

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifiques

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral



Mémoire pour l'obtention du Diplôme de master en Science de la Mer

Option : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Etude de la qualité radiologique et chimique des sédiments de
l'embouchure de l'Oued Chélif (W.de Mostaganem)**

Présenté par :

- AYAICHIA Asma
- BENYAKOUB Yasmine

Soutenu le **18 Juillet 2023** à 12h30 à la **salle des conférences** devant le Jury composé de :

Mme KEGHAGUEL. M	MCB (ENSSMAL)	Présidente
M. BOULAHIDID. M	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
Mme. HAMMADI. A	Chercheur confirmé (CRNA)	Co-promotrice
M. LOURGUIOUI.H	MCA (ENSSMAL)	Examineur
Mme. GHAZI. M	MCA (ENSSMAL)	Examinatrice
Mme. DEHANE. D	Magister (ENSSMAL)	Invité

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous remercions Dieu, tout Puissant pour la volonté et la patience dont il nous a gratifiées.

Nos vifs remerciements s'adressent à notre encadreur Monsieur BOULAHIDJ Mostefa pour sa disponibilité, ses conseils ainsi que ses orientations.

Nous souhaitons exprimer nos remerciements à Madame HAMMADI Anissa notre co-promotrice du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger pour ses conseils ainsi que ses orientations.

Nous tenons aussi à exprimer notre respect et gratitude envers Madame DEHANE Djema pour sa disponibilité, son temps, ses orientations ainsi que ses conseils et encouragements.

Nous tenons à remercier Madame MAOUEL Djamila et les formateurs pour leurs conseils et orientations.

Nous remercions les membres de jury d'avoir bien voulu prendre le temps d'écouter et d'évaluer notre travail.

Dédicace 1

Je dédie ce modeste mémoire de fin d'étude ;

A qui je porte son nom, mon cher père Mohamed Salah

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices consentis pour mon bien être.

Vous êtes la personne la plus chère et proche de mon cœur, l'ami et le soutien de mon long parcours.

Je suis ici, grâce à vos prières, vos conseils et encouragements. Que Dieu vous garde, vous bénisse et vous accorde une longue vie en santé pleine du bonheur pour que vous serez fiers de moi.

A ma chère mère Messaouda

Vous êtes mon ange dans ma vie et la fontaine d'amour et de tendresse. Qu'Allah vous garde, vous préserve votre santé et vous accorde une longue vie pleine de bonheur.

Je te souhaite la guérison et prompt rétablissement et que Dieu vous donne la force et la patience, vous êtes la bougie qui illumine mon long chemin.

A mes deux frères ;

Saif Eddine et Ayoub, mes bras droits, je vous souhaite pleins de succès dans votre parcours.

A ma petite sœur ;

Maroua, ma petite princesse et la source de la joie, je te souhaite une vie pleine de succès, de bonheur et de prospérité dans ta vie.

A mes amies, à mes camarades enssmaliens de IEMC et à toute ma famille ;

L'étude nous a réuni et nous avons passé les plus beaux moments, je vous aime les enssmaliens je vous souhaite pleins de succès et de prospérité dans votre vie et parcours professionnels.

A mon binôme ;

Yasmine, avant d'être mon binôme, vous étiez mon amie et camarade, la cité universitaire et l'école nous a réuni, nous avons partagé des moments de joie, de fou rire et de travail, merci pour ces bons moments, je te souhaite tout le bonheur du monde, une vie pleine de réussite.

Asma

Dédicace 2

Je dédie ce modeste mémoire de fin d'étude ;

A qui je porte son nom, mon cher père Mohamed ;

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices consentis pour mon bien être.

Je suis ici, grâce à vos conseils et encouragements. Que Dieu vous garde, vous bénisse et vous accorde une longue vie en santé pleine de bonheur pour que vous serez fiers de moi.

A ma chère mère Saléha

Vous êtes mon ange dans ma vie et la fontaine d'amour et de tendresse. Vous êtes la personne la plus chère et proche de mon cœur, l'amie et le soutien de mon long parcours.

Je suis ici, grâce à vos prières, vos conseils, vos encouragements et vos sacrifices consentis. Que Dieu vous garde, vous bénisse, vous préserve pour nous, et vous accorde une longue vie en santé pleine du bonheur pour que vous serez fiers de moi.

A mes deux sœurs ;

Lila et Lydia, mes précieuses, vous étiez toujours à mes côtés pour me soutenir et m'aider. Je sais que ma réussite est très importante pour vous. J'ai de la chance d'avoir deux grandes sœurs comme vous, Que Dieu vous récompense Pour tous vos bienfaits et vous accorde une vie pleine de succès et de bonheur avec vos belles familles.

A mon frère ;

Mahdi, mon bras droit mon soutien dans la vie après mon père, je te souhaite une vie pleine de succès, de bonheur et de prospérité dans ta vie.

A mes neveux ;

Yacine et Ilyes, mes chers neveux je vous souhaite la réussite et le bonheur dans votre vie.

A mes amies, à mes camarades enssmaliens de IEMC et à toute ma famille ;

A mon binôme ;

Asma, avant d'être mon binôme, vous étiez mon amie et camarade, la cité universitaire et l'école nous a réuni, nous avons partagé des moments de joie, de fou rire et de travail, merci pour ces bons moments je te souhaite tout le bonheur du monde, une vie pleine de réussite.

Yasmine

Table des matières

Introduction	13
I. La radioactivité	16
I.1 Emissions radioactives	16
I.1.1 Radiations alpha (α).....	16
I.1.2 Radiations bêta (β)	16
I.1.3 Radiations gamma (γ).....	16
I.2 Loi de désintégration radioactive	17
I.2.1 L'activité radioactive	17
I.3 L'équilibre séculaire radioactif	18
I.4 Interaction des rayonnements gamma avec la matière.....	18
I.4.1 Effet photoélectrique	18
I.4.2 Effet Compton.....	19
I.4.3 La création des paires.....	19
I.5 Les origines de la radioactivité	20
I.5.1 Radioactivité naturelle	20
I.5.2 Radioactivité artificielle	21
I.6 Les chaînes des familles radioactives naturelles	22
I.7 Voies de transfert de la radioactivité dans l'environnement marin	23
I.7.1 La radioactivité dans les sédiments marins	24
I.8 Les radionucléides d'intérêt.....	26
I.8.1 L'uranium 238 (^{238}U) et ses descendants	26
I.8.2 Le Thorium 232 (^{232}Th) et ses descendants	27
I.8.3 Le Césium 137 (^{137}Cs)	28
II. Les éléments traces métalliques (ETM)	29
II.1 Définitions des ETM	29

Table des matières

II.2	Sources des ETM dans l'environnement	29
II.2.1	Origine naturelle	29
II.2.2	Origine anthropique	29
II.3	Le Mercure (Hg)	30
II.4	Pénétration du mercure dans le sédiment	30
III.	Le sédiment	31
III.1.1	Origine des sédiments	31
III.1.2	Composition	31
III.1.3	Granulométrie	32
IV.	Présentation générale de la zone d'étude	34
IV.1	Bassin Chélif-Zahrez	34
IV.2	Paramètres hydroclimatiques	35
IV.2.1	Facteurs météorologiques	35
IV.2.2	Paramètres hydrodynamiques	37
IV.3	Sédimentologie	37
IV.4	Les sources de pollution	38
V.	Détermination du taux de matière organique dans le sédiment	42
V.1	Mesure de la radioactivité naturelle et artificielle	42
V.1.1	Homogénéisation et conditionnement des échantillons	42
V.1.2	Technique de spectrométrie gamma	42
V.1.3	Conditions expérimentales	48
V.1.4	Comptage	51
V.2	Analyse du Mercure (Hg) total par DMA-80	55
V.2.1	Principe	55
V.2.2	Conditions expérimentales	56
VI.	La radioactivité	61

Table des matières

VI.1	Le taux d'humidité.....	61
VI.2	La matière organique	62
VI.3	Les activités des radionucléides d'intérêt.....	63
VI.3.1	L'uranium 238 et ses descendants (Pb-214, Bi-214 Pb-210).....	63
VI.3.2	Le Thorium 232 et ses descendants (Pb-212, Ac-228)	66
b)	Actinium 228.....	67
VI.3.3	Potassium 40.....	68
VI.4	Comparaison des activités des sédiments de l'embouchure de l'oued Chélif avec celles obtenues dans d'autres travaux antérieurs	69
VI.5	Evaluation des risques radiologiques.....	72
VI.5.1	Radium Equivalent Activity (Raeq)	72
VI.5.2	External Hazard Index (Hex)	72
VI.5.3	Representative gamma Index (Iγr).....	73
VII.	Contamination par le Mercure Hg	74
	Conclusion générale	77

Liste des Figures

Figure 1 : L'Effet photoélectriques (Lakehal, 2020).	19
Figure 2 : L'Effet Compton (Lakehal, 2020).	19
Figure 3: La création de paires (Lakehal, 2020).	20
Figure 4 : les chaines des familles radioactives naturelles (IRSN, 2008).	22
Figure 5: Le devenir des radionucléides dans le milieu marin (IRSN, 2004).	24
Figure 6 : Bassin versant de l'Oued Chélif (Meguenni & Remini, 2008).	35
Figure 7: Graphique d'estimation de la température annuelle moyenne de la région de Mostaganem (1979-2021) (Accord de Paris sur le climat, 2015).	35
Figure 8: Graphique des mesures des précipitations totales moyennes de la région de Mostaganem (1979-2021) (Accord de Paris sur le climat, 2015).	36
Figure 9 : Point de prélèvement de la carotte de sédiment de l'embouchure de l'Oued Chélif.	41
Figure 10 : Carotte de sédiments prélevée à l'embouchure de l'oued Chélif.	41
Figure 11 : électronique d'acquisition d'une chaine de spectrométrie gamma.	44
Figure 12 : a) réservoir d'azote liquide (Dewar) b) remplissage d'azote.	44
Figure 13 : Détecteur Ge HP avec le cryostat et le réservoir d'azote.	45
Figure 14 : Spectre obtenue avec Génie 2000 après 48h de comptage.	47
Figure 15: Courbe d'étalonnage en énergie.	48
Figure 16 : Courbe d'efficacité en fonction d'énergie pour les différentes masses.	51
Figure 17 : analyseur DMA-80 (Tri-Cell).	55
Figure 18 : Système de fonctionnement de DMA-80 (Milestone DMA-80 User Manual, 2014).	56
Figure 19 : courbe d'étalonnage des cellules de DMA-80.	57
Figure 20 : Echantillons de sédiments placés au DMA-80.	59
Figure 21 : Profil vertical du taux d'humidité de la carotte de l'oued Chélif.	61
Figure 22 : Profil vertical du taux de la matière organique de la carotte de l'oued Chélif. ...	62

Liste des Figures

Figure 23 : Profil vertical de l'activité de l'uranium (^{238}U) dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	64
Figure 24 : Profils verticaux des activités de ^{214}Pb et de ^{214}Bi dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	65
Figure 25 : Profil vertical de l'activité du ^{210}Pb dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	66
Figure 26 : Profil vertical de l'activité du ^{212}Pb dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	67
Figure 27 : Profil vertical de l'activité du ^{228}Ac dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	68
Figure 28 : Profil vertical de l'activité de du ^{40}K dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	69
Figure 29 : Profil vertical des concentrations du mercure (Hg) dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.	74

Liste des Tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des trois grandes familles radioactives naturelles. (Nussbaum. (2003). Les familles radioactives. https://www.chemphys.fr/mpb/teach/jean/jeannuss/8.htm Consulté 15 février 2023).....	21
Tableau 2 : Classement granulométrique des sédiments (Ramaroson, 2008).	32
Tableau 3 : Apports solides de l'oued Chélif (Bouhekliia & Remini, 2003).	37
Tableau 4: tableau récapitulatif de RSD, LD, LQ.	58
Tableau 5 : comparaison des activités du sédiment de l'embouchure de l'oued Chélif avec celles des autres travaux de trois régions littorales (Est, Ouest et centre).....	70
Tableau 6 : Indices de risque radiologiques des sédiments de la carotte de l'Oued Chélif..	73
Tableau 7 : comparaison des concentrations du mercure (Hg) du sédiment de l'embouchure de l'oued Chélif avec celles des autres travaux de trois régions littorales (Est, Ouest et centre).	75

Abréviation :

ADC : Convertisseur Analogique-Numérique ADC.

AMC : Analyseur multicanaux.

AMD : Activité minimale Détectable.

CRNA : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger.

DMA-80 : Direct Mercury Analyzer.

DRSE : Département de la Radio-écologie et de la Surveillance de l'Environnement.

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

Ge HP: Germanium hyper pur.

Hex: External Hazard Index (Hex).

HT : haute tension

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire.

I_{γr}: representative Gamma Index (I_{γr}).

LD : Limite de Détection.

LQ : Limite de Quantification.

Raeq: Radium Equivalent Activity.

RSD : Relative Standard Déviation (Ecart-type relative).

SD : Seuil de Décision.

SD : Standard Deviation.

Introduction

Introduction

Les problèmes posés par la dispersion des polluants dans l'environnement ont suscité l'intérêt de la communauté scientifique depuis de nombreuses décennies. La prise de conscience de la nécessité de préserver les écosystèmes terrestres et aquatiques a ainsi fait émerger certaines questions, notamment celles du devenir de ces polluants dans l'environnement ainsi que de leurs effets sur la communautés d'êtres vivants (Laurette, 2011).

Les sédiments sont les récepteurs finaux auxquels s'acheminent tous les polluants radioactifs et non radioactifs et les substances chimiques à partir de la colonne d'eau. Ces contaminants peuvent être soumis à des processus de transformation et d'activation qui peuvent engendrer des effets sur l'environnement (Perelo, 2009).

Le travail proposé dans ce mémoire s'inscrit dans une partie de thèse de doctorat porte sur le « *le transfert particulaire des radioéléments d'origine anthropiques et naturelles dans le milieu marin* ». Il présente une première investigation de carottage dans la région ouest et s'intéresse aux milieux terrestre et marin.

L'objectif de ce travail consiste à étudier la qualité radiologique et chimique des sédiments au niveau de l'embouchure d'Oued Chélif (W. de Mostaganem) à travers une évaluation de niveau de la radioactivité naturelle (U-238, Th-232, et K-40) et artificielle (Cs-137) et le niveau de la contamination métallique (Hg), le but principal étant de connaître le niveau de la pollution de la zone d'étude.

Ce mémoire est divisé en quatre parties :

La première partie est une synthèse bibliographique concernant la radioactivité et les éléments traces métalliques dans laquelle nous décrivons la radioactivité, ses lois de désintégrations et les chaînes radioactives. Ensuite, nous définissons les éléments traces métalliques en spécifiant le Mercure (Hg). Enfin, nous donnons un aperçu sur le comportement des éléments radioactifs et chimiques dans la matrice sédimentaire.

La deuxième partie comprend la zone d'étude, son positionnement géographique, la description des caractéristiques climatiques et géographiques du bassin versant de l'Oued Chélif et la localisation du site de prélèvement de la carotte de sédiment.

La troisième partie constitue les matériels et les techniques de mesures utilisées dans le cadre de cette étude de la qualité radiologique (Spectrométrie gamma) et la qualité chimique (analyseur de Mercure).

Introduction

Dans la dernière partie, les résultats de mesure par spectrométrie gamma et analyse chimiques par DMA-80 sont abordés. Ces résultats sont présentés sous forme de profils en fonction de la profondeur. Les résultats d'analyses sont comparés avec d'autres études de différentes régions du littoral (Est, ouest et centre) algérien.

Le manuscrit s'achève par une conclusion reprenant les principaux résultats et interprétations.

Synthèse
Bibliographique

I. La radioactivité

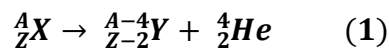
La radioactivité est un phénomène physique par lequel un noyau atomique instable (dits radionucléide ou radio-isotope) se transforme spontanément en un noyau plus stable, en émettant un rayonnement particulaire (α ou β), suivi couramment de rayonnement électromagnétique (γ), à la fin de ce phénomène de désintégration radioactive (Gambini & Granier, 2007).

I.1 Emissions radioactives

La transmutation spontanée d'un élément chimique en un autre élément se fait pour atteindre un état plus stable (désexcitations du noyau), cependant les noyaux doivent émettre des radiations énergétiques, ces derniers sont constitués de particules (alpha ou bêta).

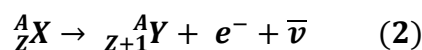
I.1.1 Radiations alpha (α)

Le rayonnement alpha (α) provient de l'expulsion du noyau radioactif d'une particule α « noyau d'hélium » composé de deux protons et de deux neutrons (${}^4_2\text{He}^{2+}$). Il est émis lors de la désintégrations d'un noyau lourd en un noyau plus légers. La réaction de désintégration entre le noyau père (X) et le noyau fils (Y) s'écrit comme suit :

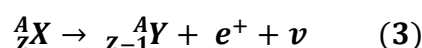


I.1.2 Radiations bêta (β)

Cette désintégration a lieu lorsque le noyau présente un excès de neutrons ou de protons. Les noyaux ayant un excès de neutrons subissent une désintégration (β^-), elle se spécifie par la transformation d'un neutron en proton, en émettant un électron et d'un antineutrino. L'équation de cette transition nucléaire s'écrit :



Cependant, les noyaux ayant un excès en protons subissent une désintégration (β^+), elle se spécifie par la conversion d'un proton en neutron, en émettant un positron et d'un neutrino. L'équation de cette transition nucléaire s'écrit :



I.1.3 Radiations gamma (γ)

Ce rayonnement suit généralement une émission alpha ou bêta, à la fin de désintégration α ou β , le nouveau noyau peut se trouver dans un état instable et excité c'est-à-dire il possède

un niveau d'énergie élevé. Il se désexcite alors en dégageant cette énergie en émettant un rayonnement électromagnétique (γ) approprié au noyau.

I.2 Loi de désintégration radioactive

La loi fondamentale de désintégration radioactive, établie en 1902 par Rutherford et Soddy en grande Bretagne, constate que l'activité (nombre moyen de désintégration par seconde) est proportionnelle au nombre de noyaux $N(t)$ présents à l'instant t et à la nature des noyaux radioactifs (λ) (Gambini & Granier, 2007).

Cette décroissance radioactive suit une loi cinétique du premier ordre et s'énonce comme suit :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (4)$$

La lettre λ désigne la constante radioactive, c'est une grandeur caractéristique de chaque noyau radioactif. Elle représente sa probabilité de désintégration par unité de temps. L'intégration de l'équation (4) conduit à la loi exponentielle :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Où :

N : nombre d'atomes des radionucléides père après un temps t ,

N_0 : nombre initial d'atomes, au temps $t=0$.

La période radioactive ou temps de demi vie $T_{1/2}$ est le temps au bout duquel l'activité de la source a diminué de moitié. Elle est liée à la constante radioactive λ par la formule :

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} = \frac{1}{2} \quad \text{donc} \quad T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (6)$$

Ainsi, de l'équation (5) est obtenue par la relation ci-dessous :

$$N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad \text{donc} \quad \ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{1/2} \quad (7)$$

I.2.1 L'activité radioactive

On peut mesurer expérimentalement l'activité radioactive pour chaque isotope, elle correspond à la vitesse de désintégration de ce dernier, exprimée par le nombre de désintégration qui se produisent pendant une seconde (1s).

$$A(t) = \lambda N(t) \quad (8)$$

D'après l'équation (5) multiplié par λ on obtient une formule de même type mais en terme d'activité.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (9)$$

Avec A_0 est l'activité du père au temps zéro (t_0).

A : l'activité du père à l'instant t.

Dans le système Internationale (SI), l'unité de l'activité (désintégration par seconde) est le Becquerel [Bq].

I.3 L'équilibre séculaire radioactif

L'état séculaire correspond à un état stationnaire où le taux de décroissance de chaque isotope intermédiaire dans la chaîne va être imposé par celui de l'isotope père à longue durée de vie (Bosia, 2016)). L'état d'équilibre séculaire est caractérisé par des rapports d'activité entre les isotopes égaux à 1. Cet équilibre est obtenu après un temps égal à environ dix (10) fois la période du fils.

$$\frac{A_{\text{fille}}}{A_{\text{père}}} \approx 1$$

I.4 Interaction des rayonnements gamma avec la matière

Les rayons gamma sont des ondes électromagnétiques qui interagissent avec les atomes par trois (03) processus principaux : effet photoélectriques, effet Compton et la création des paires.

I.4.1 Effet photoélectrique

Lorsqu'un rayonnement interagit avec la matière, il peut avoir une absorption totale du photon incident portant une énergie par un des électrons du cortège électronique, avec une émission d'un photon électron ayant une énergie cinétique.

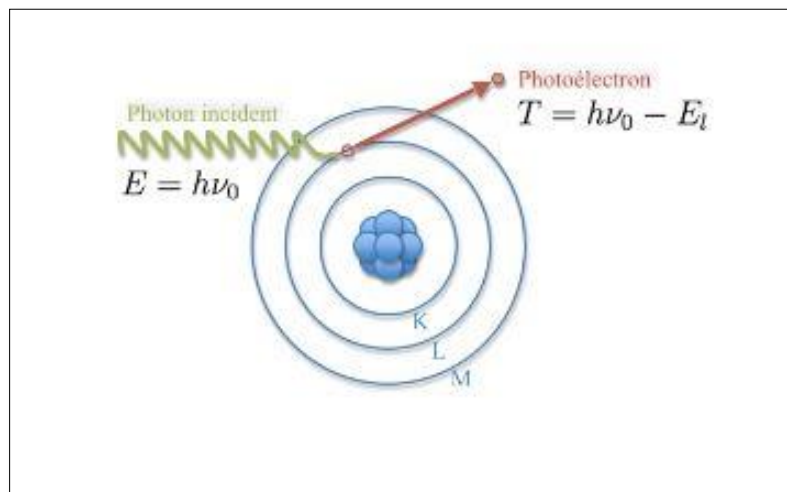


Figure 1 : L'Effet photoélectriques (Lakehal, 2020).

I.4.2 Effet Compton

Le photon incident interagit avec un électron périphérique de l'atome à qu'il cède une partie de son énergie.

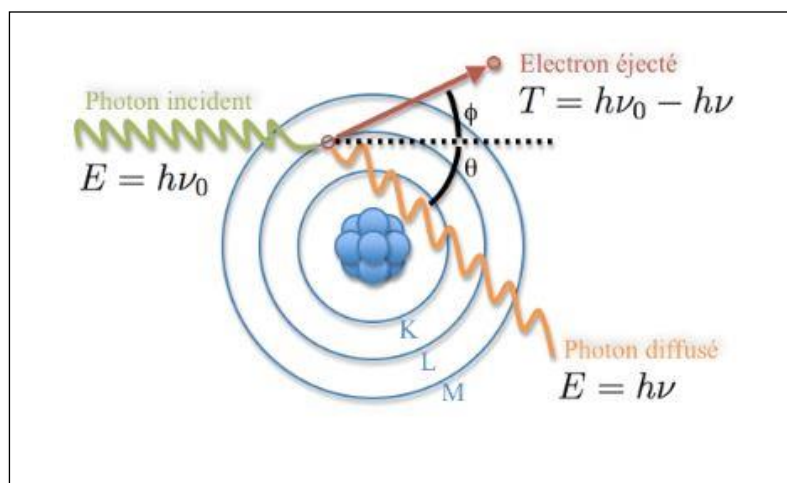


Figure 2 : L'Effet Compton (Lakehal, 2020).

I.4.3 La création des paires

Le photon incident interagit avec le champ électrique créée par le noyau, il disparaît en créant une paire *d'électron-positron* (e^+/e^-). Ce processus n'aura lieu que si l'énergie du photon incident est au moins égale à celle de la paire (e^+/β^-), à savoir 1022 KeV.

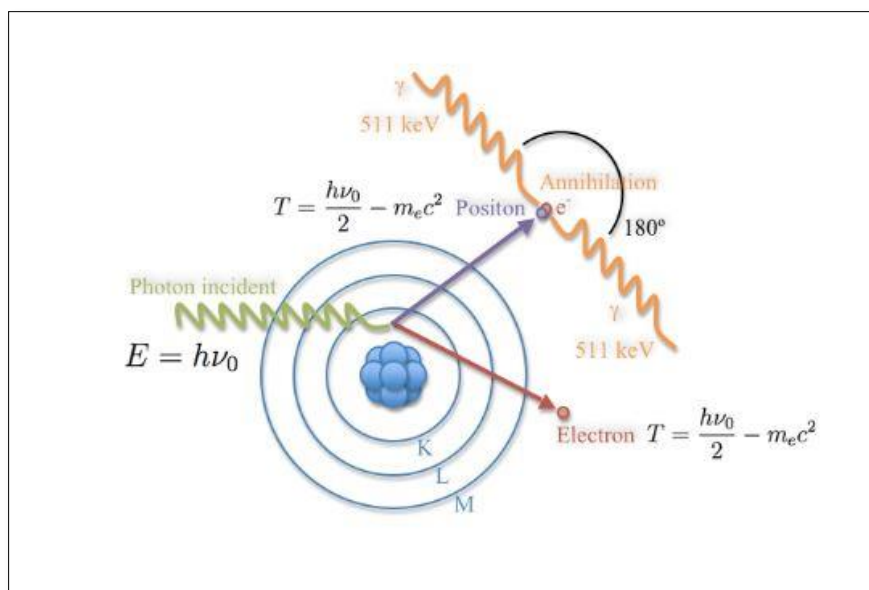


Figure 3: La création de paires (Lakehal, 2020).

I.5 Les origines de la radioactivité

I.5.1 Radioactivité naturelle

Dans l'environnement, il existe deux groupes de radionucléides d'origine naturelle :

- Des radionucléides d'origine cosmique ou « cosmonucléides » tel que ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{222}Ra et ^{14}C . Ils se forment par l'interaction des radiations cosmiques avec les noyaux d'atomes, constituant les couches supérieures de l'atmosphère (H, He, O). Les rayonnements d'origine cosmiques peuvent être galactiques ou solaires.
- Des radionucléides dits « primordiaux ou telluriques », qui étaient présents au moment de la formation de la terre et que l'on trouve aujourd'hui encore dans l'écorce terrestre. Ils ont des périodes supérieures à 700 millions d'années et sont peu stables. Il leur suffit d'une seule désintégration pour se transformer en noyaux stables (Ben Tekaya, 2010) Tel que : ^{40}K ($T_{1/2} = 1,28.10^9$ ans) et ^{87}Rb ($T_{1/2} = 4,8.10^{10}$ ans). A longue période, ils existent avec leurs isotopes stables dans la nature.

En outre, ils existent des descendants de trois radioéléments lourds à vie très longue, caractérisés par le numéro atomique, Z , supérieur à 88 et un comportement particulier nécessitent une longue série de désintégration avant d'aboutir à un noyau stable. Il s'agit de l'Uranium 238, l'Uranium 235 et du Thorium 232.

Ces trois radionucléides peuvent être trouvés en traces dans plusieurs minerais (le phosphate par exemple).

Tableau 1: Caractéristiques des trois grandes familles radioactives naturelles. (Nussbaum. (2003). Les familles radioactives. <https://www.chemphys.fr/mpb/teach/jean/jeannuss/8.htm> Consulté 15 février 2023).

Famille	Parent	Période (ans)	Nombre de masse A	Emanation
Uranium- Radium	${}_{92}^{238}U$	$4,47.10^9$	$4n$	Radon
Thorium	${}_{90}^{232}Th$	$1,39.10^{10}$	$4n + 2$	Thoron
Uranium- Actinium	${}_{92}^{235}U$	$7,13.10^8$	$4n + 3$	Actinon

I.5.2 Radioactivité artificielle

Ce sont des radionucléides produits par l'homme et introduits brutalement à la planète par les essais nucléaires ou lors des opérations du cycle de combustible des centrales nucléaires.

Ces radionucléides contaminent l'environnement. Les principales causes de cette contamination sont volontaires telles que :

1. Les retombées des essais militaires atmosphériques ont libéré des produits de fission en majorité du ${}^{137}Cs$ ainsi que les isotopes du Plutonium (${}^{238}Pu$, ${}^{239}Pu$, ${}^{240}Pu$ et ${}^{241}Pu$). Ces retombées ont engendré une contamination permanente de l'environnement notamment en ${}^{137}Cs$ qui continue à persister actuellement.
2. Les déchets radioactifs provenant des fonctionnements des installations nucléaires pour la production d'énergie et de radioéléments ou bien l'utilisation de ces derniers pour des raisons médicales, industrielles et la recherche (sources scellées et non scellées).

Les contaminations non volontaires (accidentelles) sont :

3. Les retombées dues aux accidents nucléaires : accident de Thulé (Groenland) 1968, accident de Tchernobyl (Ukraine) 1986 et accident de Fukushima 2011.

I.6 Les chaînes des familles radioactives naturelles

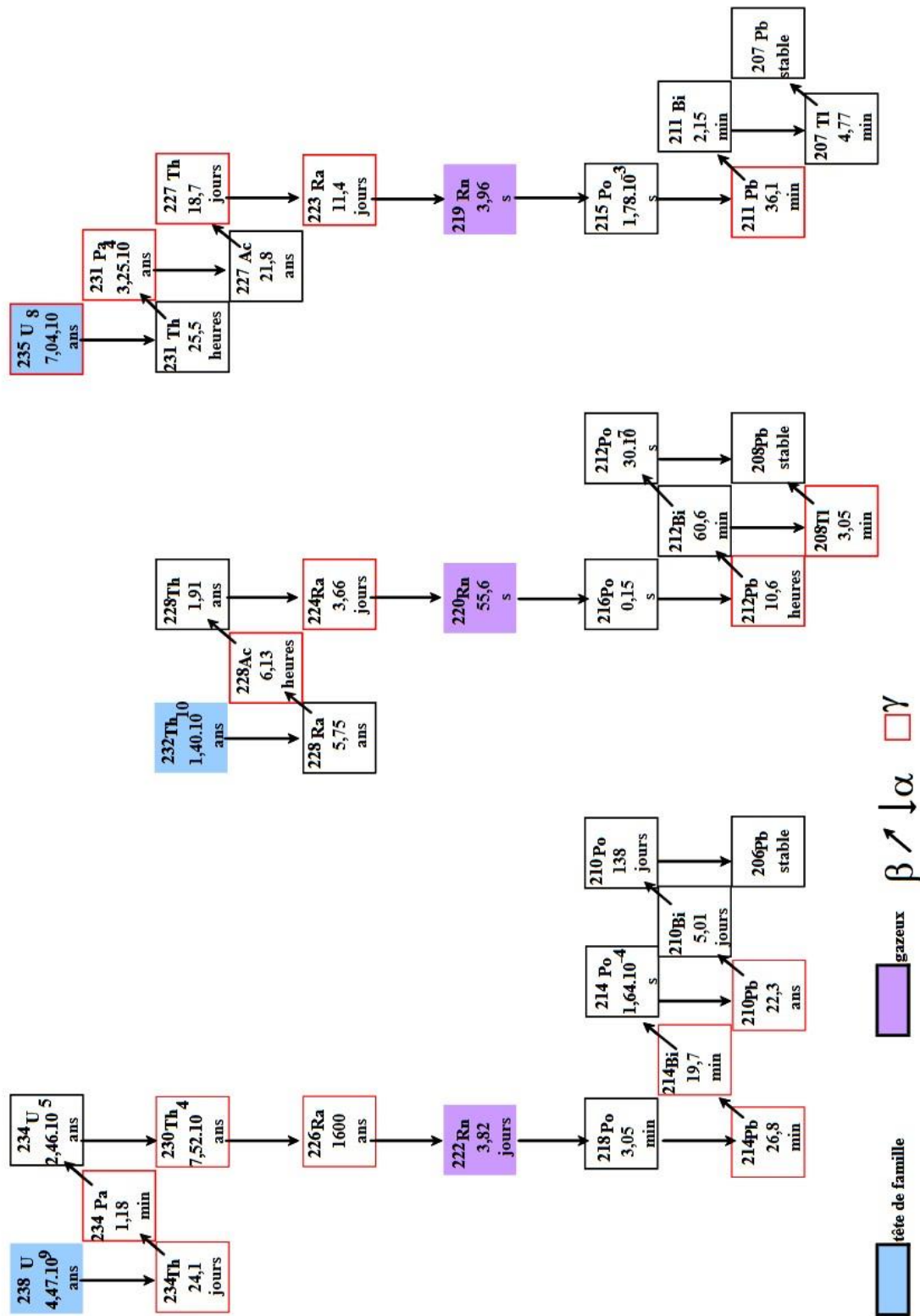


Figure 4 : les chaînes des familles radioactives naturelles (IRSN, 2008).

I.7 Voies de transfert de la radioactivité dans l'environnement marin

Le devenir ou le comportement d'un radionucléide introduit dans l'environnement dépend des caractéristiques du milieu récepteur, de sa forme physico-chimique et de son mode d'introduction.

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

Dans le milieu marin les principales sources des éléments radioactifs sont les apports des rejets liquides, et les interactions air-mer (déchets solides et émissions atmosphérique). Le comportement de ces radionucléides dans les différentes matrices du milieu n'est pas le même. En effet, à la surface de la mer, il se produit le transfert par embruns, interaction air-mer (évaporation / captation des particules gazeuses en solution dans l'eau de mer comme le tritium (^3H) et l'iode), aussi à travers les dépôts sec ou retombés poussières de particules déplacés par le vent et les retombés humides par les pluies.

En outre, les radionucléides circulent en permanence tout le long de la colonne d'eau, ils se trouvent en suspension et dilués. En plus, ils sont transportés par les courants hydrodynamiques, les vents mais aussi par les organismes vivants.

Enfin, le devenir des éléments radioactifs dans la matrice sédimentaire est le dépôt par sédimentation et le stockage de la radioactivité dans le sédiment pour faire partie de l'archive sédimentaire, Ensuite, la contamination de la faune et la flore benthiques se développe comme les mollusques filtreurs.

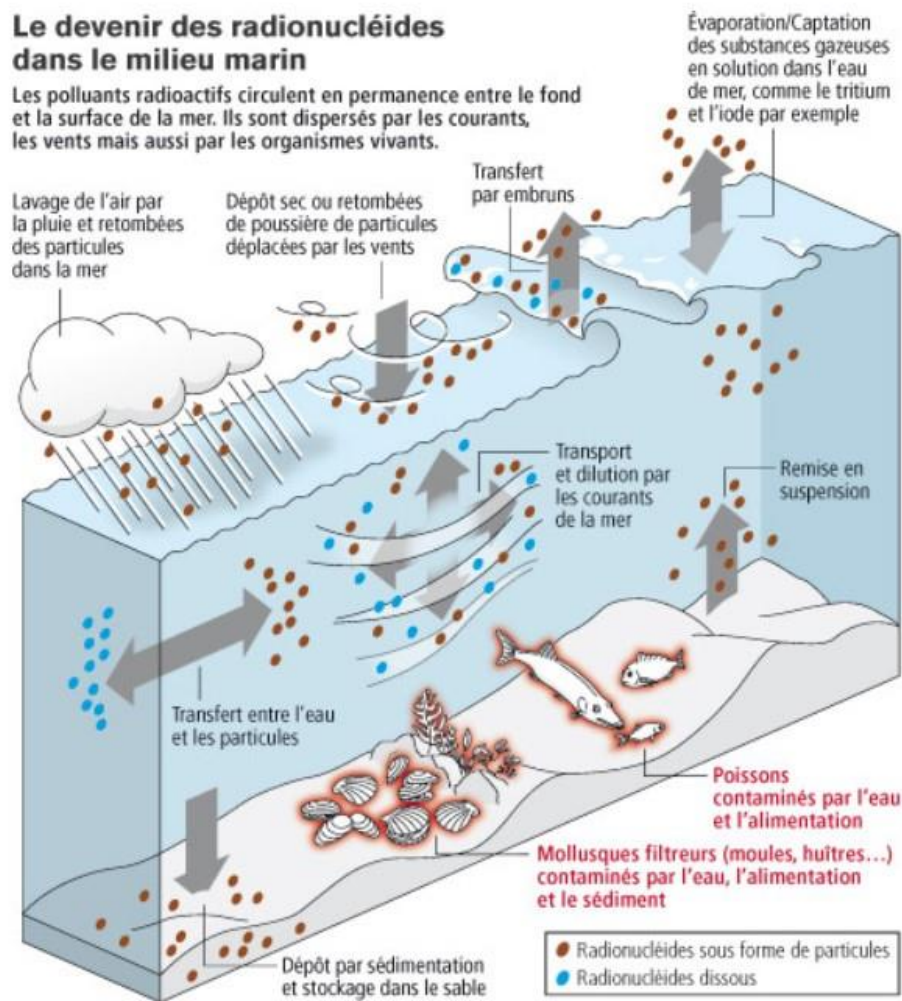


Figure 5: Le devenir des radionucléides dans le milieu marin (IRSN, 2004).

I.7.1 La radioactivité dans les sédiments marins

La contamination radioactive des sédiments peut se faire comme suit :

- De manière directe à travers l'eau surnageant à l'interface eau-sédiment par fixation sur la matière en suspension et sédimentation dans les régions à faible hydrodynamisme.
- A travers une précipitation directe sous formes colloïdales sur les sédiments postérieurement à la floculation.
- Par le phénomène d'adsorption (fixation directe sur le sédiment).
- Par le dépôt d'organismes morts ayant préalablement fixé des radionucléides

I.7.1.1. Paramètres conditionnant la fixation des radionucléides

Le phénomène et le taux de fixation des radionucléides sur les sédiments est sous condition de nombreux facteurs. Il existe des facteurs liés aux sédiments eux-mêmes, d'autres aux radionucléides.

A. Facteurs liés au sédiment

La sorption (absorption ou adsorption) d'un même radionucléide par différents sédiments est influencé par leurs caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques.

A.1. La granulométrie

La relation entre la grosseur des particules et leurs sorptions est inversement proportionnelles. En effet, les particules fines, caractérisées par la présence des minéraux argileux feuilletés à grande surface de contact, favorisent beaucoup le phénomène de la sorption.

A.2. La matière organique

La matière organique (acide humique et fulviques) contenue dans les sédiments peut, en raison d'une action de chélation et de sa forte capacité d'échange, contribuer à la fixation des radionucléides (Ancellin et al., 1979; Taieb Errahmani, 2012).

A.3. La teneur en éléments stables

La teneur en élément stable produit des phénomènes d'échanges isotopiques ou ioniques et par l'intermédiaire d'oxydes métalliques ou d'hydroxydes.

A.4. Composition minéralogique

La fixation des radionucléides par un support minéralogique constitué de carbonate de calcium (calcite et aragonite) varie en fonction de la nature des radionucléides, la forme cristalline des carbonates et sa pureté. La calcite est un bon fixateur des radionucléides que l'aragonite.

B. Facteurs liés aux radionucléides

La fixation d'un seul radionucléide par les sédiments varie en fonction de la forme physico-chimique lors de la réaction d'échange. En effet, les formes particulières ou colloïdales sont généralement plus facilement captées que les formes solubles. Néanmoins, les formes solubles cationiques offrent une meilleure capacité de fixation que les formes anioniques (Ancellin et al., 1979).

La sorption des radionucléides sur les particules sédimentaires n'est pas un processus irréversible ((Taieb Errahmani, 2012).

I.7.1.2. Pénétration des radionucléides dans la masse sédimentaire

Le dépôt des radionucléides sur le sédiment marin peut se faire par les phénomènes de précipitation ou de sédimentation ou bien, directement au niveau de l'interface eau-sédiment par l'eau surnageant.

La fixation initiale de ces radionucléides est suivie d'une pénétration de ces derniers dans l'épaisseur de la couche sédimentaire, suite à des phénomènes hydrodynamiques (mouvement des vagues et des courants) ce qui entrainera un mélange des couches sédimentaires supérieures, Aussi, ce mélange et cette pénétration peuvent être dus aux actions des organismes fouisseurs. La profondeur d'enfouissement est liée à la vitesse de sédimentation.

I.8 Les radionucléides d'intérêt

Dans cette étude on considère les radionucléides qui ont une origine naturelle issue des chaînes de désintégration de ^{238}U et ^{232}Th , d'autres sont d'origine tellurique tel que le potassium ^{40}K . En outre nous avons le ^{137}Cs qui a une origine artificielle.

I.8.1 L'uranium 238 (^{238}U) et ses descendants

L'uranium 238 est un radioélément qui possède trois principaux isotopes naturels (^{234}U , ^{235}U , ^{238}U) en abondance par poids de 99,275 % de l'isotope ^{238}U (le plus abondant), 0,719 % de l'isotope ^{235}U et 0,0057 % de ^{234}U , et 14 isotopes artificiels, l'uranium 238 est l'isotope le plus abondant, sa période radioactive est très longue de l'ordre de $4.5 \cdot 10^9$ ans. Il se désintègre en émettant des rayonnements α , β et γ pour donner naissance à plusieurs isotopes tels que : le radium 226 (1600 ans), le Bismuth 214 (19.8 m), le Plomb 214 (26.9 m), le Plomb 210 (22.23 m)

I.9.1.1. Le Plomb 210 (^{210}Pb).

Le plomb 210 est un élément naturel émetteur β^- et γ qui est issu de la chaîne de désintégration de l'Uranium 238 (^{238}U), avec un temps de demi-vie relativement courte de 22.3 ans. Il descend plus spécifiquement du Radon 222 (^{222}Ra) après plusieurs désintégrations. Ce dernier a une période radioactive courte de 3.8 jours, l'élément fils du radium 226 (^{226}Ra), qui s'échappe en permanence de la croûte terrestre sous forme d'un gaz. Il existe 38 isotopes connus

de nombre du plomb et de masse entre 178 à 215, dont 4 sont relativement stables (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb). Le plomb 210 (^{210}Pb) est l'un des isotopes naturels utilisés pour la datation des sédiments marins et l'évaluation de sa vitesse de sédimentation.

I.9.1.2. Le Plomb 214 (^{214}Pb)

Le Plomb est un radioélément de la famille de l'Uranium (^{238}U), sa période est de 26.91min, il se désintègre en Bismuth- 214 par émission de β^- .

I.9.1.3. Le Bismuth 214 (^{214}Bi)

Le bismuth est un radioélément qui contient des isotopes de masse atomique allant de 195 à 215, avec un seul isotope stable le (^{209}Bi). La désintégration du Radon 222 (^{222}Ra) en émettant α , donne naissance au radioélément plomb (^{214}Pb) (26.8 min) émetteur β^- et γ qui va se désintégrer au Bismuth 214 (^{214}Bi) (19.7 min).

I.8.2 Le Thorium 232 (^{232}Th) et ses descendants

Le thorium n'existe que sous forme radioactive. Il est le deuxième élément de la série des actinides. Il présente treize (13) isotopes dont le principal est le ^{232}Th . La période radioactive du thorium 232 est $1,4.10^{10}$ ans. Il est émetteur des rayonnements α , γ , x lorsqu'il désintègre, il donne naissance à de nombreux produits de filiation dont l'Actinium 228 (^{228}Ac) et le Plomb 212 (^{212}Pb) de demi-vie de (6.15 h) et (10.64 h) respectivement (IRSN, 2013).

I.9.2.1. L'Actinium (^{228}Ac)

L'Actinium (^{228}Ac) est un élément radioactif, sa période radioactive est 6.15 h. Il est produit lors de la désintégration de L'uranium 238 (^{238}U). Il a un seul isotope, l'Actinium (^{227}Ac) qui est de la famille du Th-232. Il est utilisé comme source de neutrons dans les accélérateurs de particule ou les réacteurs nucléaires.

I.9.2.2. Le Plomb (^{212}Pb)

Le Plomb (^{212}Pb) est un radioélément de la famille du Th-232 avec une durée de vie courte de 10.64 h. Sa désintégration émet β^- .

I.9.2.3. Le Potassium 40(^{40}K)

Le potassium est un radioélément naturel primordial, sa demi-vie est de $1.2.10^9$ ans (depuis la formation de terre). Le potassium existe dans la nature sous trois (03) isotopes (^{39}K , ^{40}K , ^{41}K) en abondance par poids de 93.26 % de l'isotope ^{39}K , 0.0117 % de l'isotope ^{40}K et 6.73 % de ^{41}K . Douze pourcent 12% des noyaux de potassium 40 se transforment en Argon 40

(^{40}Ar) par capture électronique suivie d'un gamma, et 88% des noyaux se transforment en Calcium (^{40}Ca) de type β^- . Le rapport $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ peut être utilisé pour les datations géologiques.

I.8.3 Le Césium 137 (^{137}Cs)

Le Césium 137 est un radionucléide purement artificiel émetteur β^- . Il provient des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, dont les premiers essais étaient en 1952. Sa période radioactive est 30.2 ans. Le ^{137}Cs possède 31 isotopes, parmi eux, seul l'isotope ^{133}Cs est stable. Dans le domaine marin, le ^{137}Cs a trois sources possibles :

- Le dépôt direct dû aux retombées globales et à Tchernobyl,

Les apports indirects par les cours d'eau qui résultent du drainage du bassin versant ou des relargages des installations nucléaires situées sur son parcours (Miralles, 2004).

II. Les éléments traces métalliques (ETM)

II.1 Définitions des ETM

Les éléments traces métalliques sont des éléments présents dans l'environnement sous forme de cations métalliques, qui peuvent être d'origines naturelles ou anthropiques. Les éléments traces métalliques se subdivisent en deux catégories. La première est constituée des éléments métalliques essentiels et sont très utiles pour l'activité biologiques des différents organismes végétaux et animaux y compris l'homme. Dans ce cas, ils sont appelés aussi des oligo-éléments, comme le fer, le zinc, le cuivre Cependant, ils peuvent présenter un risque potentiel s'ils dépassent un certain seuil de concentration. La deuxième catégorie est constituée des éléments métalliques non essentiels ou toxiques. Comme le mercure, le plomb, le chrome ... L'activité biologique n'en a pas besoin et ils lui présentent un grand risque quel que soit leurs concentrations.

Dans l'environnement marin, ces éléments métalliques forment un ensemble d'environ 80 éléments chimiques dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0.1%. Ces éléments traces métalliques sont aussi appelés "métaux lourds", pour les éléments dont la densité est supérieure à 5 g/cm³ (Aurélien & Géraldine, 2014). Cette appellation est ancienne et elle est devenue obsolète et il est préférable de les appeler par "éléments traces métalliques" (ETM).

Dans le cadre de notre étude, nous avons analysé plus spécifiquement le Mercure (Hg).

II.2 Sources des ETM dans l'environnement

Il y a deux principales origines des éléments traces métalliques (ETM) :

II.2.1 Origine naturelle

- Les ETM naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires (Devallois, 2009) ;
- L'érosion et le lessivage des sols par les eaux pluviales et fluviales ;
- Les activités sismiques et volcaniques ;
- Transport par voies éolienne.

II.2.2 Origine anthropique

- Les rejets urbains, industriels et domestiques ;
- L'emploi des produits dans l'agriculture (pesticides) ;

- Navigations maritime et accidents en mer ;
- Activités portuaires, entretien et réparation navale.
- L'exploitation des gisements miniers, notamment ceux marins et côtiers.

II.3 Le Mercure (Hg)

Le mercure (Hg) est un élément chimique qui fait partie de la famille des métaux lourds toxiques. Il se trouve dans l'environnement sous différentes formes dont la plus dangereuse est le méthylmercure.

II.4 Pénétration du mercure dans le sédiment

Les sédiments constituent un des réservoirs le plus important du mercure. Il se précipite par sédimentation des particules en suspension dont la majeure partie est associée aux particules qu'aux bactéries. L'enfouissement des particules s'accompagne d'une dégradation de certains composants en fonction des conditions d'oxydo-réduction des sédiments, comme une autre part peut être remobilisée ou rediffusée vers la colonne d'eau (cycle de mercure dans le milieu aquatique). Cependant, le transfert s'opère plus lentement que la sédimentation, alors le bilan du processus fait qu'il y a une accumulation du mercure dans le sédiment (Denis, 1997).

III. Le sédiment

Le sédiment marin est un compartiment de l'environnement qui sert de biotope et une source de nourriture pour la faune et la flore benthique. Il représente le réservoir de destination finale de plusieurs contaminants.

Les sédiments sont définis comme un ensemble constitué par l'ensemble des particules fines (argiles, limons) à grossières (sable), ou encore de matières précipitées ayant, séparément, subi un transport grâce, notamment, aux facteurs et actions climatiques et humaines.

III.1.1 Origine des sédiments

Ces particules proviennent de l'érosion des roches et des sols et de l'activité biologique (matières organiques et produits biogènes) ainsi que des rejets locaux anthropiques.

- Une source terrigène : les particules proviennent de l'érosion des terres émergées et les côtes. Cette source est enrichie par divers apports tels que les apports éoliens, volcaniques, glaciaires, sans oublier les apports fluviaux et/ou de ruissellement qui constituent à eux seuls l'apport cumulé le plus important ;
- Une source endogène : les particules proviennent de la production océanique interne comme la photosynthèse, les débris de macrophytes (plantes aquatiques, microphytes) ou encore les fragments de coquilles des organismes ;
- Une source liée à la néoformation, correspondant aux phénomènes d'altération, de transferts et de précipitations qui peuvent se produire dans le bassin de sédimentation ou à l'intérieur du sédiment durant la diagenèse ;
- Une source anthropique qui peut être - ex situ et in situ. Dans le premier cas, elle regroupe tous les rejets agricoles, industriels et domestiques qui se retrouvent dans les apports fluviaux. Ce fractionnement est riche en MO, en nutriments et en micropolluants. Il peut également apporter des matières en suspension. Dans le second cas, elle englobe toutes les activités humaines, industrielles et portuaires (chargement de marchandises, pêche, ravitaillement en carburant entretien du matériel de navigation). Généralement, cette dernière source est fortement contaminée, ce qui conduit à l'augmentation du taux de sédimentation (Loustau Cazalet, 2012).

III.1.2 Composition

Un sédiment est un milieu poreux constitué par une matrice solide et du vide, appelé pores ou porosité (Rusch, 2010).

Cette matrice est hétérogène et se constitue par trois (03) fractions principales :

- Une fraction solide renfermant des minéraux (sables, argiles, oxydes et hydroxydes métalliques) et de substances organiques et biogènes (matière organique, débris d'animaux et de végétaux, des humus ...). Le rôle de la matière organique est primordial, elle régule la mobilité ce qui engendre la biodisponibilité des contaminants organiques malgré leur faible volume (quelque pourcentages).
- Une fraction liquide représentant l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires (eau interstitielle).
- Une fraction gazeuse de compositions très proches de celle de l'atmosphère terrestre mais enrichie en CO₂ (Rusch, 2010).

III.1.3 Granulométrie

La composition granulométrique, aussi appelée distribution granulométrique, renseigne sur la texture du matériau, mais également sur les processus de transport responsables de la formation de ces sédiments (Boulvain, 2011; Loustau Cazalet, 2012).

Les sédiments estuariens sont constitués majoritairement de fines particules provenant des fleuves et de ruissellements des rivières en raison que l'agent de transport ne pourra pas transporter les grosses particules. Aussi, la distribution granulométrique peut varier de la nature de la matière solide. Enfin la distribution granulométrique reflète la répartition quantitative en fonction de la taille des particules.

Tableau 2 : Classement granulométrique des sédiments (Ramaroson, 2008).

Taille	Dénomination
Supérieure à 20 cm	Blocs
De 2 cm à 20 cm	Galets et cailloux
De 2 mm à 2 cm	Graviers
De 63µm à 2 mm	Sables (grossiers et fins)
De 2 µm à 63µm	Limons (ou silts)
Inférieure à 2µm	Vases, boues argileuses

Zone d'étude

IV. Présentation générale de la zone d'étude

L'Algérie se trouve au contact de deux grands domaines géographiques : la zone méditerranéenne au nord et le Sahara au sud. Elle contient une diversité de relief et d'hydrographie, notamment les bassins versants qui produisent et assurent le transit des eaux et sédiments vers la mer méditerranéenne. Dans ce travail, on s'intéresse à l'oued de Chélif qui est le plus grand oued dans l'Algérie avec son grand bassin versant Chélif-Zahrez.

IV.1 Bassin Chélif-Zahrez

Le bassin Cheliff-Zahrez se situe au centre ouest de l'Algérie du Nord. Il s'étend sur une superficie de 56 227 km². Ce bassin est parmi les 5 grands bassins hydrographiques de l'Algérie. Il est délimité par la mer méditerranéenne au nord, le Sahara au sud, l'Oranie à l'ouest et à l'est par la région algéroise.

Il est découpé en trois grands sous-bassins versants :

- Le bassin du Cheliff-amont du barrage de Boughezoul.
- Le bassin du haut et du moyen Cheliff.
- Le bassin du bas Cheliff et de la Mina.

Ce bassin coule d'est en ouest depuis le barrage de Boughezoul jusqu'à la mer. Il intègre l'oued le plus important en Algérie. Long de 750 km, cet oued prend sa source dans l'Atlas saharien (wilaya de Laghouat) dans les monts de Djebel Amour et se jette dans la mer méditerranée. Dans notre étude, on s'intéresse à la partie aval de l'oued Chélif c'est-à-dire à l'embouchure localisée à 15km à l'est de la ville de Mostaganem.

Zone d'étude

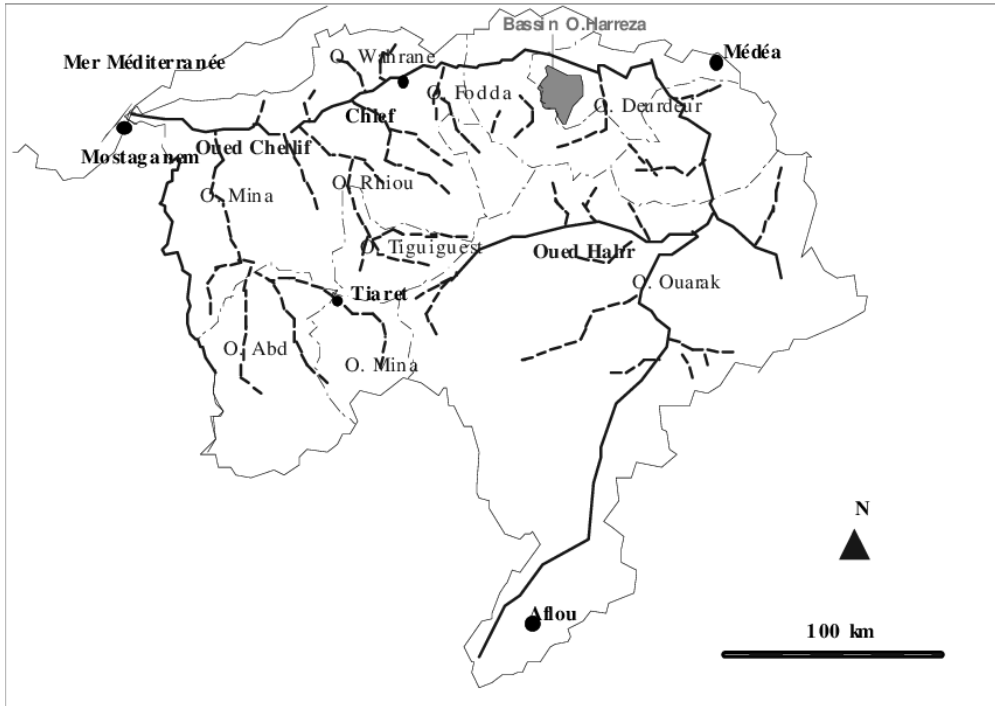


Figure 6 : Bassin versant de l'Oued Chélif (Meguenni & Remini, 2008).

IV.2 Paramètres hydroclimatiques

IV.2.1 Facteurs météorologiques

a. La température

Le climat du Cheliff se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride (Gomer, 1994). Les températures varient entre 18 et 40 °C, dont les plus élevées sont enregistrées durant juillet et août (Benkaddour, 2018). Dans la région de Mostaganem, la température annuelle moyenne entre 1979 à 2021 a évolué de 18°C à 20°C.

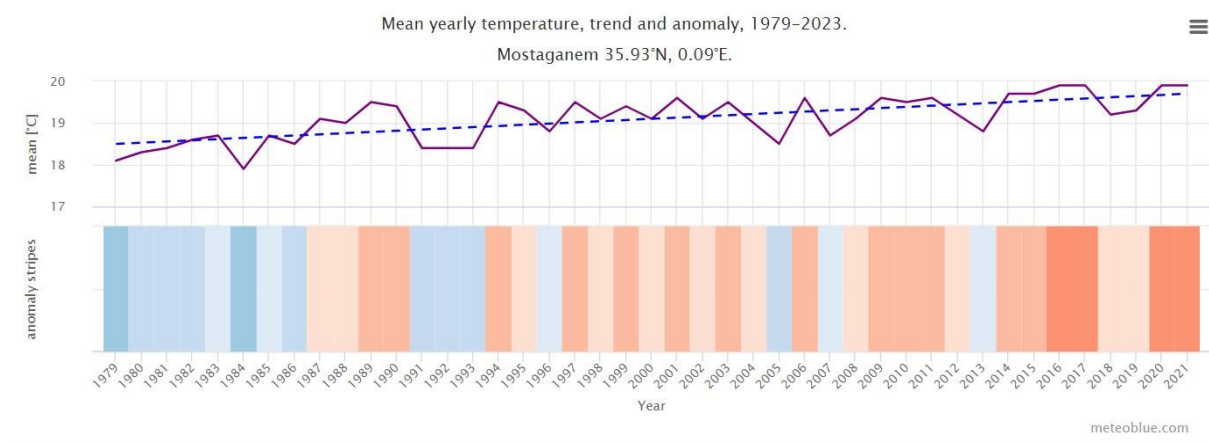


Figure 7: Graphique d'estimation de la température annuelle moyenne de la région de Mostaganem (1979-2021) (Accord de Paris sur le climat, 2015).

Zone d'étude

Le graphique ci-dessus montre la mesure de la température annuelle moyenne pour la région de Mostaganem de l'année 1979 jusqu'à l'année 2021. La ligne bleue pointillés représente la tendance linéaire du changement climatique.

Si cette ligne de tendance monte de gauche à droite, la tendance de la température est positive et il fait de plus en plus chaud dans la région de Mostaganem en raison du changement climatique dont la valeur atteint 20°C en 2021, si elle est horizontale, aucune tendance claire n'est observée, et si l'évolution est négative, les conditions à cette région auront tendance au refroidissement au fil du temps.

Dans la partie inférieure du graphique figurent les « bandes de réchauffement ». Chaque bande de couleur représente la température moyenne d'une année. La couleur bleue pour les années plus froides et rouge pour les années plus chaudes.

b. Le vent

Les vents les plus fréquents sur le bassin d'oued Cheliff sont des vents moins de 10 km/h suivant une orientation N-NE.

c. Pluviométrie

La pluviosité est un facteur très important qui est déterminé par sa durée de chute et son intensité. Elle est caractérisée par une répartition inégale d'un point à un autre et d'une saison à une autre. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 260 à 300 mm. Elle est estimée au cours de la période comprise entre mars et octobre (Benkaddour, 2018).

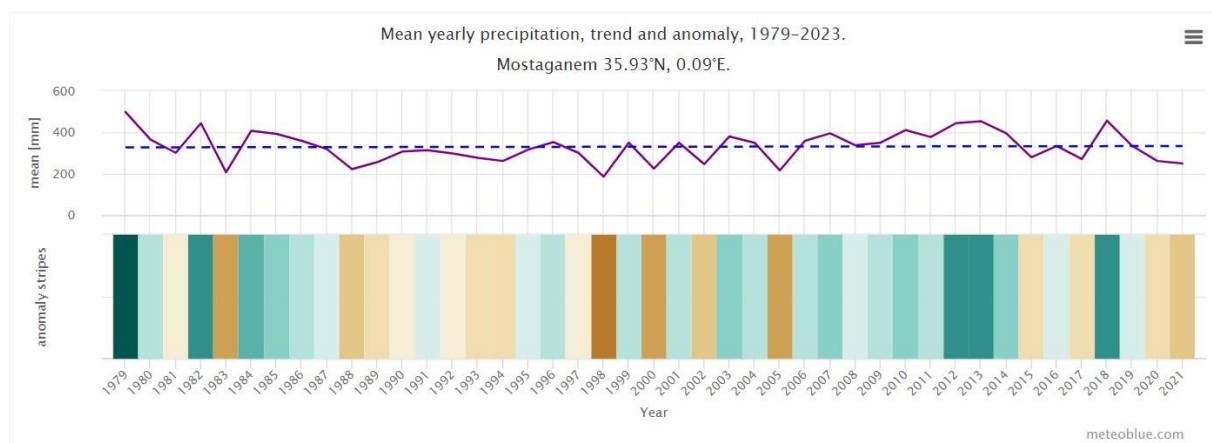


Figure 8: Graphique des mesures des précipitations totales moyennes de la région de Mostaganem (1979-2021) (Accord de Paris sur le climat, 2015).

Le graphique ci-dessus représente la mesure des précipitations totales moyennes pour la région de Mostaganem de l'année 1979 jusqu'à l'année 2021. La ligne bleue en pointillés représente la tendance linéaire du changement climatique.

Zone d'étude

Si la ligne de tendance monte de gauche à droite, la tendance des précipitations est positive, il devient plus humide dans la région, si elle est horizontale, aucune tendance claire n'est observée et si, par contre, elle descend, les conditions à Mostaganem deviennent plus sèches au fil du temps.

Dans la partie inférieure, le graphique montre les bandes des précipitations. Chaque bande de couleur représente les précipitations totales d'une année. La couleur verte pour les années les plus humides et marron pour les années les plus sèches.

IV.2.2 Paramètres hydrodynamiques

a) Le débit

Le débit est le volume d'eau en mouvement auquel peut être rattaché une quantité de matière transportée organique ou minérale, inerte ou vivante, endogène ou exogène (Lavandier, 1979). Il varie en fonction des précipitations (précipitations et/ou neiges) sur le bassin, aussi de l'évaporation donc des températures. Ces variations dépendent aussi de la taille du bassin et de sa géographie : relief et roches présentes dans le sous-sol.

Le tableau ci-dessous, représente l'évaluation du débit solide à partir des débits liquides moyens journaliers à l'échelle des saisons (automne, hiver, humide, printemps, été et sèche) et leur influence. Ce programme a été appliqué pour quantifier le transport solide en suspension à la station de sidi Bel Attar située à l'exutoire du bassin versant du Chélif durant la période 1972- 1996. Les apports solides en hiver sont les plus abondants et réguliers. Ces résultats attestent que le bassin versant du Chélif est d'une érodibilité élevée.

Tableau 3 : Apports solides de l'oued Chélif (Boucekliia & Remini, 2003).

Période	annuelle	automne	hiver	printemps	été	humide	sèche
Débit liquide moyen (m ³ /s)	32.44	12	39	19	2	26	10
Débit solide en suspension (kg/s)	475	543	582	345	14	405	114
Apport solide (10 ⁶ t/an)	15		12			8	
Taux d'érosion (t/km ² .an)	343		268			187	

IV.3 Sédimentologie

Selon les études pédologiques de cette région les sols sont de nature calcique avec une texture argileuse. Ils présentent des niveaux différents de sodicité (Na, Mg) qui est quelquefois

Zone d'étude

marquée. La composition minéralogique est complexe, formée d'interstratifiés smectite-illite, de kaolinite ainsi que de chlorite, vermiculite, quartz, calcite, et complexes amorphes (Douaoui et al., 2004). Dans les périodes pluvieuses, il existe une hydromorphie temporaire, en plus du calcium et magnésium.

IV.4 Les sources de pollution

La région de l'oued Chélif est très peu urbanisé avec une population de l'ordre de 4475 habitants (estimée par la direction de l'hydraulique de Mostaganem, 2013) où se trouve une agglomération appelée Sour : en s'approchant de l'embouchure de l'oued Chélif. Ce dernier reçoit un volume de 429.6 m³/j d'eaux usées non traitées, ce qui fait l'objet de la source principale de pollution et au processus d'eutrophisation.

*Matériels &
Méthodes*

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'élaboration d'une partie de thèse de doctorat qui porte sur « *Transfert Particulaire des Radioéléments d'origine Anthropique et Naturelle dans le Milieu Marin* ». La zone ciblée par cette étude est le bassin versant de Cheliff-Zahrez, le plus grand bassin versant en Algérie. Après un trajet de 800km, l'Oued Cheliff débouche en mer Méditerranée à plage Cheliff, dans la wilaya de Mostaganem.

Pour atteindre l'objectif recherché, un carottage de sédiment de l'oued a été fait durant une sortie sur terrain effectuée entre 03/02/2020 et 06/02/2020. La sortie a été organisée en collaboration entre Ecole nationale supérieure des sciences de la mer (ENSSMAL), le centre de Recherche Nucléaire d'Alger et l'université d'Abdelhamid Iben Badis de Mostaganem.

A l'aide d'une petite embarcation, plusieurs carottes de sédiment ont été échantillonnées à différents points le long de l'embouchure de l'oued Cheliff. Le carottier utilisé est de type « UWITEC » du laboratoire de sédimentologie du CRNA. Le tube du dispositif de prélèvement a 1m de longueur et 8.5cm de diamètre. Il pénètre dans le sédiment meuble par gravité et crée un trou qui représente la carotte en question. Une fois l'ensemble remonte en surface, les carottes sont retenues et conditionnées dans des tubes en PVC bien fermés et étiquetés, puis transférées attentivement au laboratoire Valorisation des Matériaux de l'université de Mostaganem pour les laisser décanter et récupérer le surnageant.

Les carottes sont découpées en plusieurs couches (0.5, 1 et 2cm), puis récupérées dans des boîtes en plastique étiquetées et pesées, en déterminant la tare. Le poids humide de chaque échantillon est noté après pesage avec une balance de précision.

Après congélation, les échantillons sont placés directement dans un lyophilisateur de type CHRIST pendant 72H sous pression réduite (10^{-1} bar) et à très basse température (-45°C). Les échantillons sont pesés après la lyophilisation afin d'obtenir le rapport (poids frais/poids sec) (Annexe 01).

Les échantillons lyophilisés sont ensuite broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine qui doit être conditionné au paravent et entre deux échantillons différents. Le broyage a pour but de rendre l'échantillon sous forme de particules très fines (poudre) pour faciliter son homogénéisation. Chaque sous-couche est divisée en deux parties :

- Une partie destinée à l'analyse de la contamination métallique et la matière organique.
- Une partie destinée à la mesure de la radioactivité.

Une carotte (Fig 09) a été choisie pour l'étude radiologique et chimique des sédiments de l'embouchure de l'oued Chélif qui présente l'objectif de ce travail.

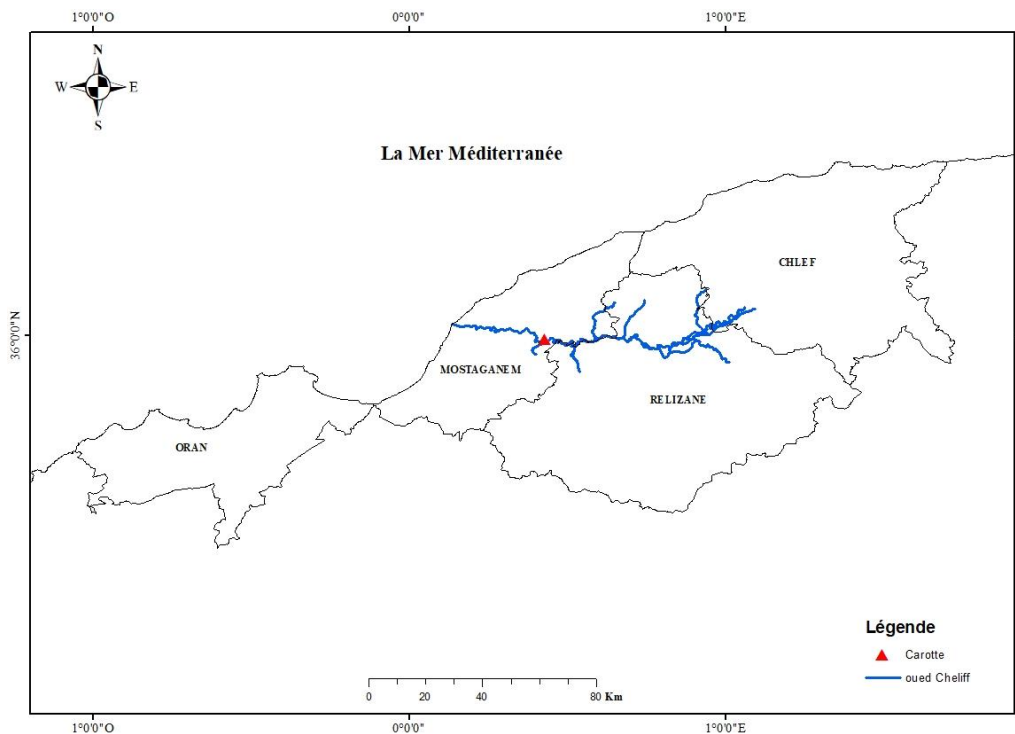


Figure 9 : Point de prélèvement de la carotte de sédiment de l'embouchure de l'Oued Chélif.

Pour avoir une idée sur la qualité chimique et radiologique de la zone ouest de l'Algérie, nous avons choisi l'oued Chélif comme site d'étude. Il est le plus grand oued en Algérie avec un bassin versant de plus de 56227 km², traverse 13 wilayas, et comptait plus de 228 unités industrielles en exploitations. Donc, l'embouchure de l'oued est le récepteur final de toute la charge et les rejets de la zone. Alors, un carottage au niveau de sédiment de l'embouchure nous donne une information sur l'historique de tous les événements vécus et la qualité de notre zone d'étude.

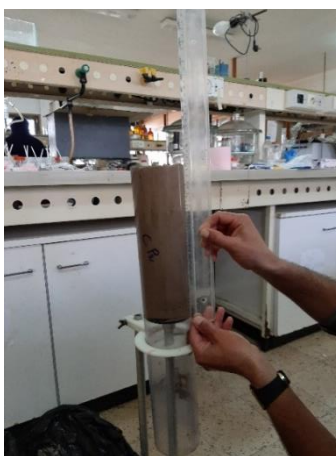


Figure 10 : Carotte de sédiments prélevée à l'embouchure de l'oued Chélif.

V. Détermination du taux de matière organique dans le sédiment

La méthode de perte au feu est l'une des méthodes de détermination du taux de matière organique. Elle repose sur le principe de l'incinération des échantillons de sédiment séché ou lyophilisé dans un four à moufle à 600°C pendant 2 heures afin de brûler toute la matière organique. Le taux de la matière organique est exprimé par la formule suivante :

$$MO(\%) = \frac{(P1 - P2)}{P1} * 100 \quad (11)$$

-**P₁** : Poids d'échantillon du sédiment lyophilisé dans le creuset.

-**P₂** : Poids de l'échantillon après 2 heures d'incinération à 600°C dans un four à moufle (poids du sédiment calciné) (Tableau 2 de l'annexe 2).

V.1 Mesure de la radioactivité naturelle et artificielle

Les échantillons sont transférés au laboratoire d'Environnement du Département de la Radio-écologie et de la Surveillance de l'Environnement (DRSE) du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger CRNA pour la mesure de la radioactivité naturelle et artificielle.

V.1.1 Homogénéisation et conditionnement des échantillons

On a mis chaque échantillon dans des géométries de comptage (120g) après pesage. Le broyage et l'homogénéité des échantillons assurent une bonne distribution des radionucléides et l'étalement des échantillons dans le support a pour but d'éviter une surestimation ou une sous-estimation de l'activité réellement existante.

Les boîtes étiquetées sont bien fermées et stockées pendant vingt-un jours pour que le radon (²²²Rn) ne s'échappe pas et il soit en équilibre séculaire avec ses descendants.

V.1.2 Technique de spectrométrie gamma

La spectrométrie gamma est une technique d'analyse multi élémentaire : plusieurs radioéléments émetteurs gamma naturels et artificiels peuvent être mesurés simultanément (exemples ²³⁸U, ¹³⁷Cs, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Pb, ...etc.). Cette technique ne se limite pas à l'identification des radioéléments (analyse qualitative), elle mesure aussi l'activité associée (analyse quantitative) après un seul usage.

L'usage de la spectrométrie gamma est rapide, simple et ne détruit pas l'échantillon, sa difficulté réside dans la préparation d'un échantillon standard qui donnera un bon rendement de détection. Par conséquent, pour une quantification fiable des radioéléments émetteurs

gamma, il est nécessaire de préparer et d'utiliser des échantillons standards préparés dans les mêmes conditions que les échantillons à analyser.

V.1.2.1. Principe

Le principe de la détection des rayons γ est basé sur l'interaction entre les photons d'énergie E_γ (le rayonnement) et la matière du détecteur engendrant la production d'un signal électrique. Dans la zone sensible du détecteur se passe l'interaction de ces photons gamma et la matière par effet photoélectrique et crée des paires électrons-trous. La quantité d'électrons libérée est proportionnelle à l'énergie perdue par le rayonnement gamma dans le détecteur. Ces porteurs de charges sont collectés aux électrodes de faces opposées du détecteur, grâce à une haute différence de potentiel qui polarise le cristal. Le signal électrique formé est transformé en impulsion de tension par le préamplificateur, ensuite amplifiée par l'amplificateur pour le convertir numériquement par le convertisseur analogique digital et le ranger dans les canaux (Courtine, 2007) .

Le nombre de photons détectés et rangés en fonction de leurs énergies forme un histogramme qui est le spectre (ensemble de pics).

Ce spectre s'effectue en deux étapes : une étape d'acquisition et une étape d'exploitation de ce dernier, une fois le spectre est acquis pour qualifier et quantifier les radionucléides présents dans l'échantillon analysé.

V.1.2.2. L'électronique d'acquisition

L'acquisition et la détermination commence par la détection du signal issu de l'interaction des rayonnements ionisants avec le cristal de germanium constituant le détecteur au germanium hyper pur (Ge HP), ensuite, le traitement par le préamplificateur qui est monté sur ce détecteur alimenté par l'amplificateur, ce dernier amplifie les impulsions en leur donnant une forme gaussienne avec le convertisseur analogique-numérique (ADC). Enfin, les photons sont classés en fonction de leur énergie dans des canaux par l'analyseur multicanaux (AMC).

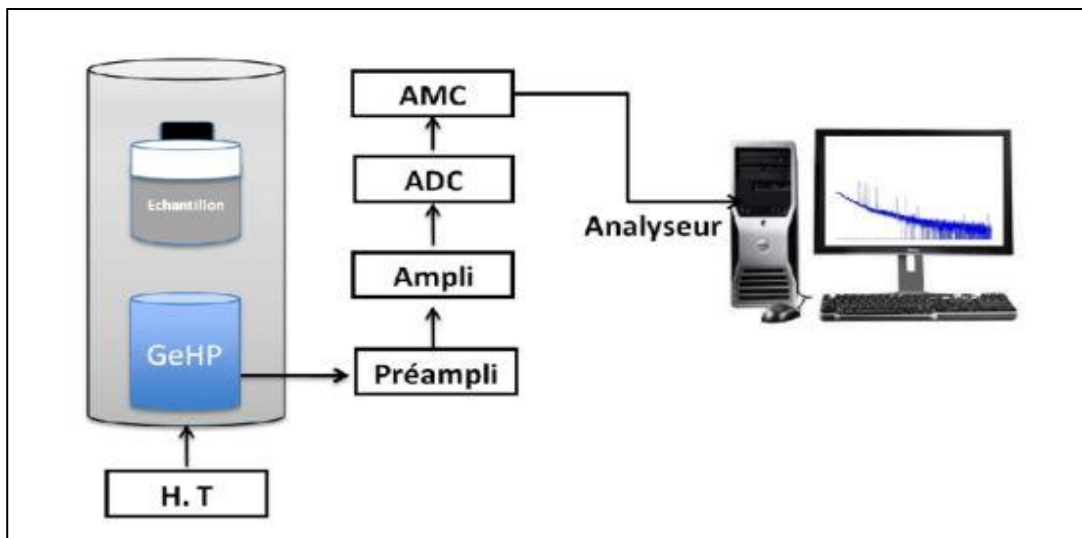


Figure 11 : électronique d'acquisition d'une chaîne de spectrométrie gamma.

V.1.2.3. Système de refroidissement

Les détecteurs de type GeHP doivent être refroidis pour réduire l'agitation thermique des porteurs de charges et d'éviter toute influence de la résolution en énergie du détecteur. Le refroidissement se fait par l'apport d'azote liquide stocké dans un Dewar et maintenu à une très basse température de 77 K (-196°C).

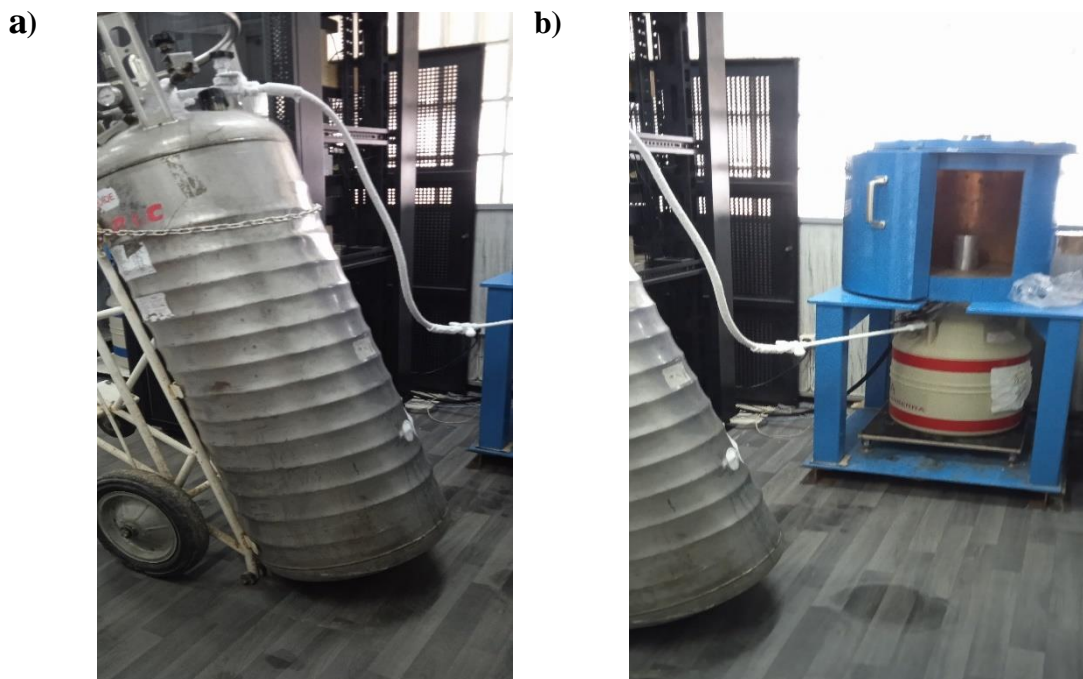


Figure 12 : a) réservoir d'azote liquide (Dewar) b) remplissage d'azote.

V.1.2.4. L'alimentation haute (HT) tension

La haute tension (de 0 à ± 5 ou 6 kV) permet de polariser le semi-conducteur afin d'obtenir une zone désertée importante dans le cristal Ge HP (Le Petit & Granier, 2002).

V.1.2.5. Détecteur

Le détecteur utilisé est un semi-conducteur de Germanium hyper pur (Ge HP) de type coaxial, d'efficacité relative à 40%, le détecteur est monté sur un cryostat alimenté en azote liquide pour refroidissement à 77 K (-196°C) et le tout est placé dans un blindage en plomb de dix centimètre (10 cm) d'épaisseur, recouvert à l'intérieur d'une plaque de cuivre de deux millimètre (2 mm) d'épaisseur. Ce détecteur est alimenté par une haute tension.

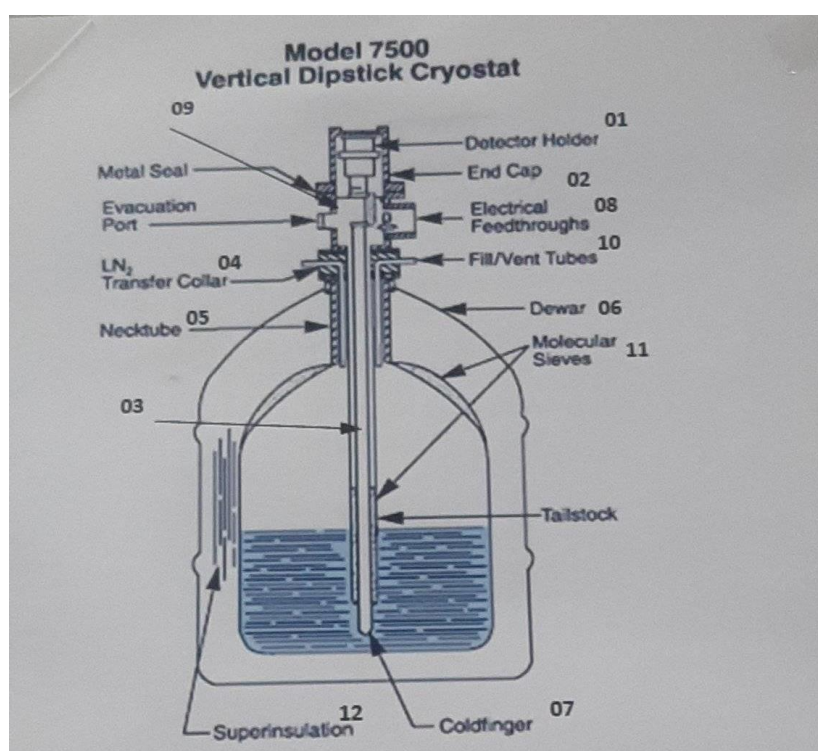


Figure 13 : Détecteur Ge HP avec le cryostat et le réservoir d'azote.

V.1.2.6. Préamplificateur

Généralement le préamplificateur est placé dans le même capot que le cristal, ce qui permet de refroidir les composants électroniques et de diminuer l'agitation thermique.

La quantité de charges électriques recueillies dans le cristal est proportionnelle à l'énergie déposée par le photon où les charges sont converties en tension électrique.

Le préamplificateur joue également le rôle d'adaptateur d'impédance entre la sortie du détecteur et l'entrée suivant (Gasser, 2014).

V.1.2.7. Amplificateur

L'amplificateur exploite ensuite les impulsions sortant du préamplificateur. Il adapte tout d'abord l'amplitude du signal indicent à une gamme de tension exploitable par l'étage suivant. Il réalise ensuite une mise en forme gaussienne, en filtrant une partie des parasites de haute fréquence. L'amplification est toujours réalisée le plus tôt possible afin de limiter le bruit généré par le module de mise en forme (Leconte, 2006).

V.1.2.8. Codeur analogique numérique ADC (Analog to Digital Converter)

Le convertisseur analogique- numérique (ADC) assure la conversion des impulsions en un signal numérique (Dziri, 2013).

V.1.2.9. Analyseur multicanaux MCA (Multi Channel Analyser)

L'Analyseur multicanaux (MCA) sert à collecter et à enregistrer les impulsions issues de l'ADC, ces impulsions sont triées en fonction de leur amplitude qui est doté de mémoires permettant de stocker ces données dans des canaux et de les transmettre en ligne vers un ordinateur.

Les enregistrements ainsi obtenus sont des histogrammes qu'on appelle « spectres différentiels de hauteur d'impulsion » (Leconte, 2006).

L'histogramme obtenu en temps réel, dont lequel l'énergie déposée dans le cristal est reliée au numéro de canal (plus l'énergie est élevée, plus le numéro de canal est grand) et le nombre de coups dans un canal donné est proportionnel au nombre de photons ayant déposé la même énergie dans le cristal (Courtine, 2007).

Le MCA couvre une gamme d'énergie de 0 à 2 MeV avec un codage de 4096 canaux.

V.1.2.10. Le logiciel de traitement et d'analyse du signal

Le logiciel utilisé est le Génie 2000. Il est commercialisé par la société Canberra. Ce logiciel permet de visualiser en temps réel et analyser les données spectrométriques (spectres) issus de l'analyseur multicanaux sur un ordinateur. En plus, il permet de contrôler plusieurs détecteurs de façon indépendante.

Le spectre obtenu est un ensemble de pics distribués en énergie tel qu'en abscisse le numéro de canal et en ordonné le nombre de coups dans ce canal.

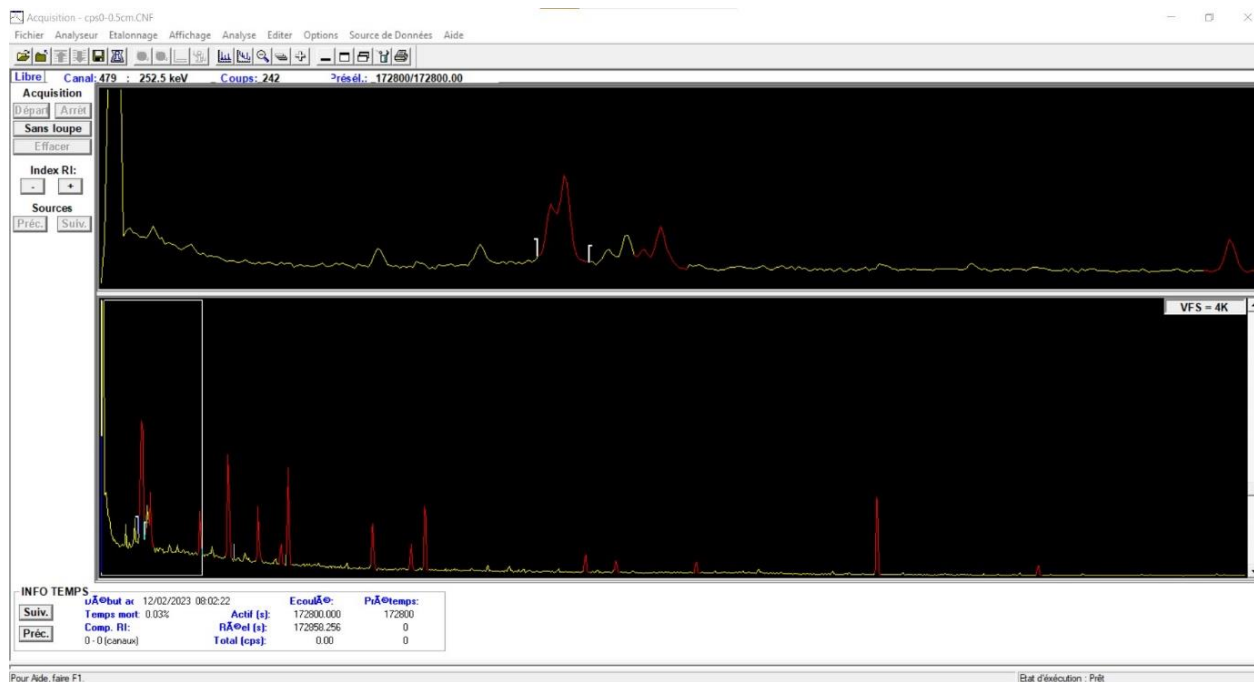


Figure 14 : Spectre obtenue avec Génie 2000 après 48h de comptage.

L'énergie du pic correspond à l'énergie du photon incident, ce qui permet d'identifier le radioélément émetteur gamma. Les pics sont, en réalité, des gaussiennes dont la largeur à mi-hauteur varie avec l'énergie. Pour évaluer l'activité de l'échantillon, il est nécessaire de calculer la surface de chacun des pics, en ayant effectué au préalable un étalonnage en résolution (largeur à mi-hauteur du spectre).

L'étalonnage en énergie et l'étalonnage en résolution se font en une seule étape, mais il existe plusieurs méthodes pour le réaliser :

- En visualisant le spectre à étalonner, il faut placer le curseur sur le sommet d'un pic. Le logiciel calcule automatiquement le centre du pic et la résolution en canaux. Il faut alors rentrer la correspondance en énergie.
- Sur le spectre, il faut placer des marqueurs qui entourent le pic servant à l'étalonnage. Comme précédemment, le logiciel calcule le centre du pic et sa résolution en canaux et il faut entrer l'énergie correspondante du pic.
- Il y a aussi la possibilité de faire une recherche automatique de pics. Le logiciel fournit une liste de pics avec leur centre et leur résolution exprimés en canaux. Il faut indiquer l'énergie de chacun des pics (Courtine, 2007).

V.1.3 Conditions expérimentales

Pour une analyse qualitative et quantitative fiable et rentable et une bonne exploitation des spectres obtenus, on a réalisé deux types d'étalonnage : étalonnage en énergie et étalonnage en efficacité.

V.1.3.1. Etalonnage en énergie

L'étalonnage en énergie se réalise en utilisant des sources radioactives ponctuelles connues. Ces sources délivrées par les laboratoires de métrologie de rayonnements ionisants, étiquetées par l'ensemble des caractéristiques de ces sources : nature, impuretés possibles, activités et la date de fabrication.

Le choix des sources d'étalonnage est dicté par l'étendue spectrale des échantillons à mesurer. Dans notre cas, la gamme d'énergie d'intérêts varie de 30 à 2000 KeV alors que la calibration a été réalisé au moyen de trois sources standards qui sont le ^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co , Ces radionucléides émettent respectivement à 59.54 KeV, 661.66 KeV et 1332.50 KeV.

L'intérêt de cet étalonnage est d'établir la relation entre les numéros des canaux de l'analyseur et les énergies connues des photons. Cette relation est linéaire et elle est donnée par l'équation suivante :

$$E = a + zX \quad (12)$$

Avec : E : est l'énergie (en KeV)

X : est le numéro du canal,

a et z : sont des constantes à déterminer.

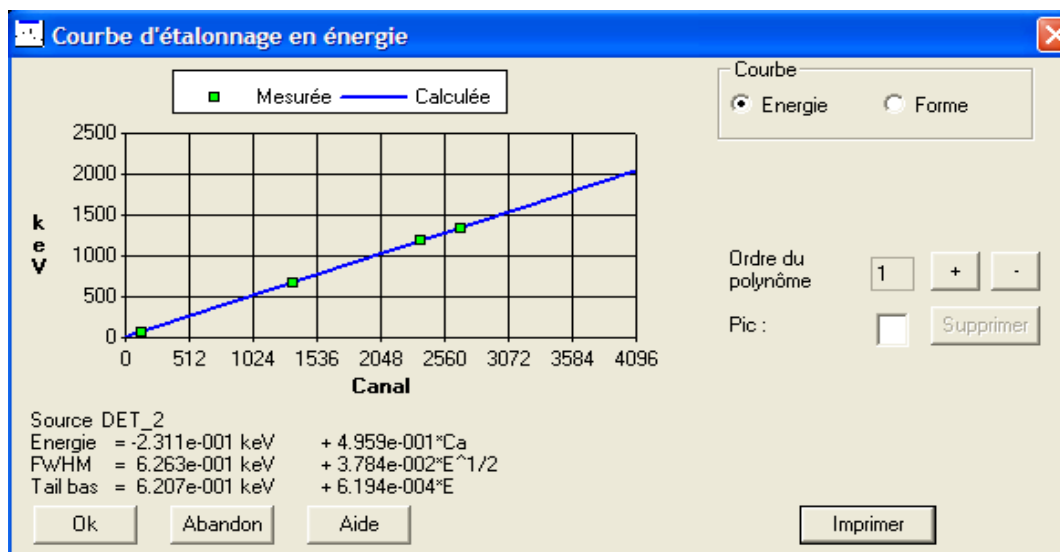


Figure 15: Courbe d'étalonnage en énergie.

Le logiciel Génie 2000 propose à l'opérateur plusieurs méthodes d'étalonnage en énergie, notamment, par fichier certificat, par bibliothèque, par fichier d'étalonnage, par entrées (CANBERRA, 2010).

V.1.3.2. Le bruit de fond

Le bruit de fond est le comptage ou l'enregistrement d'un spectre dans des conditions normales d'utilisation de la chaîne de mesure en l'absence de la source dont on veut mesurer le rayonnement. La connaissance de ce bruit de fond est un outil pour améliorer la justesse des résultats de mesure de l'activité, notamment dans le cas des traces (Le Petit & Granier, 2002).

Le bruit de fond peut être provoqué par l'électronique de mesure, ou bien de la radioactivité ambiante provenant des matériaux du cristal de germanium et du rayonnement cosmique, enfin, de la matrice vierge appelé « blanc ».

Pour réduire ce bruit de fond, on utilise un blindage de plomb de dix centimètre (10 cm) d'épaisseur, recouvert à l'intérieur avec une plaque de cuivre de deux millimètre (2 mm) d'épaisseur.

V.1.3.3. Etalonnage en efficacité

Le nombre de photons émis par une source n'est pas détecté en totalité par la surface de détecteur. Pour obtenir l'activité réelle, le résultat brut mesuré doit être corrigé par l'efficacité de comptage.

L'efficacité de comptage (rendement de détection) est le rapport entre le nombre des photons mesurés dans le spectre et le nombre de photons émis de l'échantillon.

L'efficacité du système dépend de plusieurs paramètres, notamment : l'énergie du photon, la nature et la géométrie du flacon utilisé, les dimensions du détecteur, la distance source-détecteur, le blindage ainsi que les matériaux entourant la chaîne de spectrométrie gamma (Noureddine, 2007).

Pour déterminer l'efficacité de détection d'un échantillon, on doit disposer d'une source standard ayant les mêmes caractéristiques que l'échantillon à mesurer (densité, volume) en se plaçant dans les mêmes conditions de mesure.

L'efficacité est obtenue par la relation suivante :

$$\varepsilon = \frac{Nr_{\text{réel}}}{A * t * I * M(v)} \quad (13)$$

ε : Efficacité ;

$N_{\text{réel}} = N_{\text{net}} - N_{\text{bf}}$: surface d'un pic de l'élément considéré (après soustraction du bruit de fond) ;

A : Activité de cet élément dans le standard ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$) ;

t : temps réel de comptage (s) ;

I : Intensité du pic considéré ;

$M(\nu)$: Masse de l'étalon (g) ou le volume en (m^3) ;

La grande diversité des échantillons de l'environnement pose un certain problème du fait qu'il faut déposer de plusieurs standards de différentes composition et géométrie, ce qui nécessite plus de moyens.

Afin de préparer un standard, il existe deux grandes familles d'étalons. La première regroupe les radionucléides caractérisés par un schéma de désintégration simple et l'émission d'un nombre limité de raies gamma intenses. On regroupe principalement par cette catégorie : le ^{22}Na (1274 keV), ^{60}Co (1173 keV) et le ^{137}Cs (661.6 keV) (CANBERRA, 2010).

L'autre famille rassemble les références multi photonique, c'est-à-dire les radionucléides qui émettent un grand nombre de raies gamma, bien réparties en énergie. Leur schéma de désintégration est souvent complexe, mais cette difficulté apparente ne limite pas leur utilisation. Le radionucléide le plus répandu de nos jours est l' ^{152}Eu ; il permet un étalonnage depuis 122 keV jusqu'à 1400 keV grâce aux différentes raies gamma intenses (CANBERRA, 2010).

V.1.3.4. Préparation du standard

Afin de calibrer la chaîne de spectrométrie gamma utilisée, trois standards de différentes masses ont été préparés par l'équipe du laboratoire de l'environnement du CRNA dans la même géométrie de comptage (125cc) des échantillons analysés. Les sources radioactives utilisées sont : ^{152}Eu , ^{133}Ba , et multi-gamma (^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co). Le choix des standards a pour but de palier toute la gamme d'énergie allant de 30-2000 KeV.

Ces standards ont été préparés sur une matrice de sédiment marin propre, ce dernier est contaminé séparément par ^{152}Eu , ^{133}Ba , et multi-gamma (^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co) d'une façon homogène, par couche de masse de 25g, 50g, 75g et 100g.

Après comptage direct par spectrométrie gamma, les courbes d'efficacité de chaque standard pour chaque masse ont été obtenues. A l'aide du logiciel Génie 2000, un jumelage des trois courbes d'efficacité a été fait pour obtenir une seule courbe d'efficacité en fonction d'énergie (fig15).

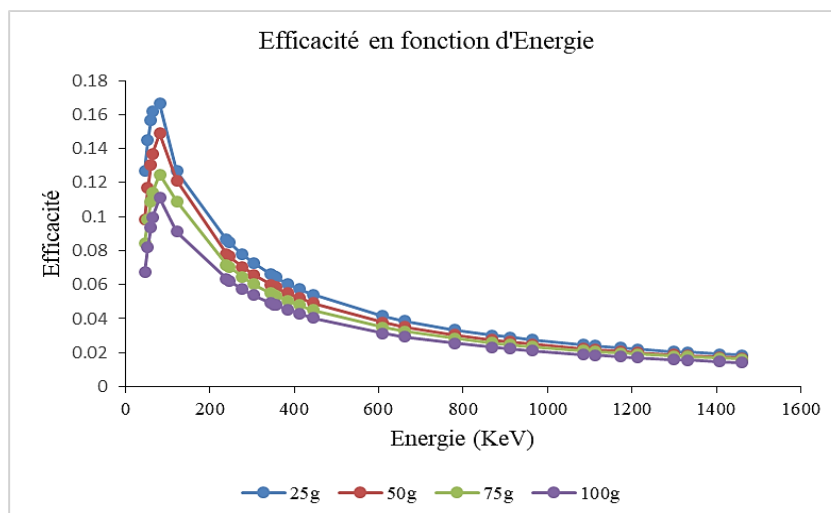


Figure 16 : Courbe d'efficacité en fonction d'énergie pour les différentes masses.

En plus, pour chaque masse et chaque énergie d'intérêt, la relation efficacité – masse a été établie.

V.1.4 Comptage

Après préparation et conditionnement de l'échantillon dans la géométrie, la mise en fonction et réglage de la chaîne de mesure, l'échantillon est placé au contact du cristal de GeHP pour une meilleure détection lors de l'acquisition qui dure 48h pour obtenir de bonnes statistiques.

V.1.4.1. Calcul des activités et leurs incertitudes

L'activité spécifique des radionucléides d'intérêt est déterminée par l'équation suivante :

$$\frac{N_{net}(N_{réel} - N_{BF})}{\varepsilon * t * I * m * k} \quad (14)$$

N_{net} : comptage net de l'échantillon en coups (cps) ;

$N_{réel}$: comptage réel de l'échantillon en coups (cps) ;

N_{BF} : comptage de bruit de fond en coups (cps) ;

ε : l'efficacité de détection ;

I : la probabilité d'émission de la raie gamma ;

t : le temps de comptage en seconde (s) ;

m : la masse de l'échantillon analysé en kilogramme (Kg) ;

k : représente les différents termes correctifs, tel que ;

$$k = K_W * K_C \quad (15)$$

K_W est le facteur de correction du temps de décroissance du radioélément entre l'instant où l'échantillon a été prélevé et le début d'acquisition, il se calcule comme suit :

$$K_W = e^{\frac{\ln(2)*t_w}{T_{1/2}}} \quad (16)$$

t_w est le temps de décroissance du radioélément entre l'instant où l'échantillon a été prélevé et le début de l'acquisition.

K_C est le facteur de correction du temps de décroissance de l'échantillon durant l'acquisition, il se calcule par l'équation suivante :

$$K_C = \frac{T_{1/2}}{\ln(2) * t_c} * \left(1 - e^{\frac{\ln(2)*t_c}{T_{1/2}}} \right) \quad (17)$$

t_c : est le temps réel de l'acquisition ;

$T_{1/2}$: est le temps de demi-vie du radioélément.

L'incertitude sur l'activité est calculée par la loi de la propagation des erreurs sur l'équation :

$$\frac{\sigma A}{A} = \sqrt{\frac{\sigma N_{net}}{N_{net}} + \frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\sigma t}{t} + \frac{\sigma I}{I} + \frac{\sigma m}{m} + \frac{\sigma K}{K}} \quad (18)$$

Avec,

σN_{net} : est l'incertitude absolue sur le comptage net de l'échantillon, il est calculé comme suit ;

$$\sigma N_{net} = \sqrt{(\sigma N_{réel})^2 + (b \sigma N_{BF})^2} \quad (19)$$

$\sigma \varepsilon$: l'incertitude absolue sur l'efficacité ;

σt : l'incertitude absolue sur le temps de comptage ;

σm : l'incertitude absolue sur la masse de l'échantillon ;

σK : l'incertitude des facteurs correctifs,

$$\frac{\sigma K}{K} = \sqrt{\left(\frac{\sigma K_w}{K_w}\right)^2 + \left(\frac{\sigma K_c}{K_c}\right)^2} \quad (20)$$

$$\sigma K_c = \left(\frac{1 + K_c}{T_{1/2}}\right) \sigma T_{1/2} \quad (21)$$

$$\sigma K_w = \frac{K_w * \ln(2) * t_w}{(T_{1/2})^2} * \sigma T_{1/2} \quad (22)$$

$\sigma T_{1/2}$: 'incertitude absolue de temps de demi-vie du radioélément.

V.1.4.2. Activité Minimal de Détection (AMD)

L'Activité minimale détectable AMD est l'activité au-dessous de laquelle un radioélément n'est pas détecté. L'AMD permet d'exprimer la sensibilité d'un système donné qu'on peut atteindre sous certaines conditions de travail.

Pour déterminer la valeur de l'AMD, on utilise deux autres valeurs : le seuil de décision (SD) et la limite de détection (LD) tel que :

- Le seuil de décision est celui au-dessous duquel on estime qu'un signal n'est pas significatif. Il se calcule en tenant compte du bruit de fond comme suivant :

$$SD = 1.645\sqrt{2BF} \quad (23)$$

- La limite de détection est la valeur du plus petit signal qui peut être quantifié de manière fiable. Il se calcule en tenant compte du bruit de fond comme suivant :

$$LD = 2.71 + 3.29\sqrt{2BF} \quad (24)$$

L'Activité Minimal Détectable (AMD) est calculée comme suit :

$$AMD = \frac{LD}{\varepsilon * I * t * m} \quad (25)$$

AMD : l'Activité Minimal Détectable en (Bq/Kg) ;

LD : la limite de détection ;

ε : l'efficacité de détection ;

I : probabilité d'émission ;

t : temps de comptage en seconde (s) et

m : la masse en (g).

V.2 Analyse du Mercure (Hg) total par DMA-80

L'analyse du mercure a été effectuée au niveau du laboratoire d'Environnement du CRNA.

Le Direct Mercury Analyzer (DMA-80) est une technique de mesure simple, mono-élémentaire qui permet l'analyse directe du mercure total particulaire à très basse teneur dans des échantillons solides, liquides et gazeux jusqu'au 0.003 ng (Tri-cell) avec une précision de moins de 3%.



Figure 17 : analyseur DMA-80 (Tri-Cell).

C'est une technique destructive qui mesure la teneur en mercure dans un échantillon en 5-7 min.

V.2.1 Principe

Les échantillons à analyser sont placés dans des nacelles en nickel décontaminés auparavant au four à moufle à 650°C pendant trois minutes (3min).

Les échantillons sont introduits dans l'analyseur de mercure DMA-80 par le passeur automatique intégré. Initialement, l'échantillon est séché dans un flux d'oxygène (4 bar) qui traverse un tube en quartz situé à l'intérieur d'un four à résistance, ensuite il est décomposé thermiquement sous oxygène. Le gaz produit de la combustion est évacué pour être décomposé par la suite dans une colonne catalytique à 650°C.

Les produits de combustion restant sont transportés vers l'amalgamateur d'or qui piège sélectivement le mercure total particulaire. Après échauffement de l'amalgamateur à cause du flux continu d'oxygène qui élimine tous gaz résiduels ou produits de décomposition, la vapeur de mercure est libérée vers les cellules de mesure où il est mesuré quantitativement pour produire un spectre (Milestone DMA-80 User Manual, 2014).

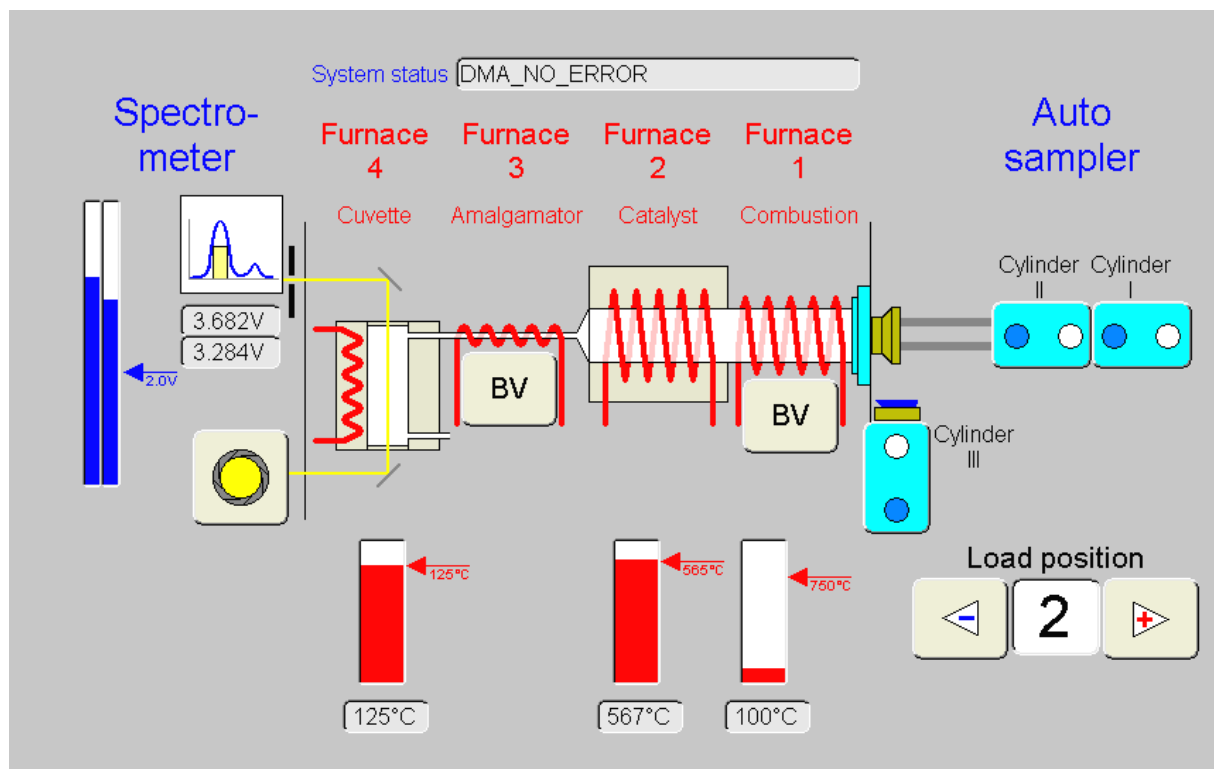


Figure 18 : Système de fonctionnement de DMA-80 (Milestone DMA-80 User Manual, 2014).

V.2.2 Conditions expérimentales

V.2.2.1. Calibration

Avant d'utiliser le DMA-80, il doit être calibré en utilisant des étalons de mercure préparé à différentes concentrations afin de couvrir toute la gamme de 0-10 ppm (les trois cellules de DMA-80).

La calibration a été faite par l'utilisation d'une gamme d'étalons de mercure préparés à différentes concentrations à partir d'une solution mère de 1000 ppm.

Après passage des différents étalons au DMA-80, une courbe d'étalonnage a été tracée [absorbances = f (quantité de Hg)]. A partir de cette courbe l'ordinateur donne par lecture la concentration et la quantité d'Hg dans chaque échantillon analysé.

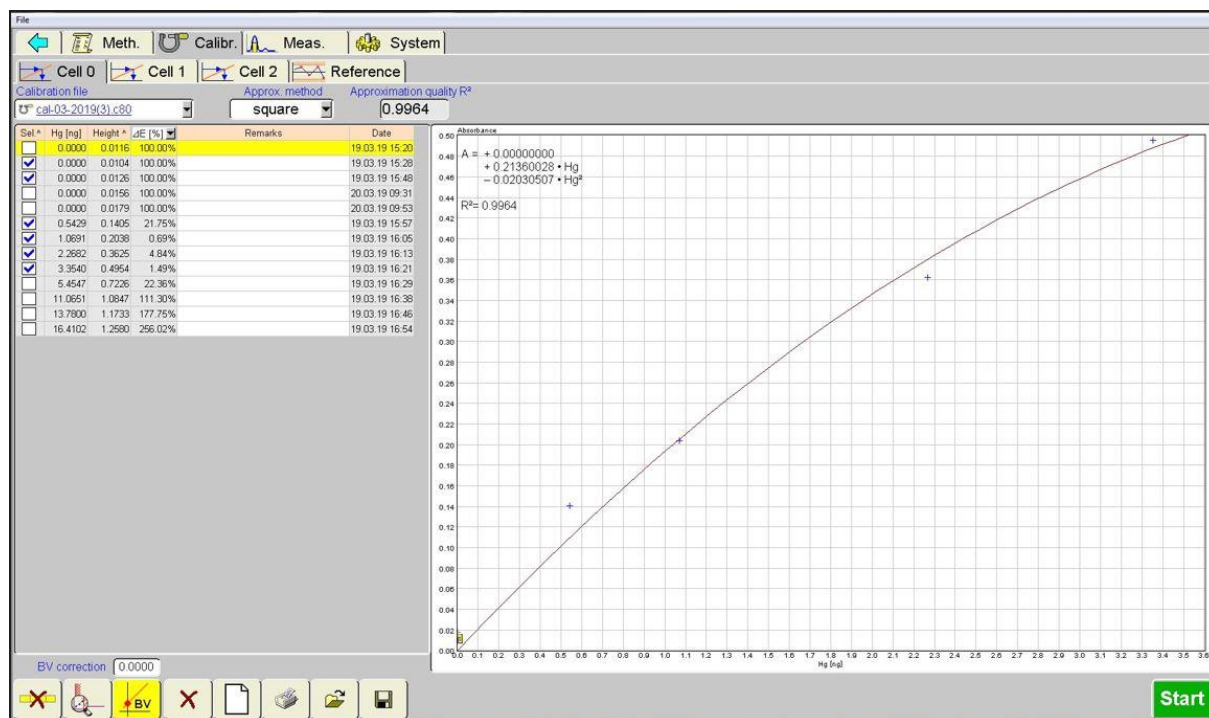


Figure 19 : courbe d'étalonnage des cellules de DMA-80.

V.2.2.2. Répétabilité

Pour déterminer la fidélité de DMA-80 et la bonne répétabilité de la mesure d'absorbance utilisée aux conditions opératoires adoptées, on a réalisé 3 réplicas pour les échantillons de sédiment afin d'obtenir trois concentrations de chaque élément et établir une moyenne, un écart-type et un écart-type relatif (RSD%).

V.2.2.3. Reproductibilité (contrôle de la qualité d'analyse)

Un échantillon de référence certifié nommé AIEA-457 a été utilisé pour tester notre courbe d'étalonnage, améliorer la justesse de nos résultats et contrôler les conditions opératoires.

La mesure de l'échantillon de référence est enregistrée dans la fenêtre 'Reference', en calculant un 'Cal Fact' qui renseigne sur la différence entre la valeur mesurée et la valeur de référence. Lorsque la valeur de Cal Fact est comprise entre 0.97 – 1.1, l'analyse est bonne.

Pour déterminer si le système est propre et exempt de contamination et l'absence des interférences instrumentales, il est recommandé de programmer certains blancs (Milestone DMA-80 User Manual, 2014).

V.2.2.4. Limite de Détection (LD) & Limite de Quantification (LQ)

- **La limite de détection (LD)** est la plus basse concentration d'un composé analysé qui peut être détectée dans une matrice, avec une incertitude acceptable non quantifiée dans des conditions expérimentales. Elle se calcule comme suit :

$$LD = \frac{3.3\sigma}{S} \quad (27)$$

- **La limite de quantification (LQ)** est la plus petite concentration d'un composé qui peut être quantifiée, sa formule est la suivante :

$$LQ = \frac{10\sigma}{S} \quad (28)$$

σ : l'écart-type de 10 blancs ;

S : la pente de la courbe d'étalonnage (absorbance en fonction de concentration de mercure).

La limite de détection et la limite de quantification sont calculées pour le contrôle de la qualité de mesure et d'avoir des résultats fiables et justes.

Tableau 4: tableau récapitulatif de RSD, LD, LQ.

RSD(%)	Cal facteur	LD	LQ
1.34 -7,25	1.0622	0.7781	2.3581

V.2.2.5. Analyse

La décontamination de l'appareillage et la calibration permet d'obtenir de bonnes mesures et de fiables résultats.

On a effectué un pesage des échantillons de sédiments sur des nacelles métalliques décontaminées auparavant d'un poids d'environ 0.1 g à l'aide d'une balance de précision, on les a introduit au DMA-80 pour l'analyse (fig14).

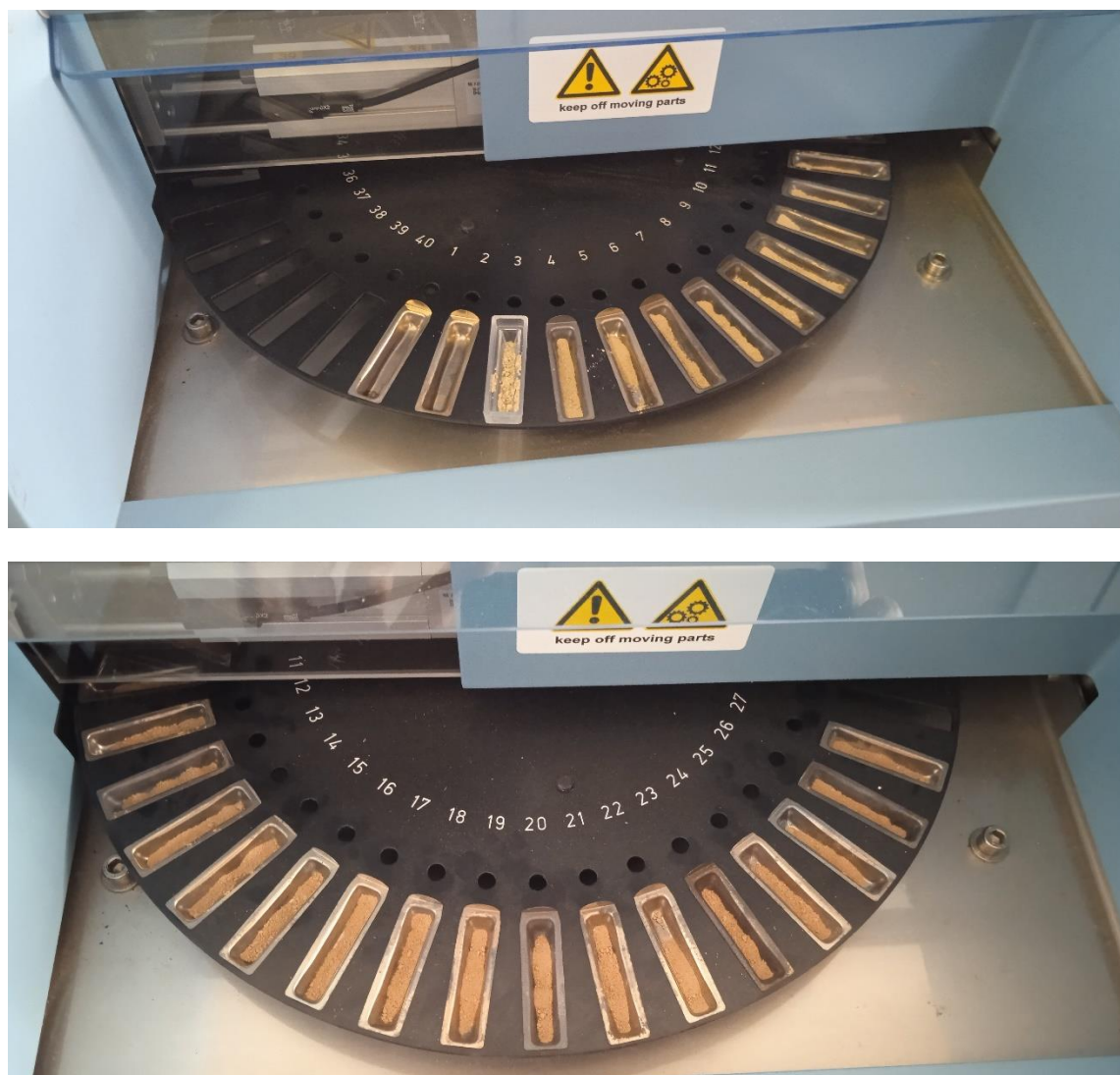


Figure 20 : Echantillons de sédiments placés au DMA-80.

A l'aide d'un logiciel de DMA-80, le résultat obtenu est un spectre qui représente l'absorbance en fonction de la concentration de mercure (Hg). Pour les faibles concentrations, la courbe est quasi-linéaire, donc la loi de Beer Lambert est vérifiée.

*Résultats &
Discussion*

Dans cette partie, nous présentons et discutons les résultats obtenus au cours de l'ensemble des expériences et analyses réalisées au niveau du laboratoire d'environnement du CRNA et du laboratoire des écosystèmes marins de l'ENSSMAL à Sidi Fredj.

VI. La radioactivité

VI.1 Le taux d'humidité

Le profil de la figure 20 présente le taux d'humidité le long de la carotte de sédiment de l'embouchure d'oued Chélif. Le taux d'humidité décroît de la surface vers le fond (0 à 24 cm) d'une valeur 30% à 21%. Ces valeurs sont plus ou moins faibles, ils peuvent refléter un sédiment de nature vaseuse donc une capacité faible de piégeage de l'eau.

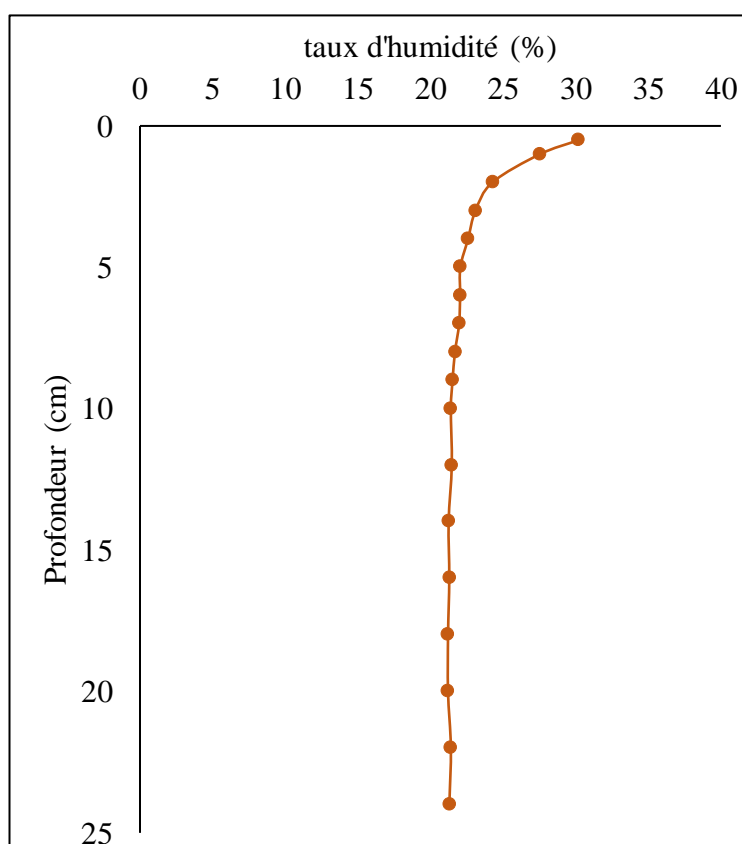


Figure 21 : Profil vertical du taux d'humidité de la carotte de l'oued Chélif.

Ce profil vertical présente une légère décroissance du taux d'humidité de la surface vers le fond. Cette décroissance peut être due à la rétention de l'eau par le sédiment, plus la profondeur augmente plus il est imperméable en raison de l'expulsion de l'eau par la compaction du sédiment vaseux sous l'effet de la charge et la pression qui augmentent avec la profondeur.

VI.2 La matière organique

Le profil vertical de la figure 21 présente le taux de la matière organique le long de la carotte de 24cm de profondeur. Il varie entre 10.98% et 9.61%. La matière organique ne constitue qu'un faible taux du sédiment, elle provient des sources autochtone et allochtone. Dans la colonne d'eau, la majeure partie de la matière organique produite dans la zone euphotique, peut être consommée, en partie, sur place par les organismes hétérotrophes, cette matière consommée est alors minéralisée. La partie restante va chuter vers le fond par gravité avec une première attaque bactérienne (sous forme d'humus). De ce fait une petite fraction de la production primaire peut atteindre le sédiment (Le Gouche, 2017) où la réaction d'oxydation et reminéralisations va se poursuivre par différents oxydants. Cependant dans le cas particulier des plans d'eau des oueds et les eaux marines côtières, vue la faible profondeur, la majeure partie de la matière organique atteindra le fond où elle sera oxydée et reminéralisée.

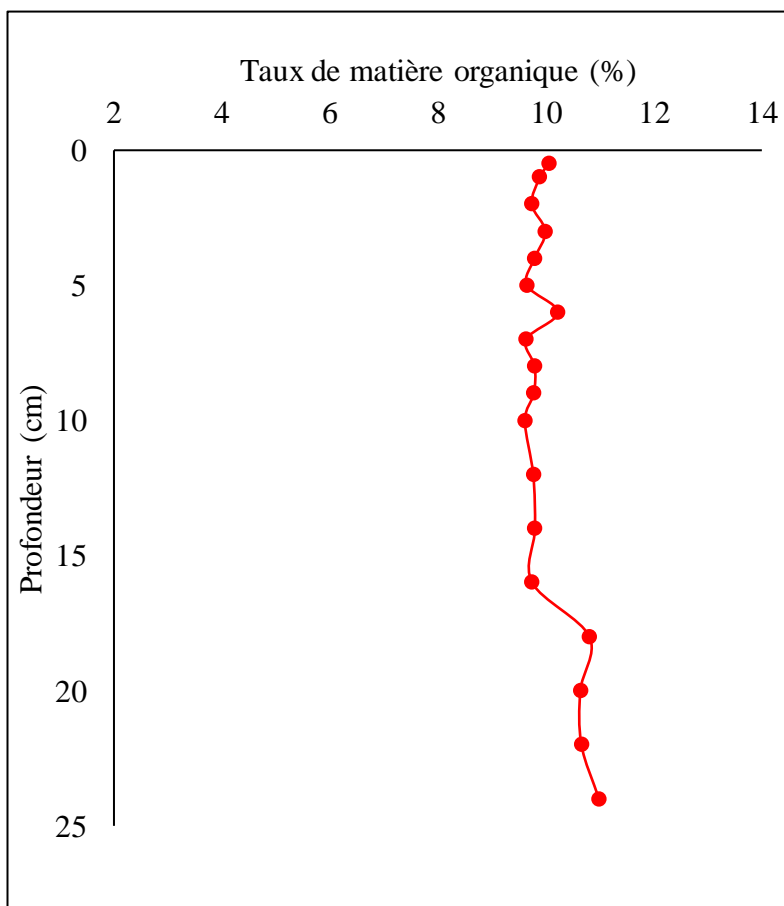


Figure 22 : Profil vertical du taux de la matière organique de la carotte de l'oued Chélif.

Le taux de la matière organique diminue d'une valeur de 10.05% à la surface de la carotte à une valeur de 9.64% à la profondeur (4-5cm), puis il augmente jusqu'à la valeur 10.22% à la profondeur 6 cm.

Suite à cette augmentation, le taux de la matière organique est stable le long de la profondeur jusqu'à la couche (16-18) où il commence à augmenter pour atteindre un maximum de 10.98% à la fin de la carotte couche (22-24).

La matière organique est dégradée et consommée par les organismes benthiques et les micro-organismes aérobies puis anaérobies (Le Gouche, 2017), ce qui peut expliquer la diminution des valeurs de la matière organique. L'augmentation du taux de la matière organique avec la profondeur peut être due aux fluctuations de l'apport de sédimentation à partir des eaux de surface.

VI.3 Les activités des radionucléides d'intérêt

VI.3.1 L'uranium 238 et ses descendants (Pb-214, Bi-214 Pb-210)

a. Uranium 238 :

Le profil vertical de la figure 23 présente les activités massiques de l'Uranium-238 dans les différentes couches. Elles varient entre un maximum de 34.12 ± 4.77 Bq/Kg et un minimum de 15.48 ± 2.82 Bq/Kg, enregistrées dans les couches (0.5-1) et (16-18), respectivement.

Les variations de l'activité massique de l' ^{238}U tout le long de la carotte commencent par l'augmentation dans les deux premières couches pour atteindre le maximum de 34.12 ± 4.77 Bq/Kg puis, l'activité diminue pour se stabiliser jusqu'à la couche (8-9) où elle commence à augmenter jusqu'à la couche (12-14), suite à cette augmentation, l'activité diminue pour atteindre un minimum de 15.48 ± 2.82 Bq/Kg enregistrée à la couche (16-18). Ensuite, elle augmente avec la profondeur.

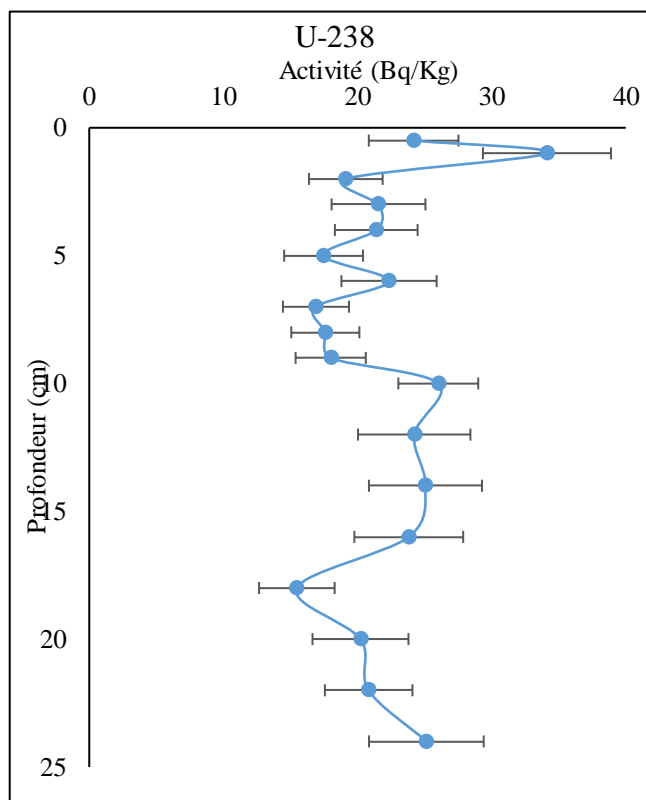


Figure 23 : Profil vertical de l’activité de l’uranium (²³⁸U) dans le sédiment de la carotte de l’oued Chélif.

La présence de l’uranium dans la carotte sédimentaire trouve son origine dans le fait que l’uranium-238 est l’un des radionucléides primordiaux qui a une très longue période 4.47.10⁹ ans formé lors de la constitution de la terre. Il est introduit dans le milieu marin par le lessivage de la croûte terrestre dont la majeure partie introduite reste en suspension dans la colonne d’eau, une faible quantité est retenue dans le sédiment (Bosia, 2016) .

La rétention des radionucléides par le sédiment et l’adsorption sur les oxydes et les hydroxydes de fer et de manganèse et la surface des minéraux peuvent affecter l’activité de l’uranium. En outre, les variations de l’activité de l’²³⁸U peuvent être influencées par la nature vaseuse du sédiment et la distribution de la matière organique le long de la carotte.

b. Plomb 214, et Bismuth 214

La figure 24 présente les profils verticaux des distributions des activités massiques de Plomb-214 et Bismuth-214 en fonction de la profondeur.

L’activité de plomb-214 varie de 61.21 ± 15.80 Bq/Kg enregistrée au niveau de la couche (0.5-1) à 25.97 ± 4.90 Bq/Kg correspondant à la couche (16-18). Les activités massiques

du Bismuth-214 est entre la valeur 48.76 ± 9.04 Bq/Kg et la valeur 20.62 ± 2.67 Bq/Kg observées dans les couches (0.5-1) et (16-18), respectivement.

D’après les profils verticaux, les activités de ^{214}Pb et de ^{214}Bi sont plus au moins identiques. Elles sont faibles dans les couches plus profondes par rapport aux couches superficielles.

Le Plomb-214 et Bismuth-214 sont les descendants du radon gazeux ^{222}Rn qui a été en équilibre séculaire pour une période de 21 jours.

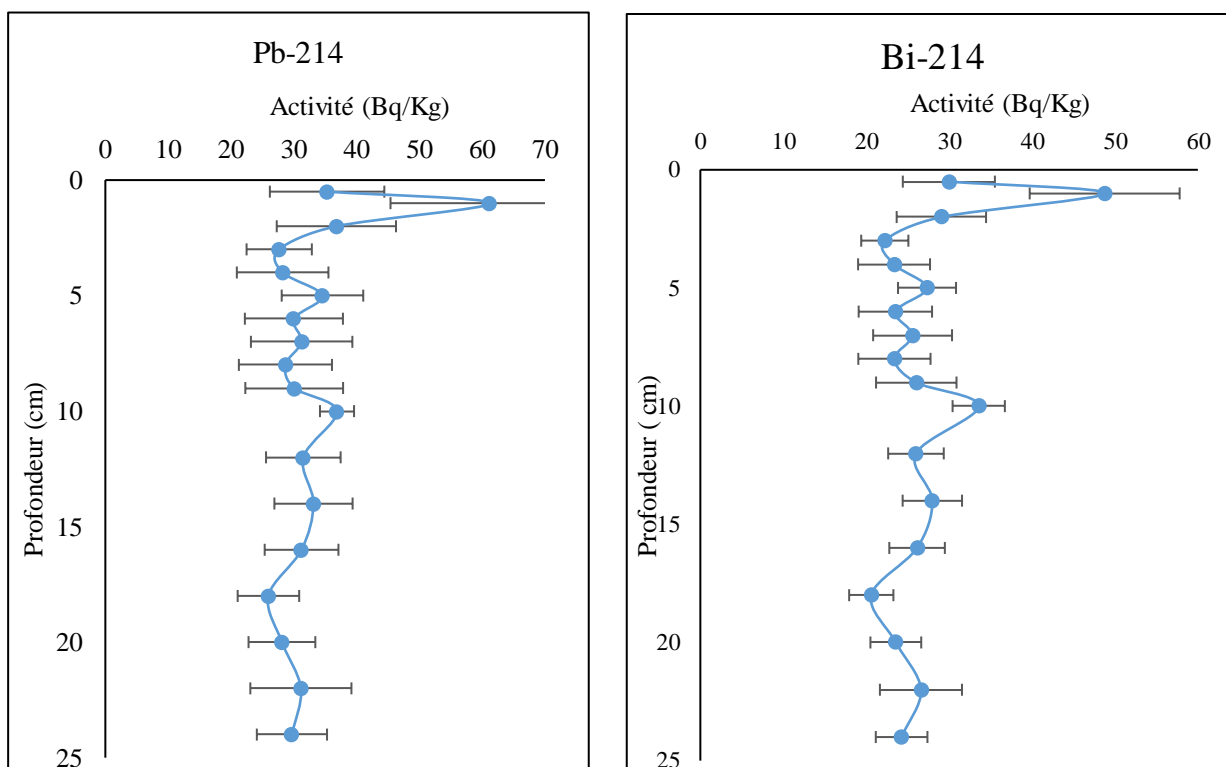


Figure 24 : Profils verticaux des activités de ^{214}Pb et de ^{214}Bi dans le sédiment de la carotte de l’oued Chélif.

Le plomb se trouve en quantité importante fixé aux particules atmosphériques, qui retombent à la surface des sols par dépôts humide et/ou secs (Saby et al., 2006). Après le déplacement horizontal et vertical dans la colonne d’eau et leur fixation à la matière en suspension, ils se déposent sur le fond marin et se transfert dans les couches de sédiment du milieu. Le comportement et l’évolution des radionucléides dans ce dernier dépendent de la granulométrie et de la composition des sédiments qui peut éventuellement changer d’une couche à une autre (Noureddine, 2007).

c. Plomb 210

Le profil vertical de la figure 25 représente les variations de l'activité massique de plomb-210 en fonction de profondeur de la carotte sédimentaire. Ces variations sont comprises entre un maximum de 55.78 ± 14.09 Bq/Kg enregistrée dans la couche (0.5-1) et un minimum de 22.41 ± 5.98 Bq/Kg dans la couche (16-18).

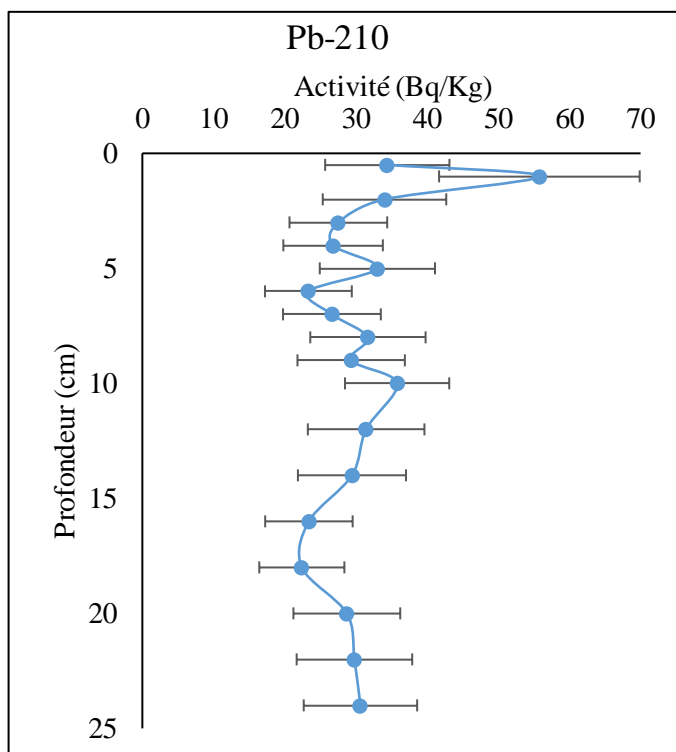


Figure 25 : Profil vertical de l'activité du ^{210}Pb dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.

L'activité de plomb-210 devient faible dans les couches superficielles vers les couches profondes, cette diminution est peut-être due à la décroissance radioactive.

L'une des origines du plomb-210 dans les sédiments est le lessivage du ^{210}Pb par fixation sur les particules marines en suspensions jusqu'au dépôt sur le sédiment, processus de scavenging.

VI.3.2 Le Thorium 232 et ses descendants (Pb-212, Ac-228)

a) Plomb 212

La figure 26 présente le profil vertical la distribution des activités massiques de Plomb-212 en fonction de la profondeur.

L'activité massique du Plomb-212 est entre la valeur de 29.58 ± 3.49 Bq/Kg et la valeur de 14.33 ± 2.75 Bq/Kg observées dans les couches (0.5-1) et (2-3), respectivement.

Hors mis la valeur maximale de 29.58 ± 3.49 Bq/Kg, observée dans la couche de surface (0.5-1, le reste du profil manifeste des valeurs de l'activité massique de plomb-212 quasiment stationnaires.

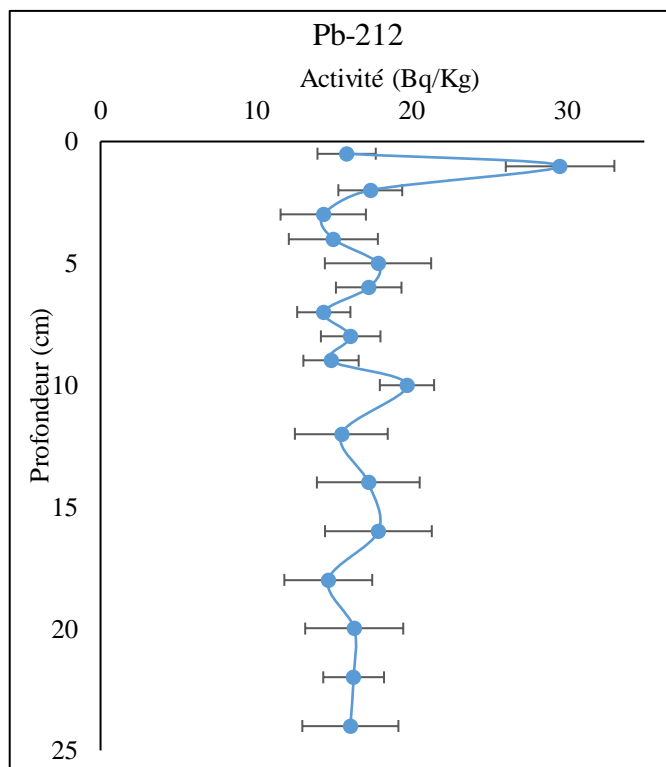


Figure 26 : Profil vertical de l'activité du ^{212}Pb dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.

b) Actinium 228

Le profil vertical de la figure 27 présente les activités massiques de l'Actinium-228 dans les différentes couches. Elles varient entre un maximum de 36.49 ± 14.77 Bq/Kg et un minimum de 15.66 ± 6.37 Bq/Kg, enregistrées dans les couches (0.5-1) et (5-6), respectivement.

Les variations de l'activité massique de l' ^{228}Ac tout le long de la carotte commencent par l'augmentation dans les deux premières couches pour atteindre le maximum de 36.49 ± 14.77 Bq/Kg puis, l'activité diminue jusqu'à une valeur de 15.66 ± 6.37 Bq/Kg enregistrée à la couche (5-6) où elle commence à se stabiliser légèrement avec la profondeur.

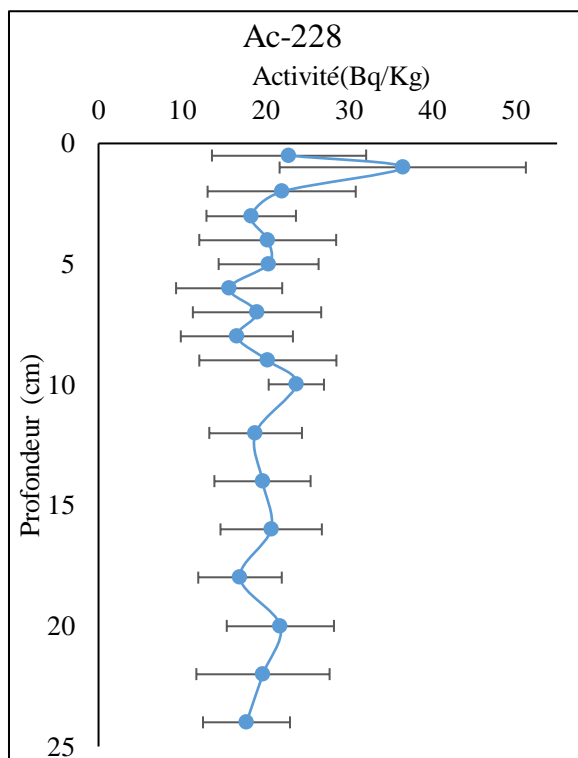


Figure 27 : Profil vertical de l'activité du ²²⁸Ac dans le sédiment de la carotte de l'oued Chélif.

Le thorium-234 est produit par la désintégration de l'uranium-238 présent dans la colonne d'eau, il se fixe sur les surfaces des particules en suspension jusqu'à sédimentation. En raison de la courte période du ²³⁴Th et ses descendants ²²⁸Ac et ²¹²Pb, on peut expliquer la diminution de leurs activités.

VI.3.3 Potassium 40

La figure 28 présente le profil vertical des activités massiques de Potassium-40 en fonction de la profondeur.

L'activité massique du Potassium-40 est entre la valeur 659.93 ± 38.19 Bq/Kg et la valeur 253.84 ± 18.87 Bq/Kg observées dans les couches (0.5-1) et (5-6), respectivement.

La variations de l'activité massique du ⁴⁰K tout le long de la carotte commence par l'augmentation dans les deux premières couches pour atteindre le maximum de 659.93 ± 38.19 Bq/Kg puis, elle diminue jusqu'à une valeur minimale de 253.84 ± 18.87 Bq/Kg enregistrée à la couche (5-6). A cette dernière couche, l'activité commence à augmenter légèrement à une valeur de 458.09 ± 31.78 Bq/Kg au niveau de la couche (9-10), puis l'activité diminue faiblement avec la profondeur.

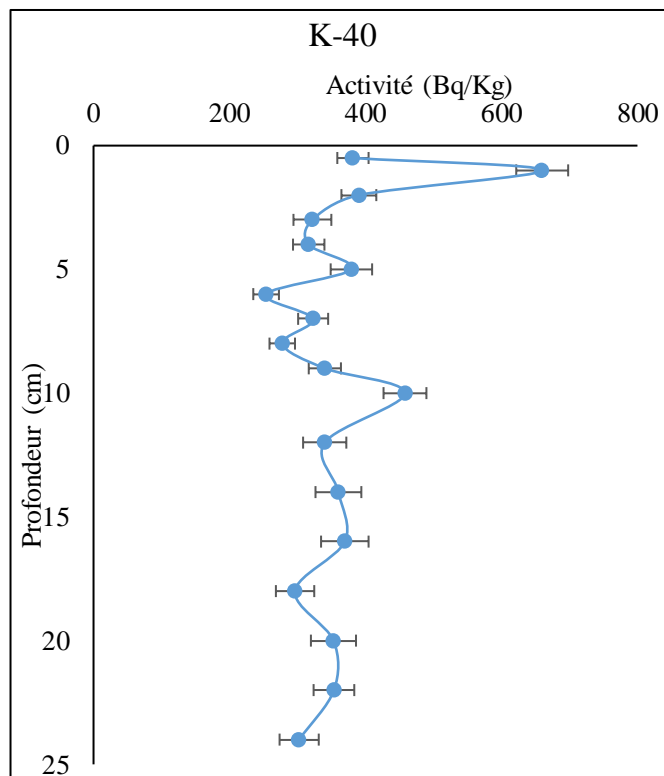


Figure 28 : Profil vertical de l’activité de du ⁴⁰K dans le sédiment de la carotte de l’oued Chéoued.

Le Potassium 40 est l’un des radionucléides primordiaux qui a une très longue durée de vie $1.25 \cdot 10^9$ ans. Constitué lors de la formation de la terre, il est l’isotope radioactif le plus abondant.

Les activités en isotopes naturels varient en fonction de la nature vaseuse du sédiment (Schmidt et al., 1998), ce qui peut expliquer les activités élevées de ⁴⁰K.

VI.4 Comparaison des activités des sédiments de l’embouchure de l’oued Chéoued avec celles obtenues dans d’autres travaux antérieurs

Dans le but d’avoir une idée de la variation et des concentrations en activités des différents radionucléides naturels des sédiments de l’embouchure d’oued Chéoued, par rapport à d’autres activités des radionucléides des sédiments des régions Est, Ouest et centre du littoral algérien, nous avons procédé à une comparaison.

Le tableau ci-dessous récapitule quelques résultats des autres travaux dans d’autres régions et différentes périodes.

Tableau 5 : comparaison des activités du sédiment de l’embouchure de l’oued Chélif avec celles des autres travaux de trois régions littorales (Est, Ouest et centre).

Zone	Radioélément	Activité (Bq/Kg)	Références
Embouchure Oued Chélif (2023)	²³⁸ U	[15.48±2.82 – 34.12±4.77]	Présent travail
	²¹⁰ Pb	[22.41±5.98 – 55.78±14.09]	
	²¹⁴ Bi	[20.62±8.67 – 48.76±9.04]	
	²¹⁴ Pb	[25.97±4.90 – 61.21±15.80]	
	²¹² Pb	[14.33±2.75 – 29.58±3.49]	
	²²⁸ Ac	[15.66±6.37 – 36.49±14.77]	
	⁴⁰ K	[253.84±18.87 – 659.93±38.19]	
St Annaba (2004)	²¹⁰ Pb	[36.4±2.1 – 803.5±42.5]	(Noureddine, 2007)
	²¹⁴ Bi	[23.8±1.33– 39±2.4]	
	²¹⁴ Pb	[36.4±2.1 – 803.5±42.5]	
	⁴⁰ K	[495±30 – 636±37]	
St d’ Annaba (1999)	²¹⁰ Pb	[54.2±2.9 – 146.2±7.5]	
	²¹⁴ Bi	[13.2±0.7 – 26.8±1.4]	
	²¹⁴ Pb	[15.3±0.8 – 30.3±1.5]	
	²¹² Pb	[20.9±1.1 – 41±2.1]	
	²²⁸ Ac	[19.8±1.0 – 39.7±2.0]	
	⁴⁰ K	[245±12 – 482±24]	
	²¹⁰ Pb	[26±4 - 149±7]	

Baie d'Alger (2020)	^{212}Pb	[18.3±1.7 – 36.4±1.1]	(Taieb Errahmani et al., 2020)
	^{40}K	[430±33 - 531±38]	
Baie de Bou-Ismaïl (2015)	^{238}U	[11.14±1.75 – 31.96±4.90]	(Dehane, 2017)
	^{210}Pb	[22.80±6.12 – 117.72±28.03]	
	^{40}K	[282.80±13.84 – 533.59±24.76]	
Baie Ghazaouet (1992)	^{238}U	[23.1±0.4]	(Noureddine & Baggoura, 1997)
	^{210}Pb	[60±2 – 131±3]	
	^{214}Bi	[6.7±2.1 – 28.4±6]	
	^{214}Pb	[10.4±2.3 – 22.3±4.1]	
	^{212}Pb	[23.5±3.8 – 25.6±4.2]	
	^{228}Ac	[29.3±6.8 – 34.7±8.1]	
	^{40}K	[450±85 – 518±98]	
Belleville – sur – Loire –la Loire (2016)	^{238}U	[38±7]	(Bougier et al., 2017)
	^{210}Pb	[66±8]	
	^{214}Bi	[38.1±3]	
	^{214}Pb	[40±3.3]	
	^{212}Pb	[50.7±4.2]	
	^{228}Ac	[57±5]	
	^{40}K	[740±50]	

D'après les valeurs citées dans le tableau 05, on remarque que les activités des radionucléides d'intérêt des sédiments de l'oued Chélif tel que le ^{238}U , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{214}Pb , ^{212}Pb , ^{228}Ac ne montrent pas une grande différence par rapport aux activités des différentes régions

littorales pour les mêmes radionucléides. En effet, on trouve que les valeurs de l'activité du ^{210}Pb de sédiment de l'oued Chélif sont faibles par rapport à celles d'autres régions, notamment l'Est Algérien (Annaba).

D'après les résultats des analyses radiologiques obtenues, les traces du radionucléide artificiel de césium (^{137}Cs) émis lors l'accident de Tchernobyl 1986 ne sont pas détectés, cela est peut-être dû à la décroissance radioactive du ^{137}Cs , sachant que sa durée de vie est de 30 ans et la carotte de sédiment de l'oued Chélif a été prélevé en 2020 en présentant une sédimentation récente.

VI.5 Evaluation des risques radiologiques

L'évaluation des risques radiologiques est définie comme le processus d'estimation de la dose et du risque que les matériaux radioactifs peuvent entraîner dans l'environnement. Ces matériaux peuvent être transportés et apparaître sous forme de concentration dans les milieux à partir desquelles ils peuvent être convertis en dose et en risque en faisant des hypothèses sur l'expositions des êtres vivants (Till & Grogan, 2008).

L'évaluation est basée sur les activités mesurées du rayonnement possible du ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , en calculant les indices radiologiques : Radium Equivalent Activity (Raeq), External Hazard Index (Hex) et Representative Gamma Index (I_{γ}).

VI.5.1 Radium Equivalent Activity (Raeq)

Est définie en ce qui concerne l'exposition aux rayonnements en comparant l'activité de matériaux contenant différents radionucléides primordiaux et selon l'hypothèse qu'une activité spécifique de 370 Bq/Kg de ^{226}Ra répartie uniformément dans n'importe quel échantillon de l'environnement peut entraîner une dose efficace annuelle de 1mSv au-dessus de sol. Le Raeq est défini en Bq/Kg et calculé comme suivant :

$$Ra_{eq}(\text{BqKg}^{-1}) = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (29)$$

Tel que :

A_{Ra} , A_{Th} et A_K sont les activités spécifiques de ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , respectivement ;

VI.5.2 External Hazard Index (Hex)

Cet indice quantifie le risque radiologique lié à une exposition externe aux rayonnements. Il est calculé comme suivant :

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_k}{4810} \quad (30)$$

Avec ;

A_{Ra} , A_{Th} et A_K sont les activités spécifiques de ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , respectivement ;

Il suppose que 370Bq/Kg de Ra-226, 259 Bq/Kg de Th-232 et 4810Bq/Kg de K-40 produit le même débit de dose gamma.

VI.5.3 Representative gamma Index (I_{γr})

C'est un paramètre d'étude des matériaux susceptibles de présenter un risque potentiel de rayonnement pour la santé, il est calculé par l'équation suivant :

$$I_{\gamma r} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_k}{4810} \quad (31)$$

Où ;

A_{Ra} , A_{Th} et A_K sont les activités spécifiques de ^{226}Ra , ^{232}Th et ^{40}K , respectivement ;

Tableau 6 : Indices de risque radiologiques des sédiments de la carotte de l'Oued Chélif.

Indice radiologique	Raeq (Bq/Kg)	Hex (Bq/Kg)	I _{γr} (Bq/Kg)
max	153.04	0.41	1.14
min	68.73	0.19	0.51
Norme	≤ 370	≤ 1	≤ 1

D'après ce tableau, les valeurs de Radium Equivalente Activity (Raeq) varient entre un maximum de 153.04 (Bq/Kg) et un minimum 68.73 (Bq/Kg). Elles sont inférieures à 370 (Bq/Kg).

Les valeurs de External Hazard Index (Hex) varient entre 0.19 (Bq/Kg) et 0.14 (Bq/Kg). Ces valeurs sont inférieures à 01.

Par rapport aux valeurs de Representative gamma Index (I_{γr}) sont entre un minimum de 0.51 à un maximum de 1.14. Ces valeurs sont inférieures à 01.

Selon cette évaluation, on constate que ces valeurs sont inférieures à leurs limites de précaution (Tikpangi Kolo et al., 2016). De ce fait le niveau de la radioactivité naturelle de la carotte de l'oued Chélif ne pose pas un impact négatif et un risque radiologique sur l'environnement et l'écosystème aquatique environnant.

VII. Contamination par le Mercure Hg

Le profil vertical de la figure 29 présente les concentrations du mercure tout le long de la carotte sédimentaire de l’embouchure de l’oued Chélif. Les concentrations du mercure varient entre un maximum de 22.88 µg/Kg observée au niveau de la couche (0.5-1) et un minimum de 12.95 µg/Kg enregistré à la couche (12-14).

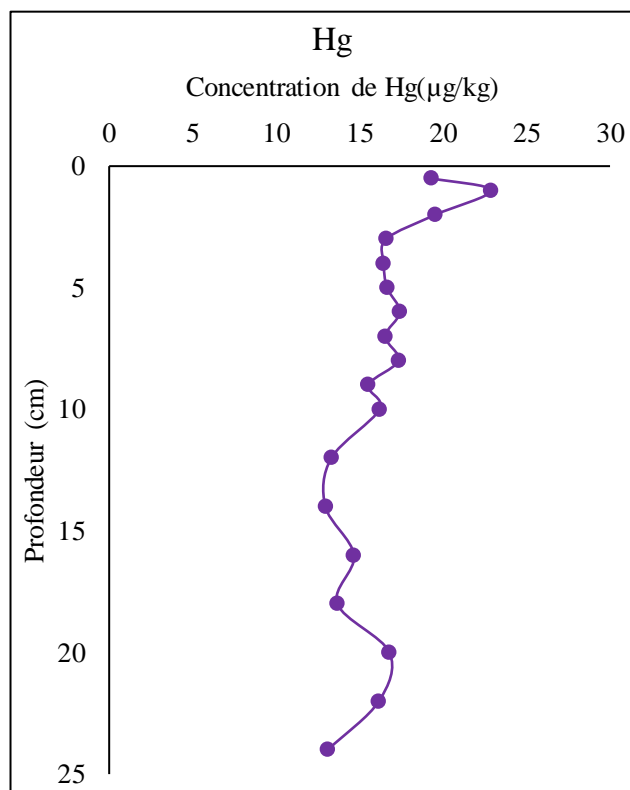


Figure 29 : Profil vertical des concentrations du mercure (Hg) dans le sédiment de la carotte de l’oued Chélif.

Tout le long de la carotte, les concentrations du mercure (Hg) diminuent progressivement à partir de la couche superficielle (0.5-1) où on observe le maximum.

Le mécanisme dominant qui fait l’origine du mercure dans le sédiment est l’adsorption et l’association du mercure avec les particules (argiles, oxydes, matière organique). Une grande partie du mercure particulaire reste associé et captivé à la phase particulaire (Cossa & Ficht, 1999).

Dans les zones fluviales et côtières, la gamme de concentration en mercure total des sédiments de surface est beaucoup plus importante. Les plus fortes concentrations sont souvent mesurées à proximité d’industries, en particulier celles de production de chlore et de soude (Foucher, 2002).

Le tableau en-dessous récapitule quelques résultats du Hg des autres travaux dans d'autres régions.

Tableau 7 : comparaison des concentrations du mercure (Hg) du sédiment de l'embouchure de l'oued Chélif avec celles des autres travaux de trois régions littorales (Est, Ouest et centre).

Zone	Concentration du mercure [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Référence
Oued Chélif (2020)	22.88	Présent travail
Port d'Annaba (2011)	2040	(Artoune, 2015)
Port d'Alger (2010)	1280	
Port d'Oran (2009)	840	
St Gabès1 Tunisie (2004)	2100	(Chouba & Mzoughi-Aguir, 2006)
Etang de Thau France (1991)	310	(Pena & Picot, 1991)

Selon ce tableau, on remarque que les concentrations du mercure (Hg) dans les sédiments de la carotte de l'Oued Chélif sont très largement inférieures à celles obtenues par d'autres études en Algérie et en mer méditerranée.

Les sédiments de la carotte de l'oued Chélif ne présentent pas une contamination chimique par le mercure en vue de leurs faibles teneurs en mercure (0.01 mg/kg) qui est inférieure à 0.5 mg/kg, valeur norme fixée par la convention d'OSPAR (1997).

Conclusion

Conclusion

Conclusion générale

L'Objectif principal de cette étude était d'étudier la qualité radiologique et chimique des sédiments de l'embouchure de l'Oued Chélif (W. de Mostaganem) à travers une caractérisation radiologique et chimique, afin de qualifier son environnement.

A cet effet, une carotte de sédiment de 24 cm de longueur a été prélevée au niveau de l'embouchure d'Oued Chélif. Elle a fait l'objet d'un comptage direct par spectrométrie gamma, pour déterminer le niveau de la radioactivité dans les différentes couches de cette carotte. Cette analyse a révélé la présence des radionucléides d'origine naturelle issus des familles de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K et l'absence du radioélément artificiel ^{137}Cs . En plus, la majorité des profils verticaux des radioéléments d'intérêts dans la carotte montrent une décroissance radioactive avec la profondeur.

Les risques radiologiques résultant ont été estimés à l'aide de divers indices de risque radiologique (Radium Equivalent Activity (Raeq), External Hazard Index (Hex) et Representative Gamma Index (I_γ)). Les résultats montrent que les valeurs obtenues sont inférieures aux limites de précaution fixés par (UNSCEAR, 2000). A la lumière de ces résultats on peut conclure que cette radioactivité naturelle ne présente aucun risque radiologique sur l'environnement.

L'analyse de mercure (Hg) a révélé des concentrations plus au moins faibles à l'état de traces, elles varient entre 19.95 et 22.88 µg/Kg. Ces concentrations ne présentent pas une contamination comparée aux normes fixées par la convention d'OSPAR 1997.

Enfin, il est également essentiel de poursuivre cette étude à travers la surveillance continue de la qualité radiologique et chimique des sédiments de l'Oued Chélif, afin de suivre les éventuelles évolutions et contamination prendre des mesures correctives en cas de dépassement des seuils réglementaires pour préserver cet écosystème fluvial vital.

Bibliographie

Bibliographie

Accord de Paris sur le climat (2015).

Agouar, K., Ait Abdelmalek, T. (1994). *Evaluation de la radioactivité naturelle et artificielle dans le sédiment superficiel de la baie d'Alger. (Par spectrométrie gamma).* Mémoire d'ingénieur d'état. Aménagement du Littoral. Dely Brahim : ENSSMAL, p 12.

Ancellin, J., Guegueniat, P., Cermain, P. (1979). *Radioécologie marine : Étude et devenir des radionucléides rejetés en milieu marin et application à la radioprotection.* France. (Eyrolles,), p 132.

Artoune, F. (2015). *Degré de pollution marine par les métaux lourds dans les sédiments superficiels des principaux ports algériens.* [En ligne]. [Consulté le 15 mars 2023]. Disponible sur le web : <http://www.paralia.fr>

Aurélien, G., Géraldine, D. (2008). *La connaissance des éléments traces métalliques : Un défi pour la gestion de l'environnement.* France : INERIS, p1-6.

Bassin versant Oued Chélif. (2008). [En ligne]. [Consulté le 02 février 2023]. Disponible sur le web : <https://www.semanticscholar.org/>.

Ben Tekaya, M. (2010). *Préparation d'un matériau de référence pour la mesure de la radioactivité naturelle.* Mémoire de master. Chimie Physique. Tunisie : Université du 7 novembre à Carthage, p 20-21.

Benkaddour, B. (2018). *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie).* Thèse de doctorat en cotutelle. Chimie. France : Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) et Université de Mostaganem, p 43.

Bosia, C. (2016). *Les séries radioactives de l'uranium dans les sédiments de la rivière Gandak (Himalaya) : De la roche totale aux analyses in situ sur les minéraux séparés* Thèse doctorat. Géochimie- Chimie de l'environnement. France : Université de Strasbourg, p 13-16.

Bouhekli, H., Remini, B. (2003). Quantification du transport solide dans le bassin versant algérien du Chélif. Algérie : *Ingénierie*, N°33, p 45-56.

Bougier, G., Josset, M., Bernollin, A. (2017). *Etude de la qualité radiologique et chimique des sédiments et de l'eau de la Loire dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.* France : ACRO – Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, p14.

Bibliographie

Boulvain, F. (2011). *Eléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire*. [En ligne]. [Consulté le 11 février 2023]. Disponible sur le web : <https://fr.scribd.com/document/357847397/Elements-de-Sedimentologie-et-de-Petrologie-sedimentaire>

Cadastre Hydraulique du Bassin hydrographique du Cheliff-amont Boughezol (2007). *Troisième Partie : Amont Boughezoul*. Ministre des Ressources en Eau. Agence du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez. (2007), p 01-15.

Cadastre Hydraulique du Bassin hydrographique du Côtier Dahra (2007). *Quatrième Partie : Côtier Dahra*. Ministre des Ressources en Eau. Agence du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez. (2007), p 03-15.

CANBERRA. (2010). *Génie 2000, logiciel de spectrométrie : Manuel utilisateur*.

Chouba, L., Mzoughi-Aguir, N. (2006). *Les métaux traces (cd, pb, hg) et les hydrocarbures totaux dans les sédiments superficiels de la frange côtière du golfe de gabes*. Tunisie : Salammbô, Vol. 33, p 94.

Colle, C., et al., (2005). *FICHE RADIONUCLÉIDE Césium 137 et environnement*. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire IRSN, p 01-29.

Cossa, D., Ficht, A. (1999). *La dynamique de mercure*. France :Quae amazon france, Vol. 11, p 38.

Courtine, F. (2007). *Etalonnage d'un spectromètre gamma en vue de la mesure de la radioactivité naturelle. Mesure expérimentales et modélisation par techniques de Monte-Carlo*. Thèse doctorat. Physique Corpusculaire. France : Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, p 20.

Dehane, D. (2017). *Les Radioéléments et l'Histoire de la contamination dans les Sédiments de la Côte Algéroise*. Mémoire de magister. Environnement de l'hydrosphère. Dely brahim : ENSSMAL, 21-69.

Denis, B. (1997). *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols France*. (INRA), p21.

Devallois, V. (2009). *Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux*. Thèse doctorat. Sciences de l'Environnement. France : Université de Provence, p14-29.

Bibliographie

Douaoui, A., Gascuel-Oudou, C., Walter, C. (2004). Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif. Algérie. *Étude et Gestion des Sols*, p381-384.

Dziri, S. (2013). *Etude expérimentales et simulations Monte Carlo en spectrométrie γ : Correction des effets de cascade et de matrice pour des mesures environnementales.* Thèse doctorat. Physique. France : Université de Strasbourg, p37.

El Hajjami, et al., (2021). *Study of metallic contamination of Oued Sebou sediments, Morocco* : Environmental Technology et Innovation, p 01-12.

El Houssainy, A. (2020). Apports et géochimie sédimentaire des éléments traces métalliques dans deux zones côtières méditerranéennes urbanisées. Thèse doctorat, Chimie de l'Environnement. *Beyrouth Liban et Toulon France*, p28-44.

Foucher, D. (2002). *Géochimie du mercure dans des sédiments estuariens et côtiers : Cas de la Seine (France) et de la baie de Kastela (Croatie).* Thèse doctorat. Spectrochimie, Molécules, Solides, Réactivité.. France : Université des sciences et technologies de Lille, p 05-113.

Gambini, denis-J., Granier, R. (2007). *Manuel pratique de radioprotection (3ème).*p 03-127.

Gasser, E. (2014). *Spectrométrie γ au laboratoire et in situ : Développements et applications environnementales.* Thèse doctorat. Physique Subatomique, France : Université de Strasbourg. [En ligne]. [Consulté le 23 janvier 2023]. Disponible sur le web : <http://www.theses.fr/2014STRAE007/document>, p 19-30.

Henner, P., & Garcia-Sanchez, L. (2002). *Fiche radionucléide Thorium 232 et environnement.* Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire IRSN, p 02-13.

Henner, P., & Garcia-Sanchez, L. (2003). *Fiche radionucléide Bismuth 210 et environnement.* Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire IRSN, p 02-12.

IRSN. (2004). *Le devenir des radionucléides dans le milieu marin.* [En ligne]. [Consulté le 29 janvier 2023]. Disponible sur le web : <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/radioecologie-marine-0>.

IRSN. (2008). *Eléments pour la caractérisation radiologique des matières et effluents en application de l'arrêté du 25 mai 2005.* [Rapport d'activité. Document non publié]. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire IRSN, p 05-06.

IRSN. (2013). *Thorium-232*, p 01-03.

Bibliographie

- Kerdjoudj, M. H., Kadi-Hanifi., et al (2007).** *Distribution de la radioactivité artificielle, ^{137}Cs , ^{241}Am et isotopes du plutonium, et de la radioactivité naturelle, ^{210}Pb , dans des colonnes d'eau et des carottes de sédiment le long du littoral algérien.* Thèse doctorat. Sciences Nucléaires. Algérie : Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, p 01-35.
- Klotz, F., Le Clech, L., Bergdolt, J. (2018).** *La radioactivité- les radioéléments aux applications scientifiques.* (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Vol. 20). [En ligne]. [Consulté le 28 janvier 2023]. Disponible sur le web : www.cea.fr.
- Lakehal, C. (2020).** *Quantification des radionucléides naturels et artificiels dans l'environnement par la spectrométrie gamma : Mesures expérimentales et simulation par le code GEANT3.* Thèse doctorat. Rayonnement et Applications. Algérie : Université des Frères Mentouri Constantine 1, p16.
- Lascar, E. (2019).** *Comportement du radium et ses ascendants radioactifs dans les sols et transfert dans les végétaux terrestres.* Thèse doctorat. Géochimie. France : Université de Strasbourg, p 11.
- Laurette, J. (2011).** *Rôle de la spéciation de l'Uranium sur sa bioaccumulation, son transport et sa toxicité dans les plantes Application à la phytoremediation.* Thèse doctorat. Biologie Végétale. France : Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. AgroParisTech, p 01-03.
- Lavandier, P. (1979).** *Cycle biologique, croissance et production de *rhithrogena loyolaea navas* (ephemeroptera) dans un torrent pyreneen de haute montagne.* France : Annlis Limnol, p 163-179.
- Le Gouche, C. (2017).** *Sédimentation de la matière organique dans les bassins profonds : Cas du Bassin Arctique à l'Eocène* Thèse doctorat. Sciences de la terre. France : UNIVERSITÉ DE RENNES 1, p 45.
- Le Petit, G., Granier, G. (2002).** *Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement.* France : Tec et Doc, 45-103.
- Leconte, P. (2006).** *Développement et optimisation de techniques de mesure par spectrométrie gamma- maîtrise et réduction des incertitudes associées.* Thèse doctorat. Physique des réacteurs. France : Université de Clermont-Ferrand II, p 32.

Bibliographie

Loustau Cazalet, M. (2012). *Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques – Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques.* Thèse doctorat, Chimie, Procédés, Environnement de Lyon. France : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, p 26.

Marciulioniene, D., Luksiene, B., Jefanova, O. (2015, juin 22). Accumulation and translocation peculiarities of ^{137}Cs and ^{40}K in the soil-plant system. *Journal of Environmental Radioactivity*. [En ligne]. [Consulté le 22 avril 2023]. Disponible sur le web : www.elsevier.com/locate/jenvrad

Meguellati, A., & Sraoui, A. el M. (2012). *Les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et de la baie Bou-Ismaïl.* Mémoire de master. ENVIRONNEMENT. Dely brahim : ENSSMAL. p 65-73.

Meguenni, K., & Remini, B. (2008). Évaluation du débit solide dans le bassin versant de harreza (algerie). *larhyss Journal*. [En ligne]. [Consulté le 02 mai 2023]. Disponible sur le web : <https://www.semanticscholar.org/paper/EVALUATION-DU-DEBIT-SOLIDE-DANS-LE-BASSIN-VERSANT-Meguenni-Remini/1b3ef907328f5838c2fc67b98f0ad608068286e0>

Milestone DMA-80 User Manual. (2014). *DMA-80 USER MANUAL.* Milestone helping chemists.

Miralles, J. (2004). *Étude couplée des radionucléides et des isotopes stables du plomb en Méditerranée Occidentale.* Thèse doctorat. Géosciences de l'Environnement. France : Université P. CEZANNE, p 02-42.

Moukhchan, F., Ammari, M., Ben Allal, L. (2011). *Caractérisation physico-chimique des sédiments marins du littoral de Tanger et perspectives de valorisation.* Maroc : Faculté des Sciences et Techniques, p 04-06.

Nait Mohand, H. (2016). *Contribution à l'évaluation de la qualité du milieu dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl* Mémoire de master. Management de la Qualité Totale et Sécurité des Aliments. Algérie : Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, p 04-08.

Nasri, M. (2010). *Etude et exploitation d'un mini spectromètre germanium portable.* Mémoire d'ingénieur. Sciences Appliquées et en Technologie. Tunisie : Université du 7 novembre à Carthage, p 10-51.

Noureddine, A. (2007). *Distribution de la radioactivité artificielle, ^{137}Cs , ^{241}Am et isotopes du plutonium, et de la radioactivité naturelle, ^{210}Pb , dans des colonnes d'eau et des carottes*

Bibliographie

de sédiment le long du littoral algérien. Thèse doctorat d'état. Sciences Nucléaires. Algérie : Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), p 96-121.

Noureddine, A., & Baggoura, B. (1997). *Plutonium Isotopes, ^{137}Cs , ^{131}I - and Natural Radioactivity in Marine Sediments from Ghazaouet Algeria* : Environ. Radioactivity, Vol. 34, p 01-17.

Nussbaum, J. (2003). *Les familles radioactives*. [En ligne]. [Consulté le 14 février 2023]. Disponible sur le web : <https://www.chemphys.fr/mpb/teach/jean/jeannuss/8.htm>

Ould Ali, O. (2018). *Impact des décharges à ciel ouvert sur la qualité environnementale de l'Oued Chélif (Algérie)* Thèse en cotutelle. Chimie. France : Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) et Université de Mostaganem, p 31.

Paradis, H. (2016). *Développement de la mesure par spectrométrie γ en coïncidence*. Thèse doctorat. Imagerie médicale et radioactivité. France : Université de Paris-Saclay, p 16.

Pena, G., Picot, B. (1991). *Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne : L'étang de Thau*. France : OCEANOLOGICA ACTA 1991- VOL. 14 - N°5, p 460-464.

Perele, L. W. (2009). *Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments*. France: Journal of Hazardous Materials, p 82.

Rusch, B. (2010). *Etude spectroscopique en conditions hydrodynamiques contrôlées du transfert des espèces organiques à l'interface minéral / solution*. Thèse doctorat, Chimie et Physico-chimie Moléculaires. France : Université Henri Poincaré - Nancy 1, p 15-41.

Saad, H. R., Al-Azmi, D. (2002). Radioactivity concentration in sediments and their correlation to the coastal structure in Kuwait. *Applied Radiation and Isotopes*, 56(6), p 991-997. [En ligne]. [Consulté le 07 février 2023]. Disponible sur le web : [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(02\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(02)00061-1)

Saby, N., et al. (2006). *Geostatistical assessment of Pb in soil around Paris*. France : Science of the total environment, p 212 - 221.

Schmidt, S., et al (1998). *Distribution and fluxes of ^{226}Ra and ^{228}Ra in the Irish Sea and in the English Channel, in relation to hydrological conditions and sediment interactions*. France : Radiation Protection Dosimetry Vol. (75), p 65-67.

Société Nucléaire Canadienne. (2008). [En ligne]. [Consulté le 28 avril 2023]. Disponible sur le web : www.cns-snc.ca/ecc/cnsecc_fr.html

Bibliographie

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. Océanologie - Climatologie]. Dely Brahim : ENSSMAL, p 19-82.

Taieb Errahmani, et al (2020). *Environmental radioactivity in a sediment core from Algiers Bay: Radioecological assessment, radiometric dating and pollution records*, Dely Brahim ENSSMAL, p 01-12.

Thomassin, J. F., Touze, S. (2003). *Le mercure et ses composés Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments*. France : BRGM/RP-51890-FR, p 02-121.

Tikpangi Kolo, M., Khandaker, M. U., Mohd Amin, Y. (2016). *Quantification and Radiological Risk Estimation Due to the Presence of Natural Radionuclides in Maiganga Coal, Nigeria*. PLOSone, p 01-13.

Till, J. E., Grogan, H. (2008). *Radiological Risk Assessment and Environmental Analysis*.

Trabelsi, Y., et al (2012). *Recent sedimentation rates in Garaet El Ichkeul Lake, NW Tunisia, as affected by the construction of dams and a regulatory sluice*. Tunisie : J Soils Sediments, p 02-13.

UNSCEAR. (2000). *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (Vol. 1). New York: UNSCEAR, p 659.

Annexes

Annexes

Tableau 01 : Taux d'humidité de la carotte de sédiment de l'embouchure de l'Oued Chélif.

N° Ech	Ce Echt	Frais net (g)	sec net (g)	Taux d'humidité (%)	Observation
1	CP2(0-0,5)	71,3226	49,7769	30,20879777	filament, sable vaseux, débris de coquille
2	CP2(0,5-1)	36,4826	26,4361	27,53778514	sable vaseux, débris de coquille
3	CP2(1-2)	94,6626	71,6942	24,26343667	sable vaseux, débris de coquille
4	CP2(2-3)	97,1626	74,7219	23,09602666	débris de coquille, filament, sable fin
5	CP2(3-4)	92,4626	71,5773	22,58783551	vase
6	CP2(4-5)	96,2626	75,0294	22,05757999	vase, débris de coquille, pierre
7	CP2(5-6)	92,2726	71,9335	22,04240479	filament, pierre blanche, débris de coquille, vase
8	CP2(6-7)	98,3826	76,7653	21,97268623	filament, débris de coquille, vase
9	CP2(7-8)	96,9726	75,9406	21,6886007	pierre blanche
10	CP2(8-9)	98,7826	77,5211	21,52352742	vase, débris de coquille
11	CP2(9-10)	98,8826	77,7165	21,40528263	vase, débris de coquille
12	CP2(10-12)	195,7326	153,7098	21,46949461	vase, débris de coquille
13	CP2(12-14)	202,2926	159,2994	21,25297712	petite coquille, débris de coquille
14	CP2(14-16)	198,6326	156,3295	21,29715867	débris de coquille, filament, vase, pierre
15	CP2(16-18)	198,8726	156,6861	21,2128267	filament, vase
16	CP2(18-20)	194,2026	153,0132	21,20949977	vase, débris de coquille
17	CP2(20-22)	196,6826	154,5778	21,40748597	vase, débris de coquille
18	CP2(22-fin)	202,7552	159,565	21,30164849	coquilles, filament, vase

Annexes

Tableau 02 : Taux de la matière organique de la carotte de sédiment de l'embouchure d'Oued Chélif.

N° Ech	Code Ect	P1 séd avant(g)	P2 séd après (g)	Taux de MO (%)
1	CP2(0-0,5)	0,38	0,34	10,05
2	CP2(0,5-1)	0,28	0,25	9,88
3	CP2(1-2)	0,44	0,40	9,73
4	CP2(2-3)	0,48	0,43	9,99
5	CP2(3-4)	0,51	0,46	9,78
6	CP2(4-5)	0,72	0,65	9,64
7	CP2(5-6)	0,45	0,41	10,22
8	CP2(6-7)	0,55	0,50	9,63
9	CP2(7-8)	0,89	0,81	9,79
10	CP2(8-9)	0,64	0,57	9,77
11	CP2(9-10)	0,72	0,65	9,61
12	CP2(10-12)	0,72	0,65	9,76
13	CP2(12-14)	0,70	0,63	9,79
14	CP2(14-16)	0,64	0,57	9,746
15	CP2(16-18)	0,63	0,56	10,80
16	CP2(18-20)	0,45	0,40	10,63
17	CP2(20-22)	0,78	0,70	10,65
18	CP2(22-fin)	1,42	1,26	10,98

Annexes



FIGURE 01 : échantillons dans des géométries de comptage (120g).



FIGURE 02 : les échantillons stockés pendant 21 jours pour l'équilibre séculaire

Annexes

Tableau 3 : Résultats de répétabilité appliqué sur les échantillons de sédiment 1, 11 et 18. Récapitulatif de La moyenne et l'écart-type de l'échantillon du blank

code	1	2	3	Moy	SD	RSD(%)	Calfacteur	LD	LQ
CP2(0-0,5)	20,2794	19,9502	17,7079	19,31	1,40	7,25	1.0622	0.7781796	2.35812
CP2(9-10)	16,0291	16,117	16,4423	16,20	0,22	1,34			

Tableau 4 : le cal facteur calculé à partir de l'analyse de l'échantillon d'inter calibration AIEA-457.

Cal Facteur	theorecal value	measured value
1,0622	143	134,63

Tableau 5 : valeurs des blanc, la moyenne et l'écart-type.

Blank	absorbance
1	0,286
2	0,2849
3	0,2533
4	0,5924
5	0,3637
6	0,373
7	0,41
8	0,66
9	0,4034
10	0,3035
Moy	0,39
SD	0,13

Annexes

Tableau 06 : Activité Minimale Détectable (AMD) (Bq/Kg) des radionucléides d'intérêt dans les différentes couches de la carotte de sédiment l'oued Chélif.

Code Echantillon	AMD ± 6AMD						
	Pb-210	U-238	Pb-212	Pb-214	Bi-214	Ac-228	K-40
CP2 (0-0.5)	2,38 ± 0,59	2,72±0,02	0,42±00	0,41±0,01	0,55±0,01	0,81±0,07	10,31±0,02
CP2 (0.5-1)	3,88±0,95	4,48±0,04	0,70±00	0,69±0,02	0,94±0,02	1,39±0,11	17,68±0,03
CP2 (1-2)	1,78±0,45	2,02±0,02	0,3±00	0,29±0,01	0,39±0,01	0,57±0,05	7,22±0,02
CP2 (2-3)	1,4±0,34	1,44±0,02	0,16±00	0,26±00	0,33±00	0,46±0,02	4,19±0,02
CP2 (3-4)	1,55±0,4	1,74±0,02	0,16±00	0,24±0,01	0,32±0,01	0,46±0,04	5,81±0,02
CP2 (4-5)	2,47±0,58	2,56±0,04	0,31±0,01	0,48±0,01	0,62±0,01	0,88±0,04	8,01±0,03
CP2 (5-6)	1,73±0,44	1,94±0,02	0,28±00	0,27±0,01	0,37±0,01	0,54±0,04	6,84±0,02
CP2 (6-7)	1,72±0,43	1,93±0,02	0,28±00	0,27±0,01	0,37±0,01	0,54±0,04	6,79±0,02
CP2 (7-8)	1,78±0,44	2,01±0,02	0,29±00	0,29±0,01	0,39±0,01	0,57±0,05	7,17±0,02
CP2 (8-9)	1,72±0,43	1,94±0,02	0,28±00	0,27±0,01	0,37±0,01	0,54±0,04	6,82±0,02
CP2 (9-10)	2,12±0,42	2,47±0,02	0,37±00	0,6±00	0,59±00	1±0,01	7,78±0,02
CP2 (10-12)	2,95±0,74	2,98±0,04	0,32±0,01	0,51±0,01	0,64±0,01	0,91±0,04	8,2±0,04
CP2 (12-14)	1,31±0,33	1,32±0,02	0,14±00	0,22±00	0,28±00	0,4±0,02	3,59±0,02
CP2 (14-16)	1,38±0,35	1,39±0,02	0,15±00	0,23±00	0,29±00	0,42±0,02	3,76±0,02
CP2 (16-18)	2,69±0,68	2,71±0,04	0,29±0,01	0,46±0,01	0,58±00	0,82±0,04	7,36±0,03
CP2 (18-20)	2,89±0,72	2,92±0,05	0,32±0,01	0,50±0,01	0,63±0,01	0,9±0,04	8,09±0,04
CP2 (20-22)	1,48±0,4	1,63±0,02	0,21±00	0,20±0,01	0,27±00	0,39±0,03	4,91±0,02
CP2(22-24)	1,48±0,37	1,48±0,02	0,16±00	0,25±00	0,31±00	0,44±0,02	4±0,02

Annexes

Tableau 07 : Indices radiologiques des sédiments de l'oued Chélif.

Code Echantillon	Ra-eq	H ex	I_{yr}
CP2 (0-0.5)	89,68	0,24	0,67
CP2 (0.5-1)	153,04	0,41	1,14
CP2 (1-2)	91,10	0,25	0,68
CP2 (2-3)	73,09	0,20	0,54
CP2 (3-4)	75,39	0,20	0,56
CP2 (4-5)	87,52	0,24	0,65
CP2 (5-6)	69,86	0,19	0,51
CP2 (6-7)	77,16	0,21	0,57
CP2 (7-8)	70,79	0,19	0,52
CP2 (8-9)	79,38	0,21	0,59
CP2 (9-10)	101,57	0,27	0,76
CP2 (10-12)	79,50	0,21	0,59
CP2 (12-14)	84,68	0,23	0,63
CP2 (14-16)	84,74	0,23	0,63
CP2 (16-18)	68,73	0,19	0,51
CP2 (18-20)	80,29	0,22	0,60
CP2 (20-22)	81,85	0,22	0,61
CP2(22-24)	74,47	0,20	0,55

Introduction

La pollution est omniprésente dans l'environnement d'aujourd'hui tant que le milieu aquatique que le milieu terrestre, qui y engendre laisse des traces marquantes voire indélébiles pour l'humanité.

De ce fait, et à partir de notre travail de projet de fin d'étude, l'idée de création d'un laboratoire d'analyse des métaux lourds.

Un Business Modèle Canvas (BMC) est réalisé pour transcrire le modèle économique de notre laboratoire. Ce modèle contient 9 cases spécifiques qui sont :

Activité principale

Réaliser des analyses

La surveillance de la radioactivité est un processus crucial visant à mesurer, surveiller et contrôler les niveaux des métaux lourds. Cette analyse vise à

- Détecter d'éventuelles anomalies et caractériser toute élévation de la pollution afin notamment de contribuer à la protection des populations et des écosystèmes.
- S'assurer que l'environnement reste dans un état d'une pollution satisfait.

Valeur ajoutée

Ce bureau d'étude apporte une valeur ajoutée se manifeste dans :

- Le premier bureau d'étude qui traite des études de la surveillance in situ.
- Evaluation des impacts environnementaux des activités humaines.

Ce service de contrôle permet de mieux comprendre, évaluer et gérer les risques environnementaux.

Ressources clés

- Local : l'appartement se situe à Didouche Mourad –Alger-
- Instruments de mesures
- Logiciel : logiciel spécialisé dans la modélisation et l'analyse des données de la surveillance.
 - Matériel bureautique :5 bureaux et 10 chaises.
 - Matériel informatique : trois ordinateurs.
 - Expertises scientifiques : une équipe de 2 personnes : ingénieur, technicien.
 - Règlementations et les normes.

Clients

- Ministère de l'environnement.
- Ministère de la pêche.
- Organismes gouvernementaux.
- Centres de recherches.
- Bureaux d'études.
- Universités.
- Les laboratoires.
- Les sociétés environnementales.
- Entreprises.
- Les industries.

Relation client

- Rapports détaillés et simplifié pour la lecture.
- Précision des mesures en suivant les normes réglementaires et contrôle qualité.
- Conseils appropriés après chaque réalisation d'un rapport bien interprété.
- Contrats.
- Communication.

Canaux de distribution

- Vente direct.
- Distribution en ligne.
- Salons et foires commerciales.
- Réseaux professionnels.
- Publicité.

Structure des coûts

- *coûts fixes*
 - 3 Expertises scientifiques.
 - Impôt et Taxes.

Annexes

- L'assurance.
- Local.
- Marketing.

- *coûts variables*
 - Logiciel
 - Électricité

- *coûts d'investissement*
 - Instrument de mesure.
 - Matériel bureautique.
 - Matériel informatique.
- ***Structure des coûts***
- *Coûts fixes*
 - 2 Expertises scientifiques.
 - Impôt et Taxes.
 - L'assurance.
 - Local.
 - Marketing.
- *coûts variables*
 - Logiciel
 - Électricité
- *coûts d'investissement*
 - Instrument de mesure.
 - 5 Matériel bureautique.
 - 3 Matériel informatique

		mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
solde de liquidité	ventes quantitatives	4	4	4	4	4	4
	prix	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00
	Numéro d'entreprise	2 000 000,00	2 000 000,00	2 000 000,00	2 000 000,00	2 000 000,00	2 000 000,00
	solde de départ		1 000 000,00	11 000 000,00	12 000 000,00	13 000 000,00	
Encaisser immédiatement Plus tard (au bout d'un mois)	Recettes en espèces(paiement clients)immédiatement	100 000,00	200 000,00	200 000,00	200 000,00	200 000,00	200 000,00
	Recettes en espèces(paiement clients)plus tard						
	total des encaissements par mois	100 000,00	1 200 000,00	11 200 000,00	12 200 000,00	13 200 000,00	
encaisser immédiatement plus tard (au bout d'un mois)	Paiements en espèces instantanés aux fournisseurs immédiatement						
	Paiements en espèces instantanés aux fournisseurs plus tard						
	Total des paiements en espèces par mois						
	solde de liquidité	100 000,00	300 000,00	1 300 000,00	1 400 000,00	1 500 000,00	

Le coût du projet

Agencements	Équipement de travail	1 200 000,00	
	Matériel de bureau	200 000,00	
	Matériel d'informatique	120 000,00	
			1 520 000,00
besoins en fonds de roulement	marketing	60 000,00	
	Impôt et Taxes	50 000,00	
	local	300 000,00	
	salaires	120 000,00	
	Amortissements	30 000 000,00	
	assurance	1104000,00	
	2 Expertises scientifiques.	80 000,00	31 694 000,00

Total (coût du projet)		33 214 000,00
-------------------------------	--	----------------------

	Passifs		Actifs		
ressources permanentes	2 000 000,00	Capital social	1 200 000,00	Équipement de travail	ressources permanentes
			200 000,00	matériel de bureau	
	2 400 000,00	Dettes à long et moyen terme	120 000,00	Equipement d'informatique	
	1 000 000,00	Autres Dettes			
Ressources périodiques		Dettes fournisseurs	1 000 000,00	Actions	Ressources périodiques
			-	Droits	
			500 000,00	actifs (trésorerie)	
	5 400 000,00		3 020 000,00	Total	

Calcul du rendement			
1	Chiffre d'affaires (ventes x prix) C.A	24 000 000,00	100%
2	charges variables (CV)	4 000,00	0%
3	Marge sur charges variables (M/CV)	23 996 000,00	100%
4	charge fixes(CF)	4 286 000,00	18%
5	Résultat	19 710 000,00	82%
6	Seuil de rendement (chiffre d'affaires minimum)	4 286 714,45	
7	Seuil de rendement (quantité)	6	
8	Seuil de rendement (nombre de jours)	65	

Les coûts de projet dans la deuxième année c'est : 1694000,00 DA.

Sources de revenus

L'achat de l'expertise.

Dans la première année le revenu est 27214 000,00 (DA) il est négatif du fait que le matériel est très cher.

Dans la deuxième année et la troisième le revenu va être : **4306 000,00 (DA)**

Business Model Canvas

Nom de l'entreprise : *Bureau d'Etude de la Surveillance et la prospection de la Radioactivité.*

Date: 18/07/2023

<p>Partenaires clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Financement (ANADE) • Ministère de l'environnement. • Ministère de la pêche. • Les centres des recherches. • Bureaux d'études. • Fournisseurs de Technologies et équipements. • Entreprises. • Infographe. 	<p>Activités clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réaliser des études de la surveillance in situ de la radioactivité. 	<p>Valeur ajoutée</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le premier bureau d'étude qui traité des études de la surveillance in situ. • Evaluation des impacts environnementaux des activités radiologiques. 	<p>Relation client</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rapports détaillés. • Précision des mesures. • Conseils personnalisés. • Contrats. • Communication. 	<p>Segments de clientèle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'environnement. • Ministère de la pêche. • Organismes gouvernementaux. • Centres de recherches. • Bureaux d'études. • Universités. • Les laboratoires. • Les sociétés environnementales. • Entreprises. • Les industries.
	<p>Ressources clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Local • Instruments de mesures. • Logiciel. • Matériel bureautique. • Matériel informatique. • Expertises scientifiques. • Règlementations et les normes. 		<p>Canaux de distribution</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vente direct. • Distribution en ligne. • Salons et foires commerciales. • Réseaux professionnels. • Publicité. 	

Structure des coûts

- *coûts fixes*
 - 3 Expertises scientifiques.
 - Impôt et Taxes.
 - L'assurance.
 - Local.
 - Marketing.
- *coûts variables*
 - Logiciel
 - Électricité
- *coûts d'investissement*
 - Instrument de mesure.
 - Matériel bureautique.
 - Matériel informatique.

33 214 000,00 DA

Sources de revenus

- L'achat de l'expertise.

27214000,00 DA

Résumé

Résumé

Les sédiments sont des récepteurs finaux auxquels s'acheminent tous les polluants radioactifs et non radioactifs et chimiques à partir de la colonne d'eau. La présence de ces polluants avec des concentrations élevées dans l'écosystème présente un impact pour l'homme et son environnement.

Ce mémoire présente une étude sur la qualité radiologique et chimique des sédiments de à l'embouchure de l'Oued Chélif. L'objectif principal est d'évaluer le niveau de contamination radiologique et chimique des sédiments.

Les échantillons prélevés sont analysés directement par la technique de spectrométrie gamma et l'analyseur du mercure DMA-80.

Les résultats obtenus montrent clairement la présence d'une radioactivité d'origine naturelle et des concentrations en mercure à l'état de traces dans la carotte. Selon l'évaluation des indices de risques radiologiques il n'y a aucun impact néfaste sur l'homme et l'environnement.

Mots clés : Radioactivité, Sédiments, Spectrométrie gamma, DMA-80, mercure

Abstract

Sediments are the final receptors to which all radioactive and non-radioactive pollutants and chemicals are transported from the water column. The presence of these pollutants at high concentrations in the ecosystem has an impact on humans and their environment.

This thesis presents a study of the radiological and chemical quality of sediments located at the mouth of Oued Cheliff, the main objective being to assess the level of radiological and chemical contamination of the sediments.

The samples taken were analysed directly using the gamma spectrometry technique and the direct mercury analysis DMA-80.

The results show clearly the presence of naturally occurring radioactivity and trace concentrations of mercury in the sediment. According to the radiological risk index assessment, there is no harmful impact on humans and environment.

Key words: Radioactivity, sediment, gamma spectrometry, DMA-80, mercury.

ملخص

الرواسب هي المستقبلات النهائية التي تنتقل إليها جميع الملوثات المشعة وغير المشعة والكيميائية من عمود الماء. يؤدي وجود هذه الملوثات بتركيزات عالية في النظام البيئي إلى تأثيرات على الإنسان وبيئتهم.

تقدم هذه الأطروحة دراسة عن الجودة الإشعاعية والكيميائية لرواسب مصب وادي الشلف، الهدف الأساسي هو تقييم مستوى التلوث الإشعاعي والكيميائي لهذه الرواسب

تم تحليل العينات المأخوذة مباشرة بواسطة تقنية قياس الطيف جاما ودما-80

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح وجود نشاط إشعاعي من أصل طبيعي. وآثار تركيزات الزئبق في الرواسب. وفقا لتقييم مؤشرات المخاطر الإشعاعية المحسوبة من الأنشطة. نستنتج انه لا يوجد أي تأثير ضار على البيئة.

الكلمات المفتاحية: النشاط الإشعاعي، الرواسب، مطياف جاما، دما-80، الزئبق