

Ministère de l'Enseignement Supérieur de
la recherche scientifique

---*---

Université du 7 Novembre à Carthage

---*---

**Institut National des Sciences
Appliquées et de Technologie**



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du

Diplôme National d'Ingénieur

Filière : Chimie Industrielle

Sujet :

Les activités alpha et bêta globales dans l'eau minérale tunisienne

Réalisé par : Samar **Hamrouni Benbelgacem**

Entreprise d'accueil :

Centre national des sciences et technologies nucléaires (CNSTN)

Soutenu le 19/01/2011

Jury :

**Mme Narjes BATISS,
Mme Salma MOALLA,
Mme Latifa BARGAOUI,
M. Foued GHARBI/ M.Wahid ABDELLI**

Présidente
Examinatrice
Responsable à L'INSAT
Responsables à l'entreprise

Année universitaire: 2010/2011

Dédicace

Je dédie cet événement marquant de ma vie
à la mémoire de mon grand père **Ali Hamrouni**
J'espère que, du monde qui est au sien maintenant, il apprécie
cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part de
sa petite fille qui a toujours prié pour le salut de son âme.
Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

A mes très chers parents **Hamrouni** et **Halima** qui ont
toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique
modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront
dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes trois frères **Nizar, Adel et Issam**
que j'aime beaucoup.

A mes sœurs **Fatma, Imen et Salma** auxquelles je souhaite la
réussite dans la vie.

A ma grande-mère Ommi **Heddi** à la quelle j'exprime mes
sentiments les plus sincères.

A mon cher mari **Ridha**

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Monsieur **Mourad TELMINI**, Directeur Général du Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires (CNSTN), pour m'avoir donné l'opportunité de faire mon projet au sein de cet honorable centre.

Je tiens aussi à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur **Wahid ABDELLI**, Technicien supérieur au CNSTN, pour son encadrement. Je le remercie pour sa disponibilité chaque fois qu'il ait été sollicité.

Ce fut un grand honneur pour moi d'avoir Madame **Latifa BERGAOUI**, maître de conférences à l'INSAT, comme encadrant universitaire à qui j'adresse tout mon respect et ma reconnaissance pour ses précieux conseils.

Je désire également témoigner de ma grande reconnaissance à Monsieur **Foued GHARBI**, Maître Assistant au CNSTN, pour l'aide qu'il m'a apporté dans le domaine de la théorie qui me fut très utile lors de l'interprétation finale des données.

J'adresse également, mes remerciements les plus vifs ainsi que ma grande considération à Mme **Narjes BATIS**, professeur à l'INSAT, pour m'avoir honoré en acceptant de présider le jury et à Mme **Salma MOALLA** maitre assistante à l'INSAT, d'avoir accepter d'examiner le rapport et de participer au jury.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Présentation du Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires | |
| Introduction générale..... | 1 |
| PARTIE I | |
| CHAPITRE 1 | |
| Rappel des notions de base de la radioactivité | |
| I-1/ Introduction..... | 3 |
| I-2/ Définition de la radioactivité..... | 3 |
| I-3/ La radioactivité α | 4 |
| I-4 / La radioactivité β | 4 |
| I-4-1/ L'émission β^- | 4 |
| I-4-2/ L'émission β^+ | 5 |
| I-5/ La radioactivité γ | 5 |
| I-6/ Propriété des radiations..... | 6 |
| I-7/ Les lois quantitatives de la radioactivité..... | 7 |
| I-7-1/ La loi de désintégration ou décroissance radioactive..... | 7 |
| I-7-2/ La période radioactive ou demi-vie..... | 8 |
| I-7-3/ L'activité..... | 8 |
| I-8/ Définition de la dose..... | 8 |
| I-9/ Domaines d'application de la radioactivité..... | 9 |
| I-9-1/ Applications civiles..... | 9 |
| I-9-2/ Application militaires..... | 9 |
| I-10/ Effet des rayonnements sur l'organisme..... | 10 |
| I-11/ Conclusion..... | 10 |
| CHAPITRE II | |
| Radioactivité dans l'eau minérale | |
| II-1/ Introduction..... | 12 |
| II-2/ Définition de l'eau minérale selon la norme tunisienne..... | 12 |
| II-3/ Les éléments radioactifs dans l'eau minérale..... | 12 |
| II-4/ Les normes de radioprotection..... | 14 |
| II-4-1/ Définition de la radioprotection..... | 14 |
| II-4-2/ Les directives de l'OMS concernant l'eau..... | 15 |
| II-6/ Conclusion..... | 17 |
| PARTIE II | |
| CHAPITRE III | |
| Technique de mesure de la radioactivité dans l'eau minérale | |
| III-1/ Introduction..... | 19 |
| III-2/ Classification des détecteurs..... | 19 |
| III-3/ Détecteur à gaz..... | 19 |

| | |
|--|----|
| III-3-1/ Principe de base..... | 19 |
| III-3-2/Différents régimes de fonctionnement..... | 20 |
| III-4/Compteur alpha bêta global..... | 21 |
| III-4-1/Caractéristique du système..... | 21 |
| III-4-2/ Avantages du système proportionnel à flux gazeux..... | 22 |
| III-4-3/ Inconvénients du système proportionnel à flux gazeux..... | 23 |
| III-4-4/ Chaîne de comptage alpha bêta global..... | 23 |
| III-4-4-1/ Détecteur à gaz..... | 24 |
| III-4-4-2/ Préamplificateur..... | 26 |
| III-4-4-3/Amplificateur..... | 26 |
| III-4-4-4/ Discriminateur..... | 26 |
| III-4-4-5/ Analyseur monocanal..... | 26 |
| III-5/ Fonctionnement du compteur..... | 26 |
| III-6/ Conclusion..... | 27 |

CHAPITRE IV

Partie expérimentale

| | |
|--|----|
| IV-1/ Introduction..... | 29 |
| IV-2/ Présentation des échantillons..... | 29 |
| IV-3/ Préparation des échantillons..... | 31 |
| IV-4/ Calcul des résidus à sec..... | 31 |
| IV-5/ Etape de comptage des échantillons à l'aide d'Eclipse..... | 32 |
| IV-6/ Mesure de l'activité..... | 33 |
| IV-7/ Mesure de l'incertitude associée à l'activité volumique..... | 33 |
| IV-8/ Mesure de l'activité minimale détectable : MDA..... | 34 |

CHAPITRE V

Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| V-1/ Introduction..... | 36 |
| V-2/ Détermination du résidu à sec..... | 37 |
| V-3/ La radioactivité de alpha et bêta totales..... | 37 |
| V-4/ Interprétation des résultats..... | 38 |
| V-5/ La dose efficace reçue..... | 43 |
| V-6/ Conclusion..... | 43 |
| Conclusion générale..... | 45 |

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

| | | Pages |
|-----------------|--|--------------|
| Tableau I.1 : | Propriétés des radiations..... | 6 |
| Tableau III.2 : | Classement des détecteurs..... | 19 |
| Tableau IV.3 : | Les émetteurs alpha pure et bêta pure..... | 32 |
| Tableau V.4 : | Résidu sec des eaux minérales tunisiennes..... | 37 |
| Tableau V.5 : | les activités alpha et bêta totales..... | 38 |

Liste des figures

| | | Pages |
|-----------------|---|--------------|
| Figure I-1 : | Structure de l'atome..... | 3 |
| Figure I-2 : | Désintégration d'Uranium 238..... | 4 |
| Figure I-3 : | Désintégration de cobalt 60..... | 5 |
| Figure I-4 : | Courbe de décroissance radioactive | 8 |
| Figure II-5 : | Application des recommandations relatives aux radionucléides dans l'eau de boisson sur la base d'une dose annuelle de référence de 0,1 mSv..... | 17 |
| Figure III-6 : | Détecteur à gaz..... | 20 |
| Figure III-7 : | Régimes de fonctionnement d'un détecteur à gaz..... | 20 |
| Figure III-8 : | porte-échantillons..... | 22 |
| Figure III-9 : | Le système de comptage alpha-bêta bas bruit de fond..... | 22 |
| Figure III-10 : | Chaîne de comptage..... | 24 |
| Figure III-11 : | dispositions des détecteurs par rapport à l'échantillon..... | 25 |
| Figure III-12 : | Représentation d'une impulsion électrique en fonction du temps..... | 25 |
| Figure IV-13 : | Dépôt sur la coupelle..... | 31 |

| | | |
|---------------|---|----|
| Figure V-14 : | L'activité totale en fonction du résidu sec..... | 39 |
| Figure V-15 : | L'activité totale en fonction du résidu sec mesuré..... | 40 |
| Figure V.16 : | L'activité totale en fonction de la quantité de potassium 40..... | 42 |

Présentation du centre national des sciences et technologies nucléaires

Le **Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires (CNSTN)** a été créé conformément aux dispositions de la loi n° 93-115 du 22 novembre 1993 au sein de la technopole de Sidi Thabet. Il a pour mission de réaliser les études et recherches nucléaires à caractère pacifique dans les différents domaines, ainsi que la maîtrise et le développement des technologies nucléaires.

Les unités installées dans ce centre sont les suivantes :

- Unité d'hydrologie isotopique (Datation des eaux, détection des barrages, géochimie de l'eau, analyse isotopique...).
- Unité radiopharmaceutique (synthèse chimique et marquage des molécules en vue de développer des nouveaux radiopharmacies).
- Unité pilote de traitement par rayonnements ionisants (production des rayonnements γ utilisés aussi bien pour la conservation des produits alimentaires et la stérilisation des produits médicaux à usage unique que pour conférer de nouvelles propriétés physico-chimiques aux produits industriels).
- Unité d'électronique et instrumentation nucléaire (Maintenance des équipements nucléaires et recherche et développement en électronique).
- Unité de radioanalyse (détermination qualitative et quantitative des radioéléments dans les produits industriels, agroalimentaires et environnementales par diverses techniques : spectrométrie α , γ , β , scintillation liquide...).
- Unité pilote de production des mâles stériles de la cératite (irradiation de la cératite dans le stade pupa afin d'obtenir des adultes stériles).
- Unité de microbiologie (Analyse microbiologique, biologie moléculaire...).
- Unité de radioprotection (contrôle des dispositifs de sécurité, surveillance et interventions en radioprotection).
- Unité de radiochimie.

Introduction

L'exploitation, la gestion et la protection des eaux naturelles, nécessitent l'examen de nombreux paramètres qui doivent être pris en considération lors de l'évaluation de la qualité de l'eau. Les eaux minérales présentent la particularité d'avoir des caractéristiques radiologiques très variées, fortement influencées par la lithologie des couches géologiques avec lesquelles elles sont en contact. En effet, lors de son transit depuis la zone d'alimentation vers la zone d'émission, l'eau souterraine va se charger en éléments divers dont des éléments radioactifs présents dans les roches encaissantes. La répartition de ces radioéléments dans les milieux naturels dépend de leur état physico-chimique et de leur comportement géochimique en fonction des conditions naturelles régnautes.

Depuis l'évolution des connaissances scientifiques et médicales pour les nuisances radioactives et les effets de nuisances pour l'homme, une certaine prudence s'est installée. Cela a donné lieu à un certain nombre de travaux sur la radioactivité des eaux minérales et son impact sur la santé humaine. L'exposition humaine à des rayonnements ionisants d'origine naturelle relève d'une exposition externe due aux rayonnements telluriques émis par les radionucléides normalement présents dans la croûte terrestre dits « primordiaux » et d'une exposition interne, la plus importante, due aux radionucléides naturels ingérés ou inhalés et retenus dans l'organisme.

Les préoccupations concernant la présence de substances radioactives dans les eaux minérales, conduisent régulièrement à des expertises sur les niveaux d'activité des radionucléides et à des évaluations de leur impact radiologique sur les populations humaines bien que les teneurs de ces radioéléments dissous dans les eaux soient faibles.

Ce projet de fin d'étude entre dans le cadre de la quantification et du contrôle de l'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle en Tunisie.

Il s'agit de compter les rayonnements alpha bêta global dans les eaux minérales tunisiennes. Les résultats obtenus sont ensuite comparés aux normes précisées par l'organisation mondiale de la santé dans le cadre de la radioprotection de l'homme contre les rayonnements ionisants.

Le présent travail comporte deux grandes parties. La première partie porte sur les notions de base de la radioactivité de façon générale et de celle dans les eaux minérales plus particulièrement. Dans la seconde partie, la mise au point de la technique de comptage alpha bêta a été présentée ainsi que les résultats et la discussion.

Chapitre I

Rappel sur les notions de base de la radioactivité

I-1/Introduction

Tout ce qui nous entoure est radioactif à un degré ou un autre. L'air que nous respirons, les plantes, l'eau, les roches, etc... contiennent des matières radioactives. En effet, toute matière qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse se compose de molécules qui sont des groupements d'atomes. Les atomes se composent d'un noyau autour duquel gravitent les électrons (**figure I-1**). Le noyau se compose à son tour de deux éléments différents, les protons qui sont des particules lourdes chargées positivement et les neutrons dont la charge électrique est nulle [1].

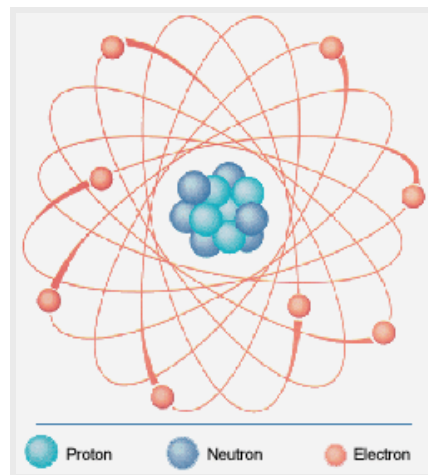


Figure I-1 : Structure de l'atome [2]

I-2/ Définition de la radioactivité

La radioactivité d'un élément est un phénomène de retour à l'équilibre. Elle se traduit par le passage d'un noyau de l'état instable à un état plus stable par désintégration spontanée en libérant une quantité d'énergie sous forme de particules ou de rayonnements électromagnétiques. Cette désintégration diminue progressivement le nombre de noyaux instables et c'est ainsi que la radioactivité de la matière concernée diminue progressivement avec le temps [1].

On distingue deux types de radioactivité :

La radioactivité naturelle :

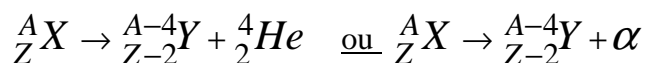
C'est la désintégration des noyaux se trouvant naturellement à l'état instable. Elle provient des radioéléments produits dans les étoiles depuis des milliards d'années.

La radioactivité artificielle :

Des éléments chimiques normalement stables peuvent devenir radioactifs soit après avoir été bombardés au moyen de particules animées d'une très haute énergie cinétique (protons, deutons) et issues d'un appareil accélérateur de particules (cyclotron, synchrotron, etc...), soit après avoir absorbés des neutrons dans un réacteur nucléaire. Les éléments ainsi transformés sont appelés isotopes radioactifs artificiels [1].

I-3/ la radioactivité α

C'est le premier type de radioactivité (d'où la première lettre de l'alphabet grec pour la caractériser) découvert au hasard par Henri Becquerel en 1896. C'est une forme de désintégration radioactive où un noyau instable A_ZX éjecte une particule alpha (**Figure I-2**), et se transforme en un noyau fils Y de nombre de masse diminué de 4 et de numéro atomique diminué de 2, selon la réaction ci-dessous :



EXEMPLE



Figure I-2 : Désintégration d'Uranium 238 [1]

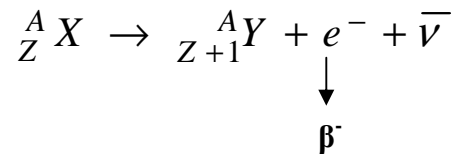
I-4/ la radioactivité β

Elle résulte de la transformation isobarique qui correspond à la transmutation d'un noyau sans variation du nombre de masse A.

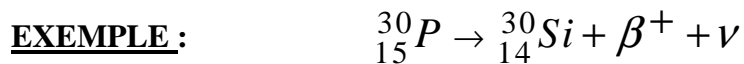
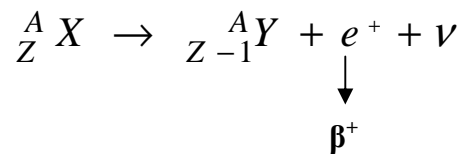
On distingue deux types de transformation isobarique :

I-4-1/ L'émission β^- : la radioactivité β^- s'effectue lorsque le radionucléide possède un excès de neutrons. Dans ce cas, le nombre de neutrons diminue de 1 et le nombre de protons augmente de 1 de façon que la somme reste constante d'où la conservation du nombre de masse.

La réaction s'accompagne d'une émission d'un électron appelé β^- et d'un antineutrino selon la réaction suivante [1]:



I-4-2/ L'émission β^+ : La radioactivité β^+ ne concerne que des radionucléides qui présentent un excès de protons. Elle se manifeste par la transformation dans le noyau d'un proton en neutron, le phénomène s'accompagne de l'émission d'un positon e^+ (ou positron, ou encore particule bêta plus β^+) et d'un neutrino ν selon la réaction suivante [1]:



I-5/ la radioactivité γ

Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique comme la lumière visible ou les rayons X mais plus énergétique. Ce rayonnement suit souvent une désintégration alpha ou bêta. En effet après émission de la particule alpha ou bêta, le noyau est généralement encore excité. C'est la radioactivité gamma qui permet à au noyau d'abaisser encore son énergie pour atteindre son état de stabilité. Par exemple, le cobalt 60 se transforme par désintégration bêta en nickel 60 qui atteint un état stable en émettant un rayonnement gamma.

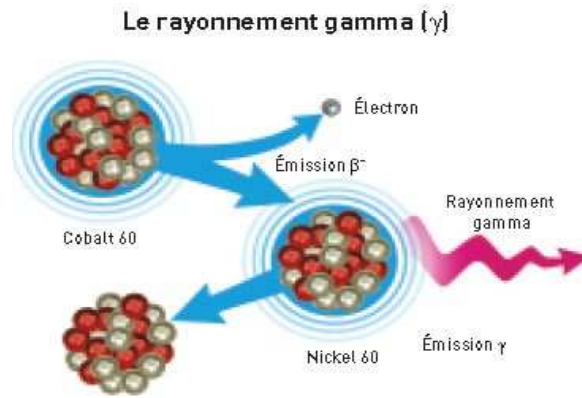


Figure I-3 : Désintégration de cobalt 60 [1]

I-6/ Propriétés des radiations

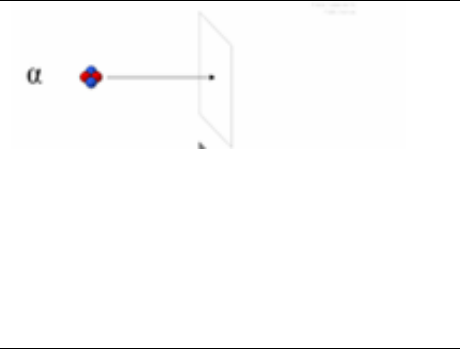
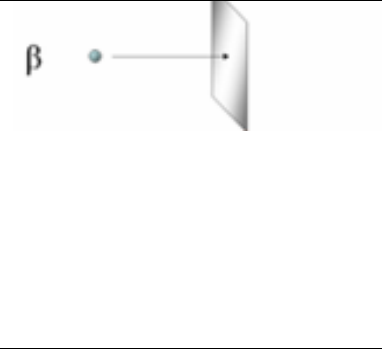
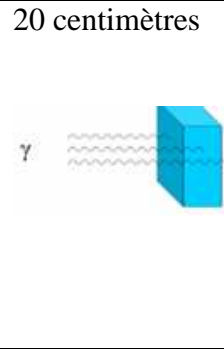
Les deux propriétés principales des radiations sont :

- **le pouvoir de pénétration dans la matière :** les radiations ont une tendance plus ou moins grande à traverser les obstacles placés sur leur chemin.
- **le pouvoir ionisant :** la matière traversée est plus ou moins fortement ionisée le long de la trajectoire des radiations : sous l'impact des collisions, certains atomes perdent des électrons et se transforment en cations ; les électrons arrachés sont captés par d'autres atomes qui deviennent anions [1].

Le tableau ci-dessous récapitule les propriétés des différents types de radiations :

Tableau I.1: Propriétés des radiations [1]

| Type de radiation | rayons α | rayons β | rayons γ |
|-------------------------------|---|--|---|
| Pouvoir de pénétration | très faible Les rayons α sont arrêtés par une dizaine de centimètres d'air ou par une mince feuille de papier | assez grand Les rayons β peuvent traverser une plaque en aluminium d'une épaisseur de l'ordre du centimètre | très grand Les rayons γ peuvent traverser un blindage en plomb épais de |

| | | | |
|-------------------------|---|--|---|
| |  |  | 20 centimètres  |
| Pouvoir ionisant | très élevé | nettement inférieur à celui des rayons α | faible par rapport à celui des rayons α |

I-7/ Les lois quantitatives de la radioactivité

Ces lois sont établies par « Rutherford » et elles sont applicables à tous les noyaux radioactifs [2].

I-7-1/ La loi de désintégration ou décroissance radioactive

La décroissance radioactive est la réduction du nombre de noyaux radioactifs dans un échantillon jusqu'à atteindre l'état stable. En effet, la désintégration ne dépend pas des conditions physico-chimiques dans lesquelles le nucléide se trouve [2]. Il s'agit d'une loi statistique :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

Avec:

- $\frac{dN}{dt}$: c'est le nombre de noyaux qui se désintègrent par unité de temps.
- N : c'est le nombre de radionucléides d'une espèce donnée présents dans l'échantillon en question à un instant t quelconque.
- λ : c'est la constante radioactive. Elle présente la probabilité de désintégration d'un noyau.

Le signe moins vient de ce que N diminue au cours du temps, de sorte que la constante λ est positive.

En intégrant l'équation différentielle précédente, on trouve le nombre $N(t)$ de radionucléides présents dans le corps à un instant t quelconque, sachant qu'à $t = 0$ il y en avait N_0 :

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

C'est une loi de décroissance exponentielle qu'on peut mieux la visualiser grâce à la courbe tracée ci-dessous :

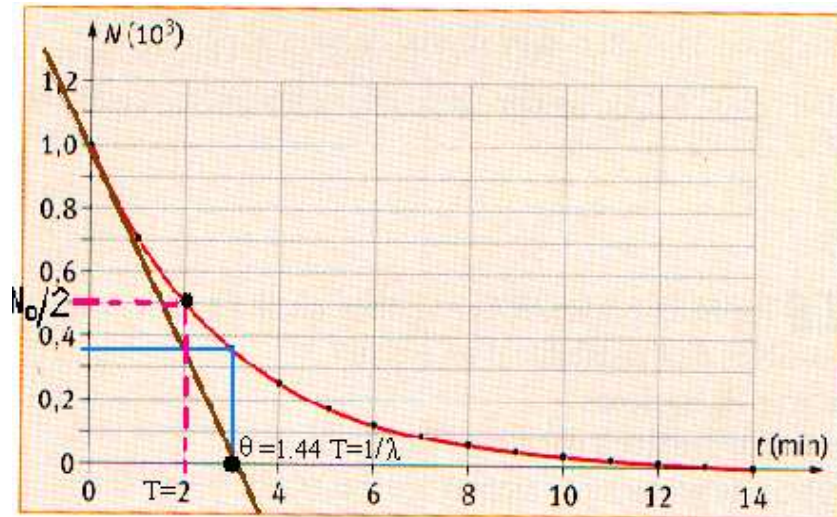


Figure I-4 : Courbe de décroissance radioactive (cas d'un seul corps) [2]

I-7-2/ La période radioactive ou demi vie

On appelle demi-vie (ou période) T ou $T_{1/2}$ du radionucléide la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux N_0 s'est désintégrée, c'est ainsi la durée au bout de laquelle l'activité du radionucléide a été réduite de moitié:

$$T = \text{Ln}(2) / \lambda$$

I-7-3/ L'activité

L'activité d'une substance est définie comme le nombre de désintégrations radioactives par seconde au sein d'une certaine quantité de matière. Elle est exprimée en « Becquerel » ou « Bq » défini par 1 Bq= 1 désintégration par seconde.

L'ancienne unité de radioactivité était le **curie (Ci)** : **1 Ci= 3,7 10¹⁰ Bq.**

Ainsi, l'activité peut se traduire par l'expression suivante [3]:

$$A = \frac{-dN}{dt} = \lambda N$$

I-8/ Définition de la dose

Comme tout rayonnement, les rayonnements ionisants transportent de l'énergie.

En traversant la matière, cette énergie est absorbée. L'absorption se fait par arrachement d'électrons aux atomes de matières, en produisant des ions. Les normes ont adopté le système international d'unités recommandé par la commission internationale de la protection radiologique (CIPR) [4].

La principale quantité est l'activité ou nombre de transformation de radionucléides pendant un intervalle de temps. Elle est exprimée en becquerel (Bq).

La dose absorbée est la quantité d'énergie absorbée par unité de masse de matière.

Selon l' CIPR [4], elle est exprimée en gray (Gy). Le gray correspond à un dépôt d'énergie de 1 joule par kilogramme de matière. La dose absorbée présente la quantité dosimétrique de base, mais elle ne tient pas compte du fait qu'un rayonnement est plus endommageant qu'un autre les tissus ou les organes humains, qui ont eux-mêmes des sensibilités différentes aux rayonnements.

Dans le cas d'une contamination due à l'ingestion ou à l'inhalation des radioéléments, il en résulte un processus qui soumet l'organisme à l'action de rayonnements ionisants émis par ces substances radioactives incorporées. Ce processus est dénommé exposition interne. Il peut durer des mois voire des années.

La dose délivrée à l'organisme est appelée dose efficace engagée, car elle est calculée pour une période de 50 ans dans le cas de l'adulte et de 70 ans dans le cas de l'enfant. Elle est déterminée par modélisation à partir du nombre de becquerels incorporés. La dose efficace engagée est la dose totale reçue tout au long de la vie par suite de l'absorption de radionucléides. Elle s'exprime en sievert (Sv).

I-9/ Domaines d'application de la radioactivité

La radioactivité est utilisable pour des applications civiles et des applications militaires [5].

I-9-1/Applications civiles

En Médecine : Les « rayons » sont par exemple utilisés pour « brûler » des tumeurs cancéreuses, c'est la radiothérapie. Ce n'est pas sans danger pour le patient car s'il guérit de son cancer, il est susceptible de développer, bien des années plus tard un autre cancer dû à la première irradiation médicale.

En production d'énergie : Dans les centrales nucléaires, les réacteurs amorcent des réactions de fission qui sont étroitement « contrôlées ». L'opération génère une forte chaleur qui est récupérée et convertie en énergie électrique ou en énergie motrice pour la propulsion navale (ex : sous-marins nucléaires). La production de l'électricité utilisant l'énergie nucléaire dégage également dans l'environnement des gaz et liquides, appelés « effluents » radioactifs, qui peuvent être dangereux en cas d'accident [5].

I-9-2/Applications militaires

La bombe atomique est une « application » de la radioactivité dans le domaine militaire. Une bombe déploie une énergie considérable car, contrairement aux applications civiles, la réaction nucléaire dans une bombe (fusion ou fission) n'est pas contrôlée.

I-10/ Effets des rayonnements sur l'organisme

Les rayonnements naturelle ou artificielle, ont généralement, suffisamment d'énergie pour arracher des électrons aux atomes de la matière qu'ils rencontrent. Lorsqu'ils agissent sur les constituants des cellules vivantes, ils peuvent altérer les structures moléculaires, détruire ou modifier les cellules et, dès lors, produire deux catégories d'effets biologiques.

- Des effets certains, dits **déterministes** (par exemple des brûlures, des nausées...) apparaissent systématiquement et de façon généralement précoce lorsque la dose de rayonnement reçue dépasse un seuil spécifique à chaque effet. La gravité des dommages augmente avec la dose.
- Des effets aléatoires, dits **stochastiques** (principalement des cancers) apparaissent de façon non systématique et toujours différée de plusieurs années chez les individus exposés. La probabilité d'apparition de ces effets augmente en fonction de la dose reçue, mais leur gravité est indépendante de la dose [6].

I-11/ Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la radioactivité avec ses propriétés, ses origines, ses domaines d'application ainsi que ses effets sur l'organisme. Dans le chapitre qui suit, nous allons envisager la radioactivité dans l'eau minérale.

Chapitre II

Radioactivité dans l'eau minérale

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présente essentiellement la radioactivité dans l'eau minérale sachant que les radioéléments naturels présents dans le sol se trouvent fatalement dans la chaîne d'alimentation et aussi bien dans l'eau minérale. Il faut connaître donc les principaux radionucléides ingérés par la consommation d'eau.

II.2 Définition de l'eau minérale naturelle selon la norme tunisienne

Selon la norme tunisienne, (NT 09.33- 1993), une eau minérale naturelle provient de l'un des points d'émergence naturel ou foré permettant le captage d'une eau provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain, la nappe ou le gisement étant situés dans des terrains dont la nature, l'épaisseur et l'étendue provoquent une filtration et en assurent la protection contre les risques de contamination.

L'eau minérale naturelle est une eau bactériologiquement saine, ayant pour origine une nappe ou un gisement souterrain et provenant d'une source exploitée par une ou plusieurs émergences naturelles ou forées. Elle se distingue nettement de l'eau de boisson ordinaire par :

- Sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux, oligo-éléments ou autres constituants ;
- Sa pureté originelle ;
- Par ses propriétés médicinales reconnues ;
- La stabilité de la composition, de la température et des autres caractéristiques essentielles de l'eau minérale naturelle. En particulier, elles ne doivent pas être modifiées par les variations éventuelles de débit.

La définition tunisienne d'une eau minérale naturelle ne fait pas allusion à la minéralisation globale de l'eau mais attache de l'importance à ses propriétés médicinales tout en insistant sur son caractère naturel.

II-3/ Les éléments radioactifs dans l'eau minérale

Les eaux minérales, comme toutes les eaux souterraines, contiennent des éléments radioactifs naturels dont les concentrations varient en fonction de paramètres tels que : la nature géologique des terrains traversés, le temps de contact (âge de l'eau), la température, la solubilité de l'élément concerné, etc....

Les radioéléments les plus significatifs sont : le potassium 40, l'uranium naturel, le radium 226, le radon et le thorium [3].

Potassium 40 :

Il représente 0,01 % du potassium naturel, ce dernier étant assez abondant dans l'écorce terrestre (23 g.kg^{-1}) ; les eaux minérales contiennent généralement entre 1 et 200 mg.L^{-1} de potassium naturel mais il existe quelques cas (pour les eaux très salées) avec des teneurs dépassant le 200 mg.L^{-1} . A la teneur de 10 mg.L^{-1} de potassium naturel correspond une activité alpha d'environ 260 mBq.L^{-1} .

Uranium naturel :

Sa concentration dans les eaux minérales est généralement faible et ne dépasse pas $2 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ (50 mBq.L^{-1} de radioactivité α). Toutefois à l'émergence, certaines eaux minérales peuvent avoir des teneurs dépassant $10 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.

Radium 226 :

Ce radioélément, descendant de l'uranium 238, est émetteur α . Les eaux minérales peuvent avoir des concentrations en radium 226 qui donnent quelques dizaines à quelques centaines de mBq.L^{-1} .

Radon :

Le radon naturel (constitué de 3 isotopes 219, 220, 222 qui font partie respectivement des familles de l'uranium 235, du thorium 232 et de l'uranium 238) est le seul élément radioactif naturel gazeux. Il fait partie des « gaz rares » dans le sens qu'il ne réagit pas chimiquement avec les autres corps ce qui lui confère une grande mobilité. Ainsi, les atomes de radon qui naissent de la désintégration directe du radium présent dans l'écorce terrestre, migrent librement vers la surface du sol par les interstices et les fissures (il se dissout également facilement dans les eaux souterraines), il n'est pas rare de rencontrer des concentrations donnant quelques dizaines à plusieurs centaines de Bq.L^{-1} . Cependant, le radon s'échappe de l'eau minérale dès que celle-ci est mise à l'air libre, Sa libération est également accélérée par les différentes manipulations (transvasement, agitations...) auxquelles est soumise l'eau avant d'être consommée. Par ailleurs la période radioactive du radon étant assez faible (54,5 s pour l'isotope 220 est 3,8 j pour le 222) sa présence dans l'eau au moment de son ingestion, est généralement faible.

Thorium :

Le thorium compte 6 isotopes naturels, le plus abondant étant l'isotope 232 suivi des isotopes 228 et 230. La solubilité du thorium dans les eaux souterraines est très faible et dépasse rarement $1 \mu\text{g.L}^{-1}$. A la teneur de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ de thorium 232 correspond une radioactivité α de 4 mBq.L^{-1} .

Le carbone 14 et Le tritium :

Les eaux minérales contiennent deux autres éléments radioactifs naturels, le tritium et le carbone 14. La présence de ces deux isotopes radioactifs est utilisée surtout pour étudier l'âge de l'eau. Leur concentration dans les eaux minérales est très faible.

✓ **Le carbone 14 :**

Se forme dans l'atmosphère terrestre sous l'action des neutrons cosmiques sur l'azote. Les isotopes stables du carbone sont le carbone 12 et le carbone 13 qui représentent respectivement 98,9 % et 1,1 % du carbone total, le carbone 14 n'étant qu'à l'état de trace. Dans les eaux minérales, le carbone se trouve principalement sous forme d'ions bicarbonates $[\text{HCO}_3]^-$.

✓ **Le tritium :**

Le tritium est l'isotope radioactif de l'hydrogène qui se forme dans l'atmosphère sous l'action des neutrons cosmiques sur l'azote.

Cette production naturelle de tritium conduit à une concentration d'environ 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène stable (H).

La désintégration du tritium donne lieu à une émission de rayonnement β négatif (0,0186 MeV) avec production d'hélium stable. La période est $T = 12,2$ ans.

Pour caractériser la concentration du tritium dans les eaux minérales on utilise l'unité dite "UNITE TRITIUM" (UT).

1 UT = 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène.

Dans les eaux minérales, les concentrations en tritium s'échelonnent de 1 UT à environ 25 UT.

- Les eaux très "anciennes" sont caractérisées par des concentrations d'1 ou 2 UT.
- Les eaux "jeunes" ont des valeurs plus élevées.

A une eau ayant 1 UT correspond une radioactivité de $0,12 \text{ Bq.L}^{-1}$ (de rayonnement β de 0,0186 Mev).

La prise de conscience du risque sanitaire associée à la présence de radionucléides d'origine naturelle dans l'eau a amené les autorités à fixer des normes réglementaires pour les limites de la dose radioactive. Il est important ici de parler de la radioprotection.

II-4/ Les Normes de radioprotection

II-4-1/ Définition de la radioprotection

La radioprotection désigne l'ensemble de mesures prises par les pouvoirs publics pour assurer la protection de l'homme et de son environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants.

On entend par "normes de radioprotection" l'ensemble des limites que les pouvoirs publics, en s'appuyant sur les recommandations ou directives des organisations internationales compétentes, ont fixé pour les différentes modalités de contamination de l'organisme humain. Les normes fondamentales précisent les doses au dessous desquelles on peut affirmer que ni l'individu, ni la population ne subissent de dommage appréciable.

Le document de référence disponible actuellement est la recommandation de l'OMS qui s'applique à l'eau de consommation. L'objet de ces recommandations relatives aux substances radioactives présentes dans l'eau est d'aider les autorités compétentes à déterminer si la qualité de l'eau permet d'autoriser à la consommation humaine.

II-4-2/ Les directives de l'OMS concernant l'eau

Les normes européennes de radioactivité applicables aux eaux de consommation (et celles qui seront vraisemblablement fixées pour les eaux minérales naturelles) s'inspirent des recommandations de l'OMS.

Ces recommandations sont basées sur les principes généraux suivants :

- L'OMS considère qu'à l'échelle mondiale, l'exposition moyenne de l'homme aux rayonnements d'origine naturelle est de l'ordre de 2,4 mSv/an [7] ;
- La dose effective engagée est la dose effective totale reçue tout au long de la vie par suite d'ingestion de radionucléides (la dose effective totale est la somme des doses doublement pondérées pour tenir compte des organes touchés et du type de rayonnement). Pour le calcul de la dose effective engagée, on considère qu'un adulte consomme 2 litres d'eau par jour pendant toute l'année (et toute sa vie) ;
- En première approche, on considère que la dose effective engagée ne dépasse pas 0,1 mSv/an si les activités globales alpha et bêta restent respectivement inférieures à 0,1 Bq.L⁻¹ et 1 Bq.L⁻¹ [7];
- Si l'une ou l'autre des activités globales alpha et bêta dépasse respectivement 0,1 Bq.L⁻¹ et 1 Bq.L⁻¹, il faut procéder à l'identification des radionucléides en présence et faire le calcul précis de la dose effective engagée (si la dose effective engagée est supérieure à 0,1 mSv/an (**Figure II-5**), l'eau est considérée impropre à la consommation et des mesures correctives doivent être envisagées).

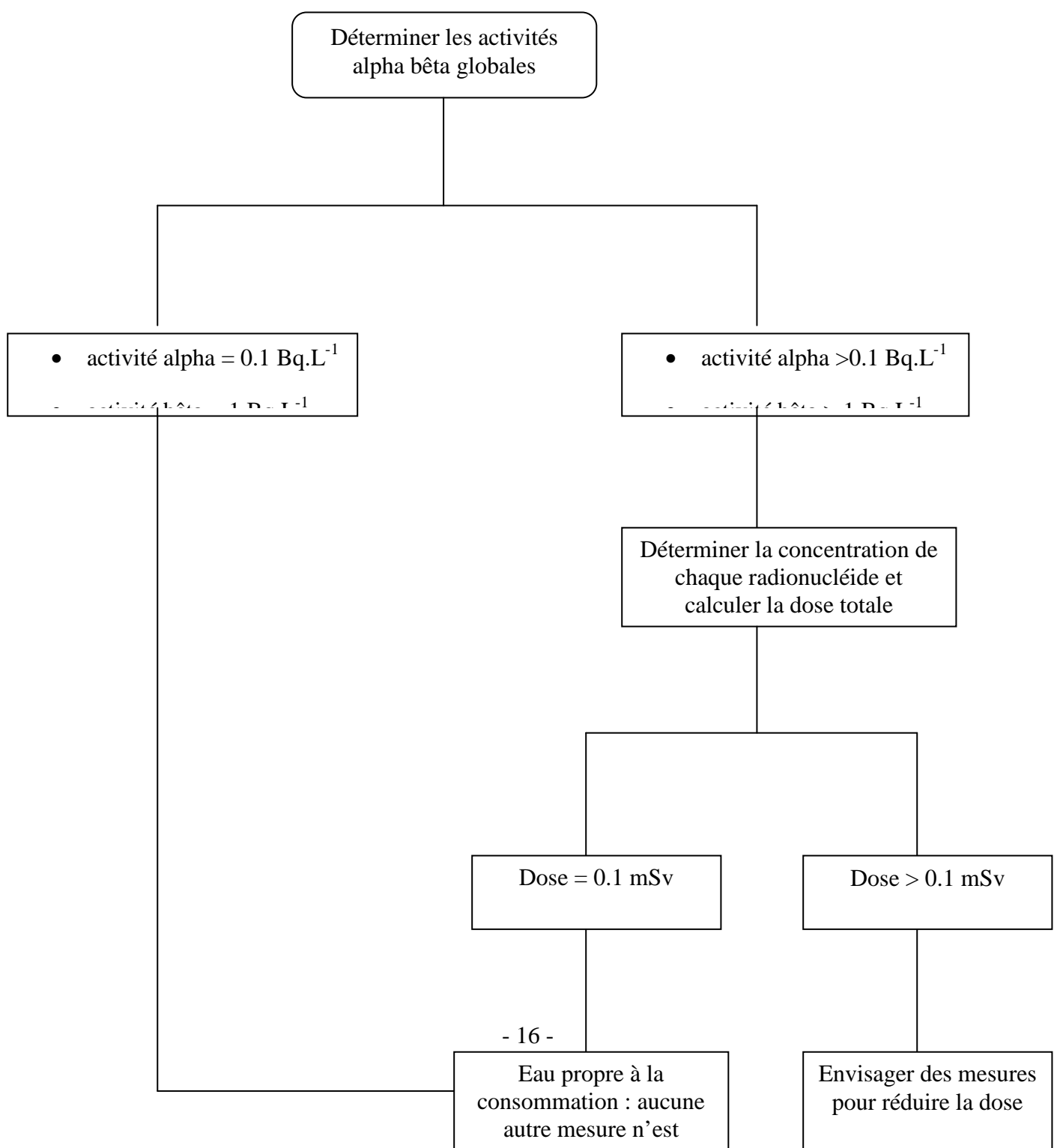


Figure II-5 : Application des recommandations relatives aux radionucléides dans l'eau de boisson sur la base d'une dose annuelle de référence de 0,1 mSv

II-5/Conclusion

Il n'a pas été défini de valeurs guides formelles pour les différents radionucléides présents dans l'eau. On applique plutôt une approche reposant sur la détection dans cette eau des radioactivités alpha et bêta brutes. Nous allons nous intéresser spécialement au type de détection à gaz qui est le système utilisé dans le compteur sujet de cette étude.

Chapitre III

Compteur alpha bêta total

III-1/ introduction

Les rayonnements issus de la radioactivité ne sont pas directement perceptibles. Aucun des sens dont dispose l'être humain n'est sensible aux rayonnements émis par les substances radioactives. C'est le côté « sournois » de la radioactivité : elle est invisible, inaudible, inodore... Il n'y a que les détecteurs de rayonnement qui peuvent informer l'homme sur son degré d'exposition à la radiation.

III-2/Classification des détecteurs

Les détecteurs de radiation ou de rayonnement de radioactivité se classent en plusieurs groupes. Ce classement est décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.2 Classement des détecteurs

| | |
|---|---|
| Détecteurs mettant en jeu l'ionisation des gaz | Détecteurs à semi conducteurs |
| Détecteurs à scintillations | Dosimètres par résonance paramagnétique électrique |
| Détecteurs utilisant le noircissement des films photographiques | Dosimètres chimiques |
| Détecteurs thermo luminescents | Appareils mettant en jeu les méthodes calorimétriques |

III-3/ Détecteur à gaz

III-3-1/ Principe de base

Les rayonnements de radioactivité traversent la cavité remplie de gaz à haute pression. Ils y créent des ionisations : un ion positif (lent) et un électron (rapide), sous une certaine différence de potentielle (DDP) entre anode et cathode, les ions sont attirés par la cathode (-) et les électrons par l'anode (+) de telle sorte que leur nombre est proportionnel à l'énergie et au nombre de particules de radiation qui l'on provoqués (**Figure III.6**). Les pulses électriques créés au niveau des électrodes soumettant le gaz à cette DDP sont comptés et transformés en

signal électrique. Dans le cas d'un compteur, leur nombre par unité de temps permet de déduire l'activité mesurée. Dans le cas d'un cristal, ces pulses sont transformés en spectre qui est analysé pour en tirer l'activité de la substance en question par rapport à des radionucléides cibles.

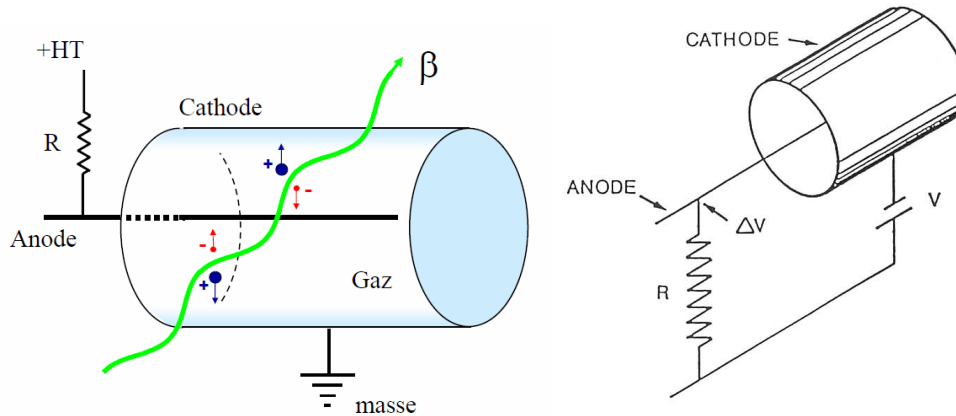


Figure III-6 : Détecteur à gaz

III-3-2/ différents régimes de fonctionnement :

Les détecteurs à gaz fonctionnent de façons différentes, on veut dire par cela dans des régimes différents. En pratique, il existe cinq régions d'exploitation, la recombinaison, l'ionisation, le régime proportionnel, Geiger-Muller (GM région), et la décharge continue. Si l'on reporte l'amplitude de l'impulsion en fonction de la tension, on obtient un graphique sur lequel on distingue différentes régions qui correspondent à différents régimes de fonctionnement (Figure III-7).

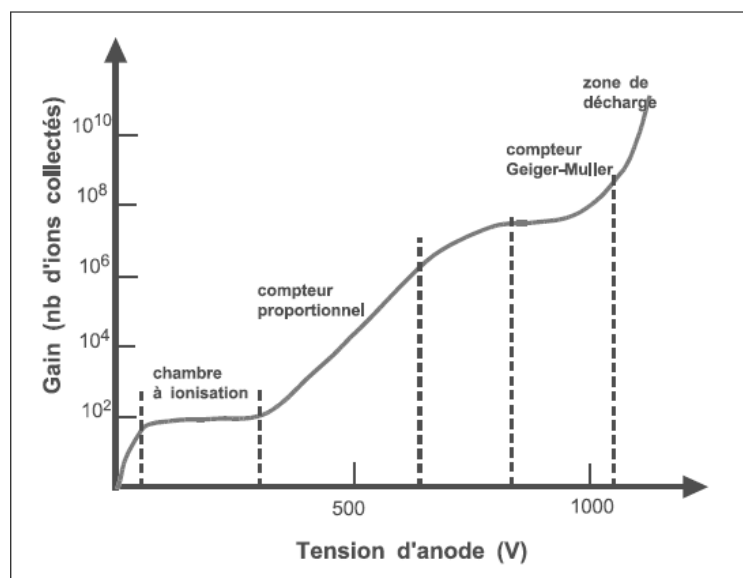


Figure III-7 : Régimes de fonctionnement d'un détecteur à gaz

- **Région 1, régime de recombinaison partielle**, DDP inférieure à 100 V, dans la région de recombinaison, les électrons et les ions se déplacent lentement et peuvent se recombiner avant d'atteindre les électrodes. Et l'amplitude de l'impulsion est nulle ou faible. Aucun détecteur ne fonctionne dans cette région.
- **Région 2, régime d'ionisation**, au dessus de 100 V, la recombinaison est négligeable et tous les électrons sont collectés. Pour une particule donnée, l'amplitude de l'impulsion est constante et indépendante de la différence de potentiel appliquée entre les électrodes, mais elle dépend de l'énergie de la particule.
- **Région 3, régime proportionnel**, entre 300 et 1000 V, il ya assez d'énergie dans le champ électrique pour provoquer l'ionisation secondaire à partir des électrons produits par des interactions du rayonnement primaire. Le facteur de multiplication dans le gaz est une mesure de cette ionisation secondaire et est définie comme la proportion de l'ionisation totale produite divisée par l'ionisation primaire. En conséquence, l'identification des particules et le mesure de l'énergie sont possibles. Le nombre d'électrons collectés, N, est proportionnel au nombre d'électrons primaires, n : $N = k \cdot n$ avec k est le coefficient de multiplication gazeux. Il varie avec la tension appliquée entre les électrodes et peut atteindre des valeurs de 10^5 à 10^6 , mais il est indépendant du nombre d'ions primaires.
- **Région 4, régime de GEIGER – MÜLLER**, à partir de 1100 V, chaque ionisation primaire entraîne une avalanche d'ions secondaires et le nombre d'ions collectés devient indépendant du nombre d'ions primaires. C'est une ionisation quasi-totale du gaz de l'enceinte et l'amplitude de l'impulsion est grande mais constante. Le détecteur fonctionne en régime de MÜLLER et les détecteurs qui fonctionnent dans cette région sont les compteurs de GEIGER - MÜLLER. .
- **Région 6**, au dessus de 1400 à 1500 V, le détecteur devient instable du fait de décharges permanentes, ce détecteur est donc inutilisable.
Certains compteurs Geiger - Müller et certains compteurs proportionnels fonctionnent cependant avec des tensions pouvant atteindre respectivement 3000V et 4000V.

Le détecteur à gaz qui fonctionne dans la zone 3 appelée le compteur proportionnel. C'est la zone de fonctionnement du compteur alpha bêta global que nous avons utilisé dans notre travail.

III-4/ compteur alpha bêta global :

III-4-1/Caractéristique du système :

Le compteur alpha-bêta global est un ensemble complet de comptage pour échantillons émetteurs alpha-bêta de diamètre 2,25 pouces (57 mm ; des diamètres inférieurs peuvent être utilisés). Ce compteur se compose de deux détecteurs proportionnels à flux gazeux avec une fenêtre mince, un passeur d'échantillons, l'ordinateur et le logiciel Éclipse de Canberra.

Il présente comme caractéristique une fenêtre ultra mince qui lui confère une excellente efficacité, il possède aussi une Capacité de passer par tour de rôle et automatiquement 50 échantillons (100 en option). Les porte-échantillons (**Figure III-8**) sont nettoyables et décontaminables et elles sont numérotées et prises en compte dans le rapport final donné par le logiciel. En option, un lecteur de codes à barres peut être ajouté. Il est pris en compte par le logiciel (l'étiquette se colle sur le porte-échantillon).



Figure III-8 : porte-échantillons

Le compteur est aménagé de manière à recevoir un microordinateur avec clavier, écran qu'est disposé sur un bras articulé facilitant son positionnement, imprimante qui repose sur un support amovible, un tiroir de rangement et même bouteille de gaz (**Figure III-9**).

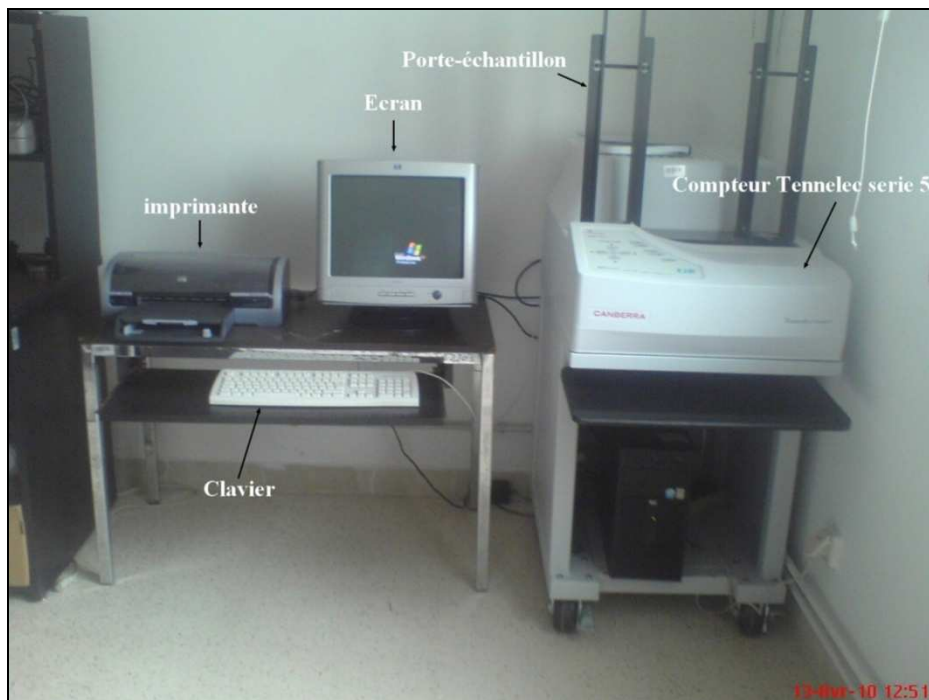


Figure III-9 : Le système de comptage alpha-bêta bas bruit de fond

III-4-2/Avantage du système proportionnel à flux gazeux

IL existe plusieurs avantages significatifs pour l'utilisation d'un système proportionnel à flux gazeux pour des mesures quantitatives brutes. Le choix de cette technique est souvent lié aux

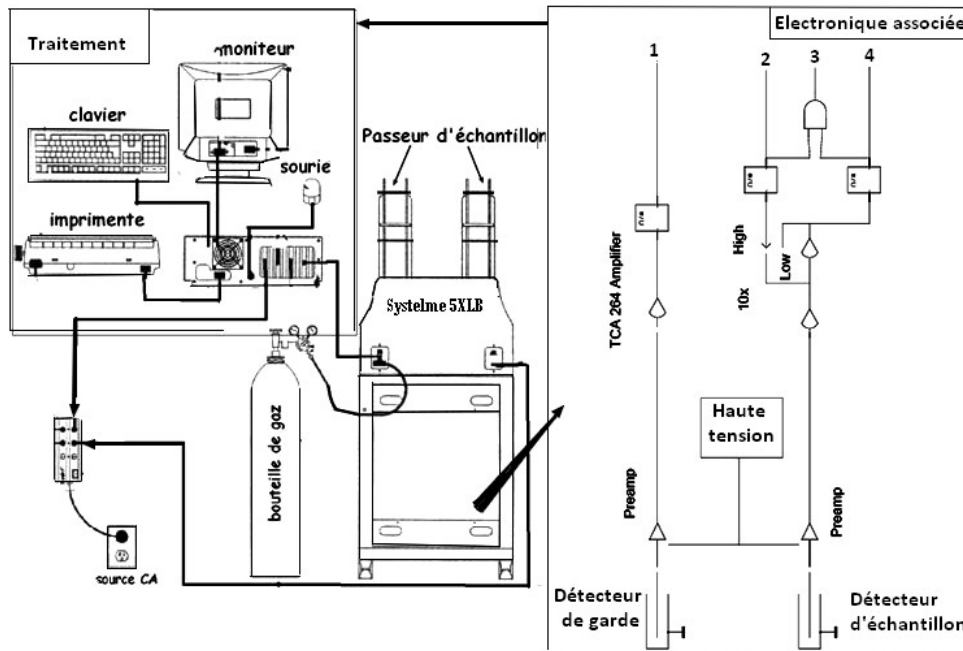
types d'échantillons à mesurer. Des considérations de préparation de l'échantillon, la taille de l'échantillon, la limite de détection souhaitée, et les déchets de post-processus sont aussi des questions importantes pour le choix de la méthode de comptage. Les systèmes Tennelec LB, comprenant le compteur alpha-bêta global, sont capables de fournir des mesures de radioactivité précises, et au-dessous des niveaux naturels, pour une grande variété de types d'échantillons. En effet il convient bien aux solides, y compris les frottis, les filtres à air, le filtrat, précipitation, électrodéposition, et des échantillons non traités. Il garantit une simplicité de préparation des échantillons et permet une acquisition et analyse automatique, ce type de détecteur possède un détecteur de multiples systèmes de haut débit qui permet une mesure simultanée de alpha et bêta.

III-4-3/ Inconvénients du système proportionnel à flux gazeux

Bien qu'il possède plusieurs avantages, le système proportionnel à flux gazeux exige l'évaporation ou la précipitation des échantillons liquides, il présente aussi comme inconvénient la nécessité de la radiochimie pour l'analyse quantitative des radionucléides et enfin l'atténuation dans des aliments solides épais doit être corrigée.

III-4-4/ chaîne de comptage alpha bêta global

La chaîne de comptage (**Figure III.9**) comprend le système de gaz, des détecteurs, l'électronique associée, et le système de traitement. Nous allons décrire dans ce paragraphe brièvement les différentes composantes de la chaîne de comptage (détecteur, préamplificateur, amplificateur, analyseur monocanal) et définir le fonctionnement et le rôle de chacun. Ensuite nous allons résumer le fonctionnement de tout le système de comptage en mettant en évidence ses différentes composantes.



1. Signale logique de garde
2. Signale logique Alpha
3. Signale logique Alpha+Beta
4. Signale logique Bêta

III-4-4-1/ détecteurs :

La détection des radionucléides dans le compteur proportionnel peut être corrélée avec le nombre de décompositions (de désintégrations) de l'échantillon par unité de temps qui est, par définition, l'activité. Le compteur Tennelec série 5 bas bruit de fond, comprend deux détecteurs de type proportionnel à flux gazeux, fonctionnant tous les deux avec les gaz type P-10 (qui se compose de 90% d'argon et 10% de méthane). Ces deux détecteurs sont : le détecteur d'échantillon et le détecteur de garde. Le détecteur d'échantillon est de géométrie de « crêpe », son diamètre est de 2.25 pouces. Ce détecteur se caractérise par deux anodes identiques pour une excellente homogénéité de comptage et une fenêtre d'entrée ultra-mince ($80 \mu\text{g} / \text{cm}^2$) pour une efficacité élevée de comptage. Le détecteur de garde admet une grande surface et comprend 6 anodes identiques pour une excellente homogénéité de comptage.

Il est profilé pour englober le détecteur de l'échantillon réduisant ainsi l'exposition de ce dernier des sources de fond externes non surveillés.

La figure 11 montre la disposition de ces deux détecteurs par rapport à l'échantillon analysé :

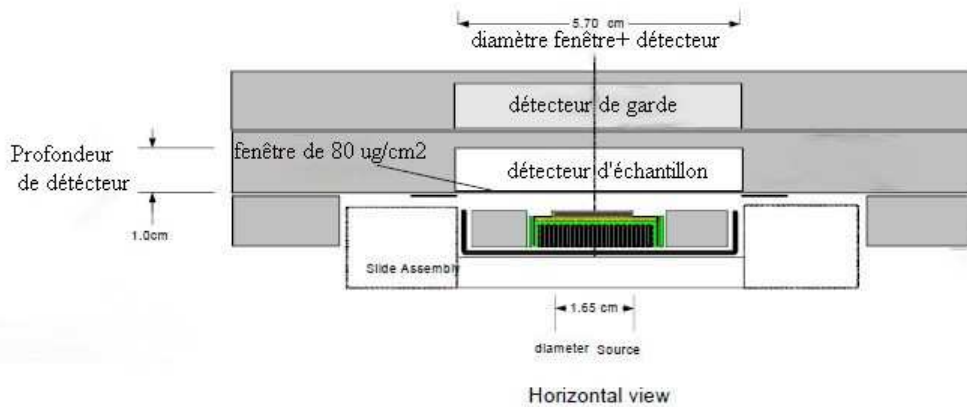


Figure III.11 : dispositions des détecteurs par rapport à l'échantillon

Des impulsions de sortie des détecteurs apparaissent d'une manière aléatoire puisque les impulsions sont le résultat de la désintégration radioactive aléatoire. L'impulsion électrique est une impulsion de tension résultant du passage du paquet d'électrons.

Comme représentée dans la figure 12 :

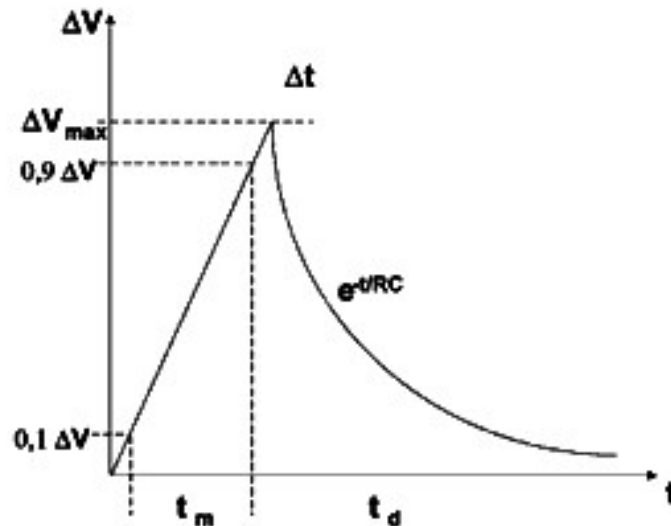


Figure III.12 : Représentation d'une impulsion électrique en fonction du temps

La durée Δt de l'impulsion se décompose en un temps de montée t_m qui dépend essentiellement du milieu détecteur et un temps de descente t_d modulable par l'électronique adjointe. Le comptage du nombre d'impulsions permet le dénombrement des rayonnements ayant interagi avec les détecteurs.

III-4-4-2/ préamplificateur

Le système intègre la charge propre des préamplificateurs sensibles à la fois pour les détecteurs de garde et de l'échantillon. Les préamplificateurs distribuent également les biais de la haute tension aux détecteurs. Ils remplissent les fonctions suivantes:

- Récupérer le maximum du signal
- Réduire le bruit
- Maximiser le rapport signal/bruit

III-4-4-3/amplificateur

L'amplificateur permet la mise en forme des impulsions, qui est très importante pour améliorer les paramètres tels que le temps de résolution, la résolution en énergie, le rapport signal sur bruit, et pour pouvoir traiter les signaux dans les modules électroniques.

III-4-4-4/ Discriminateur

Les sorties des amplificateurs de garde et de l'échantillon alimente un discriminateur dont le seuil est fixé par la carte contrôleur de système. Il permet de sélectionner les impulsions dont les amplitudes sont supérieures à une valeur donnée qu'on appelle seuil. Toute impulsion sélectionnée, quelle que soit son amplitude à l'entrée, donne naissance en sortie à une impulsion calibrée en hauteur et en temps.

III-4-4-5/ Analyseur monocanal

Il permet de sélectionner les impulsions dont la hauteur est comprise entre deux valeurs.

III-5/ Fonctionnement du compteur

La plupart des détecteurs commerciaux, y compris le modèle Tennelec, sont conçus pour fonctionner dans une seule des régions de fonctionnement d'un détecteur à gaz. Ils opèrent dans la région où la multiplication de gaz a lieu et où le signal de sortie est proportionnel à l'énergie déposée par le rayonnement. Il s'agit dans un premier temps de faire interagir le rayonnement incident utile avec le milieu détecteur (le gaz) après qu'il ait franchi l'espace «source-détecteur». Ces signaux d'ionisation du gaz dans le détecteur d'échantillon sont traités électroniquement à l'aide de préamplificateur modèle TC 175 Tennelec et l'amplificateur modèle TC 265 et acheminés vers un analyseur monocanal. On obtient ainsi un premier résultat appelé grandeur brute ou grandeur mesurée. L'amplificateur et l'analyseur monocanal utilisent des discriminateurs pour éliminer le bruit électronique des impulsions à

des hauteurs des pics en dessous d'un seuil de particules « bêta » et des imputions au dessus d'un seuil de particules « alpha ». Les signaux logiques sont générés lorsque ces seuils sont dépassés, retardés d'environ 10 microsecondes et ils sont comptés si aucun signal n'est coïncidant par le détecteur de garde. Le résultat obtenu directement, à savoir un comptage ou un taux de comptage, ne permet l'accès à l'activité de la source qu'au moyen d'un traitement approprié prenant en compte la sensibilité de détection, la distance source-détecteur, le bruit de fond... en somme l'utilisation d'une fonction de transfert qui permet de passer de la grandeur mesurée (ou à mesurer) à la grandeur recherchée. Ce traitement se fait à l'aide du logiciel Eclipse de Canberra.

III-6 / Conclusion :

Grâce aux caractéristiques du compteur alpha bêta globales, nous nous sommes proposé dans le chapitre suivant, d'identifier les activités alpha et bêta totales que l'on trouve habituellement dans les eaux minérales, dans le but de contribuer aux travaux effectués sur l'étude de la qualité des eaux minérales en Tunisie.

Chapitre IV

Partie expérimentale

IV-1/ Introduction

Les systèmes de mesure Bas Bruit de Fond sont principalement destinés à la surveillance radiologique de l'environnement par mesure des rayonnements alpha et bêta totales d'échantillon solides, d'effluents liquides après évaporation ou filtration. Le passeur automatique de comptage alpha-bêta bas bruit de fond est l'un des meilleurs systèmes de comptage qui fournit une bonne estimation de la quantité de radionucléides dans un échantillon émetteur alpha-bêta.

Ce chapitre décrit la procédure expérimentale de la manipulation de « compteur alpha bêta global ».

IV-2/ Présentation des échantillons

En raison de l'importance de l'eau pour la vie humaine, sa qualité doit être strictement contrôlée. Pour cette raison, des études de l'eau en bouteille pour la consommation humaine doivent être réalisées afin de garantir qu'elles ont une basse altitude de la radioactivité.

Nous avons analysé 10 marques commerciales : HAYET, SABRINE, GARCI, DIMA, FOURAT, CRISTALINE, AQUALINA, JANNET, MAIN, SAFIA, de différents gouvernorats en mesurant leur alpha et bêta globales.

On commence alors par présenter leurs différentes origines :

➤ Gouvernorat du Kef :

« Ain Mizab », située dans la région du Ksour à 30 km au sud du kef, possède un faible débit de l'ordre de $1\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$. Le captage actuel a consisté à consolider la galerie romaine et à la prolonger vers l'extérieur par la construction d'une galerie longue de 50 m dans les éboulis. Les eaux sont collectées dans une conduite qui les véhicule jusqu'à l'usine de mise en bouteille située à 3 km en aval vers le nord dans le village du ksour. Le produit est commercialisé depuis 1968 sous le nom « SAFIA ».

« Ain Mrada », située dans la région du Tajerouine à 32 km au sud ouest de la ville du kef, il possède un débit de l'ordre de $5\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$. Le produit est commercialisé sous le nom « DIMA ».

➤ Gouvernorat de Sousse :

Ce gouvernorat présente une source d'eau minérale naturelle « GARCI », qui a été exploitée du temps du protectorat français par des privés jusqu'à 1959, date à laquelle elle a été reprise par l'Etat tunisien. Les eaux de Ain GARCI alimentent une usine de mise en bouteilles depuis 1965. Cette source, se trouve à « l'Ouest d'Enfidha » et à 115 km au Sud de Tunis. Elle est captée au fond d'une galerie de 50 m de long.

➤ **Gouvernorat de Sidi Bouzid :**

L'eau du forage de « Baten El Ghazel », se trouve dans le gouvernorat de Sidi Bouzid, délégation de Jemla à 45 km à vol d'oiseau au Nord Ouest de Sidi Bouzid. Ce forage a été réalisé en décembre 1987. Le produit est commercialisé sous le nom « HAYET ».

➤ **Gouvernorat de Kairouan:**

Le gouvernorat de Kairouan est marqué par l'existence d'un forage qui alimente une usine de conditionnement d'eau minérale naturelle en bouteille. Le forage est exploité par la société des eaux minérales « SABRINE » depuis 1991. Il a été appelé l'origine forage de « l'Oued Kharrouba ». Il est situé à 15 km de la ville de Kairouan et à 5 km environ de la ville Chbika.

« JANNET » est une eau minérale naturelle prélevée près de « Haffouz » (gouvernorat de Kairouan). Elle est commercialisée depuis 2002 par la société de production d'eaux minérales « SOPREM ». Cette société est la première à proposer des bouteilles de deux litres et des gobelets de 0,25 litre.

L'eau minérale de « FOURAT » provient d'une source située à « Ksar Lemsa » dans la délégation de Oueslatia en Tunisie.

➤ **Gouvernorat de Zaghouan:**

L'unité exploite depuis juin 2006 l'eau « AQUALINE » du forage « ouled Néji » qui se trouve à la délégation de Zaghouan Gouvernorat de Zaghouan La profondeur de reconnaissance du forage est de 92 m avec un débit de 10 L.s^{-1} , seulement 5 L.s^{-1} sont accordées au promoteur pour les besoins de la société.

Une autre nappe est captée par un forage profond « Oued El Gueleb », alimente une usine de conditionnement d'eau, en considérant un débit de 10 L.s^{-1} , le produit est commercialisé sous le nom « CRISTALINE », cette unité est entrée en production depuis Juin 2003.

➤ **Gouvernorat de Tataouine:**

La nappe de l'eau minérale « MAIN » est captée par un forage « Tataouine nord 2 » profond de 130 m. Le forage alimente une usine de conditionnement d'eau, en considérant un débit de pompage de l'ordre de 7 L.s^{-1} .

IV-3/ Préparation des échantillons (voire annexe I)

Chaque type d'eau présente un pourcentage de sels minéraux caractéristiques.

Les béchers en verre pyrex sont rincés par l'eau de robinet suivie par l'eau distillée et enfin l'eau de l'échantillon en question afin d'éviter tout type de contamination.

Une fois les béchers sont bien rincés un volume de 100 ml d'échantillon est prélevée et quelque goutte de l'acide HNO_3 (pur à 90%) sont ajoutées pour assurer une bonne conservation de l'échantillon étant donné que HNO_3 évite la formation des algues.

On place le bécher sur une plaque chauffante pour faire évaporer l'échantillon à sec. Au bout de 9 heures un dépôt blanc se forme dans le bécher.

Le dépôt obtenu est gratté et mis dans la coupelle avec quelque goutte d'acide HNO_3 .

La coupelle est mise sur la plaque chauffante, au bout de demi-heure une quantité de masse connue d'échantillon est déposée sur la coupelle en inox (**Figure IV-13**).

Il faut obtenir une couche mince, uniforme sur toute la surface. L'épaisseur du dépôt doit être inférieure à 2 mg.cm^{-2} .



Figure IV.13 : Dépôt sur la coupelle

IV-4/ Calcul des résidus sec

Le résidu sec représente le taux des éléments minéraux recueillis selon la procédure suivante (annexe II):

- ✓ Un volume d'eau minérale V (100 mL) est mis dans un récipient vide (masse M_0).
- ✓ Ensuite, le récipient et son contenu sont mis dans un four à une température de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 24 heures.

- ✓ Après séchage, le récipient est mis dans un dessiccateur pour éliminer l'humidité.
- ✓ Enfin, le récipient est pesé (masse M_1).

Le résidu sec à 100 ° C exprimée en mg.L^{-1} est donné par l'expression suivante:

$$\text{Résidu à sec} = ((M_1 - M_0) * 1000) / V$$

IV-5/ Etape de comptage des échantillons à l'aide d'Eclipse

Une fois le logiciel Eclipse est activé, la barre de menu apparaît pour le fonctionnement du logiciel. Le système de comptage peut être exploité de cette sélection.

Les échantillons sont livrés dans des supports numérotés.

Nous avons placé une plaque d'extrémité à la suite des échantillons sur le passeur d'échantillons.

Une fois les échantillons sont chargés, on commence la création de la procédure de comptage de l'échantillon.

Nous avons commencé d'abord par le réglage de gaz : La pression de circulation du gaz doit être égale à 10 psi (0,69 bar), Le gaz utilisé est un mélange d'argon-méthane avec les pourcentages 90%,10%.

Ensuite nous avons réglé le compteur qui exige le paramétrage de la chaîne, c'est l'identification de la machine : nom, adresse..., nous avons par la suite effectué la calibration qui se fait par deux sources, un émetteur alpha pure (Am-241) et un émetteur bêta pure (Sr-90) pour déterminer l'efficacité du compteur.

Tableau IV.3 : Les émetteurs alpha pure et bêta pure

| <i>Standard ID</i> | <i>Nucléide</i> | <i>Activité (dpm)</i> | <i>Date</i> |
|--------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
| D9-807 | Sr-90(strontium) | 29930 | 10/11/2010 |
| D9-814 | Am-241(Américium) | 31700 | 10/11/2010 |

Pour éviter la confusion entre les émissions venant de l'échantillon et les parasites (électronique, l'entourage, etc. ...), on doit éliminer le nombre de coups mesurés à vide.

Le bruit de fond : même en absence de toute source radioactive le compteur enregistre un taux de comptage faible appelé mouvement propre dû:

- à la radioactivité du milieu ;
- au rayon cosmique ;
- à la présence du polymère ou potassium 40 dans les matériaux qui entourent le capteur, les isotopes radioactifs du plomb dans le blindage, d'éventuelle contamination ;

- au bruit de fond de la matrice vierge appelé blanc.

IV-5/ Mesure de l'activité

Quand le temps de comptage est terminé, les résultats de l'activité sont obtenus selon l'unité choisie. Dans notre cas l'activité alpha et bêta globales sont données par deux unités :

- dpm : désintégration par minute
- Bq.L⁻¹ : désintégration par seconde par rapport au volume de l'échantillon
- **L'activité volumique A_v se calcule comme suit :**

$$A_v = \frac{\frac{N}{t_N} - \frac{N_0}{t_{N0}}}{60 * V} * \frac{100}{\eta}$$

Avec :

- A_v : Activité volumique de l'échantillon en Bq.L⁻¹.
- N : Nombre d'impulsions obtenues pendant la durée du comptage de l'échantillon.
- N₀ : Nombre d'impulsions obtenues pendant la durée du comptage du Bruit de Fond.
- t_N : Temps de comptage de l'échantillon en minute.
- t_{N0} : Temps de comptage du bruit de fond en minute.
- η : Rendement de comptage en % Obtenu par la courbe étalonnage ou l'étalonnage interne.
- V : Volume d'échantillon.

IV-6/ Mesure de l'incertitude associée à l'activité volumique

L'incertitude est un paramètre associé au résultat d'une mesure qui caractérise la dispersion des valeurs et pourrait être raisonnablement attribué au mesurande qu'est dans notre cas l'activité d'un radionucléide, et peut provenir de plusieurs sources.

La formule générale de l'incertitude associée à l'activité volumique a la forme suivante :

$$\frac{U_{cA_v}}{A_v} = \left[\left[\frac{\sqrt{\frac{N}{t_N^2} + \frac{N_0}{t_{N0}^2}}}{\frac{N}{t_N} - \frac{N_0}{t_{N0}}} \right]^2 + \left[\frac{u(\eta)}{\eta} \right]^2 + \left[\frac{u(v)}{v} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Avec :

- A_v : Activité Volumique de l'échantillon en $Bq.L^{-1}$.
- N : Nombre d'impulsions obtenues pendant la durée du comptage de l'échantillon.
- N_0 : Nombre d'impulsions obtenues pendant la durée du comptage du Bruit de Fond.
- t_N : Temps de comptage de l'échantillon en minute.
- t_{N0} : Temps de comptage du bruit de fond en minutes.
- η : Rendement de comptage en % obtenu par la courbe étalonnage ou l'étalonnage interne.
- V : Volume d'échantillon.
- $u(\eta)$: l'incertitude du rendement de comptage.
- $u(v)$: l'incertitude du volume de l'échantillon.

IV-5/ Mesure de l'activité minimale détectable MDA

MDA est définie comme la détection minimale de l'activité radioactive trouvé dans un échantillon.

$$MDA = (2,71 + 4,65 \frac{B}{t E V 2.22}) * 3,7 \cdot 10^{-2} Bq.L^{-1}$$

Avec :

B : le comptage de fonds

E : l'efficacité de comptage

t : le temps de comptage (min)

V : volume de l'échantillon (L)

Les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre V

Résultats et discussion

V-1/ Introduction

Etant donnée son importance vitale, l'eau mérite toute notre attention afin que sa qualité originelle soit préservée. De ce fait, les administrations responsables de la santé dans différents pays et régions du monde ont tenté de fixer des normes d'utilisation des eaux, et plus particulièrement de celles qui sont destinées à la consommation humaine (eau de boisson, eaux destinées à la préparation des aliments ou à d'autres usages domestiques et eaux utilisées dans l'industrie agro-alimentaire). Au niveau européen, les législations varient suivant les pays. Il est impératif qu'un rapprochement des législations soit établi pour permettre leur exploitation et leur commercialisation.

La directive de la communauté européenne 98/83 CE [8], relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, impose des normes sévères concernant les paramètres essentiels à la consommation humaine.

Les risques dus à la contamination de l'eau sont essentiellement des risques d'irradiation interne par suite d'ingestion de radioéléments. La commission internationale de protection radiologique (CIPR) et l'organisation mondiale de la santé (OMS) se sont préoccupées depuis plusieurs dizaines d'années de ce problème, et ont suggéré des normes qui chiffrent la valeur du risque acceptable.

Dans le cas des eaux minérales embouteillées, qui ne sont pas soumises du point de vue de la radioactivité, à une réglementation communautaire, il est intéressant de comparer leur radioactivité.

Les activités alpha et bêta globales de différentes marques d'eau embouteillée sont déterminées et présentées dans ce chapitre.

V-2/ Détermination du résidu sec

Le tableau ci-dessous montre les résultats du résidu sec de dix eaux minérales tunisiennes :

Tableau V.4 : Résidu sec de différentes eaux minérales en Tunisie

| Les échantillons | Résidu sec mesuré (mg.L ⁻¹) | Résidu sec indiqué sur la bouteille (mg.L ⁻¹) |
|------------------|---|---|
| HAYET | 425,9 | 210 |
| JANNET | 564,4 | 278 |
| GARCI | 3929 | 1077 |
| DIMA | 627,9 | 280 |
| MAIN | 825,4 | 605 |
| SABRINE | 470,4 | 240 |
| AQUALINE | 937,5 | 598 |
| CRISTALINE | 941,9 | 600 |
| SAFIA | 509,5 | 295 |
| FOURAT | 576,6 | 320 |

Les résultats obtenus montrent que l'eau minérale en Tunisie est en général une eau moyennement minéralisée puisque la majorité des échantillons présentent une quantité de résidu sec comprise entre 500 et 1500 mg.L⁻¹. En effet, une eau n'est considéré fortement minéralisée que pour un taux de résidu sec supérieur à 1500 mg.L⁻¹.

Si on compare les valeurs des résidus secs que nous avons mesuré au laboratoire avec celles qui sont indiquées sur les bouteilles on trouve une différence importante. Ceci peut être du à la différence de température puisque nous avons travaillé à une température de 100°C alors que la température indiqué à la bouteille est à 110°C.

V-3/ La radioactivité alpha et bêta total

Les résultats concernant la radioactivité alpha et bêta total obtenus sont illustrés dans le tableau ci- dessous :

Tableau V.5 : les activités alpha et bêta totales

| | A (Bq.L ⁻¹) | A ₁ (dpm) | Unc (dpm) | A ₂ (Bq.L ⁻¹) | U (Bq.L ⁻¹) | MDA (Bq.L ⁻¹) | B ₁ (dpm) | Unc (dpm) | B ₂ (Bq.L ⁻¹) | U (Bq.L ⁻¹) | |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|---|----------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------|---|----------------------------|--|
| HAYET | 0,480 | 0,360 | 0,070 | 0,060 | 0,001 | 0,010 | 2,540 | 0,340 | 0,423 | 0,005 | |
| JANNET | 0,180 | 0,280 | 0,070 | 0,046 | 0,001 | 0,010 | 0,800 | 0,330 | 0,133 | 0,005 | |
| DIMA | 0,110 | 0,210 | 0,060 | 0,035 | 0,001 | 0,010 | 0,460 | 0,290 | 0,076 | 0,004 | |
| GARCI | 0,450 | 0,130 | 0,060 | 0,021 | 0,001 | 0,010 | 2,580 | 0,290 | 0,430 | 0,004 | |
| CRISTALINE | 0,090 | 0,130 | 0,060 | 0,021 | 0,001 | 0,010 | 0,410 | 0,290 | 0,068 | 0,004 | |
| AQUALINE | 0,110 | 0,160 | 0,060 | 0,026 | 0,001 | 0,010 | 0,520 | 0,330 | 0,086 | 0,005 | |
| MAIN | 0,030 | 0,300 | 0,070 | 0,050 | 0,001 | 0,010 | 1,490 | 0,330 | 0,248 | 0,005 | |
| SAFIA | 0,080 | 0,210 | 0,060 | 0,035 | 0,001 | 0,010 | 0,270 | 0,330 | 0,045 | 0,005 | |
| FOURAT | 0,080 | 0,150 | 0,060 | 0,025 | 0,001 | 0,010 | 1,040 | 0,330 | 0,173 | 0,005 | |
| SABRINE | 0,180 | 0,120 | 0,060 | 0,020 | 0,001 | 0,010 | 0,970 | 0,330 | 0,161 | 0,005 | |

Avec :

Temps de comptage en minute = 720min.

Volume de l'échantillon prélevé en litre = 0.1L.

A(Bq.L⁻¹) : activité totale en Bq.L⁻¹.

A₁ (dpm) : activité alpha en désintégration par minute.

Unc : l'incertitude pour l'activité A₁.

A₂ (Bq.L⁻¹): activité alpha en Bq.L⁻¹.

U(Bq/l) : l'incertitude pour l'activité A₂.

MDA (Bq.L⁻¹): c'est l'activité minimale détectable de l'activité alpha en Bq.L⁻¹.

B₁ (dpm): activité bêta en désintégration par minute.

Unc (dpm) : l'incertitude pour l'activité B₁.

B₂ (Bq.L⁻¹): activité bêta en désintégration par minute.

U (Bq.L⁻¹): l'incertitude pour l'activité B₂.

MDA (Bq.L⁻¹): c'est l'activité minimale détectable en Bq.L⁻¹.

V-4/ Interprétation des résultats

Les valeurs de l'activité alpha total varient entre 0.02 et 0.06 Bq.L⁻¹ alors que les valeurs correspondant à l'activité bêta total varient entre 0.045 et 0.423 Bq.L⁻¹. Elles sont donc

adéquates pour la consommation puisqu'elles sont inférieures à 0.1 Bq.L^{-1} pour l'activité alpha et 1 Bq.L^{-1} pour l'activité bêta (selon les normes de OMS).

- ✓ les valeurs de la MDA ont été suffisantes pour déterminer les concentrations d'activité puisque ces valeurs sont inférieures au minimum d'activité détectable par l'appareil (La MDA est de l'ordre de 0.01 Bq.L^{-1} pour alpha et de 0.004 Bq.L^{-1} pour bêta).
- ✓ Le temps de comptage (720 min) qu'on a fixé est suffisant pour la mesure puisque les valeurs de l'activité restent constantes même après ce temps (saturation).

Pour mieux comparer les résultats obtenus, des corrélations ont été réalisées. Nous avons comparé les activités globales trouvées avec les paramètres suivants (**annexe IV**) :

1. Résidu sec indiqué sur la bouteille à 110°C en mg.L^{-1}
2. Résidu sec mesuré dans le laboratoire à 100°C en mg.L^{-1}
3. Nous avons comparé l'activité bêta avec la quantité de potassium indiquée sur la bouteille en mg.L^{-1}

■ **Paramètre 1 : Résidu sec indiqué sur la bouteille et mesuré dans le laboratoire**

Sur les figures V.14 et V.15 nous avons présentés les activités total en fonction respectivement du résidu sec indiqué sur la bouteille et mesuré au laboratoire.

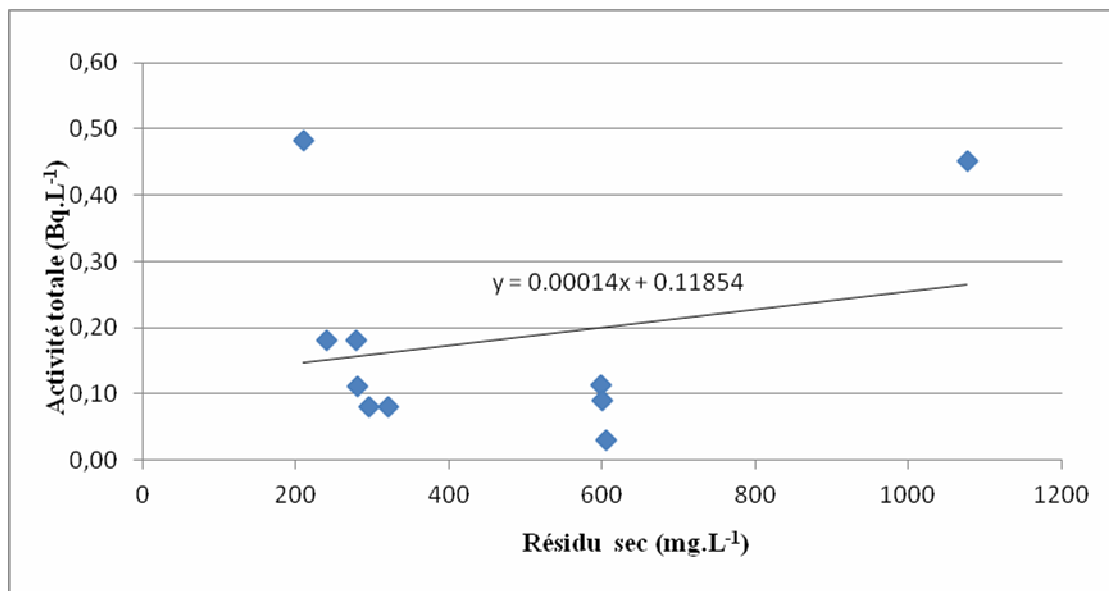


Figure V.14 : L'activité totale en fonction du résidu sec

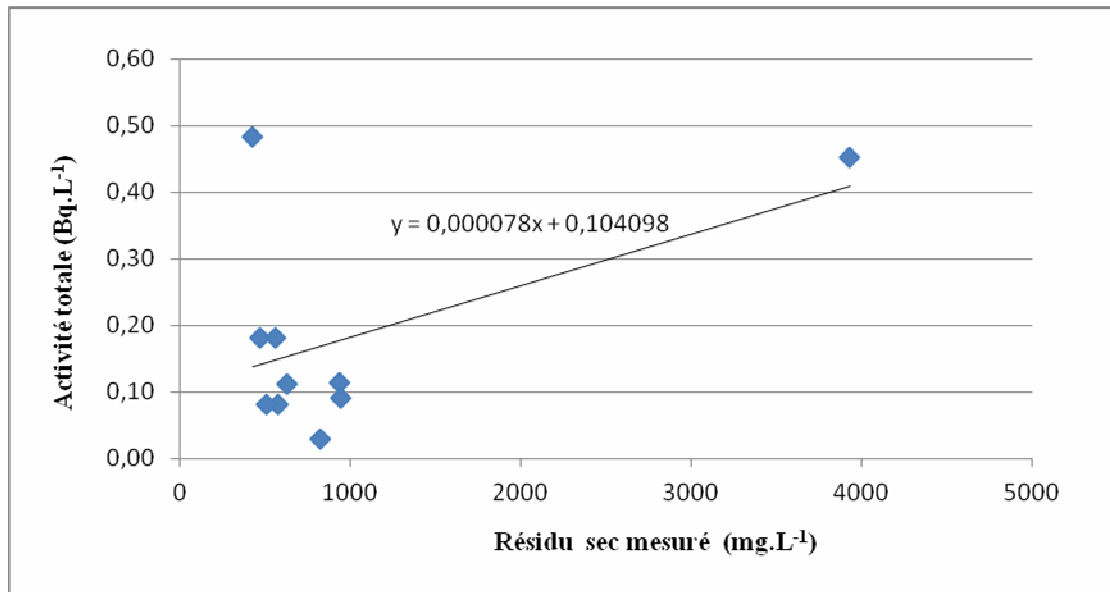


Figure V.15 : L'activité totale en fonction du résidu sec mesuré

Plus une eau minérale est chargée de sels minéraux, plus sa qualité nutritive est importante. Cependant, cet aspect a généralement un comportement inverse pour la teneur de ces eaux en isotopes radioactives. On s'attend en général, que les eaux contenant les quantités les plus importantes en sels minéraux, contiennent le plus d'isotopes radioactives. Cette propriété est globalement justifiée (pente faible mais positive des droites d'ajustement dans les deux figures). Ainsi, une eau minérale de bonne qualité doit satisfaire un compromis entre sa teneur en activité totale et en résidu sec. Elle doit avoir le maximum de résidu sec (sels minéraux) et le minimum d'activité totale. Bien évidemment d'autres qualités chimiques comme le pH et autres entrent dans cette qualification, mais ici on s'intéresse principalement à la qualité radiologique que nous voulons examiner en la confrontant à la qualité nutritives de l'eau étudiée (sa teneur en résidu sec).

Les deux courbes présentent, comme il a été signalé précédemment, une très faible corrélation étant donnée que les pentes de deux droites de régression sont très faibles ;

- ✓ On peut conclure que lorsque la valeur nutritive de l'eau augmente la radioactivité augmente qui est un résultat attendu et naturel, puisque la radioactivité, présenté dans l'eau minérale, provient des substances rocheuses qu'elle collecte durant son écoulement. Donc plus elle dissout des sels (provenant des ces roches), plus elle se charge de sels minéraux et donc d'isotopes radioactifs, néanmoins les corrélations ne permettent pas de comprendre la relative activité élevée de l'eau HAYET.

- ✓ On peut classer les 10 échantillons selon les courbes tracées en 4 groupes :

- **Un groupe 1** qui présente un seul type d'eau, caractérisé par une faible valeur nutritive 210 mg.L^{-1} de résidu sec, cependant il présente une radioactivité la plus élevée $0,480 \text{ Bq.L}^{-1}$, c'est l'eau HAYET;
- **Un groupe 2** qui englobe 5 types d'eaux commercialisées caractérisés par une valeur nutritive moyenne entre 200 à 400 mg.L^{-1} , et une marge de radioactivité entre $0,080$ à $0,180 \text{ Bq.L}^{-1}$, les eaux sont JANNET, SAFIA, SABRINE, FOURAT et DIMA;
- **Un groupe 3** qui englobe 3 types d'eaux commercialisées caractérisés par une valeur nutritive importante entre 598 à 605 mg.L^{-1} , et une marge de radioactivité entre $0,030$ à $0,110 \text{ Bq.L}^{-1}$, les eaux sont AQUALINE, MAIN et CRISTALINE;
- **Un groupe 4** qui présente un seul type d'eau embouteillée caractérisé par une valeur nutritive élevée 1077 mg.L^{-1} , et une radioactivité élevée $0,450 \text{ Bq.L}^{-1}$, c'est l'eau GARCI.

Les interprétations suivantes essaient d'argumenter la faible ou la grande activité totale des eaux analysées dans cette étude. Elles sont basées sur la nature géologique des sources de ces eaux. Ces interprétations sont qualitatives et doivent être justifiées par des études des radioactivités des roches qui constituent l'environnement des sources des eaux minérales. Mais elles sont importantes car elles contiennent une part de la vérité et constituent une introduction à l'étude de la variabilité de l'activité de ces eaux (qui dépasse le cadre de cette étude), ce qui est très important pour contrôler cette caractéristique radiologique d'une façon plus précise et la doter d'un aspect prédictif. En effet, la connaissance des propriétés radioactives des roches environnant une source d'eau minérale permet de prévoir leur qualité radiologique futur (et non pas seulement la présente). Mais il faut coupler l'analyse avec le processus industriel de traitement de ces eaux : extraction, transport, stockage et emballage dans les bouteilles. En effet, ces processus industriels peuvent aussi changer la radioactivité de ces eaux.

- ✓ HAYET présente d'après les résultats une qualité médiocre par rapport aux autres échantillons puisque c'est l'eau la moins nutritive et la plus radioactive, ceci peut être dû à la lithologie de la source. Ce type d'eau est extrait d'une source à Sidi Bouzid. Les données de forages et les corrélations hydro-litho-stratigraphiques montrent que la majorité des nappes phréatiques de la région de Sidi Bouzid sont de nature lenticulaire. Il s'agit des systèmes aquifères multicouches dont les niveaux des réservoirs sont logés dans des niveaux sableux à sablo-argileux et parfois graveleux. Ces niveaux plus ou moins communicants sont séparés par des couches imperméables à semi-perméables (argileuses et argilo-sableuses).

Ceci peut expliquer la valeur élevée de la radioactivité étant donné que les argiles se montrent le plus souvent fortement radioactives. La radioactivité de l'argile peut avoir différentes origines :

- Les argiles constituent un support préférentiel de fixation des éléments radioactifs (uranium, potassium et thorium)
- L'argile peut être elle-même potassique comme dans le cas de l'illite.

■ Paramètre 2 : quantité de potassium 40

Le potassium 40, que l'on trouve à l'état de traces dans le potassium naturel, est responsable de plus de la moitié de la radioactivité du corps humain, à raison d'environ 4 à 5000 désintégrations par seconde pour un homme de 80 kg.

On a tracé l'activité bêta en fonction de la quantité de ^{40}K qui présente 0,01 du potassium naturelle (l'abondance).

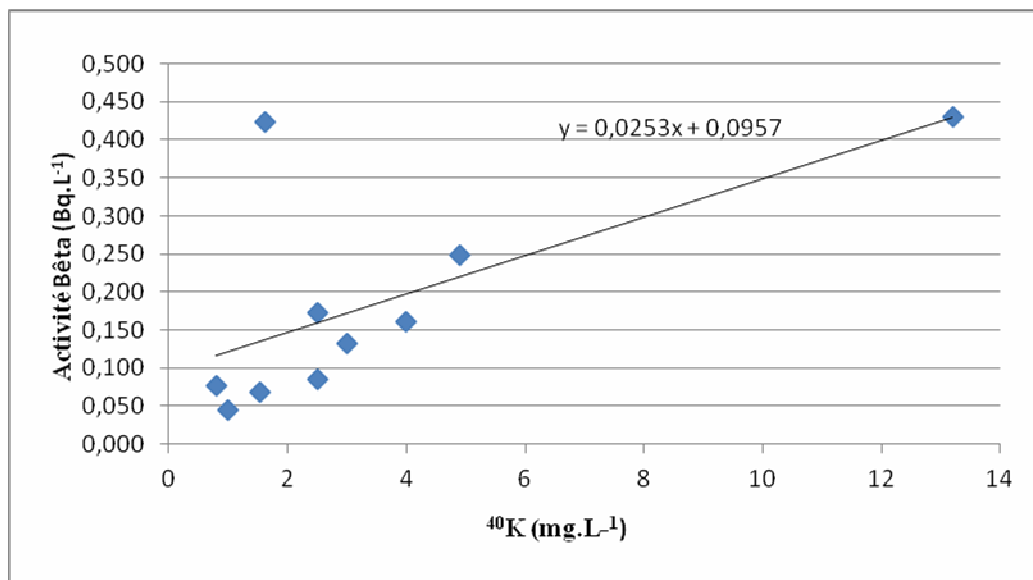
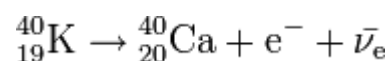
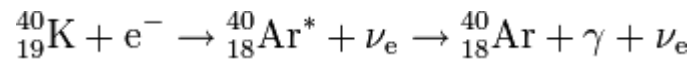


Figure V.16 : L'activité bêta en fonction de la quantité de potassium 40

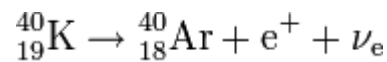
- ✓ On trouve une corrélation claire entre l'activité bêta et la quantité du potassium 40 ;
- ✓ La radioactivité augmente en fonction de la quantité du potassium 40, en effet il représente environ 2,4% (par poids) de la croûte terrestre. Le ^{40}K est un élément primordial qui existe dans les roches, ce qui explique sa présence dans l'eau minérale naturelle ;
- ✓ Le potassium 40 permet :
 - une désintégration β^- dans 88,8 % des cas pour donner du calcium 40, avec une énergie de désintégration de 1,311 MeV :



- une capture électronique dans 11,2 % des cas pour donner de l'argon 40, avec une énergie de désintégration de 1,505 MeV :



- une désintégration β^{+} , en proportion négligeable en comparaison des deux réactions précédentes (de l'ordre de 0,001 %) :



Dans l'eau, la particule bêta d'énergie la plus élevée peut traverser une distance maximale d'un centimètre. Les interactions de ces particules avec les atomes des matières ambiantes donnent des particules bêta de plus basse énergie.

V-5/ La dose efficace reçue :

La dose efficace reçue est donnée par la formule suivante

$$DR_W = A_W * IR_W * ID_F$$

DR_W : La dose efficace en mSv

A_W : activité en Bq.L^{-1}

IR_W : consommation annuelle de l'eau pour un personne

ID_F : facteur de pondération de l'ingestion d'un nucléide en Sv/an

Mais cette équation n'est valable que si on connaît la concentration de chaque nucléide, cela se fait par la méthode de spectrométrie, qui permet une analyse quantitative et qualitative de l'échantillon.

De cet effet, on a recours à la recommandation de l'OMS qui considère que lorsque les activités alpha et bêta total sont respectivement à 0,1 et 1 Bq.L^{-1} , la dose efficace engagée est absolument inférieure à 0,1mSv [7]. C'est le cas pour les dix eaux minérales tunisiennes, ce qui implique qu'elles sont alors propres à la consommation humaine.

V-6/ Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons donné une idée sur les eaux minérales tunisiennes de point de vue radioactivité en se basant sur des valeurs de l'activité alpha et bêta total faite dans le centre CNSTN à fin de protéger la santé de l'homme contre les effets néfastes des rayonnements.

D'une façon générale, la radioactivité des dix sources d'eaux minérales étudiées est faible.

Les activités en alpha et en bêta varient d'un type à l'autre.

Les eaux les plus radioactives sont celles de GARCI (situées dans la région de Sousse) et celles de HAYET (situées dans la région de Sidi Bouzid). Ces deux sources contiennent des quantités importantes d'activité bêta, 0,43 et 0,42 Bq.L⁻¹, respectivement.

HAYET présente aussi l'activité alpha la plus élevée, 0,06 Bq.L⁻¹, cela est certainement influencé par la lithologie de la source située à Sidi Bouzid étant donné qu'elle est riche en argile.

Cependant, ces teneurs ne sont absolument pas significatives devant celles mesurées dans d'autres eaux étrangères [9-10]. Certaines eaux minérales françaises sont naturellement beaucoup plus riches en éléments radioactifs naturels [11].

Ces valeurs sont inférieures à la dose de référence de 0,1 mSv/année. Des valeurs plus élevées ont été mesurées en France dans certaines eaux minérales gazeuses qui contiennent une radioactivité naturelle telle que, bues régulièrement en grande quantité, elles entraînent une irradiation interne. Elles conduisent en effet à des doses voisines de 0,3 mSv si elles sont consommées exclusivement [11].

Les eaux de HAYET sont les seules qui, si elles sont consommées quotidiennement par un enfant, conduisent à une dose annuelle légèrement supérieure à 0,1 mSv [12]. Un tel résultat ne peut en aucun cas être considéré comme un indice de risque. Il permet simplement de quantifier la part de l'eau dans l'exposition globale du public aux rayonnements de source naturelle (estimée en moyenne à 2,4 mSv/an) [13]. En France, un nourrisson dont l'eau de boisson quotidienne pendant un an serait exclusivement l'eau de Volvic ou d'Evian, recevrait une dose engagée voisine de 0,35 mSv [11].

Conclusion générale

Les risques dues à la contamination des eaux minérales sont essentiellement des risques d'irradiation interne par la suite d'ingestion des radioéléments ce qui nous a ramené dans cette étude à déterminer l'activité alpha et bêta global des eaux minérales tunisiennes. On a utilisé un compteur alpha bêta global vu qu'il bénéficie des innovations technologiques telles qu'un faible bruit de fond, le passage automatique des échantillons et l'étalonnage des plateaux de bruit de fond et de l'efficacité sont automatiques par un logiciel de traitement Eclipse.

Les analyses effectuées ont contribué à combler le vide qui existait concernant les données sur la radioactivité des eaux minérales tunisiennes commercialisées.

Il ressort de cette étude que la radioactivité des eaux minérales analysées est faible. Les activités mesurées sont nettement inférieures à celles trouvées dans d'autres régions du monde [9-10]. La source HAYET a une radioactivité plus élevée que les autres sources.

Ces deux niveaux sont équivalents au niveau de référence recommandé par l'OMS et adopté dans la réglementation européenne pour les eaux de boisson. Ils permettent de situer la contribution de la consommation de cette eau minérale à l'exposition naturelle.

D'une façon générale, les doses efficaces engagées par l'ingestion journalière d'une eau minérale tunisienne pendant un an pour un adulte comme pour un enfant, sont très inférieures au niveau de référence de l'OMS, et elles sont plus faibles que dans certaines eaux minérales étrangères [9-10]. Les risques sanitaires associés peuvent être considérés, en l'état actuel des connaissances, comme négligeables.

Les références bibliographiques

- [1] Van De Vorst A., Introduction à la physique, De Boeck-Wesmael, Bruxelles, 1992, 156-172.
- [2] Ligou J., Introduction au génie nucléaire, Presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse, 1982.
- [3] Remy ML., Lemaitre N., Eaux minérales et radioactivité. Hydrogéologie 1990, 4, 267-78.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP)., Age dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 5 : Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Publication 72. Oxford, Elsevier Science Ltd, 1996.
- [5] Blanc D., Physique nucléaire pour les médecins et les biologistes, Masson, Paris, 1993, 133-192.
- [6] Charpak G., Garwin R., Le DARI, unité de mesure adapté à l'évaluation de l'effet des faibles doses d'irradiation. Le Médecin Radiologique de France 2002, 369, 2-8.
- [7] OMS., Directives de qualité pour l'eau de boisson : recommandations 2e édition. Genève : Organisation Mondiale de la Santé, 1994, 127-34.
- [8] Directive 98/83/CE du Conseil de l'Union européenne du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine., JOCE 1998 (L 330), 32-54.
- [9] Hakam OK., Choukri A., Reyss JL., Lferde M., Activities and activity ratios of U and Ra radioisotopes in drinking wells, springs and tap water samples in Morocco. Radiochim Acta 2000, 88, 55-60.
- [10] Remy ML., Lemaitre N., Eaux minérales et radioactivité. Hydrogéologie 1990, 4, 267-78.
- [11] Métivier H., Roy M., Dose efficace liée à la consommation d'eau minérale naturelle par l'adulte et le nourrisson. Revue de la Société Française de Radioprotection 1997, 32, 491-9.
- [12] Labidi S., Dachraoui M., Centre national de radioprotection (CNRP), Place Bab-Saâdoun, 1006 Tunis, Tunisie.
- [13] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)., Sources and effects of ionizing radiation: 1988 report to the General Assembly, with scientific annexes. New York : United Nations Publications, 1993, Annexe A, 20-79.

Annexe I

Mesure des indices de radioactivité alpha et bêta globaux dans un échantillon d'eau

Matrice : eau

Catégories de mesures :

- Alpha global dans une eau
- Bêta global dans une eau

Volume de l'échantillon : un litre d'eau conservé dans un flacon en verre au bien en polyéthylène étanche.

Condition de conservation : pour assurer une bonne conservation de l'échantillon

- Acidifier l'échantillon avec HNO_3 1M pour l'activité alpha global
- Acidifier l'échantillon avec HNO_3 0.1M pour l'activité alpha Bêta

Mode opératoire :

Volume de la prise d'essai : 100 mL

- Transvaser la prise d'essai dans un bécher de verre pyrex
- Placer le bécher sur une plaque chauffante et évaporer l'échantillon à sec
- Gratter avec une baguette en verre ou en téflon les parois du bécher
- Rincer les parois du bécher avec du HNO_3 à 5%
- Peser la coupelle propre en inox, noter la masse
- Transférer le dépôt dissous dans la coupelle avec une pipette compte goutte
- Répéter cette étape trois fois pour récupérer le maximum du dépôt

- NB : il faut que le volume soit réparti d'une façon homogène sur toute la coupelle
- Evaporer à sec la coupelle
- Refroidir la coupelle
- Peser la coupelle et noter la masse

| | M₀ (g) | M₁ (g) | M₂(M₀ -M₁)(g) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| AQUALINE | 9.53925 | 9.63300 | 0.09375 |
| HAYET | 9.54207 | 9.58466 | 0.04259 |
| JANNET | 9.53097 | 9.58741 | 0.05644 |
| CRISTALINE | 9.54472 | 9.63891 | 0.09419 |
| MAIN | 9.48916 | 9.57170 | 0.08254 |
| FOURAT | 9.54791 | 9.60557 | 0.05766 |
| SAFIA | 9.55525 | 9.60620 | 0.05095 |
| SABRINE | 9.54816 | 9.59520 | 0.04704 |
| GARCI | 9.53360 | 9.92650 | 0.3929 |
| DIMA | 9.51141 | 9.57420 | 0.06279 |

Annexe II

Tableau représentatif des masses des coupelles vides et avec les dépôts

Annexe III

| | DIMA | HAYET | FOURAT | JANNET | MAIN | GARCI | SABRINE | CRISTALINE | SAFIA |
|--|-------------|--------------|---------------|---------------|-------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|
| Résidu sec (mg.L⁻¹) | 280 | 210 | 320 | 278 | 605 | 1077 | 240 | 600 | 295 |
| Calcium (mg.L⁻¹) | 79 | 44.2 | 104 | 46 | 70.9 | 192 | 34 | 117 | 72 |
| Magnésium (mg.L⁻¹) | 9 | 15.56 | 5.8 | 20 | 30.1 | 60 | 11 | 28 | 12 |
| Sodium (mg.L⁻¹) | 18 | 11.34 | 19 | 26 | 40.2 | 417 | 56 | 646 | 11 |
| Potassium (mg.L⁻¹) | 0.8 | 1.63 | 2.5 | 3 | 4.9 | 13.2 | 4 | 1.53 | 1 |
| Bicarbonate (mg.L⁻¹) | 246.5 | 152.3 | 298 | 229 | 141.2 | 1210 | 207 | 231 | 235 |
| Sulfate (mg.L⁻¹) | 19 | 29.26 | 18 | 22 | 192.4 | 88 | 21 | 204 | 22 |
| Chlorure (mg.L⁻¹) | 25.2 | 19.8 | 25 | 32 | 59.6 | 441 | 14 | 71 | 23 |
| Nitrate (mg.L⁻¹) | 16.9 | 0.26 | 8.6 | 4 | 24 | 0 | 15 | 4 | 18 |
| Fluorure (mg.L⁻¹) | 0.47 | 0.4 | 0.21 | 0.77 | 1 | 2 | 1.2 | – | – |

Tableau représentatif des résidus secs des dix échantillons

Annexe IV

| | Résidu sec (mg.L⁻¹) | Activité total (Bq.L⁻¹) |
|-------------------|---|---|
| HAYET | 210 | 0.48 |
| DIMA | 280 | 0.11 |
| FOURAT | 320 | 0.08 |
| JANNET | 278 | 0.18 |
| GARCI | 1077 | 0.45 |
| AQUALINE | 598 | 0.11 |
| MAIN | 605 | 0.03 |
| SABRINE | 240 | 0.18 |
| SAFIA | 295 | 0.08 |
| CRISTALINE | 600 | 0.09 |

**Tableau représentatif de l'activité alpha bêta totale
en fonction du résidu sec**

| | Résidu sec (mg.L⁻¹) | Activité total (Bq.L⁻¹) |
|--------------|---|---|
| HAYET | 425,900 | 0,480 |
| DIMA | 627,900 | 0,110 |

| | | |
|-------------------|---------|------|
| FOURAT | 576,600 | 0.08 |
| JANNET | 564,400 | 0.18 |
| GARCI | 3929 | 0.45 |
| AQUALINE | 937,500 | 0.11 |
| MAIN | 825,400 | 0.03 |
| SABRINE | 470,400 | 0.18 |
| SAFIA | 509,500 | 0.08 |
| CRISTALINE | 941,900 | 0.09 |

**Tableau représentatif de l'activité alpha bêta totale
en fonction du résidu sec mesuré**

| | Potassium 40 (10⁻²mg.L⁻¹) | Activité bêta (Bq.L⁻¹) |
|-------------------|--|--|
| HAYET | 1,630 | 0,423 |
| DIMA | 0,800 | 0,076 |
| FOURAT | 2,500 | 0,173 |
| JANNET | 3,000 | 0,133 |
| GARCI | 13,200 | 0,430 |
| AQUALINE | 2,500 | 0,086 |
| MAIN | 4,900 | 0,248 |
| SABRINE | 4,000 | 0,161 |
| SAFIA | 1,000 | 0,045 |
| CRISTALINE | 1,530 | 0,068 |

**Tableau représentatif de l'activité alpha bêta totale
en fonction de la quantité de potassium**

Annexe III

| | DIMA | HAYET | FOURAT | JANETTE | MAIN | GARCI | SABRINE | CRISTALINE | SAFIA | AQUALINE |
|--|-------------|--------------|---------------|----------------|-------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|-----------------|
| Résidu sec (mg.L⁻¹) | 280 | 210 | 320 | 278 | 605 | 1077 | 240 | 600 | 295 | 598 |
| Calcium (mg.L⁻¹) | 79 | 44.2 | 104 | 46 | 70.9 | 192 | 34 | 117 | 72 | 124.9 |
| Magnésium (mg.L⁻¹) | 9 | 15.56 | 5.8 | 20 | 30.1 | 60 | 11 | 28 | 12 | 31 |
| Sodium (mg.L⁻¹) | 18 | 11.34 | 19 | 26 | 40.2 | 417 | 56 | 646 | 11 | 39.2 |
| Potassium (mg.L⁻¹) | 0.8 | 1.63 | 2.5 | 3 | 4.9 | 13.2 | 4 | 1.53 | 1 | 2.5 |
| Bicarbonate (mg.L⁻¹) | 246.5 | 152.3 | 298 | 229 | 141.2 | 1210 | 207 | 231 | 235 | 295.75 |
| Sulfate (mg.L⁻¹) | 19 | 29.26 | 18 | 22 | 192.4 | 88 | 21 | 204 | 22 | 148.5 |
| Chlorure (mg.L⁻¹) | 25.2 | 19.8 | 25 | 32 | 59.6 | 441 | 14 | 71 | 23 | 69 |
| Nitrate (mg.L⁻¹) | 16.9 | 0.26 | 8.6 | 4 | 24 | 0 | 15 | 4 | 18 | 5 |
| Fluorure (mg.L⁻¹) | 0.47 | 0.4 | 0.21 | 0.77 | 1 | 2 | 1.2 | – | – | 0.5 |

ملخص :

تمثل نوعية الماء المعدني مشكلة عالمية نظراً لأهميتها الحياتية يتعلّق هذا الإشكال بتواجد عناصر إشعاعية باعتبار أن الماء المعدني صادر من أعماق الأرض وبالتالي عند مروره الطبيعي يقوم بامتصاص العناصر الإشعاعية المتواجدة في الطبقة الأرضية. هذا المشكل المؤدي إلى تلوث الماء جعل منظمة الصحة العالمية تحدد اتفاقية في إطار حماية الإنسان ضدّ التأثيرات الجانبية للماء. في إطار هذه الدراسة قد أثبتنا باعتماد العدّاد ألفا و بيتا الجملي أنّ المياه المعدنية التونسية صالحة للاستهلاك نظراً لأنّ النشاط الإشعاعي ألفا و بيتا الجملي لا يتجاوز الاتفاقية المحددة من قبل منظمة الصحة العالمية وبالتالي لا يمثل أيّ خطر للإنسان.

الكلمات المفتاح

المياه المعدنية التونسية، منظمة الصحة العالمية، العناصر الإشعاعية، العدّاد ألفا و بيتا الجملي، النشاط الإشعاعي ألفا و بيتا الجملي.

LES ACTIVITES ALPHA ET BETA GLOBALES DANS L'EAU MINERALE TUNISIENNE

Résumé

La qualité de l'eau minérale naturelle est un problème de santé universel vu son importance vitale. Ce problème est relatif à la présence des radionucléides puisque ces eaux sont d'origine souterraine. Lors de leur circulation elle dissout et véhicule les radionucléides qui sont présents dans la croûte terrestre. Ce problème qui est dû à la contamination des eaux minérales a ramené l'organisation mondiale de la santé à fixer des normes et à recommander le respect des valeurs moyennes des activités globales alpha et bêta globales dans le cadre de la protection de l'homme contre cette exposition interne.

Concernant la qualité radiologique des eaux minérales tunisiennes étudiés dans ce projet, nous avons montré en utilisant le compteur alpha bêta globales que ces eaux sont propres à la consommation humaine puisque leurs activités alpha et bêta sont très faibles et ne présentent aucun risque sur la santé.

Mots clés : eau minérale tunisienne, l'organisation mondiale de la santé, radionucléides, compteur alpha bêta globales, activités alpha bêta globales.

GROSS ALPHA AND BETA ACTIVITIES IN TUNISIAN MINERAL WATER

Abstract

The quality of natural mineral water is a universal health problem seeing its vital importance. This problem is related to the presence of the radionuclides since this water is coming from underground, during their circulation it dissolves and conveys the radionuclides which are present in the earth's crust. This problem which leads to the contamination of the mineral water urged the World Health Organization to set standards and to recommend the respect of the median values of the activities alpha and beta within the framework of the man protection against this internal exhibition.

Concerning the radiological quality of Tunisian mineral water studied in this project, we showed, by using the gross alpha and beta activities counting, that this water is specific to human consumption since their gross alpha and beta activities do not forward any risk on health.

Key words: Tunisian mineral water, World Health Organization, radionuclides, gross alpha and beta activities counting, gross alpha and beta activities.

Centre National des Sciences et Technologie Nucléaires (CNSTN), Sidi-Thabet

Entreprise : Centre National des Sciences et Technologie Nucléaires (CNSTN)

Adresse : Pole technologique de Sidi-Thabet, 2020 Sidi-Thabet. Tunisie

Tél. : +216 71 537 410

Fax : +216 71 537 555

Email : official@cnsn.rnrt.tn .