

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'aménagement du littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCE DE LA MER**

OPTION : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Etude radioécologique du littoral Algérois : Cas
d'algues marines**

Présenté par :

AISSANI Souhila & CHAOUADI Smina

Soutenu le 12/07/2022 à 13h30 devant le jury :

Pr. F .LOUANCHI	Professeur	ENSSMAL	Présidente
Dr. M. DRICHE	Maitre de conférence A	ENSSMAL	Examineur
Mme. A. HAMMADI	Chercheur confirmée	CRNA	Examinatrice
Dr. D. TAIEB ERRAHMANI	Chercheur Principal	CRNA	Promoteur
Pr. M. BOULAHIDID	Professeur	ENSSMAL	Co-promoteur

Promotion : 2022

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'aménagement du littoral



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

OPTION : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Etude radioécologique du littoral Algérois : Cas
d'algues marines**

Présenté par :

AISSANI Souhila & CHAOUADI Smina

Soutenu le 12/07/2022 à 13h30 devant le jury :

Pr. F .LOUANCHI	Professeur	ENSSMAL	Présidente
Dr. M. DRICHE	Maitre de conférence A	ENSSMAL	Examineur
Mme. A. HAMMADI	Chercheur confirmée	CRNA	Examinatrice
Dr. D. TAIEB ERRAHMANI	Chercheur Principal	CRNA	Promoteur
Pr. M. BOULAHDID	Professeur	ENSSMAL	Co-promoteur

Promotion : 2022

Remerciements

Nous remercions en premier lieu, le bon Dieu de nous avoir donné la santé, la patience, et le courage de mener à bon terme le présent travail.

Ce travail a été effectué au sein du CRNA dans le département de l'environnement et sûreté nucléaire.

*Nous tenons à remercier grandement **Mr. TAIEB ERRAHMANI Djamel**, chercheur principal au CRNA d'avoir accepté de diriger, de nous avoir donné la chance d'effectuer notre pratique, de nous avoir écouté et orienté, suivi et conseillé tout le long de cette étude.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre Co-promoteur **Pr. BOULAHIDJ**, professeur à l'ENSSMAL d'avoir accepté de Co-encadrer cette étude.*

Nous tenons à remercier nos examinateurs pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mme HAMMADI Anissa

Mr. DRICHE Mohammed

*Nous tenons à remercier vivement **Pr. LOUANCHI Ferial**, professeur à l'ENSSMAL d'avoir accepté la présidence du jury.*

*Nous tenons à remercier vivement **Mr.KABRANE, Mr. OTHMANI, Mr.AIT KACI, Mr.AROUA, Mr.MEZOUAR, Mme.GUEROUMI.H, Mr.BOUDJLAL** et tout le personnel de la station de Sidi Fredj, ainsi que le personnel du CNRDPA pour leur précieuse contribution.*

Nous ne saurions oublier l'aide précieuse du personnel de l'ENSSMAL et pour leur disponibilité.

Nos remerciements s'entendent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Sans oublier nos familles et tout particulièrement nos parents, qui nous ont été d'un grand soutien tout au long de nos années d'études.

Liste des figures

Figure 1: Structure de l'atome.....	3
Figure 2 : Emission radioactive alpha	4
Figure 3: Emission radioactive beta	4
Figure 4: Emission beta plus	5
Figure 5 : Emission radioactive gamma	5
Figure 6 : Représentation graphique de la décroissance radioactive.....	6
Figure 7: Chaines des trois familles radioactives naturelles (IRSN, 2008).....	11
Figure 8 : Transfert des radionucléides dans l'environnement (IRSN, 2016).....	15
Figure 9 : Devenir des radionucléides dans le milieu aquatique (IRSN, 2004)	15
Figure 10: Cycle biogéochimique des radionucléides dans les milieux aquatiques (AMIARD-TRIQUET et AMIARD, 1980).....	16
Figure 11: Schéma général du calcul d'impact dosimétrique (DROME.2021)	20
Figure 12: Approche graduée proposée dans le cadre du programme ERICA pour la caractérisation du risque environnemental associé aux radionucléides (GARNIER-LAPLACE et al., 2007).....	22
Figure 13 : Situation géographique du littoral Algérois.....	23
Figure 14 : Bathymétrie de la baie d'Alger (ABDELLAOUI, 2011)	24
Figure 15 : Nature des fonds de la baie d'Alger (MAOUCHE, 1987 in HOUMA, 2009)	25
Figure 16: Sédimentologie de la baie de Bou Ismail (LEM, 1998 in HOUMA, 2009).....	27
Figure 17: Carte de la Baie de Bou Ismail et du secteur Ouest d'Alger (Massif Bouzareah) Localisation des plateformes a vermet. (In BAKALEM, 2020).....	27
Figure 18: Situation géographique de la baie de Zemmouri (AOUDJ et al., 2020)	28
Figure 19 : Carte bathymétrique de la baie de Zemmouri (DAHMANI et al., 2019)	29
Figure 20 : Circulation de l'eau d'origine atlantique dans la mer Méditerranée (TAUPIER-LETAGE, 2013).....	31
Figure 21 : Précipitations annuelles au Port d'Alger (de 2017 à 2022).....	34
Figure 22 : Température mensuelle moyenne au Port d'Alger (de 2017 à 2022).....	34
Figure 23 : Précipitations annuelles moyennes à Dellys (de 2017 à 2022)	35
Figure 24 : Températures moyennes mensuelles à Dellys (de 2017 à 2022)	35
Figure 25 : Stations d'échantillonnage avec système de coordination : GCS WGS1984 (Arc Gis 10.7)	36
Figure 26 : Collecte des échantillons.....	37
Figure 27 : Grateloupia lanceola	39
Figure 28 : Pterocliadiella capillacea.....	39
Figure 29 : Cutleria multifida.....	40
Figure 30 : Cystoseira amantacea.....	40
Figure 31 : Cystoseira humilis.....	41
Figure 32 : Dilophus spiralis	41
Figure 33 : Sargassum vulgare	42
Figure 34 : Ulva lactuca	42
Figure 35 : Ulva rigida	43
Figure 36: Echantillon préparé pour l'analyse.....	44
Figure 37 : Chaîne de la spectrométrie gamma GeHP du laboratoire de l'environnement du CRNA...	44
Figure 38 : Interface du logiciel Génie2000.....	46
Figure 39 : Constituants de la de spectrométrie gamma.....	46
Figure 40 : Effet photon-électron ϕ	47
Figure 41 : Effet Compton.....	47
Figure 42: Diffusion Thomson Rayleigh.....	47

Liste des figures

Figure 43 : Courbe d'étalonnage.....	48
Figure 44 : Préparation de standard algue	50
Figure 45 : Interface du code ERICA.....	52
Figure 46 : Fenêtre du choix du niveau d'analyse	52
Figure 47 : Choix des écosystèmes, organismes et radioéléments d'intérêts.....	52
Figure 48 : Fenêtre des inputs (coefficients de distribution).....	53
Figure 49 : Fenêtre des inputs (rapports de concentration)	53
Figure 50 : Facteurs d'occupation de l'organisme.....	54
Figure 51 : Concentrations des activités des éléments dans les organismes	54
Figure 52 : concentrations des éléments dans l'eau et dans les sédiments	55
Figure 53 : Courbe de l'efficacité en fonction de l'énergie des deux standards.....	56
Figure 54 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{226}Ra dans les différents échantillons	60
Figure 55 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{214}Pb dans les échantillons	61
Figure 56 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{214}Bi dans les échantillons	61
Figure 57 : Variation spatial de l'activité spécifique du ^{234}Th dans les échantillons	62
Figure 58 : Variation de l'activité spécifique du ^{212}Pb dans les échantillons.....	62
Figure 59 : variation de l'activité spécifique de ^{228}Ac dans les échantillons	63
Figure 60 : Variation de l'activité spécifique du ^{208}Tl dans les échantillons	63
Figure 61 : Variation de l'activité spécifique du ^{40}K dans les échantillons	64
Figure 62 : Variation de l'activité spécifique du ^7Be dans les échantillons	64
Figure 63 : Débit des doses totales dans les algues	70
Figure 64 : Pesée du poids frais des échantillons	IV
Figure 65 : Séchage des échantillons à l'air libre	IV
Figure 66 : Séchage des échantillons à l'étuve de l'ENSSMAL	V
Figure 67 : Pesée du poids sec des échantillons	V
Figure 68 : Broyage des échantillons après le séchage	VI
Figure 69 : préparation des échantillons pour l'analyse.....	VI
Figure 70: Interface du logiciel d'analyse Fitzpeaks	VI
Figure 71 : Analyse des spectres par le Fitzpeaks	VII
Figure 72: Identification s espèces récoltées	VII
Figure 73 : Débits de dose dans les algues fournis par le code ERICA.....	IX

Liste des tableaux

Tableau 1: Constituants de l'atome	2
Tableau 2: Synthèse des unités en radioprotection.....	8
Tableau 3 : Radioéléments d'origine naturelle (JOSEPH et al, 1971 in ANCELLIN et al, 1979).	11
Tableau 4: Estimation de l'activité des principaux radionucléides rejetées lors de l'accident de Tchernobyl (IRSN, 2004).....	13
Tableau 5 : Types de faciès sédimentaires	26
Tableau 6: Informations relatives aux échantillons d'algues récoltées le long du littoral Algérois	38
Tableau 7: Calcul des coefficients de distributions et des rapports de concentration	53
Tableau 8 : Energie des radionucléides injectés des standards.....	55
Tableau 9 : Efficacités des radionucléides d'intérêts étudiés.....	56
Tableau 10 : Efficacité des radionucléides d'intérêts dans le bruit de fond.....	57
Tableau 11 : Activités spécifiques des radionucléides dans les algues	58
Tableau 12 : Activités minimales détectables	60
Tableau 13 : Comparaison des activités spécifiques des radionucléides entre les différents sites	67
Tableau 14 : Comparaison entre notre étude et des études antérieures	68
Tableau 15 : Doses des éléments d'intérêts dans les algues	71
Tableau 16: Températures moyennes mensuelles dans le Port d'Alger (de 2017 à 2022)	I
Tableau 17 : Précipitations moyennes mensuelles du Port d'Alger (de 2017 à 2022)	I
Tableau 18 : Températures moyennes mensuelles à Dellys (de 2017 à 2022).....	I
Tableau 19 : Précipitations moyennes à Dellys (de 2017 à 2022).....	II
Tableau 20 : Informations sur les échantillons.....	III
Tableau 21: comparaison entre les activités spécifiques des éléments dans les algues.....	VIII
Tableau 22 : Période et origine des radioéléments d'intérêts.....	IX
Tableau 23 : Quotient de risque dans les algues.....	IX

Liste des abréviations

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

AMD : Activité Minimale Détectable

CEA : Commissariat à l'Energie Atomique

CEAE : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale

CRNA : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (Algérie)

CNRDPA : Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture

ENSSMAL : Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (Algérie)

ERICA: Environmental Risk for Ionising Contaminants: Assessment and Management

GeHP : Germanium Hyper Pur

IRM : Institut des Risques Majeurs

IRNS : Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire (France)

LEM : Laboratoire des Etudes Maritime

NGA : Nivellement Général Algérien

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

WoRMS: World Register of Marine Species

MAW: Modifeid Atlantic Water

WIW: Winter Intermediate Water

LIW: Levantine Intermediate Water

DW: Winter Mediterranean Deep Water

BW : Bottom Water

Liste des éléments

Eléments chimiques			
²²⁸ Ac	Actinium-228	Nb	Niobium
Al	Aluminium	¹⁴⁴ Nd	Néodyme-144
²⁴¹ Am	Ameritium-241	Ni	Nickel
Ar	Argon	²³⁹ Np	Neptunium
As	Arsenic	P	Phosphore
¹³³ Ba	Barrium-133	²³⁴ Pa	Protactinium-234
⁷ Be	Béryllium-7	²¹⁴ Po	Polonium-214
²¹⁴ Bi	Bismuth-214	Pb	Plomb
Br	Brome	Pu	Plutonium
¹⁴ C	Carbon-14	¹⁹⁰ Pt	Platine-190
Ca	Calcium	Rb	Rubidium
Ce	Cérium	¹⁸⁷ Re	Rhenium-187
Cl	Chlore	²²⁶ Ra	Radium-266
²⁴² Cm	Curium-242	²²² Rn	Radon-222
¹³⁷ Cs	Césium-137	Ru	Ruthénium
⁶⁰ Co	Cobalte-60	S	Soufre
Cr	Chrome	Sc	Scandium
Cu	Cuivre	Se	Sélénium
¹⁵² Eu	Europium-152	Si	Silicium
Fe	Fer	¹⁴⁷ Sm	Samarium-147
Ga	Gallium	Sr	Strontium
³ H	Hydrogène-3	¹³² Te	Tellure-132
Hg	Mercure	Ti	Titane
¹³¹ I	Iode-131	²⁰⁸ Tl	Tallium-208
¹¹⁵ In	Indium-115	²³² Th	Thorium-232
⁴⁰ K	Potassium-40	²³⁴ Th	Thorium-234
¹³⁸ La	Lanthane-138	²³⁸ U	Uranium-238
¹⁷⁶ Lu	Lutécium-176	V	Vanadium

Liste des éléments

Mg	Magnésium	¹⁸⁰W	Tungstène-180
Mn	Manganèse	⁵⁴Xe	Xénon-54
Mo	Molybdène	Y	Yttrium
Na	Sodium	Zn	Zinc
		Zr	Zirconium

Liste des symboles

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	u.m.a	unité de masse atomique
I	Intensité		
D	Dose		
IR	Indice de risque		
DCC	Dose Conversion Coefficient		
N_A	Nombre d'Avogadro		

Sommaire

Liste des figures	II
Liste des tableaux	IV
Liste des abréviations	V
Liste des éléments	VI
Liste des symboles	VIII
Sommaire	IX
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités	2
1. Aperçu général sur la radioactivité.....	2
1.1. Notions de Radioactivité	2
1.1.1. Structure de l'atome.....	2
1.1.2. Définitions	3
1.1.3. Les différents types de désintégration	3
1.1.4. Loi de désintégration :.....	5
1.1.5. Les grandeurs et les unités en radioprotection :.....	7
1.1.6. Période radioactive :.....	8
1.1.7. Notion d'équilibre séculaire.....	9
1.1.8. La contamination et l'irradiation :	9
1.2. Origine de la radioactivité dans l'environnement	10
1.2.1. Origine naturelle :	10
1.2.2. Origine artificielle :	12
1.3. Le transfert de la radioactivité dans l'environnement :.....	14
1.3.1. Le cycle biogéochimique des radioéléments dans le milieu marin	16
2. Radioactivité dans les algues :.....	18
2.1. Aperçu général sur les algues :.....	18
2.1.1. Algues procaryotes (cyanobactéries, ou algues bleues, ou schizophytes)	18
2.1.2. Algues eucaryotes	18
2.2. Accumulation des radioéléments par les algues :	18
3. Impact dosimétrique et radioécologique lié à l'ingestion des radionucléides	19
3.1. Impact dosimétrique	19
3.2. Impact radioécologique :	20
3.3. Code ERICA pour l'évaluation radioécologique et dosimétrique :	20
Chapitre I : Zone d'étude	23
1. Présentation de la zone d'étude :.....	23

1.1. Baie d'Alger :	23
1.1.1. Géomorphologie :	23
1.1.2. Sédimentologie :	24
1.2. Baie de Bou Ismail :	26
1.2.1. Sédimentologie :	26
1.2.2. Topographie de la baie de Bou Ismail :	27
1.3. Baie de Zemmouri :	28
1.3.1. Caractéristiques morphologiques :	28
1.3.2. Sédimentologie :	29
2. Facteurs hydrodynamiques :	29
2.1. Les vents :	29
2.2. Les marées :	30
2.3. Les vagues :	30
2.4. Les houles :	30
2.5. Les coutants marins :	31
3. L'hydrologie :	32
4. Facteurs météorologiques :	33
4.1. Climat :	33
4.2. Température et précipitations :	33
5. Choix et localisation des stations	35
6. Choix de la matrice biologique	36
Chapitre III : Matériel et Méthodes	37
1. Collecte des algues :	37
2. Travaux au laboratoire	37
2.1. Identification	37
- Identification et position systématique :	38
2.3. Mesure de la radioactivité par spectrométrie gamma :	44
2.3.1. Introduction	44
2.3.2. Constituants et principe d'une chaîne de spectrométrie gamma :	45
2.3.3. Interaction photo-matière :	46
2.3.4. Etalonnage en énergie	47
2.3.5. Comptage du bruit de fond ambiant	48
2.3.6. Etalonnage en efficacité	48
2.3.8. Facteurs correctifs	50
2.3.9. Activité Minimale Détectable (AMD)	51
3. Evaluation radioécologique et dosémetrique :	51

- ERICA	52
Chapitre IV : Résultats et Discussion	55
1. Efficacités des radionucléides d'intérêts :	55
2. Comptage de bruit de fond :.....	57
3. Niveaux de la radioactivité des algues	57
- Les descendants de la famille de ^{238}U détectés :	60
- Les descendants de la famille du ^{232}Th :	62
- Le potassium-40 :	64
- Le Beryllium-7 :	64
- Comportements des radionucléides entre les sites :	64
- Comportement des radionucléides entre les types d'algues en comparant avec des études antérieures :	69
4. Evaluation des impacts radioécologique et dosimétriques :	70
Références bibliographiques.....	72
Annexes	I
Résumé :	XI

Introduction générale

Introduction générale

La présence des radionucléides dans les milieux aquatiques a une double origine : une origine naturelle existant depuis la création de la terre, il y a 4.5 milliards d'années, et une origine artificielle liée aux activités humaines apparut juste après la deuxième guerre mondiale ; suite à des tests d'armes nucléaires, des installations nucléaires et enfin des accidents nucléaires.

Le transfert de ceux-ci d'un milieu à un autre ainsi que leurs comportements dépend d'une part des propriétés du milieu récepteur, et d'autre part de leurs caractéristiques propres. En effet les formes solubles sont beaucoup plus favorables à la dispersion que les formes particulières.

La radioactivité dispersée dans l'environnement représente un risque pour les organismes vivants et la santé humaine. Pour quantifier le risque de celle-ci, il est utile d'effectuer une surveillance des écosystèmes.

La radioécologie est l'étude permettant de comprendre l'interaction entre les organismes et la radioactivité du milieu ambiant, ainsi que le cheminement de leur transmission. Elle a pour objectif d'évaluer l'impact de la radioactivité sur l'environnement (impact radioécologique) et sur la population (impact dosimétrique).

Cette présente étude s'inscrit dans le cadre du projet du CRNA 2022 intitulé : étude radioécologique de quelques régions du territoire Algérien.

L'objectif de ce travail consiste d'une part à une caractérisation radiologique du milieu marin en utilisant les algues le long du littoral Algérois, et d'autre part, à une évaluation dosimétrique et radioécologique.

Ce mémoire s'organisera en quatre chapitres :

1. Le premier chapitre présente les notions fondamentales sur la radioactivité, les différentes origines des radionucléides, le transfert et le comportement de ceux-ci dans les différents compartiments de l'environnement, ainsi qu'une présentation de la matrice étudiée.
2. Le second chapitre décrit la zone d'étude, la localisation des sites du prélèvement et les caractéristiques des sites.
3. Le troisième chapitre présente la méthodologie des prélèvements, de traitements, et de l'analyse.
4. Le dernier chapitre est consacré aux résultats obtenus ainsi que leurs discussions, suivi par une conclusion générale.

Généralités

Chapitre I : Généralités

Ce chapitre est dédié à la présentation des différentes notions de base sur la radioactivité et les algues ; tel que les définitions, les différentes origines des radionucléides, le transfert et le comportement de ceux-ci dans les différents compartiments de l'environnement.

1. Aperçu général sur la radioactivité

1.1. Notions de Radioactivité

1.1.1. Structure de l'atome

L'atome est la plus petite particule qui garde encore les propriétés de l'élément. Il est assimilé à une sphère de rayon de 10^{-10} m, formé par un noyau et son cortège électronique, et constitué de différentes particules élémentaires, dont trois principales : le proton, le neutron et l'électron (CEA, 2022).

Tableau 1: Constituants de l'atome

Constituant	Nuage électronique	Noyau	
	Electron	Proton	Neutron
Charge (C)	$q_{e^-} = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C	$q_p = -q_{e^-} = +1,6 \cdot 10^{-19}$ C	$q_n = 0$ C
Masse (g)	$m = 9,1091 \cdot 10^{-27}$ g	$m = 1,6726 \cdot 10^{-24}$ g	$m = 1,6748 \cdot 10^{-24}$ g
Masse (u .m.a)	$m = 5,5 \cdot 10^{-4}$ u.m.a	$m = 1,007$ u .m.a	$m = 1,008$ u.m.a

Avec (u.m.a) : unité de masse atomique

Le noyau peut être assimilé à une sphère de rayon égale à 10^{-15} m. On constate que le rayon du noyau est 10^{-5} fois plus petit que celui de l'atome, ce qui signifie que le volume du noyau est 10^{15} fois plus petit que le volume de l'atome et que la quasi-totalité de la masse d'un atome est dans son noyau. La

notation d'un noyau est : $\frac{A}{Z}X$

Avec :

X : symbole de l'élément chimique correspondant à ce noyau

A : le nombre de masses du noyau, c'est le nombre total de nucléon (composants du noyau, indifféremment protons et neutrons) dans le noyau.

Z : le nombre de charges du noyau (ou nombre de protons du noyau).

N = A-Z : le nombre de neutrons du noyau

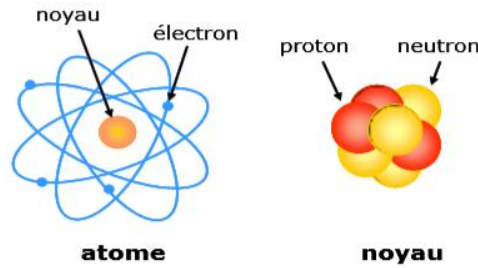


Figure 1: Structure de l'atome

1.1.2. Définitions

1.1.2.1. Radioécologie :

Elle réside dans la possibilité de bien comprendre les chemins de la transmission des radio-isotopes, leur concentration et leur dispersion, l'autoépuration biologique des aires naturelles à partir des pollutions radioactives ainsi que l'augmentation du danger pour l'homme due à la chaîne écologique des organismes du milieu ou de culture. (FOULQUIER.L et BAUDIN, 2014). Elle a pour objectif d'évaluer l'impact de la radioactivité sur l'environnement (impact radioécologique) et sur la population (impact dosimétrique).

1.1.2.2. Radionucléide :

Autrement dit (radio-isotopes), c'est un isotope radioactif d'un élément. Il peut en exister des isotopes stables. (futura-sciences.2022)

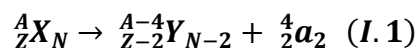
1.1.2.3. Radioactivité :

La radioactivité d'un élément est un phénomène de retour à l'équilibre. Elle se traduit par le passage d'un noyau de l'état instable à un état plus stable par désintégration spontanée en libérant une quantité d'énergie sous forme de particules ou de rayonnements électromagnétiques (CEA. 2002).

1.1.3. Les différents types de désintégration

1.1.3.1. Emission radioactive alpha (héliogène)

Le rayonnement alpha est constitué d'un noyau d'hélium comprenant 2 protons et 2 neutrons. Il porte 2 charges positives. Des atomes dont les noyaux radioactifs sont trop chargés en protons et en neutrons émettent souvent un rayonnement alpha. Ils se transforment en un autre élément chimique dont le noyau est plus léger (Fig.2).



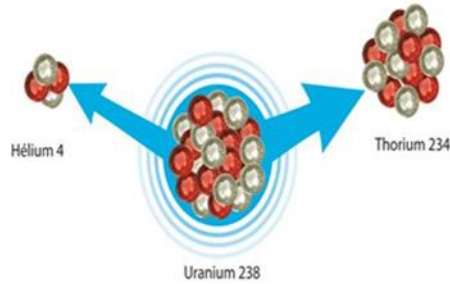


Figure 2 : Emission radioactive alpha

1.1.3.2. Emission radioactive beta

a) Emission radioactive beta moins (négotogène)

Le rayonnement bêta moins est constitué d'un électron chargé négativement. Certains atomes dont les noyaux sont trop chargés en neutrons émettent un rayonnement bêta moins. Un des neutrons au sein du noyau se désintègre en un proton plus un électron, ce dernier étant éjecté. Ainsi l'atome s'est transformé en un autre élément chimique (Fig.3).

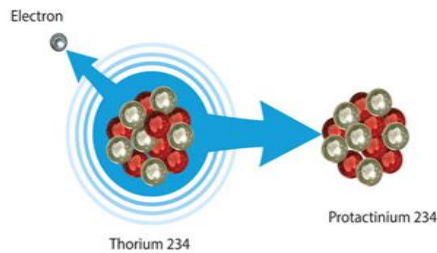
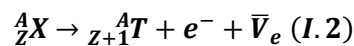
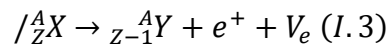


Figure 3: Emission radioactive beta

b) Emission radioactive Beta plus (positogène)

Le rayonnement bêta plus est constitué d'un positon (particule de même masse que l'électron mais chargée positivement). Certains atomes dont les noyaux sont trop chargés en protons émettent un rayonnement bêta plus. Un des protons au sein du noyau se désintègre en un neutron plus un positon, ce dernier étant éjecté. Ainsi l'atome s'est transformé en un autre élément chimique (Fig.4).



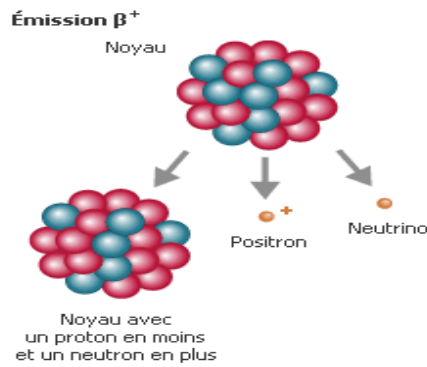


Figure 4: Emission beta plus

1.1.3.3. Emission radioactive gamma

Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique comme la lumière visible ou les rayons X mais plus énergétique. Ce rayonnement suit souvent une désintégration alpha ou bêta. Après émission de la particule alpha ou bêta, le noyau est 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'un rayonnement gamma. C'est la radioactivité gamma (Fig.5).

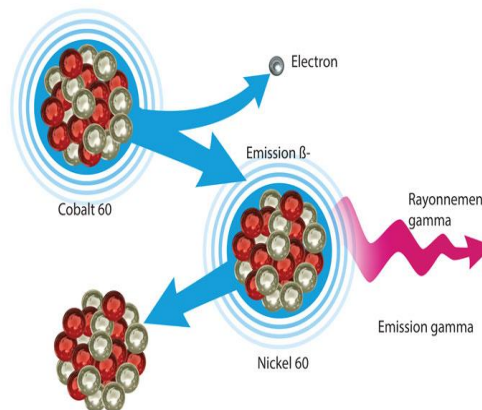
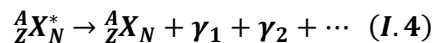


Figure 5 : Emission radioactive gamma

1.1.4 Loi de désintégration :

La désintégration radioactive ne dépend ni de la pression ni de la température ni des combinaisons chimiques dans lesquelles les atomes radioactifs sont impliqués, selon la loi fondamentale de désintégration des noyaux radioactifs, le taux de transformation d'un radioélément par les différents processus radioactifs (α), (β), est proportionnel au nombre d'atomes présents.

Quand le nucléide formé est radioactif, au fil du temps il va atteindre la stabilité ($A \rightarrow B$) ; (A radioactif, B stable), On a :

$$A = \frac{-dN}{dt} = \lambda N \quad (I.5)$$

A : Activité absolue, c'est le nombre de désintégration par unité de temps

$\frac{dN}{dt}$: Le taux de désintégration

N : Nombre d'atomes radioactifs au temps "t"

λ : Constante de radioactivité de l'élément étudié

Evolution au cours du temps $-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (I.6)$

$$\int_{N_0}^{N_1} -\frac{dN}{dt} = \lambda \int_0^t N \quad (I.7)$$

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t \quad (I.8)$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (I.9)$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (I.10)$$

N_A : Nombre d'Avogadro, et qui est égal à $6.0221408 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

N₀ : Nombre d'atomes initial

N_t : Nombre d'atomes restant au temps "t"

T_{1/2} : Temps de demi-vie, chaque radioactif est caractérisé par une période radioactive.

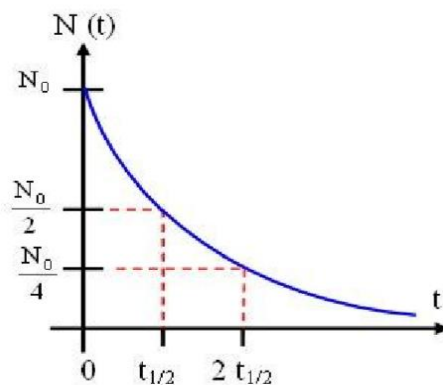


Figure 6 : Représentation graphique de la décroissance radioactive

Le nombre de noyaux ou d'atomes radioactifs décroît exponentiellement avec le temps.

1 mole d'un élément radioactif a une masse M :

M \longrightarrow N_A atomes

$$N_0 = \frac{m_0}{M} N_A \quad (\text{I. 11})$$

$$N_t = \frac{m_t}{M} N_A \quad (\text{I. 12})$$

m (g) \longrightarrow N atomes

$$\frac{m_t}{M} N_A = \frac{m_0}{M} N_A e^{-\lambda t} \quad (\text{I. 13})$$

$$m_t = m_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{I. 14})$$

1.1.5 Les grandeurs et les unités en radioprotection :

➤ L'activité

L'activité radioactive est telle qu'une radioactivité de 1Bq correspond à la désintégration d'un noyau en une seconde au sein d'une matière radioactive.

On la calcule par la relation :

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (\text{I. 15})$$

$$A_t = \lambda N_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{I. 16})$$

Où dN est le nombre probable de transitions nucléaires spontanées avec émission d'un rayonnement ionisant à partir d'un état énergétique donné dans l'intervalle de temps dt .

$A_0 = N_0 \lambda$ l'activité initiale.

L'activité d'un matériau ou d'un organisme est souvent mesurée en Bq/Kg ou Bq/l.

➤ Activité spécifique :

C'est l'activité par unité de masse, définie par :

$$\text{Activité spécifique} = \frac{\text{Activité}}{\text{Unité de masse}}$$

Généralement exprimer en becquerel par gramme (Bq/g).

➤ La dose

Les rayonnements ionisants cèdent de l'énergie à la matière qu'ils traversent. Ce transfert d'énergie est appelé dose absorbée et s'exprime en Gray (Gy). Il mesure la quantité d'énergie absorbée par unité de masse de tissu :

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (\text{I.17})$$

Où dE est l'énergie moyenne communiquée par le rayonnement ionisant à la matière dans un élément de volume, défini par sa masse dm.

➤ **La Dose équivalente :**

Lorsque la matière traversée est un organisme vivant, la nocivité potentielle de la dose absorbée est appelée **la dose équivalente** et s'exprime en **sievert (Sv)**. Elle correspond au produit de la dose absorbée par un facteur de qualité radiologique.

Le dégât biologique subi par un tissu vivant irradié est souvent exprimé en Sv/h.

Tableau 2: Synthèse des unités en radioprotection

Grandeur	Unités	Correspondance
Activité	Becquerel (Bq)	1Bq=1 noyau qui se désintègre par seconde
Dose	Gray (Gy)	1Gy=1joule/kg de matière
Dose équivalente	Sievert (Sv)	1Sv=1Gy.w _r ou w _r est le facteur de qualité (w _r =1 pour les rayonnements β et gamma) (w _r =20 pour les rayonnements α)

1.1.6 Période radioactive :

Certains nucléides radioactifs restent stables pendant des milliards d'années, d'autres se décomposent en une fraction de seconde.

Un processus de désintégration est caractérisé par la période T. La période T ou temps de demi-vie t_{1/2} est le temps nécessaire pour que la moitié de la substance se désintègre :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \quad (I.18)$$

$$N_{\frac{t}{2}} = \frac{N_0}{2} \quad (I.19)$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \quad (I.20)$$

$$N_{t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \quad (I.21)$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t \quad (I.22)$$

$$t = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (I.23)$$

- La période t ne dépend pas du nombre initial des noyaux.
- La température et la pression n'affectent pas la valeur de T.
- La période caractérise un nucléide donné.

1.1.7 Notion d'équilibre séculaire

C'est une situation où la quantité d'un radio-isotope reste constante du fait que son taux de production (dû, par exemple à la désintégration d'un isotope-parent) est égal à son taux de désintégration.

$$A_P = A_F \quad (I.24)$$

Parent : P et Fille : F

Dans la nature, un tel équilibre se produit au bout d'un certain nombre de périodes de désintégration si T_P est très grand devant T_F .

Si aucun processus autre que la désintégration radioactive n'intervient alors l'équilibre séculaire sera rencontré. Dans l'océan, cet équilibre est rare : en effet les filles sont généralement plus réactives que les parents ; ce sont des métaux traces pour la grande majorité.

Donc les parents ont tendance à rester dissous dans l'eau de mer à une concentration relativement stable. Les filles ont tendance à s'adsorber sur les particules en suspension, où on écrit alors :

$$A_F = A_{F1} + A_{F2} \quad (I.25)$$

Où A_F est l'activité totale de la fille

A_{F1} est l'activité de la fille provenant de la désintégration radioactive de son parent si le système était à l'équilibre séculaire et donc $A_{F1} = A_P$

A_{F2} est l'activité de la fille liée à un autre processus (par exemple adsorption ...) qui peut être en excès (>0) ou en déficit (<0) être absorbées par les organismes marins (ROY-BARMAN.M et JEANDEL.C, 2011).

1.1.8 La contamination et l'irradiation :

a) La contamination :

- **Contamination interne** : les éléments radioactifs inhalés ou ingérés soit par la respiration de l'air contaminé, d'une eau contaminée (consommation), ou de la consommation d'autres éléments contaminés qui circulent dans l'organisme des espèces et vont se fixer temporairement et sélectivement sur certains organes.
- **Contamination externe** : les éléments radioactifs rejetés accidentellement dans l'eau ou l'air, et qui peuvent se déplacer par les vents ou les courants loin de leur point d'émission, ils peuvent se déposer sur le corps externe (peau, carapaces...) (CAILLOT, 2002).

b) L'irradiation :

- **Irradiation interne** : elle trouve son origine soit dans la contamination interne par incorporation des radionucléides, soit dans la présence d'un contenu digestif contaminé.

- **Irradiation externe** : elle est originaire de la contamination du milieu physique (sédiment, eau...), elle se traduit par une pénétration des radiations émises par les radionucléides dans les tissus (*AMIRAD-TRIQUET et AMIRAD, 1980*).

1.2 Origine de la radioactivité dans l'environnement

Il existe deux origines de la radioactivité :

1.2.1. Origine naturelle :

Dans la nature il existe 70 radionucléides (dans le sol, eau, air et organismes vivants). Parmi ces derniers, on distingue deux groupes :

- **Des radionucléides d'origine cosmique** ou (cosmonucléides) ; formés par l'action des rayons cosmiques sur les noyaux d'atomes présents dans notre environnement ; ils sont aussi appelés "radionucléides nature induits".
- **Des radionucléides primordiaux** qui étant présents depuis la formation de la terre et que l'on trouve aujourd'hui dans les corps terrestres. Ces derniers sont répertoriés au nombre d'une trentaine, ils ont des périodes supérieures à 700 millions d'années et sont peu instables, on distingue deux classes :
 - Les radionucléides produits (^{40}K , ^{87}Rb , ^{115}In , ^{138}La , ^{147}Sm , ^{176}Lu , ^{187}Re , ...) et qui ont besoin que d'une seule désintégration pour se transformer en noyau stable ;
 - Les radionucléides les plus lourds qui nécessitent une longue série de désintégration avant d'aboutir à un noyau stable (^{238}U ; ^{235}U , ^{232}Th) (figure.4), ces trois radionucléides peuvent être trouvés en traces dans les minerais (*BEN TEKAYA, 2010*).

1.2.2. Origine artificielle :

La radioactivité artificielle est provoquée par des activités humaines au moyen d'un accélérateur de particules ou d'un réacteur nucléaire. Celle-ci est présente dans les Hydro-système provenant des trois principaux thermes sources : les rejets des installations nucléaires, industrielles et militaires ; les rejets des centres hospitaliers qui contiennent des radionucléides de période très courtes dans seul et régulièrement mesurée dans les eaux ; les rémanences des retombées atmosphériques globales des essais nucléaires aériens.

Il existe trois (3) produits de la radioactivité artificielle :

- Les produits de fission qui résultent de la cassure des radionucléides en deux telle que Pu et U.
- Les produits d'activation résultants du bombardement par les neutrons stables (^{55}Fe , ^{60}Co).
- Les tarnsuraniumes qui sont représentés par ^{241}Am , ^{238}Pu et ^{239}Pu .

1.2.2.1. Les grands accidents nucléaires :

- Les accidents de réacteurs nucléaires :
 - **Winscale en Grande Bretagne 1957** : le premier accident nucléaire d'un réacteur (pile atomique pour la production du plutonium) de type graphite-gaz de 200Mw thermiques, cet accident a donné lieu à un rejet de $7,4 \cdot 10^{17}\text{Bq}$ dans l'atmosphère, dont environ $2,2 \cdot 10^{13}\text{Bq}$ en ^{137}Cs (*PHARABOD, 1981*).
 - **Tchernobyl en Ukraine 1986** : il a été provoqué par l'explosion d'un des quatre réacteurs électronucléaire (type à eau bouillante) de la centrale, lors de la réalisation d'un essai technique. L'énergie libérée par l'explosion entraîne l'émission brutale dans l'atmosphère jusqu'à plus de 1200 mètres de hauteur, des produits radioactifs contenues dans le cœur du réacteur nucléaire. Les rejets se poursuivent jusqu'au 5 mai, en 10 jours se sont près de 12 milliards de milliards de becquerels qui partent dans l'environnement.
L'accident a dispersé divers radionucléides dans l'atmosphère telle que les gaz rares, l'iode et ^{137}Cs (*laradioactivité , 2022*).

Tableau 4: Estimation de l'activité des principaux radionucléides rejetées lors de l'accident de Tchernobyl (IRSN, 2004)

Type d'élément	Radionucléide	Symbole	Période radioactive	Activité total rejetée (*10 ¹⁵ Bq)
Gaz inerte	Xénon-133	¹³³ Xe	5.3 jours	6 290
Eléments facilement volatils	Iode-131	¹³¹ I	8 jours	630-1740
	Césium-134	¹³⁴ Cs	2,2 ans	18-44
	Césium-137	¹³⁷ Cs	30,2 ans	37-90
	Tellure-132	¹³² Te	78 heures	400-1000
Eléments volatilité intermédiaire	Ruthénium-103	¹⁰³ Ru	39,6 jours	170
	Ruthénium-106	¹⁰⁶ Ru	1 an	59
Eléments peu volatils	Strontium-90	⁹⁰ Sr	28 ans	8,1
	Strontium-90	⁹⁰ Sr	28 ans	8,1
	Baryum-140	¹⁴⁰ Ba	12,8 jours	180
Eléments réfractaires (non volatils)	Zirconium-95	⁹⁵ Zr	64 jours	155
	Cérium-141	¹⁴¹ Ce	33 jours	144
	Cérium-144	¹⁴⁴ Ce	285 jours	137
	Neptunium-239	²³⁹ Np	2,4 jours	1440
	Plutonium-238-239-240	Pu	-	~ 0,9
	Plutonium-241	²⁴¹ Pu	13,2 ans	5,9
	Curium-242	²⁴² Cm	163 jours	~ 0,9

- Fukushima en Japon 2011** : c'est un accident industriel majeur, ayant le même degré de gravité que la catastrophe de Tchernobyl 1986, par le volume important des rejets radioactifs dans l'océan Pacifique, tout en combinant l'effet d'un accident nucléaire et d'un séisme suivi d'un tsunami qui met hors service le système de refroidissement principal de la centrale, entraînant la fusion des cœurs des réacteurs 1,2 et 3 ainsi que la surchauffe de la piscine de désactivation du réacteur 4. Les principaux radionucléides émis dans l'atmosphère ont été des gaz nobles ¹³³Xe (noble), l'iode (¹³¹I (159Bq) et ¹³³I (42,2Bq)), le tellure (¹³²Te (88,4Bq)), le césium (¹³⁷Cs (15,3Bq) et ¹³⁴Cs (17,5Bq)) (POVINEC et al., 2013 ; BELHARET, 2015).

Le 2 avril une fuite d'eau fortement contaminée vers l'océan est découverte à partir du réacteur 2, et d'autres rejets en mer ont eu lieu par la suite, notamment en mai et décembre 2011, et parmi les radionucléides rejetés dans la mer : ^{131}I , ^{134}Cs (3,5Bq), ^{137}Cs (3,5Bq) (*UNSCEAR, 2014*).

- Les accidents à caractère militaire :

Le développement d'armes nucléaires et leur maintien opérationnel ne se sont fait que moyennant un certain nombre d'accidents, dont beaucoup très préjudiciables pour l'environnement :

- **Accident d'essai d'arme au Iles Marshall 1954** : c'est le premier essai des américains de bombe thermonucléaire .La cause en fut une mauvaise appréciation de la puissance de la bombe et de conditions météorologiques défavorables. La conséquence principale de cet accident c'est qu'environ 239 habitants subissent une irradiation externe et une contamination interne principalement par inhalation d'iode radioactif qui a provoqué un excès de cancer de la thyroïde chez les enfants.
- **Accident dans un complexe militaire en Russie 1957** : ce dernier fut provoqué par une réaction chimique spontanée à l'intérieur des cuves dans lequel les effluents contaminés par les radioéléments sont stockés pour atteindre la décroissance de ces derniers à période courte et dont un fort dégagement d'énergie et une violente explosion ont été causés. Il en résulte d'une dispersion dans l'environnement d'importants éléments radioactifs, avec un nuage s'élevant jusqu'à 1000 m d'altitude (*IRM. 2013*).

- Les accidents prévenants d'installations ou de sources radioactives à usage industriel :

- **Accident de Sétif en Algérie en 1978** : cet accident provient des sources d'iridium (^{192}Ir) contenu dans un gammagraphe, éjecté hors de leurs conteneurs sans que les opérateurs ne s'en aperçoivent sont récupérés par les enfants. 22 personnes furent irradiées gravement (radiodermite, imputation).
- **L'accident de Mexico 1962 et de la Chine 1963** : cet accident provient de source de ^{60}Co contenue dans des gammagraphes utilisés pour des contrôles de soudures. Cette source peut sortir de façon fortuite de leurs conteneurs, être égaré et trouve par des personnes qui ne connaissent pas les dangers de les manipuler sans précaution (*AMIRAD, 2019*).

- Les accidents prévenants d'installation ou de source radioactive à usage médical :

- **L'accident en Grande Bretagne en 1961** : c'est le premier accident de ce type relaté est celui survenu à l'hôpital de Plymouth, qui est dû à un mauvais réglage d'un appareil de radiothérapie .11 malades subissent des doses de l'ordre de 60 Sv au niveau de la peau.
- **L'accident du Mexique en 1983** : causée par une rupture du conteneur qui contient la source sous forme 6000 grains de ^{60}Co utilisée dans l'appareil de gammathérapie pendant son transport, alors un certain nombre de grains s'est répandu dans le camion et la chaussée. 4000 personnes d'environ ont subi des doses non négligeables (*IRM. 2013*).

1.3 Le transfert de la radioactivité dans l'environnement :

Les radionucléides se dispersent dans l'air et dans l'eau, ils finissent par retomber tout en se déposant sur les sols et les sédiments, migrants dans les chaînes alimentaires, ils peuvent atteindre l'homme, par des rayonnements externes, des contaminants présents dans les sols et par l'ingestion des denrées.

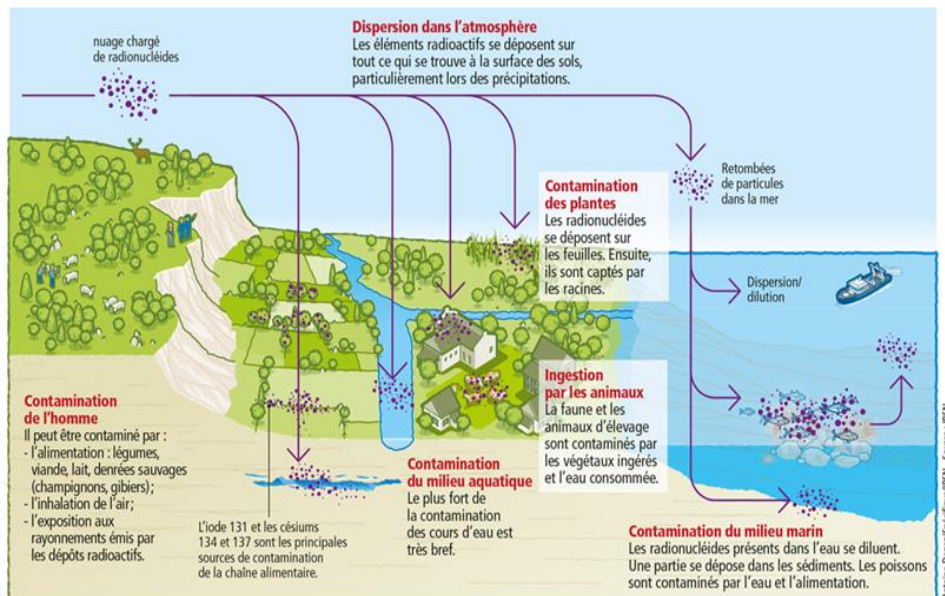


Figure 8 : Transfert des radionucléides dans l'environnement (IRSN, 2016)

• **Le devenir des radionucléides dans le milieu marin : (fig.9)**

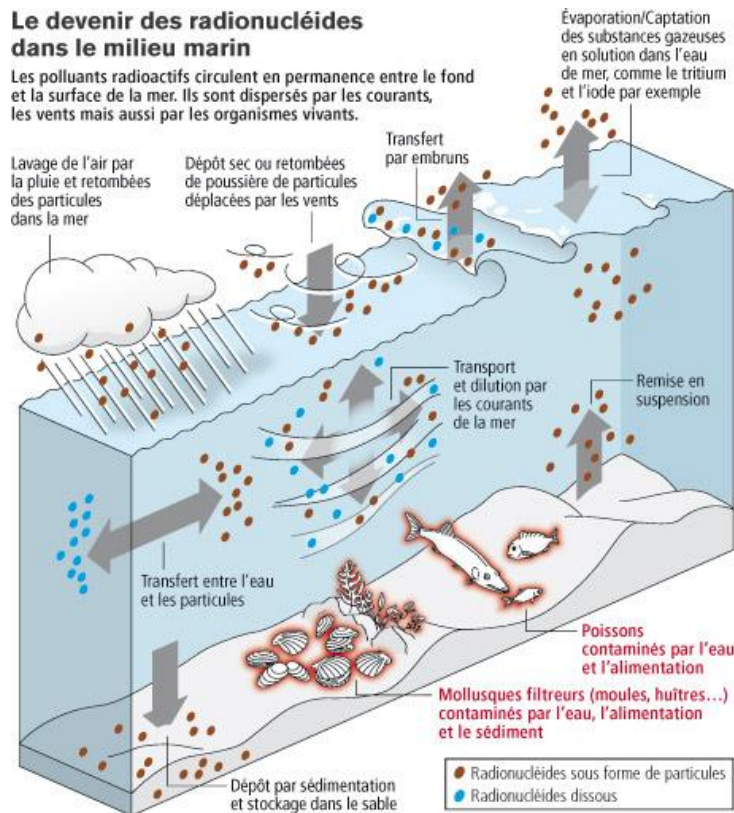


Figure 9 : Devenir des radionucléides dans le milieu aquatique (IRSN, 2004)

1.3.1 Le cycle biogéochimique des radioéléments dans le milieu marin

Les trois compartiments constitutifs du milieu aquatique sont : l'eau, les sédiments, et organismes vivants ; qui se répartissent en pelagos et benthos.

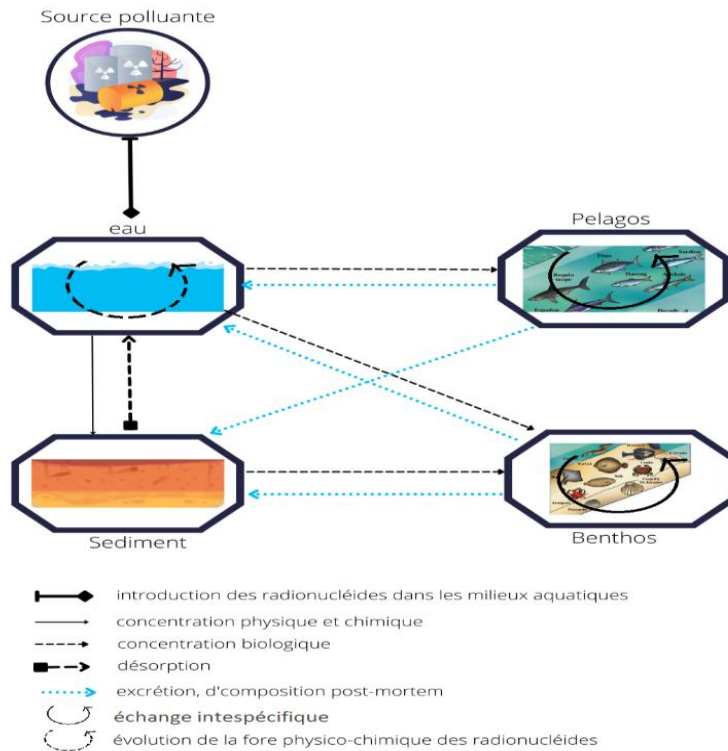


Figure 10: Cycle biogéochimique des radionucléides dans les milieux aquatiques (AMIARD-TRIQUET et AMIARD, 1980).

1.3.1.1 Comportement dans l'eau de mer

Le devenir d'un radionucléide introduit dans le milieu aquatique dépend des caractéristiques du milieu dans lequel il a été introduit, de sa forme physicochimique et de son mode d'introduction. En effet les formes solubles sont beaucoup plus favorables à la dispersion que les formes particulières ; celles-ci présentent de meilleures conditions à la fixation.

La dispersion des radionucléides dans l'eau de mer est générée par une action physicochimique (telle que l'élévation de la température qui peut accélérer certains phénomènes de fixation, l'augmentation de la viscosité qui peut ralentir les processus de diffusion, la variation de la salinité en grande ampleur) et une action hydrodynamique.

1.3.1.2 Comportement dans les sédiments :

La contamination radioactive des sédiments peut se faire comme suite :

- De façon directe à partir de l'eau surnageante au niveau de l'interface eau-sédiment.

- Par précipitation directe des formes colloïdales sur les sédiments des fonds par suite à la floculation.
- Ainsi elle peut se faire par la fixation directe sur les sédiments par le phénomène d'adsorption.
- Par fixation sur la matière en suspension dans la région de calme hydrodynamisme.
- Par dépôt d'organismes morts ayant préalablement fixé des radionucléides, c'est-à-dire que les cadavres des organismes morts ainsi que les pétroles fécaux s'agglutinent et s'incorporent à de grands agrégats qui sédimentent ensuite vers le fonds à des vitesses relativement élevées conduisant ainsi au transfert du radionucléide vers le sédiment, c'est le cas de Méditerranée juste après l'accident de Tchernobyl.

1.3.1.3 Comportement dans le milieu biologique

Une partie des radionucléides présente dans l'environnement marin sont transférée aux organismes marins ; qui peut se faire par l'intermédiaire de trois vecteurs : l'eau, la nourriture et le sédiment ; seul les deux premiers concernent les espèces pélagiques, c'est le cas des phytoplanctons qui représentent la base de la chaîne trophique pélagique , et qui accumulent les radionucléides directement à partir de l'eau contaminée (*FUKUDA et Al., 2014*).Ceux-ci sont consommés par les différentes espèces herbivores de la chaîne alimentaire. Ces processus de prédation favorisent alors la migration de ces radionucléides le long de la chaîne. Bien que les organismes non producteurs primaires peuvent aussi absorber une partie de ces radionucléides directement à partir de l'eau, néanmoins il est généralement admis que les sources principales des radioéléments restent la consommation de la nourriture contaminée (*THOMANN, 1981, ROWAN et RASMUSSEN, 1994, KASAMATSU et ISHIKAWA, 1997, MATHEWS et al., 2008*).

Pour les espèces benthiques et leur mécanisme de contamination, il va y avoir lieu tout d'abord de distinguer les algues qui ne peuvent pas absorber les radionucléides que dans l'eau libre, des phanérogames aquatiques, munies de racines ou de rhizomes, qui peuvent éventuellement se contaminer aussi à partir du sédiment et de l'eau interstitielle.

Les deux modes de contamination qui sont impliquées dans l'accumulation des isotopes radioactifs :

- **Adsorption** : qui est un phénomène de surface qui conduit à une contamination externe de l'organisme.
- **Absorption** : elle correspond au passage des radionucléides à travers les membranes biologiques, que le transport d'un compartiment à l'autre soit actif ou passif. Plusieurs zones peuvent être concernés par ce phénomène : les téguments, les branchies, les parois du tractus digestif, selon qu'il s'agit d'une absorption directe à partir de l'eau ou d'une absorption consécutive à l'ingestion de nourriture contaminée. (*AMIRAD-TRIQUET et AMIRAD, 1980*).

A l'inverse de ce processus d'accumulation, les radionucléides sont éliminés biologiquement par ces organismes par des processus physiologiques régulateurs tels que l'ingestion et l'excrétion, ou alors physiquement par la désintégration.

2. Radioactivité dans les algues :

Les algues ont une capacité d'accumuler les radioéléments de faible niveau, ils sont donc considérés comme des bio-indicateurs de la pollution radioactive dans l'environnement.

2.1. Aperçu général sur les algues :

Ce sont des végétaux aquatiques chlorophylliens représentés soit par les organismes unicellulaires (algues phytoplanctoniques) soit par des organismes pluricellulaires, souvent de grande taille (cas des fucus, des laminaires.). Au plan morphologique on distingue les microalgues, unicellulaires, isolée ou parfois groupé en colonies filamenteuses ou non, et les macroalgues aussi dénommées algues macrophytiques ou macrophytes.

Elles sont aussi des thallophytes, elles n'ont pas de racines, elles absorbent les aliments à travers des parois cellulaires du milieu. Cependant certains ont un crampon qui sert essentiellement de fixation au substrat, donc c'est l'eau qui traverse les tissus

- Classification des algues :

La classification en usage, il y a encore quelques années, se fondait sur la pigmentation (*LUTTGE et al., 2002*) :

2.1.1. Algues procaryotes (cyanobactéries, ou algues bleues, ou schizophytes)

Elles correspondent à des organismes formés de cellules (unicellulaires) ou de filaments microscopiques qui ne possèdent pas de forme flagellée, et qui se trouvent soit sous forme de colonies visibles soit de populations très importantes formant des fleurs d'eau.

2.1.2. Algues eucaryotes

a) Algues vertes (chlorophytes) :

Elles sont comme tous les groupes suivants des eucaryotes à noyau bien individualisé. Elles possèdent des plastes d'un vert franc contenant de la chlorophylle a et b, associent a de l' α et de β carotène et des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures.

b) Algues rouges (Rhodophytes) :

Ce sont des algues qui ont des pigments constitués par des chlorophylles a et d, d' α et β carotène, des xanthophylles et des biliprotéines (phycocyanine).

c) Algues brunes (chromophytes) :

Elles sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaune ou vert jaunâtre, elles ne possèdent jamais d'amidon et ne se colorent pas au contact de l'iode.

2.2. Accumulation des radioéléments par les algues :

Les concentrations des radionucléides ne varient pas seulement entre les différentes espèces d'algues mais aussi au sein d'une même espèce provenant de différents sites.

- Selon Al-Masri.M.S. et al 2002 :

Les concentrations du ^{137}Cs (radioélément artificiel) chez tous les types d'algues analysées étant relativement faibles, tandis que les niveaux des radionucléides naturels, tel que ^{210}Po et ^{210}Pb se sont avérés élevés dans la plupart des échantillons. La valeur la plus élevée du ^{210}Po sont observés dans l'algue rouge, en outre les algues brunes ont montré une certaine sélectivité pour le ^{210}Po .

- Selon BAYSAL.A. et al 1992 :

Les radionucléides sont présents chez tous les types d'algues mais les concentrations les plus élevées du ^{137}Cs ont été trouvées chez *Ulva lactuca*.

- Selon TEJERA.A. et al 2018 :

Les facteurs de concentrations chez les algues sont plus élevés pour les particules réactives ^{210}Po , ^{234}Th , ^{228}Th et ^{210}Pb que pour les radionucléides conservateurs ^{40}K et les isotopes de l'uranium.

- Selon VARINIOGLU.A. et al 1997 :

Les concentrations du ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K sont similaires à celles d'autres recherches sur les algues de la mer Méditerranée. Les espèces d'algues ont été classées comme brune, verte, rouge en considérant l'intensité de l'accumulation des radionucléides.

3. Impact dosimétrique et radioécologique lié à l'ingestion des radionucléides

3.1. Impact dosimétrique

L'étude d'impact dosimétrique est réalisée en prenant en compte les rejets selon une approche raisonnablement majorant afin de maximaliser les effets étudiés. Et donc, à partir de l'activité rejetée (rejets radioactifs) via les effluents liquides et gazeux et de leur dispersion dans le milieu, la radioactivité dans l'environnement est évaluée, et l'impact dosimétrique en est déduit en envisageant l'ensemble des voies par lesquelles la radioactivité peut atteindre l'homme : la voie atmosphérique (air), les dépôts (végétaux, terres), les eaux (eau potable, ruisseaux, rivières, fleuves, nappes souterraines), les aliments (lait, légumes, viandes, poissons...). Cette évaluation porte sur des groupes de population dits de référence les plus exposés localement à l'impact des rejets. Et le résultat final obtenu est exprimé en sievert (Sv), représentant la dose efficace (indicateur d'impact) reçue par les populations étudiées (DROME, 2021).

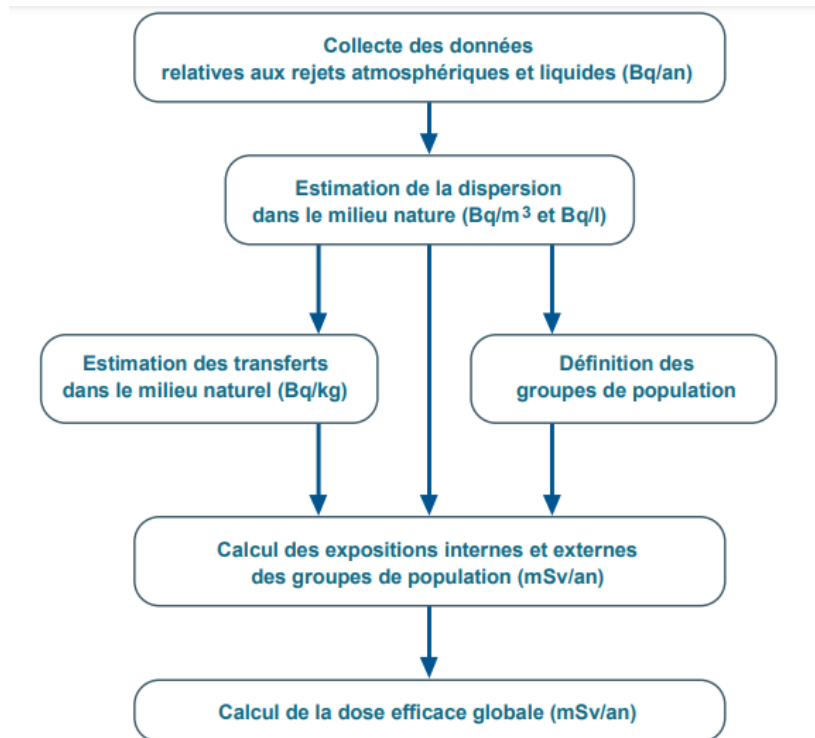


Figure 11: Schéma général du calcul d'impact dosimétrique (DROME.2021)

3.2. Impact radioécologique :

L'impact radioécologique est déterminé en mesurant la radioactivité des différents constituants d'un environnement, c'est-à-dire les concentrations des radionucléides. L'unité de l'activité qui correspond à la désintégration d'un radionucléide par seconde. En radioécologie, l'activité est toujours rapportée à un volume, une masse, ou une surface.

3.3. Code ERICA pour l'évaluation radioécologique et dosimétrique :

L'outil ERICA (Environmental Risk for Ionising Contaminants : Assessment and Management) est développé dans le cadre d'un programme de recherche européen (ERICA 2004-2007), il permet d'évaluer, de caractériser, de gérer les risques environnementaux induits par la présence de radionucléides dans les écosystèmes. Ce logiciel peut être obtenu de ce site : (www.ERICA-tool.com).

L'évaluation est réalisée par l'intermédiaire de calcul d'indice de risque (IR) pour les couples ,organisme de référence/radionucléides Cette évaluation repose sur la comparaison, pour chaque organisme de référence d'un écosystème donné, du débit de dose induit par ces rejets à la valeur de débit de dose considérée sans effet. (GARNIER-LAPLACE *et al.*, 2008).

La méthode ERICA permet une approche graduée en trois étapes, basée sur les hypothèses avec un degré de conservatisme décroissant, ces dernières aboutissent à la détermination d'un indice de risque.

- a) **La première étape** : elle consiste en une évaluation de type "Screening", avec un fort degré de conservatisme. Dans cette étape, l'outil ERICA calcule l'activité des radionucléides dans le

milieu sélectionné, qui engendre un débit de dose égal au débit de dose de screening (=10μGy.h⁻¹).

Cette activité est comparée à l'activité limite dans le milieu avec les valeurs d'EMCL (Environmental media concentration limit) correspondante, qui permet d'obtenir un indice de risque (ou quotient de risque) pour chaque radionucléide considéré (IR_e)

$$IR_T = \sum IR_e \quad (I.26)$$

On constate deux possibilités :

- Si $IR_T < 1$ donc :
 - L'absorption d'une dose supérieure à 10μGy.h⁻¹ est faible.
 - L'impact associé au rejet radioactif peut être considéré négligeable.
- Si $IR_T \geq 1$ donc :
 - Le risque radiologique vis-à-vis de l'environnement n'est pas négligeable, donc il faut procéder à une évaluation générique du risque environnemental (2^{ème} étape).

b) **La deuxième étape** : c'est également une étape de screening mais l'indice de risque n'est plus calculé pour tout l'écosystème, mais pour un organisme donné.

Le débit de dose de screening de 10μGy.h⁻¹ est directement comparé au débit de dose total absorbé estimé pour chaque organisme considéré individuellement.

- Si $IR_T < 1$ donc :
 - La probabilité pour un organisme de recevoir une dose supérieure à 10μGy.h⁻¹ est faible.
 - L'impact associé au rejet radioactif peut être considéré négligeable.
- Si $IR_T \geq 1$ donc :
 - Le risque radiologique vis-à-vis de l'organisme n'est pas négligeable.

c) **La troisième étape** : elle consiste en une évaluation probabiliste du risque pour lequel les incertitudes sur les résultats sont évaluées sur la base d'une analyse de sensibilité. cette dernière ne propose pas de valeur de débit de dose de screening prédéfini, et les résultats fournis ne sont pas des indices de risques. Elle fournit des informations sur les effets identifiés et permet d'évaluer les conséquences possibles de l'exposition aux radionucléides retenus.

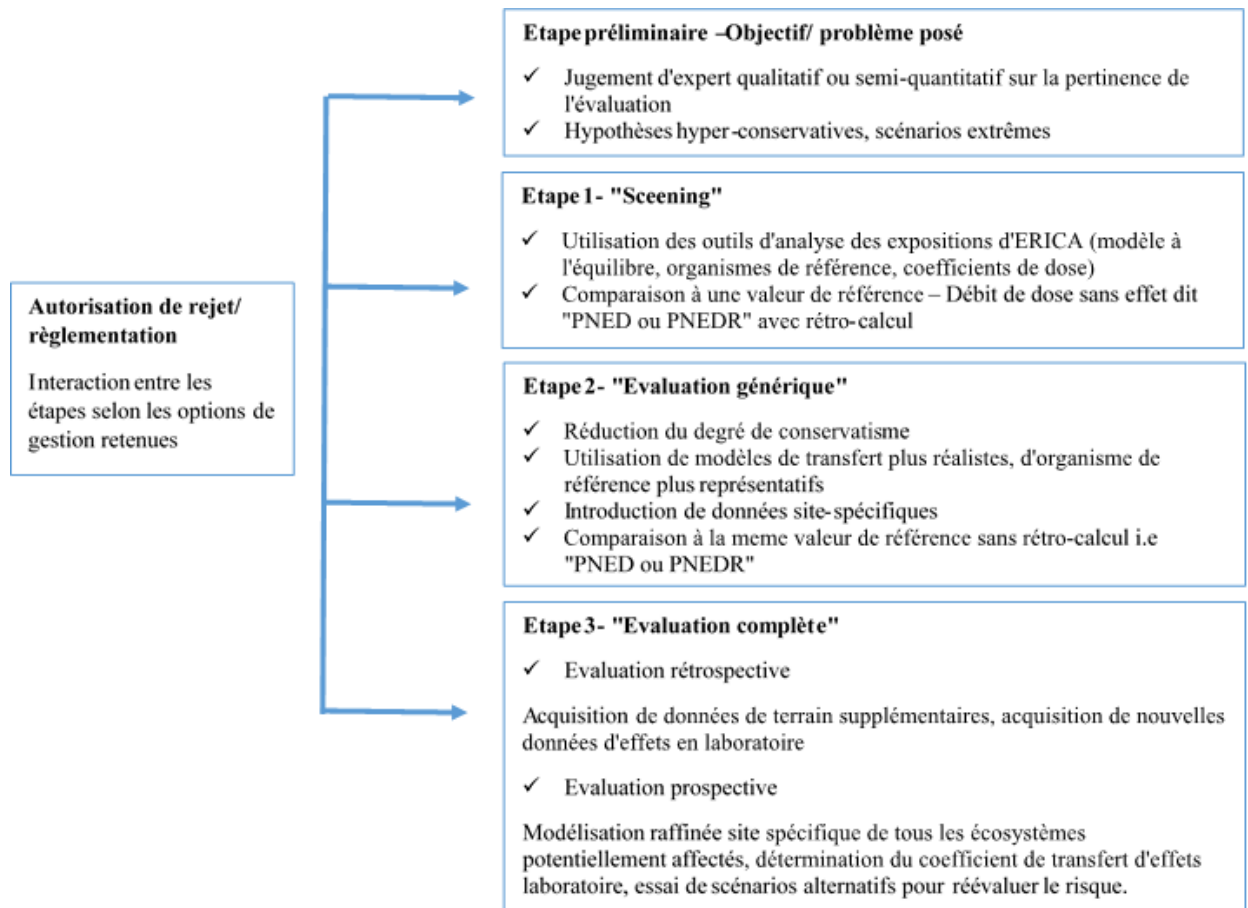


Figure 12: Approche graduée proposée dans le cadre du programme ERICA pour la caractérisation du risque environnemental associé aux radionucléides (GARNIER-LAPLACE *et al.*, 2007).

- **Calcul de la dose incorporée :**

Après la mesure du niveau de radioactivité naturelle et artificielle des algues, une évaluation des risques radioécologiques et dosimétrique a été effectuée à l'aide de l'outil ERICA pour pouvoir déterminer les doses reçues (TAIEB ERRAHMANI, 2020).

La dose incorporée est calculée comme suite (UNSCEAR, 2008) :

$$\text{Dose incorporée (Sv. an}^{-1}\text{)} = \text{DCC} * \text{A} * \text{Consommation annuelle (I. 27)}$$

DCC : coefficient de conversion de dose [Sv/Bq]

Consommation annuelle : consommation annuelle de l'organisme par la population (kg/an)

A : activité (Bq/kg)

Zone d'étude

Chapitre I : Zone d'étude

Ce chapitre présente la délimitation de notre zone d'étude et ses caractéristiques, ainsi que le choix de la matrice échantillonnée et le site de l'échantillonnage.

1. Présentation de la zone d'étude :

Le littoral Algérois est compris entre ; la baie de Bou Ismail à l'Ouest, la baie de Zemmouri à l'Est, et la baie d'Alger au centre. (Figure 13).



Figure 13 : Situation géographique du littoral Algérois

1.1. Baie d'Alger :

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte Algérienne, entre les longitudes Est de 03°01'00"E à 03°14'30" E, et les latitudes de 36°44'30"N à 36°49'15" N. De forme semi-circulaire, avec une superficie d'environ de l'ordre de 180 Km, elle s'inscrit en ceux dans la plaine de la Mitidja, elle est délimitée par deux caps : la pointe Piscade (Ras Hamidou) a l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est ainsi que par la Méditerranée occidentale au Nord. Deux oueds se déversent dans la baie d'Alger, qui sont Oued El Hamiz et Oued El Harrach.

1.1.1. Géomorphologie :

La morphologie de la côte se conforme à la distribution des unités géologiques continentales. Certes entre les marges étroites du massif d'Alger et du cap Matifou, le plateau continental est très étroit mais il s'élargit au centre de la baie. Ce dernier ne dépasse pas l'isobathe 120m. En effet, l'isobathe 50m est à 4,1Km de la côte, 100m est à 7,6Km quant à celui 1000m il ne se trouve qu'à 12,1 Km de la côte (MAOUCHE, 1987).

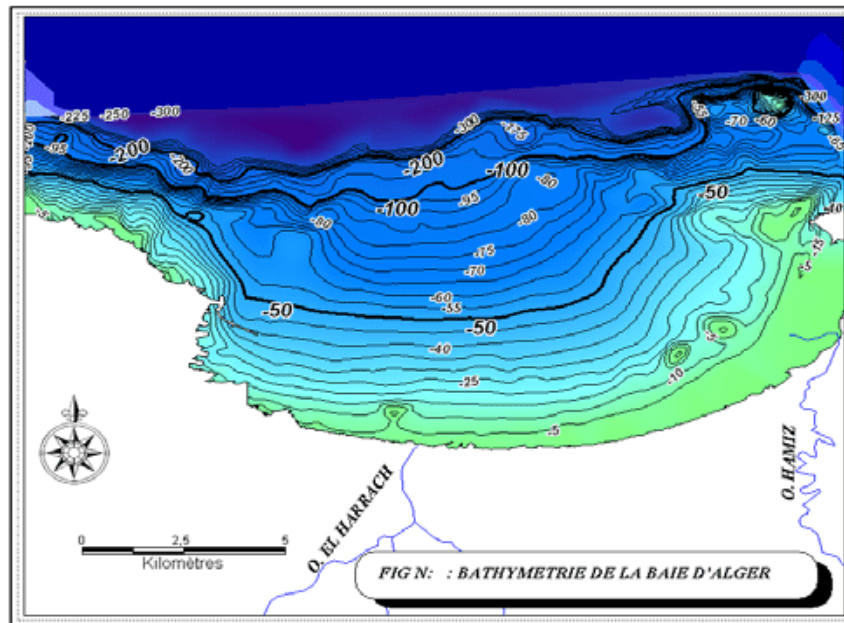


Figure 14 : Bathymétrie de la baie d'Alger (ABDELLAOUI, 2011)

1.1.2. Sédimentologie :

Les travaux de sédimentologie sur la nature des fonds dans la baie d'Alger ont été établie par : LE DANOIS (1925), LECLAIRE (1972), CAULET (1972), MAOUCHE (1987), et ils ont constaté que la distribution bathymétrique des sédiments de la côte vers le large selon un gradient d'envasement croissant :

- La présence des sables fins essentiellement d'origine terrigène, occupant les petits fonds de la baie.
- Des zones sédimentaires de transition : les sables envasés et les vases sableuses, assurant le passage progressif des sables fins infralittoraux aux vases pures.
- Des vases pures dans la partie centrale et septentrionale de la baie qui témoignent d'un important envasement de ce secteur.

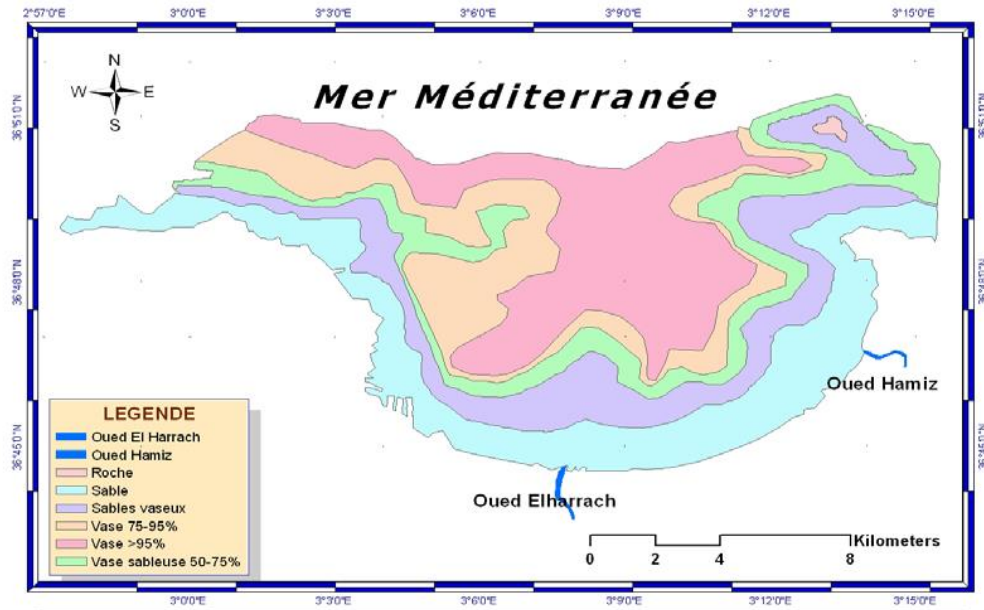


Figure 15 : Nature des fonds de la baie d'Alger (*MAOUCHE, 1987 in HOUMA, 2009*)

En effet quatre principaux faciès sédimentaires existent dans la sédimentologie de la baie d'Alger :

- Sable et sablon calcaréo-siliceux de la frange littorale ;
- Vases-silico-calcaires à silico-argileuse à illite et à quartz ;
- Sables et graviers calcaires reliques en bordures du plateau ;
- Boues à foraminifères du talus supérieur .

A partir de la composition globale des dépôts, (*MAOUCHE, 1987*) distingue, de façon générale, trois types de faciès :

Tableau 5 : Types de faciès sédimentaires

Types	Description		
Faciès sableux	Ils se limitent à la bordure littorale entre 10 et 35m de profondeur ou droit des émissaire et en prolongement des caps où ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, et ceci en direction du centre de la baie.	Sables fins	Essentiellement d'origine terrigène, représentés dans l'ensemble des dépôts pélitiques occupant les petit fonds.
		Sables moyens	Ils sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bonde étroite parallèle au rivage
		Sables grossiers	Ils sont prédominant dans le secteur Est où ils sont mélangés au faciès pélitiques (du cap Matifou vers l'embouchure de Oued El Hamiz)
Faciès carbonatés	Ils sont localisés dans la bordure Ouest jusqu'à 35 et 50m de profondeur et à des profondeurs plus importantes à l'Est au droit du cap Matifou		
Faciès pélitiques	Dans la baie d'Alger, 70% de dépôts superficiels constituent les faciès vaseux sableux a vaseux. La fraction pélitiques représente 10% des dépôts à 10m de profondeur, 50% dès la profondeur de 25 m et 75 à 95 % à la profondeur de 30m et 50 m, à proximité des oueds.		

1.2. Baie de Bou Ismail :

La baie de Bou Ismail se trouve dans le sous bassin Algérien de la Méditerranée occidentale entre 2°45'E et 36°48'N et 2°24'E et 36°38'. Elle est limitée par la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi Fredj, et par le mont de Chenoua à l'Ouest, par la plaine de la Mitidja au sud et la mer Méditerranée au Nord, avec une ouverture de 40Km et une superficie d'environ 350km².

1.2.1. Sédimentologie :

Les fonds de la baie de Bou Ismail se caractérisent par une grande diversité sur le plan sédimentaire. Neuf facies sédimentaires ont été identifiés : les sables fins, les sables fins envases, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envases, les sables grossiers et fin graviers, les vases pires, le facies rocheux. Selon (LEM, 1998), la répartition de ces derniers n'est pas homogène avec une dominance des sables envases.

1.3. Baie de Zemmouri :

La grande baie de Zemmouri se situe à une quarantaine de kilomètres à l'Est d'Alger, limitée par le cap Djinet à l'Est, le cap Matifou à l'Ouest, au sud par la plaine de Mitidja et Nord par la méditerranée occidentale. C'est une baie largement ouverte vers le Nord d'Environ 45Km, dont le linéaire côtier s'étalant sur environ une cinquantaine (54Km) de kilomètres. A noter l'existence d'un promontoire rocheux d'environ 100m (Rocher Noir).

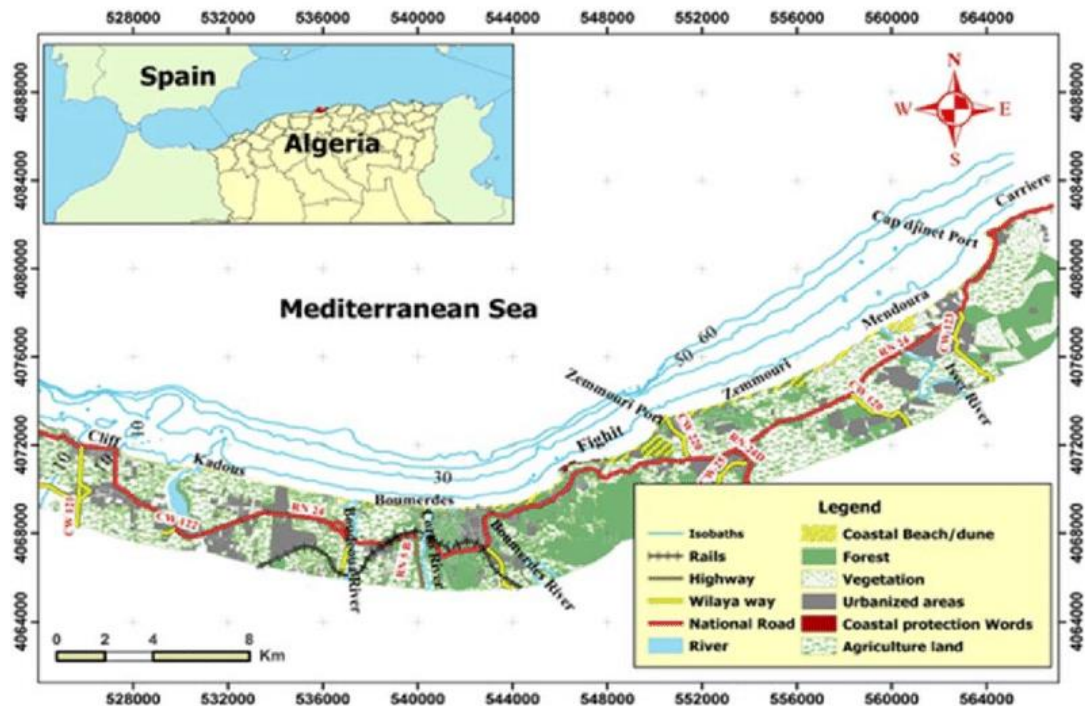


Figure 18: Situation géographique de la baie de Zemmouri (AOUDJ *et al.*, 2020)

1.3.1. Caractéristiques morphologiques :

La baie est caractérisée par un plateau continental réduit de 1,5Km (Lecraire, 1972), et une morphologie côtière plus ou moins diversifiée, on constat :

- La succession des plages sableuse tout le long de la baie avec très peu de falaise.
- La succession de grand amas dunaires sous-marins au niveau du cap Blanc et Cap Djinet qui se forment sous l'effet de la houle.
- Un platier rocheux contournant le promontoire de cap Matifou pour apparaitre sous la forme de lambeaux formants ainsi le platier de l'île Aguèli et les îles Sanja .le reste du fond est constitué de sédiment meuble avec parfois une végétation clairsemée.
- Le talus continental est intensément buriné par réseau de canyons (vallée sous-marines de Zemmouri) qui perturbe la régularité du plateau ainsi que l'évolution du trait de côte. Les canyons du cap Blanc et Zemmouri sont parfaitement nets en entaillant le rebord de ce talus.

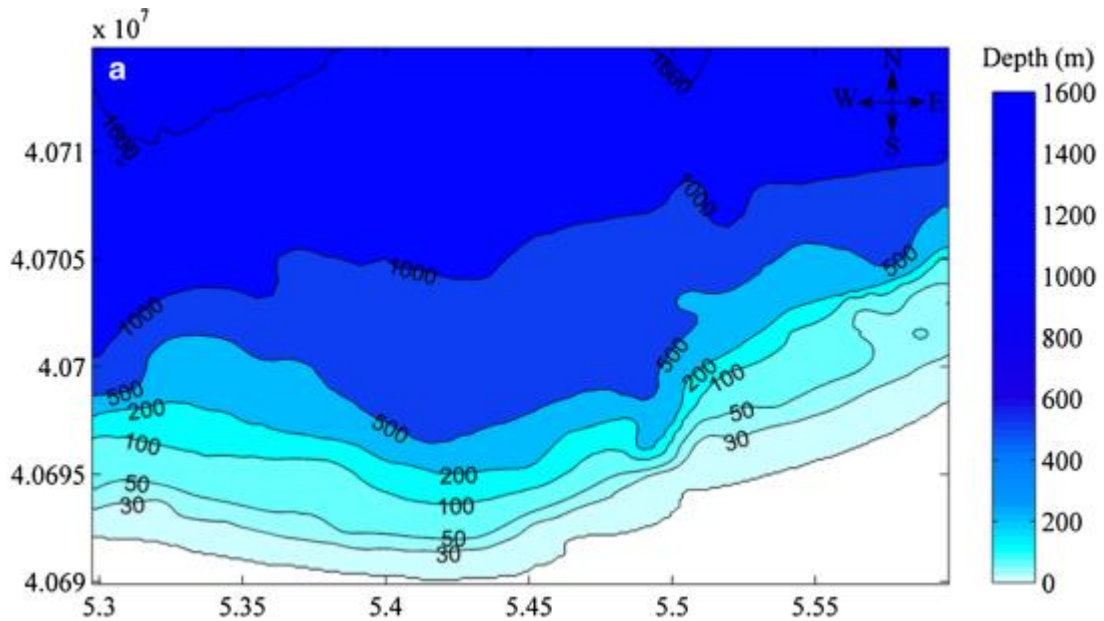


Figure 19 : Carte bathymétrique de la baie de Zemouri (DAHMANI *et al.*, 2019)

1.3.2. Sédimentologie :

D'après les résultats de Leclaire, 1972, la baie est constituée de sédiments calcaires, sédiments siliceux et sédiments argileux, leur répartition et leur déplacement suit la dynamique sédimentaire ainsi que l'hydrodynamique locale.

- Sédiments calcaires :

Le substratum affleure en plusieurs points en constituant autant de "fonds vifs" sur lequel se développent différentes espèces dont leurs débris calcaires s'accumulent sur place ou à proximité formant des sables et des graviers, dans les îles du Sanja à l'île Aguèli, ainsi que sur la bordure rocheuse du cap Matifou.

- Sédiments siliceux :

Au bord du cap Matifou, jusqu'au cap Djinet un important système sablonneux se développent sur les premières profondeurs du plateau (-20m) quasiment ininterrompu, à l'exception de la partie Est de la baie, entre l'Oued Isser et cap Djinet, où ce système diminue pour apparaître à -10m au-delà, de ce système se sont les boues silico-argileuses qui se déposent composées de sables siliceux, 30% d'argile et 20% de calcaire (FERRANI *et CHAHAIMA.*, 1998).

- Sédiments argileux :

Le rebord et le début de la pente continentale de 40% à 50% est recouverte par les boues argilo-siliceuses, cette fraction des sédiments est de quelques quartz et de débris végétaux.

2. Facteurs hydrodynamiques :

2.1. Les vents :

Dans le littoral algérois, les vents dominants en hiver, sont de secteur W-SW, d'une vitesse moyenne de 11,1km/h en se basant sur les données de cinq ans entre 2010-2015, tandis qu'en été, c'est les vents de secteurs NE d'une vitesse de 10,8km/h qui domine; les vents de secteur S-SE, moins fréquent, sont

surtout observés en automne avec une vitesse de 8,8 km/h en hiver.(selon les études de Lalami-Taleb (1971), LECLAIRE (1972), CAULET (1972), MAOUCHE (1987) et SERIDJI (1989).

Le vent agit directement sur la circulation des eaux superficielles, et ainsi indirectement sur le transport, la dispersion des apports terrigènes fins, et des éléments polluants (*BAKALEM, 2008*).

2.2. Les marées :

Le niveau de la mer varie avec la direction des vents, et la différence des niveaux atteint 75 à 80cm maximum, et la moyenne significative de celle-ci est la différence verticale entre la marée la plus haute et la marée la plus basse.

Dans le bassin algérien, la marée moyenne est relativement inférieure à 0,5mm (*LECLAIRE, 1972*) elle est considérée comme faible. Il s'agit plus d'une marée barométrique que d'une marée astronomique. de ce fait, il est plus intéressant de parler du niveau de la mer.

Quelques indications relatives sur ce paramètre près des côtes Algériennes :

- Le niveau maximal : +0,60 m(NGA) ;
- La moyenne des hautes mers de vive eau : +0,10m (NGA) ;
- Les plus basses mers : -0,34 m (NGA).

2.3. Les vagues :

La côte Algéroise se caractérise faiblement par une hauteur moyenne de vague à moyenne (entre 0,2 et 3m d'amplitude. Et en fonction de la direction des vents, les vagues sont à la majorité orientées dans les directions Ouest et Nord-Est, le pourcentage des vagues de plus de 0,5m de hauteur déferlent à l'embouchure du port d'Alger en provenance de direction du Nord à l'Est est de 6,1% ; on observe que peu de vagues de plus de 1,0m de hauteur (1%).

Les vagues proviennent majoritairement de direction Nord à Nord-Est, les vagues proviennent du Nord-Est étant un peu plus fréquentes que les autres.

2.4. Les houles :

La houle du littoral Algérois suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier, comme pour le reste de la marge Algérienne (*LECLAIRE, 1972*). sachant qu'en hivers, les houles sont de direction W-NW (300°) et ,en été, elle sont de direction N-NE (20°-40°).(*BENZOHRRA, 1993; BELKESSA et al., 2008; LEM, 1998*).

Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre, les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de "-40m à -60m". (*HOUMA, 2009*).

2.5. Les courants marins :

Les principaux courants marins de la zone maritime Algérienne sont des courants allant vers l'Est en passant par le détroit de Gibraltar, ayant une salinité de 36,15PSU. D'une manière générale leur vitesse est comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ nœuds .Il existe des contres courants latéraux allant vers l'Ouest qui sont en général, faibles.

Il existe deux types de courants côtiers :

- Les courants de dérive littorale :

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement ou l'énergie est maximale.

Cette énergie permet la remise en suspension et le transmit des particules sédimentaires le long de la côte.

- Les courants de retour :

C'est des courants ayant une vitesse dépendante de l'énergie de la houle et de la pente de la plage, et qui sont responsables de dispersion d'une partie de sédiments côtiers vers le large.

- Bilal des courants marins :

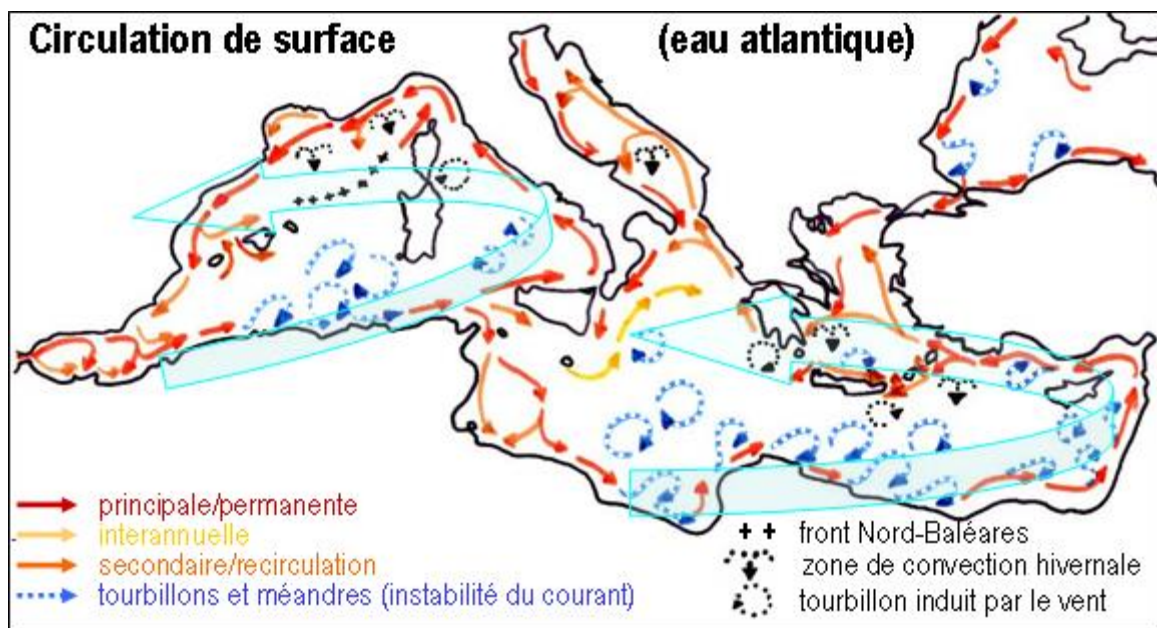


Figure 20 : Circulation de l'eau d'origine atlantique dans la mer Méditerranée (TAUPIER-LETAGE, 2013)

La zone Algéroise à la même circulation que le bassin algérien, ces masses d'eau sont décrites par CHOUIKHI et al. (1993) comme suit :

- **MAW (Modified Atlantic Water) :**

- Eau atlantique modifiée par interaction avec l'atmosphère et le mélange avec les eaux méditerranéennes.
 - Courants circulants d'Ouest en Est ayant des vitesses maximales de l'ordre de 80-100 cm/s.
 - Courants générant des upwellings côtiers, plus ou moins intenses près des côtes.
 - Caractérisée par des températures variables en surface (15 à 23°C) et des salinités (35,5 à 38 PSU).
 - Courants de largeur de 30 à 40 km et d'épaisseur de 150 à 200m.
- **WIW (Winter Intermediate Water) :**
- L'eau hivernale intermédiaire, formée de convection hivernale dans le bassin Nord occidental (mer Catalane, golf du Lyon)
 - Elle se situe entre 150 et 250m
 - Un minimum relatif de température (~12,65 à 13,20°C) et une salinité d'environ 38,3PSU
- **LIW (Levantine Intermediate Water) :**
- Formée en méditerranée.
 - Elle se situe sous la WIW.
 - Entre 250-300m et 500-600 m, elle est reconnaissable par des maxima relatifs de température potentielle (13,2 à 14°C).
- **DW (Winter Mediterranean Deep Water):**
- Elle se situe sous LIW.
 - Elle est identifiable vers 600-700m par de faibles températures variant de 12,75 à 12,90°C, et une salinité entre 38,42 et 38,47 PSU.
 - Elle se forme au cours de l'hiver rigoureux par le mélange de LIW et MAW.
- **BW (Bottom Water):**
- Epaisseur de quelques centaines de mètres.
 - Elle se situe près du fond.
 - Elle est relativement plus chaude et plus salée que l'eau profonde.

3. L'hydrologie :

L'hydrologie du littoral Algérois est caractérisée par des eaux atlantiques dont la circulation varie en fonction du régime des vents, avec une vitesse d'écoulement moyenne de 3 nœuds, et un maximum en décembre et un minimum en juillet-août, où les vents d'Est sont dominants. Il est aussi alimenté par plusieurs oueds, comme suit :

- La baie d'Alger :

Oued El Herrach qui se dirige au centre de la baie, il coule pendant la majeure partie de l'année en déversant surtout des eaux usées. La superficie de son bassin versant est de 970km².

Oued El Hamiz qui débouche à l'Est de la baie près du cap Matifou. Son bassin versant a une superficie de 160km².

- La baie de Bou Ismail :

Oued Mazafran avec un bassin versant de 1850km², et un débit estimé entre 1400 et 1800 l/km², tandis que le débit volumique à 43,8 millions m³/ans.

Oued Nador débouchant entre Djbel Chenoua et Tipaza, avec un débit liquide de 28 millions m³/ans.

Oued Beni Messous traversant les communes de Beni Messous et Chéraga d'une longueur de 11,5km, avec un faible débit de 0,245 m³/s.

- La baie de Zemmouri :

Oued Sebaou avec un bassin versant de 2890 km², et une longueur de 13241 m.

Oued Isser avec un bassin versant de 4149 km², une longueur de 17021 m, et débit liquide de 16,49m³/s.

4. Facteurs météorologiques :

4.1. Climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type Méditerranéen humide avec deux saisons distinctes :

- Saison hivernale humide et froide ;
- Saison estivale sèche et chaude.

On peut distinguer un ensemble d'éléments et de facteurs climatiques rapportés en catégorie selon (BENLATRECHE, 2006)

- Facteur énergétique : la température
- Facteur hydrologique : les précipitations
- Facteur mécanique : le vent

4.2. Température et précipitations :

L'analyse de l'évolution de la température et des précipitations entre 2017-2022, au niveau des enregistrements Meteociel - Climatologie mensuelle de Alger Port et de Dellys (Figure 21. 22. 23. 24 annexe I tableau 16,II tableau 17,III tableau 18,IV tableau 19), montre que les moyennes annuelles de la température dans la zone Alger port varient entre un minimum de 13,1°C enregistré en mois de février 2018, et un maximum de 27,85°C en mois de août en 2019 étant l'année la plus chaude.

Chapitre II : Zone d'étude

Pour la zone de Dellys l'année la plus froide est celle de 2018 avec une température minimale de 11,2°C enregistrée en mois de février, et un maximum a été enregistré en 2019 avec 27,2°C en août. Pour les précipitations elles varient entre un minimum de 0,00mm enregistré en mois de juillet en 2017-2018 pour la zone de Alger port, et pour la zone de Dellys elle a été enregistré le mois de juillet et le mois de février 2020, et un maximum de 442,2mm (Alger port) et 422,7mm (Dellys) en mois de novembre 2021, ce qui signifie que plus les précipitations sont fortes, plus les dépôts de radioéléments sont forts.

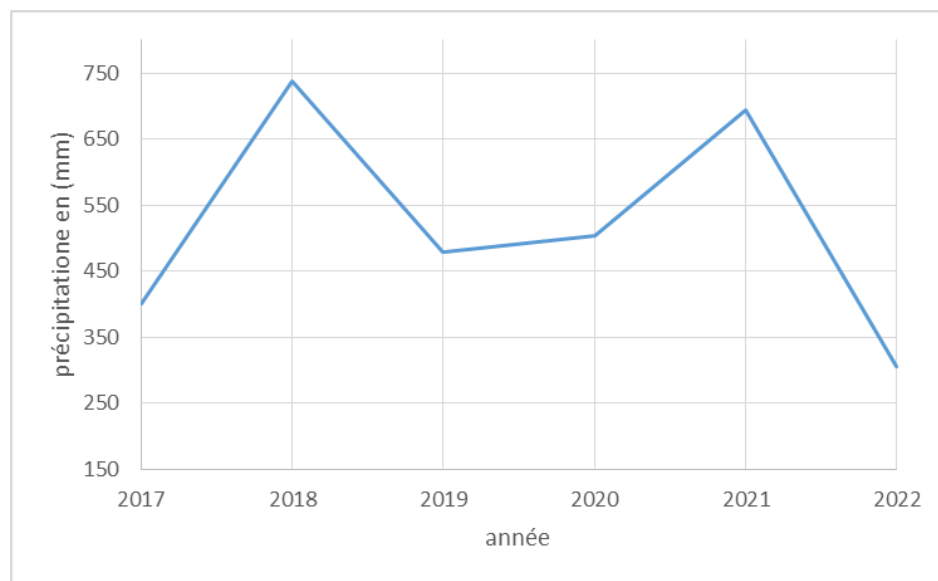


Figure 21 : Précipitations annuelles au Port d'Alger (de 2017 à 2022) (Météo-ciel)

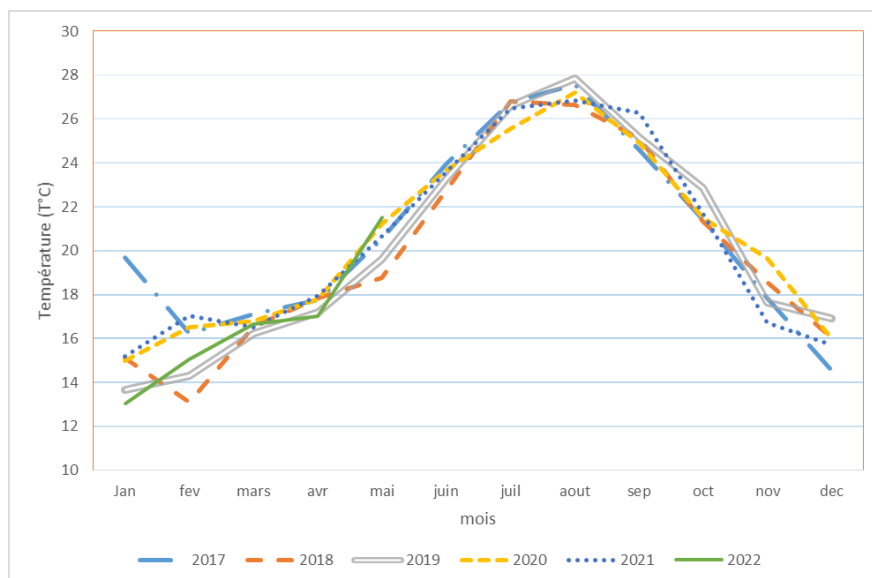


Figure 22 : Température mensuelle moyenne au Port d'Alger (de 2017 à 2022)(Météo-ciel)

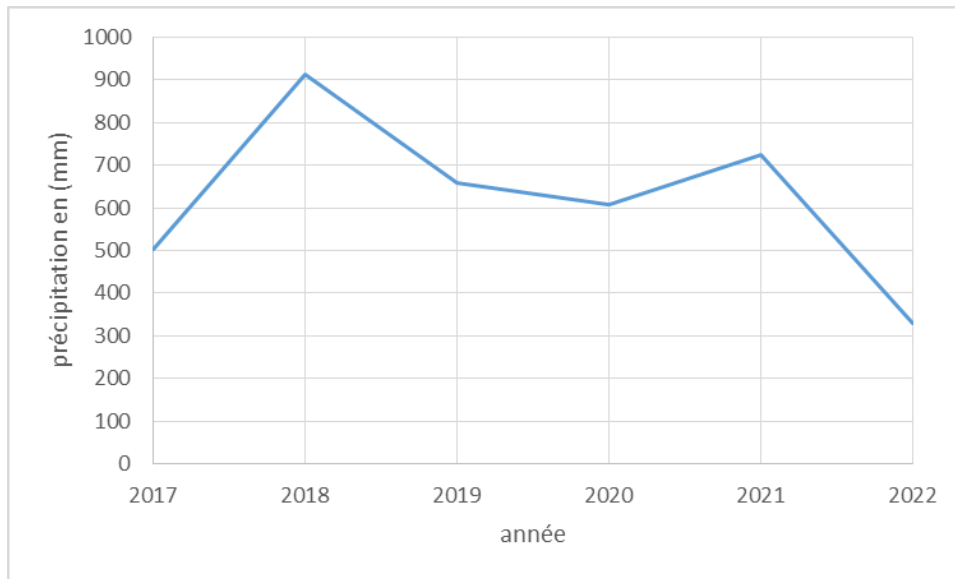


Figure 23 : Précipitations annuelles moyennes à Dellys (de 2017 à 2022) (Météo-ciel)

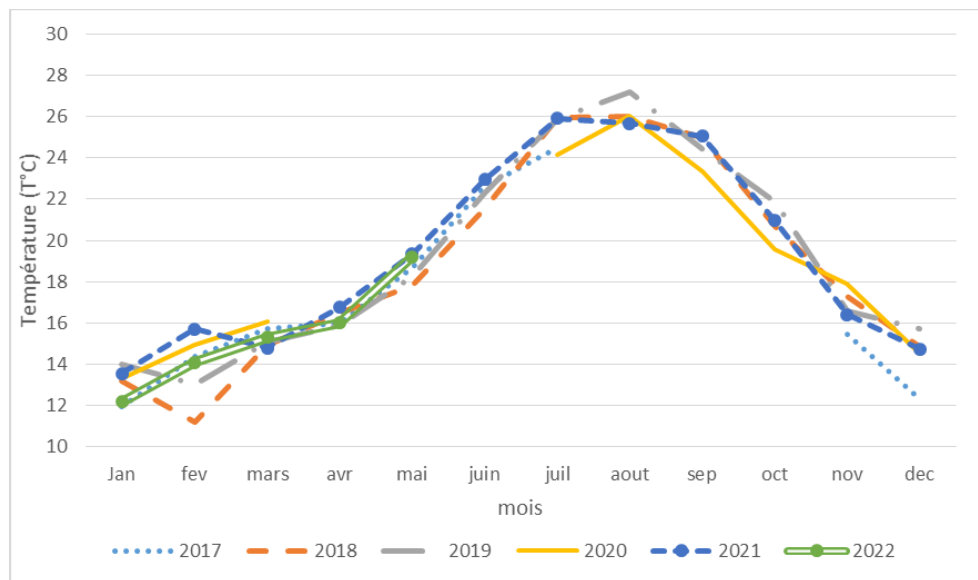


Figure 24 : Températures moyennes mensuelles à Dellys (de 2017 à 2022)(Météo-ciel)

5. Choix et localisation des stations

Le prélèvement échantillons a été effectué pendant le mois de mai, au niveau de cinq stations le long du littoral Algérois, les stations d'échantillonnage (figure. 24) sont comme suit :

- **Station 01** : la plage de Sidi Fredj qui se localise à l'Ouest de la wilaya d'Alger. Ses coordonnées géographiques sont 36°45'33"N, 2°50'33"E.
- **Station 02** : le port de Bou Ismail qui se localise au Nord-Est de la wilaya de Tipaza. Ses coordonnées géographiques sont 36°38'57" N, 2°41'33" E.
- **Station 03** : la plage de Figuier qui se localise a environs de 45Km à l'est d'Alger. Ses coordonnées géographiques sont 36°47'01" N, 3°31'00"E.
- **Station 04** : la plage El Marsa (ex Jambart) située au côté Est de la wilaya d'Alger. Ses coordonnées sont 36°48'37" N, 3°15'31" E.

- **Station 05** : la plage de Kôali se situe au niveau de la baie de Bou Ismail, elle se localise à environ 70km à l'Ouest d'Alger, ses coordonnées géographiques sont 36°35'20" N, 2°29'30" E.

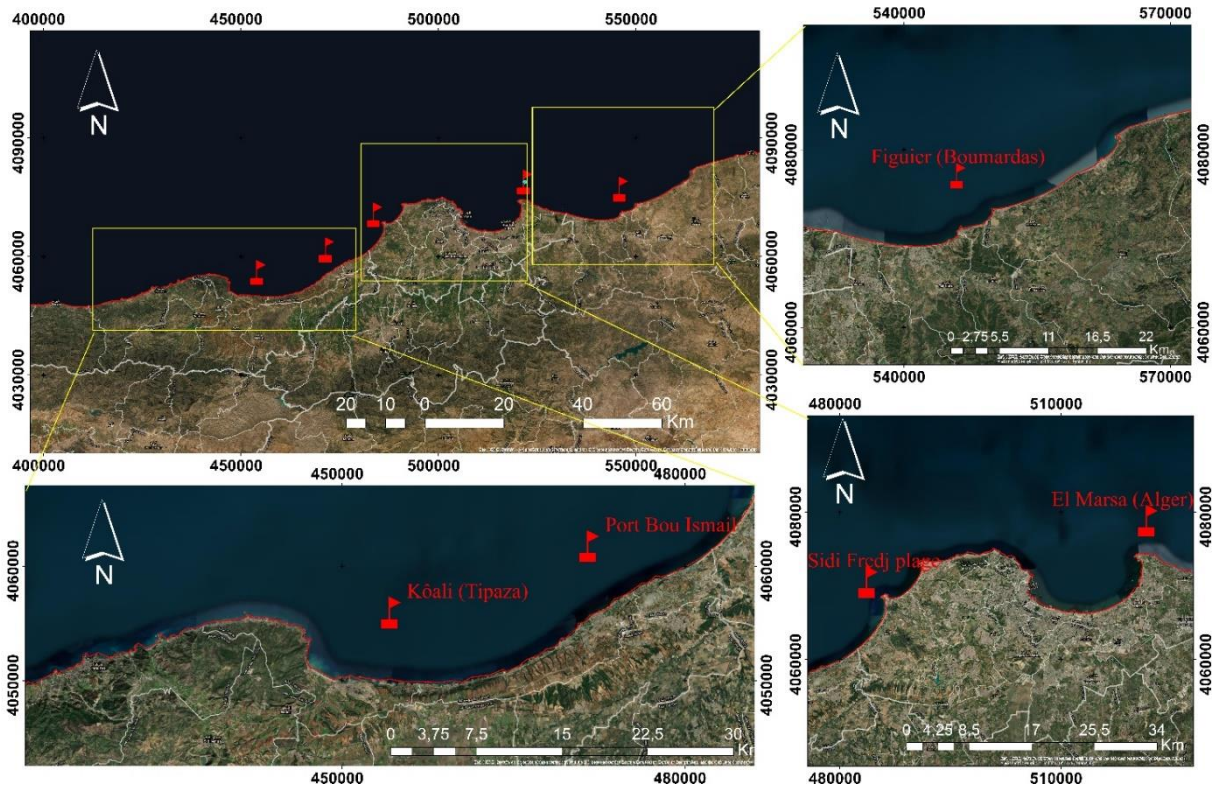


Figure 25 : Stations d'échantillonnage avec système de coordination : GCS WGS1984 (Arc Gis 10.7)

6. Choix de la matrice biologique

Le choix des algues comme matrice est fait selon plusieurs facteurs :

- 1) La zone côtière représente la partie de l'océan mondial qui est la plus vulnérable aux activités anthropiques.
- 2) Les algues sont des bioindicateurs, car elles ont la possibilité de concentrer en mer ou bien déposer via l'atmosphère les radionucléides rejetés.

Matériels et Méthodes

Chapitre III : Matériel et Méthodes

L'étude des éléments radioactifs dans l'environnement visent à connaître l'impact éventuel sur la santé humaine. La surveillance radiologique s'effectue sur tous les compartiments de l'environnement : l'eau, l'air, sédiments, sol et les biotes (faune et flore).

Dans ce chapitre nous allons présenter la méthode de l'échantillonnage de notre matrice (algue), la préparation, le conditionnement, la conservation, le traitement, et l'analyse. L'analyse est effectuée par la technique de spectrométrie gamma. Les résultats obtenus sont traités par à l'outil numérique : ERICA.

1. Collecte des algues :

Dans cette partie nous allons décrire la méthode du prélèvement des échantillons dans les cinq sites :

- Nous avons prélevé les algues dans cinq stations, d'une façon dite "sauvage", il s'agit d'une collecte aléatoire qui ne nécessite pas une surface bien déterminée. Des prélèvements de 500g à 5kg sont effectués dans des profondeurs de 0 à 1 m.
- Les échantillons sont ainsi de suite bien lavés avec l'eau de mer afin d'enlever les débris et les organismes vivants. Ces derniers sont disposés par espèces dans des sachets en plastique remplies avec de l'eau de mer, ensuite ils sont étiquetés et transportés dans une glacière à 4°C jusqu'au laboratoire.



Figure 26 : Collecte des échantillons

2. Travaux au laboratoire

Cette partie est consacrée principalement à l'identification des espèces collectées, leurs traitements jusqu'à leur analyse.

2.1. Identification

Au laboratoire des spécimens de chaque espèce sont choisis afin d'identifier chacune.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Les algues choisies ont été identifiées au niveau du laboratoire de l'aquaculture de l'ENSSMAL, en examinant un certain nombre de caractères morphoanatomiques (forme, taille et couleur), macroscopiques et microscopiques en suivant les clés d'identification rapportées dans la littérature.

Tableau 6: Informations relatives aux échantillons d'algues récoltées le long du littoral Algérois

Site	Coordonnées géographiques	Date du prélèvement	Type d'algue	Espèce
Sidi Fredj plage	36°45'33" N	17/05/2022 à 9h30	Verte	<i>Ulva rigida</i>
	2°50'33" E		Rouge	<i>Grateloupia lanceola</i>
			Brune	<i>Sargassum vulgare</i>
Port Bou Ismail	36°38'57" N	18/05/2022 à 10h30	Verte	<i>Ulva rigida</i>
	2°41'33" E		Rouge	<i>Grateloupia lanceola</i>
			Brune	<i>Dilophus spiralis</i>
Figuier (Boumerdès)	36°47'01" N	23/25/2022 à 11h	Verte	<i>Ulva lactuca</i>
	3°31'00" E		Rouge	<i>Pterocladia capillacea</i>
			Brune	<i>Cystoseira amontacea</i> <i>var. stericta</i>
El Marsa (Alger)	36°48'37" N	24/05/2022 à 11h	Verte	<i>Ulva lactuca</i>
	3°15'31" E		Rouge	<i>Pterocladia capillacea</i>
			Brune	<i>Cutleria multifida</i>
Kôali (Tipaza)	36°35'20" N	25/05/2022 à 10h30	Brune	<i>Cystoseira humilis</i>
	2°29'30" E			

- **Identification et position systématique :**

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Les espèces identifiées sont présentées selon leurs groupes systématiques qui sont données selon un ordre évolutif. La nomenclature des espèces est donnée selon la taxonomie actuelle (WoRMS, 2022) (Guiry Guiry, 2022).

Grateloupia lanceola

Position systématique :

Règne : Plantae

Sous-Règne : Biliphyta

Embranchement : Rhodophyta

Sous-embranchement : Eurhodophytina

Classe : Florideophyceae

Sous-classe : Rhodymeniophycidae

Ordre : Halymeniales

Famille : Halymeniaceae

Genre : *Grateloupia* Espèce : *Grateloupia lanceola* Agardh.J , 1851



Figure 27 : *Grateloupia lanceola*

Pterocliadiella capillacea

Position systématique :

Règne : Plantae

Sous-Règne : Biliphyta

Embranchement : Rhodophyta

Sous-embranchement : Eurhodophytina

Classe : Florideophyceae

Sous-classe : Rhodymeniophycidae

Ordre : Gelidiales

Famille : Pterocliadiaceae

Genre : *Pterocliadiella*

Espèce : *Pterocliadiella capillacea* Santelices et Hommersand, 1997



Figure 28 : *Pterocliadiella capillacea*

Cutleria multifida

Position systématique :

Règne : Chromista

Sous-Règne : Harosa

Embranchement : Ochrophyta

Sous-embranchement : Phaeista

Classe : Pheophyceae

Sous-classe : Fucophycidae

Ordre : Tilopteridales

Famille : Cutleriaceae

Genre : Coutellerie

Espèce : *Cutleria multifida* Greville, 1830



Figure 29 : *Cutleria multifida*

Cystoseira amentacea var. stricta

Position systématique :

Règne : Chromista

Embranchement : ochrophyta

Classe : Phaeophyceae

Sous-classe : Fucophycidae

Ordre : Fucales

Famille : Sargassaceae

Genre : *Cystoseira*

Espèce : *Cystoseira amantacea* Montagne, 1846



Figure 30 : *Cystoseira amantacea*

Cystoseira humilis

Position systématique :

Règne : Chromista

Embranchement : ochrophyta

Classe : Phaeophyceae

Sous-classe : Fucophycidae

Ordre : Fucales

Famille : Sargassaceae

Genre : *Cystoseira*

Espèce : *Cystoseira humilis* Schousboe ex Kutzing, 1860



Figure 31 : *Cystoseira humilis*

Dilophus spiralis

Position systématique :

Règne : Chromista

Embranchement : ochrophyta

Classe : Phaeophyceae

Sous-classe : Dictyotophycidae

Ordre : Dictyotales

Famille : Dictyotaceae

Genre : *Dilophus*

Espèce : *Dilophus spiralis* Hamel 1939



Figure 32 : *Dilophus spiralis*

Sargassum vulgare var. tenuissimum

Position systématique :

Règne : Chromista

Embranchement : ochrophyta

Classe : Phaeophyceae

Sous-classe : Fucophycidae

Ordre : Fucales

Famille : Sargassaceae

Genre : *Sargassum*

Espèce : *Sargassum vulgare* Endlicher et Diesing 1845



Figure 33 : *Sargassum vulgare*

Ulva lactuca

Position systématique :

Règne : Plantae

Sous-Règne : Viridiplantae

Embranchement : Chlorophyta

Sous-embranchement : Chlorophytina

Classe : Ulvophyceae

Ordre : Ulvales

Famille : Ulvaceae

Genre : *Ulva*

Espèce : *Ulva lactuca*, Linnaeus, 1753



Figure 34 : *Ulva lactuca*

Ulva rigida

Position systématique :

Règne : Plantae

Sous-Règne : Viridiplantae

Embranchement : Chlorophyta

Sous-embranchement : Cholorophytina

Classe : Ulvophyceae

Ordre : Ulvales

Famille : Ulvaceae

Genre : *Ulva*

Espèce : *Ulva rigida* Agardh .C, 1823



Figure 35 : *Ulva rigida*

2.2. Préparation des échantillons :

La préparation des échantillons pour leur analyse est faite en suivant le protocole décrit par A.TEJERA et al ,2018.

- A l'arrivé au laboratoire les échantillons sont lavées soigneusement avec l'eau de mer et puis avec de l'eau distillée ;
- Ensuite une pesée est réalisée afin de déterminer le poids frais de chaque échantillon ;
- Les échantillons sont d'abords séchés à l'air libre pendant 24h ;
- Ils sont de suite séchés dans des étuves pendant 24h à 80°C ;
- Ensuite une première pesée du poids sec est effectuée, et une deuxième est effectuée après 48h pour atteindre l'équilibre massique ;
- Une fois l'équilibre massique est atteint les échantillons sont broyés et mis dans des sachets en plastique ;
- Les sachets sont mis dans des flacons cylindriques d'une géométrie des 250cc.
- Le flacon est mis dans un détecteur GeHP du laboratoire de l'environnement du CRNA, pour une analyse d'une durée de 24h à 48h.



Figure 36: Echantillon préparé pour l'analyse

2.3. Mesure de la radioactivité par spectrométrie gamma :

La spectrométrie gamma est une technique de mesure qui passe par les étapes ci-dessous :

- La préparation de l'échantillon à mesurer ;
- La calibration en énergie et en efficacité de la chaîne gamma ;
- L'acquisition du bruit de fond ;
- L'acquisition de l'échantillon ;
- La recherche des pics par le logiciel Fitzpeaks ;
- L'identification des radionucléides ;
- Le calcul des activités et de leurs incertitudes.



Figure 37 : Chaîne de la spectrométrie gamma GeHP du laboratoire de l'environnement du CRNA

2.3.1. Introduction

La spectrométrie gamma est une technique d'analyse multiélémentaire, qui permet de détecter et de quantifier la plupart des radionucléides naturels et artificiels présents dans les échantillons de l'environnement, et de déterminer leur activité spécifique par unité de masse ou de volume. Elle ne

nécessite pas de longues préparations, contrairement à la mesure des émetteurs α et β , d'autre part elle est non destructive. Mais l'influence de la géométrie de comptage sur l'efficacité de détection, et la contribution aux faibles énergies du bruit de fonds dû à la radioactivité ambiante, présente un inconvénient pour cette méthode, ce qui consiste à effectuer une calibration en énergie grâce à l'utilisation des échantillons standardisés, ayant les mêmes conditions que l'échantillon à analyser.

2.3.2. Constituants et principe d'une chaîne de spectrométrie gamma :

Le but de La chaîne d'acquisition est de relier le signal électrique à une énergie et ensuite de comptabiliser les différentes énergies obtenues, cette chaîne est composée de :

- Une enceinte blindée en plomb (de 10 cm recouverte par une couche de 2 mm de cuivre, qui réduit les rayons X de fluorescence générés par le plomb), constituée au centre d'un détecteur qui exploite l'ionisation ou l'excitation atomique lors de l'interaction des photons avec la matière pour une analyse électronique de leurs énergies, dont il existe plusieurs types parmi ceux-ci, le détecteur au Germanium de haute pureté (Ge HP). Ce dernier, est relié à un réservoir d'azote liquide de 30l dont le but est de le refroidir (-196°C).
- Un préamplificateur qui converti l'énergie du rayonnement gamma en impulsions électriques.
- Une électronique de détection qui est composée de :
 - Un rack contenant l'amplificateur qui permet de mettre en forme le signal issu du préamplificateur (gaussienne) et de réduire le bruit de fond, le moniteur d'azote qui indique le niveau d'azote dans le réservoir, et l'alimentation de haute tension ;
 - Une carte d'interface contenant un convertisseur analogique digital ADC permettant de convertir la valeur de crête de l'impulsion en une valeur numérique, celle-ci est alors enregistrée dans une mémoire qui possède autant d'adresses que le maximum de numéro de canaux, qui servent à découper le spectre final (~8000 canaux), et un analyseur multicanal MCA qui permet de trier les impulsions selon leurs amplitudes.
 - Un microordinateur qui permet la visualisation des résultats sous forme d'histogramme qu'on appelle "spectre différentiel de hauteur d'impulsion".
 - Un 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 multicanal.
 - Le traitement des spectres a été effectué à l'aide du logiciel Fitzpeaks.

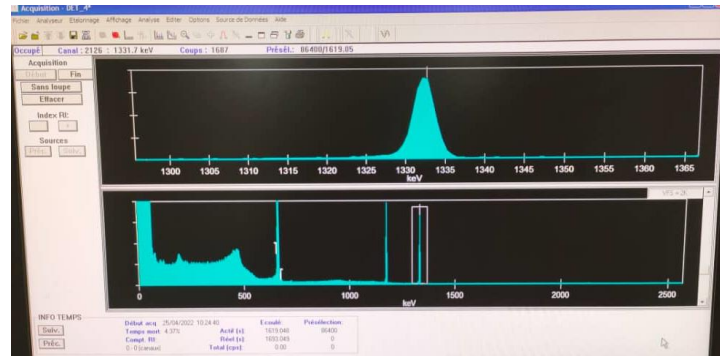


Figure 38 : Interface du logiciel Génie2000

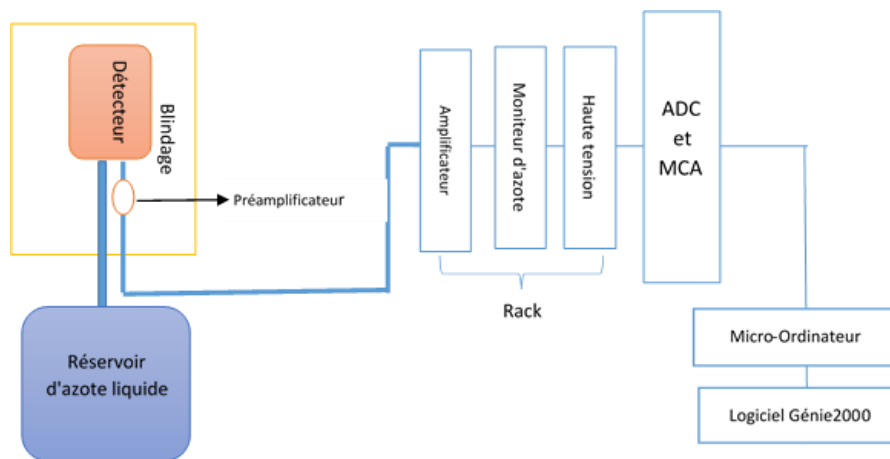


Figure 39 : Constituants de la de spectrométrie gamma

La détection des rayonnements gamma se déroule suite à l'interaction entre le rayonnement et la matière (effet photon électrique), qui va générer la production d'un signal électrique. Une fois que le rayonnement gamma passe à travers le détecteur, il y aura une ionisation et une création du pair électron-positon, ensuite la haute tension va collecter les charges, qui vont être converties en tension électrique par le préamplificateur. Ainsi l'amplificateur va s'occuper de la mise en forme des impulsions produites par l'interaction des photons. Celles-ci vont être réparties selon leurs amplitudes afin de dresser des histogrammes par l'ADC, et mémoriser dans des canaux par le MCA. Le résultat va être enregistré par le logiciel de traitement et d'analyse.

2.3.3. Interaction photo-matière :

L'atténuation d'un ensemble de photons (faisceaux de photons X ou gamma) lors de leurs interactions avec la matière est en fonction de l'épaisseur. Quand un photon incident interagit avec la matière, plusieurs cas sont possibles :

- Interaction **photon-électron** :
- Le photon transmet toute son énergie à un électron et disparaît : **effet photon-électron ϕ**

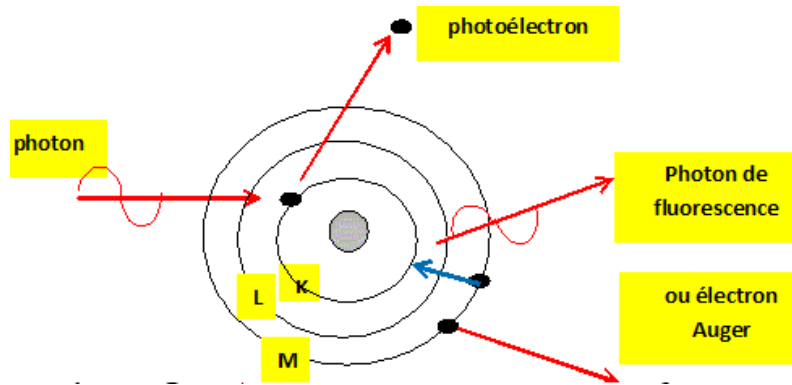


Figure 40 : Effet photon-électron ϕ

- Le photon transmet une partie de son énergie et est diffusé : **effet Compton χ**

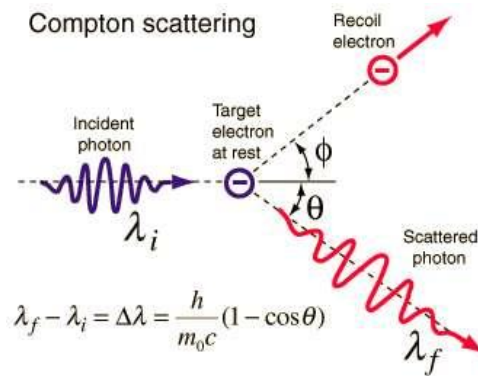


Figure 41 : Effet Compton

- Le photon est dévié, sans perte d'énergie, par un électron : diffusion *Thomson-Rayleigh*

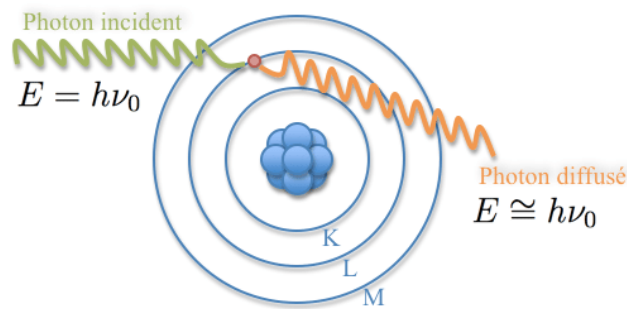


Figure 42: Diffusion Thomson Rayleigh

- Le photon n'interagit pas avec la matière : il est transmis sans aucune perte d'énergie

2.3.4. Etalonnage en énergie

Le but de la calibration en énergie est d'identifier correctement les radionucléides présents dans l'échantillon à travers la correspondance canal énergie, 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 (59,5 keV), ^{137}Cs (661,6keV), ^{60}Co (1173,2keV, 1332,4 keV).

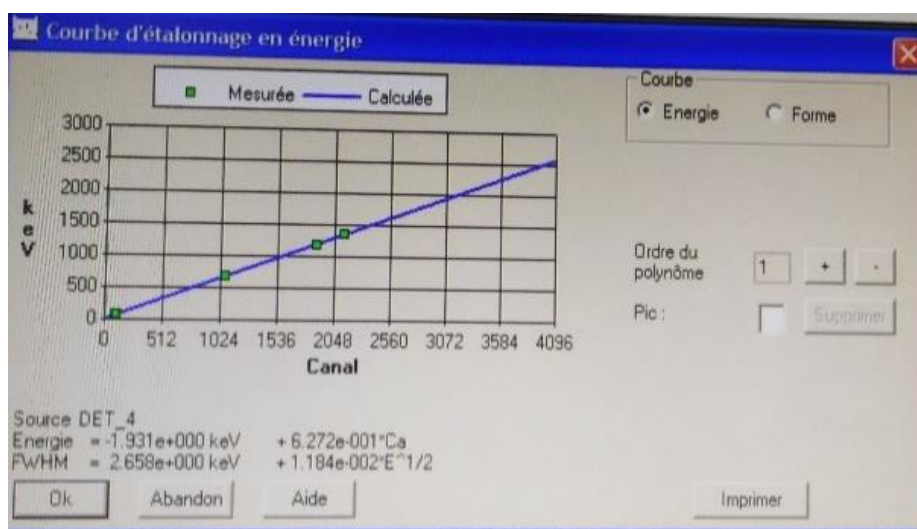


Figure 43 : Courbe d'étalonnage

2.3.5. Comptage du bruit de fond ambiant

C'est le comptage ou l'enregistrement d'un spectre en l'absence totale de radioactivité dans un échantillon, l'instrument utilisé pour la mesure va indiquer une valeur non nulle (par exemple un taux de comptage exprimé en coups par seconde (c.s-1)) correspondant au nombre de désintégrations radioactives détectées par unité de temps. Les désintégrations radioactives détectées par l'instrument dans ces conditions sont issues du rayonnement naturel ambiant (cosmique et tellurique), et des radionucléides naturels présents à l'état de traces :

- Dans les composants de l'instrument de mesure lui-même (210Pb du blindage, composants électroniques...);
- Dans les conteneurs utilisés pour la mesure (^{40}K dans le verre,...);
- Dans les réactifs chimiques utilisés pour la préparation de l'échantillon (acides...)...

Nota : La réalisation régulière de mesure de bruit de fond en un même lieu avec le même appareil permet de s'assurer sa non-contamination.

Pour notre étude, nous avons réalisé un comptage du bruit de fond, avec un détecteur vide.

2.3.6. Etalonnage en efficacité

L'efficacité absolue varie en fonction de l'énergie des photons émis par une source. Pour établir ce dernier, on doit utiliser des sources étalons (standards) qui sont de natures et de formes semblables à celles de l'échantillon à analyser. Pour notre cas on a utilisé deux échantillons standards qui sont de type floral, bambou et algue d'une géométrie de 250 cc et d'un poids de 100g. le premier (bambou) est

contamine par AIEA avec le ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K , le deuxième est préparé au niveau du laboratoire de l'environnement du CRNA, ceci est contaminé par une source de Baryum (^{133}Ba). Une courbe de rendement de détection en fonction de l'énergie est obtenue pour une géométrie et une matrice donnée. A partir de cette courbe, les efficacités de détection des différents pics du spectre de l'échantillon sont exploitées pour le calcul de l'activité.

La calibration en efficacité permet d'établir la relation entre la surface d'un pic et l'activité connue du nucléide, produisant le pic :

$$\varepsilon = \frac{N}{A * I * t * m} \quad (\text{III.1})$$

Où

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 γ considérée d'énergie E de ce nucléide,

t : la durée du comptage en seconde.

m : masse de l'échantillon (Kg).

➤ **Préparation du standard :**

Le premier standard utilisé pour cette présente étude qui est le bambou, est fournie par l'AIEA pour l'intercomparaison, et qui est contaminé par trois sources radioactives avec des activités connues (le ^{137}Cs (2063 ± 93 Bq), ^{134}Cs ($86,6 \pm 4$ Bq), ^{40}K ($97,9 \pm 7,2$ Bq)).

Le second est préparé au sein du laboratoire de CRNA :

- Une pesé de 100g d'algue est réalisé, ensuite cette masse est subdivisée en cinq échantillons de 20g ;
- Dans un flacon d'une géométrie de 250cc, 20g du poids de l'échantillon est mise ;
- 2ml de la solution de ^{133}Ba est rajouté sur toute la surface, de façon matricielle ;
- Une autre couche de l'algue est rajoutée, pour chaque couche ; 2ml de la solution sont mises sur toute la surface (pour la troisième couche 1ml est rajouté) ;
- Une fois la dernière couche est rajoutée l'échantillon sera analysé.



Figure 44 : Préparation de standard algue

2.3.7. Calcul de l'activité spécifique (activité massique) et de l'incertitude

L'activité massique est le nombre de désintégrations d'une substance radioactive par unité de temps et par unité de masse. Cette grandeur est également appelée activité spécifique. Elle s'exprime en becquerels par kilogramme (Bq/kg), et elle est déterminée par la formule ci-dessous :

$$A = \frac{N_r \cdot C}{\varepsilon \cdot I \cdot m \cdot t} \quad (\text{III.2})$$

Où

$N_r = N_{\text{net}} - N_{\text{BF}}$ est le temps réel en coups ;

ε : est l'efficacité ou rendement de détection déduit de la courbe d'efficacité tracée à partir des deux équations (1) et (2) ;

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).

Les incertitudes absolues sur les activités massiques sont données par l'expression suivante :

$$\frac{\sigma A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma N_r}{N_r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\sigma m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma t}{t}\right)^2} \quad (\text{III.3})$$

2.3.8. Facteurs correctifs

C'est des facteurs utilisés pour la correction des activités spécifiques des radionucléides de courtes ou des moyennes durées. Il existe trois (3) facteurs :

- 1) K_c facteur correctif pour la décroissance du radionucléide durant le comptage :

$$K_c = \frac{T_{1/2}}{\ln(2) \cdot t_c} \cdot 1 - e^{\left[\frac{\ln(2) \cdot t_c}{T_{1/2}} \right]} \quad (\text{III. 4})$$

- 2) K_w facteur correctif pour la décroissance du radionucléide durant la période d'attente allant de la fin d'échantillonnage au début de l'analyse :

$$K_w = e^{\left[\frac{-\ln(2) \cdot t_w}{T_{1/2}} \right]} \quad (\text{III. 5})$$

- 3) K_s facteur correctif pour la décroissance du radionucléide durant la période d'échantillonnage :

$$K_s = \frac{T_{1/2}}{\ln(2) \cdot t_s} \cdot \left[1 - e^{\left[\frac{-\ln(2) \cdot t_s}{T_{1/2}} \right]} \right] \quad (\text{III. 6})$$

Nota : dans notre étude nous n'avons pas utilisé les facteurs correctifs

2.3.9. Activité Minimale Détectable (AMD)

L'activité minimale de détection (AMD) se définit comme la plus petite valeur d'activité radioactive qu'un appareil peut détecter. L'équation de la AMD permet de définir les paramètres importants pour la mesure de nos échantillons.

Pour le calcul de l'AMD, nous devons passer par deux grandeurs qui s'expriment en nombre de coups :

- Le seuil de décision (SD) est celui au-dessous duquel on estime qu'un signal N n'est pas significatif,

$$SD = 2\sqrt{2N_{BF}} \quad (\text{III. 7})$$

- La limite de détection (LD) est la valeur correspondante au plus petit signal qui peut être quantifié de manière fiable.

$$LD = 2SD \quad (\text{III. 8})$$

Dans le cas où le signal N est inférieur à la LD, on calculera l'AMD à partir de LD

$$AMD = \frac{LD}{\epsilon * I * t} \quad (\text{III. 9})$$

Dans le cas inverse (le signal N est supérieur à la LD) ; on calculera l'activité associée A à partir de N avec la formule (III.2).

3. Evaluation radioecologique et dosémetrique :

Cette partie est réalisée grâce à un outil numérique : ERICA, afin d'évaluer, de caractériser, de gérer les risques environnementaux induits par la présence des radionucléides dans les écosystèmes .

- ERICA

- Crée un nouveau projet en cliquant sur New, et mettre le nom du projet;

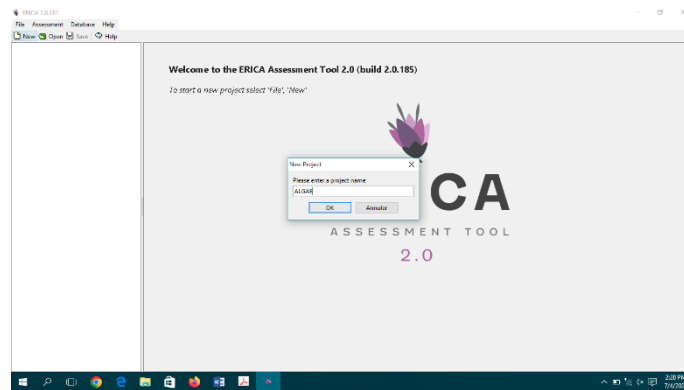


Figure 45 : Interface du code ERICA

- Sélectionner le niveau (Tier 2 pour une traitement de series multiples);

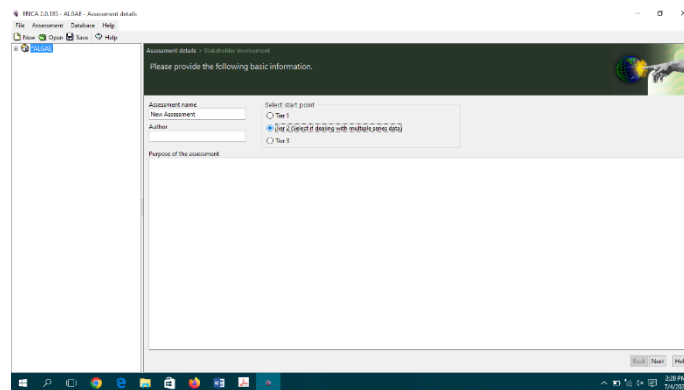


Figure 46 : Fenêtre du choix du niveau d'analyse

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

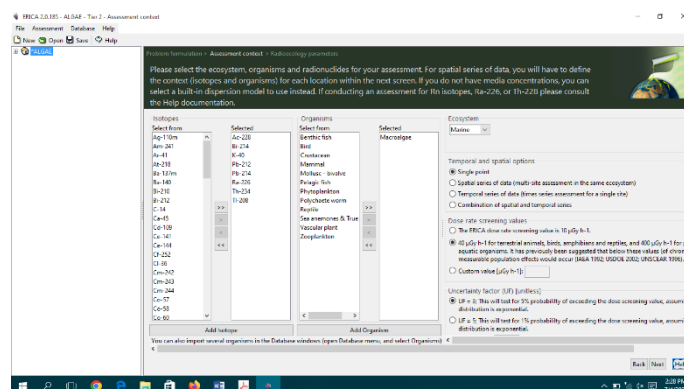


Figure 47 : Choix des écosystèmes, organismes et radioéléments d'intérêts

- Les coefficients de distribution et les rapports de concentration sont donnés par défaut, sauf pour quelques éléments, nécessitant de faire des calculs pour les deux paramètres;

- Coefficient de distribution : $K_d = \frac{[R]_{in\ sédiment}}{[R]_{in\ water}}$ (III. 10)
- Rapport de concentration : $CR = \frac{[R]_{in\ biote}}{[R]_{in\ water}}$ (III. 11)

[R]: concentration de radinuclide

Tableau 7: Calcul des coefficients de distributions et des rapports de concentration

Elements	K _d (L/kg)	CR(L/kg)
K-40	70	77,63

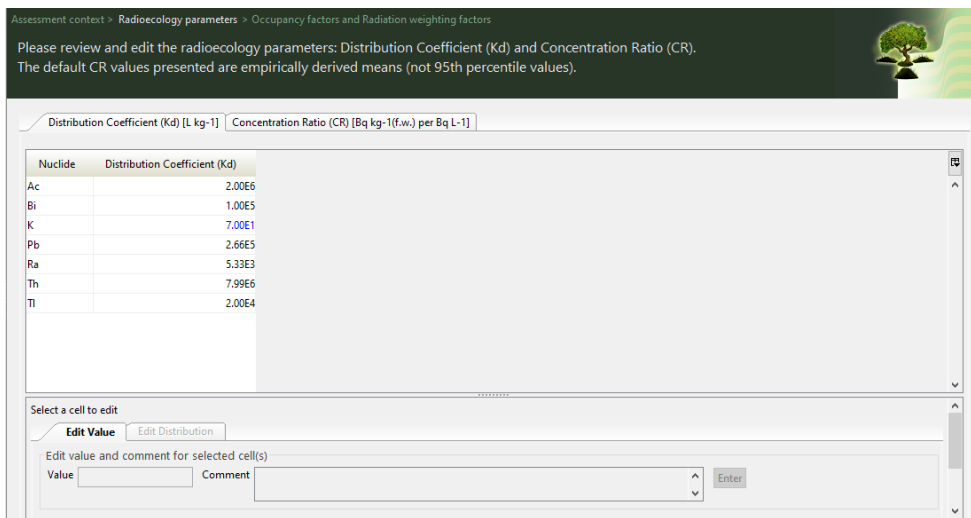


Figure 48 : Fenêtre des inputs (coefficients de distribution)

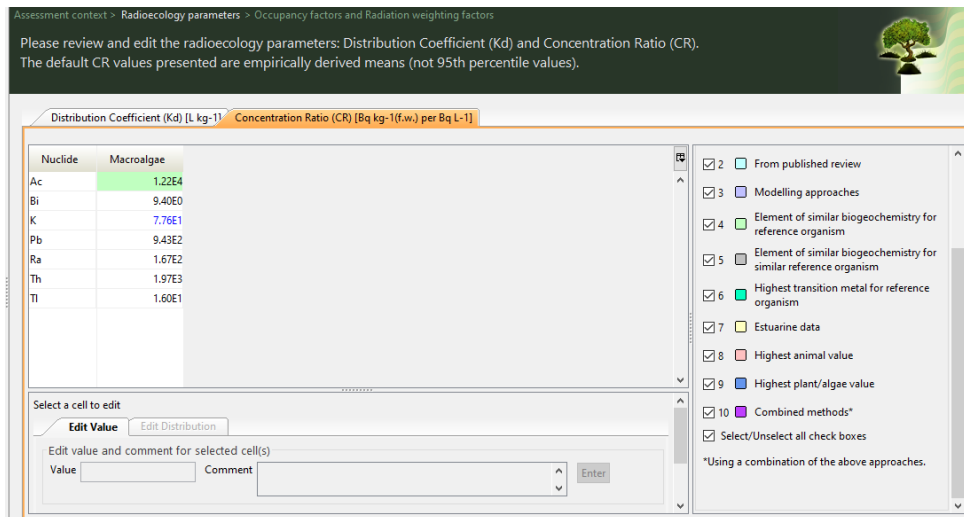


Figure 49 : Fenêtre des inputs (rapports de concentration)

- Sélectionner le facteur d'occupation de l'orgasime (en pourcentage);

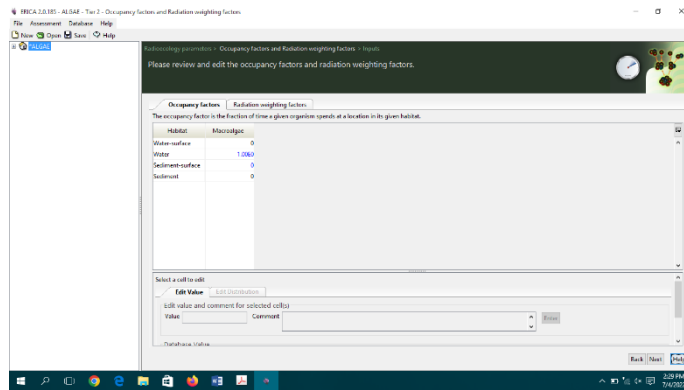


Figure 50 : Facteurs d'occupation de l'organisme

- Injecter les valeurs les concentrations d'activités pour chaque élément d'intérêt dans l'organisme, pour notre cas on a injecté l'activité moyenne totale (pour tous les sites et les espèces), et les concentrations d'activités dans l'eau et dans les sédiments sont estimer par défaut;

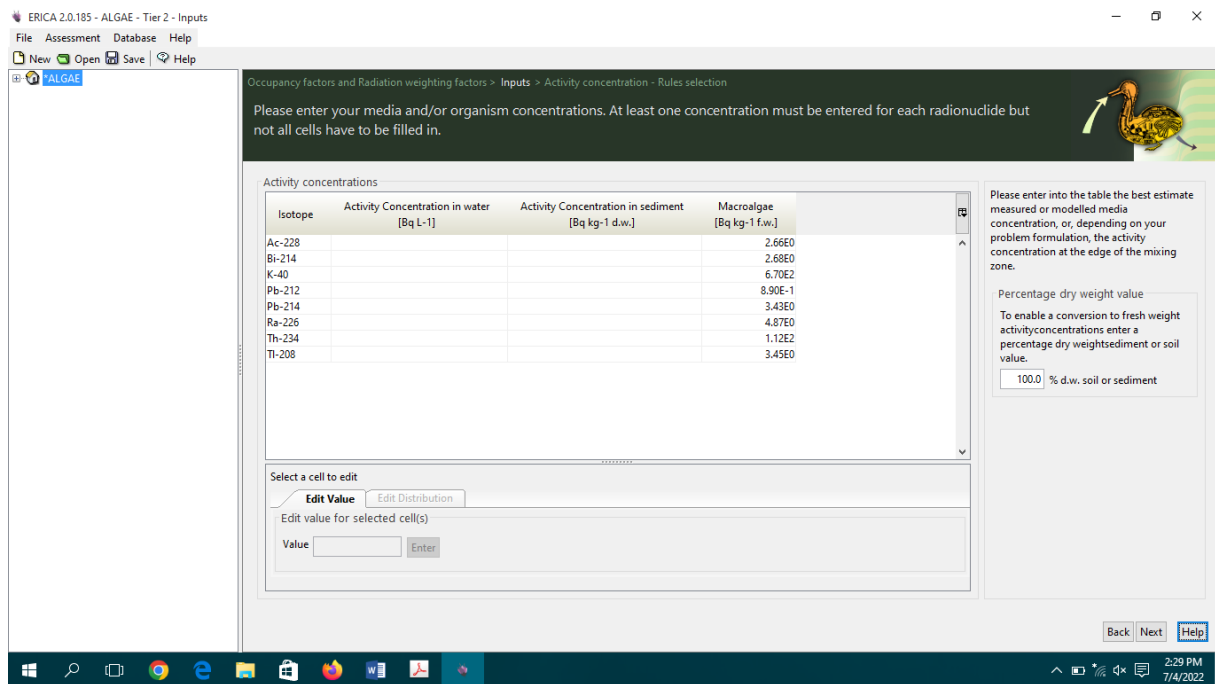


Figure 51 : Concentrations des activités des éléments dans les organismes

ERICA 2.0.185 - ALGAE - Tier 2 - Activity concentration - Rules selection

File Assessment Database Help

New Open Save Help

ALGAE

Inputs > Activity concentration - Rules selection > Results

Please decide which of the entered values should be used to calculate the missing activity concentrations

Rules selection

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	8.74E-3	1.75E4	✓ 2.66E0
Bi-214	2.07E2	2.07E7	✓ 2.68E0
K-40	8.63E0	6.04E2	✓ 6.70E2
Pb-212	2.22E-2	5.92E3	✓ 8.90E-1
Pb-214	1.96E0	5.22E5	✓ 3.43E0
Ra-226	2.92E-2	1.56E2	✓ 4.87E0
Th-234	8.03E-2	6.42E5	✓ 1.12E2
Tl-208	2.83E3	5.66E7	✓ 3.45E0

Select, for each isotope (row), the values to use in calculation of the missing activity concentrations. Click in the table cells to change the selection.

Notice that in the rows where you have entered the activity concentration in soil/air for terrestrial or water for aquatic you cannot change the rule of calculation.

Back Next Help

2:29 PM 7/4/2022

Figure 52 : concentrations des éléments dans l'eau et dans les sédiments

- Enfin les résultats sont obtenus, soit sous forme de tables ou de graphes.

Résultats et Discussion

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Ce chapitre, présente les résultats obtenus de l'analyse des algues échantillonnées le long u littoral Algérois par la spectrométrie gamma, et l'évaluation des impacts radioécologique et dosimétriques par les outils numériques ; RESRAD BIOTA et ERICA.

1. Efficacités des radionucléides d'intérêts :

L'efficacité est utilisée pour la détermination des activités spécifiques des différents radionucléides d'intérêts, cette dernière est obtenue suite à l'utilisation de deux standards ; le standard algue avec un temps de comptage de 16652s, et le standard bambou avec un temps de comptage de 11473s.

L'analyse de de ces deux derniers, a permis le calcul des efficacités, qui sont exprimés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Energie des radionucléides injectés des standards

standard	Radionucléide	Energie (keV)	$\epsilon \pm \Delta\epsilon$
Algue	^{133}Ba	52,5	$0,047 \pm 0,008$
		80,5	$0,080 \pm 0,003$
		276,3	$0,037 \pm 0,002$
		302,8	$0,036 \pm 0,001$
		355,9	$0,034 \pm 0,001$
		383,8	$0,037 \pm 0,002$
Bambou	^{134}Cs	604,72	$0,017 \pm 0,002$
		795,86	$0,015 \pm 0,001$
	^{137}Cs	661,651	$0,018 \pm 0,001$
	^{40}K	1460,822	$0,014 \pm 0,002$

La courbe de l'efficacité en fonction de l'énergie a été établie par le logiciel Génie 2000 après l'utilisation des énergies des radionucléides injectés dans les échantillons standards.

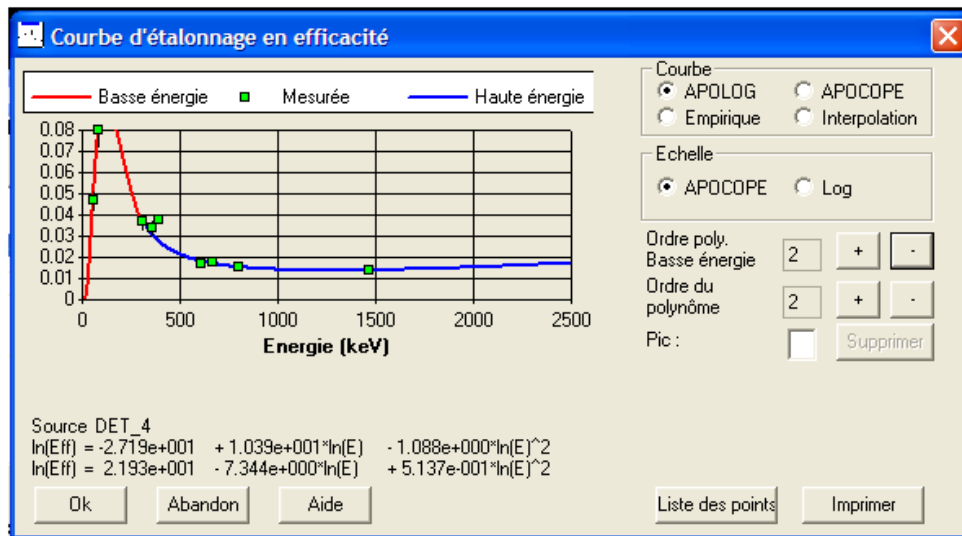


Figure 53 : Courbe de l'efficacité en fonction de l'énergie des deux standards

Deux équations ont été obtenues après le traçage de la courbe, et qui sont utilisées pour le calcul de l'efficacité des radionucléides d'intérêts mentionnés dans le tableau .7.

Pour les basses énergies :

$$\ln(\varepsilon) = -2.719 * 10^1 + 1.039 * 10^1 * \ln(E) - 1.088 * 10^0 * \ln(E)^2 \quad (IV.1)$$

Pour les hautes énergies :

$$\ln(\varepsilon) = 2.193 * 10^1 - 7.344 * 10^0 * \ln(E) + 5.137 * 10^{-1} * \ln(E)^2 \quad (IV.2)$$

Tableau 9 : Efficacités des radionucléides d'intérêts étudiés

Radionucléides	Energie (keV)	$\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$
²³⁴ Th	63,3	0,060 ± 0,005
²²⁶ Ra	186,1	0,074 ± 0,006
²¹² Pb	238,6	0,056 ± 0,005
²¹⁴ Pb	352	0,031 ± 0,002
⁷ Be	477,6	0,022 ± 0,002
²⁰⁸ Tl	583	0,018 ± 0,001
²¹⁴ Bi	609	0,018 ± 0,001
¹³⁷ Cs	661,7	0,017 ± 0,001
²²⁸ Ac	911,2	0,014 ± 0,001
⁴⁰ K	1460	0,013 ± 0,001

2. Comptage de bruit de fond :

Un comptage de bruit de fond est réalisé et les résultats sont exprimés en coups par seconde dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Efficacité des radionucléides d'intérêts dans le bruit de fond

Radionucléide	Energie (keV)	$N \pm \Delta N$
Th-234	63.3	$208 \pm 43,6$
Ra-226	186.1	590 ± 19
Pb-212	238.6	$303 \pm 30,1$
Pb-214	352	$343 \pm 22,1$
Tl-208	583	$116 \pm 49,1$
Bi-214	609.3	$263 \pm 23,9$
Ac-228	911.2	$102 \pm 40,3$
K-40	1460.8	$375 \pm 12,5$

3. Niveaux de la radioactivité des algues

L'étude de la radioactivité dans les algues, a pour but d'avoir un aperçu global sur le niveau de la radioactivité naturelle dans celles-ci.

Une diversité des radionucléides naturels est détectée dans la quasi-totalité des échantillons, et qui sont essentiellement des descendants des trois familles naturelles terrestres (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th), ainsi que le ^{40}K et le ^7Be qui est d'origine cosmogénique.

Les activités spécifiques des radionucléides détectés sont exprimées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Activités spécifiques des radionucléides dans les algues

Code	Nature	Activités spécifiques (Bq/kg)								
		²³⁴ Th	²²⁶ Ra	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	⁷ Be	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K
A01	Verte-Figuiier <i>Ulva lactuca</i>	11,33 ± 6,54	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	580,33 ± 88,55
A02	Rouge-Figuiier <i>Pterocladia capillacea</i>	54,06 ± 31,89	2,42 ± 1,25	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	1032,56 ± 160,35
A03	Brune- Figuiier <i>Cystoseira amontacea</i> <i>/var. stericta</i>	112,92 ± 280,59	4,95 ± 1,46	1,04 ± 0,42	0,59 ± 0,20	11,68 ± 4,54	0,33 ± 0,23	0,52 ± 0,20	<AMD	1885,38 ± 286,31
A04	Verte- EL Marsa <i>Ulva lactuca</i>	8,57 ± 5,19	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	393,09 ± 60,64
A05	Rouge- EL Marsa <i>Pterocladia capillacea</i>	312,67 ± 139,64	<AMD	0,67 ± 0,28	<AMD	9,40 ± 4,21	0,40 ± 0,27	<AMD	<AMD	830,44 ± 126,72
A06	Brune- EL Marsa <i>Cutleria multifida</i>	231,95 ± 103,48	6,63 ± 1,72	0,77 ± 0,29	4,87 ± 1,23	17,29 ± 3,79	<AMD	<AMD	1,77 ± 0,92	138,75 ± 21,61
A07	Verte- Sidi Fredj <i>Ulva rigida</i>	401,39 ± 179,34	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	241,52 ± 37,85
A08	Rouge- Sidi Fredj <i>Grateloupia lanceola</i>	31,67 ± 15,51	<AMD	0,21 ± 0,10	<AMD	<AMD	0,12 ± 0,09	<AMD	<AMD	402,16 ± 62,04
A09	Brune-Sidi Fredj <i>Sargassum vulgare</i>	69,33 ± 32,16	3,59 ± 1,08	1,84 ± 0,68	5,35 ± 1,39	30,06 ± 5,32	0,48 ± 0,33	5,15 ± 1,51	2,87 ± 1,56	922,35 ± 140,85
A10	Verte- Bou Ismail <i>Ulva rigida</i>	29,25 ± 14,05	<AMD	<AMD	<AMD	6,28 ± 3,76	0,12 ± 0,09	<AMD	<AMD	300,32 ± 46,33
A11	Rouge- Bou Ismail <i>Grateloupia lanceola</i>	83,83 ± 39,05	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	275,76 ± 42,60
A12	Brune-Bou Ismail <i>Dilophus spiralis</i>	66,37 ± 30,86	9,87 ± 3,40	1,09 ± 0,55	<AMD	35,09 ± 9,82	13,56 ± 6,90	1,94 ± 0,82	3,34 ± 2,13	457,22 ± 71,77

Chapitre IV : Résultats et Discussion

A13	Brune- Kôali <i>Cystoseira humilis</i>	36,48 ± 18,09	1,76 ± 0,60	0,63 ± 0,29	2,90 ± 0,91	34,51 ± 6,69	9,11 ± 4,61	3,12 ± 1,04	<AMD	1246,30 ± 189,77
-----	--	---------------	-------------	-------------	-------------	--------------	-------------	-------------	------	------------------

Tableau 12 : Activités minimales détectables

Radioéléments	Activité minimale détectable (Bq/kg)
^{234}Th	0.42
^{226}Ra	0.61
^{212}Pb	0.05
^{214}Pb	0.11
^7Be	0.35
^{208}Tl	0.05
^{214}Bi	0.13
^{137}Cs	0.06
^{228}Ac	0.17
^{40}K	0.89

- Les descendants de la famille de ^{238}U détectés :

Radium-226 :

L'histogramme de la variation de l'activité spécifique du ^{226}Ra , montre que la valeur maximale est de $9,87 \pm 3,40$ Bq/kg détectée dans l'algue brune de Bou Ismail, et la valeur minimale est de $1,76 \pm 0,60$ Bq/kg détectée dans l'algue brune Kôali.

Ce radionucléide est détecté dans toutes les algues brunes des différents sites, et l'algue rouge de Figuier (fig. 54).

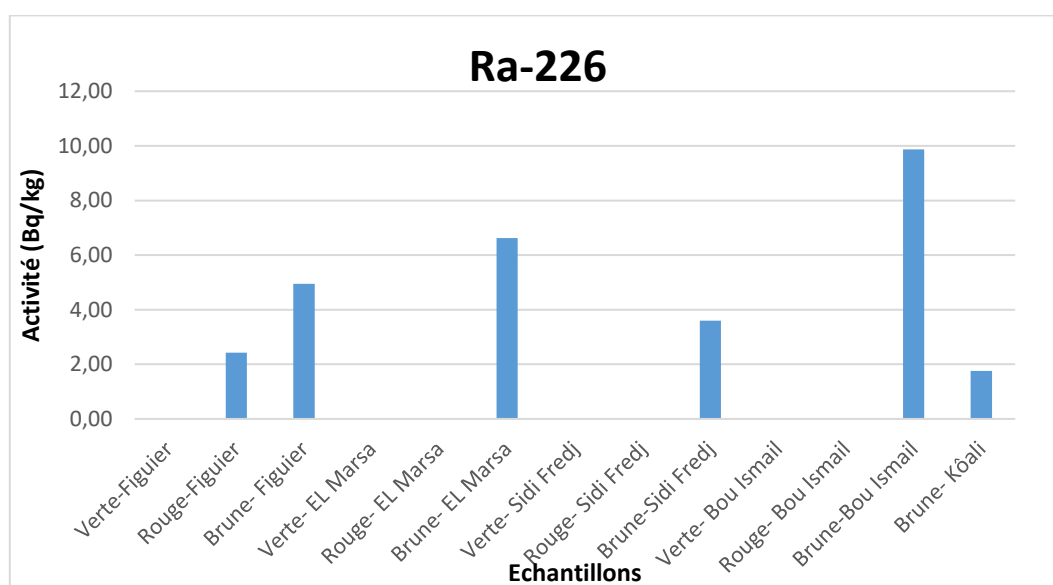


Figure 54 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{226}Ra dans les différents échantillons d'algues

Plomb-214 :

L'activité spécifique du ^{214}Pb est comprise entre une valeur minimale de $0,59 \pm 0,20$ Bq/kg dans l'algue brune de Figuier, et une valeur maximale de $5,35 \pm 1,39$ Bq/kg dans l'algue brune de Sidi Fredj (fig.55).

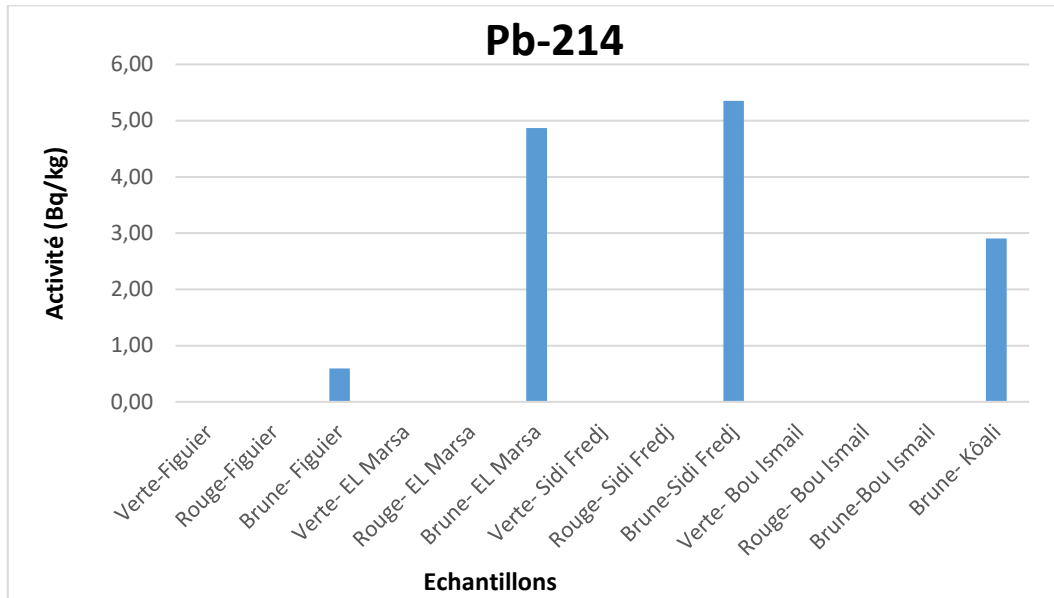


Figure 55 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{214}Pb dans les échantillons d'algues

Bismuth-214 :

Pour cet élément, les activités spécifiques varient entre une valeur minimale présente dans l'algue brune de Figuier et une valeur maximale dans l'algue brune de Sidi Fredj, $0,52 \pm 0,20$ Bq/kg et $5,15 \pm 1,51$ Bq/kg respectivement (fig56).

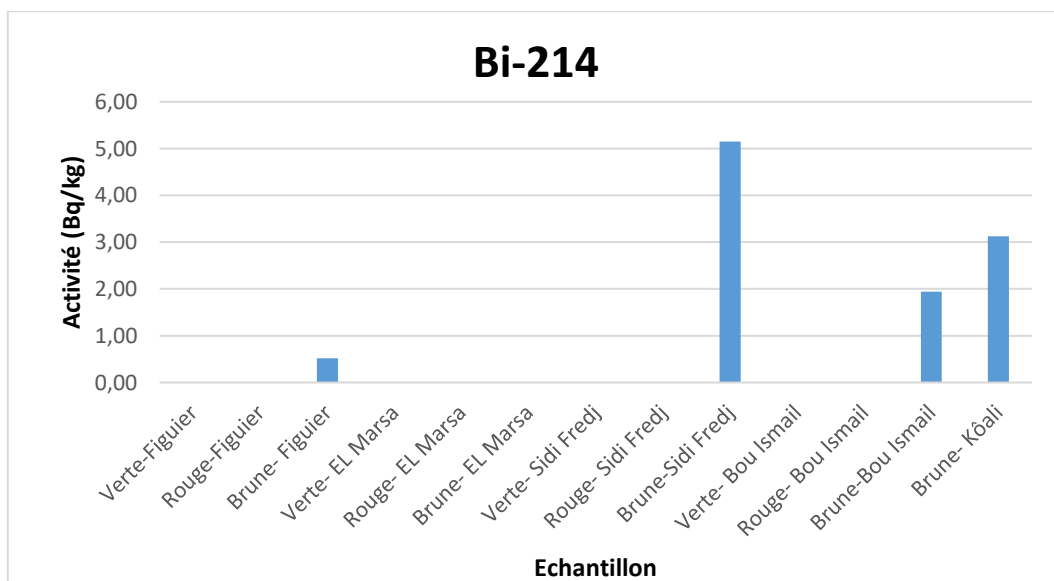


Figure 56 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{214}Bi dans les échantillons d'algues

Thorium-234 :

Le ^{234}Th est détecté dans tous les échantillons récoltés, avec une activité maximale de $401,39 \pm 179,34$ Bq/kg qui est rencontré dans la station de Sidi Fredj chez les algues vertes, et une valeur minimale de $8,57 \pm 5,19$ Bq/kg dans la station de El Marsa chez les algues vertes (fig57).

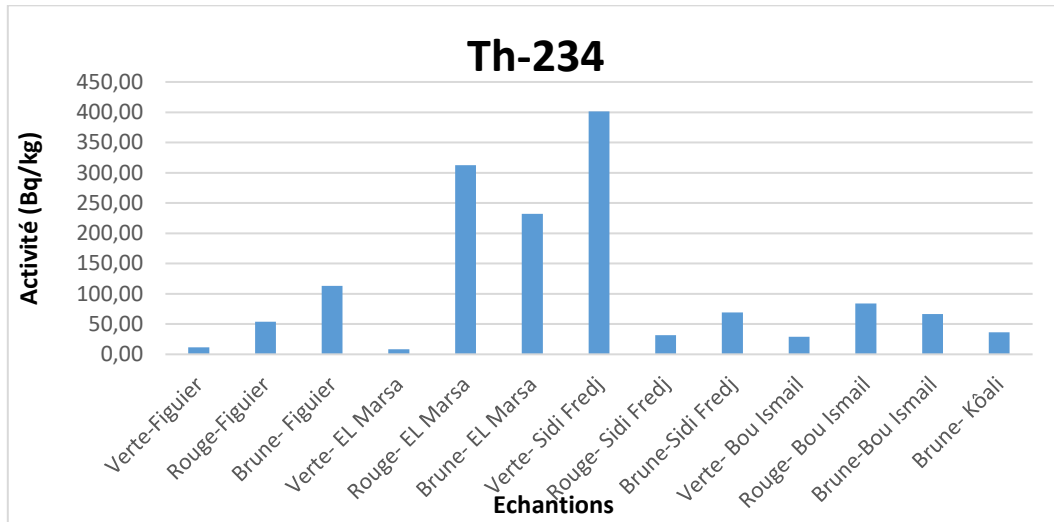


Figure 57 : Variation spatiale de l'activité spécifique du ^{234}Th dans les échantillons d'algues

- **Les descendants de la famille du ^{232}Th :**

Le plomb-212 :

La variation de l'activité spécifique du ^{212}Pb entre les différents sites et algues, avec une valeur maximale de $1,84 \pm 0,68$ Bq/kg enregistrée dans l'algue brune de Sidi Fredj, et une valeur minimale $0,21 \pm 0,10$ Bq/kg dans l'algue rouge de Sidi Fredj (Fig. 58).

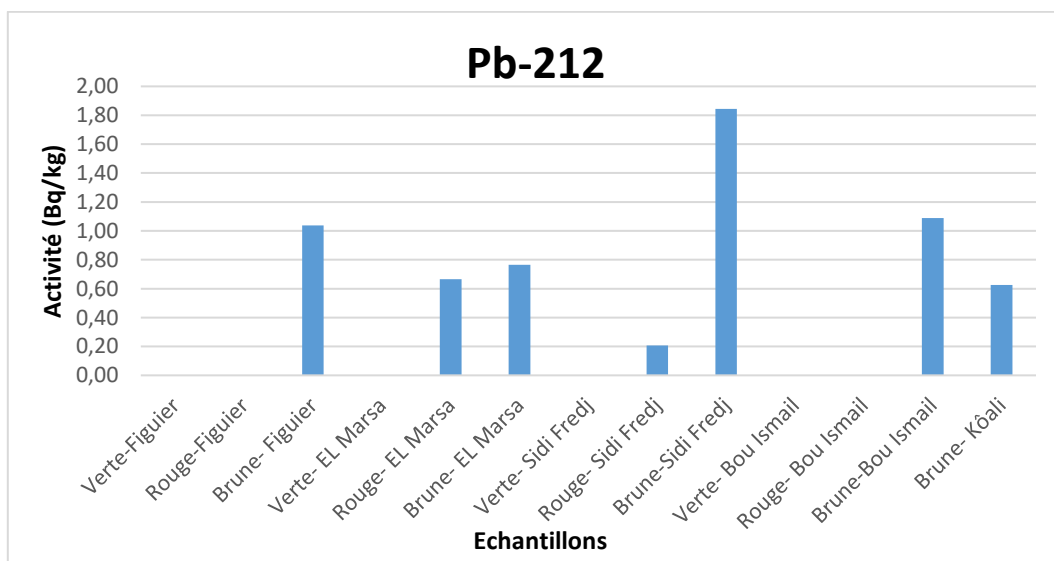


Figure 58 : Variation de l'activité spécifique du ^{212}Pb dans les échantillons d'algues

L'Actinium-228 :

L'Actinium-228 est apparue que dans trois sites chez les algues brunes, avec un maximum de $3,34 \pm 2,13$ Bq/kg à Bou Ismail, et un minimum de $1,77 \pm 0,92$ Bq/kg à El Marsa (Fig.59).

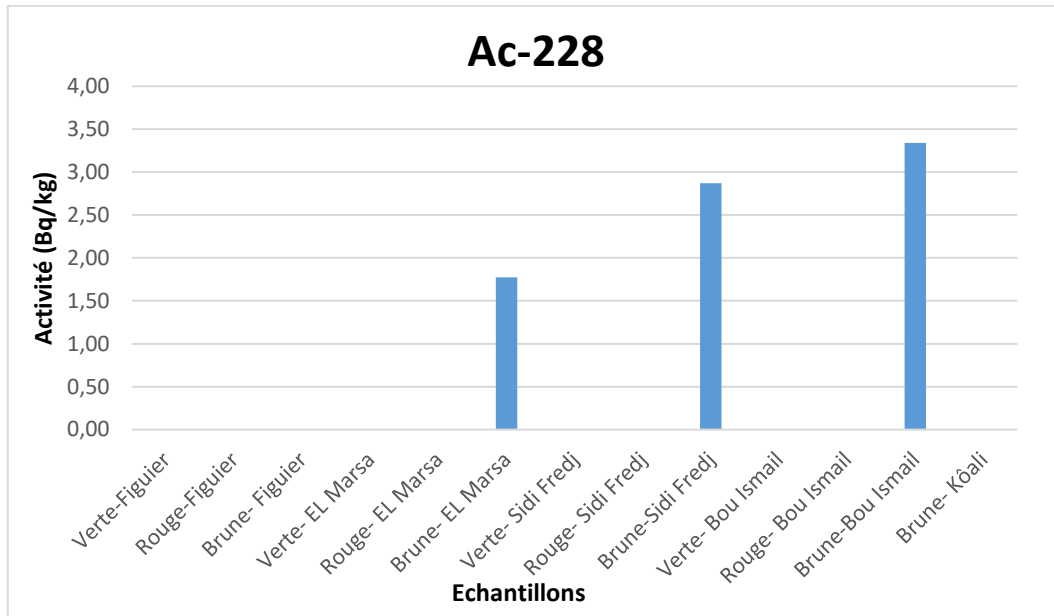


Figure 59 : variation de l'activité spécifique de ²²⁸Ac dans les échantillons d'algues

Le Talium-208 :

L'activité spécifique du ²⁰⁸Tl varie entre une valeur minimale de l'ordre de $0,12 \pm 0,09$ Bq/kg enregistrée dans l'algue rouge de Sidi Fredj, et une valeur maximale de $13,56 \pm 6,90$ Bq/kg enregistrée dans l'algue brune de Bou Ismail (Fig.60).

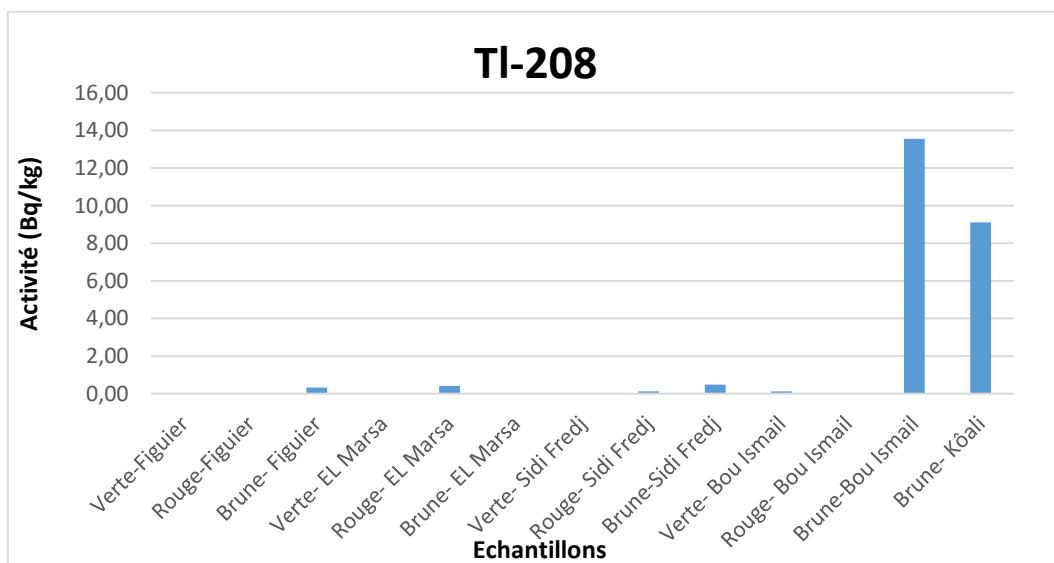


Figure 60 : Variation de l'activité spécifique du ²⁰⁸Tl dans les échantillons d'algues

- **Le potassium-40 :**

Le potassium-40 est l'élément le plus ré pondu dans tous les échantillons, avec des activités spécifiques élevées par rapport aux autres éléments, et qui varie entre une activité de $1885,38 \pm 286,31$ Bq/kg détectée dans l'algue brune de Figuiér, et $138,75 \pm 21,61$ Bq/kg chez les brunes de El Marsa (Fig. 61).

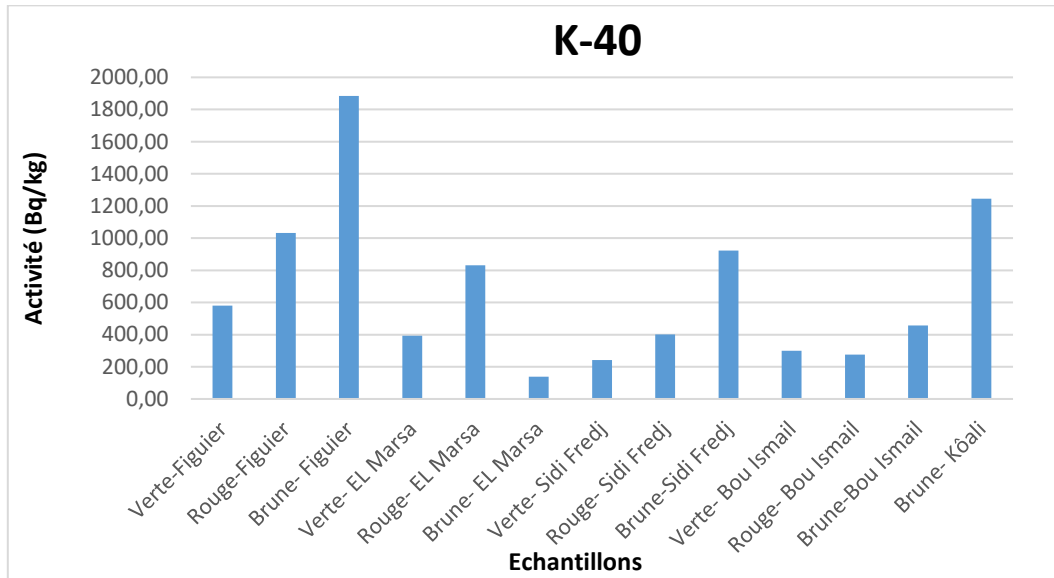


Figure 61 : Variation de l'activité spécifique du ⁴⁰K dans les échantillons d'algues

- **Le Beryllium-7 :**

L'activité spécifique du ⁷Be est comprise entre $35,09 \pm 9,82$ Bq/kg dans l'algue brune de Bou Ismail, et entre $6,28 \pm 3,76$ Bq/kg dans l'algue verte de Bou Ismail (Fig.62).

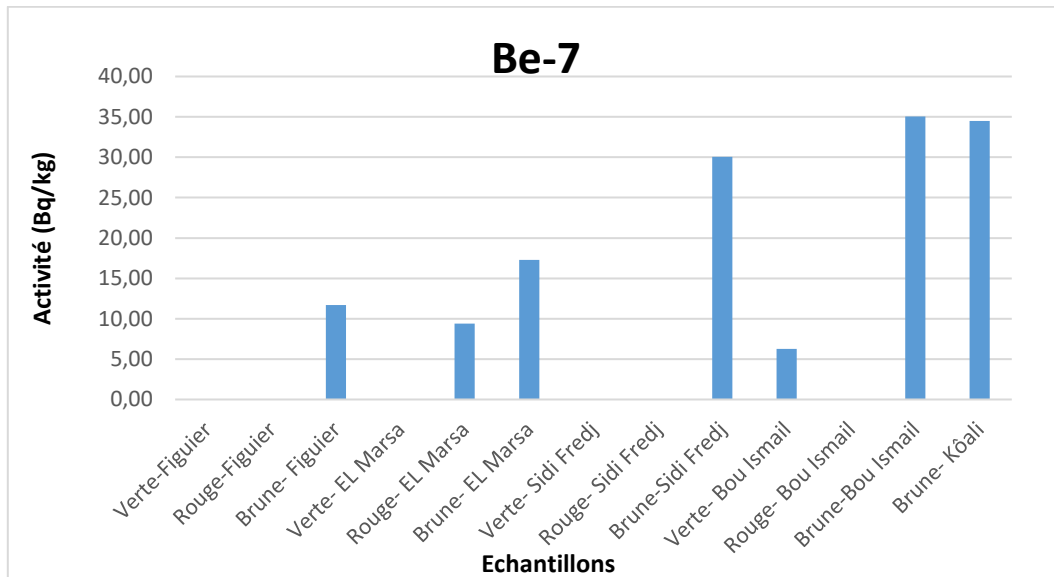


Figure 62 : Variation de l'activité spécifique du ⁷Be dans les échantillons d'algues

- **Comportements des radionucléides entre les sites :**

Chapitre IV : Résultats et Discussion

La comparaison des activités spécifiques moyennes des radionucléides d'intérêts montrés dans le tableau 11) ci-dessous entre les sites le long du littoral algérois :

Potassium-40 :

Le ^{40}K est l'élément radioactif le plus répondu dans tous les sites, avec une d'activité moyenne totale de 669,71Bq/kg, et ceci est due à son abondance moyenne élevée dans la croute terrestre (24000ppm), et dans les océans (95%).

L'activité moyenne spécifique est de 1246,3Bq/kg, 1166,09Bq/kg, 522,01Bq/kg, 454,09Bq/kg, 344,43 Bq/kg, dans les sites Kôali, Figuier, Sidi Fredj, El Marsa et Bou Ismail, respectivement.

Thorium-234 :

C'est le deuxième élément le plus répondu après le ^{40}K dans les stations, avec une activité moyenne totale de 111,53Bq/kg, celle-ci varie entre les cinq sites ; El Marsa (184,4 Bq/kg), Sidi Fredj (167,46 Bq/kg), Bou Ismail (59,82Bq/kg), Figuier (59,44Bq/kg) et Kôali (36,48 Bq/kg).

Ce dernier est d'origine naturelle, issue de la famille de ^{238}U et une long période (24,10d), et sa présence se traduit le lessivage continental.

Bérylium-7 :

Cet élément se situe après les deux éléments précédents en terme d'abondance avec une activité moyenne totale 20,61Bq/kg. L'abondance maximale est enregistrée au niveau de Kôali avec une activité moyenne de 34,51Bq/kg, suivi de Sidi Fredj (30,06Bq/kg), Bou Ismail (13,77Bq/kg), El Marsa (13,34Bq/kg) et Figuier (11,68Bq/kg).

Le ^7Be est d'origine cosmogénique, sa présence dans les algues se traduit par des conditions météorologiques pluvieuses durant la période qui précédait notre échantillonnage.

Radium-226 :

Ce radionucléide est plus au moins abondant dans le littoral Algérois, et qui est d'origine naturelle parmi les descendants de la famille ^{238}U .celui-ci est présent avec une activité moyenne totale quasi-faible de 4,87Bq/kg, l'activité moyenne la plus élevée est présenté à Bou Ismail (9,85Bq/kg), suivi par une moyenne de 6,63Bq/kg dans El Marsa, puis à Figuier (3,69Bq/kg) et à Sidi Fredj (3,59Bq/kg) et en dernier Kôali avec (1,76Bq/kg).

Talium-208 :

Cet élément présente de faible activité dans tous les sites, Kôali (9,11 Bq/kg), Bou Ismail (6.84Bq/kg), El Marsa (0,4Bq/kg), Figuier (0,33Bq/kg) et Sidi Fredj (0,30Bq/kg) .Son activité moyenne totale st de 3,45Bq/kg.

Plomb-214 :

Le ^{214}Pb varie entre les différents sites avec des activités moyennes totale faibles (3,43 Bq/kg), à Sidi Fredj (5,35Bq/kg), après El Marsa (4,87Bq/kg), Kôali (2,9 Bq/kg), Figuier (0,59Bq/kg), et une valeur d'activité moyenne nulle ou inférieure à l'activité minimale détectable à Bou Ismail.

Bismuth-214 :

Cet élément est enregistré que dans quatre sites, à Sidi Fredj avec une activité moyenne de (5,15Bq/kg), Kôali (3,12Bq/kg), Bou Ismail (1,94Bq/kg) et Figuier (0,52Bq/kg), et une activité moyenne totale de 2,68Bq/kg.

Actinium-228 :

L' ^{228}Ac est présent sauf à Bou Ismail, Sidi Fredj et El Marsa, ou on a pu détecter cet élément avec des activités moyennes de 3,34Bq/kg, 2,87Bq/kg et 1,77Bq/kg respectivement, et une activité moyenne totale de 2,66Bq/kg.

Plomb-212 :

L'activité moyenne totale du ^{212}Pb est très faible avec une valeur de 0,89Bq/kg. Il est enregistré au niveau de Bou Ismail (1,09Bq/kg), Figuier (1,04Bq/kg), Sidi Fredj (1,02Bq/kg), El Marsa (0,72Bq/kg) et Kôali (0,63Bq/kg).

Cesium-137 :

Ce radionucléide ayant une activité spécifique inférieure à 0,06 Bq/kg, est un produit de fission, il est détecté toujours dans les milieux d'environnements marins :

- Dans l'eau de mer ($1\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
- Dans les sédiments marins ($< 5 \text{ Bq/kg}$)

En raison de ce niveau faible, le radionucléide n'a pas été détecté dans les milieux biologiques (Algues).

Tableau 13 : Comparaison des activités spécifiques des radionucléides entre les différents sites

Code	Nature	Activités spécifiques (Bq/kg)								
		²³⁴ Th	²²⁶ Ra	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	⁷ Be	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K
A01	<i>Ulva lactuca</i>	11,33 ± 6,54	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	580,33 ± 88,55
A02	<i>Pterocladia capillacea</i>	54,06 ± 31,89	2,42 ± 1,25	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	1032,56 ± 160,35
A03	<i>Cystoseira amontacea /var. stericta</i>	112,92 ± 280,59	4,95 ± 1,46	1,04 ± 0,42	0,59 ± 0,20	11,68 ± 4,54	0,33 ± 0,23	0,52 ± 0,20	<AMD	1885,38 ± 286,31
moyenne Figuier		59,44	3,69	1,04	0,59	11,68	0,33	0,52	0	1166,09
A04	<i>Ulva lactuca</i>	8,57 ± 5,19	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	393,09 ± 60,64
A05	<i>Pterocladia capillacea</i>	312,67 ± 139,64	<AMD	0,67 ± 0,28	<AMD	9,40 ± 4,21	0,40 ± 0,27	<AMD	<AMD	830,44 ± 126,72
A06	<i>Cutleria multifida</i>	231,95 ± 103,48	6,63 ± 1,72	0,77 ± 0,29	4,87 ± 1,23	17,29 ± 3,79	<AMD	<AMD	1,77 ± 0,92	138,75 ± 21,61
moyenne El Marsa		184,4	6,63	0,72	4,87	13,34	0,4	0	1,77	454,09
A07	<i>Ulva rigida</i>	401,39 ± 179,34	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	241,52 ± 37,85
A08	<i>Grateloupia lanceola</i>	31,67 ± 15,51	<AMD	0,21 ± 0,10	<AMD	<AMD	0,12 ± 0,09	<AMD	<AMD	402,16 ± 62,04
A09	<i>Sargassum vulgare</i>	69,33 ± 32,16	3,59 ± 1,08	1,84 ± 0,68	5,35 ± 1,39	30,06 ± 5,32	0,48 ± 0,33	5,15 ± 1,51	2,87 ± 1,56	922,35 ± 140,85
moyenne Sidi Fredj		167,46	3,59	1,02	5,35	30,06	0,3	5,15	2,87	522,01
A10	<i>Ulva rigida</i>	29,25 ± 14,05	<AMD	<AMD	<AMD	6,28 ± 3,76	0,12 ± 0,09	<AMD	<AMD	300,32 ± 46,33
A11	<i>Grateloupia lanceola</i>	83,83 ± 39,05	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	275,76 ± 42,60
A12	<i>Dilophus spiralis</i>	66,37 ± 30,86	9,87 ± 3,40	1,09 ± 0,55	<AMD	35,09 ± 9,82	13,56 ± 6,90	1,94 ± 0,82	3,34 ± 2,13	457,22 ± 71,77
moyenne Bou Ismail		59,82	9,87	1,09	0	13,77	6,84	1,94	3,34	344,43
A13	<i>Cystoseira humilis</i>	36,48 ± 18,09	1,76 ± 0,60	0,63 ± 0,29	2,90 ± 0,91	34,51 ± 6,69	9,11 ± 4,61	3,12 ± 1,04	<AMD	1246,30 ± 189,77
moyenne Kôali		36,48	1,76	0,63	2,9	34,51	9,11	3,12	0	1246,3
moyenne totale		111,53	4,87	0,89	3,43	20,61	3,45	2,68	2,66	669,71

Tableau 14 : Comparaison entre notre étude et des études antérieures

		Activité spécifique (Bq/kg)									
		[Min- Max]									
		Moyenne									
localisation	Types	²³⁴ Th	²²⁶ Ra	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	⁷ Be	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K	référence
Littoral Algérois	A-V	[8,57 -401,39] 112,63	/	/	/	[0-6,28] 6,28	[0-0,12] 0,12	/	/	[241,52-580,33] 378,81	Notre étude.2022
	A-R	[29,25-312,67] 120,56	[0-2,42] 2,42	[0-0,67] 0,44	/	[0-9,40] 9,4	[0-0,26] 0,26	/	/	[275,76-1032,56] 635,23	
	A-B	[36,48-231,95] 103,41	[1,76-9,87] 5,36	[0,63-1,84] 1,07	[0-5,35] 3,43	[11,68-35,09] 25,71	[0-13,56] 5,87	[0-5,15] 2,68	[0-3,34] 2,66	[138,75-1885,38] 930	
Plage Las Canteras (Espagne)	A-V	/	[2,8-18] 9,0	/	/	/	/	/	[5,3-14,8] 10,2	[550-1160] 940	TEJERA.A. 2018
	A-R	/	[11,9-21,0] 16,8	/	/	/	/	/	[14,0-25,1] 18,4	[177-570] 390	
	A-B	/	[9,6-29] 15,1	/	/	/	/	/	[5,5-20,3] 15,3	[420-3920] 1380	
Côte Syrienne	A-V	/	<2,3	/	/	/	/	/	/	[450-1100] 850	Al MASRI et al, 2003
	A-R	/	<6	/	/	/	/	/	/	[70-1030] 402	
	A-B	/	[1,2-6,8] 3,9	/	/	/	/	/	/	[551-2260] 1523	
Les émirats Arabes Unis (cote)	A-V	/	[16,5-18,3] 17,4	/	/	/	/	/	[4,4-61,8] 16,2	[100-4444] 1045	GODDAR., JUPP. 2002
	A-R	/	[19,1-48,2] 5,1	/	/	/	/	/	[1,6-60,8] 15,3	[278-4373] 1643	
	A-B	/	[19,1-48,2] 25,6	/	/	/	/	/	[5,0-106] 26,2	[125-5443] 2049	

/ : Pas de données

- **Comportement des radionucléides entre les types d'algues en comparant avec des études antérieures :**
- Selon les résultats obtenus (tableau 14, annexe VIII (tableau 21)), on constate que les algues brunes sont celles qui accumulent le plus les radionucléides avec des activités spécifiques différentes d'un site à un autre. Cela peut être expliqué par la présence d'acide alginique dans les parois cellulaires de celles-ci. (*BURGER et al., (2006) and SAKAMOTO et al., (2008)*).
- En deuxième lieu, on a les algues rouges qui accumulent certains radioéléments avec une variation des activités d'une station à une autre, parmi ceux-ci le ^{40}K , ^{234}Th , ^7Be , ^{226}Ra , ^{212}Pb et ^{208}Tl .
- En dernier, c'est les algues vertes qui accumulent le moins les radioéléments avec de faibles activités spécifiques, c'est le cas du ^{40}K , ^{234}Th , ^7Be , et le ^{208}Tl .

Le ^{40}K est plus accumulé par les algues brunes avec une activité moyennes de 929,99 Bq/kg suivie des algues rouges avec 635,23 Bq/kg, et en derniers c'est les algues vertes avec 378,81 Bq/kg.

L'accumulation maximale du ^{234}Th est observée chez les algues rouges avec une activité moyenne de 120,56 Bq/kg, après c'est les algues vertes avec 112,63Bq/kg et dernièrement les algues brunes avec une moyennes de 103,41Bq/kg.

L'accumulation maximale du ^7Be est enregistrée chez les algues brunes avec une moyenne de 25,71 Bq/kg, en suite les algues rouges avec 9,40Bq/kg et en fin les vertes 6,28Bq/kg.

Le ^{226}Ra est plus accumulé chez les algues brunes avec une activité moyennes de 5,36 Bq/kg, après c'est les algues rouges avec 2,42 Bq/kg, et pour les algues vertes elle présente une moyenne inférieure à l'activité minimale détectable.

Pour le ^{208}Tl c'est les algues brunes qui l'accumule le plus avec une activité moyenne de 5,87 Bq/kg, suivi des algues rouges avec 0,26Bq/kg et en dernier c'est les algues vertes avec 0,12Bq/kg.

Le ^{214}Pb , le ^{214}Bi , et le ^{228}Ac sont accumulés sauf chez les algues brunes avec des moyennes de 3,43Bq/kg, 2,68Bq/kg, 2,66Bq/kg respectivement.

Pour le ^{212}Pb , il est accumulé chez les brunes avec une activité moyenne de 1,07Bq/kg, et chez les algues rouges avec 0,44 Bq/kg.

- Ces éléments radioactifs ; ^{226}Ra , ^{40}K et ^{228}Ac , sont dans la norme en comparant avec les autres études, pour les algues rouges, leur accumulation du 40K est élevée (635,23Bq/kg) par rapport aux études de TEJERA.AA.2018 et AL MASRI.2003, qui sont de l'ordre de 390Bq/kg et 402Bq/kg respectivement, contrairement à l'étude de GODDAR.J.2002 qui est de 1643Bq/kg. Pour les algues vertes (378,81Bq/kg), elles sont hors de l'intervalle en comparant avec les résultats de TEJARA et EL MASRI, et elles sont dans l'intervalle par rapport aux

résultats de GODDAR. Par contre les algues rouges, elles sont dans l'intervalle des résultats des toutes les études antérieures.

- Le ^{226}Ra est loin des intervalles des autres résultats, sauf pour les algues rouges qui sont dans l'intervalle de l'étude d'EL MARSI.
- ^{228}Ac , est détectée que dans les algues brunes, et qui est e dehors des intervalles des études de TEJERA et GODDAR.

Cette variation observée pour les différentes zones, pourrait être due à la dynamique des matières particulaires dans chaque zone.

4. Evaluation des impacts radioécologique et dosimétriques :

La compréhension des comportements des différents radionucléides d'intérêts est d'une importance cruciale pour les études radioécologiques.

L'évaluation radioécologique et dosimétrique pour les écosystèmes marins, a été effectué par le biais de mesure des activités des radionucléides d'intérêts naturelles dans les algues le long du littoral Algérois.

L'outil ERICA a permis d'estimer l'impact radioécologique. Le débit de dose total dans les algues est de $7\mu\text{Gy}/\text{et}$ il est en dessous de la valeur limite de $400\mu\text{Gy}/\text{h}$, ce qui est peu susceptible d'entraîner des effets néfastes (UNSCEAR .2008).

Le quotient de risque est de $1,75\text{E}^{-2}$ (annexe, tableau23), ce qui indique qu'il n'y a pas de possibilité de risque environnemental, ce qui signifie la non nécessité de poursuivre l'analyse.

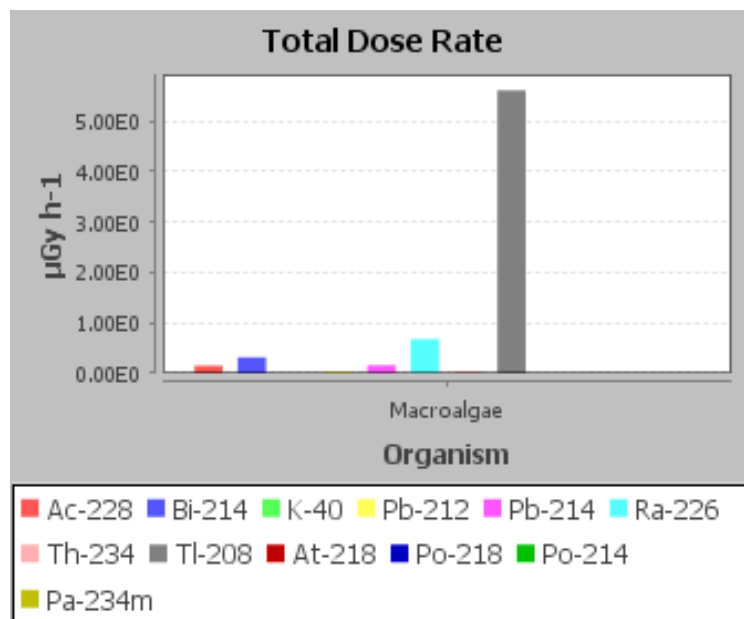


Figure 63 : Débit des doses totales dans les algues

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Le débit de dose du ^{208}Tl est le plus élevé, et qui est de l'ordre de $5\mu\text{Gy/h}$, suivi par le ^{226}Ra avec un taux de $0,7\mu\text{Gy/h}$, puis par ^{214}Bi avec $0,3\mu\text{Gy/h}$, le ^{214}Pb avec un taux de $0,16\mu\text{Gy/h}$, ^{228}Ac ($0,15\mu\text{Gy/h}$), Le ^{212}Pb et le ^{234}Th il ont le même taux de dose de $0.041\mu\text{Gy/h}$.

L'évaluation dosimétrique par injection est estimée en se basant sur les concentrations des radionucléides détectés dans les algues, les facteurs de concentration de dose, le taux de consommation annuels moyen (0.5kg/an) et les coefficients de conversion de la dose (DCC) (ICRP, 2012). La dose trouvée $2.95\text{E-}06\text{Sv/an}$ est loin de produire des effets néfastes sur l'homme ($<1\text{mSv/an}$).

Tableau 15 : Doses des éléments d'intérêts dans les algues

éléments	Concentration radioactive dans les macroalgues (Bq/kg)	Coefficient de conversion de dose (DCC) (Sv/Bq)	Dose (Sv/an)
^{228}Ac	2.66	$4.30\text{E-}10$	$5.72\text{E-}10$
^{214}Bi	2.68	$1.10\text{E-}10$	$1.47\text{E-}10$
^{40}K	0.89	$6.20\text{E-}09$	$2.08\text{E-}06$
^{212}Pb	3.43	$6.00\text{E-}09$	$2.67\text{E-}09$
^{214}Pb	4.87	$1.40\text{E-}10$	$2.40\text{E-}10$
^{226}Ra	112	$2.80\text{E-}07$	$6.82\text{E-}07$
^{228}Th	$3.45\text{E+}00$	$3.40\text{E-}09$	$1.90\text{E-}07$
Dose totale incorporée			$2.95\text{E-}06$

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Conclusion générale

Comme tous les pays Méditerranéens, l'Algérie n'est pas à l'abri des contaminations radioactives venant des autres pays.

L'objectif principal de ce travail était la caractérisation radiologique de l'environnement marin, et l'évaluation de l'impact dosimétrique des algues. Les échantillons d'algues ont été prélevés à des profondeurs de 0 à 1m le long du littoral Algérois, et sont de suite analysés par spectrométrie gamma au niveau du laboratoire de l'environnement du CRNA pour la détermination du niveau de la radioactivité. Une approche estimative des doses a été réalisée à l'aide de l'outil numérique ERICA.

Les radioéléments quantifiés dans les échantillons d'algues sont tous d'origine naturelle, et la majorité des résultats obtenus ont montré une variation des éléments d'un site à un autre due à aux formes physicochimiques des éléments, des conditions météorologiques principalement pour le ^7Be et des facteurs hydrodynamiques. Une autre variation est observée, d'un type d'algue à un autre en raison des besoins nutritionnel, la morphologie et la composition de celles-ci.

- Suite à des précipitations lors de la période de l'échantillonnage, il y a eu la présence du ^7Be dans certaines algues, avec une activité moyenne totale 20,61 Bq/kg.
- L'élément le plus abondant dans toutes les algues avec une activité moyenne de 669,71 Bq/kg est le ^{40}K , suivi du ^{234}Th avec 111,53Bq/kg.
- L'élément le moins abondant est le ^{212}Pb (0,89 Bq/kg) qui est détecté sauf chez les algues brunes et rouges.
- Le ^{137}Cs , étant un radioélément artificiel, n'a pas été détecté dans la totalité des algues.

Les résultats obtenus par le code ERICA donnent des informations sur :

- L'impact radioécologique, indiquant qu'il y a pas de possibilité de risque radioactif sur les espèces, selon le quotient de risque étant dans le l'intervalle du débit de dose (0-50 $\mu\text{Gy/h}$) ;
- L'impact dosimétrique, avec une valeur **2.95 $\mu\text{Sv/an}$** montrant qu'il est loin d'avoir des effets néfastes sur la santé humaine.

Perspectives

- Cette étude mérite une étude approfondie pour la compréhension des comportements des radionucléides dans les algues ;
- Etaler la période d'échantillonnage pour mieux cerner les variations saisonnières des radioéléments en général ;
- Compléter cette étude par la collecte des échantillons d'eau dans les mêmes sites de prélèvement des algues, pour déterminer les facteurs de concentrations ;
- Mesurer les metteurs alpha.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

ABDELLAOUI,A., BACHARI,N,E,I., HOUMA,F.(2011). Modélisation des données multisources pour l'étude de la pollution de la baie d'Alger à base d'un système d'information géographique. Rapport de conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. EDITION 2, TANGER, MAROC.

AIMOUCHE,F.F. , BOUARICHA,N.(2015). Détermination de la pollution radioactive dans les sédiments marins de la baie d'Alger. Mémoire de fin d'étude. Environnement marin et cotier. Dely Brahim : ENSSMAL, 77 p.

AL-MASRI, M,S ., MAMISH,S ., BUDIER,Y. (2003). Radionuclides and trace metals in eastern Mediterranean Sea algae. Article .Journal of environmental radioactivity.

AMIARD, J, C. (2019). Industrial and medical nuclear accident .Londres: .Ed. ISTE, 314 p.

AMIARD- TRIQUET.C., AMIARD.J.C.(1980).Radioécologie des milieux aquatiques. Paris : Ed.MASSON, 191 p.

ANCELLIN,J., GUEGUENIAT,P ., CERMAIN,P.(1979). Radioécologie marine : étude du devenir des radionucléides rejetés en milieu marin et application à la radioprotection. Paris:Ed. Eyrolles, 256 p.

AOUDJ,Ch., MEZOUAR,KH., GUERFI,M., et al. (2019). Evaluation spatio-temporelle du trait de côte du littoral centre Algérien : Cas de la baie de Zemmouri. Article.

ASN (2003) .la sureté nucléaire et la radioprotection en France. Rapport d'activité. Document non publié. France: ASN.

B

BAKALEM,A.(2008). Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental algérien. Thèse doctorat. Océanographie. Algérie : Université USTHB,677 p.

BAYSAL,A., TUNCER,S. (1992). Radioactivity levels in fish, shellfish, algae and seagrass collected from the Eastern Black Sea coast of Turkey. Article. Toxicological and Environmental Chemistry.

BELHARET,M. (2015). Modélisation numérique du transfert du radiocésium dans les chaînes trophiques pélagiques marines suite à l'accident nucléaire de Fukushima Dai-ichi (côte pacifique du Japon). Thèse de doctorat. Environnement. Université de Toulouse (3 Paul Sabatier), 137 p.

BELKESSA R., HOUMA F., CIORTAN R., AND MEZOUAR K. (2008). Protection Works Of The Sea Coast In Algeria. Copedec VII. Dubai,UAE, Paper No: S-26.

BEN TEKAYA,M. (2010). Préparation d'un matériau de référence pour la mesure de la radioactivité naturelle. Mémoire de Mastère .Chimie physique. université du 7 novembre à Carthage,106 p.

Références bibliographiques

BENZOHRA ,M.(1993). Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Centre d'Océanologie de Marseille, 33 p.

BERESFORD,N,A., BARNETT,C,L., HOWARD,B,J., et al. (2008). Derivation of transfer parameters for use within the ERICA Tool and the default concentration ratios for terrestrial biota. Journal of Environmental Radioactivity, P.p. 1393-1407.

BRETHEAU,F., FOULQUIER.,L. (1998). Les installations nucléaires et l'environnement. Rapport d'activité. Document non publié. France: IRSN.

Burger, J., Gochfeld,M., Kosson, D.S., Powers, et al. (2006). Radionuclides in marine macroalgae from Amchitka and Kiska Islands in the Aleutians: establishing a baseline for future biomonitoring. Article.J. Environ. Radioacty, P.p. 27–91.

C

CAILLOT,A.(2002). La radioactivité au service de l'industrie et de l'environnement. France : Ed. TEC et DOC, 157 p.

CEA. (2022). Atome.[en ligne].[consulte le 12/03/2022].disponible sur le site web:
<https://www.cea.fr/>

CEA.(2002). la radioactivité. Livret,19 p.

CEAE (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale). (2014). Procédure d'évaluation du risque radiotoxique pour l'environnement. Rapport d'activité du Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques. Québec : CEAE.

CHARKAOUI EL MOURSLLI,R. (2007). Radioactivité origines, définition, et application. Rapport d'activité. Document non publié. France.

D

DROME. (2021). Etude d'impact.[en ligne].[consulte le 25/04/2022]. Disponible sur le site web :
<http://www.drome.gouv.fr/>

F

FERHI,M. (2019). Contribution à l'évaluation des risques environnementaux radioactifs et métalliques sur la biodiversité de quelques organismes marins. Mémoire de fin d'étude. Ingénierie de l'environnement marin et côtier. Dely Brahim : ENSSMAL, 49 p.

FOULQUIER,L., BAUDIN,J.P. (2014). La radioécologie des écosystèmes aquatiques continentaux. Article.

Références bibliographiques

FUKUDA,S,Y., IWAMOTO,K., ATSUMI,M ., et al.(2014). Global search for microalgae and aquatic lands that can eliminate radioactive cesium, iodine and strontium from the radiopolluted aquatic environment: a bioremediation strategy. *Journal of plant research* ,127 p

Futura-science. (2022). Radionucléide. [en ligne].[consulte le 30/03/2022]. Disponible sur le site web: <https://www.futura-sciences.com/>

G

GARNIER-LAPLACE ,J., COPPLESTONE, D., GILBIN,R., et al.(2008). Issues and practices in the use of effects data from FREDERICA in the ERICA Integrated Approach, *Journal of Environmental Radioactivity*, p.p.1474-1483.

GRANIER,G., LE PETIT,G.(2002). Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement. France, 238 p.

GUENDOUI,Y.(2011). Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à posidonie dans la baie d'Alger. Mémoire de master. Environnement marin et côtier. Dely Brahim : ENSSMAL, 60 p.

GUIDOU,O, TOUZI ,W. (2016). Mise en place d'une base de données sédimentologie dans le domaine côtier de la grande baie de Zemmouri (établissement de la carte morphosédimentaire). Mémoire de fin d'étude .Aménagement du littoral. Alger : ESSMAL ,117 p

H

HOUMA,F. (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat. Science de l'univers et l'environnement. Paris : Université du Val de Marne Paris XII, 274 p.

I

IAEA.(2004). Sediment distribution coefficient and concentration factor for biota in the marine environment .international atomic energy agency: Vienna. Austria

ICRP 119,(2012). Compendium of dose coefficient based on ICRP publication 60 .annils of ICRP.132p.

IRM.(2013). le risque nucléaire. Rapport d'activité. Document non publié. France : IRM.

IRSN. (2004).Éléments de réponse sur les représentations cartographiques des retombées de l'accident de Tchernobyl en France. Rapport d'activité. Document non publié. France : IRSN.

IRSN. (2008). Elément pour la caractérisation radiologiques des matières et effluent en application dès l'arrêté du 25 mai 2005.Rapport d'activité. Document non publié. France : IRSN.

K

KASAMATSU,F. AND ISHIKAWA, Y. (1997). Natural variation of radionuclide Cs-137 concentration in marine organisms with special reference to the effect of food habits and trophic level. Marine Ecology Progress Series, p.p.109–120.

L

Laradioactivité. (2022). [en ligne].[consulté le 02/05/2022].Disponible sur le site web:
<https://laradioactivite.com/>

LECLAIRE, L. (1972). La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien). Tome XXIV. Edition de Muséum, Paris, France, 391 P.

LEM,(1998). Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger : rapport d'activité. Document non publié. Alger : LEM.

LUTTGE,U., KLIGE,M., BAUER,G. (2002). Botanique. France : 3^e Ed. TEC et DOC,604 p.

M

MADDI,A., MOUSSOUD,A.A., (2020). Contribution à l'étude de la radioactivité atmosphérique du site d'Alger : surveillance radiologique et origine des masses d'air, mémoire de fin. Ingénierie de l'environnement marin et côtier d'étude. Dely Brahim : ENSSMAL,90 p

MATHEWS, T., FISHER, N., JEFFREE, R., AND TEYSSIÉ, J.-L. (2008). Assimilation and retention of metals in teleost and elasmobranch fishes following dietary exposure. Marine Ecology Progress Series, p.p.23–33.

MAOUCHE,S.(1987). Mécanisme hydro sédimentaire en baie d'Alger : Approche sédimentologiste, géochimique et traitement statistique. Thèse de doctorat en océanologie, université de Perpignan.214 p

N

NOURDDINE,A .(2007).Distribution de la radioactivité artificielle ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am et isotopes du plutonium, et de la radioactivité naturelle ²¹⁰Pb dans les colonnes d'eaux et des carottes des sédiments le long du littoral Algérien. Thèse de doctorat .Physique. Alger : USTHB ,280 p.

P

PHARABOD, O.et SCHAPIRA,J.P. (1981). Les jeux de l'atome et du hasard : les grands accidents nucléaires de Windscale Tchernobyl. Ed, Calmann-Levy; 252 p

POVINEC,P.P., HIROSE,K., ET AOYAMA.M. (2013). Fukushima accident: radioactivity impact on the environment .1ere Ed, Newnes: 400 p

R

RABEHI,W., GUERFI,M., MAHI,H.(2018). Cartographie de la vulnérabilité des communes de la baie d'Alger : approche socio-économique et physique de la coté, Journal of mediterranean geography.

REZGUI,W. (2013). Etude de la répartition de la radioactivité naturelle et artificielle, et de la minéralogie dans les carottes de sédiments, dans la baie de Bou Ismail. Mémoire de fin d'étude. Ingénierie de l'environnement marin et côtier. Dely Brahim : ENSSMAL, 38 p.

ROWAN, D,J. AND RASMUSSEN, J, B. (1994). Bioaccumulation of radiocesium by fish: the influence of physicochemical factors and trophic structure. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, p.p.2388–2410.

S

SAKAMOTO, N., KANO, N., IMAIZUMI, H., (2008). Determination of rare earth elements, thorium and uranium in seaweed samples on the coast in Niigata Prefecture by inductively coupled plasma mass spectrometry. Appl. Geochem, p.p.2955–2960

T

TAIEB ERRAHMANI, D. (2009). Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger : mémoire pour l'obtention du master. Environnement marin et côtier. Dely Brahim : ENSSMAL, 83 p.

TAIEB ERRAHMANI, D. (2012). Fixation et dépôt de la radioactivité dans les compartiments de l'environnement, air, sol et milieu marin au niveau de la région d'Alger. Mémoire de magister. Océanographie. Dely Brahim : ENSSMAL, 69 p.

TAIEB ERRAHMANI, D. (2020). Transfert et dépôt de la radioactivité des aérosols et des eaux de pluies vers le sol et le milieu marin : application au Nord de l'Algérie. Thèse de doctorat. Environnement marin et côtier. Dely Brahim : ENSSMAL, 264 p.

TAUPIER-LETAGE,I., PIAZZOLA,J., ZAKARDJIAN,P. (2013). Les îles des d'Hyères dans le système de circulation marine te atmosphérique de la Méditerranée.

TEJERA,A., PEREZ-SANCHEZ,G ., GUERRA,A,C .,et al. (2018). Natural radioactivity in algae arrivals on the Canary coast and dosimetry assessment. Article. Science if the total environment.

THOMANN, R, V. (1981). Equilibrium model of fate of microcontaminants in diverse aquatic food chains. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, p.p.280–296.

V

Références bibliographiques

VARINIOGLU,A., KUCUKCEZZAR.R and KOSE .A (1997). Radioecological measurements in the algae from Iskenderun bay, turkey. Article. AIEA.

U

UNSCEAR. (2008). Sources and Effects of Ionizing Radiations, vol. 1. United Nations Publications, New York: UNSCEAR.

UNSCEAR. (2014). UNSCEAR 2013 Report volume i.Report to the general assembly scientific annex A: Levels and effects of radiations exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami.

Z

ZEGHDOUDI,E. (2006). Modelisation bioeconomique des pecheries mediterraneennes- application aux petits pelagiques de la baie de Bou Ismail-(Algerie). Master of science ofscience en economia y gestion de l'actividad pesquera. Barcelona, 59 p.

Annexes

Annexes

Annexe I :

Tableau 16: Températures moyennes mensuelles dans le Port d'Alger (de 2017 à 2022)

mois/années	2017	2018	2019	2020	2021	2022
JAN	19.7	15.1	13.65	15	15.2	13.05
FEV	16.25	13.1	14.3	16.5	17.05	15.05
MARS	17.1	16.55	16.25	16.8	16.5	16.65
AVR	17.75	17.85	17.2	17.8	17.95	17
MAI	20.55	18.75	19.6	21.2	20.65	21.5
JUIN	23.95	22.75	23.25	23.65	23.6	
JUIL	26.75	26.8	26.6	25.55	26.5	
août	27.55	26.65	27.85	27.2	26.85	
sep	24.6	25.1	25.15	24.9	26.3	
oct	21.4	21.35	22.85	21.5	21.7	
nov	17.85	18.55	17.65	19.65	16.7	
dec	14.55	16.05	16.9	16	15.7	

Annexe II :

Tableau 17 : Précipitations moyennes mensuelles du Port d'Alger (de 2017 à 2022)

Année	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	dec	Cumul
2017	3	28.6	42.3	7.5	4.1	12.3	0	1.5	29.8	17	104.3	150.3	400.7
2018	49	135.8	133.8	107.1	34.4	40	0	0	25.1	66.8	110	35.3	737.3
2019	106.5	32	33.8	46.3	13.6	7.5	1.2	17	74.3	17.8	122.2	6	478.2
2020	26.6	0	58.5	78.5	1.8	9	0.5	2	33.5	38.5	79.1	175.1	503.1
2021	45.1	9.9	10.4	34.4	14.5	9.4	1	0	22.4	44	442.2	60	693.3
2022	23.5	14.8	108.4	120.5	38.5	/	/	/	/	/	/	/	305.7

Annexe III :

Tableau 18 : Températures moyennes mensuelles à Dellys (de 2017 à 2022)

Années/mois	Jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	dec
2017	11.95	14.4	15.75	16	18.7	22.6	24.5	/	/	/	15.45	12.35
2018	13.2	11.2	14.9	16.5	17.8	21.55	25.95	26	25	20.65	17.3	14.85
2019	14.025	13.05	15.1	15.9	18.25	22.3	25.9	27.2	24.45	21.85	16.6	15.75
2020	13.35	14.95	16.1	/	/	/	24.15	26	23.35	19.55	17.9	14.5
2021	13.55	15.7	14.8	16.75	19.35	22.95	25.9	25.65	25.05	20.95	16.4	14.75
2022	12.2	14.1	15.3	16	19.8	/	/	/	/	/	/	/

Annexes IV :

Tableau 19 : Précipitations moyennes à Dellys (de 2017 à 2022)

Année	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec	Cumul
2017	199.4	24.8	33.1	35.2	0.9	14.1	0.2	/	/	/	74	120.1	501.8
2018	31.7	139.5	145	90.2	46.9	26.3	0	0.2	22.3	205	182.5	22	911.6
2019	161	34.3	35	46.8	43.4	3.2	5.6	6.5	46.5	26.5	213.8	36	658.6
2020	77.2	0	31.4	/	/	/	0.2	13	97	73.1	108.9	205.4	606.2
2021	72.8	13.3	20	40.3	12.8	12	0.3	0.3	21	55	422.7	52.3	722.8
2022	27	22	102.3	100.3	77.1	/	/	/	/	/	/	/	328.7

Annexes V :

Tableau 20 : Informations sur les échantillons

site	coordonnées géographiques	date du prélèvement	nature de l'échantillon	poids frais (g)	poids sec (g)	taux d'humidité (%)	date d'analyse	poids analysé (g)
Sidi Fredj plage	36°45'33" N	17/05/2022 à 9h30	algue verte	772.23	69.38	91.02	6/6/2022	69.38
	2°50'33" E		algue rouge	1186.60	158.00	86.68	23/06/2022	100.00
			algue brune	1780.63	218.05	87.75	18/06/2022	100.00
Port de Bou Ismail	36°38'57" N	18/05/2022 à 10h30	algue verte	1645.23	149.69	90.90	7/6/2022	100.00
	2°41'33" E		algue rouge	1899.40	300.07	84.20	16/06/2022	100.00
			algue brune	542.36	69.32	87.22	21/06/2022	69.32
Figuier (Boumerdes)	36°47'01" N	23/05/2022 à 11h	algue verte	1572.80	95.00	93.96	2/6/2022	95.99
	3°31'00" E		algue rouge	1360.10	223.92	83.54	24/06/2022	100.00
			algue brune	2267.60	329.00	85.49	1/6/2022	100.00
EL Marsa (Alger)	36°48'37" N	24/05/2022 à 11h	algue verte	4044.90	339.50	91.61	21/06/2022	100.00
	3°15'31" E		algue rouge	2939.10	499.25	83.01	5/6/2022	100.00
			algue brune	2378.50	171.00	92.81	12/6/2022	100.00
Koali (Tipaza)	36°35'20" N	25/05/2022 à 10h30	algue brune	4053.50	542.50	86.62	09/06/2022	100.00
	2°29'30" E							

Annexe VI :



Figure 64 : Pesée du poids frais des échantillons



Figure 65 : Séchage des échantillons à l'air libre



Figure 66 : Séchage des échantillons à l'étuve de l'ENSSMAL



Figure 67 : Pesée du poids sec des échantillons



Figure 68 : Broyage des échantillons après le séchage



Figure 69 : préparation des échantillons pour l'analyse

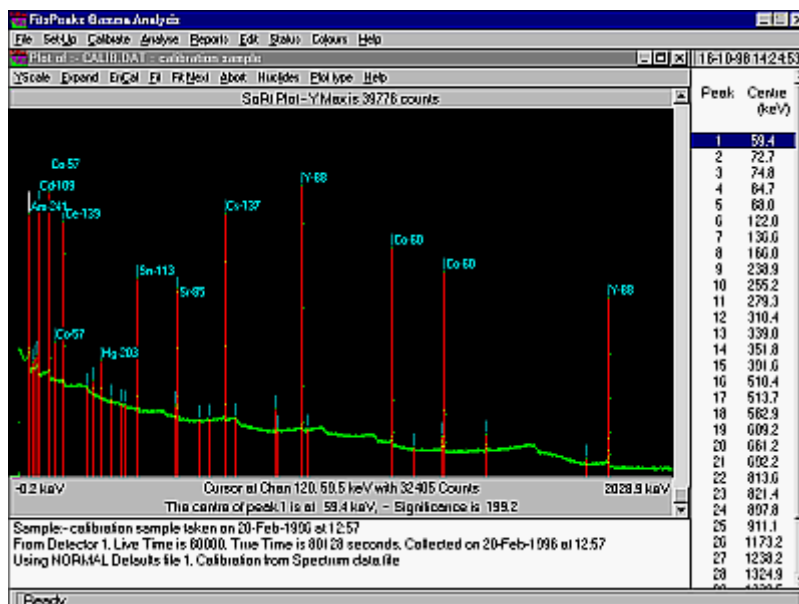


Figure 70: Interface du logiciel d'analyse Fitzpeaks

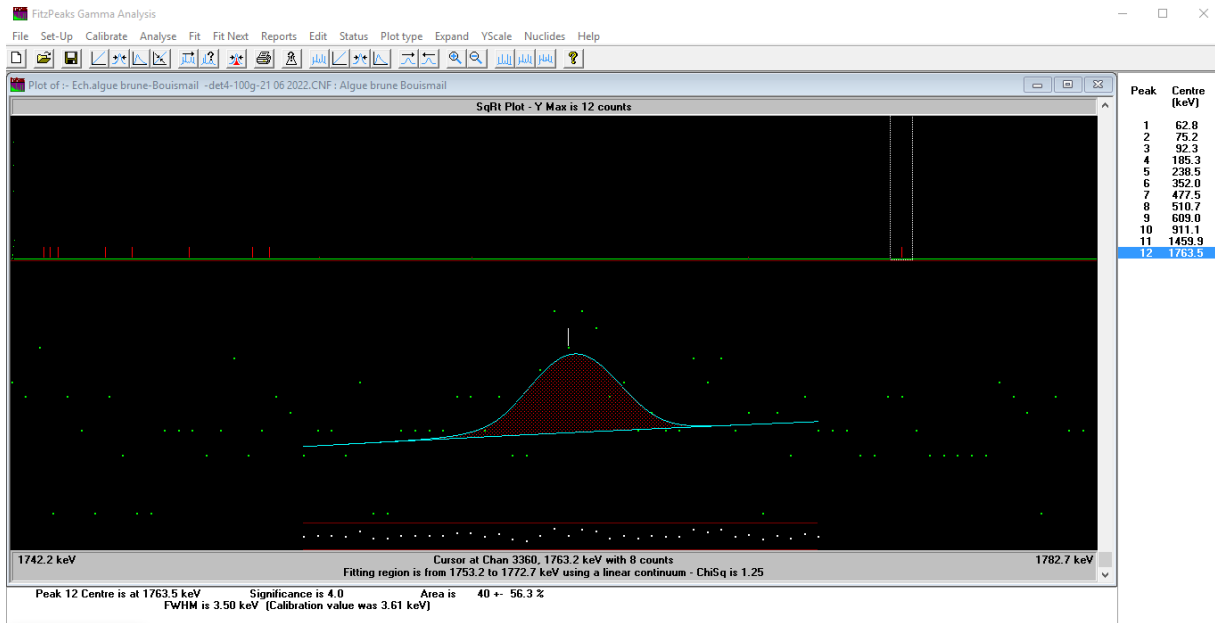


Figure 71 : Analyse des spectres par le Fitzpeaks

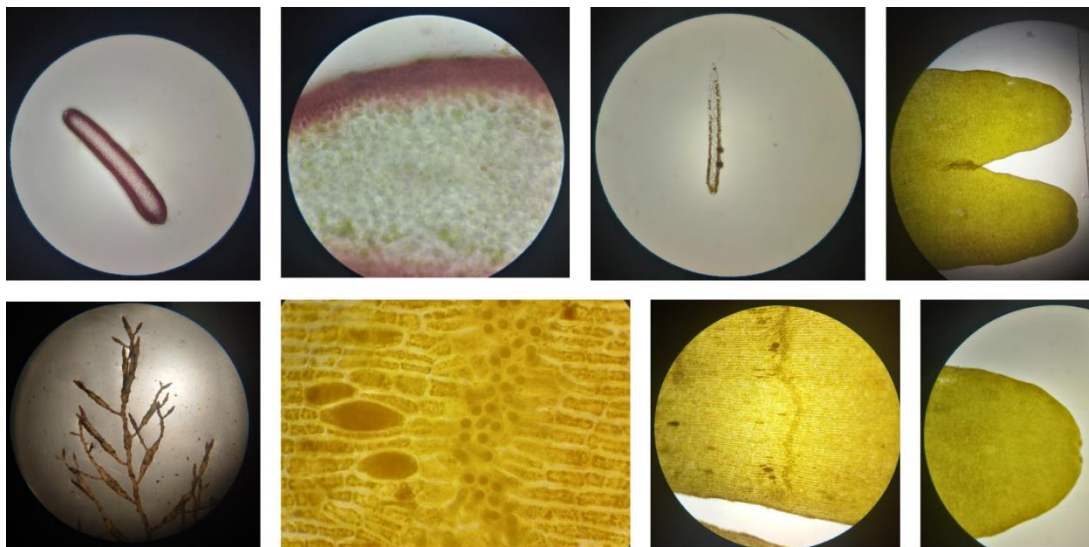


Figure 72: Identification s espèces récoltées

Annexes VII :

Tableau 21: comparaison entre les activités spécifiques des éléments dans les algues

		Activité spécifique (Bq/kg)								
Code	Nature	Th-234	Ra-226	Pb-212	Pb-214	Be-7	Tl-208	Bi-214	Ac-228	K-40
A-VS01	<i>Ulva lactuca</i>	11,33 ± 6,54	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	580,33 ± 88,55
A-VS02	<i>Ulva lactuca</i>	8,57 ± 5,19	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	393,09 ± 60,64
A-VS03	<i>Ulva rigida</i>	401,39 ± 179,34	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	241,52 ± 37,85
A-VS04	<i>Ulva rigida</i>	29,25 ± 14,05	<AMD	<AMD	<AMD	6,28 ± 3,76	0,12 ± 0,09	<AMD	<AMD	300,32 ± 46,33
	A G Moyenne	112,63	0,00	0,00	0,00	6,28	0,12	0,00	0,0	378,81
A-RS01	<i>Pterocladia capillacea</i>	54,06 ± 31,89	2,42 ± 1,25	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	1032,56 ± 160,35
A-RS02	<i>Pterocladia capillacea</i>	312,67 ± 139,64	<AMD	0,67 ± 0,28	<AMD	9,40 ± 4,21	0,40 ± 0,27	<AMD	<AMD	830,44 ± 126,72
A-RS03	<i>Grateloupia lanceola</i>	31,67 ± 15,51	<AMD	0,21 ± 0,10	<AMD	<AMD	0,12 ± 0,09	<AMD	<AMD	402,16 ± 62,04
A-RS04	<i>Grateloupia lanceola</i>	29,25 ± 14,05	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	275,76 ± 42,60
	A R Moyenne	120,56	2,42	0,44	0,00	9,40	0,26	0,00	0,00	635,23
A-BS01	<i>Cystoseira amontacea</i> <i>/var. stericta</i>	112,92 ± 280,59	4,95 ± 1,46	1,04 ± 0,42	0,59 ± 0,20	11,68 ± 4,54	0,33 ± 0,23	0,52 ± 0,20	<AMD	1885,38 ± 286,31
A-BS02	<i>Cutleria multifida</i>	231,95 ± 103,48	6,63 ± 1,72	0,77 ± 0,29	4,87 ± 1,23	17,29 ± 3,79	<AMD	<AMD	1,77 ± 0,92	138,75 ± 21,61
A-BS03	<i>Sargassum vulgare</i>	69,33 ± 32,16	3,59 ± 1,08	1,84 ± 0,68	5,35 ± 1,39	30,06 ± 5,32	0,48 ± 0,33	5,15 ± 1,51	2,87 ± 1,56	922,35 ± 140,85
A-BS04	<i>Dilophus spiralis</i>	66,37 ± 30,86	9,87 ± 3,40	1,09 ± 0,55	<AMD	35,09 ± 9,82	13,56 ± 6,90	1,94 ± 0,82	3,34 ± 2,13	457,22 ± 71,77
A-BS05	<i>Cystoseira humilis</i>	36,48 ± 18,09	1,76 ± 0,60	0,63 ± 0,29	2,90 ± 0,91	34,51 ± 6,69	9,11 ± 4,61	3,12 ± 1,04	<AMD	1246,30 ± 189,77
	A B Moyenne	103,41	5,36	1,07	3,43	25,71	5,87	2,68	2,66	930,00

Annexes VIII:

Tableau 22 : Période et origine des radioéléments d'intérêts

Éléments	Période	Origine
²³⁴ Th	24,10j (long)	U-238
²²⁶ Ra	1600ans	Naturelle
²¹² Pb	10,64 h	Th-232
²¹⁴ Pb	26,916min	U-238
⁷ Be	53,22d	Cosmique
²⁰⁸ Tl	3,058 min	Th-232
²¹ Bi	19,8min	U-238
¹³⁷ Cs	30,05 ans	Retombées
²²⁸ Ac	6,15h	Th-232
⁴⁰ K	1,2504E-09 ans	Naturelle

Tableau 23 : Quotient de risque dans les algues

Organism	Risk Quotient [unitless]
Macroalgae	0.017487194

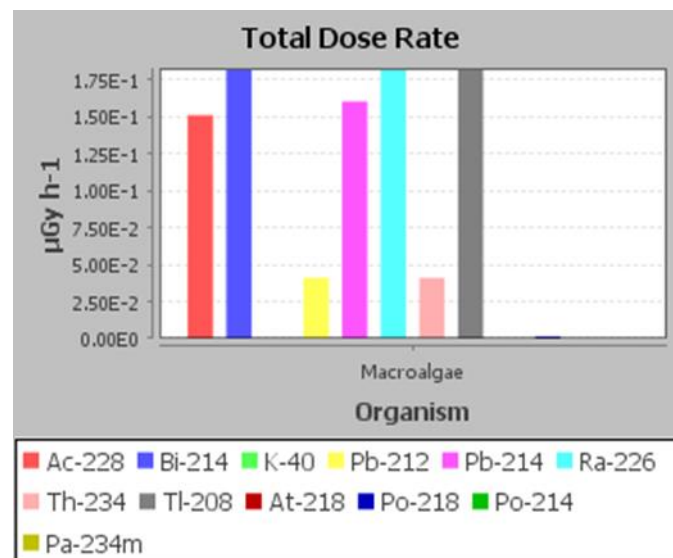


Figure 73 : Débits de dose dans les algues fournis par le code ERICA

الملخص:

كان الهدف من هذا العمل هو إجراء توصيف إشعاعي للبيئة البحرية باستخدام الطحالب على طول الساحل الجزائري وتقييم الجرعات.

تم جمع 13 عينة على طول الساحل الجزائري ومعالجتها وتحليلها بواسطة مقياس طيف جاما.

اظهرت النتائج بوضوح عدم وجود نشاط إشعاعي اصطناعي (^{173}CS) ووجود النويدات المشعة الطبيعية التي تنحدر من ^{238}U و ^{232}Th و ^{40}K و ^7B .

سمحت برمجية ERICA بإجراء تقييم إشعاعي بيئي للساحل الجزائري من خلال اجراء تقييم قياس الجرعات للطحالب الخضراء والحمراء والبنية.

الجرعة المدمجة الكلية هو $2.95\text{E}-6 \text{ Sv.an}^{-1}$ ، وهو بعيد كل البعد عن التسبب في آثار ضارة على صحة الإنسان.

الكلمات المفتاحية: دراسة علم البيئة الإشعاعية ، الطحالب ، تأثير قياس الجرعات ، مطياف جاما ، ACIRE ، الساحل الجزائري العاصمة.

الكلمات المفتاحية: دراسة علم البيئة الإشعاعية ، الطحالب ، تأثير قياس الجرعات ، مطياف جاما ، ACIRE ، الساحل الجزائري.

Résumé :

L'objectif de ce travail était de faire une caractérisation radiologique du milieu marin en utilisant les algues le long du littoral Algérois, et une évaluation dosimétrique.

Un nombre total de 13 échantillons a été collecté le long du littoral Algérois, traité et analysé par spectrométrie gamma.

Les résultats montrent clairement l'absence de la radioactivité artificielle (^{137}Cs) et la présence des radionucléides naturels descendants de l' ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K et ^7Be avec des ordres de grandeur variable d'un site à l'autre et d'une espèce à une autre.

Le code ERICA a permis de faire une évaluation radio-écologique au niveau du littoral Algérois. En parallèle, une évaluation dosimétrique a été abordée en ciblant les algues vertes, rouges, et brunes.

La dose incorporée totale est de $2.95\text{E}-6$ Sv.an-1, ce qui est loin de causer des effets néfastes sur la santé humaine.

Mots clés : Etude radioécologique, algues, impact dosimétrique, spectrométrie gamma, ERICA, littoral Algérois.

Abstract:

The objective of this work was to do a radiological characterization of the marine environment using algae along the Algiers coastline, and also a dose evaluation.

A total number of 13 samples were collected along the Algiers coastline, processed and analyzed by gamma spectrometry.

The results clearly showed the absence of artificial radioactivity (^{137}Cs) and the presence of natural radionuclides descending from ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^7Be with orders of magnitude varying from one site to another and from one species to another.

The ERICA code allowed a radio-ecological evaluation of the Algiers coastline. In parallel, a dose evaluation was applied for green, red and brown algae.

The total incorporated dose was found to be **2.95E -6 Sv.year-1**, which is very far from any harmful effects on human health.

Key words: Radioecological study, algae, dosimetric impact, gamma spectrometry, ERICA, Algeris coastline.