus d'optimisation de la radioprotection.

Par suite, elle permet donc d'améliorer les protocoles et les procédures de travail et de mettre en œuvre les protections adaptées.

Pour le cas précis parmi les actions possibles, on envisagera :

- ✚ La réduction de la durée et la fréquence des tâches,
- ✚ L'utilisation d'équipements de protection individuelle contre la contamination et l'inhalation des poussières radioactives et le radon (masque, blouse, gants),
- ✚ L'information ou la formation sur les risques radiologiques des personnes exposées et des responsables du département de l'Hygiène Sécurité et Environnement.
- ✚ Les responsables du département de l'Hygiène Sécurité et Environnement doivent s'assurer que les travailleurs affectés aux travaux sous risques d'expositions radiologiques (comme le personnel de la maintenance ne dépasse pas la dose efficace annuelle de 1 mSv), ils doivent aussi assurer le contrôle radiologique des lieux de travail et des travailleurs exposés,
- ✚ La délimitation des zones de travail avec une signalisation adéquate au cas où cela est nécessaire.
- ✚ L'optimisation de la protection consistera à réduire la production de poussières radioactives, à éviter leur dispersion et celle de la contamination des surfaces hors de la zone de travail. Dans les mines en général, pour réduire la production des poussières l'arrosage est recommandé, et particulièrement pour les mines souterraines une ventilation est obligatoire pour diminuer les risque lié au radon.
- ✚ Adopter une bonne hygiène au travail afin de minimiser les risques de contamination.

##### ***V.4.2. Protection du public et de l'environnement : gestion des TE-NORM***

Les processus d'extraction des minerais s'accompagnent de la production d'une grande quantité de résidus dont la radioactivité a été renforcée et qui nécessite une gestion appropriée afin de minimiser la contamination de l'environnement et l'exposition du public.

Les tubes, canalisations et autres équipements contaminés par les TE-NORM et présentant un débit d'exposition important doivent être considérés comme déchets radioactifs et stockés sur un site conçu d'avance.

L'accès au site doit être réglementé avec une signalisation appropriée, les tartres, les dépôts et les boues doivent être stockés dans des conteneurs fermés, marqués et entreposés sur des palettes.

Le confinement doit être contrôlé périodiquement et remplacé immédiatement si une fuite est détectée. Toutes les ouvertures des équipements contaminés doivent être fermées, bouchées ou recouvertes de plastique. Les surfaces externes des équipements doivent être décontaminées.

Plusieurs filières dans la gestion de ces déchets peuvent être envisageables, après avis de l'Autorité réglementaire :

- ✚ Le transfert vers une autre installation,
- ✚ La vente à d'autres utilisateurs,
- ✚ La décontamination,
- ✚ La réutilisation ou le don,
- ✚ La réparation hors site.
- ✚ Entreposage temporaire
- ✚ Evacuation définitif en à faible profondeur ou géologique.

En cas d'entreposage ou d'évacuation définitif, l'autorité réglementaire veillera, au contrôle de la conformité du niveau d'exposition du site et de ses environs avec les limites de libération.

## *Conclusion et recommandations*

Cette étude nous a permis de comprendre comment les industries extractives renforcent la radioactivité, dispersent la contamination sur toute la chaîne d'extraction en générant plusieurs types de déchets qui peuvent, selon la formation géologique et le processus industriel mis en jeu, présenter aussi une radioactivité significative. Et cette radioactivité peut présenter un risque pour les travailleurs, les membres du public et pour l'environnement.

Nous avons évalué cette exposition due à la radioactivité renforcée, nous avons compris que dans la plus part des cas les expositions sont importantes au-delà des limites réglementaires.

Nous avons aussi évalué l'activité dans les déchets produits en vue d'une bonne gestion de ces derniers, là aussi nous avons trouvé que dans la plus part des cas les activités spécifiques trouvées sont de loin supérieures aux limites d'exemption recommandées.

C'est ainsi, par rapport aux résultats trouvés, la gestion de ces risques radiologiques s'avère importante. Surtout que notre réglementation l'a prévue comme nous l'avons montré dans le chapitre premier :

- ✚ Dans l'article 4, il est clair que la radioactivité renforcée n'est pas exclue du champ d'application de la réglementation, puisqu'elle constitue une radioactivité naturelle « perturbée », et de ce fait entre dans le champ d'application du décret N° 05/022 du 29 Mars 2005,
- ✚ Les activités spécifiques et totales des échantillons sont supérieures aux niveaux d'exemption, par conséquent et conformément aux articles 41, 42 et 44 du décret N° 05/022 du 29 Mars 2005, tout rejet de TENORM est soumis à une autorisation préalable et à une surveillance radiologique de l'environnement adaptée à la nature des opérations effectuées.

Donc, il ne reste qu'à l'autorité réglementaire en collaboration avec le CGEA de mettre en place les dispositions nécessaires pour l'application des ces dispositifs réglementaires déjà mis en place.

Et cela peut se réaliser par exemple par :

- ✚ Une évaluation des expositions des travailleurs et du public en continu,
- ✚ une surveillance de l'environnement des sites
- ✚ Une réglementation spécifique en matière de gestion des résidus et effluents issus des exploitations, celle-ci devrait par exemple : définir les différentes limites d'exemption, les responsabilités des intervenants, etc.

Bien que nous n'avons pas utilisé le minerai de cuivre comme nous l'aurions souhaité, néanmoins cette étude nous a permis de bien comprendre la gestion des TE-NORM, étant donné que l'approche reste la même dans tel ou tel autre cas.

Du reste, vu le risque réel d'exposition et de contamination des travailleurs, du public et de l'environnement, il nous revient de poursuivre la mise en œuvre de ce mini-projet dans l'environnement minier dans mon pays.

Pour la mise en œuvre de ce mini projet les activités suivantes peuvent être envisagées :

- ✚ Faire des campagnes de sensibilisation des acteurs de l'industrie extractive sur les risques radiologiques inhérents.
- ✚ Faire des campagnes de mesures et d'évaluation de l'exposition des travailleurs afin d'identifier les zones à risques et les personnels exposés.
- ✚ Organiser des campagnes de surveillance radiologique de l'environnement autour des sites des industries extractives.
- ✚ Faire des campagne d'étude d'impact radiologique des déchet issus des industries extractives et proposé un bon plan de gestion

Ceci permettra d'établir une base de données concernant:

- ✚ l'identification des industries extractives congolaises susceptibles de générer des TE-NORM;
- ✚ Le nombre de travailleurs exposés aux rayonnements renforcés ;
- ✚ la magnitude des doses reçues par les travailleurs et le public;
- ✚ la caractérisation des résidus issus de ces industries.

Ces informations sont indispensables pour une définition d'une stratégie en matière de protection radiologique des travailleurs et du public et de gestion des résidus générés.

## *Bibliographie*

1. FRANCOIS KAZADI KABUYA, LES NORM, Cours de Formation en Radioprotection dans les Mines, Lubumbashi 27 Juin – 08 Juillet 2011
2. Autorité de sureté nucléaire (France), Inventaire nationale des matières et déchets radioactifs 2012 (Dossier 3 - Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR)
3. United States Environmental Protection Evaluation of EPA's Guidelines for Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) EPA 402-R-00-01 June 2000
4. BOUKHENFOUF WASSILA, Thèse de doctorat : concentration de l'uranium application aux fertilisants agricoles, université Ferhat Abbas-Setif Ufas, 2010-2011
5. BOUZEGZI, Sources de rayonnements ionisants, Cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
6. Professeur Rajaâ CHERKAOUI EL MOURSLI, Sources de rayonnements, cours d'étude Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants Rabat –Maroc du 28 octobre 2013-28 Mars 2014.
7. PROMINES RDC : Evaluation stratégique environnementale et sociale du secteur minier en République démocratique du Congo Kinshasa 14 février 2014.
8. Adolphe LUFUMA KAPENDA et Didier KISANGA MUKOBE : contribution à l'amélioration de la gouvernance des ressources minières dans le Katanga sept. 2009.
9. mid-term coordination meeting and workshop on uranium data collection & reporting, RAF 3007, Accra,Ghana, 5-9 July 2010:Uranium in the Democratic Republic of Congo: Yesterday, Today and Tomorrow.
10. Z.Yameogo, Mini-Projet : La radioactivité renforcée dans les industries extractives, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants Alger- Algérie 2012-2013.
11. François Kazadi Kabuya, Structure et organisation de la radioprotection en RDC, Cours de Formation des Responsables de Radioprotection dans les Mines Lubumbashi, 27 Juin– 08 Juillet 2011 :
12. Loi n°017/2002 du 16/10/2002, portant disposition relative à la protection contre les dangers des rayonnements ionisants et a la protection physique des matières et des installations nucléaires
13. Décret n° 05/022 du 29 mars 2005, portant réglementation de la protection contre les dangers des rayonnements ionisants.
14. JOSEPH MBEMBE, protection contre les expositions externes, cours de formation des responsables de radioprotection dans les mines, Lubumbashi du 08 au 19 février 2010.
15. Célestin-Paul MULUMBA, Principes de protection contre les Expositions Internes, cours de formation des responsables de radioprotection dans les mines Lubumbashi du 08 au 19 février 2010.
16. Mustapha AIT IFTENE, Grandeurs et Unités Dosimétriques en Dosimétrie Interne, Cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
17. SAIBI Hacène, Guide pour la gestion des matières naturellement radioactives (NORM) à rayonnement renforcé dans l'industrie pétrolière et gazière 2007

18. AIEA, Assessing the need for radiation protection measures in work involving minerals and raw materials. 2006
19. AIEA, Technical reports series n°419 extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation, 2003,
20. SAIBI HACENE 2015, Gestion des déchets NORM, cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
21. François Kazadi Kabuya, RPO 2011, Programme de radioprotection dans les mines,
22. GEZHAL radioprotection dans les mines, cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
23. R.SADOUDI, radioprotection dans les mines d'extraction de l'uranium, cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
24. MEBHARKA, Détermination de la dose individuelle due a la contamination de l'air, cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
25. BOUZEGZI, contrôle radiologique, cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
26. MOKRANI, Conception d'un programme de surveillance de l'exposition professionnelle, cours, Formation Supérieure Régionale en Radioprotection et Sûreté des Sources de Rayonnements Ionisants, Alger- Algérie du 09 Novembre 2014 au 02 Avril 2015.
27. LAVALIN, Rapport E739 v2 Étude sur la restauration des mines de cuivre et de cobalt de la République Démocratique du Congo.
28. AIEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources:International Basic Safety Standards N° GSR Part 3
29. Pierre BLAZY, Pyrométallurgie et électroraffinage du cuivre
30. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, C. Hickman: radionuclide and radiation protection data handbook 2002
31. <http://www.sfen.org>
32. Mines et hydrocarbures RDC : <http://www.anapi.org>
33. [ww.air formation.com](http://www.airformation.com)