

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES DE LA MER ET DE
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCE DE LA MER
SPECIALITE : INGENIERIE DE L'ENVIRONNEMENT MARIN ET COTIER

THEME :

**ETUDE RADIOECOLOGIQUE DE LA BAIE D'ALGER
CAS DES POISSONS ET MOLLUSQUES.**

Réalisé par : BOURIDJ CHAIMA- CHERADI MOUNIA

Soutenu le : 13-07-2022 à 9h30

Devant le jury composé de :	Grade	Qualité
-Pr F. LOUANCHI	Professeur (ENSSMAL)	Présidente
-Mme A.HAMMADI	Chercheur confirmé (CRNA)	Promotrice
-Pr M. BOULAHIDID	Professeur (ENSSMAL)	Co-promoteur
-Dr Dj. TAIEB ERRAHMANI	Chercheur Principal (CRNA)	Examinateur
-Mme L.BENTCHIKOU	Maitre assistante A (ENSSMAL)	Examinatrice

Année universitaire : 2021- 2022

Remerciements

Ce document est bien d'égards le résultat d'un travail de recherche parsemé de découvertes et d'innombrables écueils dont l'issue ne savait être l'œuvre d'une seule personne.

Nous saisissons cette occasion pour adresser nos sincères remerciements à tous ceux qui ont œuvrés à la production du présent mémoire.

Nos plus vifs remerciements à :

- Pr. F. LOUANCHI : d'avoir accepté la présidence de ce jury.
- Mme. A. HAMMADI : Pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.
- Pr. M.BOUL AHDID : Pour avoir accepté de nous co-encadrer
- Mme. BENTCHIKOU : Pour l'honneur que vous nous accordé en acceptant d'examiner notre mémoire.
- Dr. D. TAIEB ERRAHMANI : Nous vous remercions tout particulièrement pour les moyens ainsi que les ressources documentaires nécessaire fournit, veuillez accepter nos plus sincères remerciements pour avoir accepté de nous examiner.

Nous tenons également à exprimer notre sincère gratitude et remerciements à nos familles, en particulier à nos parents qui, sans leurs présence et leurs encouragements, ce travail aurait difficilement vu le jour.

Nous remercions sincèrement toutes les personnels qui nous ont aidés lors des différents stades de réalisation de ce modeste travail.

Remerciements	2
Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
Liste des symboles.....	8
Liste des abréviations	9
Introduction.....	11
Chapitre I : Généralités	13
1. DEFINITIONS	14
1.1. L'Atome	14
1.2. Radioactivité Ou désintégration radioactive	14
1.3. Radioélément	14
1.4. La radio écologie	15
1.5. Notion d'équilibre radioactif ou équilibre séculaire	15
1.6. Notion de Dose absorbée.....	15
2. DIFFERENTS TYPES D'EMISSION RADIOACTIVE	16
2.1. Rayonnement ou particules alpha (α).....	16
2.2. Rayonnement ou particule beta (β).....	16
2.3. Rayonnement gamma (γ).....	17
3. LOI DE LA RADIOACTIVITE.....	17
3.1. Loi de désintégration radioactive.....	17
3.2. Période radioactive $T_{1/2}$	18
3.3. Activité (A).....	19
3.4. L'énergie de la radioactivité	20
4. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITE	20
4.1. Origine naturelle	20
4.2. Origine artificielle.....	21
5. VOIES DE TRANSFERT DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT	25
5.1. Voies de transfert atmosphérique	26
5.2. Voies de transfert aquatique	26
5.3. Comportement et devenir des radionucléides dans le milieu marin	27
5.3.1. Dans l'eau de mer	27
5.3.1.1. L'action physico-chimique	27
5.3.1.2. Action hydrodynamique.....	28
5.3.2. Dans le sédiment	28
5.3.2.1. Facteurs liés au sédiment	28
5.3.2.2. Facteurs liés aux radionucléides	29

5.3.3. Dans le milieu biologique	29
5.3.3.1. Radioactivité des espèces biologiques (faune aquatique)	30
5.3.3.2. Radio-contamination par l'eau de mer	31
5.3.3.3. La radio-contamination par le sédiment	32
5.4. L'auto-décontamination	33
6. LES RISQUES DES RAYONNEMENTS SUR LES CELLULES VIVANTES (RISQUES RADIOLOGIQUES)	34
6.1. Les risques déterministes.....	35
6.2. Les risques stochastiques.....	35
7. OUTILS NUMERIQUES POUR L'ETUDE DE IMPACT DE LA RADIOACTIVITE DANS LE MILIEU MARIN.....	36
7.1. Présentation de l'outil ERICA	36
7.2. L'interface d'ERICA	36
7.3. Fonctionnalités de l'outil ERICA	37
Chapitre II: Présentation de la zone d'étude.....	39
1. ZONE D'ETUDE	40
1.1. Description et Situation géographique de la baie d'Alger.....	40
1.2. Climatologie	41
1.2.1. Le vent	41
1.2.2. Précipitation	42
1.2.3. Température.....	42
1.3. Cadre océanographique	43
1.4. Géologie et sismicité.....	45
1.5. Démographie des communes côtières de la baie d'Alger	45
1.6. Infrastructures portuaires.....	46
Chapitre III : Matériels et méthodes.....	52
1. ÉCHANTILLONNAGE ET PRETRAITEMENT	52
1.1. Informations relatives au prélèvement	52
1.2. Systématique de l'espèce prélevée	54
1.2.1-Présentation de l'espèce <i>Boops Boops</i> (Linne, 1758).....	54
1-2-2-Présentation des Moules galloprovincialis :	55
1.3. Prétraitement des échantillons	55
2. ANALYSE PAR SPECTROMETRIE GAMMA.....	57
2.1. Principe de l'analyse par spectrométrie gamma	57
2.2. Types de détection de photons par spectrométrie gamma	58
2.3. Constituants de la chaîne de spectrométrie gamma	59
2.2. Etalonnage de la chaîne de spectrométrie gamma	61

2.2.1. Etalonnage en énergie.....	61
2.2.2. Le bruit de fond.....	61
2.2.3 Etalonnage en efficacité	62
2.3. Calcul d'activité et de l'incertitude.....	63
2.4. Facteurs correctifs	63
2.4. Calcul d'Activité Minimale Détectable (AMD).....	64
3. Utilisation du code ERICA	65
3.1. Manipulation du logiciel ERICA.....	65
Chapitre IV : Résultats et discussions	68
1. L'efficacité des radionucléides d'intérêt.....	69
1.1. Calcul de l'efficacité des standards	69
1.2. Equations et calcul de l'efficacité.....	71
2. Niveaux de radioactivité chez les moules et les poissons	72
2.1. Variations spatiales des polluants radioactifs	72
2.1.1. Variations spatiales du ^{234}Th dans les échantillons de moules et de poissons	72
2.1.2. Variations spatiales du ^{226}Ra dans les échantillons de moule et de poissons.....	73
2.1.3. Variations spatiales du ^{212}Pb dans les échantillons de moule et de poissons	73
2.1.4. Variations spatiales du ^{214}Pb dans les échantillons de moule et de poissons	74
2.1.5. Variations spatiales du ^7Be dans les échantillons de moule et de poissons.....	74
2.1.6. Variations spatiales du ^{208}Tl dans les échantillons de moule et de poissons	74
2.1.7 Variations spatiales du ^{214}Bi dans les échantillons de moule et de poissons	75
2.1.8 Variations spatiales du ^{137}Cs dans les échantillons de moule et de poissons.....	75
2.1.9 Variations spatiales du ^{228}Ac dans les échantillons de moule et de poissons	76
2.1.10 Variations spatiales du ^{40}K dans les échantillons de moule et de poissons.....	76
2.2. Etude comparative avec les travaux précédents	77
3. EVALUATION DES IMPACTS RADIOLO-ECOLOGIQUES ET DOSIMETRIQUES ..	78
3.1. Evaluation du débit de dose total par le code ERICA	78
3.2. Evaluation de l'impact dosimétrique	79
Conclusion -générale et perspectives	82
Bibliographie.....	83
Annexe	86
Résumé	89

Liste des figures

Figure 1: Tableau périodique.	14
Figure 2 : Pouvoir de pénétration des différents rayonnements.....	17
Figure 3: : Devenir des radionucléides dans le milieu marin (IRSN,2004).....	32
Figure 4 : Effet biologique de la radioactivité.	34
Figure 5: Interface principale de code ERICA	36
Figure 6 : Situation géographique de la baie d'Alger	40
Figure 7 : Rose des vents du site de Puerto Del Estado de la période de 1958 à 2020 (Puertos del Estado).	41
Figure 8 : Graphique du taux de précipitation mensuelle à Alger de 2017 à 2022. (Météociel.fr)	42
Figure 9 : Graphique du taux de température mensuelle à Alger de 2017 à 2022. (Météociel.fr)	42
Figure 10 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM, 1998).....	43
Figure 11 : Réseau hydrographique d'Alger. (M RABEHI -2018)	44
Figure 12 : Histogramme de densité de la population D'Alger 1998-2008. (ONS).....	45
Figure 13 : localisation des sites de récupération des échantillons.	53
Figure 14 : Aspect général du poisson Boops Boops.	54
Figure 15 : Aspect général de Mytilus galloprovincialis.	55
Figure 16 : Les types d'interaction gamma-électron.	58
Figure 17 : Différents type de détecteur.	59
Figure 18 : Schéma de la chaîne d'analyse par spectrométrie gamma (Tessier, 2003).	60
Figure 19 : Droite d'étalonnage en énergie.....	61
Figure 20:Interface du code ERICA.....	65
Figure 21:Choix du niveau d'analyse	66
Figure 22:Choix des écosystèmes	66
Figure 23:Concentrations des activités des éléments dans les organismes	67
Figure 24 : : courbe d'efficacité de deux standards combinés.	70
Figure 25 : Activite du ^{234}Th dans les différents sites d'échantillonnage.	72
Figure 26 : Activité du ^{212}Pb dans les différents sites d'échantillonnage.	73
Figure 27 : Activités du ^7Be dans les différents sites d'échantillonnage.....	74
Figure 28 : Activité du ^{208}Tl dans les différents sites d'échantillonnage.	75
Figure 29 : Activité du ^{40}K dans les différents sites d'échantillonnage.....	76
Figure 30 : Débit de dose total de chaque radioélément dans les deux espèces étudiées.	78
Figure 31 : Interface du logiciel ERICA - Débit de dose et le quotient de risque.	79
Figure 32 : Interface ERICA - coefficient de conversion de la dose de bêta gamma interne...79	

Liste des tableaux

Tableau 1: information relative aux radioéléments. (CEA, 2002)	19
Tableau 2: Caractéristiques des échantillons.	52
Tableau 3 : Caractéristiques des échantillons lors de la préparation.....	56
Tableau 4 : Energie des radionucléides des standards.....	70
Tableau 5 : Efficacité des radionucléides d'intérêt.....	71
Tableau 6 : Comparaison avec d'autres travaux	77
Tableau 7 : Evaluation de l'impact dosimétrique.	80

Liste des symboles

Symboles	Unités	Symboles	Unités
Ln	logarithme népérien	Psu	practical salinity unit
T^{1/2}	Période	Ans	Année
%	pour cent	Bq	Becquerel
Ld	limite de détection	C	Colomb
Γ	Gamma	Cc	centimètre cube
A	Alpha	Cm3	centimètre cube
N	nombre de coup	Cps	Coups par seconde
ε	Efficacité	Gy	Gray
Z	nombre d'atome	H	Heure
B	Béta	J	Joule
T	temps de comptage	J	Jours
A	Activité	Kev	kilo électron volt
Δ	Delta	Kg	Kilogramme
M	Masse	Min	Minute
E	Exponentiel	Ppm	Partie par million
Sd	seuil de détection	Dps	désintégration par seconde
λ	Lambda	S	Seconde
Bf	bruit de fond	Sv	Sievert
Amd	Activité minimale détectable.	Uma	unité de masse atomique
I	Intensité		
D	Dose		
Ir	Indice de risque		
Dcc	Dose Conversion Coefficient		

Liste des abréviations

AMD : Activité minimale détectable.

AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique (en anglais : IAEA), Organisation des Nations Unies (ONU)

ANCA : Association Nationale des Commerçants Algériens.

CEA : Commissariat à l'Energie Atomique.

CRNA : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger.

ERICA: Environmental Risk for Ionising Contaminants Assessment. IAEA : Agence internationale de l'Energie Atomique.

GeHP : Germanium Hyper Pur IRM : Institut des Risques Majeurs

ICPE : Installations Classées Protection de l'Environnement.

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire.

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (ONU)

LD : limite de détection

LEM : Laboratoire d'Etude Maritime.

NGA : Nivellement Général Algérien

ONS : Office National des Statistiques.

DCC : Dose Conversion Coefficient

Introduction

La radioactivité artificielle est apparue juste après la deuxième guerre mondiale et depuis cette époque un apport continu et important de matières radioactives ne cesse de contaminer les différents compartiments de l'environnement. Par ailleurs, la présence des radionucléides dans les milieux aquatiques a une double origine; une origine naturelle et une origine artificielle liée aux activités humaines, ces derniers sont principalement les tests d'armes nucléaires, les installations nucléaires ainsi que les accidents nucléaires. Le transfert de radionucléides d'un milieu à un autre ainsi que leur comportement dépend d'une part des propriétés du milieu récepteur et d'autre part de leurs caractéristiques propres (Nour-eddine, Avril 2007). Après des années d'étude et d'expérience, le comportement et le devenir de plusieurs radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement est défini avec une unanimité autour de deux effets principaux, l'un positif et l'autre négatif. L'utilisation de ces radionucléides comme des traceurs pour l'étude de plusieurs processus naturels telle que la sédimentation, la circulation des masses d'eau marine, la détection des gisements, la paléoclimatologie, représentant ainsi l'effet positif, alors que l'effet négatif est limité à la nuisance des radionucléides de types artificiels sur la santé du milieu et de l'homme. Nous proposons dans ce sujet, de réaliser une caractérisation radiologique des poissons et des mollusques par la technique de spectrométrie gamma et une évaluation de l'impact radiologique et dosimétrique en utilisant le code ERICA.

Cette étude rentre dans le cadre d'un projet de recherche au niveau du CRNA pour l'année 2022, qui consiste à étudier la présence des radionucléides dans l'environnement et de rechercher leurs origines, de comprendre leurs processus de transfert et de concentration dans les écosystèmes et d'évaluer l'impact de la radioactivité naturelle sur l'environnement (impact radiologique) et sur la santé humaine (impact dosimétrique).

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres principaux :

- Le premier chapitre présente des généralités sur la radioactivité, ainsi que les notions de bases utilisées dans le domaine de la surveillance de la radioactivité dans le milieu biologique.
- second chapitre définit la zone d'étude ainsi que ses caractéristiques climatologiques, océanographiques et géologiques.
- Le troisième chapitre est consacré aux méthodologies relatives à l'échantillonnage, le traitement et l'analyse des échantillons par la technique choisie.
- Le quatrième et dernier chapitre présente les résultats obtenus ainsi que leurs discussions,

suivi par une conclusion et perspectives.

Chapitre I : Généralités

Ce chapitre est dédié la présentation de l'ensemble des définitions sur la radioactivité, sont origine, ainsi que les notions de bases utilisées dans le domaine de la surveillance de la radioactivité dans le milieu biologique.

1. DEFINITIONS

1.1. L'Atome

Constituant élémentaire des trois états de la matière, il est composé d'un noyau, de neutrons et de protons et autour duquel gravite un nuage d'électrons. Sa taille et sa proportion varient en fonction de ses composants et donne à chaque fois un nouvel élément. (CEA, 2002.)

1.2. Radioactivité Ou désintégration radioactive

C'est un processus nucléaire naturel et spontané dû à l'instabilité des noyaux ; excès de protons et de neutrons. Ce processus est déterminé par la transformation d'une molécule d'un état excité vers un état plus stable en émettant différents type de rayonnements (γ , β , α ...). (ANDRA).

1.3. Radioélément

C'est un élément chimique dont tous les isotopes connus sont des radio-isotopes (Figure 1).

■ = Radioactive Elements
Radioactive elements have no stable isotopes.

1 H																	2 He																														
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																														
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																														
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Sn	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																														
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																														
55 Cs	56 Ba	57 La	71 Hf	72 Ta	73 W	74 Re	75 Os	76 Ir	77 Pt	78 Au	79 Hg	80 Tl	81 Pb	82 Bi	83 Po	84 At	85 Rn																														
87 Fr	88 Ra	89 Ac	103 Rf	104 Db	105 Sg	106 Bh	107 Hs	108 Mt	109 Ds	110 Rg	111 Cn	112 Uut	113 Fl	114 Uup	115 Lv	116 Uus	117 Uuo																														
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>57 La</td> <td>58 Ce</td> <td>59 Pr</td> <td>60 Nd</td> <td>61 Pm</td> <td>62 Sm</td> <td>63 Eu</td> <td>64 Gd</td> <td>65 Tb</td> <td>66 Dy</td> <td>67 Ho</td> <td>68 Er</td> <td>69 Tm</td> <td>70 Yb</td> <td>71 Lu</td> </tr> <tr> <td>89 Ac</td> <td>90 Th</td> <td>91 Pa</td> <td>92 U</td> <td>93 Np</td> <td>94 Pu</td> <td>95 Am</td> <td>96 Cm</td> <td>97 Bk</td> <td>98 Cf</td> <td>99 Es</td> <td>100 Fm</td> <td>101 Md</td> <td>102 No</td> <td>103 Lr</td> </tr> </tbody> </table>																		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu																																	
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr																																	

ThoughtCo.

Figure 1: Tableau périodique (go science.fr).

1.4. La radio écologie

C'est la détection de la présence de radionucléides issus de la radioactivité naturelle et artificielle, dans l'environnement et de comprendre leurs processus de transfert et de concentration dans les écosystèmes.

Son objectif est d'évaluer l'impact de la radioactivité sur l'environnement (impact radioécologique) et sur la population (impact dosimétrique).

1.5. Notion d'équilibre radioactif ou équilibre séculaire

Dans les systèmes clos, la radioactivité évolue au cours du temps dans un état stationnaire tel que tous les descendants possèdent la même activité. Cet état est appelé équilibre séculaire, il est atteint après un temps égal à environ 6 fois la période la plus longue de la chaîne de décroissance. L'équilibre séculaire implique que le rapport d'activité entre un père et son fils direct est constant et égal à 1 le long de la filiation radioactive. (CUVIER, 2015)

1.6. Notion de Dose absorbée

L'énergie absorbée dans le corps humain par suite de l'exposition au rayonnement porte le nom de dose absorbée. La dose absorbée se mesure grâce à une unité appelée le gray (Gy). Un gray correspond à l'énergie d'un joule déposée dans un kilogramme de matière.

1.7. Dose équivalente

La dose équivalente correspond à une unité qui rend compte du degré de nocivité de différents types de rayonnement pour un même tissu.

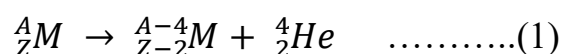
2. DIFFERENTS TYPES D'EMISSION RADIOACTIVE

Les molécules radioactives peuvent se transformer, selon une vitesse considérable, en un ou plusieurs autres éléments plus stables, accompagné d'une émission de rayonnements ou de particules contenant une certaine énergie.

2.1. Rayonnement ou particules alpha (α)

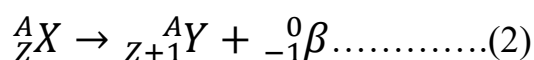
Ce rayonnement touche particulièrement les atomes lourds, il consiste en l'émission de la particule alpha à partir du noyau d'un élément radioactif M, correspond à un corps constitué de deux protons et deux neutrons, autrement appelé noyau d'Hélium (${}^4\text{He}$) facilement arrêté par une feuille de papier, ou par un tissu fin vivant. (Caillot, 2002)

La relation correspondante à ce phénomène est écrite comme suit : (Équation 1).

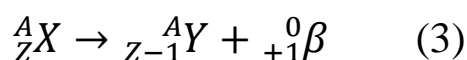


2.2. Rayonnement ou particule beta (β)

C'est la désintégration qui conduit à l'émission d'électrons négatifs noté (β^-). Cet électron résulte en fait de la désintégration au sein de noyaux d'un neutron en excès en proton avec l'émission d'un électron porteur d'une charge électrique négative. Ce processus d'émission s'observe pour les radionucléides naturels qu'artificiels (Équation 2) (HENRI, 2001).



Parmi les radioéléments certains se désintègrent par émission d'électrons positifs (β^+). Ce type de désintégration est dû à la transformation au sein du noyau d'un proton en neutron avec l'émission d'un électron porteur d'une charge positive. Ce processus d'émission s'observe pour les radionucléides artificiels (Équation 3) (HENRI, 2001).



2.3. Rayonnement gamma (γ)

Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique comme la lumière visible ou les rayons X mais plus énergétique. Suite à une désintégration alpha ou bêta,

Le noyau résultant reste encore excité car ses protons et ses neutrons n'ont pas trouvé leur équilibre. Il se libère alors rapidement d'un trop-plein d'énergie par émission d'une onde électromagnétique. C'est la radioactivité gamma (CEA, 2002).

En règle générale, les rayons gamma sont plus pénétrants que les rayons alpha et beta (quelques centimètres de plomb sont nécessaires pour les arrêter) (Figure2) (OUICHAOUI, 1992).

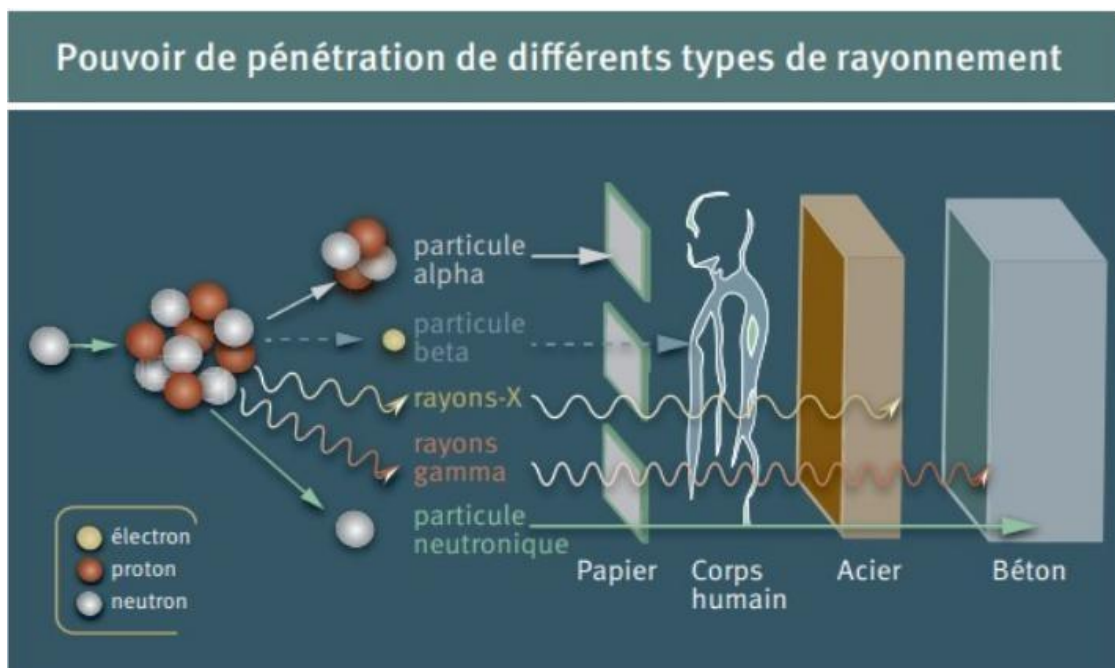


Figure 2 : Pouvoir de pénétration des différents rayonnements.

3. LOI DE LA RADIOACTIVITE

3.1. Loi de désintégration radioactive

Dans un échantillon de matières radioactives, le nombre d'atomes de l'espèce radioactive diminue avec le temps selon un même modèle. Afin de comprendre la décroissance exponentielle du nombre de noyaux radioactifs, on considère $N(t)$ le nombre de noyaux présents dans un échantillon d'isotopes radioactifs à une date t

Le nombre de désintégrations nucléaires spontanées $dN(t)$ qui se produisent pendant un temps

infinitement petit (dt) est proportionnel au nombre de noyaux $N(t)$ et à dt . Il dépend également de la nature du noyau considéré par la constante radioactive (ou constante de désintégration), notée λ (Mon manuel de physique chimie).

L'expression peut s'écrire sous la forme d'une équation différentielle (Équation 4) :

$$dN(t) = -\lambda \cdot t \times dt \dots\dots(4)$$

Par intégration, cette relation peut s'écrire (Équation 5) :

$$N = (N_0 \times e) - \lambda t \dots\dots\dots(5)$$

λ : est la constante de désintégration radioactive.

N : est le nombre de noyaux non désintégrés à l'instant t .

N_0 : est le nombre initial de noyaux à l'instant $t = 0$ (t_0).

t : est le temps de décroissance.

3.2. Période radioactive $T_{1/2}$

C'est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes radioactifs présents à un instant donné disparaissent (Tableau 1).

C'est-à-dire lorsque $A = A_0 / 2$. L'expression de la période s'écrit (Équation 6) :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \dots\dots\dots(6)$$

Avec : A_0 activité initiale à $t=0$ A : activité au temps t

T : la période est exprimée dans la même unité que t . Parfois appelé demi-vie (Alain Caillot, 2002).

Tableau 1: information relative aux radioéléments. (CEA, 2002)

Période de quelques éléments radioactifs				
Elément chimique	Période radioactive	Origine	Présence	Exemple d'utilisation
Tritium	12.5 ans	Artificielle	-	Fusion thermonucléaire
Carbone 14	5730 ans	Naturelle	atmosphère composés carbonés	Datation
Phosphore 32	14.3 jours	Artificielle	-	Recherches Biologie
Sulfure 35	87.4 jours	Artificielle	-	Recherches Biologie
Potassium 40	1.3 Milliard d'année	Naturelle	Roches riches en potassium, squelette	-
Cobalt 60	5.27 ans	Artificielle	-	Radiothérapie
Strontium 90	28.8 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Jauge d'épaisseur
Iode 131	8.05 jours	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	-
Césium 137	30.2 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Curiethérapie
Radium 226	1600ans	Naturelle	Roche terrestres contenant de l'uranium	-
Thorium 232	14. Milliards d'année	Naturelle	-	Datation des minéraux
Uranium 235	704 Millions d'année	Naturelle	Certaines roches terrestres Roche granitiques	Dissuasion nucléaire Combustible
Uranium 238	4.47 Milliards d'année	Naturelle	Certaines roches terrestres Roche granitiques	Combustible dans les réacteurs à neutrons rapides
Plutonium 239	24 100 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Dissuasion nucléaire Combustible

3.3. Activité (A)

Chaque source radioactive est caractérisée par le nombre de désintégration qui se produisent au cœur de son noyau par unité de temps. L'expression de l'activité est donnée (Équation7):

$$A(t) = \lambda \cdot N(t) \dots\dots\dots (7)$$

L'activité d'un radioélément décroît dans le temps, suivant une loi exponentielle, s'écrit (Équation 8) :

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \dots\dots\dots(8)$$

3.4. L'énergie de la radioactivité

Les rayonnements sont caractérisés par leurs énergies et leurs pourcentages d'émission par désintégration. L'énergie est mesurée en électronvolt (eV) cela représente le nombre de transformations par seconde d'une source radioactive. Elle peut aussi être exprimée en kilo (keV) ou méga (MeV) électronvolt (CEA. 2018).

4. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITE

Lors de la formation de la Terre, il y a environ 5 milliards d'années, la matière comprenait des atomes stables et instables. Mais depuis, la majorité des atomes instables se sont désintégrés par radioactivité et la plupart d'entre eux ont fini par atteindre la stabilité. Cependant, il existe toujours quelques atomes radioactifs naturels.

4.1. Origine naturelle

La contribution de la radioactivité naturelle (découverte en 1896 par Henri Becquerel) à l'environnement en deux catégories :

- les radioéléments d'origine **cosmo génique** tels que : ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{14}C

Ils sont continuellement produits par l'interaction des radiations cosmiques avec les molécules (Hydrogène, hélium, oxygène) des couches supérieures de l'enveloppe gazeuse de la terre (Atmosphère).

- les radioéléments d'origine terrigène, tels que :

^{40}K et ^{87}Rb , radioéléments primordiaux, de longue période, $T_{1/2} = 1,28.10^9$ ans et $T_{1/2} = 4,80.10^{10}$ ans, respectivement ; ils existent dans la nature à côté de leurs isotopes stables.

Les descendants de trois radioéléments lourds à vie très longue, appartenant au groupe

Des actinides qui se caractérisent par un numéro atomique, Z , supérieur à 88 : ^{232}Th avec un $T_{1/2}$ de 1,39.1010 ans, ^{238}U avec un $T_{1/2}$ de 4,47.109 ans et ^{235}U avec un $T_{1/2}$ de 7,13.108 ans.

4.2. Origine artificielle

4.2.1. Les essais atmosphériques d'armes nucléaires

Des radionucléides (Tritium, Ruthénium 106, Césium 137, Strontium 90...) ont été propulsés dans la haute atmosphère, pendant des explosions, qui se sont déposés ensuite sur les continents et les océans de manière relativement homogène. On compte en 35 ans, une quantité de radionucléides libérés par les essais atmosphériques équivalente à 500 fois les rejets de l'accident de Tchernobyl.

4.2.2. Les accidents d'installations nucléaires

Au cours du siècle dernier, de multiples accidents sur les installations civiles et militaires impliquant des rejets radioactifs significatifs dans l'environnement ont été enregistrés. Parmi les accidents les plus importants dans l'histoire de l'énergie nucléaire, on cite :

❖ L'accident de Tchernobyl :

L'explosion du réacteur numéro 4 au sein de la centrale nucléaire de Tchernobyl, survenue le 26 avril 1986 à 1h23 du matin, entraîne d'importants rejets radioactifs dans l'atmosphère, qui se dispersaient au gré du trajet des masses d'air. Le nuage radioactif ainsi formé finit par couvrir une bonne partie de l'Europe au cours des journées suivant l'accident.

Les particules radioactives transportées dans les masses d'air finissent par retomber au sol sous forme d'un dépôt sec lorsque les particules sont à proximité du sol et sous forme de dépôt humide, sous l'effet de la pluie ou de la neige contaminée par les éléments radioactifs de l'air. Ces dépôts recouvrent aussi bien les végétaux, la terre qui les supporte, les plans d'eau mais aussi les surfaces bâties et les lieux de vie. Lorsque le dépôt est formé par les pluies, il se distribue au gré du ruissellement.

Les dépôts les plus importants se forment au voisinage immédiat de la centrale accidentée, sur un territoire devenu une zone d'exclusion, où retombent des particules de combustible nucléaire projetées lors de l'explosion. C'est également dans cette zone que sont enfouis ou entreposés des débris ou des matériels contaminés issus des interventions sur le réacteur

accidenté (IRSN, 2016).

❖ L'accident de Fukushima :

L'accident nucléaire de Fukushima, aussi appelé catastrophe nucléaire de Fukushima, est un accident industriel majeur survenu au Japon après le tsunami du 11 mars 2011. Il s'agit de la deuxième catastrophe de centrale nucléaire de l'histoire, classée au niveau 7, le plus élevé sur l'échelle internationale des événements nucléaires, au même degré de gravité que la catastrophe de Tchernobyl (1986), en particulier par le volume important des rejets radioactifs dans l'océan Pacifique.

L'accident nucléaire de Fukushima, un accident combinant les effets d'un accident nucléaire et d'un séisme. Le tsunami consécutif au séisme a mis hors service le système de refroidissement principal de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, entraînant la fusion des cœurs des réacteurs 1, 2 et 3 ainsi que la surchauffe de la piscine de désactivation du réacteur 4.

Parmi le personnel intervenu après l'accident, seules six personnes ont reçu des doses radioactives supérieures à 250 mSv (le Sievert étant l'unité de mesure des effets des rayonnements ionisants sur le corps humain)². Le syndrome d'irradiation aiguë est provoqué pour des doses supérieures à un *gray* (= 1 000 mSv).

A titre de comparaison, le personnel a été exposé en moyenne à des doses de 13 mSv. Parmi les travailleurs du nucléaire, seulement 0,8 % du personnel ont été exposés à des doses supérieures à 100 mSv. De même, aucune reconnaissance scientifique n'existe depuis dix ans sur un potentiel de développement du cancer.

La catastrophe a eu des répercussions sur l'industrie nucléaire mondiale, ainsi que des conséquences majeures au Japon, pour la centrale, les populations locales, l'approvisionnement électrique, ainsi que l'industrie nucléaire du pays.

❖ L'accident de Windscale :

Le 7 Octobre 1957 en grande Bretagne : l'explosion d'un container de 250 m³ dans un complexe de production de plutonium a donné lieu à un rejet de 7,4.10¹⁷ Bq dans l'atmosphère, dont environ 2,2.10¹³ Bq de ¹³⁷Cs (Pharabod, 1988).

❖ L'accident de Three Mile Island (TMI) :

Cet accident a eu lieu le 28 Mars 1979 aux USA il est dû à une interruption de la circulation d'eau qui alimente les générateurs de vapeur qui contribue à une explosion au cœur du réacteur, les radionucléides émis sont essentiellement l'Iode-131 et le xénon- 133 (BONIN, 2021).

1- Usines de retraitement des combustibles irradiés

Lorsque le combustible sort du réacteur, il est placé dans une piscine de désactivation proche du réacteur, pour laisser décroître sa radioactivité. Ce refroidissement permet de faire disparaître certains noyaux lourds (^{239}Np , ^{237}U) et les produits de fission à vie courte. Au bout d'un mois, la radioactivité globale du combustible ne représente plus qu'un dixième (1/10) environ de ce qu'elle était à la sortie du réacteur (LE PETIT et Granier, 2002). Les combustibles sont ensuite transportés vers les usines de retraitement (La Hague et Marcoule).

Un combustible irradié est le mélange de cinq constituants principaux :

- l'uranium (de l'ordre de 94.7 % en masse), appauvri en Uranium 235 par rapport au Combustible neuf (^{235}U de l'ordre de 0,9 %);
- le plutonium (isotopes 238, 239, 240, 241, 242) de l'ordre de 1%;
- des transuraniens (^{237}Np , ^{241}Am , ^{243}Cm) de l'ordre de 0,1%;
- des produits de fission de l'ordre de 3%;

des éléments métalliques (magnésium, zirconium, aluminium, molybdène), des constituants des aciers alliés au combustible ou de la gaine ainsi que les structures des crayons de combustibles (coques et embouts).

Le retraitement des combustibles usés a pour but la séparation de ces différents composants, soit pour recyclage (uranium, plutonium), soit pour traitement ultérieur (actinides mineurs), soit pour conditionnement sous forme de déchets ultimes (produits de fission vitrifiés...).

Ces opérations de retraitement conduisent également à des effluents liquides et gazeux qui sont épurés avant rejet dans l'environnement. L'air de ventilation des dispositifs de procédé et l'air issu des installations où il existe un risque de dissémination de la radioactivité sont traités et filtrés avant d'être rejetés (filtre THE, lavage alcalin, piège à iode...).

Le rejet gazeux est constitué principalement de krypton 85 et dans une moindre proportion de

Tritium sous forme HTO, de Carbone 14 sous forme de gaz carbonique, d'halogènes (principalement de l'iode 129 sous forme moléculaire), de Ruthénium 106 et de Césium 137 présents sous forme d'aérosols. (LE PETIT et Granier , 2002).

2- Les effluents radioactifs liquides :

Constitués essentiellement des produits de fission de l'uranium. Ils sont épurés par coprécipitation et filtration. Les principaux radionucléides rejetés sont le Tritium, les isotopes 106 du Ruthénium et du Rhodium, 90 du Strontium et de l'Yttrium, l'Antimoine 125, le Césium 137 et le Cobalt 60. (LE PETIT et Granier , 2002).

3- Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Certains établissements utilisateurs de substances radioactives (établissements de préparation, fabrication, transformation et conditionnement de substances radioactives, établissements utilisant des sources scellées et non scellées, établissements de dépôt et stockage de sources radioactives) sont classés pour la protection de l'environnement (ICPE) et doivent satisfaire à certaines dispositions. Dans la mesure où ces installations manipulent des sources radioactives non scellées, leur environnement peut présenter un marquage par les radionucléides mis en œuvre (LE PETIT et Granier, 2002).

En Algérie, ces genres d'installations sont soumis au décret exécutif n° 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006, définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement, qui varient selon la catégorie et les activités des radioéléments qu'ils contiennent.

4- Activités médicales

Dans les spécialités médicales utilisant les radiations ionisantes (radiodiagnostic, radiothérapie et médecine nucléaire), la médecine nucléaire est celle où sont utilisés des radio-isotopes en sources non scellées à des fins de diagnostic ou de thérapie.

Des sources non scellées sont également utilisées dans des laboratoires pour des dosages biologiques (radio-immunologie) ainsi que pour la recherche. (LE PETIT et Granier, 2002).

En Algérie ; les conditions d'emploi des radio-isotopes artificiels utilisés en sources non scellées à des fins médicales et de recherche biomédicale, , sont fixées par le décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants.

5- Utilisations de traceurs radioactifs dans l'industrie

Il est exclu d'établir une liste exhaustive de toutes les applications industrielles des radio-isotopes sous forme de sources non scellées.

Les domaines d'utilisation de traceurs sont nombreux et très variés: études de ventilation (débits, filtration...), contrôles de mélanges (fluides, poudres, gaz...), études hydrodynamiques, recherches de fuite, mesures des usures scellées qui sont le Sodium 24. Le Phosphore 32, le Potassium 42, le Chrome 51, le (moteurs, corrosion...). Les principaux radionucléides utilisés en sources non scellées sont le Fer 59, le Brome 82, le Krypton 85 et le Xénon 133 (LE PETIT et Granier, 2002).

6- La chute de satellites

Plusieurs satellites dotés d'une source d'énergie nucléaire ont chuté. En 1964, l'entrée d'un satellite dans l'atmosphère, au-dessus de l'océan indien, a dispersé du plutonium 238 sur l'ensemble du globe.

5. VOIES DE TRANSFERT DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT

Les radionucléides provenant de diverses sources sont transférés dans les différents compartiments de l'environnement (atmosphère, lithosphère, hydrosphère et biosphère) selon leurs comportements vis-à-vis des propriétés du milieu récepteur.

Les radionucléides sont soumis d'abord à des dispersions dans le milieu où ils se trouvent puis à des distributions dans des différents compartiments de l'environnement, et ils se présentent à l'état de gaz, de vapeur, de particules, d'aérosol et de matière en suspension (Nour-eddine, 2007).

Ces radionucléides atteignent l'environnement marin par deux voies :

- Voies de transfert atmosphérique.
- Voies de transfert aquatique.

5.1. Voies de transfert atmosphérique

Cette voie concerne essentiellement les aérosols provenant des retombées nucléaires des rejets d'effluents gazeux, ainsi que les rayonnements naturels qui émanent du sol sous différentes formes (Nour-eddine, 2007).

La dispersion et la diffusion sont deux processus fondamentaux régissant le transfert de ces matières radioactives dans l'atmosphère. Les matières radioactives dispersées dans l'atmosphère se transfèrent vers les milieux terrestres et aquatiques par dépôt sec et humide.

Ce transfert dépend des conditions climatiques, de la nature des sols et des propriétés physico-chimiques des radionucléides ((WHE, et al., 1981)

Les matières radioactives déposées au sol ont deux comportements, elles peuvent rester fixées en surface ou introduites dans les couches souterraines pour arriver aux nappes phréatiques. Ainsi l'érosion des terres contenant des radionucléides entraîne leur transfert vers les eaux de surfaces adjacentes et par utilisation de ces eaux, les radionucléides sont retrouvés à nouveau dans le sol.

Les matières radioactives arrivées au sol peuvent se retrouver dans l'atmosphère par le processus de la remise en suspension.

5.2. Voies de transfert aquatique

Les matières radioactives qui arrivent au milieu aquatique en provenance des retombées atmosphériques, du lessivage des sols et des rejets d'effluents liquides, vont transférer suivant deux types d'actions qui dépendent de la forme sous laquelle les radionucléides se présentent.

- les formes solubles qui sont soumis à une action de dilution suivie d'une dispersion dans l'eau.
- les formes insolubles qui subissent une action de fixation sur les formes colloïdales, les matières organiques ou biologiques (plancton) finissent par la suite de se déposer au fond de l'eau par gravitation.

Ces propriétés sont essentielles pour le choix de l'échantillon à analyser, de la quantité à prélever, ainsi que des techniques de conditionnement et de préparation de l'échantillon

Le transfert du milieu aquatique vers le sol et l'atmosphère se fait respectivement par les pratiques d'irrigation et le phénomène de remise en suspension des sédiments.

Pendant ces transferts, par ses deux voies (atmosphérique et aquatique), des matières radioactives peuvent passer dans la chaîne alimentaire et atteindre l'homme par la consommation d'animaux aquatiques ou d'eau potable contaminés. Il est atteint aussi par son exposition directe à la radioactivité.

5.3. Comportement et devenir des radionucléides dans le milieu marin

5.3.1. Dans l'eau de mer

La forme physico-chimique sous laquelle se trouvent les radionucléides dans le milieu marin définit de manière directe le devenir de ces dernières. En effet, les formes particulières sont beaucoup moins favorables à la dispersion que les formes solubles ; celles-ci présentent de meilleures conditions à la fixation.

La dispersion des radionucléides dans l'eau de mer est générée par une action physico-chimique et une action hydrodynamique (ANCELLIN, et al., 1979).

5.3.1.1. L'action physico-chimique

Cette action est générée par les constituants et les composantes physico-chimiques du milieu aqueux. D'après les travaux de BITTEL, 1965 ; on résume ce qui suit :

- Une augmentation de température accentue la fixation.
- La viscosité, par contre, perturbe les phénomènes de diffusion.
- La forme colloïdale est favorisée en milieu oxydant et aussi par une augmentation de pH.
- La teneur en matière organique présente un double effet par le phénomène de complexations

Ces derniers auront donc, d'une part, tendance à la dispersion et d'autre part, ils s'intégreront plus aisément dans la chaîne alimentaire.

La matière en suspension favorise la fixation des radionucléides mais elle est aussi un véritable vecteur de pollution.

On souligne, enfin, que la présence dans l'eau de mer d'isotopes naturels stables peut diminuer la teneur des radionucléides artificiels par le phénomène de "dilution isotopique".

5.3.1.2. Action hydrodynamique

Elle permet la dispersion des radionucléides par des mouvements de masses d'eau et divers courants, ils assurent le brassage et la transmission des constituants et propriétés du liquide. En présence de marée, les radionucléides entrent en mouvements oscillatoires puis entraînés horizontalement et verticalement par le mélange turbulent.

Dans d'autres cas, les radionucléides se déplacent dans le sens général du courant. La morphologie du secteur du point de rejet peut influencer les mouvements des masses d'eau et créer des zones stables favorables aux dépôts des polluants.

On note aussi, qu'en dehors de l'action hydrodynamique, les radionucléides peuvent être véhiculés par des organismes fixateurs tel que, le plancton, notamment pendant la saison printanière.

5.3.2. Dans le sédiment

Plusieurs facteurs entrent en vigueur dans les bases qui régissent le comportement des radionucléides au niveau du sédiment. Ils sont liés au sédiment, aux radionucléides et au milieu de dispersion (eau).

Les radionucléides présents dans l'eau de mer peuvent précipiter directement quand ils sont sous forme colloïdale. Ils peuvent aussi se fixer aux matières en suspension et autres organismes marins, puis finiront par se sédimenter.

La fixation des radionucléides peut aussi se faire directement par absorption. (PNUE/AIEA, 1992)

5.3.2.1. Facteurs liés au sédiment

La fraction fine favorise le phénomène d'adsorption ce qui explique, la fixation préférentielle des radionucléides sur cette dernière.

La fixation peut aussi dépendre de la composition minéralogique du sédiment, en outre, la présence d'argile retient plus facilement les radionucléides en raison de ses capacités absorbantes.

De même, la matière organique caractérisée par sa capacité d'échanges assure une meilleure fixation des radionucléides.

5.3.2.2. Facteurs liés aux radionucléides

Les radionucléides hydrolysables offrent une fixation plus rapide et parfois immédiate. De même pour les formes solubles cationiques qui présentent un plus grand pouvoir de fixation par rapport aux formes anioniques. Une fois les radionucléides fixés sur le sédiment, leur devenir sera soumis à deux tendances opposées.

- L'une, est le passage du radionucléide en phase aqueuse, ce phénomène appelé aussi désorption, sont produit par la remise en suspension du radionucléide et son passage du sédiment vers l'eau de mer, en raison d'une chute de sa teneur dans celle-ci (dilution isotopique).
- L'autre, est la pénétration du radionucléide dans le sédiment : le principal mode de pénétration des radionucléides dans le sédiment revient au phénomène de la sédimentation. L'action hydrodynamique remue parfois les couches superficielles et favorise l'enfouissement des radionucléides.

Ils peuvent aussi être entraînés par les organismes fousseurs.

Enfin, les radionucléides peuvent, selon leur forme physico-chimique, pénétrer dans le sédiment par le phénomène de diffusion.

5.3.3. Dans le milieu biologique

Le milieu biologique est la composante qui suscite le plus d'intention pour la radioprotection. En effet, la voie alimentaire est la principale source de radio exposition de l'homme.

La dispersion des radionucléides et leur introduction dans les organismes marins sont des processus conditionnés par des combinaisons physico-chimiques et biologiques très complexes, spécifiques à chaque radionucléide ou série de radionucléides.

La décontamination peut se faire par l'eau de mer, le sédiment marin et la nourriture (AMIRAD, et al., 1980).

5.3.3.1. Radioactivité des espèces biologiques (faune aquatique)

Les courants dispersent les radionucléides qui se fixent sur les particules en suspension dans l'eau et décantent peu à peu vers le fond où ils seront accumulés et stockés dans les sédiments, dont la radioactivité peut être de 100 à 10 millions de fois plus élevée que celle de l'eau de mer. Les organismes marins peuvent, par des mécanismes physiologiques comme la filtration d'eau, accumuler certains radionucléides avec un facteur de concentration de 5 à 100 000 par rapport à l'eau de mer. Les bio indicateurs utilisés sont, par exemple, l'algue du genre fucus, l'huître, la moule, la coquille Saint- Jacques, le crabe ou le homard.

Les bio indicateurs utilisés sont les mollusques comme la palourde asiatique et la moule, ainsi que les mousses aquatiques. La radioactivité d'un organisme vivant est le résultat d'un bilan entre la contamination (qui se fait par l'eau et la nourriture) et la décontamination (qui est due à la désintégration physique des radionucléides et à leur élimination biologique).

Par le passé, la flore, la faune et les autres organismes vivants étaient considérés, dans les évaluations scientifiques, comme des parties de l'environnement où des radionucléides pouvaient se disperser. C'étaient en quelque sorte des ressources qui, une fois contaminées, risquent d'exposer l'homme aux rayonnements, dans la mesure où plantes et animaux, faisant partie de la chaîne alimentaire, pouvaient constituer des voies de transfert des radionucléides vers l'homme. En somme, les évaluations ne faisaient que traduire la position généralement acceptée selon laquelle il fallait en priorité évaluer les conséquences possibles sur les êtres humains. Nous citons à titre d'exemple les travaux suivant :

- Royaume Unis, l'étude sur les radionucléides naturels dans les fruits de mer faite de Juillet 1999 à Août 2001 de la part d'A.K. Young, D. McCubbin et W.C. Camplin, il est déduit que les organismes obtenus près du rivage (par exemple les buccins, les patelles, les bigorneaux, les coques et les moules) avaient tendance à contenir des concentrations plus élevées que ceux obtenus au large. Le ^{210}Pb n'est pas uniformément distribué entre les différentes espèces aquatiques, avec une concentration médianes de ^{210}Po dans les différentes espèces qui varient de 0,42 Bq kg⁻¹ dans la morue à 38 Bq kg⁻¹ dans les moules (soit une variation d'environ 90 fois).

Radionucléides dans les poissons d'eau profonde et autres organismes de l'océan Atlantique Nord (Fernando P. Carvalho, 2010).

- Des échantillons de tissu musculaire [10 g de poids sec (ps)] ont été analysés pour les

radionucléides émetteurs gamma, tels que le radiocésium (^{137}Cs et ^{134}Cs), le Cobalt-60 (^{60}Co), le potassium-40 (^{40}K) et l'iode-131 (^{131}I). Parmi les radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle, le potassium radioactif (^{40}K) présentait les concentrations les plus élevées, allant approximativement de 100 à 150 Bq kg⁻¹.

5.3.3.2. Radio-contamination par l'eau de mer

Le passage des radionucléides de l'eau de mer vers le milieu biologique dépend de leurs formes physico-chimiques. Il apparaît que les formes insolubles ont une plus grande capacité de contamination. D'autres facteurs liés au milieu, agissent et influent sur le pouvoir de rétention des radionucléides.

Lorsque la température augmente, la fixation est d'autant plus favorisée et donc la contamination devient plus facile, alors que la salinité intervient en modifiant les échanges osmotiques : elle influe en fonction inverse sur le facteur de concentration biologique.

Le transfert par l'eau des radionucléides dépend aussi de l'espèce ou groupe d'espèces en question. Il convient de ce fait, de souligner les compétitions ioniques existantes entre le potassium et le césium d'une part, et le calcium avec le strontium d'autre part.

On constate, par ailleurs, que la contamination varie selon le stade de développement et l'âge de l'espèce ; les organismes au stade jeune présentent le plus grand pouvoir de rétention. On assiste, ainsi, à une diminution du taux d'accumulation, lorsqu'on passe des niveaux trophiques inférieurs aux plus élevés.

5.3.3.3. La radio-contamination par le sédiment

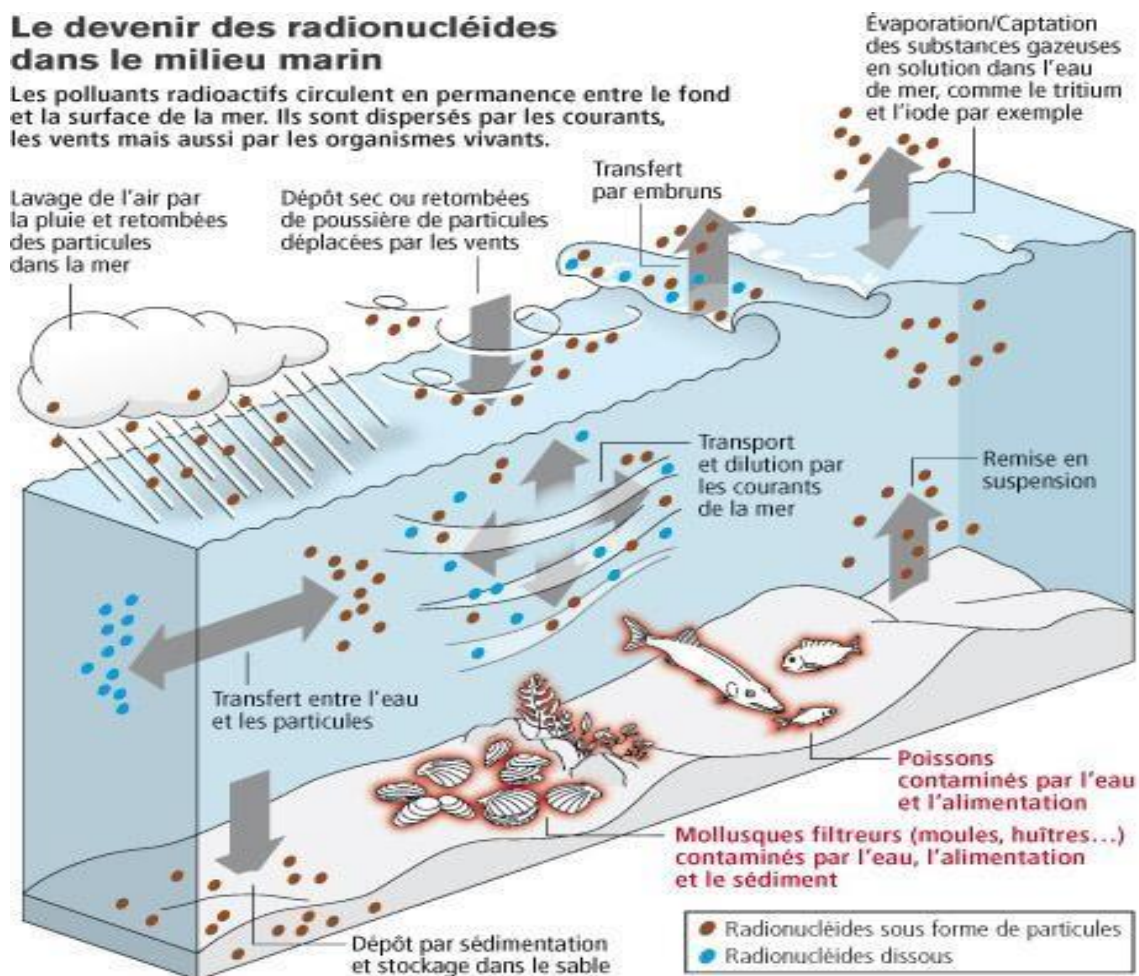
Le transfert par le sédiment des radionucléides vers les organismes est relativement faible, comparé à celui engendré par l'eau ou la nourriture.

Nous avons vu que plusieurs facteurs priment, quant à fixation des radionucléides sur le sédiment, entre autres, la fraction fine, notamment argileuse. Les transferts radioactifs sont surtout, susceptibles par le biais des sédiments vaseux, qui peuvent contenir de la matière organique.

Cette dernière va permettre d'entraîner les radionucléides dans la chaîne trophique. Mais en définitive, le sédiment a un rôle fixateur plus important que son pouvoir contaminant, il est ainsi parfois, recommandé comme moyen de décontamination dans les cas de pollution accidentelle aiguë.

Le devenir des radionucléides dans le milieu marin

Les polluants radioactifs circulent en permanence entre le fond et la surface de la mer. Ils sont dispersés par les courants, les vents mais aussi par les organismes vivants.



Hervé Bouilly/IRSN - Source IRSN

Figure 3 : : Devenir des radionucléides dans le milieu marin (IRSN,2004).

5.4. L'auto-décontamination

Elle constitue un pouvoir d'autoépurations des organismes marins vis-à-vis des radionucléides. L'élimination s'effectue par plusieurs phénomènes d'excrétion, notamment, la voie rénale ou extra-rénale et l'excrétion fécale ; elle peut tuer à travers les branchies pour certaines espèces de poissons.

L'élimination du radionucléide peut se faire également échanges isotopiques. Le mode et le pouvoir d'autoépurations est spécifique à l'espèce et dépend des propriétés physico-chimiques du radio-contaminant. Lorsque l'espèce en question passe d'un milieu pollué, vers un milieu moins pollué, l'élimination l'emporte sur la contamination et l'équilibre tend en sa faveur.

6. LES RISQUES DES RAYONNEMENTS SUR LES CELLULES VIVANTES (RISQUES RADIOLOGIQUES)

Les rayonnements émis par les radioéléments ionisent certains atomes des matériaux qu'ils traversent en leur arrachant de façon directe ou indirecte des électrons : ils sont appelés rayonnement ionisant.

Les rayonnements ionisants interagissent avec les cellules vivantes, ces dernières subissent un effet par ce type de rayonnements, qui les sensibilisent. Les molécules d'acide désoxyribonucléique (ADN) sont les cellules ciblées, en provoquant une chaîne de détérioration tel que la mutagénèse, la cancérogénèse voir dans le pire des cas la mort de la cellule, ces transformations radio-induites peuvent aussi bien être effectuées directement sur les structures d'ADN, ou indirectement par radiolyse de l'eau proche de l'ADN, il y aura pour conséquence des cassures, des dégradations et la création de pontages par liaisons chimiques entre une base d'ADN et une protéine. (Caillot, 2002)

Des dommages apparaissent au niveau cellulaire ou au niveau des organes et des tissus traversés par les rayonnements. Les risques sur la santé seront en fonction de l'énergie déposée dans le corps humain et de la durée d'exposition. Ces risques sont de deux types : déterministes ou stochastiques.(Figure 4)

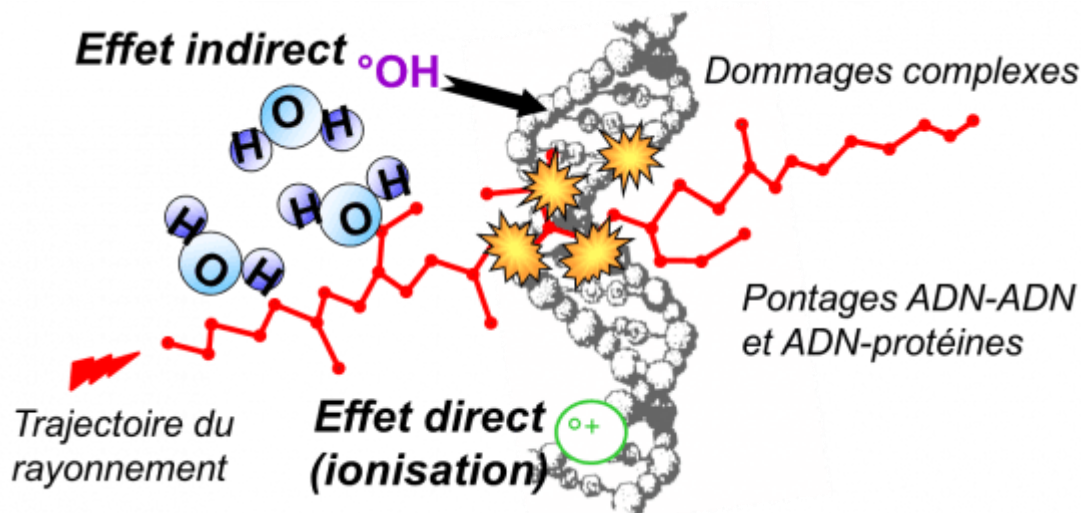


Figure 4 : Effets biologiques de la radioactivité.

6.1. Les risques déterministes

Lorsque les organes ou les tissus reçoivent une énergie dépassant un certain seuil, les rayonnements ionisants entraînent la mort de nombreuses cellules dans les organes ou tissus exposés et peuvent induire des effets sur la santé, ces effets sont dits obligatoires ou déterministes et ils présentent les caractéristiques suivantes :

- Existence d'un seuil au-dessus duquel les lésions sont observées chez tous les sujets.
- Pour un même effet, tous les individus d'une même espèce n'ont pas exactement le même seuil.
- La gravité du dommage augmente avec la dose.
- Les effets sont généralement très précoces.

Ces effets apparaissent dans les jours ou semaines qui suivent l'irradiation.

Il peut être observé des brûlures cutanées, d'aplasie médullaire due à la destruction du tissu fabricant les cellules sanguines (Lorsque l'ensemble du corps a été irradié).

De plus, les Expositions très élevées, c'est-à-dire de l'ordre de quelques Gy, d'une grande partie du corps peuvent conduire au décès dans les semaines qui suivent l'exposition.

Ces effets s'expriment dans des plages de dose de l'ordre de 0,5 à quelques Gy, aux organes ou au corps entier, pour une exposition de courte durée (BOISSON, et al., 2020).

6.2. Les risques stochastiques

Parmi les lésions induites au niveau cellulaire par les rayonnements ionisants, certaines ne peuvent pas être complètement réparées. Il persiste alors une lésion dans le matériel génétique de la cellule qui peut conduire, au cours de la multiplication des cellules, à des mutations cellulaires. Celles-ci peuvent entraîner l'apparition d'effets héréditaires ou induire des transformations des cellules qui, plusieurs années après l'exposition, peuvent engendrer des cancers survenant de façon aléatoire dans la population exposée (BOISSON, et al., 2020).

Les caractéristiques suivantes :

- Ils sont aléatoires : ils n'apparaissent que chez certains individus.
- La probabilité d'apparition augmente avec la dose.
- la gravité est indépendante de la dose : ils sont dits "effets en tout ou rien".
- Ils sont non spécifiques des rayonnements ionisants.

7. OUTILS NUMERIQUE POUR L'ETUDE DE IMPACT DE LA RADIOACTIVITE DANS LE MILIEU MARIN

7.1. Présentation de l'outil ERICA

ERICA est un acronyme signifiant (Environmental Risk for Ionising Contaminants: Assessment and Management). C'est un outil qui permet d'évaluer le risque pour l'environnement de rejets chroniques de substances radioactives (BROWN, et al., 2008).

Ce logiciel peut être obtenu à partir du site internet (<http://www.eric-tool.com>) La version utilisée dans ce travail est ERICA Tool 2.0 développé en Novembre 2021, cet outil permet une approche intégrale grâce à ses trois niveaux de précision croissant. (Zinger et al., 2007)

7.2. L'interface d'ERICA:

L'interface de l'outil ERICA est représentée dans la figure suivante (figure 5), on y retrouve la barre du menu et outils en haut à gauche.

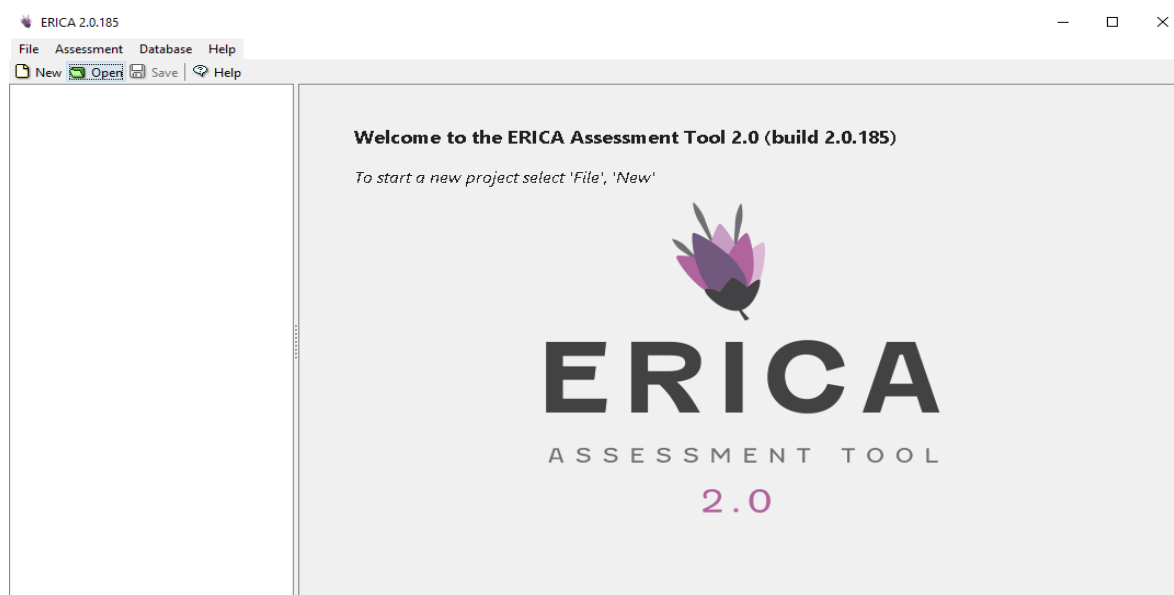


Figure 5: Interface principale de code ERICA.

7.3. Fonctionnalités de l'outil ERICA

L'outil comprend une base de données avec les paramètres radioécologiques et dosimétriques par défaut. Les bases de données par défaut sont en lecture seule, fournissant des données génériques dérivées de la littérature. Pour permettre à l'utilisateur de définir et utiliser d'autres paramètres radioécologiques, une base de données éditable est également disponible.

Lors de l'utilisation de l'outil ERICA, 3 niveaux aux caractéristiques spécifiques sont proposés :

- **Le niveau 1 (Tier 1) :** Considéré comme "Très prudent", simple à utiliser. Dans cet écran, vous devez sélectionner les radionucléides qui doivent être pris en compte dans l'évaluation de niveau 1, l'écosystème dans lequel les radionucléides sont pris en compte et si vous allez saisir les concentrations dans le milieu spécifiques au site ou utiliser des modèles de transport simples et conservateurs.

Si l'outil recommande de sortir de l'évaluation, la situation peut être considérée comme une préoccupation radiologique négligeable.

- **Le niveau 2 :** c'est le niveau de dépistage le moins conservateur, il calcule les débits de dose mais permet à l'utilisateur d'examiner et de modifier la plupart des paramètres utilisés dans le calcul, notamment les rapports de concentration, les coefficients de distribution, le pourcentage de poids sec de sol ou de sédiments, les coefficients de conversion de dose, les facteurs de pondération du rayonnement et les facteurs d'occupation.

L'utilisateur peut également saisir les concentrations d'activité du corps entier du biote si elles sont disponibles plutôt que de se fier aux rapports de concentration, il peut ainsi modifier les paramètres de transfert, les concentrations d'activité du milieu et du biote peuvent être saisies (les valeurs recommandées). Les débits de dose estimés absorbés par le corps entier sont comparés directement au débit de dose de dépistage. Le système de "feux de circulation" indique si la situation est : d'une préoccupation négligeable (avec un haut degré de confiance) que l'utilisateur est recommandé de quitter le processus d'évaluation ; de préoccupation potentielle. Il est recommandé à l'utilisateur de revoir et de modifier l'évaluation et de poursuivre l'évaluation. Les résultats peuvent être évalués par rapport à des tableaux résumés des effets et de l'exposition dus aux radionucléides naturels.

- **Le niveau 3** : ce niveau n'est pas normatif et n'a pas de réponse "oui/non", il offre la même flexibilité que le niveau 2, mais permet d'effectuer l'évaluation de manière probabiliste si les fonctions de distribution de probabilité des paramètres sous-jacents sont définies et les débits de dose de fond. L'outil intègre des modèles de transport simples pour permettre des estimations prudentes des concentrations d'activité des médias à partir des données de rejet si les mesures ne sont pas disponibles ; les modèles de transport sont tirés des Modèles génériques de l'AIEA (2001), à utiliser pour évaluer l'impact des rejets de substances radioactives sur l'environnement. AIEA Safety Report Series 19 STI/PUB/1102

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude.

1. ZONE D'ETUDE

1.1. Description et Situation géographique de la baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne de forme semi-circulaire et avec une superficie approximative de l'ordre de 180km², elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja. Elle est délimitée par deux caps, Rais Hamid ou (la Pointe Pescade) à l'Ouest et par Tamentfoust (cap Matifou) à l'Est, cette baie donne sur la Méditerranée au Nord.

Les coordonnées de la baie d'Alger :

Les longitudes : de 03°01'00''E à 03°14'30''E. Les latitudes : de 36°44'30''N à 36°49'15''N.



Figure 6 : Situation géographique de la baie d'Alger.

1.2. Climatologie

1.2.1. Le vent

La modélisation numérique faite à partir d'un point de mesure dans le large de la baie d'Alger (dite Simart Point) avec les coordonnées de Longitude : 3.00° E et Latitude : 37.00° N, grace au site de Puerto Del estado <http://www.puertos.es/en-us>, il a été possible de reconstituer les données du vent de 1958 à 2020 avec les résultats suivants (Figure 7) :

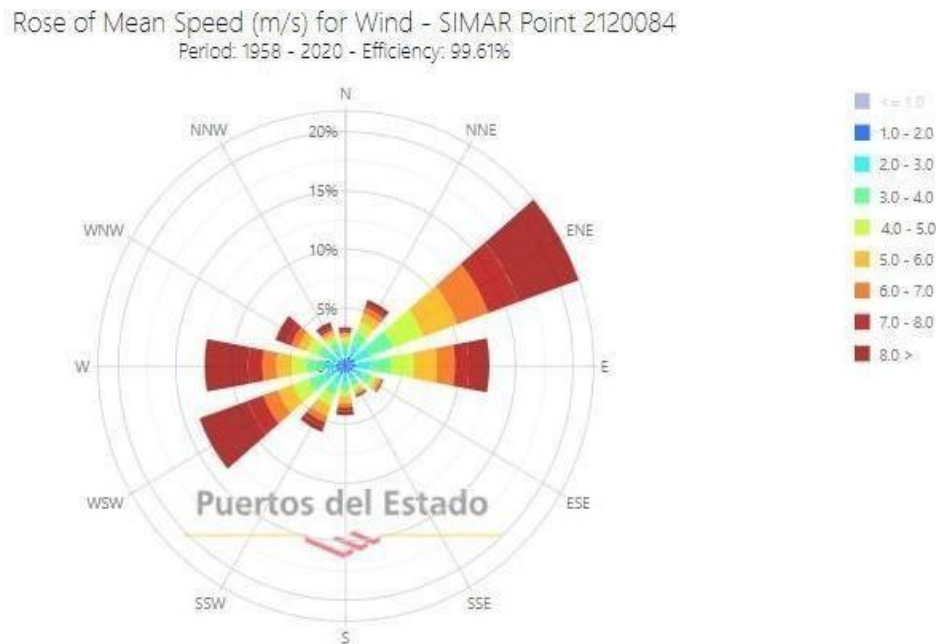


Figure 7 : Rose des vents du site de Puerto Del Estado de la période de 1958 à 2020 (Puertos del Estado).

La rose des vents ci-dessus montre la prédominance des vents dans la direction d'Est-Nord-est et Ouest-Sud-ouest. En Analysant les données climatologiques de 10 ans de la station de Dar El Beida obtenue à l'aide de site de « www.rp5.ru », représentant les enregistrements des vents ainsi que leur direction pendant 10 ans (2010-2019) et en faisant ressortir les moyennes de vitesse des vents par mois. On constate que les vents sont plus considérables durant le mois de Février et Mars ce qui correspond à 3.26m/s (période hivernale) et un pic exceptionnel de 3.3m/s durant le mois de juillet.

1.2.2. Précipitation

On observe un taux de précipitation considérable durant l'hiver et l'automne lors du mois de novembre, qui diminue lors du printemps pour atteindre son minimum durant l'été. Des données mensuelle concernant les précipitations ont été récoltées à partir du site météorologique « MétéoCiel » l'histogramme ci-dessous (Figure 8) représente le taux de précipitation sur la baie d'Alger.

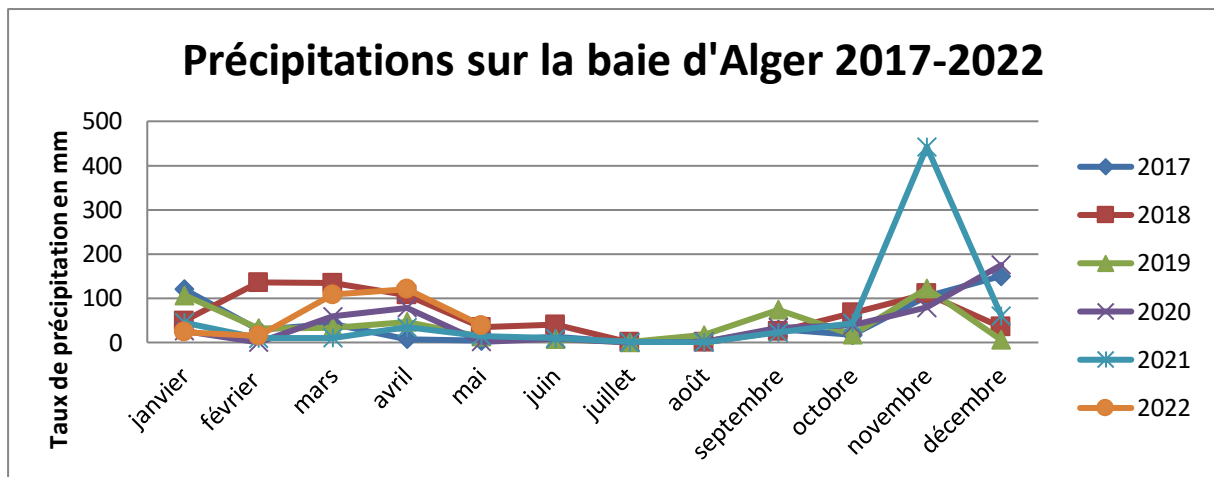


Figure 8 : Variations de précipitation à Alger de 2017 à 2022. (Météociel.fr)

1.2.3. Température

Les étés sont chauds, lourds, secs et dégagés dans l'ensemble et les hivers sont longs, frisquets, venteux et partiellement nuageux. Des données mensuelles de la variation de la température ont été reportées à partir du site météorologique «MétéoCiel » l'histogramme ci-dessous (Figure 9) représente la variation mensuelle des températures sur la baie d'Alger. Les données ont été recueillies sur le site internet www.Meteo-Ciel.fr.

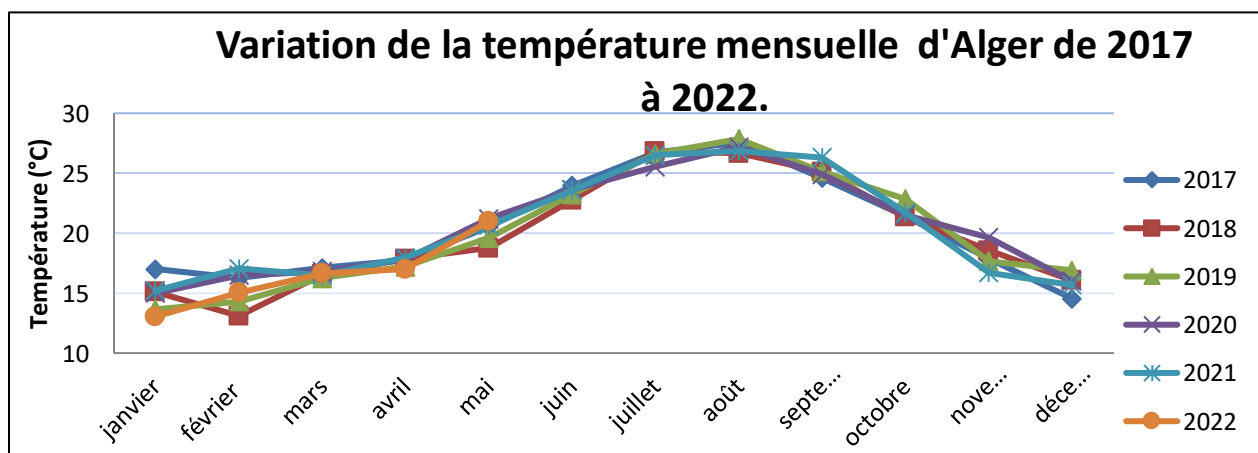


Figure 9 : Variations de température à Alger de 2017 à 2022. (Météociel.fr)

1.3. Cadre océanographique

Courantologie

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale (MOLLIT, 1987).

Le courant Algérien : c'est un courant général (qui domine au large de la région d'étude), d'origine atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis. Ce courant général entre 1° et 2° Est devient instable pour former des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (La remontée d'eau). (MILLOT et al, 1990)

❖ **Le courant de retour :** correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large (HOUMA, 2009).

❖ **Les courants de dérive littorale :** Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale (MILLOT, 1987). Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

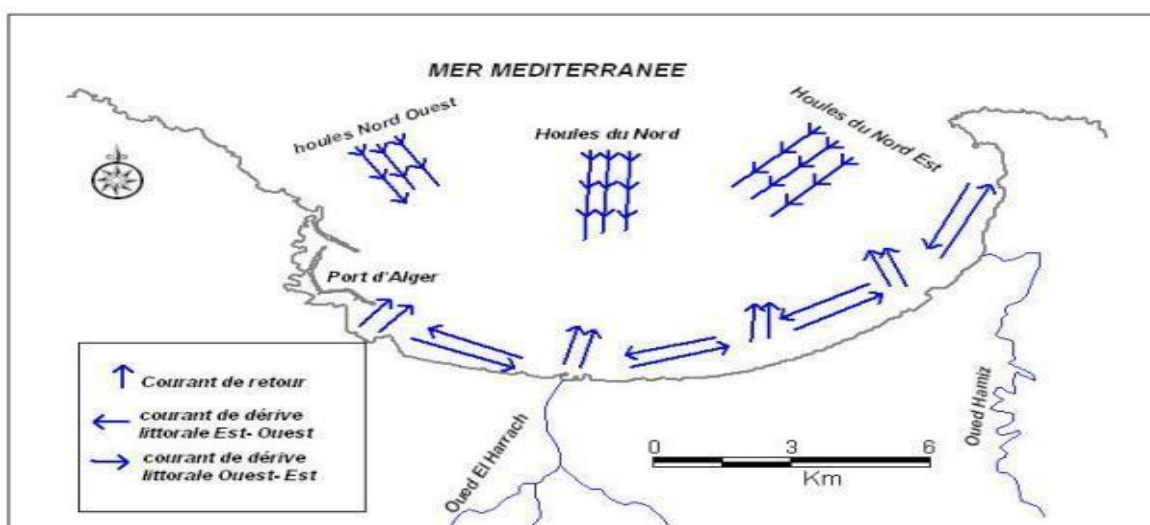


Figure 10 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM, 1998)

Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la baie d'Alger se caractérise par la présence d'oueds à régime temporaire et irrégulier tels qu'Oued El Harrach et Oued El Hamiz. Durant l'été les lits de oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à des simples filets d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale. La baie d'Alger est donc alimentée par ces deux cours d'eau qui prennent leurs sources dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de Métidja (LEM, 2009).

Oued El Harrach

Le régime hydrographique de l'Oued EL Harrach se caractérise par un long étiage de six (6) mois et des crues d'Hiver et de Printemps soudaines et rapide. Son bassin versant couvre une superficie **970 km²**, son débit en période de pluie est de **1000m³/s**. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important (LEM, 1998).

Oued El Hamiz

Oued El Hamiz se jette à l'est de la baie près du cap Matifou. La superficie du bassin versant est de **160 km²**, son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (LEM, 1998), l'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30ème) de mètre de large (LEM, 1998).

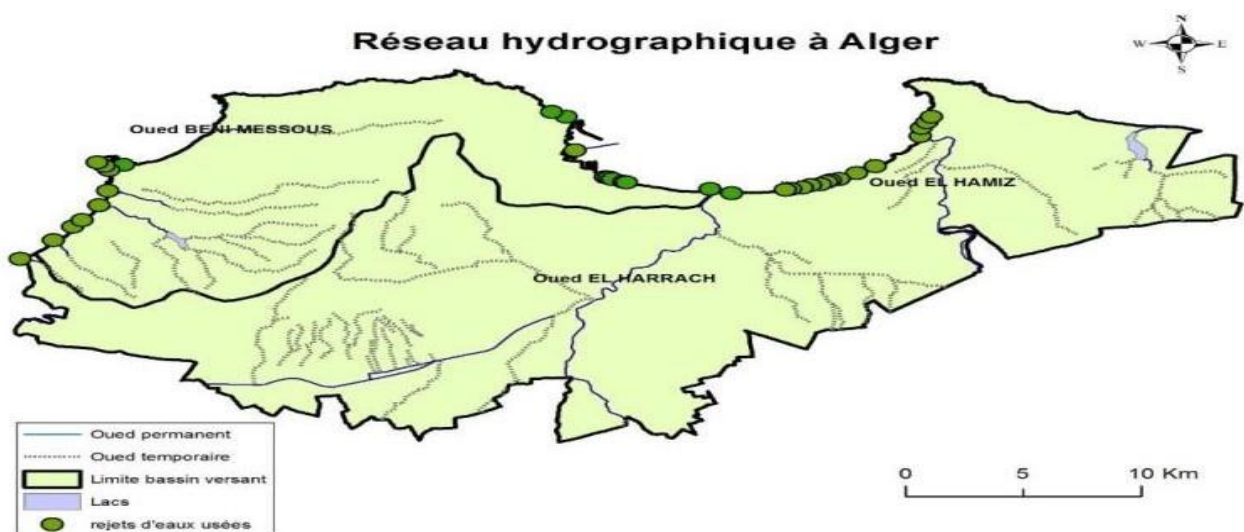


Figure 11 : Réseau hydrographique d'Alger. (M RABEHI ,2018)

1.4. Géologie et sismicité

Le contexte géologique de la région d'Alger est très complexe, du fait qu'il existe un passage brusque des terrains métamorphiques anciens d'âge Primaire vers des terrains sédimentaires d'âge Tertiaire (BENALLAL, et al., 1988).

1.5. Démographie des communes côtières de la baie d'Alger

La baie d'Alger centralise un mouvement démographique important le long du littoral, ceci est lié au fort potentiel économique (Port D'Alger, infrastructures étatiques à l'Ouest, zone résidentielle au centre, et zone industrielle à l'Est), l'évolution de la densité de la population des 11 communes côtières de la baie est synthétisée ci-dessous, (figure 12) (ONS, 2008)

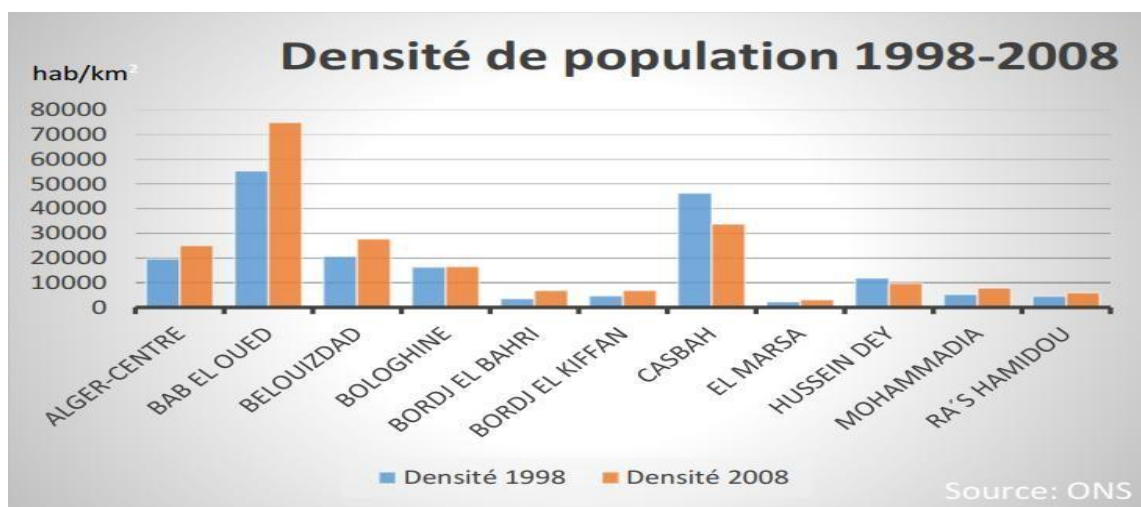


Figure 12 : Histogramme de densité de la population D'Alger 1998-2008. (ONS)

1.6. Infrastructures portuaires

La baie d'Alger bénéficie de plusieurs infrastructures, dont la fonction diffère :

- Phares : 3
- Port Commercial : 1 (Port d'Alger)
- Ports de Plaisance : 2 (Port de Sidi-Fredj, Port de Tamenfoust)
- Ports de pêche : 3 (Port d'Alger, Port El-Djamila et Port Rais Hamidou)

Chapitre III : Matériels et méthodes

Ce chapitre présente les étapes effectuées pour la préparation des échantillons de poissons et des mollusques, les techniques de conditionnement, de conservation et de traitement ainsi que l'analyse par la technique spectrométrie gamma.

1. ÉCHANTILLONNAGE ET PRETRAITEMENT

1.1. Informations relatives au prélèvement

Les différentes caractéristiques relatives aux échantillons sont énumérées dans le tableau ci dessous :

Tableau 2: Caractéristiques des échantillons.

Code de l'échantillon	Nature de l'Echantillon	Date d'échantillonnage	Site d'échantillonnage	Coordonnées géographiques	Quantité prélevé (g)
M1	Moules <i>(Mitylus Galloprovincialis)</i>	28-05-2022	Tamenfust	36°48'20.88"N 03°13' 48.36"E	3880,95
M2		01-06-2022	Tamenfust	36°48'20.9"N 03°13'48.3"E	1193,99
M3		14-06-2022	Ain Taya	36°47'52.6"N 03°17'48.4"E	1666,12
M4		14-06-2022	Promenade des Sablettes	36°44'43.4"N 03°07'07.2"E	3014,70
P1	Poisson (<i>Boops Boops</i>) Adulte	31-05-2022	Ouest de la Baie d'Alger- Rais Hamidou	A proximité de la cote	1539,53
P2	Poisson (<i>Boops Boops</i>) Jeune	31-05-2022	Ouest de la Baie d'Alger- Rais Hamidou	A proximité de la cote	1693,70
P3	Poisson (<i>Boops Boops</i>)	08-06-2022	Est de la Baie d'Alger	A proximité de la cote	1504,63
P4	Poisson(Thon)	12-2021	VIETNAM	-	2025,63

Deux échantillons ont été intégrés avec le lot, à savoir :

- Un échantillon de moule d'Ain Taya (Serkouf), aux alentours de la baie d'Alger. Cet échantillon a été rajouté à titre de comparaison des moules d'élevage se situant près de notre zone d'étude.
- Un échantillon de thon commercialisé et qui a fait l'objet d'une analyse au niveau du laboratoire d'analyse isotopique du CRNA, Ce dernier a été rajouté pour se familiariser avec la méthodologie de traitement et d'analyse en attendant l'arrivée des échantillons ou laboratoire d'environnement.



Figure 13 : localisation des sites de récupération des échantillons.

1.2. Systématique de l'espèce prélevée

Différentes espèces ont fait objet d'analyse lors de ce travail :

1.2.1-Présentation de l'espèce *Boops Boops* (Linne, 1758)

Communément appelé la Bogue (bouga), Selon (Bauchot et Pras, 1980) et (Fisher et al., 1987), *Boops boops*, présente un corps allongé subcylindrique. Le dos est d'une coloration verdâtre, avec des flancs à reflets argentés ou dorés marqués de 3 à 5 lignes, la tête est petite et porte deux grands yeux, une petite tâche brune limitée à l'aisselle des pectorales, une ligne latérale foncée, et des nageoires claires. Les dents sont toutes des incisives.

La taille moyenne de cette espèce est comprise entre 15 et 20 cm et peut atteindre 36 cm de longueur (KHERRAZ, et al., 2016).

- Systématique de l'espèce *Boops Boops* :

Les Ostéichthyens possèdent un squelette osseux, à l'opposé de celui des Chondrichtyens qui est cartilagineux. Les téléostéens Percéides sont caractérisés entre autres, par une queue homocerque, des écailles minces cténoïdes, un appareil operculaire complet, des nageoires dorsales, ventrales, pelviennes et anales. L'espèce étudiée appartient à la famille des sparidés qui entre dans cette dernière catégorie.

La position systématique de ce groupe de poissons est définie à partir de différents travaux notamment ceux de (Dieuzeide et al. 1955) et (FISCHER. 1987):

Embranchement : Vertébrés.

Sous embranchement : Gnathostomes.

Super classe : Osteichthyens **Classe** : Actinopterygiens **Sous classe** : Néoptérygiens **Infra**

classe : Téléostéens

Super ordre : Acanthoptérygiens

Ordre : Perciformes

Sous ordre : Percéides

Famille : Sparides

Genre : *Boops* (Cuvier, 1814)

Espèce : *Boops boops* (Linne, 1758)



Figure 14 : Aspect général du poisson Boops Boops.

1-2-2-Présentation des Moules galloprovincialis :

La moule méditerranéenne a une coquille allongée, sub-quadrangulaire et équivalve, de couleur violacée à brun fauve, ornée de fines stries d'accroissement et à péri ostracum.

- La systématique de l'espèce galloprovincialis :

Embranchement : **Mollusca**

Classe : Bivalvia

Sous-classe : Petrimorphia

Ordre : Filibranchia

Famille : Mytilidae

Genre : *Mytilus*

Espèce : *galloprovincialis*



Figure 15 : Aspect général de *Mytilus galloprovincialis*.

1.3. Prétraitement des échantillons

- Cas du poisson :

Les échantillons de poisson ont été récupérés au niveau du port d'Alger, ils ont été pêchés aux deux extrémités de la baie d'Alger. Les échantillons ont été transféré au laboratoire du CRNA, où ils ont été désarêter et libérer de leurs tête et de leurs queue.

- Cas des moules :

Les échantillons de moule ont été prélevé a différents endroit de la baie, sur une profondeur qui varie entre 0 et -40cm. Les Moules ont été Conservé après rinçage au laboratoire du CRNA avant de subir le reste du traitement.

Lavage avec brosse et rinçage avec l'eau distillée afin d'enlever les épibiotés et les sédiments, puis les moules ont été vidé afin de conserver que la chaire.

1.3.1. La pesée

Les balances analytiques sont des instruments de pesage très précis. En raison de la sensibilité de la cellule de pesée hautes performances, les balances analytiques sont équipées d'un pare-brise pour garantir un environnement de pesage stable.

- Les échantillons ont été pesés lors de leurs arrivées au laboratoire, en étant humide et après leur passage à l'étuve, une fois sec.
- Le taux d'humidité a été calculer avec la formule suivante :

Le tableau suivant, représente les caractéristiques des différents échantillons lors de leurs préparations (Tableau 3).

$$\text{Taux d'humidité} = 100 \times \frac{(\text{Masse humide} - \text{Masse sèche})}{\text{Masse humide}}$$

Tableau 3 : Caractéristiques des échantillons lors de la préparation.

Echantillon	Poids humide (g)	Poids sec. (g)	Taux d'humidité %
M1	1540,80	206,18	86.62
M2	425,40	88,42	79.21
M3	568,44	98,87	82.61
M4	862,83	181,01	79.02
P1	985,52	218,69	77.81
P2	1211,36	360,47	70.24
P3	1034,55	243,93	76.42
P4	1611,96	631,46	60.83

1.3.2. Le séchage

Cette étape consiste à éliminer une grande partie de l'eau contenue dans le produit de façon à permettre sa conservation et sa préparation à l'étape suivante, qui est le broyage. La teneur en eau pour le poisson maigre est de 80% et de 61% pour les moules.

Nos échantillons ont été séchés à l'étuve à 70°C pendant 48h, pour atteindre le poids sec optimal.

1.3.3 Le broyage

Le broyage est une étape importante qu'on doit effectuer minutieusement, dans laquelle on utilise généralement un mortier et un pilon en porcelaine pour broyer l'échantillon, dans notre étude nous avons utilisé un broyeur électrique afin d'assurer l'homogénéité de l'échantillon.

2. ANALYSE PAR SPECTROMETRIE GAMMA

La spectrométrie gamma est une technique nucléaire non destructive, très utilisée pour identifier et quantifier les éléments radioactifs par la mesure de l'énergie et du nombre des rayonnements gamma émis, à l'opposé de la technique utilisant un compteur Geiger, qui lui, ne détecte que la présence de rayonnement gamma sans pouvoir fournir une information sur la nature de la source détectée. Ainsi les mesures par spectrométrie gamma permettent de construire des spectres afin d'identifier les différents radioéléments (analyse qualitative) et de déterminer leur concentration (analyse quantitative) dans un échantillon étudié.

2.1. Principe de l'analyse par spectrométrie gamma

La mesure de la radioactivité est fondée sur l'interaction rayonnement-matière. Les rayonnements émis par les noyaux radioactifs sont absorbés par la matière, freinés ou déviés, cette réaction est accompagnée d'une perte d'énergie.

- **Les rayonnements gamma** : ils se comportent comme les rayons X, mais ont une longueur d'onde plus faible, beaucoup plus pénétrant que les particules alpha et beta les rayons gamma interagissent avec les électrons de la matière selon trois processus :

- L'effet **PHOTOÉLECTRIQUE** : les gammas de faibles énergies cèdent toute leur énergie à un électron de la matière, ce qui provoque un réarrangement dans les couches électroniques avec émissions simultanées de rayons X : c'est la fluorescence X.

- L'effet **COMPTON** : les gammes d'énergies moyennes cèdent une partie de leurs énergies à des électrons appartenant aux couches orbitales, donc peu liées, puis diffusent dans une autre direction avec des énergies inférieures à leurs énergies initiales.

- L'effet de **CRÉATION de PAIRES** : lorsqu'un photon ayant une forte énergie pénètre dans le champ électrique autour d'un noyau il se transforme en une paire d'électrons, l'un positif et l'autre négatif. (Caillot, 2002)

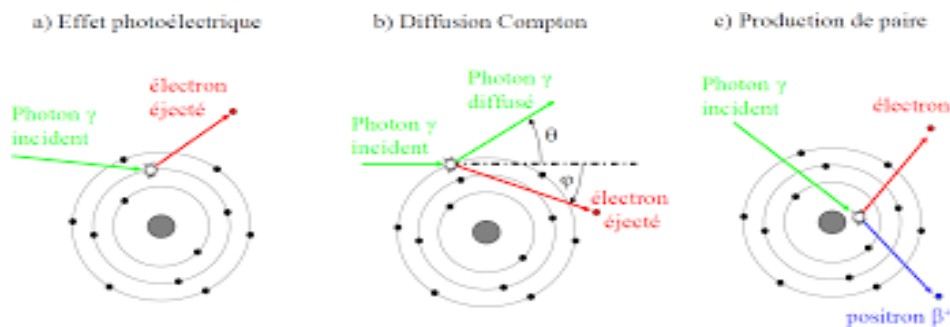


Figure 16 : Les types d'interaction gamma-électron.

2.2. Types de détection de photons par spectrométrie gamma

- Détection des photons :

La détection des rayonnements directement et indirectement ionisants est basée sur l'interaction de ces derniers avec la matière constituant le détecteur. Les détecteurs électroniques de type semi-conducteurs occupent une place importante en métrologie des rayonnements. Ils exploitent l'ionisation ou l'excitation atomique lors de l'interaction des photons avec la matière pour une analyse électronique de leurs énergies. La spectrométrie γ à base des cristaux Ge HP offre un outil performant pour la détection des photons.

- Détecteurs semi-conducteurs :

Ils existent sous forme de trois types, qui sont : plans, coaxiaux, Les cristaux GeHP, en spectrométrie et puits. Chacun de ces détecteurs est utilisé en fonction du type d'échantillon ou de radionucléides donnés.

- Les détecteurs plans : qui ont une forme de galette, comme il est précisé dans la figure suivante, une épaisseur maximale du cristal d'environ 3 cm, associés à une fenêtre d'entrée en carbone, ils sont utilisés pour la détection de photons de faibles énergies avec une efficacité

d'environ 30%. Ces détecteurs sont adaptés pour des échantillons minces.

- **Les détecteurs coaxiaux** : plus appréciés pour les échantillons volumineux, ils ont une forme cylindrique avec une partie centrale creuse (Figure 17), ce type de détecteur possède une fenêtre en béryllium ou en aluminium qui leur permet de s'adapter aux mesures des photons de hautes énergies avec une efficacité de l'ordre de 15%.
- **le détecteur puits** : lorsque l'échantillon est en très faible quantité, il est souhaitable d'utiliser ce type de détecteur, qui permet ainsi d'obtenir une grande efficacité géométrique (~80%). Les détecteurs puits ont la même configuration que les détecteurs coaxiaux mais contrairement à ces derniers, le trou central sert à réceptionner l'échantillon d'un volume maximal de 5 cm³ (Figure 17). La fenêtre d'entrée est en aluminium.

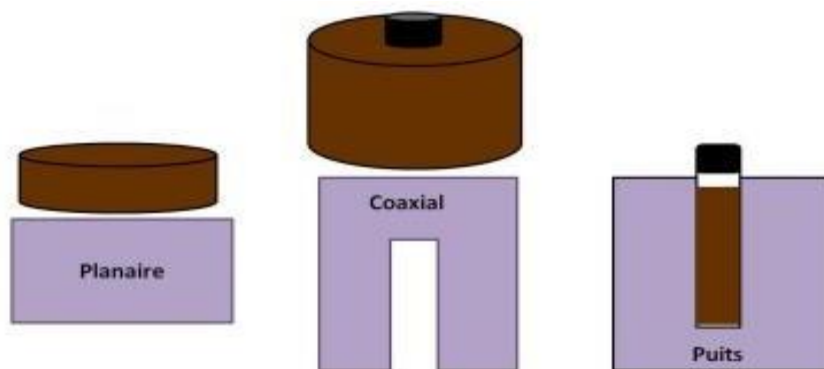


Figure 17 : Différents type de détecteur.

2.3. Constituants de la chaîne de spectrométrie gamma

Dans le cadre de ce travail, l'analyse de nos échantillons s'est faite par spectrométrie Gamma, qui est constitué d'un détecteur au Germanium de haute pureté Ge-HP, coaxial avec un contact de type p à la surface supérieure. utilisé dans la mesure directe des faibles activités dans les échantillons de l'environnement, dont les spécifications sont :

- Efficacité relative de 40%,
 - Résolution de 1,8 KeV,
 - Tension de polarisation de 4000 Volts.
- L'appareil utilisé est constitué de plusieurs éléments ;
- a- **Le détecteur** : de type GeHP qui contient un cristal qui détecte les rayonnements gamma émis par l'échantillon. Le choix du détecteur se fait en fonction des objectifs fixés, c'est-à-dire en fonction de l'énergie à mesure (faibles ou hautes énergie)

- b- **le préamplificateur:** sachant que le signal à l'entrée n'est pas proportionnelle à l'énergie déposé dans le cristal, mais son intégrale est égale à la charge collectée (qui dépend de l'énergie déposée), le préamplificateur va alors porter l'impulsion à plusieurs volts sous une forme gaussienne et intégrer le signal pour faire le lien avec l'énergie. Il permet aussi de filtrer un nombre conséquent de parasites de fréquence élevée.
- c- **L'amplificateur :** sert à la mise en forme du signal et à son amplification : le but est de minimiser le bruit et d'obtenir un signal gaussien.
- d- **Le convertisseur analogique-numérique (ADC) et l'analyseur multicanaux (MCA):** A la sortie de l'amplificateur nous avons un signal continu, le convertisseur transforme l'amplitude du signal en un nombre qui est proportionnel à l'énergie déposée dans le cristal. L'analyseur multicanaux collecte, classe et enregistre les informations dans différents canaux (chaque canal correspond à une énergie) ce qui permet d'obtenir un histogramme en temps réel dans lequel l'énergie déposée dans le cristal est relié au numéro de canal et le nombre de coup dans un canal donné est proportionnelle aux nombres de photons ayant déposé la même énergie dans le cristal.
- e- **Le moniteur d'azote :** un réservoir d'azote liquide de 30 litres dont le but est de refroidir le détecteur (-196°C).
- f- **L'alimentation de haute tension :** permet l'alimentation de la chaîne de mesure en électricité.
- g- **Un ordinateur (logiciel) :** logiciel de traitement et d'analyse du signal Génie2k qui est un logiciel d'analyse gamma comprenant un ensemble d'algorithmes d'analyse avancés pour un traitement ultérieur des spectres gamma, qui permet de visualiser en temps réel la sortie de l'analyseur multicanaux.

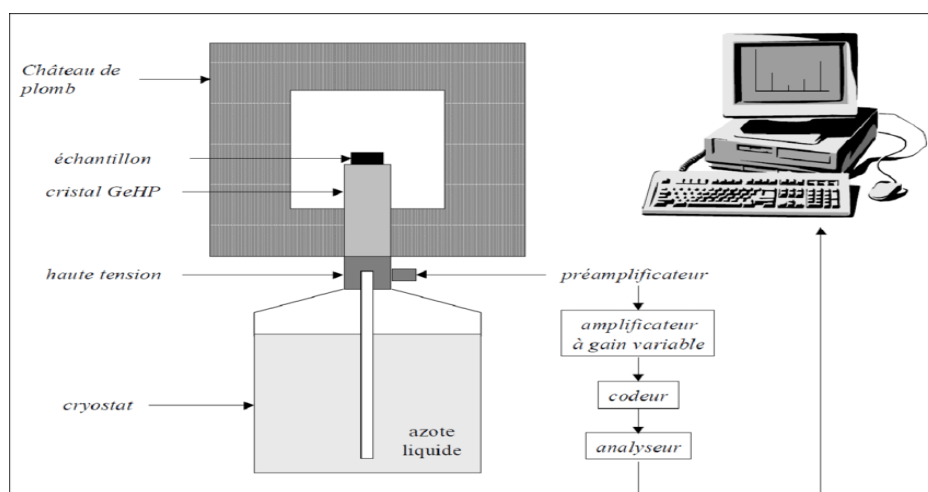


Figure 18 : Schéma de la chaîne d'analyse par spectrométrie gamma (Tessier, 2003).

2.2. Etalonnage de la chaîne de spectrométrie gamma

Tout appareil de mesure se doit d'être étalonné avant son utilisation, la fiabilité des résultats en dépend. Dans ce travail l'étalonnage du détecteur se fait en deux étapes ; l'étalonnage en énergie et l'étalonnage en efficacité.

2.2.1. Etalonnage en énergie

Le but de la calibration en énergie est d'identifier les radionucléides présents dans l'échantillon, par des sources étalons scellés de différentes énergies. Cette étape est nécessaire dans le cas d'un décalage de

seuil et la non linéarité de la droite produite par la réponse énergie-canal (courbe d'étalonnage). Pour notre cas on a réalisé cet étalonnage par trois sources : ^{241}Am dont l'énergie est 59,5 keV, ^{137}Cs avec une énergie de 661,6 keV et du ^{60}Co avec deux énergies 1173,2 keV et 1332,4 keV.

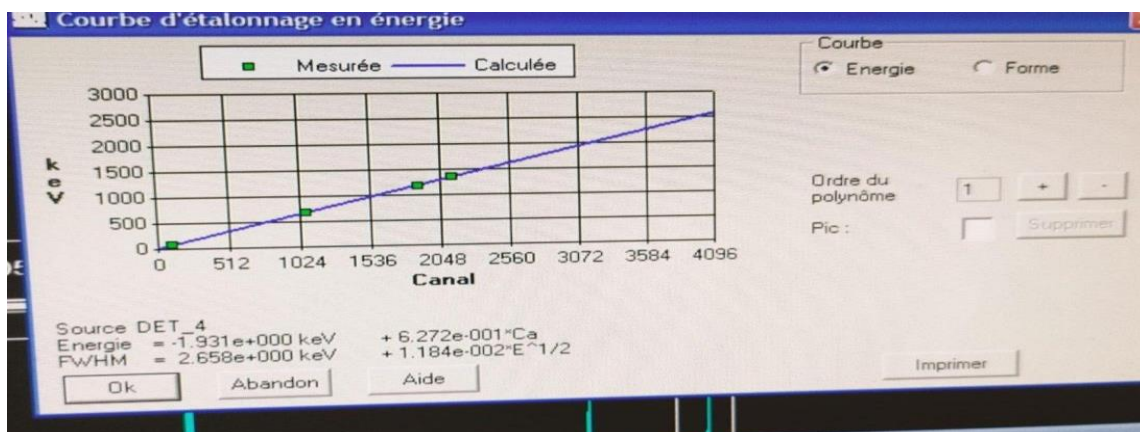


Figure 19 : Droite d'étalonnage en énergie.

2.2.2. Le bruit de fond

Le bruit de fond est le comptage ou l'enregistrement d'un spectre dans des conditions normales d'utilisation de la chaîne de mesure en l'absence de l'échantillon d'analyse. La connaissance de ce bruit de fond est utile pour améliorer la justesse des résultats de mesure de l'activité, notamment dans le cas des traces (Le PETIT et Granier, 2002).

On peut faire la distinction entre une mesure du bruit de fond du détecteur seul et une mesure de type 'blanc d'analyse' qui peut être réalisée avec un conteneur vide ou rempli d'une matrice réputée sans activité. La norme ISO 10703 préconise de réaliser régulièrement des mesures de bruit de fond avec conteneur et eau déminéralisée. Ce type de mesure de

bruit de fond est difficile à réaliser lorsque le laboratoire effectue sur un même détecteur des mesures de matrices différentes, éventuellement à l'aide de différents conteneurs.

2.2.3 Etalonnage en efficacité

La calibration en efficacité de la chaîne de mesure est faite à partir du calcul de l'efficacité absolue de chaque rayonnement gamma émis

$$\varepsilon = \frac{N}{A \times I \times t} \dots\dots\dots (10)$$

ε : est l'efficacité d'absorption totale (%) pour l'énergie E,

A : l'activité (exprimée en Bq) généralement connue

N : le comptage du pic (en nombre d'impulsions)

I : l'intensité d'émission absolue de la raie Y considérée d'énergie E de ce nucléide, en (%).

t : la durée du comptage en seconde.

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé un échantillon de référence d'origine végétale, de type bambou, contaminé aux radionucléides: ^{134}Cs , ^{127}Cs et au ^{40}K dans l'activité est connue,

Cet échantillon a été combiné avec un autre échantillon d'algue préparé au sein du laboratoire séché à 70° pendant 48h auquel il a été ajouté 7 ml de Baryum, (^{133}Ba) selon le protocole suivant :

- 100g d'algue séché et broyé puis les partager en 5 sections de 20g.
- Etaler 20g d'algue au fond du flacon d'analyse de 250 cm³ et rajouter 2ml de ^{133}Ba disposé sous forme matricielle.
- Rajouter 20g d'algue sur la préparation précédente et répéter l'étape citée précédemment.
- Etaler une 3eme fois 20g d'algue sur la préparation précédente puis ajouter 1ml de ^{133}Be de façon matricielle pour assurer la bonne répartition de l'élément.
- Répéter l'opération précédente avec 2ml de ^{133}Be .
- Déposer les derniers 20g d'algue à la surface de la préparation et passer à l'analyse.

Cette échantillon est de masse équivalente à 100g de 250 cm³ de diamètre, a été compté pendant $t = 11461,24s$.

2.3. Calcul d'activité et de l'incertitude

L'activité d'un échantillon est proportionnelle à la surface du pic obtenue c'est à dire au nombre de coups total collecté, qui est ensuite divisé par le temps total de l'acquisition.

L'activité est exprimé en Bq , 1 Bq = 1 désintégration par seconde pour déterminer l'activité d'un échantillon il faut tout d'abord connaître l'activité actuelle d'un échantillon étalons . Pour cela il faut appliquer la loi de décroissance radioactive, ensuite mettre l'échantillon étalon dans le détecteur et estimer le coefficient de proportionnalité entre la surface du pic que l'on obtient et l'activité calculée. L'échantillon et l'étalon doivent avoir la même géométrie. En suite il suffit d'estimer la surface du pic dont on veut calculer l'activité et d'y appliquer le coefficient de proportionnalité.

$$A = \frac{Nr \times c}{\varepsilon \times I \times m \times t} \dots\dots\dots (11)$$

Le temps réel en coups est compté: $N_r = N_{net} - N_{BF}$

ε : est l'efficacité ou rendement de détection déduit de la courbe d'efficacité.

I : est la probabilité d'émission en % ;

m : est la masse en g de l'échantillon à analyser ;

t : est le temps de comptage en seconde.

C : représente les différents termes correctifs (facteurs de décroissance radioactive, correction d'atténuation, correction de coïncidences).

L'incertitude absolue sur l'activité est donnée par :

$$\frac{\sigma A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma Nr}{Nr}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\sigma m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma t}{t}\right)^2} \dots\dots\dots (12)$$

2.4. Facteurs correctifs

Des facteurs correctifs sont dus au phénomène de coïncidence vraie, d'autres facteurs sont considérés pour le calcul des activités spécifiques des radionucléides d'intérêt. Le facteur correctif pour la décroissance du radionucléide durant le comptage, noté K_c , est donné par la formule:

$$K_c = \frac{T_{1/2}}{\ln(2) \times t_c} \left(1 - e^{\left(\frac{\ln(2) \times t_c}{T_{1/2}}\right)}\right) \dots\dots (13)$$

Le facteur correctif pour la décroissance du radionucléide durant la période d'attente allant de la fin d'échantillonnage au début d'analyse, noté K_w , est donné par la formule

$$K_w = e^{\left(\frac{-\ln(2) \times t_w}{T_{1/2}}\right)} \dots (14)$$

2.4. Calcul d'Activité Minimale Détectable (AMD)

Afin de calculer l'AMD, le calcul du seuil de détection puis la limite de détection sont nécessaires,

Le calcul du seuil de détection se fait comme suit :

$$SD = 2 * \sqrt{(2 * Nbf)} \dots (15)$$

La limite de détection d'un élément donné est un aspect important pour une bonne analyse quantitative. Elle représente la possibilité de détecter un élément de concentration très faible et se calcule comme suit:

$$LD = 2 * SD \dots (16)$$

La détection se fait lorsque l'aire du pic photoélectrique correspondant doit être plus importante que la fluctuation située sous le pic (bruit de fond), ceci est appelé l'activité minimale de détection.

Le calcul de ce paramètre est effectué par la loi ci-dessous :

$$AMD = \frac{LD}{\epsilon * I * t_s} \dots (17)$$

t_s : temps de comptage

ϵ : efficacité de l'élément.

I : intensité de l'élément.

3. Utilisation du code ERICA

Développé à l'origine dans le cadre de l'EURATOM de l'outil ERICA, implémentant l'approche intégrée ERICA qui est le modèle le plus largement utilisé pour estimer le risque radiologique pour la faune terrestre, d'eau douce et marine.

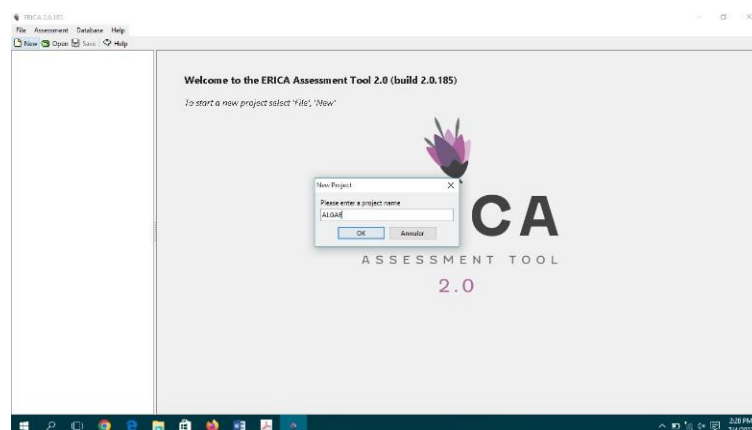
L'outil guide l'utilisateur dispose d'une fonction d'aide complète, enregistre les informations, les décisions et permet d'effectuer les calculs nécessaires pour estimer les risques pour les animaux et les plantes sélectionnés.

L'outil utilise une « approche à plusieurs niveaux » qui commence par une simple sélection initiale et progressent vers des évaluations plus raffinées si nécessaire. L'objectif est de garantir que le niveau de détail d'une évaluation des risques est proportionné à la nature et à la complexité du risque traité et cohérent avec les besoins en matière de prise de décision.

3.1. Manipulation du logiciel ERICA

a- Afin de créer un nouveau projet, il faudrait suivre les étapes suivantes:

- Appuyez sur le bouton Nouveau de la barre dans le menu Fichier, choisissez Nouveau projet.
- Vous êtes invité à fournir un nom. Tapez le nom du projet souhaité et appuyez sur Ok.
- À gauche se trouve l'arborescence du projet avec le nouveau projet créé sélectionné.



b- Pour commencer une évaluation, il faudrait suivre les étapes suivantes:

- Fournissez les informations de base et sélectionnez le point de départ de l'évaluation. Vous êtes libre de commencer à n'importe quel niveau.

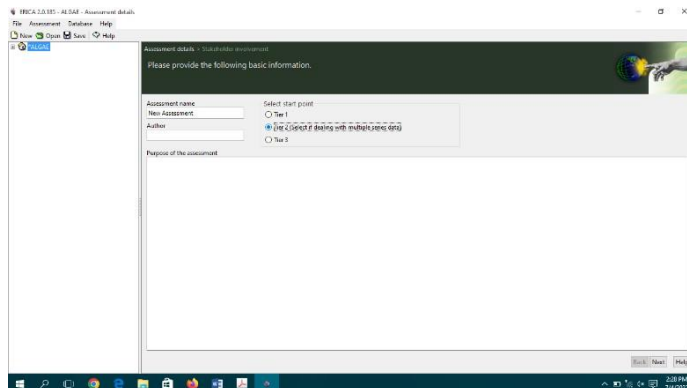


Figure 21: Choix du niveau d'analyse

- Sélectionner les radionucléides, l'écosystème et les organismes, ainsi que l'intervalle du débit de dose

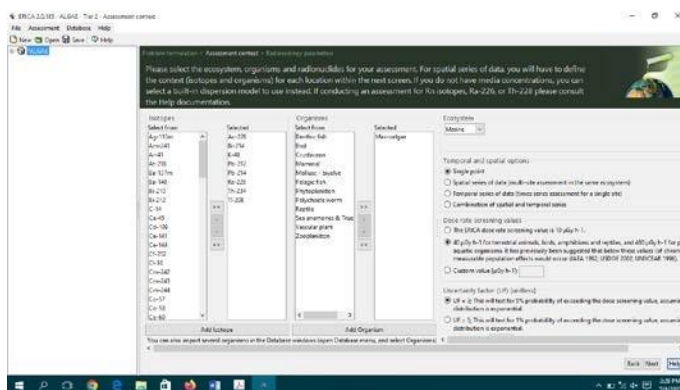


Figure 22: Choix des écosystèmes

- Injecter les valeurs les concertations d'activités pour chaque élément d'intérêt dans l'organisme

Occupancy factors and Radiation weighting factors - Inputs - Activity concentration - Rules selection

Please enter your media and/or organism concentrations. At least one concentration must be entered for each radionuclide but not all cells have to be filled in.

Activity concentrations

Isotope	Activity Concentration in water [Bq L ⁻¹]	Activity Concentration in sediment [Bq kg ⁻¹ d.w.]	Macroalgae [Bq kg ⁻¹ f.w.]
Ac-228			2.66E0
Bi-214			2.68E0
K-40			6.70E2
Pb-212			8.90E-1
Pb-214			3.43E0
Ra-226			4.87E0
Tb-234			1.12E2
Tl-208			3.45E0

Please enter into the table the best estimate measured or modelled media concentration, or, depending on your problem formulation, the activity concentration at the edge of the mixing zone.

Percentage dry weight value:
To enable a conversion to fresh weight activity concentrations enter a percentage dry weight sediment or soil value.
100.0 % d.w. soil or sediment

Select a cell to edit:
Edit Value Edit Distribution
Edit value for selected cell(s):
Value Enter

Back Next Help

Figure 23: Concentrations des activités des éléments dans les organismes

c- Afin d'enregistrer le projet en cours, il faudrait:

- Appuyez sur le bouton Enregistrer dans la barre des boutons. Cela enregistre le projet actif.
- Si un astérisque s'affiche à côté du nom du projet, le projet a été modifié depuis son ouverture ou son dernier enregistrement.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Ce chapitre aborde les résultats obtenus de l'analyse des échantillons de poisson et des mollusques sur les 3 sites (Alger Est, Alger centre et Alger West) de la zone d'étude, après analyse par spectrométrie gamma, ainsi que les standards préparés de ces échantillons qui ont permis le calcul des efficacités et d'aboutir au calcul des activités et leurs incertitudes pour les différents radionucléides d'intérêt.

1. L'efficacité des radionucléides d'intérêt

Le rôle de l'efficacité est de déterminer les activités spécifiques des radionucléides d'intérêt émetteurs gamma par unité de masse (Bq/kg).

Afin de couvrir une plage d'énergie conséquente, deux standards ont été combinés :

- Standard 1 : Un échantillon de Bambou certifié, dont les énergies commencent à partir du ^{134}Cs et ceci afin d'obtenir une courbe d'efficacité qui couvre les énergies au-delà de 604 KeV.
- Standard 2 : Préparé au laboratoire du CRNA, à partir d'un échantillon d'algue prélevé dans la côte algéroise auquel il a été ajouté 7 ml de Baryum, (^{133}Ba) et ce, pour obtenir la courbe d'efficacité sur les basses énergies.

1.1. Calcul de l'efficacité des standards

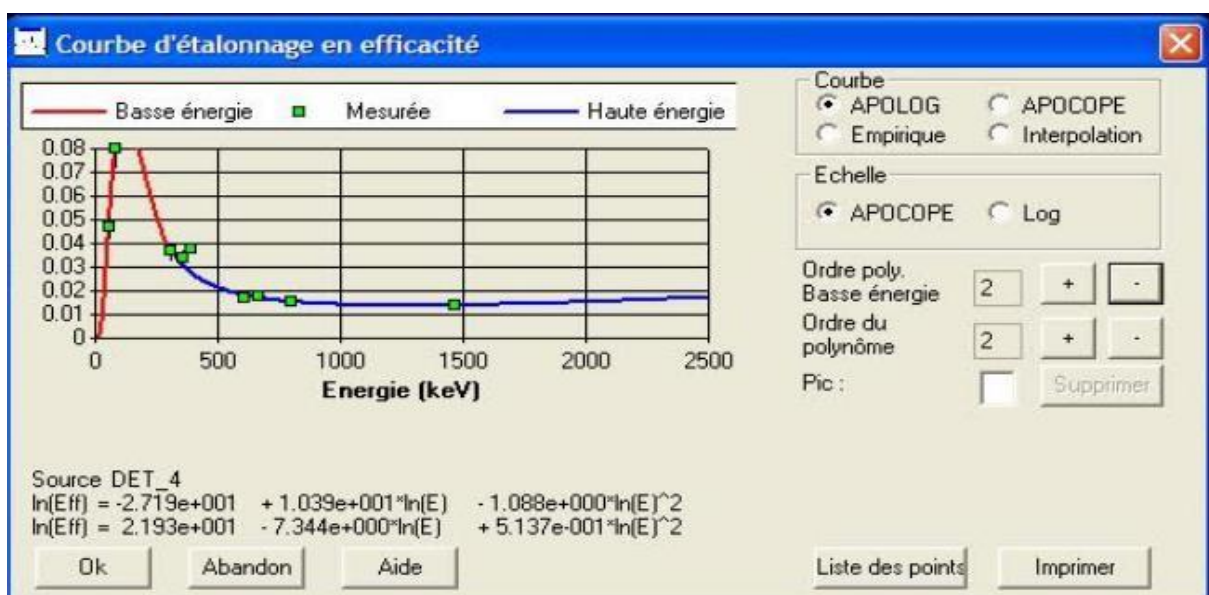
Les standards ont subi une analyse par spectrométrie gamma, les résultats de l'étude des spectres respectifs à chaque échantillon sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 4)

Tableau 4 : Energie des radionucléides des standards.

	Éléments	Energie (Kev)	$\epsilon \pm D\epsilon$
STD- Algue	Ba-133	53,2	0,0480±0,0086
		79,6	0,0833±0,0032
		276,4	0,0395±0,0019
		302,9	0,0389±0,0016
		356	0,0354±0,0013
		383,8	0,0338±0,0025
STD- BAMBOO	Cs-134	604,72	0,0166±0,0015
		795,86	0,0147±0,0012
	Cs-137	661,651	0,0176±0,0010
	K-40	1460,822	0,0136±0,0024

1.2. Courbe d'efficacité

Le logiciel de traitement Geni-2000 a permis de tracer les efficacités combinées des radionucléides se trouvant dans les deux standards préalablement préparés (contenant du ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs et du ^{40}K) en fonction de l'énergie. La courbe obtenue est présentée dans la (Figure 24).



1

Figure 24 : : courbe d'efficacité de deux standards combinés.

1.2. Equations et calcul de l'efficacité

Les énergies des différents radionucléides d'intérêt ont été remplacées dans deux équations, (20) et (21), obtenues après le traçage de la courbe d'efficacité, la première concerne les faibles énergies et la seconde; les hautes énergies, ce qui nous a permis de calculer les efficacités des radionucléides d'intérêt, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau (5).

Les équations utilisées pour le calcul d'efficacité des radionucléides d'intérêt sont les suivantes: $\ln(\text{Eff}) = -27,19 + 10,39 \cdot \ln(E) - 1,088 \cdot \ln(E)^2$ (20)

$\ln(\text{Eff}) = 21,93 - 7,344 \cdot \ln(E) + 0,5137 \cdot \ln(E)^2$ (21)

Tableau 5 : Efficacité des radionucléides d'intérêt.

Radionucléides	Energie (KeV)	Intensité	$\epsilon \pm D\epsilon$
^{234}Th	63,3	0,038	0,060 \pm 0,005
^{226}Ra	186,1	0,033	0,074 \pm 0,006
^{212}Pb	238,6	0,436	0,056 \pm 0,002
^{214}Pb	352	0,371	0,031 \pm 0,002
^7Be	477,6	0,103	0,022 \pm 0,001
^{208}Tl	583	0,309	0,018 \pm 0,001
^{214}Bi	609,3	0,461	0,018 \pm 0,001
^{137}Cs	661,7	0,852	0,017 \pm 0,001
^{228}Ac	911,2	0,290	0,014 \pm 0,001
^{40}K	1460,8	0,107	0,013 \pm 0,001

2. Niveaux de radioactivité chez les moules et les poissons

2.1. Variations spatiales des polluants radioactifs

La concentration spécifique dans les échantillons de moules prélevées à Tamenfoust, Ain Taya et Sablette et dans les poissons prélevées à Raïs Hamidou et Tamenfoust ont été mesurées par spectrométrie gamma, en utilisant un détecteur semi-conducteur de type GeHP, avec une efficacité de 40%, et un bruit de fond d'un temps de comptage de 86400 secondes.

2.1.1. Variations spatiales du ^{234}Th dans les échantillons de moules et de poissons

Les activités du ^{234}Th dans les échantillons sont illustrées par l'histogramme ci-dessous (Figure 25).

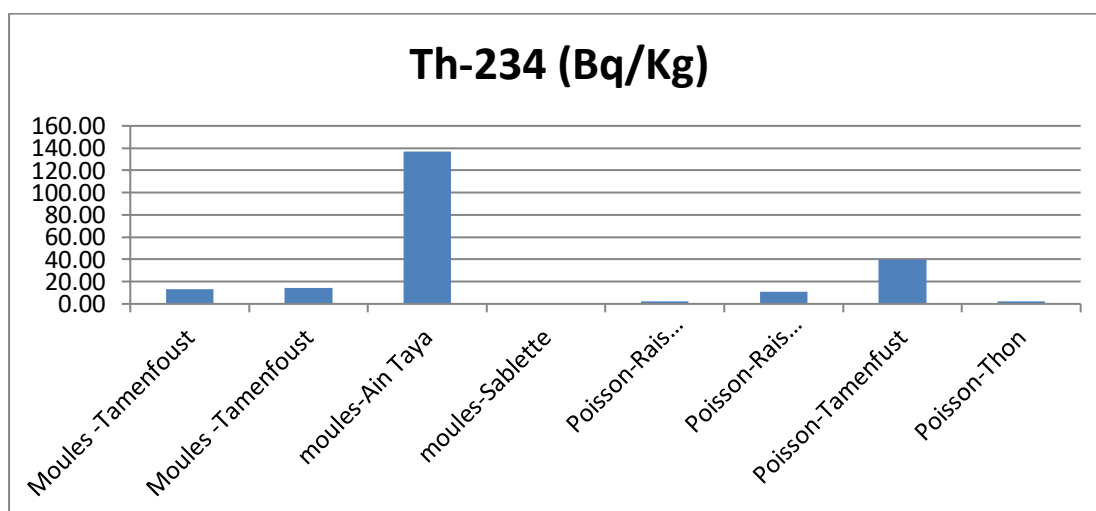


Figure 25 : Activité du ^{234}Th dans les différents sites d'échantillonnage.

Les activités du ^{234}Th mesurées sont de l'ordre de 41,09 Bq/kg et 13,73 Bq/kg en moyenne dans les moules et les poissons respectivement. Un pic remarquable est noté dans l'échantillon de moules pris à Ain Taya (M3) qui se situe au alentours de la baie d'Alger, d'une valeur de 137,13 Bq/kg, cet écart est dû aux apports divers entraînés par les différents courants passant par les sites d'échantillonnages.

2.1.2. Variations spatiales du ^{226}Ra dans les échantillons de moule et de poissons

La raison est que le ^{226}Ra est un émetteur alpha, et serait mieux détecté lors d'une analyse à spectrométrie alpha.

Il est à noter que dans l'article de A.C. Patra et al- 2014, sur l'évaluation de la dose d'ingestion due à la radioactivité dans certaines matrices alimentaires et dans l'eau près de Vizag, en Inde que l'activité du ^{226}Ra dans le poisson est de $0,79 \pm 0,59$ Bq/kg.

2.1.3. Variations spatiales du ^{212}Pb dans les échantillons de moule et de poissons

Les activités déterminées dans les échantillons sont illustrées dans l'histogramme ci-dessous (Figure 26).

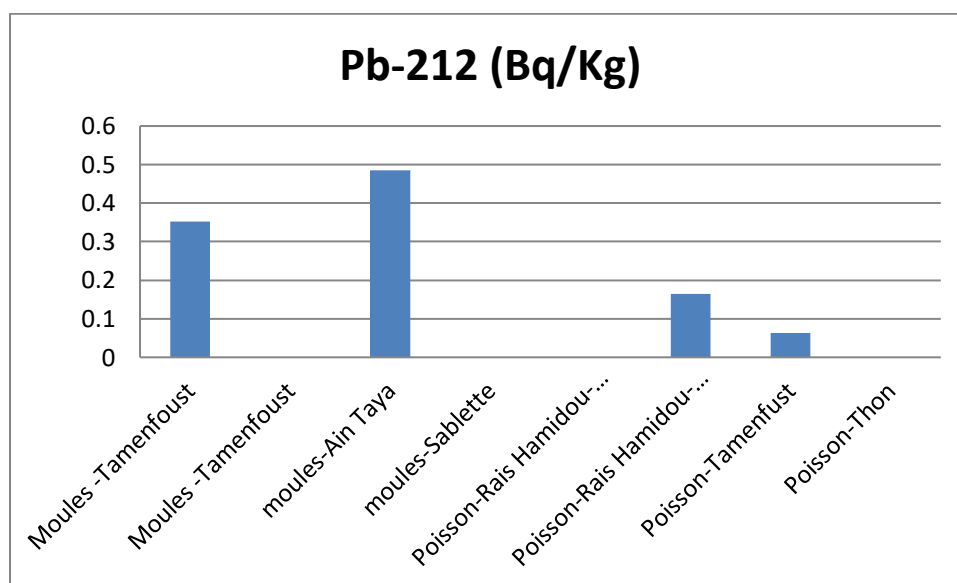


Figure 26 : Activité du ^{212}Pb dans les différents sites d'échantillonnage.

Les activités du ^{212}Pb trouvées sont de l'ordre de 0,20 Bq/kg et 0,05 Bq/kg en moyenne dans les moules et les poissons respectivement, avec une valeur maximale dans l'échantillon de moules pris à Ain taya (M1) de 0,486 Bq/kg, et une valeur inférieure à la limite de détection dans le poisson Rais Hamidou adulte (P1) et du thon (P4).

2.1.4. Variations spatiales du ^{214}Pb dans les échantillons de moule et de poissons

La valeur de l'activité du ^{214}Pb dans tous les échantillons étudiés est en dessous de la limite de détection calculée.

2.1.5. Variations spatiales du ^7Be dans les échantillons de moule et de poissons

L'activité déterminée dans les échantillons sont illustrés dans l'histogramme ci-dessous (Figure 27).

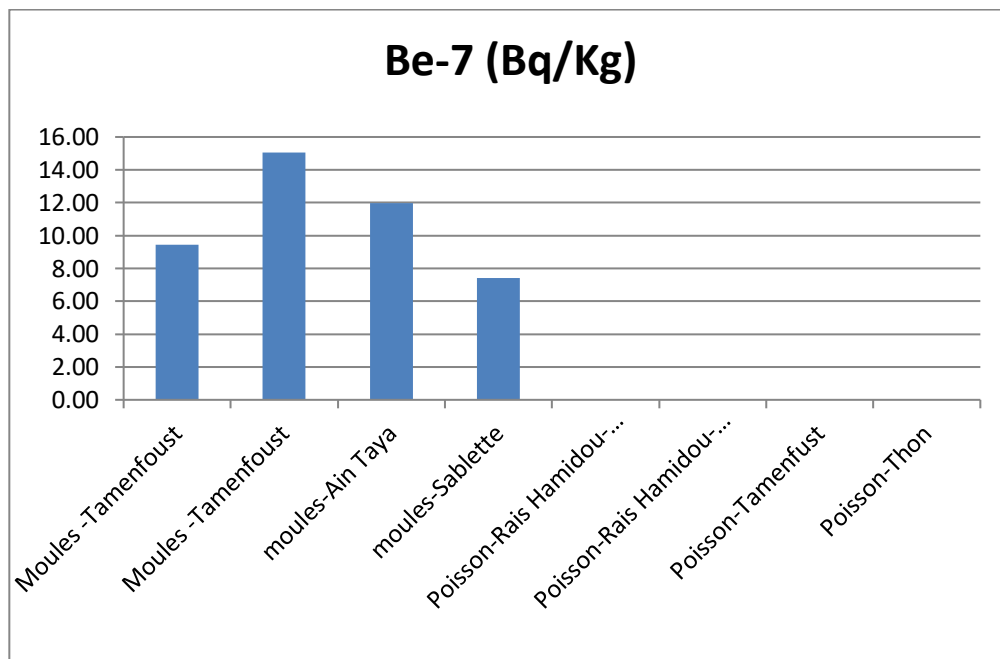


Figure 27 : Activités du ^7Be dans les différents sites d'échantillonnage.

Les activités du ^7Be trouvés dans les moules sont de l'ordre de 5,49 Bq/kg en moyenne, avec un pic remarquable dans l'échantillon le deuxième échantillon de moules pris à Tamenfoust (M2) d'une valeur de 15,06 Bq/kg et une valeur inférieure à la limite de détection dans tous les échantillons de poisson.

2.1.6. Variations spatiales du ^{208}Tl dans les échantillons de moule et de poissons

L'activité du ^{208}Tl des échantillons est illustrée dans l'histogramme ci-dessous (Figure 28).

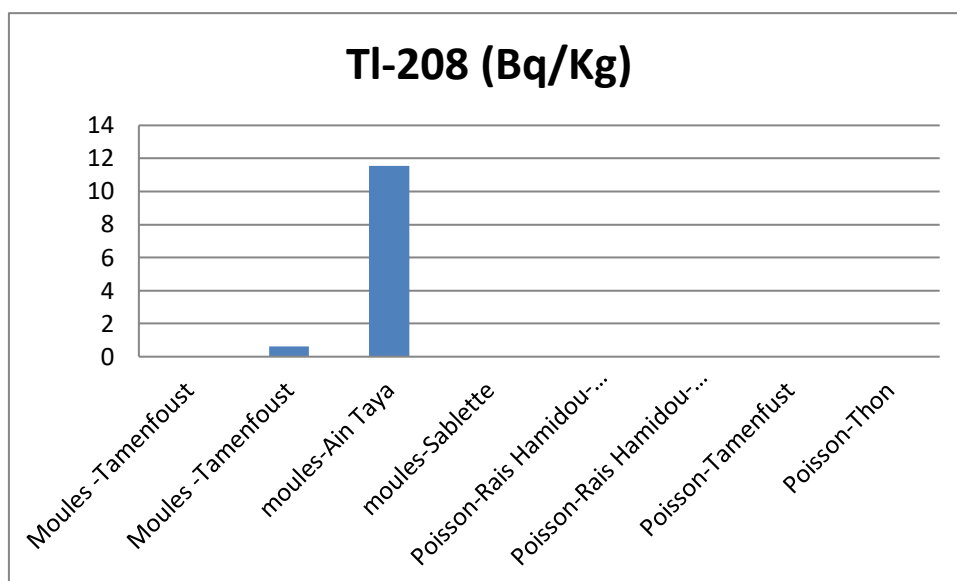


Figure 28 : Activité du ^{208}Tl dans les différents sites d'échantillonnage.

Les activités du ^{208}Tl trouvés dans les moules sont de l'ordre de 5,49 Bq/kg en moyenne, avec un pic remarquable dans l'échantillon de moules pris à Tamenfoust (M2) d'une valeur de 15,06 Bq/kg, les échantillons de poisson ainsi que moules Tamenfoust, ont une valeur inférieure à la limite de détection.

2.1.7 Variations spatiales du ^{214}Bi dans les échantillons de moule et de poissons

La valeur de l'activité dans tous les échantillons étudiés est en dessous de la limite de détection calculée.

La raison est que l'on retrouve le ^{214}Bi principalement dans l'atmosphère, il est introduit dans le milieu marin par le biais des précipitations. La valeur de l'activité du ^{214}Bi calculée dans un échantillon de poisson, dans le travail de (L. POURCELOT, et al., 02- 2009) réalisé dans le site de Malvézi en FRANCE est inférieur à 0,4 Bq/kg.

2.1.8 Variations spatiales du ^{137}Cs dans les échantillons de moule et de poissons

La valeur de l'activité du ^{137}Cs dans tous les échantillons étudiés est en dessous de la limite de détection calculée.

Pour confirmer l'absence de cet élément dans nos échantillons, l'analyse de 500g de l'échantillon P4 a été effectuée et le résultat de cette dernière confirme les analyses précédentes.

2.1.9 Variations spatiales du ^{228}Ac dans les échantillons de moule et de poissons

La valeur de l'activité du ^{228}Ac dans tous les échantillons étudiés est en dessous de la limite de détection calculée.

2.1.10 Variations spatiales du ^{40}K dans les échantillons de moule et de poissons

Les échantillons ont une activité de valeur variable et sont illustrés dans l'histogramme ci-dessous (Figure 29).

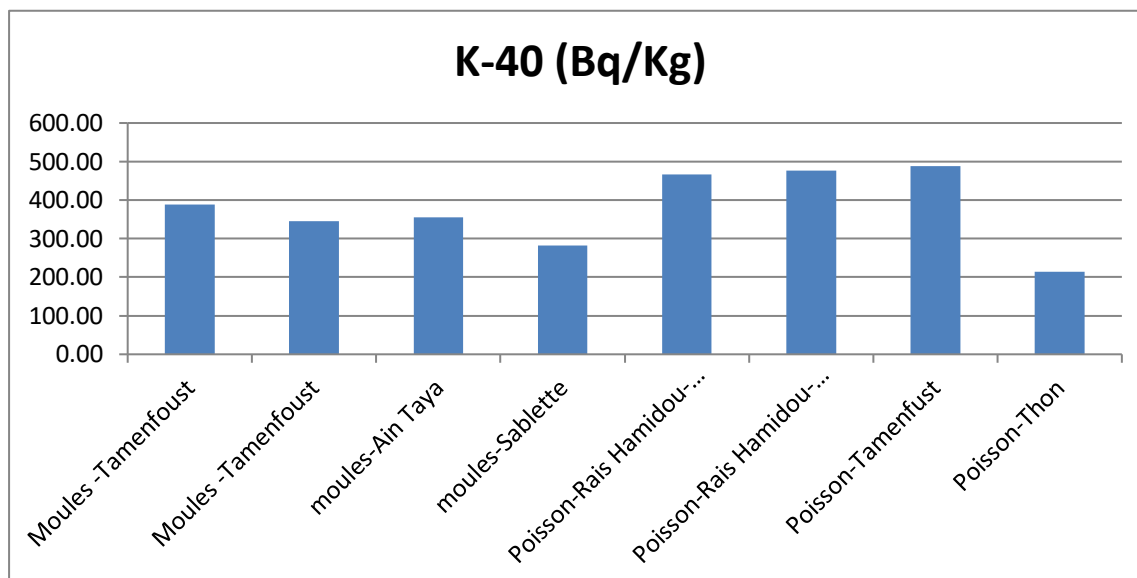


Figure 29 : Activité du ^{40}K dans le différent site d'échantillonnage.

Les activités du ^{40}K trouvé sont de l'ordre de 342,61 Bq/kg et 410,88 Bq/kg en moyenne pour les moules et les poissons, respectivement, avec une valeur maximale de 387,75 Bq/kg et 487,63 Bq/kg dans les moules de Tamenfoust (M1) et les poissons de Tamenfoust (P3) respectivement.

La valeur de l'activité du ^{40}K calculée dans un échantillon de poisson, dans le travail de Pourcelot et al en 2009, réalisé dans le site de Malvés en FRANCE est de 160 ± 10 Bq/kg.

2.2. Etude comparative avec les travaux précédents

Afin de mieux visualisé nos résultats nous avons procéder à une étude comparative avec les travaux réalisé précédemment.

Tableau 6 : Comparaison avec d'autres travaux .

Travaux	Pays	Nature	Activités spécifiques (Bq/kg)									
			Th-234	Ra-226	Pb-212	Pb-214	Be-7	Tl-208	Bi-214	Cs-137	Ac-228	K-40
Actuelle	Baie d'Alger	Moule	[0-137,13]	/	[0-0,48]	/	[0-50,7]	[0-11,55]	/	/	/	[213,93-387,75]
			41,09	/	0,13	/	6,54	3,04	/	/	/	342,61
		Poissons	[2,11-39,69]	/	[0-0,16]	/	/	/	/	/	/	[465,76-487,63]
			13,73	/	0,06	/	/	/	/	/	/	410,88
uvé Thébault et al-2017	Méditerranée	/	/	/	/	/	/	/	/	0,010 ± 0,005	/	
Guogang Jia-05/03/2020	Italie	/	/	/	/	/	/	/	/	/	45,6 ± 14,2	
. Patra et al-2014	India	Poissons	/	0,79 ± 0,59	/	/	/	/	/	0,03	/	29,63 ± 14,52
Fernando P. Carvalho- 2010	L'océan AtlantiqueNord	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	[100 - 150]
POUTCELOT L, RENAUD P-2009	Malvésii-Narbonne-France	Poissons	< 1,4	<2,8	/	< 0,3	/	/	< 0,4	/	/	160 ± 10

3. EVALUATION DES IMPACTS RADIOLO-ECOLOGIQUES ET DOSIMETRIQUES

3.1. Evaluation du débit de dose total par le code ERICA

Après avoir obtenu les résultats, nous avons introduit les activités dans le code ERICA, à la suite de cette manipulation, nous avons obtenu un histogramme (Figure 30) du débit de dose total représentant le risque sur le spécimen étudié.

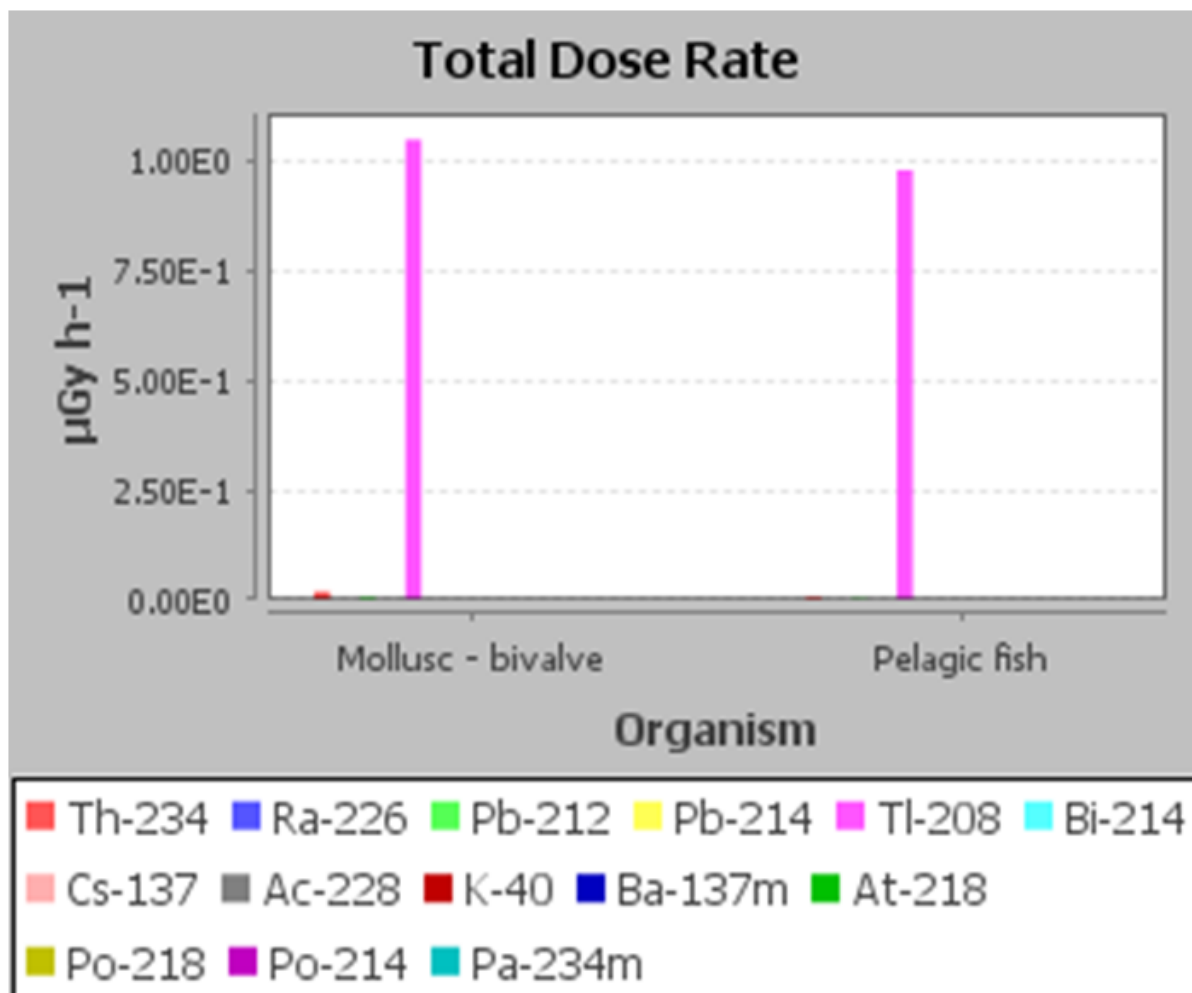


Figure 30 : Débit de dose total de chaque radioélément dans les deux espèces étudiées.

On remarque que la majorité des radionucléides ne sont pas représentés et ont un débit de dose très faible, car leur activité est négligeable et ne représente aucun risque pour l'organisme, on observe un pic remarquable, du ^{208}Tl aussi bien chez les moules et les mollusques d'environ $1.00 \text{ E}^0 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

Les résultats obtenu par le code ERICA affirme que les activités injecté de chaque radionucléide dans chaque espèce à un débit de dose inférieur à la dose limite acceptable. (Figure 31)

3.2. Evaluation de l'impact dosimétrique

Dans la fenêtre "Tables" du logiciel ERICA (Figure 31), le coefficient de conversion de la dose de bêta gamma interne est donné pour chaque espèce étudiée.

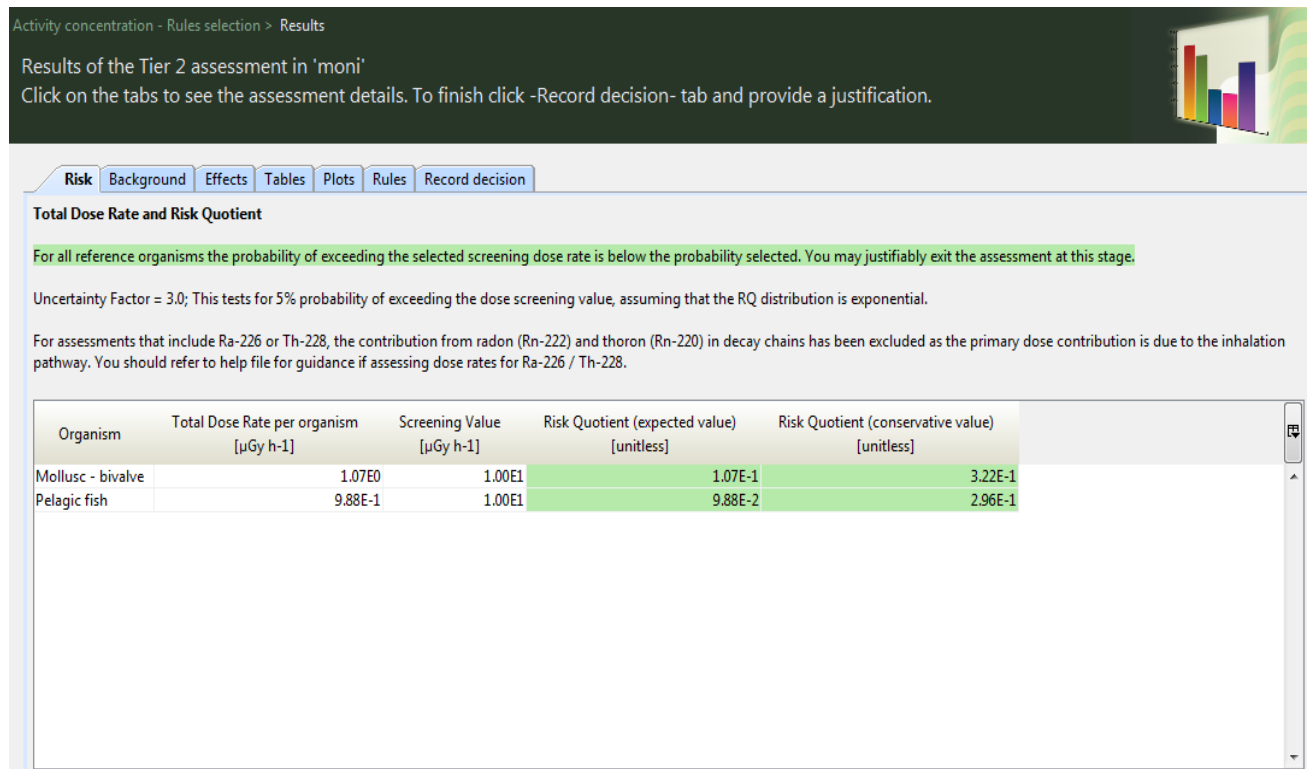


Figure 31 : Interface du logiciel ERICA - Débit de dose et le quotient de risque.

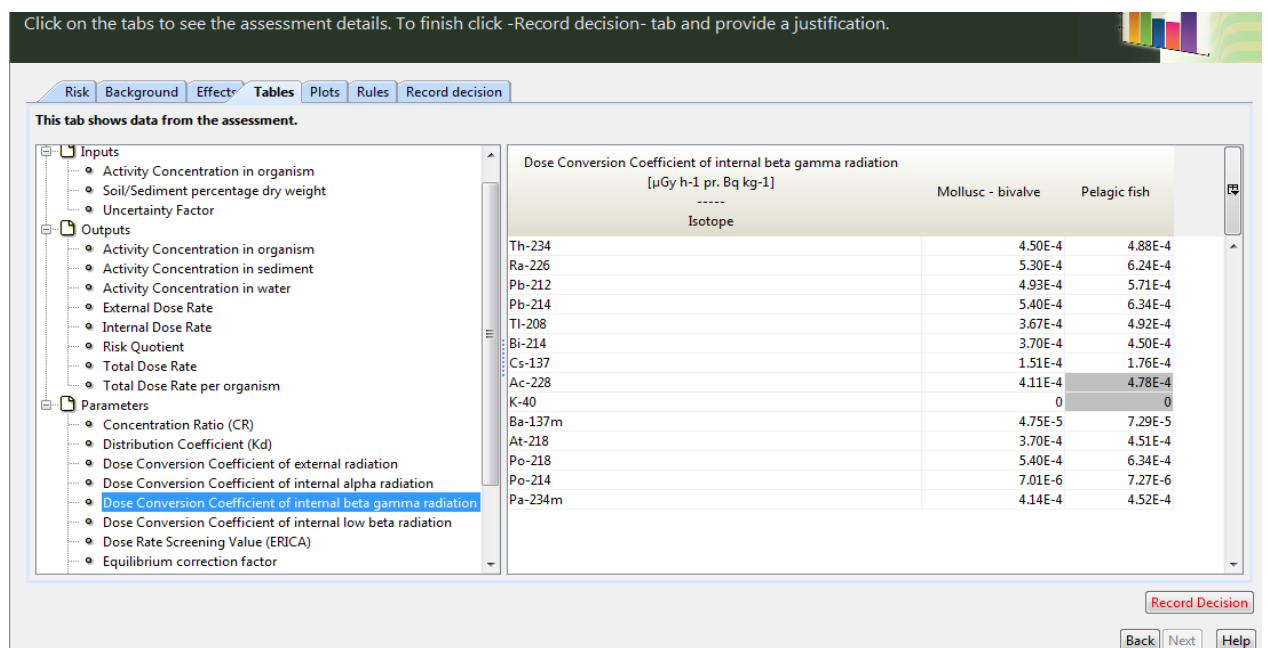


Figure 32 : Interface ERICA - coefficient de conversion de la dose de bêta gamma interne.

Les coefficients obtenus précédemment, ont été injecté dans le tableau suivant (Tableau 7), afin de calculer la dose du radioélément de chaque radionucléide dans le corps humain après ingestion, appelé ‘dose incorporée’:

La formule utilisé pour le calcul de la dose des radioéléments dans le corps humain est calculé avec (Equation 22) prise de l’UNSCEAR, 2008.

$$D = \sum_{K,J} C * DCC * r \dots\dots\dots (22)$$

D : Dose des radioéléments dans le corps humain, donné en (Sv)

C : Concentration d’activité de l’élément.

DCC : coefficients de conversion de dose.

r : le taux d’ingestion de chaque espèce

La dose incorporé à été combiné en considérant les activités spécifique des radionucléides d’intérêt trouvé dans nos échantillons de moules et de poissons, les coefficients de conversion de dose ont été sélectionné à partir de la base de donné du code ERICA.

Avec un taux de consommation des produits de la mer qui varie d’environ 2kg par an pour le poisson, et de 1kg pour les mollusques, les résultats obtenus sont représenté dans le tableau si dessous.

Tableau 7 : Estimation de l’impact dosimétrique.

Annexe : Estimation de l’impact dosimétrique					
Radioélément	Activité dans les Moules	Activité moyenne dans les poissons	Coef.Conv. dose	Dose Incorporé-Moule	Dose Incorporé-poissons
	Bq/Kg	Bq/Kg	Sv/Bq	[Sv/an]	[Sv/an]
Th-234	41,09	13,73	3,4E-09	1,39706E-07	9,3364E-08
Pb-212	0,13	0,06	0,000000006	7,8E-10	7,2E-10
K-40	342,61	410,88	6,2E-09	2,12418E-06	5,09491E-06
Dose incorporée				2,26467E-06	5,189E-06
Dose totale incorporée				7,45366E-06	

Conclusion -générale et perspectives

De par sa position géographique, l'Algérie, comme tous les pays de la région, n'est pas à l'abri de toute contamination radioactive venant des pays nucléarisés à travers les accidents et/ou les incidents nucléaires

La baie d'Alger a été choisie pour effectuer une étude radioécologique de l'environnement.

Les matrices biologiques (poissons et moules) ont été analysées dans plusieurs points de la baie d'Alger. Le ^{137}Cs n'a pas été détecté dans les deux matrices biologiques.

Les radionucléides naturels (Descendants de ^{238}U , ^{232}Th , et ^{40}K) sont présents dans les deux matrices avec des ordres de grandeur variables d'un point à l'autre et d'une matrice à l'autre.

Le radionucléide le plus abondant, ^{40}K , a été détecté avec une activité moyenne de 342.61 Bq .Kg-1 ,410.88 Bq .Kg-1 pour les moules et les poissons respectivement.

Le code ERICA a permis de faire une évaluation radio-écologique au niveau de la baie d'Alger. En parallèle, une évaluation dosimétrique a été abordée en ciblant les moules et les poissons de cette baie.

Les doses incorporés dues à la consommation des moules et poissons sont de l'ordre de $2.26 \cdot 10^{-6}$ Sv/an, et $5.19 \cdot 10^{-6}$ Sv/an , respectivement .

Avec les taux de consommations considérés pris sur la base de statistiques de l'ONS (2 kg pour les poissons), il a été montré que ces produits **sont loin d'avoir des effets néfastes sur la santé humaine.**

Des incertitudes au niveau des interprétations invitent à poursuivre cette étude par l'approfondissement de la compréhension du comportement des radionucléides dans les moules et les poissons. Pour ce faire, il faudrait :

- Elargir les études radioécologiques à d'autres sites marins ;
- Analyser les émetteurs alpha, principalement le Polonium 210.

Bibliographie

- AMIARD, J-C, METAYER, C. AMIARD-TRIQUET, C. (1980).** Etude de transfert de quelques oligo-element dans les chaines trophiques néritiques et estuariennes : Accumulation biologique chez les poissons omnivores et super-carnivores. s.l. : Helgoländer Meeresuntersuchungen. vol 34.
- ANCELLIN, J, GUEGUENIAT, P. GERMAIN, P. (1979).** Radioécologie marine. Etude du devenir des radionucléides rejetés dans le milieu marin et applications à la radioprotection.
- ANDRA.** les dechets radiactifs. Agence nationale pour la gestion des déchets. [En ligne] [consulté le 12/05/2022].disponible sur le web: <https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs>.
- BACHARI HOUMA, Fouzia. (2009) .** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. s.l. : École doctorale Sciences et Ingénierie, Matériaux, Modélisation et Environnement (Champs-sur-Marne, Seine-et-Marne).
- BENALLAL, Khaled, OURABIA, Kamel. (1988).** MONOGRAPHIE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DE LA REGION D'ALGER.
- BOISSON, P, HUET, PH. MINGASSON, J. (2000)** The'Granite'collegial mission of dialogue. Report.
- BONIN, Bernard. (2021).** Trois accidents nucléaires marquants, leurs causes et leurs conséquences: Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima. . . Le nucléaire expliqué par des physiciens,France: EDP, p.p. 103-122.
- BROWN, JE, et al. (2008).** L'outil ERICA. Journal de la radioactivité environnementale , vol. 99, n° 9, p.p. 1371-1383..
- Caillot, Alain. (2002).** la radioactivité au service de l'industrie et de l'environnement . Londre : Tec et Doc,p.p.123-133.
- CEA. (2002).** DE LA RADIOACTIVITÉ, DÉFINITION et LES ORIGINES, DES RADIOÉLÉMENTS. 2> La radioactivité.
- CUVIER, Alicia. (2015).** Accumulation de l'uranium, de ses descendants et des éléments traces métalliques dans les sols des zones humides autour des anciennes mines d'uranium.. Thèse de doctorat.
- De Chouden, HENRI. (2001).** Les risques nucléaires. paris-Tec et Doc,p.p.144-145.

DIEUZEIDE, R, NOVELLA, M. ROLAND, J. (1955). Catalogue des poissons des côtes algériennes.III. Ostéoptérygiens (suite et fin). Bull. Trav. Stat. Aquic. Pêche, Castiglione, (6): p.384.

environnementale, Journal de la radioactivité. (2008). ERICA.vol. 99, n° 9, p.p. 1510-1518.

ERRAHMANI, Djamel Taieb, et al. (2020). Environmental radioactivity in a sediment core from Algiers Bay: radioecological assessment, radiometric dating and pollution records. Quaternary Geochronology,.

FISCHER, W. (1987). Fiches FAO d'identification des especes pour les besoins de la pêche.(Rev 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de Peche 37. Vertebres, , vol. 2. p.1123

HAMAD, Najwa. (2003). La circulation de surface dans le bassin oriental de la mer Méditerranée. s.l. : Scientia Marina, vol. 70, n° 3, p.p. 457-503.

KHERRAZ, Amel, et al.(2016). Interrelation âge et croissance des Boops boops (Linnaeus, 1758) sur les côtes méditerranéennes occidentales de l'Algérie, Avancées en biologie environnementale. vol. 10, n° 4, p.p. 140-146..

LE PETIT, Gilbert et GRANIER, Guy. (2002). Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement: Dossier de recommandations pour l'optimisation des mesures.paris : Editions Tech & Doc,p.123.

LEM. (1998). Dragage des ports de Sidi Fredj et d'El Djamila : Rapport portant sur les resultats d'analyses chimiques des sediments a draguer. Alger: LEM.

LEM. (2009). Avant projet : Etude de confortement du front de mer de Ain Benian. Alger: LEM.

MILLOT, C, TAUPIER-LETAGE, I. BENZOHRA, M.(1990). Les tourbillons d'Algérie. Revues des sciences de la Terre, Vol. vol. 27, n° 3 p.p. 203-219.

MILLOT, Claude. (1987). The circulation of the Levantine Intermediate Water in the Algerian basin. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1987, Vol. vol. 92, n° C8. p.p. 8265-8276.

Mon manuel de Physique Chimie. Mon manuel de Physique Chimie. [En ligne]. [consulté le 05/2022].disponible sur le site web: https://manuelnumeriquemax.belin.education/physique_chimie-terminale/topics/pc-tle-c06-141-a_b-loi-de-decroissance-radioactive.

Nour-eddine, BENMESSAOUD. Avril (2007). Capteurs de gaz électrochimiques pour le contrôle de la pollution de l'air. Université D'Oran : s.n.

OUICHAOU, S. (1992). Introduction a la physique nucléaire. Alger. : OPU.

Pharabod, Jean-Pierre. (1988). Les jeux de l'atome et du hasard . FeniXX.

PNUE/AIEA. (1992). Evaluation de l'état de pollution à la mer méditerranée par les substances radioactives. Map Technical Reports series, n°62.p.133.

POUTCELOT, L. RENAUD, P. (02-2009). Evaluation de la dose d'ingestion unitaire de certaines denrées alimentaires provenant de l'environnement du site COMURHEX de Malvési. pp5. IRSN. Laboratoire d'Etude Radioécologique en milieux continental et marin.

RABEHI, Walid, GUERFI, Mokhtar, MAHI, Habib. (2018). Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger. Approche socio-économique et physique de la côte. Méditerranée. s.l. : Journal of Mediterranean geography.

TUBIANA, M. DAUTRAY, R. (1997). The radioactivity and its applications.

WHE. 22-28 octobre (1981). chargé d'étudier les aspects scientifiques de la pollution des mers (GESAMP: rapport de la douzième session). Genève : s.n.

ZINGER, Irene et COPPLESTONE, David, HOWARD, Brenda J. (2007). D-ERICA : Une approche intégrée de l'évaluation et de la gestion des risques environnementaux liés aux rayonnements ionisants. 20. [auteur du livre] Nick, BROWN, Justin, COPPLESTONE, David, et al BERESFORD. Description de l'objectif, de la méthodologie et de l'application.

Annexe 1 : Les éléments sélectionnés Ech-Moule Tamenfoust - 100g - M1-

Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	79178	425	425±35.9%	0,060	0,0049
Ra-226	186,1	0,033		416	416±29,4	0,073785742	0,0061
Pb-212	238,6	0,436		346	346± 30,1%	0,056	0,0046
Pb-214	352	0,371		187	187±41.7	0,031	0,0026
Be-7	477,6	0,103		318	318±23,9%	0,022	0,0018
Bi-214	609,6	0,461		140	140±46,4%	0,018	0,0014
K-40	1460,8	10,7		4764	4765±2.8%	0,013	0,0011

Annexe 2 : Les Ech-Moule Tamenfust 2 - 84,9g -M2-

Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	97467	504	504±26,8%	0,060	0,0049
Ra-226	186,1	0,033		454	454±28,7	0,074	0,0061
Pb-212	352	0,371		294	294±36,2%	0,031	0,0026
Pb-214	352	0,371		246	246±33,2%	0,031	0,0026
Be-7	477,6	0,103		280	280±27%	0,022	0,0018
Tl-208	510,6	0,078		160	160±43%	0,020	0,0017
Bi-214	609,6	0,461		239	239±29,6%	0,018	0,0014
K-40	1460,8	0,107		4537	4537± 2,8%	0,013	0,0011

Annexe 3 : Ech Moule Ain Taya - 98g M-3

Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	75549	2499	2499±6,1%	0,060	0,0049
Ra-226	186,1	0,033		484	484±26,2%	0,074	0,0061
Pb-212	238,6	0,436		353	353±27,8%	0,056	0,0046
Pb-214	352	0,371		129	129±61,8%	0,031	0,0026
Be-7	477,6	0,103		199	199±35,4%	0,022	0,0018
Tl-208	583	0,309		114	583±55,6%	0,018	0,0015
Bi-214	609,6	0,461		118	118±53,6%	0,018	0,0014
K-40	1460,8	0,107		4115	4115±3%	0,013	0,0011

Annexe 4 : Ech moule sablette - 100g M-4							
Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Ra-226	186,1	3,3	76061	356	356±33,8	0,07379	0,0061
Pb-212	238,6	43,6		202	202±47,7	0,05616	0,0046
Be-7	477,6	10,3		127	127±50,7	0,02181	0,0018
Tl-208	583	30,9		102	102±60,9	0,01822	0,0015
Bi-214	609,3	46,1		151	151±42,8	0,01760	0,0015
Ac-228	911,2	29		77	77±63,7	0,01411	0,0012
K-40	1460,8	10,7		3422	3422±3,3	0,01346	0,0011

Annexe 5 : Ech Bouga Rais hamidou - 100g (ADULTE) P-1							
Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	81664	236	236±58.6%	0,0601	0,0071
Ra-226	186,1	0,033		431	431±28.3%	0,0738	0,0061
Pb-212	238,6	0,436		283	283±36.1%	0,0562	0,0046
Pb-214	352	0,371		248	248±34.3%	0,0311	0,0026
Tl-208	510,6	0,078		106	106±63,5%	0,0204	0,0017
Bi-214	609,6	0,461		119	119±34.5%	0,0176	0,0014
K-40	1460,8	0,107		5832	5832±2,3%	0,0135	0,0011

Annexe 6 : Ech Bouga Rais hamidou - 100g (Jeune) P-2							
Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	143975	697	697±27	0,0601	0,0049
Ra-226	186,1	0,033		848	848±19,5	0,0738	0,0061
Pb-212	238,6	0,436		563	563±25,8	0,0562	0,0046
Pb-214	352	0,371		449	449±26,3	0,0311	0,0026
Bi-214	609,6	0,461		335	335±31,8	0,0176	0,0014
K-40	1460,8	0,107		10570	2	0,0135	0,0011

Annexe 7: Ech Bouga Tamenfust - 100g P-3							
Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	74311	852	852±14,7	0,0601	0,0049
Ra-226	186,1	0,033		398	398±29,9	0,0738	0,0061
Pb-212	238,6	0,436		272	283±37,1	0,0562	0,0046
Pb-214	352	0,371		180	180±45	0,0311	0,0026
Bi-214	609,6	0,46		125	125±53	0,0176	0,0014
K-40	1460,8	0,107		5541	5541±2,7	0,0135	0,0011

Annexe 8 : Ech thon - 100g P-4							
Élément	Energie (KeV)	Intensité	T(s)	N	N±DN	ε	Dε
Th-234	63,3	0,038	80309	238	238±51,4	0,0601	0,0049
Ra-226	186,1	0,033		396	396±29,2	0,0738	0,0061
Pb-212	238,6	0,436		223	223±43,5	0,0562	0,0046
Bi-214	609,6	0,461		199	199±33,46	0,0176	0,0014
K-40	1460,8	0,107		2821	2821±3,7	0,0135	0,0011

Annexe 9 : AMD de chaque radio-nucleides										
	Th-234	Ra-226	Pb-212	Pb-214	Be-7	Tl-208	Bi-214	Cs	Ac-228	K-40
AMD	0,414	0,6531	0,046	0,1	0,36	0,125	0,041	1,44E-08	0,16	0,88
LD	81,58	137,4	98,47	104,77	69,28	60,93	28,84	69,28	57,13	109,54

Annexe 11 : Activité et Delta Activité par radio-nucleides						
CODE Ech	Nature	Th-234	Pb-212	Be-7	Tl-208	K-40
M1	Moules -Tamenfoust	12.97±7.44	0.35±0.15	17.87±4.55	<AMD	387.75±60.19
M2	Moules -Tamenfoust	14.26±7.39	<AMD	15.06±4.27	0.63±0.41	345.22±53.59
M3	Moules -Ain Taya	137.14±14.4	0.48±0.20	11.96±4.36	11.55±8.63	355.18±55.27
M4	Moules -Sablette	<AMD	<AMD	7.43±3.82	<AMD	282.27±44.09
P1	Poisson-Rais Hamidou-Adulte	2.11±1.11	<AMD	<AMD	<AMD	465.76±71.92
P2	Poisson-Rais Hamidou-Jeune	10.66±7.86	0.16±0.07	<AMD	<AMD	476.37±73.36
P3	Poisson-Tamenfust	39.69±18.70	0.06±0.03	<AMD	<AMD	487.63±75.61
P4	Poisson-Thon	2.44±1.66	<AMD	<AMD	<AMD	213.78±33.58

Résumé

Cette étude a pour objectif de faire une caractérisation du littoral Algérois en prenant le cas des poissons et des mollusques suivi d'une évaluation de l'impact radioécologique et dosimétrique en utilisant le code Erica. Ce travail a nécessité l'analyse de quatre échantillons de moules de type *Mytilus galloprovincialis* et quatre échantillons de poissons de type Boops Boops. Ces échantillons ont fait l'objet d'un conditionnement et d'une analyse par la technique de spectrométrie gamma au niveau du laboratoire de l'environnement du Centre de recherche nucléaire d'Alger. L'analyse des échantillons de poissons et des moules a révélé la présence de la radioactivité naturelle à travers les descendants des chaînes naturelles de l'U-238 et du Th-232 ainsi que le potassium 40 (^{40}K) et le Beryllium 7 (^7Be) avec des ordres de grandeur variables d'un point à l'autre et d'une matrice à l'autre. Le Cs-137, élément artificiel présent à l'état de traces dans l'environnement marin, n'a pas été détecté dans cette étude. L'évaluation de l'impact dosimétrique par le code Erica a permis de faire une estimation des doses incorporées dues à la consommation des moules et poissons qui sont de l'ordre 2.26 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et 5.19 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, respectivement. Cette évaluation a montré que ces produits sont loin d'avoir des effets néfastes sur la santé humaine

Mots clés : impact dosimétrique, Poissons, Mollusques, Spectrométrie gamma, Code ERICA, littoral Algérois

Abstract

The objective of this study is to characterize the Algiers coastline by taking the case of fish and mollusks followed by an evaluation of the radioecological and dosimetric impact using the Erica code. This work involved the analysis of four samples of mussels : *Mytilus galloprovincialis* and four samples of fish: Boops Boops . These samples were treated and analysed by gamma spectrometry technique at the environmental laboratory at the Algiers Nuclear research centre CRNA. The analysis of fish and mussel samples revealed the presence of natural radioactivity through the descendants of the natural chains U-238 and Th-232 as well as potassium 40 (^{40}K) and Beryllium 7 (^7Be) with large concentrations from one point to another. The Cs-137, an artificial element present at trace levels in the marine environment, was not detected in this study. The evaluation of the dosimetric impact by the Erica code allowed an estimation of the incorporated doses due to the consumption of mussels and fish which are in the order of 2.26 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ and 5.19 $\mu\text{Sv}/\text{year}$, respectively. This assessment showed that these products are far from being harmful for human's health.

Keywords: dosimetric impact, Fish, Mollusks, Gamma spectrometry, ERICA code, Algerian coastline

ملخص :

تحتوي البيئة على بعض العناصر الطبيعية مثل الثوريوم 234 (234)، الرصاص 212 (PB212)، الرصاص 214 (PB214)، اليوتاسيوم 40 (K40) إلخ. بالنسبة للأنشطة المختلفة والمساهمين في توازن النظام الإيكولوجي، تتكون هذه الدراسة في تحديد نشاط بعض الحلفاء ذي الاهتمام وتأثيرها الإشعاعي والجروحية في أسماك نوع Boops Boops والرخويات من نوع Mytilus Galloprovincialis، وذلك بفضل التحليل من قبل مطياف (GEHP) gamma، تم حقن النتائج في رمز ERCA من أجل تقييم التأثير الإشعاعي لكل النويدات المشعة. تقول نتائجنا أن النشاط الإشعاعي الطبيعي موجود في موقع دراستنا ولكنه لا يولد خطر تلوث الأنواع التي تمت دراستها. وهكذا تؤكد هذه الدراسة عدم وجود النشاط الإشعاعي الاصطناعي في العينات التي تمت دراستها، وهذا يشير إلى عدم وجود نشاط بشري المنشأ المرتبط بالنشاط الإشعاعي بالقرب من منطقة الدراسة. الكلمات المفتاحية: النشاط الإشعاعي، الأسماك، الرخويات، مطياف الغاما، رمز إيريكيا.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES DE LA MER ET DE
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN SCIENCE DE LA MER

Domaine : Hydrobiologie Marine et continentale

SPECIALITE : INGENIERIE DE L'ENVIRONNEMENT MARIN ET COTIER

THEME :

ETUDE RADIOECOLOGIQUE DE LA BAIE D'ALGER
CAS DES POISSONS ET MOLLUSQUES.

Réalisé par : BOURIDJ CHAÏMA- CHERADI MOUNIA

Soutenu le : 13-07-2022 à 9h30

Devant le jury composé de :	Grade	Qualité
-Pr F. LOUANCHI	Professeur (ENSSMAL)	Présidente
-Mme A.HAMMADI	Chercheur confirmé (CRNA)	Promotrice
-Pr M. BOULAHIDJ	Professeur (ENSSMAL)	Co-promoteur
-Dr Dj. TAIEB ERRAHMANI	Chercheur Principal (CRNA)	Examinateur
-Mme L.BENTCHIKOU	Maitre assistante A (ENSSMAL)	Examinatrice

Année universitaire : 2021- 2022

