



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN CHIMIE

Spécialité : Chimie de l'environnement

Par :

M^{elle} Benabdallah Soumia

et

M^{elle} Megherbi Narimen

Sur le thème

Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les différents substrats de l'ouest algérien

Soutenu publiquement le 09 juin 2019 à Tlemcen, devant le jury composé de :

Mme LOUHIBI Samira

Pr. U. Tlemcen

Présidente

Mme KAID SLIMANE Nacéra

Pr. U. Tlemcen

Encadreur

Mr BENGUELLA Belkacem

Pr. U. Tlemcen

Examineur

*Laboratoire Chimie Inorganique et Environnement (LCIE)
BP 119, 13000 Tlemcen - Algérie*

REMERCIEMENTS



Louange à Dieu, Seigneur tout puissant

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement du Département de Chimie, Faculté des Sciences de l'Université Abou-Baker BELKAID de Tlemcen, sous la direction de Professeur MOKHTARI Malika, Professeur à l'Université de Tlemcen. Nous remercions toute l'équipe de laboratoire.

Nous remercions madame Professeure SEKKAL Samira directrice du laboratoire Toxicomed pour avoir accueillie et avoir mis à notre disposition tous les moyens et matériels du laboratoire pour mener à bien notre travail.

Nous tenons à remercier infiniment notre cher encadreur Madame KAID SLIMANE Nacéra, Professeur à l'Université Abou-Baker BELKAID de Tlemcen pour son aide tout au long de notre période de travail, pour son écoute et pour ses conseils avisés, mais aussi pour sa patience. Nous vous remercions pour votre soutien, Merci madame.

Nous remercions Madame LOUHIBI Samira Professeur à l'Université Abou-Baker BELKAID de Tlemcen, d'avoir accepté de nous faire l'honneur de présider le jury de ce travail. Nous lui en serons toujours reconnaissantes.

Nous remercions vivement Monsieur BENGUELLA Belkacem professeur à l'Université Abou-Baker BELKAID de Tlemcen pour avoir honoré d'examiner et de juger ce travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

BENABDALLAH Soumia

MEGHERBI Narimen

DEDICACES

Un mémoire n'est pas le fruit d'un travail de son auteur, mais le résultat de plusieurs collaborations Il y a certaines satisfactions que les mots et les phrases parviennent difficilement à les exprimer. Pour cela je dédie mon travail :

A mes chers Parents

PAPA et МАМА, de tous les parents, vous êtes meilleurs. Vous avez été et vous serez toujours un exemple pour moi par vos qualités humaines, votre persévérance et perfectionnisme.

En témoignage de brut d'années de sacrifices, de sollicitudes, d'encouragement et de prières.

Pourriez-vous trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et tous de vos efforts.

En ce jour, j'espère réaliser l'un de vos rêves, mon but est avoir votre fierté.

A mes chers frères

Abderrahmane Mustapha et Ibrahim En leurs souhaitant tout le succès et tout le bonheur, et à la mémoire de mon cher frère Boumediene ; pour son soutien j'aurais tant aimé que vous soyez présents.

A mes chères sœurs Manel, Narimen Et Marwa

Aucune dédicace ne peut exprimer tout L'amour que j'ai pour vous. Je te dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection en souvenirs de notre indéfectible union qui s'est tissée au fil des jours.

A ma famille

A tout membre de la famille BENANBDALLAH et BENKEBIL et en particulier mes cousines et cousins bien aimées.

A mon binôme

La réalisation de ce travail n'aura pas lieu sans ton aide, ça sera mémorisé par nos beaux souvenirs.

Je tiens à te remercier Narimen.

A mes amies

Votre présence, soutien, et amour jouait un rôle dans la réalisation de ce travail.

Merci à vous Fatima Zohra, Hind, Amina, Ines, Soraya, Snanaa, Meriem, Ibtisem, Hadjer, Charaf.

Et merci à tout ma promo de Chimie Inorganique et Environnement. A toute personne qui me connaissent

SOUMIA

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

A l'être le plus cher du monde ma mère qui est pour moi un bel exemple de courage, de sagesse et de sens du devoir, les mots sont bien trop faibles pour lui exprimer toute ma reconnaissance. Que dieu la garde et la protège.

Aux personnes qui étaient toujours à mes côtés, à mes chers et mes jolies sœurs Dounia zed, Meriem et Ghizelene et à mes chers frères Youcef et Riad, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs aides et leurs encouragements.

A mon Mari Abderrahmane pour ton soutien moral pour ton aide tes corrections dans chaque pas de ce travail les mots sont insuffisants pour te remercier que dieu te garde pour moi.

A ma petite princesse Serine que dieu garde pour moi.

A mes beaux-parents je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous.

Vous prières, vos encouragements et votre soutien m'ont toujours été d'un grand secours. J'implore dieu qu'il vous apporte bonheur et santé

A mes beaux-frères Mustapha et Ibrahime et mes belles-sœurs Soumia et Marwa pour votre conseils et votre soutien moral

A tout membre de la famille MEGHERBI , Benabdallah et HADJ KACEM.

A mon binôme Soumia pour m'avoir aidé à réaliser ce mémoire ça sera mémorisé par nos beaux souvenirs. Je tiens à te remercier Soumia.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur, toi : Hind, Amina, Ines, Soraya, Soumia, Sanaa, Fatima Zohra, Hadjer.

NARIMEN

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	2
<i>chapitre I : Synthèse bibliographique</i>	
I.1. La pollution	4
I.1.1. Définition de la pollution.....	4
I.1.2. Source de la pollution	4
I.1.2.1. Origine de la pollution	4
I.1.3. La pollution des eaux.....	6
I.1.3.1. Pollution marine.....	6
I.1.3.3. La pollution en Algérie	6
I.2. Métaux lourds	7
I.2.1. Définition des métaux lourds	7
I.2.2. Origine métaux.....	7
I.2.2.1. Origine naturelle des métaux.....	7
I.2.2.2. Origine anthropique	7
I.2.4. Bioaccumulation des métaux	9
I.2.4.1. Bioaccumulation.....	9
I.2.4.2. Bioconcentration	9
I.2.4.3. Bioamplification	9
I.2.5. Les principaux métaux étudiés	9
I.2.5.1. Cadmium	9
I.2.5.2. Cuivre.....	9
I.2.5.3. Fer	10
I.2.5.4. Plomb	10
I.2.5.5. Le zinc	10
I.2.6. Toxicité des métaux lourds.....	10
I.3. Matériel Biologique.....	11
I.3.1. Description.....	11
I.3.2. Anatomie.....	12

I.3.3. Ecologie de la patelle.....	13
I.4. Les algues.....	13
I.4.1. Caractérisation des algues.....	13
I.4.2. Classification	14
I.4.3. La répartition des algues.....	14
I.5. Matériel sédimentaire.....	14
I.5.1. Nature des sédiments	15
I.5.1.1. Origine	15
I.5.1.2. Composition.....	15
I.5.1.3. Origine des métaux dans les sédiments	15

chapitre II : Etude de la zone

II.1. La situation géographique.....	18
II.2. Climatologie.....	19
II.3. Hydrologie.....	19

chapitre III: Matériel et Méthodes

III.1. Echantillonnage.....	22
III.1.1. Choix des stations de prélèvement	22
III.2. Choix des échantillons	23
III.3. Choix des métaux lourds à analyser.....	24
III.4. Méthode de prélèvement	25
III.4.1. Sédiments.....	25
III.4.2. Algues.....	25
III.4.3. Patelle.....	25
III.5. Séchage, tamisage et dissection.....	26
III.5.1. Matériel sédimentaire.....	26
III.5.2. Matériel biologique.....	26
III.6. Minéralisation	26
III.6.1. Minéralisation des sédiments et des algues.....	27
III.6.2. Minéralisation de la patelle.....	27
III.7. Analyse chimique.....	28
III.7.2. Principe.....	29
III.7.3. Etalonnage.....	29

III.8. Traitement des données	30
III.8.1. Calcul d'indices	30
III.8.1.1. Indice de géo accumulation ($I_{géo}$)	30
III.8.1.2. Facteur bioaccumulation (FBA)	31
III.9. Traitement statistique	31
III.9.1. Comparaison des moyennes : ANOVA et Test de student	31
III.9.1.2. Analyses multi variées	32
III.9.1.3. Corrélation de Pearson	32

chapitre VI: Résultats et Discussion

VI.1. Sédiments	35
VI.1.1. Granulométrie	35
VI.1.2. Variations spatiales	36
VI.1.3. ACP, CAH et Corrélations appliquées aux sédiments	38
VI.1.3.1. Analyse en composante principale(ACP)	38
VI.1.3.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)	40
VI.1.4. Corrélation de Pearson	41
VI.1.5. Indice de géoaccumulation	41
IV.1.6. Comparaison de nos résultats avec quelques études antérieures	42
VI.2. Algues	44
VI.2.1. Facteur de bioaccumulation	45
VI.2.2. Comparaison de nos résultats avec la littérature	46
VI.3. Patelle	46
VI.3.1. Facteur de bioaccumulation	48
VI.3.2. Comparaison de nos résultats avec la littérature	48
VI.4. Comparaison générale entre échantillons	49
VI.4.1. ACP, CAH et Corrélations appliquées aux sédiments	49
VI.4.1.1. Analyse en composante principale(ACP)	49
VI.4.1.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)	51
VI.4.1.3. Corrélations de Pearson	52
CONCLUSION GENERALE	55

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure 1 : Cycle biogéochimique des métaux lourds	8
Figure 2 : Face ventrale de Patelle ferrugineux.....	12
Figure 3 : Situation géographique des trois stations	18
Figure 4 : Plage de Mekheled (Photo originale)	22
Figure 5 : Plage de Agla (Photo originale)	22
Figure 6 : Plage de Tafsout (Photo originale)	22
Figure 7 : Sédiments.....	24
Figure 8 : Patella ferruginea.....	24
Figure 9 : Algues (photo originale)	24
Figure 10 : Différents tailles des patelles.....	25
Figure 11 : Algues (Photo originale)	25
Figure 12 : Thermo réacteur (photo originale).....	27
Figure 13: four à moufle (photo original).....	28
Figure 14: Spectromètre d'absorption atomique à flamme (Toxicomed)	29
Figure 15 : Variations spatiales des teneurs métalliques (Fe, Cu, Zn, Cd et Pb) dans les sédiments en mg/kg	36
Figure 16 : Plan factoriel engendré par les deux premiers axes de l'ACP calculés à partir des teneurs métalliques dans les sédiments des trois stations	39
Figure 17. Dendrogramme issue de la CAH de la matrice de répartition des éléments métalliques dans les sédiments.....	40
Figure 18 : Variations spatiales des teneurs métalliques (Fe Cu, Zn, Pb et Cd) chez les algues (Enteromorpha linza) dans les deux stations (Mekheled et Tafsout)	44
Figure 19 : Comparaison entre facteurs de bioaccumulation chez les algues dans les stations (Mekheled et Tafsout)	45
Figure 20 : Variations spatiales des teneurs métalliques (Fe Cu, Zn, Pb et Cd) chez la patelle dans les deux stations Mekheled et Agla	47
Figure 21 : Comparaison entre les facteurs de bioaccumulation Chez Patella ferruginea dans les deux stations Mekheled et Agla.....	48
Figure 22 : Plan factoriel engendré par les deux premiers axes de l'ACP calculés à partir des teneurs métalliques dans les sédiments, chez les algues et les patelles.....	50
Figure 23 : Dendrogramme issue de la CAH de la matrice de répartition des éléments métalliques	51

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Types et nature de pollution (LEVEQUE, 1996).....	5
Tableau 2 : Echantillonnage au niveau des stations d'étude.....	23
Tableau 3 : Indice de géo accumulation (Igeo)	30
Tableau 4 : Analyse granulométrique des sédiments dans les trois stations.....	35
Tableau 5 : Corrélations entre les éléments métalliques dans les sédiments	41
Tableau 6 : Valeurs de l'indice de geoaccumulation dans les trois stations.....	41
Tableau 7 : Comparaison des résultats de la présence étude avec ceux de la littérature	43
Tableau 8 : Comparaison des résultats de l'algue avec la littérature.....	46
Tableau 9 : Comparaison des résultats de la patelle avec la littérature.....	49
Tableau 10 : Corrélations entre les éléments métalliques.....	52

Abréviations

Abréviations

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

ACP : Analyse En Composantes Principales.

ANOVAI : Analyse De Variance A UN Facteur.

FAO : Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture.

M.A.T.E : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

SAA : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

C.I.E : Chimie inorganique et environnement

I_{géo} : Indice de géo accumulation

FBA : Facteur bioaccumulation

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

HNO₃ : Acide nitrique

HCl : Acide chlorhydrique

Mg /kg : Milligramme par kilogramme

Min : Minute

Km : Kilomètre

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Le littoral algérien abrite sur son territoire 14 wilayas et de multiples activités. A l'échelle de notre Wilaya (74 km de façade maritime), la commune côtière de Honaine (6 km de façade maritime) est connue par sa station de dessalement, ses belles plages parfois encore à l'état sauvage (Agla, Mekheled, ...) et son port récemment construit.

La baie de Honaine est reconnue comme une zone non polluée.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui a comme objectif d'actualiser nos connaissances sur l'état actuel de cette région.

La dégradation de la qualité du milieu aquatique a des répercussions sociales et économiques importantes.

Afin de parvenir à décrire la dégradation des milieux naturels marins, il est essentiel de développer des outils d'évaluation et de suivi de la qualité de l'environnement.

Notre travail est une contribution à l'analyse des métaux dans la région de Honaine (Mekheled, Agla et Tafsout) à travers des analyses effectuées sur des sédiments superficiels, algue vert (*Enteromorpha linza*) et la patelle (*patella ferruginea*) en tant que bioindicateurs.

Notre manuscrit se divise en quatre chapitres :

- 1- **Le chapitre (I)** donne une synthèse bibliographique sur la pollution par les métaux et une description du matériel sédimentaire et biologique,
- 2- Dans le **chapitre (II)**, nous décrivons la zone étude,
- 3- **Le troisième chapitre** est consacré aux matériels et aux méthodes utilisées,
- 4- **Dans le chapitre VI**, nous donnons les résultats et leurs interprétations.

Et enfin, nous terminons par une conclusion et des perspectives.

Synthèse bibliographique

I.1. La pollution

I.1.1. Définition de la pollution

Selon **Robert (1992)** « Polluer » signifie étymologiquement : profaner, souiller, salir, dégrader. D'après le premier rapport du Conseil sur la Qualité de l'Environnement de la Maison Blanche « la Pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît, en totalité ou en partie, comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'ils possèdent ou les possibilités récréatives du milieu » (**Ramade, 2002**).

I.1.2. Source de la pollution

I.1.2.1. Origine de la pollution

- ✚ La production d'énergie : L'énergie nucléaire, déchets radioactifs, pollution des eaux douces et marines par composés organiques, SO₂, ... lors du raffinage.
- ✚ L'activité agricole : elle est causée par les eaux d'infiltration et de ruissellement dans les limites des périmètres irrigués, produits phytosanitaires, d'épandages d'engrais, de lisiers et les sites d'élevages, plus, les engrais et pesticides.
- ✚ L'industrie chimique : liée aux eaux d'infiltration sous dépôts industriels, liquides dangereux tels les hydrocarbures, l'eau usées, eaux des bassins de lagunage et autres, des fuites de stockage ou de canalisations, des résidus solides.

I.1.2.2. La nature ou type des polluants

Le tableau 1 présente les principaux types de pollution :

Tableau 1 : Types et nature de pollution (LEVEQUE, 1996)

Types de pollution	Nature de Pollution	Source de Pollution
<u>Chimique :</u> Métaux et métalloïde	Cadmium, plomb, mercure aluminium, arsenic	Industries, agriculture
Pesticide	Herbicide, Fongicide Insecticide	Agriculture, industrie
Composés organique de synthèse	Nombreuses molécules	Industrie
Fertilisant	Nitrates, phosphates	Lessive, agriculture
<u>Physique :</u> Pollution radioactive	Radio-isotope	Installations nucléaires
Pollution thermique	Rejet d'eau chaude	Centrales thermique
<u>Microbiologique :</u>	Bactéries, champignons, virus	Effluent urbaine et d'élevage

I.1.3. La pollution des eaux

I.1.3.1. Pollution marine

D'après la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO (1999) comme étant : "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'environnement marin pouvant entraîner des effets délétères tels que dommages aux ressources biologiques, dangers pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (Pêche). Diminution de la qualité de l'eau de mer de point de vue son utilisation et réduction des possibilités offertes dans le domaine des loisirs.

Dans le milieu marin, les polluants peuvent suivre différents trajets, plus ou moins longs, certains polluants sont dégradés très rapidement par des réactions chimiques, sous l'effet de la lumière, ou encore grâce à l'intervention des microorganismes (biodégradation). D'autres polluants comme les métaux lourds (le Mercure, le Cadmium, le Chrome et d'autres produits chimiques toxiques) sont persistants et contaminent durablement le milieu marin.

I.1.3.2. La pollution marine en Méditerranée

La civilisation moderne et l'activité de l'homme sont indéniablement les causes principales de la contamination de l'hydrosphère (**Jaquet et Weber, 2002**).

La méditerranée est peu profonde dans son ensemble en moyenne 1500 m. Elle représente que 1% de la surface totale couverte par les océans dans le monde, c'est un bassin semi-fermé le plus pollué au monde (**Courteau, 2011**).

Elle est soumise à un problème grave de pollution dû à l'accroissement des apports anthropogéniques côtiers de ses pays riverains en voie d'industrialisation.

I.1.3.3. La pollution en Algérie

L'Algérie a une façade maritime qui s'étend sur 1200 Km. Actuellement elle a des sérieux risques de dégradation du point de vue écologique. Son littoral est riche et diversifié (**M.A.T.E. 2014**).

La pollution marine engendrée par les pôles urbains et industriels installés dans les zones côtières commence à devenir préoccupante. Ce qui provoquant une pollution bactériologique et physico- chimique des eaux.

Les eaux usées industrielles fortement contaminées sont déversées directement dans la mer, ces contaminations sont liées essentiellement à l'installation des usines chimiques :

- ✚ L'usine chimique : Al zinc de Ghazaouet, et Sonatrach d'Arzew
- ✚ Cimenterie de Béni Saf
- ✚ L'Unité de raffinage du pétrole de Skikda
- ✚ Centrale thermique : Marsat et Hadjdj

I.2. Métaux lourds

I.2.1. Définition des métaux lourds

Les métaux sont des éléments présents à l'état naturel, dispersés dans les roches, les minerais, le sol et l'eau. Le terme "métaux lourds" désigne des métaux qui ont une masse volumique supérieure à 4.5 g/cm³ (GEFFARD, 2001). Ils ont une excellente conductivité de la chaleur et de l'électricité.

I.2.2. Origine métaux

I.2.2.1. Origine naturelle des métaux

La plupart des métaux lourds sont des éléments constitutifs de la croûte terrestre. Comme tous les minerais, présents dans les roches. Ces réserves naturelles ne constituent pas en elles-mêmes un danger mais l'exploitation des gisements, l'érosion, les incendies de forêts, les prélèvements d'eau ou les éruptions volcaniques, vont répandre des traces de ces éléments dans l'environnement. Ils peuvent alors devenir toxiques s'ils se retrouvent en excès suffisantes chez les organismes vivants.

I.2.1.2. Origine anthropique

- ✚ Les combustions de fioul lourd
- ✚ Les combustibles minéraux
- ✚ Les incinérateurs de déchets
- ✚ Les industries manufacturières de type fonderie
- ✚ Les usines métallurgiques pour les métaux ferreux et non ferreux
- ✚ L'érosion

I.2.3. Cycle biogéochimique

Les cycles biogéochimiques sont des phénomènes cycliques suivis par les éléments et composés chimiques lors des échanges entre les différents compartiments de la biosphère : organismes biologiques, sols, eaux, atmosphère. D'après BITTEL (1973) le cycle biogéochimique se déroule en deux étapes (Fig1).

1- La 1^{ère} étape représente :

Précipitation : Elle s'opère lorsque le polluant métallique en solution chute par gravitation au fond du milieu marin.

Absorption : Les molécules ou les ions métalliques se fixent à la surface des composantes marines (particules, organismes marins, sédiments). Les polluants peuvent se coller et atteindre ainsi l'organisme.

Adsorption : C'est le passage du polluant métallique dans un organisme marin.

Sédimentation : c'est le dépôt des particules et des métaux par gravité sous forme solide, de la colonne d'eau vers le fond marin formant des couches sédimentaires. Le temps de résidence des métaux dépend des facteurs chimiques, physiques, biologiques et du type même du métal.

2- La 2^{ème} étape est consistée en un relargage des différents polluants par :

Désorption : phénomène inverse à l'adsorption.

Diffusion : ou propagation des produits précipités dans le milieu marin.

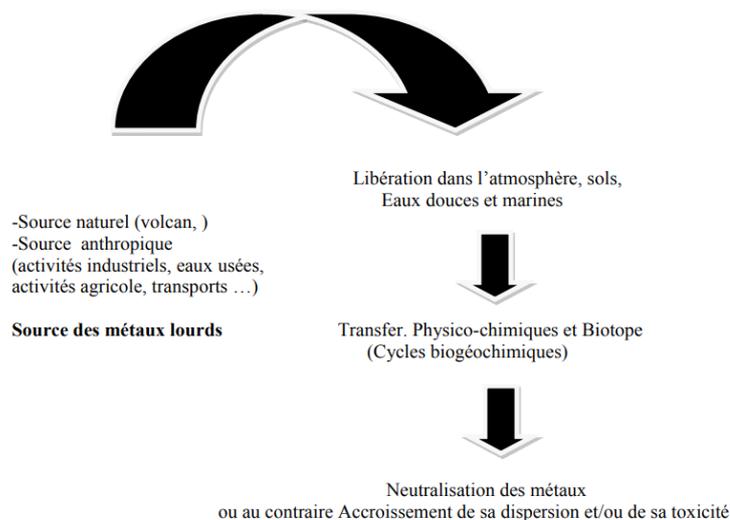


Figure 1 : Cycle biogéochimique des métaux lourds

I.2.4. Bioaccumulation des métaux

I.2.4.1. Bioaccumulation

La bioaccumulation est le processus d'absorption par lequel les êtres vivants peuvent accumuler dans leur organisme des nutriments.

I.2.4.2. Bioconcentration

Est un cas particulier de la bioaccumulation. Elle est définie comme le processus par lequel une substance (ou un élément) se trouve présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant (**Ron Van Der Oost, 2003**).

I.2.4.3. Bioamplification

C'est la circulation des polluants à travers la chaîne trophique. Les organismes qui ont concentré les polluants vont servir de nourriture à d'autres espèces qui les accumuleront dans leurs tissus. Il va se produire une contamination de tout le réseau trophique (**Ramade 2007**).

I.2.5. Les principaux métaux étudiés

I.2.5.1. Cadmium

C'est un métal de couleur blanc brillant. Il n'existe pas à l'état natif dans la nature. C'est un élément relativement rare qui se rencontre tant que constituant mineur dans divers minerais, son minerai est un sulfure, la Greenockite (CdS) (**Rodier, 1996**).

Il est principalement utilisé pour la fabrication de batteries et le traitement des aciers, la décoration des porcelaines, en peinture et en caoutchoueriez. (**Ifremer, 2001**).

I.2.5.2. Cuivre

C'est un élément métallique rouge bleuâtre, présent de la nature sous forme de minerais de cuivre. Il est malléable et ductile c'est également un excellent conducteur électrique et thermique. C'est le troisième métal le plus utilisée en monde et un contaminant qui accompagne notamment le zinc, le plomb et le cadmium dans les activités métallurgiques des métaux non ferreux (**Pichard, 2005**).

I.2.5.3. Fer

C'est un élément le plus abondant dans la croûte terrestre métallique blanc argenté. Il est malléable et ductile. Le fer est parmi les éléments métalliques les plus fréquemment rencontrés dans l'eau. Il se trouve de la nature sous différentes formes : carbonates, sulfates, silicates. **(Borm, 2006).**

Le fer constitue un composant principal des formations géologiques, surtout les roches magmatiques et métamorphiques. Des petites quantités de fer sont présentes sous forme combinées dans les eaux naturelles, les plantes et le sang **(Maanan, 2007).**

I.2.5.4. Plomb

C'est un élément de couleur gris bleuâtre toxique, mutagène et reprotoxique sans valeur connue d'oligoélément, Dans les conditions normales le corps simple est malléable. Il est un élément non essentiel et moins bio-disponible que les autres métaux **(Vander Perk, 2006).** Il est utilisé essentiellement dans la fabrication des batteries et de la peinture et dans les carburants ...etc.

I.2.5.5. Le zinc

C'est un métal ductile de couleur bleu-gris. Il peut se rencontrer sous sa forme métallique dans la nature, il sera aussi le plus souvent sous forme d'oxyde de zinc (ZnO) et de sulfure de zinc (blende ZnS) **(Caliender et al. 2003).**

Il est également utilisé pour la galvanisation de pièces métalliques, dans la fabrication de pigments pour la teinture et la fabrication de produits phytosanitaires. Les apports de zinc au milieu naturel sont particulièrement dus à la métallurgie (production de métaux, non ferreux, industrie du fer et de l'acier) et à la combustion des bois et des charbons **(Rodier 1996; Sarkar, 2002).**

I.2.6. Toxicité des métaux lourds

Les éléments traces métalliques sont particulièrement toxiques pour l'environnement et l'homme. Ils sont présents dans l'environnement marin sous différentes formes chimiques, qui résultent d'équilibres entre les ions métalliques et les complexes organiques et inorganiques.

Les principales conséquences de la présence des métaux dans l'eau de mer sont leur passage dans la biomasse. La toxicité des métaux lourds est due essentiellement :

- Non- dégradable.
- Toxicité à faible concentration.
- Tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques (**Crine, 1993**).

Généralement, ils sont séparés en deux catégories selon leur caractère essentiel ou non pour les êtres vivants. En effet, bien qu'ils s'avèrent indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), leurs concentrations dans les organismes doivent répondre aux besoins métaboliques de ces derniers.

Dans le cas contraire, une carence ou un excès de ces éléments essentiels peut induire des effets délétères. D'autres ne sont pas nécessaires à la vie, et peuvent être même préjudiciables comme le mercure, le plomb, le cadmium et l'antimoine (**Casas, 2005**).

I.3. Matériel Biologique

I.3.1. Description

Les patelles sont très abondantes sur les côtes méditerranéennes. Leur couleur externe est gris verdâtre, elle est souvent couverte de petits crustacés. Sa surface est striée de côtes grossières irrégulièrement réparties et le bord est dentelé. C'est un gastéropode qui mesure jusqu'à 7 cm de diamètre, possèdent une coquille univalve conique et solide qui s'applique parfaitement sur les roches en les érodant, ce qui rend ces animaux difficiles à décoller grâce à sa puissante radula, **Gérard (2005)** a valu le surnom de « chapeau chinois ». Elle est très sensible à l'augmentation de la turbidité et à la diminution des niveaux d'oxygène dans la colonne d'eau. C'est aussi l'espèce de Patelles la moins tolérante à la contamination (**Espinosa et al, 2007**).

La bernique épouse la forme de la roche sur laquelle elle vit, ce qui lui permet de conserver de l'eau de mer dans sa coquille lors des marées basses et lui évite de se dessécher. Les patelles doivent filtrer l'eau pour vivre, donc ils retiennent les toxiques des mers c'est pour ça la patelle à été utilisée comme bio indicateurs (**Shiber et Shatila, 1978**).

Sa Morphologie est protégée par une coquille élaborée à partir d'éléments de l'eau de mer et de gaz carbonique issus du métabolisme, et transformés en grande partie en calcaire, dans le manteau selon des marqués en cercles annuels de croissance. Elle se distingue tout particulièrement par un ensemble de transformations qui fait disparaître la symétrie bilatérale au profit d'un enroulement hélicoïdal de la masse viscérale (**Ridet et al, 1992**)(Fig2).

Le corps de la patelle est mou, non segmenté qui se compose de :

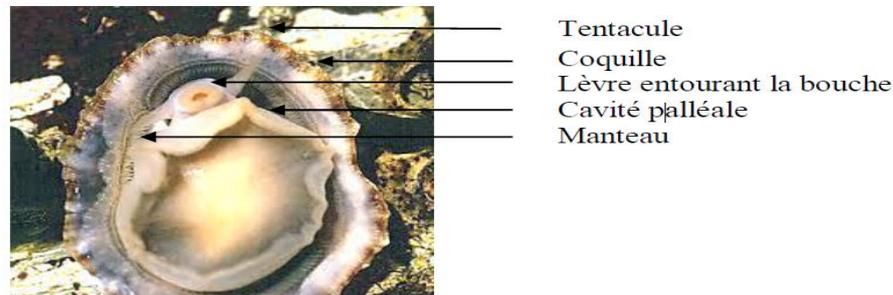


Figure 2 : Face ventrale de Patelle ferrugineux

Rang taxonomique

- [Règne] Animal
- [Embranchement] Mollusque
- [Sous-embranchement] Conchifera
- [Classe] Gastropode
- [Sous-classe] Patelle gastropode
- [Super-famille] Patelloidea
- [Famille] Patelloidea

I.3.2. Anatomie

La patelle est formée de branchies situées en avant du cœur, la branchie de la cavité palléale disparaît au profit des branchies secondaires qui bordent la gouttière palléale entourant le pied (**Boue et Chaton, 1978**). Le cœur possède deux oreillettes qui reçoivent « l'hémolymphe » en provenance des branchies, il envoie alors « l'hémolymphe » dans les artères formant un système de circulation ouvertes. Le cœur est situé au fond de la cavité palléale logé dans un péricarde mince montrant une seule oreillette. La chaîne nerveuse de la patelle montre un croisement en X caractéristique, le système nerveux comporte :

- Des ganglions cérébraux,
- Des ganglions pédieux,
- Des ganglions palléaux viscéraux (**Boue et Chanton, 1978**).

La bouche de la patelle dotée d'une radula qui est un organe particulier permettant à l'animal de brouter les algues des rochers. Appareil excréteur est constitué de deux reins situés à gauche

du péricarde, le rein droit débouche à l'extérieur par un canal assez court à droite du rectum. (**Grasse et Doumenc, 1995**). La Patelle est herbivore se nourrit d'algues unicellulaires photosynthétiques (Cyanophycées) qu'elle gratte sur les rochers. La jeune se nourrit d'algues microscopiques jusqu'à sa métamorphose et sa fixation (**Laborel- Deguen et al 1999**).

I.3.3. Ecologie de la patelle

La Patelle commune vit exposée sur les rochers côtiers battus par les vagues où elle est solidement accrochée grâce à sa coquille conique et non spiralée. Ce gastéropode résiste à l'émersion en emprisonnant de l'eau dans sa cavité palléale et sous sa coquille qui est alors fortement appliquée sur le rocher (**Nakhlé, 2003**).

I.4. Les algues

Les algues sont présentes dans le monde entier et se développent dans toutes les étendues d'eau ou dans tout milieu terrestre où le taux d'humidité reste élevé. Elles vivent aussi en symbiose avec d'autres organismes. Les algues sont des thallophytes autotrophes photosynthétiques d'organisation simple, formant un groupe extrêmement hétérogène du point de vue de leur origine évolutive. Pour cette raison, leur classification controversée est d'une complexité rare. En milieu aquatique, les algues sont connues pour leur capacité à fixer et accumuler les éléments naturellement présents dans l'eau de mer, mais aussi les polluants tels que les métaux lourds. Plusieurs études ont montré que la bioaccumulation des métaux lourds par les algues peut être un moyen de contrôle de la pollution et de traitement des eaux usées (**Philips, 1997**).

I.4.1. Caractérisation des algues

Les algues sont les végétaux les plus primitifs qui présentent un appareil végétatif peu évolué (sans racine, ni tige, ni feuille) ils sont aquatiques. Pendant leur évolution, les algues ont formés un groupe très diversifié d'organismes dont les origines appartenant au groupe des cryptogames (**GaronLardiere, 2004**).

Les algues présentent une grande diversité de couleur et de taille. Elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires, la couleur de l'algue dépend principalement de la présence des pigments photosynthétiques (**Selka, 2015**).

I.4.2. Classification

Les algues marines sont réparties en trois grandes divisions et leurs pigments correspondants (Davis et al., 2003) :

- 1- Algues vertes
- 2- Algues brun
- 3- Algue rouge

I.4.3. La répartition des algues

La répartition des algues le long des côtes est dépendante d'un certain nombre de facteurs écologiques que l'on peut grouper en :

- ✚ Facteurs physiques (le substrat, la température et la lumière).
- ✚ Factures chimiques (la salinité, le pH, l'oxygène et les sels nutritifs).
- ✚ Facteurs dynamiques (l'agitation de l'eau et l'émersion).
- ✚ Facteurs biotiques (l'association avec d'autre espèces « algues épiphytes ou épizootiques »).

I.5. Matériel sédimentaire

Les roches sédimentaires sont formées à la surface de la terre, dans les océans, les mers, les lacs et les fleuves. Dénommées, également roches exogènes, elles forment l'essentiel de la surface de la croûte terrestre. Elles englobent parfois des fragments de végétaux et d'animaux fossilisés. Les sédiments constituent des réservoirs de stockage des contaminants et représentent donc un enjeu majeur pour l'évaluation du risque écologique.

Ils sont considérés comme de véritable archives de l'environnement ils sont capables d'accumuler les polluants organiques et inorganiques, ce qui nous amène à dire que les sédiments représentent un réel outil de détection des différents types de polluants d'activités industrielles et urbaines.

Le sédiment, compartiment important de l'écosystème aquatique, sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes. Les dépôts sédimentaires littoraux qui font l'objet de la présente étude, se forment à l'interface des zones continentales et marines. Ils constituent les réservoirs ultimes pour de nombreux composés chimiques (Chapman et al, 1998).

I.5.1. Nature des sédiments

I.5.1.1. Origine

Les roches sédimentaires se forment à partir de particules d'origines très variées par érosion ou altération, d'origine chimique sont formées à partir de la précipitation ou la cristallisation de substances dissoutes dans l'eau.

Le plus souvent, les roches sédimentaires sont un mélange issu de ces différentes origines :

- **Origine détritique** : elles résultent de l'accumulation de débris de minéraux et de roches arrachées par érosion à d'autres roches affleurantes.
- **Origine chimique** : elles proviennent de la précipitation d'éléments chimiques présents dans les eaux de mers ou transportés en solution suite au phénomène d'altération.
- **Origine biologique** : ce groupe comporte des roches dont l'origine est liée directement ou indirectement à l'intervention d'organismes vivants présents dans la mer.

I.5.1.2. Composition

Il existe deux types de composition :

✓ **Composition géochimique**

Les sédiments sont composés de trois phases principales : la phase minérale, la phase organique et la phase aqueuse (**Bonnet, 2000**).

✓ **Composition granulométrique**

Les sédiments sont caractérisés par sa dimension, sa forme, son état de surface et sa masse volumique.

Ils sont essentiellement composés d'eau interstitielle et de particule solides, comme pour les sols, et les particules solides. Les classes granulométriques couramment utilisées sont :

- Fraction inférieure à 2 microns qui regroupe les argiles.
- Fraction comprise entre 2 et 50 microns regroupe les limons ou silts
- Fraction comprise entre 50 et 2mm regroupe les sables.

I.5.1.3. Origine des métaux dans les sédiments

La répartition spatiale et temporelle des métaux dans les sédiments ne dépend pas exclusivement des rejets d'origine anthropique. Les teneurs en métaux sont également

influencées par différents mécanismes naturels. Certains éléments métalliques à l'état de trace (Zn, Cd, Pb, Cu, Hg ...) exercent une action parfois bénéfique, mais plus souvent néfaste sur le règne animal ou végétal.

L'étude de ces éléments regroupés sous le thème générique de « métaux de traces ». Ils peuvent être présents naturellement ou provenir d'apports artificiels dus :

- ❖ A des rejets d'eaux usées et d'eaux industrielles,
- ❖ Des particules des couches polluées de l'atmosphère, formé de carbone, de suies, de goudrons, de sels métalliques qui retombent et se retrouvent dans les eaux de ruissellement.

Etude de la zone

II.1. La situation géographique

La ville de Honaine occupe la partie nord-est de la zone de Traras orientaux. Elle se trouve à 60 Km de Tlemcen, à 40Km de la frontière marocaine et 150 Km de la ville d'Oran.

A l'échelle locale, elle est à 42Km de la ville de Remchi; 30Km de la ville de Nedroma. Elle est située entre Oued Regou et Oued Honaine. Elle dispose de quatre plages à l'état sauvage, à savoir Tafsout (400 m), le port de Honaine (250 m), Agla (150 m) et Mekheled (250 m); elle est limitée par :

- Au nord : la mer méditerranée.
- A l'ouest : les daïras de Nedroma et Ghazaouet.
- Au sud : la daïra de Remchi.

La ville de Honaine est à une altitude de 15 m. Les coordonnées Lambert sont :

- 1°39' 13" longitude ouest ;

- 35°10'38" de latitude nord (**Google Earth, 2019**).



Figure 3 : Situation géographique des trois stations

Les principaux rejets de la région sont :

- ❖ Rejets d'eaux usées d'origine domestique
- ❖ Rejets de la station de dessalement de Honaine

Les coordonnées Lambert sont :

- Tafsout :

1°38'53.52" longitude ouest

35°11'11'04 de latitude nord

- Agla :

-1.6393058,593" longitude ouest

35.2053602 de latitude nord

- Mekhaled :

-1°36'58.93" longitude ouest

35°13'10'29 de latitude nord

II.2. Climatologie

La zone présente un climat méditerranéen en semi-aride caractérisé par deux saisons :

- ✚ Une saison semi humide qui s'étale du mois d'octobre au mois de mai avec des précipitations irrégulières
- ✚ Une saison sèche qui s'étale du mois de juin au mois de septembre

Avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 300-400mm par an ;

La température varie entre 10° et 15° en hivers et entre 20° et 30° en été. On note l'absence de gelée et une humidité importante de l'air due à l'influence maritime. Les vents dominants sont ceux provenant des secteurs Est-NORD et OUEST- SUD OUEST.

II.3. Hydrologie

La commune de Honaine compte un nombre relativement important d'oueds pouvant faire l'objet de travaux de régulation et de mobilisation des eaux superficielles en vue de leur utilisation en agriculture et pour le développement de la faune et de l'avifaune. On compte principalement d'Ouest en Est :

- ❖ Oued Seftar qui matérialise la limite ouest de la commune
- ❖ Oued Kiouma
- ❖ Oued Labkirienne qui se jette dans l'oued Kiouma
- ❖ Oued Amelak
- ❖ Les oueds Defla et Meknassi affluent de l'oued Amelak

- ❖ Oued Menzel, nommé communément Oued Reggou qui se jette à la mer au niveau de la plage de Honaine (côté gauche)
- ❖ Oued Mezirine affluent de l'Oued Honaine
- ❖ Oued Honaine qui traverse la ville et se jette à la mer au niveau de la plage de Honaine (côté droit)
- ❖ Oued Rif
- ❖ Oued Saf Saf
- ❖ Oued El Beir
- ❖ Oued El Guelta

Les oueds ont creusé de profondes vallées encaissées. C'est aussi une station balnéaire avec plusieurs plages étroites, qui sont le siège d'un dépôt grossier (galets) avec très peu de sable, voir sans sable (**P.D.A.U ,2016**).

Matériel et méthodes

III.1. Echantillonnage

III.1.1. Choix des stations de prélèvement

Trois stations de prélèvement ont été retenues pour cette étude. Ce choix des stations est basé sur nos connaissances antérieures de la région pour effectuer notre suivi. Les régions ne présentent aucun pôle industriel mais il y a toujours la présence des rejets urbains.



Figure 4 : Plage de Mekheled (Photo originale)



Figure 5 : Plage de Agla (Photo originale)



Figure 6 : Plage de Tafsout (Photo originale)

III.2. Choix des échantillons

Le choix s'est porté sur trois compartiments du milieu marin : les sédiments les algues et la patelle. Les sédiments superficiels représentent l'environnement abiotique, sont des excellents réservoirs de micropolluants. Les espèces retenues dans cette étude répondent à plusieurs critères de sélection de bio indicateurs. Elles sont sessiles ou sédentaires afin de représenter la région où elles se développent, abondantes, faciles à identifier. L'échantillonnage a été réalisé le 17 décembre 2018. La possibilité de récolte, l'emplacement et les espèces retenues sont illustrés sur le tableau 2.

Tableau 2 : Echantillonnage au niveau des stations d'étude

Stations de prélèvement Echantillonnage	Station embouchure Agla	Station embouchure Mekheled	Station embouchure Tafsout
Sédiment marin	Présente	Présente	Présente
<i>Patella ferruginea</i>	Présente	Présente	Absente
Algue	Absente	Présente	Présente



Figure 7 : Sédiments



Figure 8 : Patella ferruginea



Figure 9 : Algues (photo originale)

III.3. Choix des métaux lourds à analyser

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à cinq éléments métalliques. Le cuivre, le fer et le zinc sont considérés comme oligo-éléments et sont indispensables au déroulement des processus biologiques, dans le métabolisme et ne deviennent toxiques qu'au-delà d'un certain seuil (Casas, 2005). Ils ne sont pas toujours éliminés par des processus naturels mais sont accumulés dans la faune, la flore et les sédiments. Le cadmium et le plomb sont choisis à cause de leurs fortes toxicités pour l'homme et les organismes vivants (Picot, 2003).

III.4. Méthode de prélèvement

III.4.1. Sédiments

Les sédiments marins ont été prélevés des trois différentes stations (Aglá, Tafsout et Mekheled) à l'aide d'une pelle en plastique qui permet de racler la surface.

III.4.2. Algues

Les algues ont été récoltées à la main sur les deux sites de prélèvements.

III.4.3. Patelle

Les patelles ont été détachées des rochers à l'aide d'un couteau en acier inoxydable. Les patelles sont retenues pour cette étude sont de différentes tailles (**Fig,10**).

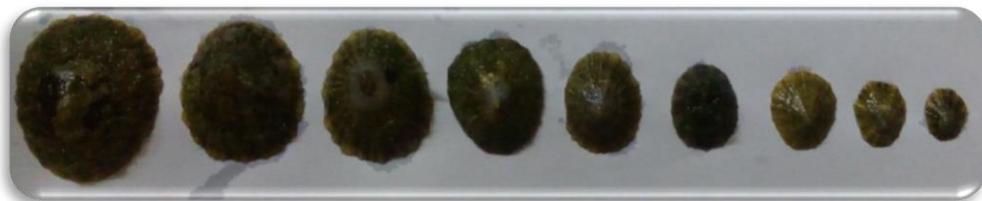


Figure 10 : Différents tailles des patelles



Figure 11 : Algues (Photo originale)

Les différents échantillons ont été stockés dans des sachets en plastique puis transportés au laboratoire.

III.5. Séchage, tamisage et dissection

III.5.1. Matériel sédimentaire

Les sédiments ont été tout d'abord séchés à l'air libre, broyés dans un mortier en porcelaine puis tamisés à l'aide d'un tamis de 63 μm de porosité. Une analyse granulométrique a été réalisée.

Les sédiments ont été classés en fonction de la taille de leurs particules. Les particules d'un diamètre supérieur à 63 μm caractérisent les sédiments grossiers constitués de sable et de matériel inorganique silicaté. Les surfaces de contact des différentes particules sont peu importantes et donc sont peu associées aux contaminants. Les particules fines (< 63 μm) sont très cohésives, sont chargées négativement et leurs surfaces de contact sont importantes.

Ces caractéristiques leurs donnent un grand pouvoir adsorbant vis-à-vis des contaminants métalliques (Geffard, 2001).

III.5.2. Matériel biologique

Les échantillons ont été lavés à l'eau distillée et conservés au congélateur après étiquetage.

a) Algues :

Les algues ont été nettoyées à l'eau distillée pour éliminer les sels, séchées à l'air libre, broyées, tamisées et enfin pesées pour procéder à l'étape de minéralisation.

b) Patelles :

A l'aide d'une pince en inox, nous avons prélevé la partie molle puis nous avons pesé.

III.6. Minéralisation

La minéralisation a pour but la décomposition de la partie organique.

III.6.1. Minéralisation des sédiments et des algues

Un gramme de sédiments (<63 μm) et 200 mg d'algues ont été placés dans des tubes du minéralisateur, nettoyés préalablement, puis attaqués par un mélange de HNO_3 et de HCl concentrés dans le rapport (1v/3v) puis chauffé à 80 °C pendant 8 heures pour les sédiments et 3 heures pour les algues. La minéralisation a été réalisée à l'aide d'un thermo réacteur (Fig12, Hanna instruments. Reference hi 839800).

Les échantillons ont été refroidis. Après évaporation et apparition des points noirs au fond des tubes, les solutions ont été filtrées, ajustés à 25 ml avec de l'eau distillée puis conservées au frais dans des godets étiquetés jusqu'à l'analyse par la spectrophotométrie d'absorption atomique SAA



Figure 12 :Thermo réacteur (photo originale)

III.6.2. Minéralisation de la patelle

Nous avons utilisé la méthode par voie sèche. Les échantillons ont été pesés et placés dans l'étuve à une température de 110°C pendant 3 heures. Pour la réduction en cendres, les échantillons ont été mis dans des creusets en porcelaine puis placés dans un four à moufle (Fig13) d'abord pendant 15 minutes à 450°C. Ensuite les échantillons ont été humectés avec de l'acide nitrique (1%) et ont été remplacés dans le four à 350°C pendant 1 heure et 30 minutes.

Les cendres obtenues ont été ajustés à 25 ml puis conservées au frais dans des godets étiquetés jusqu'à l'analyse par la SAA.



Figure 13: four à moufle (photo original)

III.7. Analyse chimique

Le dosage des métaux a été réalisé par la spectrométrie d'absorption atomique à flamme au sein du laboratoire de chimie inorganique et environnement (C.I.E) pour le cuivre et le zinc et au sein du laboratoire de médecine (Toxicomed) pour le fer, le cadmium et le plomb. Les deux appareils sont de même type PERKIELMER PinAAcle 900H.

III.7.1. Appareillage

L'appareil utilisé pour l'analyse est un spectromètre d'absorption atomique à flamme comporte :

- ✓ Un générateur d'atomes constitué par un dispositif de nébulisation, brûleur et une flamme
- ✓ Un système de sélection de la longueur d'onde
- ✓ Un récepteur.



Figure 14: Spectromètre d'absorption atomique à flamme (Toxicomed)

III.7.2. Principe

La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA.) est une méthode d'analyse quantitative s'adressant essentiellement aux métaux lourds. Elle est basée sur la propriété des atomes de l'élément à doser, qui peuvent absorber des radiations de longueurs d'ondes déterminées. La solution de l'élément à analyser est nébulisée dans une flamme, ce qui provoque successivement, l'évaporation du solvant, la vaporisation de l'élément sous forme de combinaison chimique et enfin, la dissociation de ces combinaisons avec production d'atomes libres à l'état fondamental. La vapeur est alors exposée à une radiation produite par un élément identique à celui à analyser **WALCH (1995)**.

III.7.3. Etalonnage

La spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme est une méthode expérimentale qui exige l'étalonnage de l'appareil, avec des solutions standards de concentration connus.

III.8. Traitement des données

III.8.1. Calcul d'indices

III.8.1.1. Indice de géo accumulation (I_{geo})

L'indice de géo accumulation (I_{geo}) (**Tableau 3**) est aussi un critère pour évaluer l'intensité de la pollution méta*-llique. Les valeurs de l'indice géo-accumulation sont calculées en utilisant la relation de **Müller (1969)** :

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1,5 B_n)$$

Avec :

C_n : c'est la concentration mesurée de l'élément (n) dans le sédiment analysé,

B_n : la valeur du fond géochimique de l'élément n dans la roche environnante Dans cette étude nous avons utilisé les données de **Turekian et Wedepohl, (1961)** et de **Dali-youcef et al., (2005)**,

1,5 est le facteur de correction adressé aux effets lithogéniques (**Lin et al., 2008**).

Tableau 3 : Indice de géo accumulation (I_{geo})

Classe	Valeur d' I_{geo}	Qualité des sédiments
0	$I_{geo} \leq 0$	Non pollué
1	$0 < I_{geo} < 1$	De non pollué à modérément pollué
2	$1 < I_{geo} < 2$	Modérément pollué
3	$2 < I_{geo} < 3$	De modérément pollué à sévèrement pollué
4	$3 < I_{geo} < 4$	Sévèrement pollué
5	$4 < I_{geo} < 5$	De sévèrement pollué à très sévèrement pollué
6	$5 < I_{geo} < 6$	Très sévèrement pollué

III.8.1.2. Facteur bioaccumulation (FBA)

Facteur bioaccumulation (*FBA*) mesurent la concentration d'une substance dans un organisme vivant relativement à sa concentration dans le milieu ambiant. Selon **Ramade (2011)**, il n'existe pas de différence fondamentale entre les processus de bioaccumulation et de bioconcentration, cette dernière ne constituant qu'un cas particulier de la précédente. Dans cette étude, les facteurs de bioaccumulation (*FBA*) obtenus soit pour les algues ou pour les patelles sont calculés par la formule suivante (**Bellotto et Miekeley, 2007; The Interstate Technology et Regulatory Council Contaminated Sediments Team, 2011; Jakimska et al., 2011; Kucuksezgin et al. 2011; El-Said, 2013**):

$$FBA = [Métal]_{organisme} / [Métal]_{sédiment}$$

Avec :

[Métal]_{organisme} : c'est la concentration d'un élément métallique chez l'organisme (algue ou patelle).

[Métal]_{sédiment} : c'est la concentration du même élément métallique dans le sédiment (du même site).

III.9. Traitement statistique

III.9.1. Comparaison des moyennes : ANOVA et Test de student

L'ANOVA s'applique indifféremment aux grands et aux petits échantillons. Elle présente l'avantage de vérifier en un seul test si les différences observées au niveau des moyennes d'un ensemble d'échantillons sont imputables aux fluctuations d'échantillonnage ou non. Le test ANOVA permet aussi de préciser les sources de variation donc de savoir, dans une étude à plusieurs variables comme la nôtre, laquelle de ces variables influe le plus sur les moyennes finales. Les valeurs moyennes obtenues pour différents échantillonnages ont été comparées deux à deux avec un seuil de signification $p=0,05$.

- Si $p > 0,05$: il n'existe pas de différences significatives entre les variables.
- Si $p \leq 0,05$: il existe de différences significatives entre les variables.

Le test de Student est un test paramétrique qui compare la moyenne observée d'un échantillon statistique à une valeur fixée, ou encore la probabilité observée d'un caractère à une probabilité théorique. Les valeurs moyennes ont été comparées deux à deux. Dans ce travail

nous avons utilisé le Test de Student à un intervalle de confiance 95%, pratiqué à l'aide d'Excel 2013.

III.9.1.2. Analyses multi variées

Nous avons utilisé le logiciel Minitab (Version16) pour l'analyse en composantes principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique qui permet la synthèse de l'information contenue dans un grand nombre de variables. Les composantes principales autorisent en outre la représentation graphique de grands tableaux de données trop complexes à décrire par les méthodes graphiques habituelles. C'est incontestablement cette propriété qui est à l'origine de sa large utilisation (**Falissard, 1998**). Les résultats sont réunis dans un tableau avec (n) lignes et (p) colonnes. Une représentation graphique de ces points est obtenue.

La classification ascendante hiérarchique (CAH) consiste à agréger progressivement les individus selon leur ressemblance, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilitude (**Duchez et Loy, 2005**). Cette méthode de classification est destinée à produire des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères (**Lebart et al., 1982**). Elle procède à la construction des classes (paquets) par agglomérations successives des objets deux à deux, qui fournissent une hiérarchie de partition des objets. Il existe plusieurs méthodes de CAH et plusieurs coins de calcul de la distance entre deux objets, deux classes ou un objet (**Benzecri, 1973**).

C'est l'indice de **Bray-Curtis** qui a été retenu, avec la technique de groupement agglomératif moyen, comme le recommandent **Legendre et Legendre (1984)**.

III.9.1.3. Corrélation de Pearson

La méthode de corrélation de Pearson a pour but la simplification, l'ordination et la coordination des données initiales, en exprimant la trame complexe dans les inter-relations entre variables par un plus petit nombre de facteurs (**Pearson et Rosenber, 1978**). Ces facteurs sont représentés par des axes perpendiculaires dans lesquels se projettent les points. Le test de Pearson calcule et élabore des matrices de coefficients r ainsi que les covariances pour chaque ou toutes les paires de variables d'une liste. Le coefficient de corrélation de

Pearson indique le degré de relation linéaire entre les deux séries de données, il peut prendre des valeurs de -1 à +1.

Une valeur de (+1) montre que les variables sont parfaitement linéaires liées par une relation de plus en plus croissante ; une valeur de (-1) montre que les variables sont parfaitement linéaires liées par une relation décroissante et une valeur de 0 montre que les variables ne sont pas linéaires entre elles (**Bolbapocà et Jäantschi, 2006**).

Résultats et discussion

VI.1. Sédiments

VI.1.1. Granulométrie

Les analyses granulométriques réalisées sur les sédiments des trois stations (Mekheled, Agla et Tafsout) sont rassemblées sur le tableau 4.

Tableau 4 : Analyse granulométrique des sédiments dans les trois stations

Ouvertures des tamis	Mekheled			Agla			Tafsout		
	Refus(g)	Refus Cumulés %	Tamisat Cumulés %	Refus(g)	Refus Cumulés %	Tamisat Cumulés %	Refus(g)	Refus Cumulés %	Tamisat Cumulés %
2 mm	8,35	0,44	99,56	760	34,55	65,45	160	8	92
1mm	180	9,91	90,09	840	72,73	27,27	220	19	81
500µm	1540	90,97	9,03	380	90	10	1 360	87	13
300 µm	55,74	93,90	6,10	73,36	93,33	6,67	56,19	89,81	10,19
250 µm	70	97,58	2,42	68,84	96,46	3,54	60,13	92,82	7,18
200 µm	19,95	98,63	1,37	6,55	96,76	3,24	21,77	93,9	6,10
125µm	1,38	98,71	1,29	3,57	96,92	3,08	2,50	94,03	5,97
63µm	1,29	98,77	1,23	1,35	96,98	3,02	2,38	94,15	5,85

- **Refus** : partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.
- **Refus cumulé** : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.
- **Tamisat** : partie de l'échantillon passée à travers les mailles du tamis.

Les sédiments montrent de grandes variabilités pour les teneurs d'argile, de limon et de sable, les sédiments pouvant être très sableux comme très argileux. Les particules les plus fines étant plus facilement transportées que les particules sableuses. Cependant, il est nécessaire de séparer la fraction fine des fractions grossières car ces dernières sont la plupart du temps peu, ou pas contaminé en raison de leur faible surface spécifique (**Padox et Hannebert, 2010; Achard, 2013**).

Pour cela, nous avons travaillé sur la fraction fine de 63 µm du poids totale. Nous remarquons que la station « Tafsout » présente la fraction fine la plus élevée que celles des deux autres stations. La proportion de cette fraction fine dans les sédiments bruts est de 5.85% pour « Tafsout » 3,01% pour les sédiments provenant de la plage « Agla » 1,23 % pour les sédiments de la station « Mekheled ».

VI.1.2. Variations spatiales

Nous présentons sur la figure15, les variations spatiales des teneurs métalliques (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) (mg/kg) dans les sédiments. Dans chaque des figures ci-dessous, la ligne horizontale représente les valeurs de références pour chaque élément d’après **Turekian et Wedepohl (1961)**.

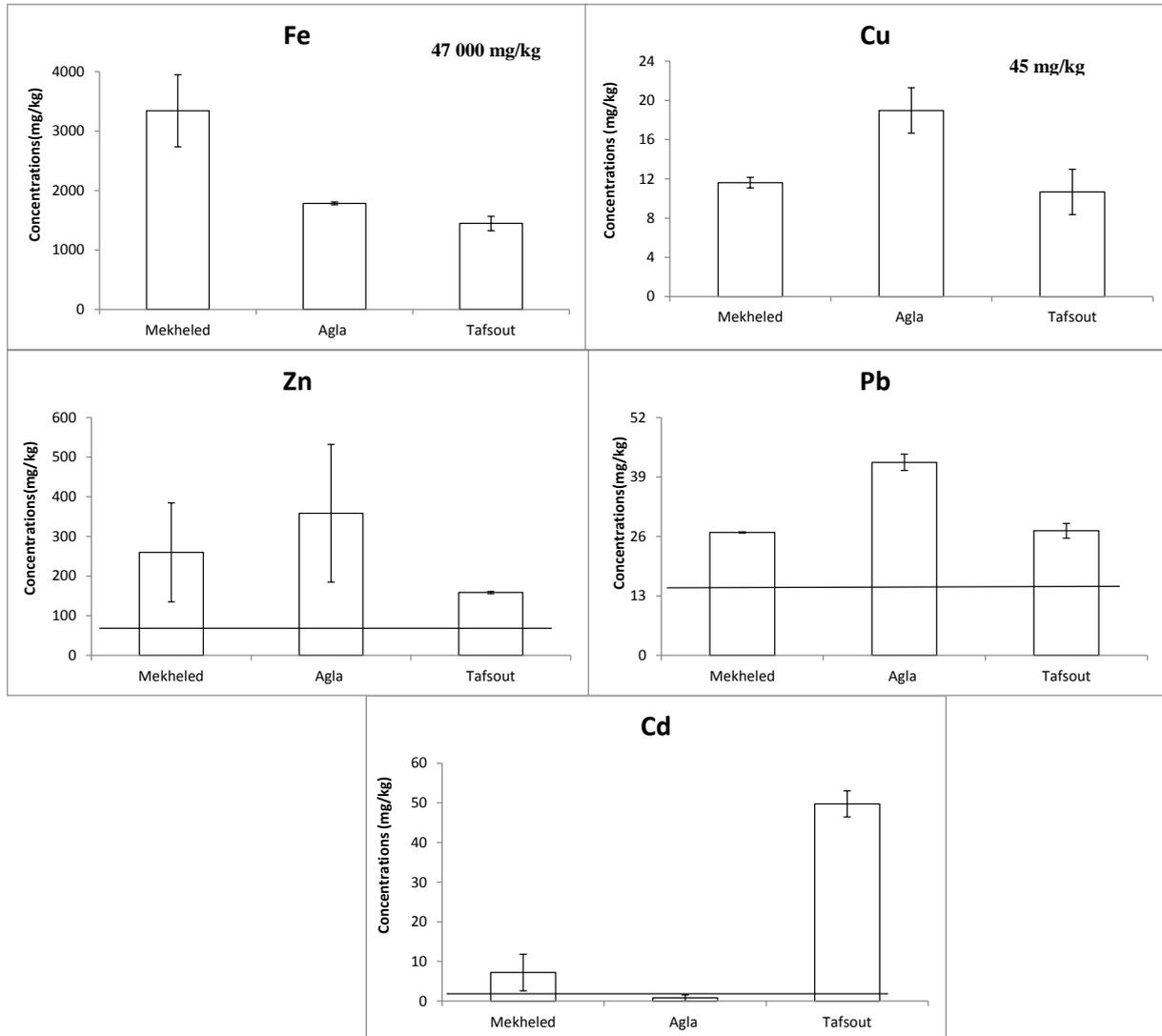


Figure 15 : Variations spatiales des teneurs métalliques (Fe, Cu, Zn, Cd et Pb) dans les sédiments en mg/kg

- ✚ **Fer** : La valeur maximale du fer, 3341 ± 607 mg/kg est enregistrée dans la station de Mekheled et la valeur minimale est de 1447 ± 1447 mg/kg dans la station de Tafsout. Toutes ces teneurs sont inférieures à la valeur limite de référence pour cet élément (47000 mg/kg) selon **Turekian et Wedepohl (1961)**.
- ✚ **Cuivre** : La valeur maximale du cuivre, 18 ± 2 mg/kg est enregistrée dans la station de Agla et la valeur minimale est de $11 \pm 0,5$ mg/kg dans la station de Mekheled. Toutes les concentrations restent nettement inférieures à celle enregistrée dans les sédiments marins (45 mg/kg) d'après **Turekian et Wedepohl (1961)**.
- ✚ **Zinc** : La valeur maximale du zinc, 358 ± 173 mg/kg est enregistrée dans la station de Agla et la valeur minimale est de 158 ± 2 mg/kg dans la station de Tafsout. ces teneurs dépassent la valeur limite (95 mg/kg) d'après **Turekian et Wedepohl (1961)**.
- ✚ **Plomb** : La valeur maximale du plomb, 42 ± 1 mg/kg est enregistrée dans la station de Agla et la valeur minimale est de $26 \pm 0,1$ mg/kg dans la station de Mekheled. Toutes les valeurs dépassent la valeur limite (95 mg/kg) d'après **Turekian et Wedepohl (1961)**.
- ✚ **Cadmium** : 49 ± 3 mg/kg est la valeur maximale du cadmium enregistrée dans la station de Tafsout et la valeur minimale est de $0,8 \pm 0,7$ mg/kg dans la station de Agla.

Les teneurs élevées de zinc, du plomb et du cadmium peuvent être expliquées par des rejets domestiques observés le jour même de l'échantillonnage et par les activités agricoles de la région. Les gradients de concentrations se présentent comme suit :

Mekheled et Agla : $Fe > Zn > Pb > Cu > Cd$

Tafsout : $Fe > Zn > Cd > Pb > Cu$

L'analyse de la variance à un facteur (station) l'ANOVA 1, n'a montré aucune différence significative inter station ($p = 0,33$) pour l'accumulation du zinc.

Une différence significative est observée pour l'accumulation du cuivre ($p = 0,0092$), alors que des différences hautement significatives sont obtenues pour l'accumulation du Fe ($p = 0,0029$), Pb ($p = 4,78 \cdot 10^{-5}$) et Cd ($p = 1,13 \cdot 10^{-5}$).

VI.1.3. ACP, CAH et Corrélations appliquées aux sédiments

VI.1.3.1. Analyse en composante principale(ACP)

Les résultats de l'analyse en composante principale (ACP) sont présentés sur la figure16. La matrice de donnée utilisée pour cette analyse est composée de cinq colonnes correspondant aux différents métaux (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) et de trois lignes (Mekheled, Agla et Tafsout) relatives aux trois stations retenues pour cette étude.

Les valeurs propres (3,48 et 1,52) ont permis de retenir deux inerties respectives 69,6 % et 30,4 %. Le plan de cette analyse totalise 100% de l'information.

Les contributions relatives des points colonnes qui construisent l'axe1 sont Fe, Cu, Zn, et Pb de coordonnées positives et Cd de coordonnées négatives. Les points lignes qui construisent cet axe sont représentés par la station Agla de coordonnées positives alors que les stations Mekheled et Tafsout sont de coordonnées négatives. Les concentrations les plus importantes du Fe, Cu, Zn, et Pb sont enregistrées dans la station Agla. Elles contribuent à la définition de l'axe 1 du côté positif. Les teneurs en Cd sont importantes dans les stations Mekheled et Tafsout. Elles construisent l'axe1 du côté négatif.

Pour l'axe2, les points colonnes de coordonnées positives sont présentés par l'accumulation du Fe et Zn à l'opposé du reste des éléments métalliques qui sont de coordonnées négatives. Les points lignes qui construisent l'axe 2 sont Mekheled du côté positif et Agla et Tafsout du côté négatif. Les teneurs en Fe et Zn dans les sédiments de Mekheled sont importantes. Au fait, deux facteurs (axes), avec des charges différentes, signifient que deux contributions différentes sont impliquées dans la détermination des concentrations des éléments métalliques dans les sédiments marins (**Rahman et al., 2014**).

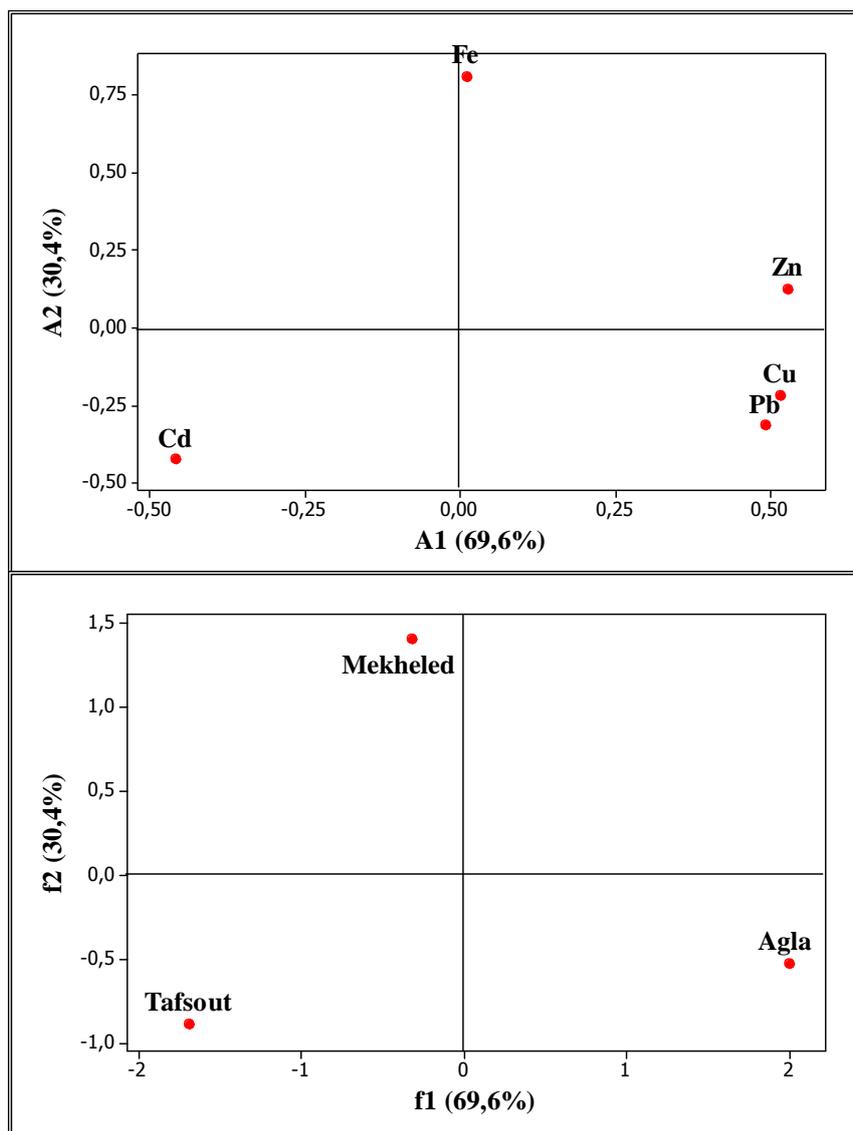


Figure 16 : Plan factoriel engendré par les deux premiers axes de l'ACP calculés à partir des teneurs métalliques dans les sédiments des trois stations

VI.1.3.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Les résultats de la classification ascendante hiérarchique (CAH) sont représentés sur la figure 17.

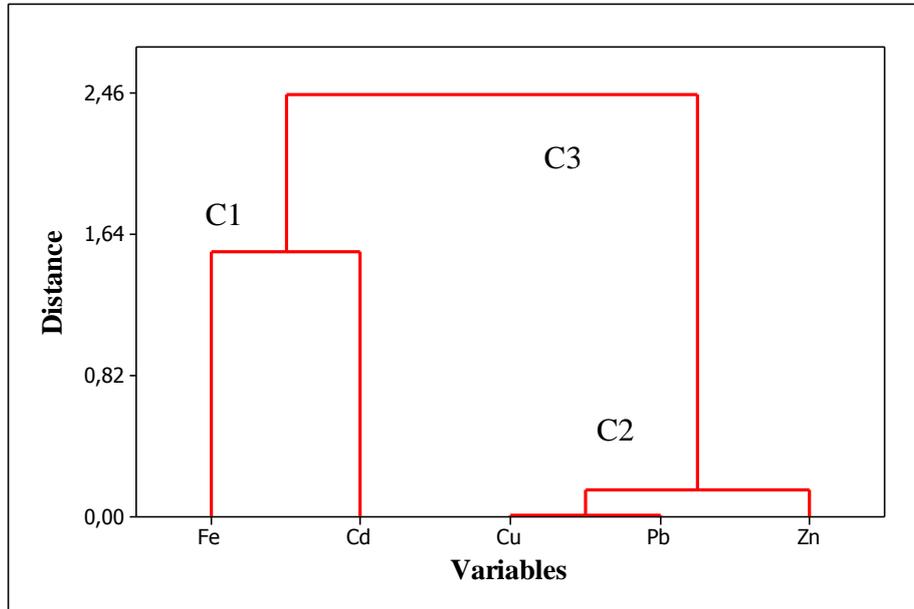


Figure 17. Dendrogramme issue de la CAH de la matrice de répartition des éléments métalliques dans les sédiments

La matrice d'entrée est un tableau des moyennes des cinq éléments (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) réparties sur les trois stations d'étude. La classification hiérarchique ascendante réalisée à partir de cette matrice met en évidence deux grands groupes composés d'un nombre de variables allant de 2 à 3 (Fig17). Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux de l'ACP où les cinq éléments ont été divisés en deux groupes significatifs (Fig17) : le premier groupe (C1) contient Fe, et Cd (corrélés dans l'axe2 dans ACP). Le deuxième groupe (C2) contient Cu, Pb et Zn (ce qui était bien cohérent dans l'axe 2 dans l'ACP). A une distance plus élevée, les deux groupes fusionnés forment le cluster (C3).

VI.1.4. Corrélation de Pearson

Par ailleurs, une matrice de corrélation a été calculée pour les éléments métalliques pour établir une relation entre les métaux et déterminer leurs origines communes dans les sédiments de la baie de Honaine. La matrice de corrélation de Pearson pour tous les échantillons est présentée sur le tableau 5.

Tableau 5 : Corrélations entre les éléments métalliques dans les sédiments

	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd
Fe	1				
Cu	-0,249	1			
Zn	0,174	0,911	1		
Pb	-0,368	0,992	0,852	1	
Cd	-0,541	-0,680	-0,922	-0,58	1

Une corrélation négative a été observée dans le cluster C1 c'est-à-dire entre Fe et Cd ($r = -0.541$). Des corrélations fortement positives ont été observées chez les éléments du cluster C2 c'est-à-dire entre Cu et Zn ($r = 0,911$), Cu et Pb ($r = 0,992$), Zn et Pb ($r = 0.852$). Ceci est en accord avec les résultats d'analyse en composante principale (ACP).

VI.1.5. Indice de géoaccumulation

Le tableau 6 montre les valeurs des indices de géoaccumulation (*I_{geo}*) calculés pour les sédiments des trois stations (Mekheled, Agla et Tafsout). Les valeurs d'origine locale retenues sont celles citées par **Dali youcef et al., (2005)** fixées à 32,49 mg/g pour Fe, 22,53 mg/kg pour Cu, 57,24 mg/kg pour Zn, et 13,27 mg/kg pour Pb, ainsi que les valeurs citées par **Turekian et Wedepohl (1961)**, 0,3 mg/kg pour Cd.

Tableau 6 : Valeurs de l'indice de géoaccumulation dans les trois stations

I_{geo}	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd
Mekheled	8,38	2,76	4,52	2,90	0,68
Agla	8,11	2,98	4,66	3,09	-0,27
Tafsout	8,02	2,73	4,30	2,90	1,52

Le fer a montré des valeurs élevées dans tous les sédiments de cette étude. Les valeurs d'*Igéo* mettent le fer dans la classe 6. ceci peut être expliqué par la nature du fond géochimique de la région. Le zinc est placé dans la classe 4 correspondant aux sédiments sévèrement pollués. Les valeurs *Igéo* dans les trois stations placent le cuivre dans la classe 3. correspondant aux sédiments de modérément pollués à sévèrement pollués.

Les valeurs de l'*Igéo* pour cuivre mettent toutes les stations dans la classe 2 correspondant aux sédiments modérément pollués. Cependant, les valeurs pour le cadmium sont inférieures à 0 dans la station de Agla indiquant des sédiments non pollués (classe 0).

IV.1.6. Comparaison de nos résultats avec quelques études antérieures

Le tableau 7 présente les concentrations des métaux rapportées dans différents travaux sur des sédiments côtiers méditerranéens (**MacDonald et al , 2000 ; Ludovic, 2008 ; Abi-Ayad, 2009 ; Al Atti Hellal, 2011; Goubali, 2013 ; Benabdallah, 2013 Belhadj , 2018**) y compris ceux obtenus dans cette étude. Ils ont été choisis afin de mettre en évidence certains niveaux réels de contamination et de les comparer avec nos données, avec des valeurs recommandées pour les sédiments non pollués (**GESAMP, 1982; Salomons et Förstner, 1984**) et ainsi avec des directives sur la qualité des sédiments TEC (Threshold Effect Concentrations) et PEC (Probable Effect Concentrations) (**McDonald et al., 2000**).

Tableau 7 : Comparaison des résultats de la présence étude avec ceux de la littérature

Zone marine	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Références
France	42,10	28,90	151	/	0,27	Ludovic,2008
Béni-Saf	/	72,69	222,43	195,02	9,95	Abi-Ayad,2009
nisie(Bizerte et Rad	/	2,77	150,20	12,60	/	Al Atti Hellal,2011
Béni-Saf(Sidi Ali)	/	12,49	120,17	33,13	2,03	Benabdallah,2013
Rachgoun	16,54	20	193,31	53,46	/	Ghoubali,2013
Baie de Ghazaouet	32,05-35,77	63,9-210,66	281,86-2252,16	61,38-373,85	3,87-19,57	Belhadj ,2018
TEC	/	31,60	121	35,80	0,99	MacDonald et al., 2000
PEC	/	149	459	128	0,98	
Valeurs recommandées pour des	41a,b	33,00	95b	19b	0,11a	a :GESAMP, 1982; b : Salomons and Forstner,1984.
Mekheled	3,34	11,61	259,69	26,87	7,19	Notre étude
Agla	1,78	18,96	358,42	42,19	0,81	
Tasout	1,45	10,67	158,64	27,25	49,73	

En examinant le tableau 7, il se voit que les concentrations en zinc dans la station de Agla sont plus élevées que dans d'autres régions et sont supérieures aux valeurs recommandées pour les sédiments non pollués (zinc= 358,425 mg/kg) par **Salomons et Förstner (1984)**.

Nos concentrations de Cd dans la station de Tafsout sont plus élevées que celles obtenues dans la baie de Ghazaouet (**Belhadj, 2018**) et la baie de Béni-Saf (Abi-Ayad 2009) elles sont, par ailleurs, inférieures aux concentrations des directives de la qualité des sédiments TEC et PEC (**MacDonald et al., 2000**) pour le cuivre, le Pb pour les stations Mekheled et Tafsout et Cd pour Agla.

Les concentrations du cuivre trouvé dans les trois stations sont inférieures à celles trouvées dans la baie de Ghazaouet.

Les valeurs du plomb retrouvées dans les trois stations d'étude sont inférieures à celles de la baie de Ghazaouet (**Belhadj,2018**) Elles sont inférieures aux valeurs recommandées pour les sédiments non pollués d'après **GESAMP (1982) et Salomons and Forstner (1984)**.

VI.2. Algues

Nous présentons sur la figure 18, les variations spatiales des teneurs métalliques (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) (mg/kg) chez les algues (*Enteromorpha linza*) dans les stations de Mekheled et Tafsout.

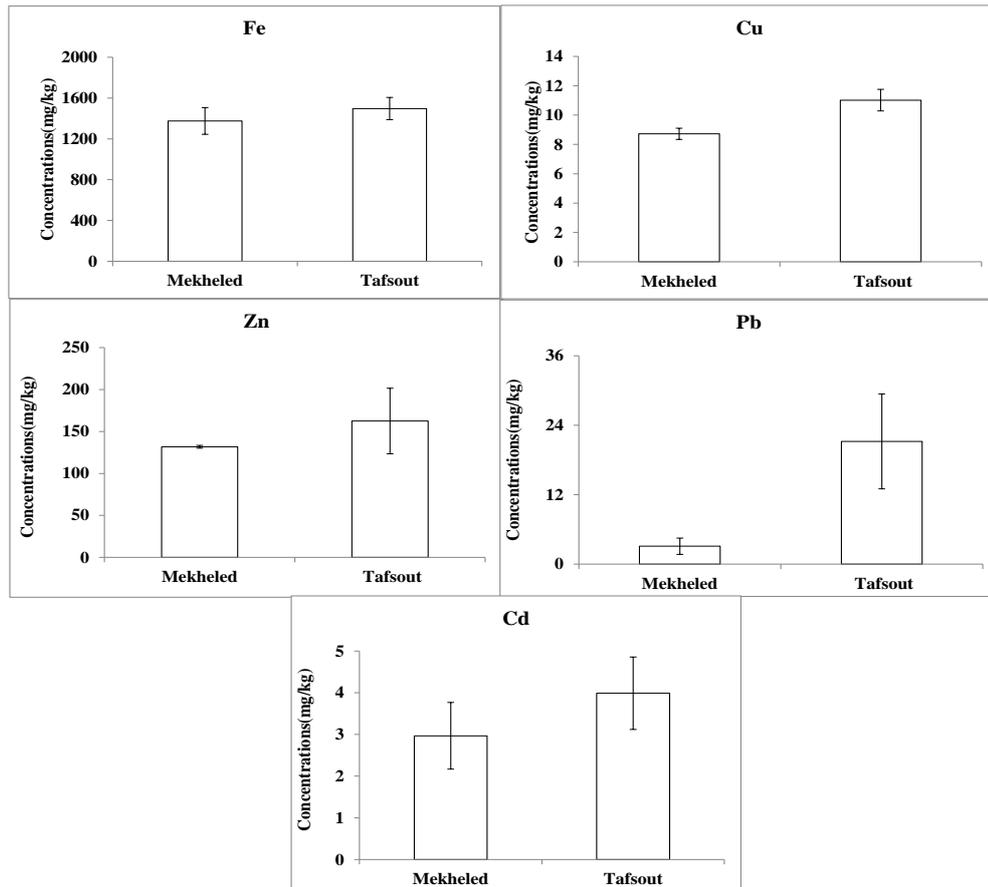


Figure 18 : Variations spatiales des teneurs métalliques (Fe Cu, Zn, Pb et Cd) chez les algues (*Enteromorpha linza*) dans les deux stations (Mekheled et Tafsout)

D'après la figure 18, nous constatons que les algues concentrent les teneurs les plus élevées en fer quelle que soit la station. Les teneurs métalliques sont plus élevées dans la station de Tafsout que dans la station de Mekheled.

Les gradients de concentration sont :

- ✓ Mekheled : Fe > Zn > Cu > Pb > Cd
- ✓ Tafsout : Fe > Zn > Pb > Cu > Cd

Les teneurs métalliques sont plus élevées dans la station de Tafsout que dans la station de Mekheled.

Le Test de student a permis de comparer entre les taux d'accumulation des différents métaux. Des différences significatives pour le cuivre ($p=0,029$) ont été retrouvées entre les deux stations.

VI.2.1. Facteur de bioaccumulation

Nous présentons sur la figure 19 les facteurs de bioaccumulation chez les algues des deux stations d'étude.

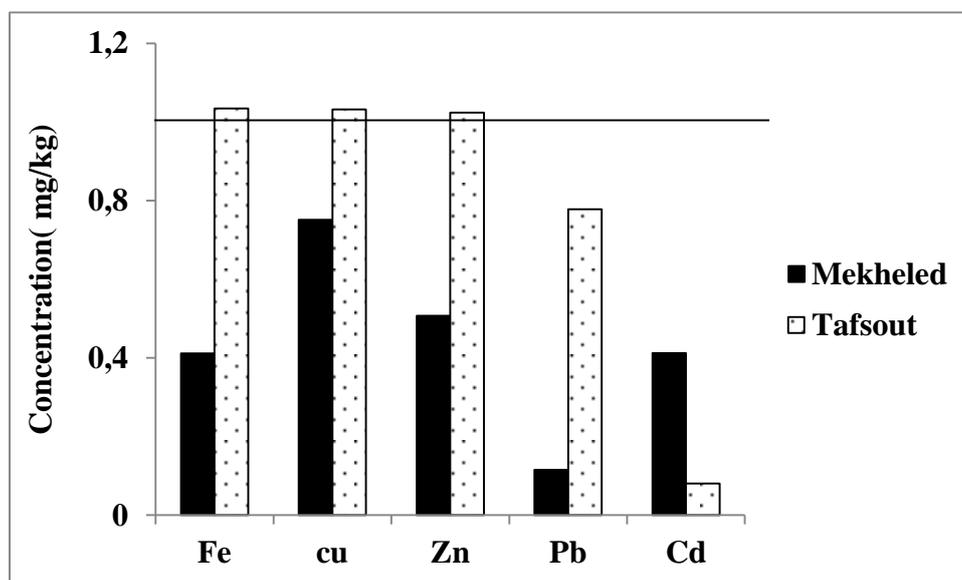


Figure 19 : Comparaison entre facteurs de bioaccumulation chez les algues dans les stations (Mekheled et Tafsout)

Les facteurs de bioaccumulation (*FBA*) ont été calculés pour les cinq métaux pour les deux stations en divisant les concentrations moyennes des éléments enregistrées chez les algues par les concentrations moyennes obtenues dans les sédiments de la même station. D'après la figure 19, nous constatons que pour Tafsout, les enteromorphes montrent partout des *FBA* plus élevés que Mekheled respectivement pour Fe, Cu, et Zn, avec des *FBA* qui restent supérieurs à 1. Au contraire pour le cas Mekheled affichent des *FBA* inférieurs à 1 pour tous les métaux. Les algues de Tafsout peuvent concentrer les métaux jusqu'à deux fois plus que l'algue de Mekheled.

VI.2.2. Comparaison de nos résultats avec la littérature

Le tableau 8 présente les concentrations des métaux (Fe, Cu, Zn, Cd et Pb) obtenues durant cette étude chez les algues et sont comparées à la littérature (même espèce ou le même genre), (Malea et Haritonidis, 1999 ; Kut et al., 2000 ; Topcuoglu et al., 2001 ; Villares et al., 2001 ; Mohamed et Khaled, 2005 ; Strezov et Nonova, 2009 ; Khaled et al., 2014;Belhadj,2018).

Tableau 8 : Comparaison des résultats de l’algue avec la littérature

	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	référence
Golfe de Thermaikos (Grèce) <i>E.linza</i>	0,053-0,134	1,9-4,4	49,7-141,3	7,8-87,4	0,1-2,5	Malea et Haritonidis, 1999
Bosphore (Turquie), <i>E.linza</i>	0,241-0,281	6-7,98	15,8-16,9	2-7,8	0,38-0,8	Kut et al., 2000
Cote de la Mer Noire (Turquie), <i>E.linza</i>	0,441	7,63	8,98	3,4	0,85	Topcuoglu et al, 2001
Cote du Nord Ouest (Espagne), <i>E. sp</i>	0,103-5,046	4-48,12	16,21-147	/	/	Villares et al., 2001
El-Mex-Cote d’Alexandrie (Egypte), <i>E.linza</i>	0,327	14,619	29,717	14,262	0,733	Mohamed et Khaled, 2005
Cote de la Mer Noire (Bulgarie), <i>E. intestinalis</i>	0,19-1,94	1,3-10,50	10-17	1,7-3,2	0,3-1,6	Strezov et Nonova, 2009
Cote Marsa –Matrouh (Egypte) <i>E. compressa</i>	1,284-3,865	4,02-65,72	4,95-58,47	37,78-159,39	0,19-1,34	Khaled et al., 2014.
Baie de Ghazaouet, <i>Enteromorpha linza</i> ,	2,605-6,139	7,337-61,114	122,606-2158,46	10,236-129,997	0,775-7,414	Belhadj, 2018
Mekheled	1,38	8,725	131,75	3,09	2,96	Notre étude
Tafsout	1,50	11,01	162,48	21,2	3,98	

Pour le fer, les valeurs enregistrées chez nos enteromorphes sont inférieures à celles rapportées par Villares et al., (2001) chez *Enteromorpha sp* collectée au Nord-Ouest d’Espagne. Nos résultats sont élevés en zinc et en cadmium mais ils restent ponctuelles. Pour le plomb, nos algues sont concentrées par rapport aux résultats de Khaled et al., (2014) sur Marsa-Matrouh (Egypte).

VI.3. Patelle

La figure 20 présente les valeurs spatiales de la bioaccumulation des métaux chez la patelle dans les deux stations Mekheled et Agla.

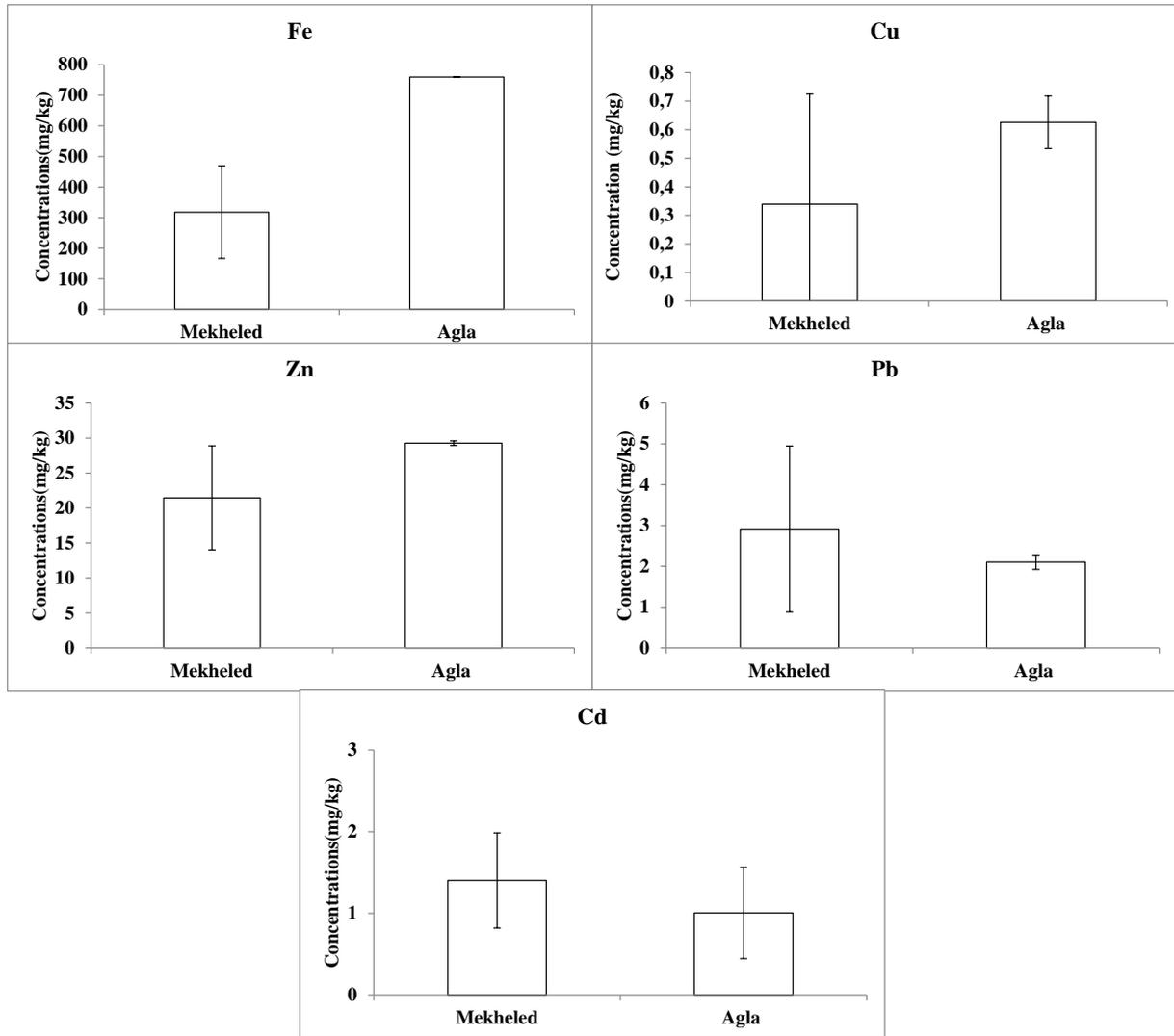


Figure 20 : Variations spatiales des teneurs métalliques (Fe Cu, Zn, Pb et Cd) chez la patelle dans les deux stations Mekheled et Agla

D'après la figure 20 montrant les variations spatiales de la bioaccumulation des cinq éléments métalliques chez *Patella ferruginea* des deux stations, il s'avère que les teneurs en fer, cuivre et le zinc sont élevées chez les patelles provenant de la station Agla. Par contre les teneurs en plomb et le cadmium sont élevées dans la station de Mekheled.

Les gradients de concentration sont :

Mekheled et Tafsout : $Fe > Zn > Pb > Cd > Cu$

Les teneurs métalliques sont largement élevées chez les patelles provenant de la station Agla que celle de la station de Mekheled.

VI.3.1. Facteur de bioaccumulation

La figure 21 présente la comparaison entre les facteurs de bioaccumulation obtenus chez les dans les deux stations Mekheled et Agla.

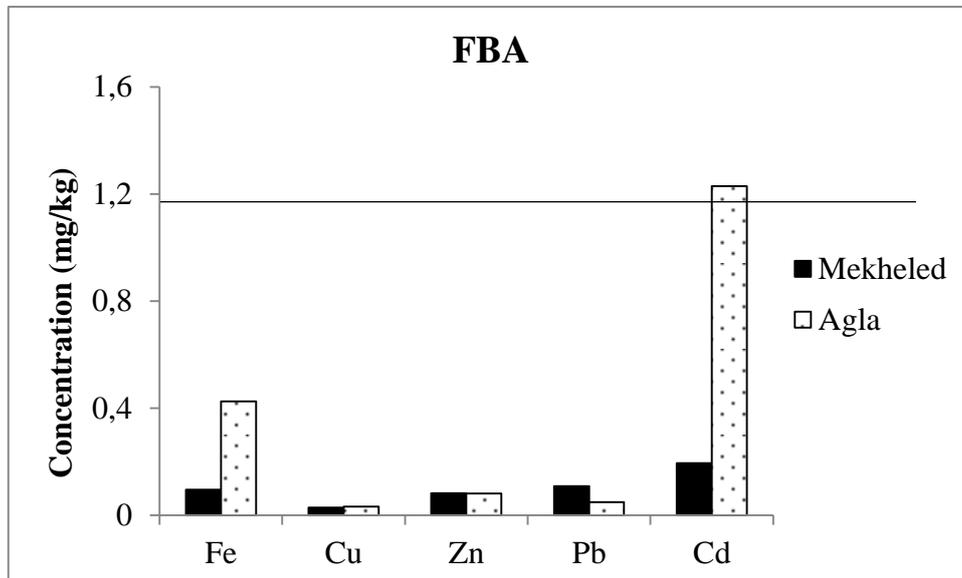


Figure 21 : Comparaison entre les facteurs de bioaccumulation Chez *Patella ferruginea* dans les deux stations Mekheled et Agla

La figure 21 montre que les *FBA* calculés pour les éléments métalliques sont très faibles voir nuls pour nos patelles des deux stations (Mekhled et Agla) indiquant que la bioaccumulation de ces éléments est très faible par rapport aux sédiments.

Les *FBA* obtenus sont plus importants notamment chez la patelle de la station de Agla où les *FBA* sont les plus élevés pour le cadmium (> 1).

VI.3.2. Comparaison de nos résultats avec la littérature

Le tableau 9 présente les concentrations des métaux (Fe, Cu, Zn, Cd et Pb) obtenues durant cette étude chez les patelles et sont comparées à la littérature de la même espèce (*Patella ferruginea*).

Tableau 9 : Comparaison des résultats de la patelle avec la littérature

Zone marine	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Références
Béni-Saf	0,11	1,95	48,38	17,18	2,01	Abi Ayad, 2009
Sidi Ali Béni-Saf	0,14	0,60	5,08	2,56	0,51	Benabdallah, 2013
Baie de Ghazaout	0,541-2,145	21,829-89,707	248,90-959,47	28,833-113,09	8,942-10,019	Belhadj, 2018
Mekheled	0,31	0,33	21,45	2,91	1,40	Notre étude
Agla	0,76	0,62	29,26	2,10	1,00	

Les valeurs retrouvées chez les individus récoltés dans les deux stations sont faibles comparées à l'étude de Belhadj (2018) de la baie de Ghazaouet par contre notre résultats sont supérieures à celle retrouver dans la station de Sidi Ali (Béni-Saf) (Benabdallah, 2013).

IV.4. Comparaison générale entre échantillons

IV.4.1. ACP, CAH et Corrélations appliquées aux sédiments

IV.4.1.1. Analyse en composante principale(ACP)

Les résultats de l'analyse en composante principale (ACP) sont présentés sur la figure 22

La matrice de donnée utilisée pour cette analyse est composée de cinq colonnes correspondant aux différents métaux (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) et de trois lignes (sédiments, algues et patelles) relatives aux trois stations retenues pour cette étude.

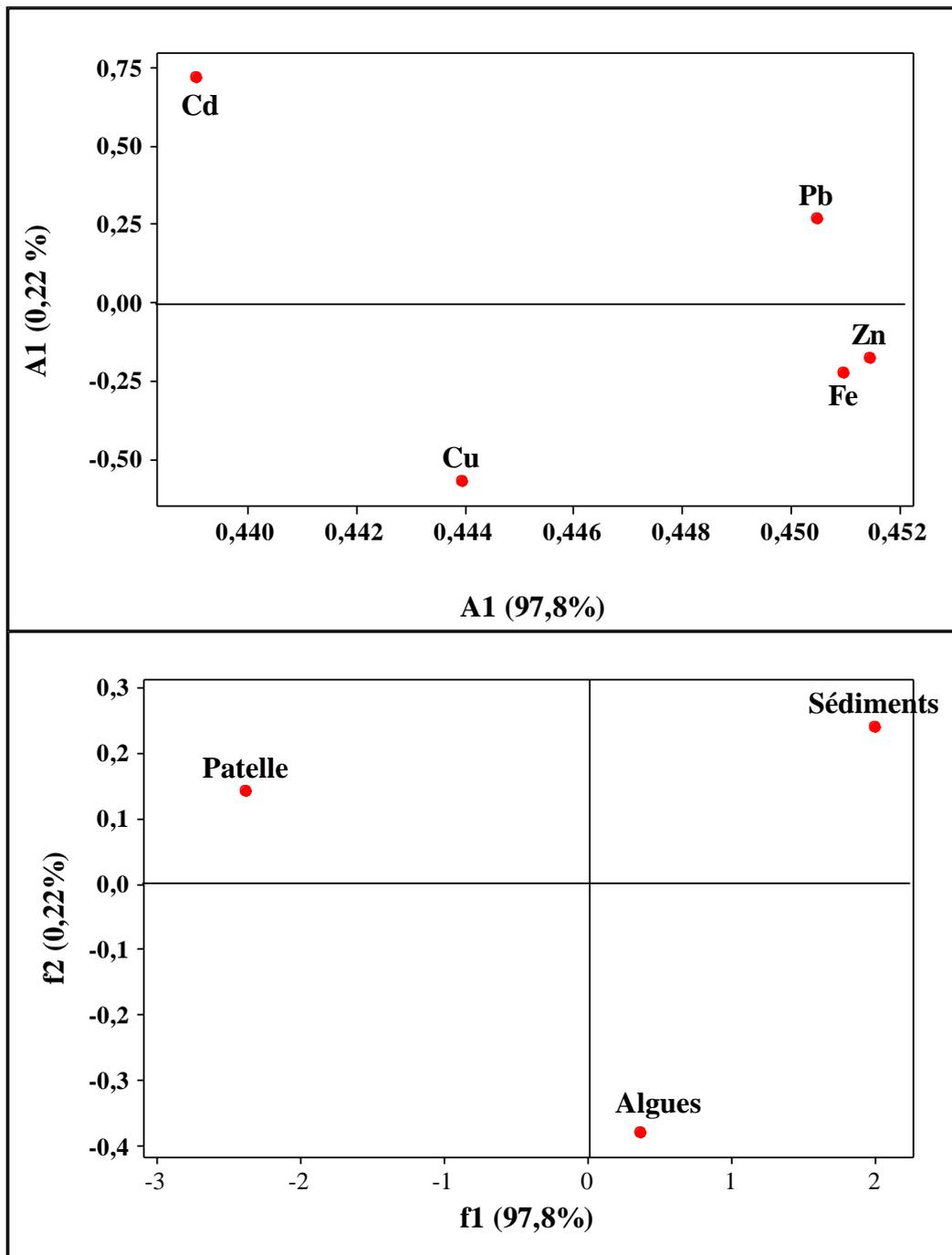


Figure 22 : Plan factoriel engendré par les deux premiers axes de l'ACP calculés à partir des teneurs métalliques dans les sédiments, chez les algues et les patelles

Les valeurs propres (4,89 et 0,11) ont permis de retenir deux inerties respectives 97,8 % et 0,2 %. Le plan de cette analyse totalise 98% de l'information.

Les contributions relatives des points colonnes qui construisent l'axe1 sont des coordonnées positives (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) Les points lignes qui construisent cet axe sont les sédiments

et algues de coordonnées positives alors que les patelles sont de coordonnées négatives. Les concentrations les plus importantes du Fe, Cu, Zn, Pb et Cd sont enregistrées dans les sédiments et chez les algues. Elles contribuent à la définition de l'axe 1 du côté positif.

Pour l'axe2, les points colonnes de coordonnées positives sont présentés par l'accumulation du Cd et Pb à l'opposé du reste des éléments métalliques qui sont de coordonnées négatives. Les points lignes qui construisent l'axe 2 sont les patelles et les sédiments du côté positif et les algues du côté négatif. Les teneurs en Cd et Pb dans les sédiments et patelles sont importantes. Au fait, deux facteurs (axes), avec des charges différentes, signifient que deux contributions différentes sont impliquées dans la détermination des concentrations des éléments métallique dans les sédiments marins (Rahman et al., 2014).

VI.4.1.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Les résultats de la classification ascendante hiérarchique (CAH) sont représentés sur la figure 23.

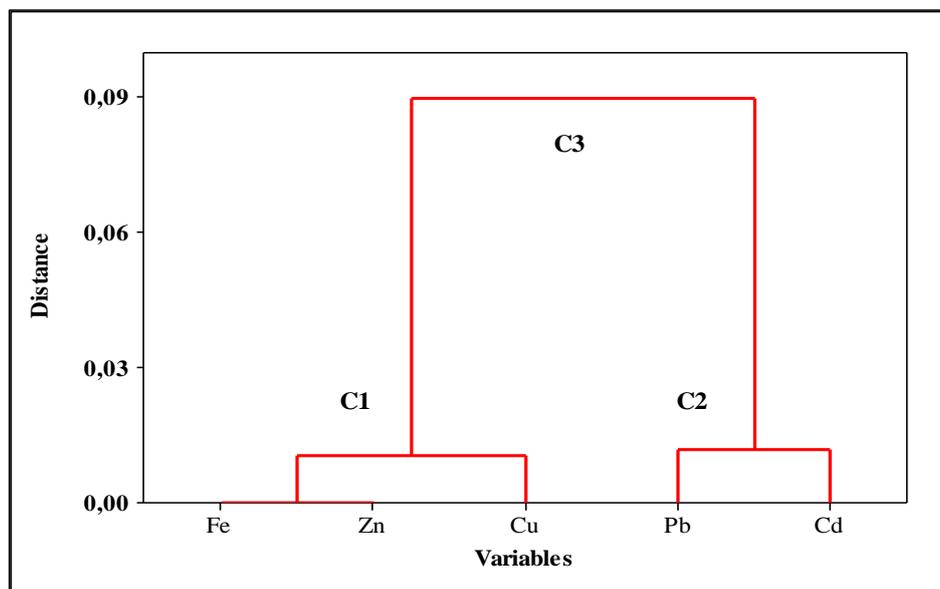


Figure 23 : Dendrogramme issue de la CAH de la matrice de répartition des éléments métalliques

La matrice d'entrée est un tableau des moyennes des cinq éléments (Fe, Cu, Zn, Pb et Cd) réparties sur les trois échantillons (sédiment, algue et patelle). La classification hiérarchique ascendante réalisée à partir de cette matrice met en évidence deux grands groupes composés

d'un nombre de variables allant de 2 à 3 (Fig 23). Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux de l'ACP où les cinq éléments ont été divisés en deux groupes significatifs (Fig 23) : le premier groupe (C1) contient Fe, Zn et Cu (corrélés dans l'axe2 dans ACP). Le deuxième groupe (C2) contient Pb et Cd (ce qui était bien cohérent dans l'axe 2 dans l'ACP). A une distance plus élevée, les deux groupes fusionnés forment le cluster (C3).

VI.4.1.3. Corrélations de Pearson

Une matrice de corrélation a été calculée pour les éléments métalliques pour établir une relation entre les métaux et déterminer leur origine commune dans les différents échantillons dans la zone d'étude. La matrice de corrélation de Pearson pour tous les échantillons est présentée sur le tableau 10.

Tableau 10 : Corrélations entre les éléments métalliques

	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>
<i>Fe</i>	1				
<i>Cu</i>	0,993	1			
<i>Zn</i>	1,000	0,991	1		
<i>Pb</i>	0,987	0,961	0,989	1	
<i>Cd</i>	0,950	0,907	0,955	0,988	1

Une corrélation positive a été observée dans le cluster (C1) c'est-à-dire entre Fe et Cu ($r = 0.993$), Fe et Zn ($r = 0.987$), Fe et Pb ($r = 0.950$). Des corrélations positives ont été aussi observées chez les éléments du cluster (C2) c'est-à-dire entre Pb et Cd ($r = 0,988$). Ceci est en accord avec les résultats d'analyse en composante principale (ACP).

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

La préservation de la qualité du milieu marin nécessite non seulement une connaissance quantitative des apports vers l'environnement marin, mais également une connaissance des niveaux de présence des contaminations toxiques identifiés dans cet environnement.

Dans ce travail concernant l'évaluation des teneurs métalliques dans sur le littoral de la commune de Honaine, nous nous sommes consacrés à traiter des données provenant de prélèvements in situ du matériel sédimentaire et biologique. L'étude est basée sur l'analyse dans cinq éléments métalliques (fer, cuivre, zinc, plomb et cadmium) chez les sédiments, les algues et un mollusque gastéropode (*Patella ferruginea*).

Les variations spatiales de zinc, plomb et cadmium sont importantes, dans les sédiments des trois stations d'étude par contre les concentrations du fer et cuivre reste inférieures.

Nous avons constaté que les variations spatiales du fer, zinc, plomb et le cadmium chez les algues sont importantes.

Les résultats ont montré que les teneurs des trois métaux (fer cuivre et le zinc) sont élevées chez les patelles provenant de la station Agla que celle de la station de Mekheled.

Nous pouvons clarifier à la lumière de nos résultats et interprétations que les trois échantillons (sédiments, algues et patelle) représentent des excellents bioindicateurs. Les teneurs sont liées aux des apports domestiques et agricoles de la région.

Ce travail a permis également de faire des recommandations pour des perspectives futures:

- ✚ Elargir la zone d'étude et le suivie de la bioaccumulation métallique dans l'Ouest Algérien.
- ✚ Sensibiliser les populations.
- ✚ Elargir la gamme des contaminants organiques et inorganique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

ABI AYAD, L., 2009. Etude de la biodisponibilité des métaux lourds dans les sédiments et chez quelques espèces marines du littoral de l'extrême Ouest Algérien (Béni Saf). Thèse de magister en Biologie. Université de Tlemcen 195p.

ACHARD, R., 2013. Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage: rôle spécifique de la matière organique naturelle. Thèse de Doctorat en Chimie de l'environnement. Univ. du Sud Toulon Var (France). 187p.

ALLAM, H., 2011. Etude de la bioaccumulation métallique chez les algues, oursins et sédiments dans le littoral d'Honaine (extrême ouest algérien). Mémoire de Magister en écologie et biologie des populations. Université de Tlemcen. 153p.

B

BELHADJ, H., 2018. Contribution à l'étude de l'accumulation des éléments métalliques par les sédiments, les algues et la patelle provenant de la baie de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen).

BELLOTTO, V.R. et MIEKELEY, N., 2007. Trace metals in mussel shells and corresponding soft tissue samples: a validation experiment for the use of *Perna perna* shells in pollution monitoring. Anal Bioanal Chem. 389,769–776p.

BENABDALLAH, I., 2013. Contribution à l'évaluation de la pollution métallique dans les sédiments et chez la Patelle (*Patella ferruginea*) de Sidi Ali (Daira de Béni Saf). Univ. Tlemcen. Algerie. 51 .55p.

BENZECRI, J.P., 1973. L'analyse des données. I: la taxonomie. II: l'analyse des correspondances. EdtDunod. Paris. 619 p.

BITTEL, R., 1973. Etude du comportement des métaux lourds en milieu marin, en vue de l'évaluation de la capacité limite d'acceptation des écosystèmes océaniques pour la pollution chimique. Chemical Geology, 20. 45-55p.

BOLBAPOCÀ, D. S et JÄANTSCHI, L., 2006. Pearson vers Spearman. Kendell's Tau correlation analysis on structure. Activity Relationships of Biologic Active compounds. Leonardo Journal of Sciences. 179-200p.

BONNET, C., 2000. Développement de bioessais sur sédiments et applications à l'étude. En laboratoire. De la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés. Thèse de doctorat, Université de Metz, 326p.

BOULVAIN, F. 2011. Eléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire. P 51-68

BOUE, H., et CHATON, R., 1978. Zoologie 1-2, Ed. Doin. Paris : pp 9-7.

BOUTIBA, Z., 2004. Guide de l'environnement marin Edit : Dar El Gharb, 273p.

C

CALLENDER, E., 2003. Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon, Oxford, 67- 105p.

CASAS, S., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat: Océanologie biologique, Environnement marin. 2005, 314p.

CHOUIKHI, 1992 : « Pollution marine des côtes Algériennes » moyens de combattre et de la réduire. Rapp. Du work shop n° 1. La circulation des eaux et pollution des eaux méditerranéenne du Maghreb. Rabat. Maroc. 115p.

CHRISTIAENS, (1973). Révision du genre *Patella* Mollusca, Gastropoda). Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. 3. 182.1305-1392.

COURTEAU, R. 2011. Rapport sur la pollution de la Méditerranée : état et perspectives à l'horizon 2030. Office parlementaires d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. 188 p.

CULIOLI J.M, 2003. L'actualité à la point-point du Cap Corse. Dossier n°02 : la patelle géante. 09p.

D

DALI-YOUCHEF, N., OUDDANE, B. et DERRICHE, Z., 2005. Metals found in superficial sediments of the Tafna River and its estuary in north-western Algeria. Fresenius Environ. Bull. 14, 753-763p.

DAVIS, T.A., VOLESKY, B. et MUCCI, A., 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. Master Research. 37(18), 43011-43030p.

DUCHEZ, J., LOY, M., 2005. La classification ascendante hiérarchique. Projet d'analyse de données INSA.; Rouen.

E

EL-SAID, G.F., 2013. Bioaccumulation of Key Metals and other contaminants by seaweeds from the Egyptian Mediterranean Sea Coast in Relation to Human Health Risk. Human and Ecological Risk Assessment. 19, 1285–1305p.

ESPINOSA, F., GUERRA-GARCIA, J.M. & GARCIA-GOMEZ, J.C. 2007.

F

FALISSARD, B., 1998. Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie, 2ème Edt. Masson, Paris (France). 332p.

G

GEFFARD, O. 2001. Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : Évaluation chimique et biologique. Biodisponibilité des contaminants sédimentaires. Thèse de Doctorat, Université, Bordeaux I. France. 351-375 p.

GERAR, D. 2005. Pêche à pied en bord de la mer. Edit. Artemis. 201-212p.

GRASSE, P.P, DOUMENG, D, 1995. Zoologie 1. Invertébrés. Edit. Masson. Paris.126-136p.

GHOBALI, R. 2013. Contribution à l'étude des polluants métalliques contenus dans les sédiments et chez le Thais haemastoma (Linnaeus, 1767) de la baie de Rachgoun. Université de Tlemcen.52p.

GESAMP (IMO/FAO/IJNESCO/WMO/IAEA/UN/IJNEP), 1982. The health of the oceans: Rep. Stad., 15. GESAMP. 108 p.

GÜVEN, K. C., SAYGI, N.et ÖZTÜRK, B., 1993. Survey of metal contents of Bosphorus algae, *Zostera marina* and sediments. Bot. mar. 36, 175–178p.

H

HARITONIDIS, S. et MALEA, P., 1995. Seasonal and local variation of Cr, Ni and Co concentrations in *Ulva rigida*. C. Agardh and *Enteromorpha linza* (Linnaeus) fromThermaikos Gulf, Greece. Environ. Pollut. 89, 319–327p.

I

IFREMER, 2001. Evaluation de la qualité des eaux basée sur la détermination et l'application de stations artificielles de moules en méditerranée : résultats de la campagne 2000-Réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO). 93p.

J

JAKIMSKA, A., KONIECZKA, P., KRZYSZTOF, S.et NAMIESNIK, J., 2011. Bioaccumulation of Metals in Tissues of Marine Animals, Part I: the Role and Impact of Heavy Metals on Organisms. Pol. J. Environ. Stud. 5, 1117-1125p.

JAQUET, J.M., et WEBER, B., 2002. Suivi multi-temporel de la concentration de la Chlorophylle en Méditerranée Orientale à l'aide de Sea WiFS et de Landstat TM. Rapport de stage au GRID ; Université de Genève ; 86p .

K

KHALED, A., HESSEIN, A., M. ABDEL-HALIM, A., M. MORSY, F., 2014. Distribution of heavy metals in seaweeds collected a long Marsa-Matrouh beaches, Egyptian Mediterranean Sea. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 40, 363–371p.

KUT, D., TOPCUOGLU, S., ESEN, N., KÜÇÜKCEZZAR, R. et GÜVEN, K. C., 2000. Trace metals in marine algae and sediment samples from the Bosphorus (Turkey). *Water, Air, and Soil Pollution*. 118, 27–33p.

L

LABOREL-DEGUEN F.et LABOREL J., 1985. Répartition, morphologie et reproduction. De *Patella ferruginea*. Mission Scandola XXIV du 15 au 23 octobre 1985. Parc. Nat. Rég. Corse, ajaccio, Fr. : 1-9.

LABOREL- DEGUEN, F et LABOREL, J., 1999. Nouvelles données sur la patelle géante *Patella ferruginea* Gmelin en Méditerranée. Statut, répartition et étude des populations. *Haliotis*, 20. 41-54p.

LEBART, L., MORINEAU A.et FENELON, J.P., 1982. Traitement des données statistiques méthodes et programmes. Edt. Dunod. Paris (France). 518 p.

LEGENDRE, L., LEGENDRE, P., 1984. *Ecologie numérique*. 1. Le traitement multiple des données écologiques ; H. La structure des données écologiques. 2 ed: Masson et presses de l'université du Québec. Paris. 206, 335 p.

LEVEQUE, C. 1996. *Ecosystèmes aquatiques*. Ed, Hachette : 159 p.

LIN, C., HE, M., ZHOU, Y., GUO, W.et YANG, Z., 2008. Distribution and contamination assessment of heavy metals in sediment of the Songhua River, China. *Environ. Monit. Assess.* 137, 329–342p.

LOURINO-CABANA, B., LESVEN, L., CHARRIAU, A., BILLON, G., OUDDANE, B.et BOUGHRIET, A., 2011. Potential risks of metal toxicity in contaminated sediments of Deûle river in Northern France. *J. Hazard. Mat.* 18, 2129– 2137.4p.

M

M.A.T.E, 2014. 5ème Rapport National sur la mise en oeuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national. 128p.

MACDONALD, D.D., INGERSOLL, C.G.et BERGER, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for fresh water ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 20–31p.

MALEA, P. et HARITONIDIS, S., 1999. Metal content in *Enteromorpha linza* (Linnaeus) in Thermaikos Gulf (Greece). Aristotle University of Thessaloniki, *Hydrobiologia* 394, 103–112p.

MÜLLER, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geol. J.* 2, 109–118p.

MOHAMED, L. A. et KHALED, A., 2005. Comparative study of heavy metal distribution in some coastal seaweeds of Alexandria, Egypt. *Chemistry and Ecology*.3, 181-189p.

N

NAKHLE, F.K., 2003. Le mercure, le cadmium et le plomb dans les eaux littorales Libanaises : Apports et suivi au moyen de bioindicateurs quantitatifs (éponges, bivalves et gastéropodes). Thèse de Doctorat en interactions toxiques dans les écosystèmes. Université Denis Diderot Paris 7. 255p.

P

PADOX, J.M., HENNEBERT, P., 2010. Qualité chimique des sédiments fluviaux en France. Synthèse des bases de données disponibles. Rapport d'étude, Convention ONEMA INERIS 2009. 69p.

P.D.A.U ;.2016. Plan Directeur d'Aménagement en Urbanisme de Tlemcen .Rapport.

PEARSON, TH. A. et ROSENBER, R., 1978. Macrobenthic successions in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and marine biology. Rev.* 16, 229-311p.

PICHARD, A., 2005. Aluminium et dérivés. INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. INERIS –DRC-02-25590-02DF41.doc. Version N°2-2- janvier 2005. 53p.

PICOT, A., 2003 - Intoxication de l'organisme par les métaux lourds et autres toxiques. Le mercure, le plomb et le cadmium trois métaux traces toxiques. Conférence ADNO, Paris. 98p.

PHILIPS, D.,J.H., 1997 - The use of Biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. *ARvironpolut1977*, IFREMER 1997, 272. 13: 281-317p.

PUENTE, X., 1992. Metai spesados en organismos bentónicos dos esteiros de Galicia. Tesis de Licenciatura. University of Santiago de Compostela: 58 p.

R

RAHMAN, M.S., SAHA, N., MOLLA, A.H.et AL-REZA, S.M., 2014. Assessment of Anthropogenic influence on heavy metals contamination in the aquatic ecosystem components: water, sediment, and fish. *Soil Sed. Contam.* 23, 353–373p.

RAMADE, F., 2011. Introduction à l'éco chimie: les substances chimiques de l'écosphère à l'homme. Edt. Tec & Doc, Lavoisier. Paris (France). 828p.

RAMADE F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2ème Ed. DUNOD. Paris. 1075 p.

RAMADE. F.. (2007) - Introduction à l'écotoxicologie, fondements et applications. Paris: Lavoisier.618p.

RIDET J.M., PLATEL R., et MENEFFIIR F.J., 1992- Des protozoaires aux Echinodermes

ROBERT., 1992. Dictionnaire de bon usage et de ses difficultés, Paris.967p.

RODIER J., 1996. L'Analyse de l'eau. Eaux naturelles –Eaux résiduares-Eaux de mer. Tom I ET II.8ème Edit. DUNOD.1383p.

RON VAN DER OOST A, JONNY BEYER B, NICO P.E.et VERMEULEN C, 2003. Fis bioaccumulation and bio markers in environmental risk assessment. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13. Elsvier LTD. 57-149p.

S

SALOMONS, W.et FÖRSTNER, U., 1984. Metals in the hydrocycle. Spring-Verlag, Berlin, 149 p.

SEWAGE, POLLUTION et EXINCTIONRISK : an endangered limpet as bioindicator. *Biodiversity and Conservation.* 16: 377-397p.

SHIBER, J.,et SHATILA T. (1978). Lead. cadmium.. copper. nickel and iron in limpets, mussels and snails from the coast of Ras Beirut. Lebanon. *Marin. Environ. Res.* 1. 125-134p.

STREZOV, A. et NONOVA, T., 2009. Influence of macroalgal diversity on accumulation of radionuclides and heavy metals in Bulgarian Black Sea ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity.* 100, 144–150p.

T

THE INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL CONTAMINATED SEDIMENTS TEAM, 2011. Technical/Regulatory Guidance, Incorporation bioavailability considerations into the evaluation of contaminated sediment sites. Washington, DC, USA. (www.itrcweb.org).

TOPCUOGLU, S., GÜVEN, K. C., KIRBASOGLU, C., GÜNGÖR, S., ÜNLÜ, S. et YILMAZ, Y. Z., 2001. Heavy Metals in Marine Algae from S, ile in the Black Sea, 1994-1997. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 67, 288–294p.

TUREKIAN, K.K. et WEDEPOHL, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Am. 72, 175–192p.

V

VAN DER PERK, M. 2006. Soil and water contamination from molecular to catchmentscal. Leiden : Taylor and Francis-Balkema, 404p.

VILLARES R., PUENTE X. et CARBALLEIRA A., 2001. *Ulva* and *Enteromorpha* as indicators of heavy metal pollution (N.W Spain). Hydrobiologia 462, 221–232p.

Résumé

Ce travail est une contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les différents substrats du littoral de l'ouest algérien qui est la baie de Honaine (Wilaya de Tlemcen).

Les échantillons ont subi une minéralisation, une filtration ensuite une analyse par spectrométrie d'absorption atomique (SAA). Les résultats obtenus ont montré que les teneurs en cadmium, plomb et le zinc sont élevées dans les sédiments marins et dépassent les valeurs de références selon (Turekian et Wedepohl. 1961).

Les résultats chez les algues obtenus montrent que les teneurs en cadmium et plomb sont élevées dans la station de Tafsout. Chez la patelle les teneurs en fer, cuivre et zinc sont élevées dans la station de Mekheled. Les résultats obtenus ont été traités par des tests statistiques ANOVA 1, test student CAH et ACP.

Mots clés : Honaine, pollution, métaux lourds, sédiments, algues, Patalle, spectrométrie d'absorption atomique

Abstract

This work about a contribution in the study of metal bioaccumulation in the different substrates Of littoral the extreme west of Algeria that is the Bay of Honaine (city of tlemcen). In the laboratory our work is focused on the concentrations of our samples. The samples underwent mineralization filtration was then analyzed by atomic absorption spectrometry (SAA). The results obtained showed that there is a contamination of marine sediments by the cadmium, lead, zinc which exceed the reference values according to (Turekian et Wedepohl. 1961).

The results in the algae obtained show a more pronounced metallic contamination in the Tafsout station, especially for cadmium and lead. The results obtained were processed by statistical tests ANOVA 1, student test CAH and ACP.

Keywords: Honaine, pollution, heavy metals, sediments, algae, Patella ferruginea, atomic absorption spectrometry

ملخص

يركز هذا العمل على المساهمة في دراسة التراكم الأحيائي المعدني في طبقات مختلفة من ساحل أقصى غرب الجزائر وهو خليج هونايين (ولاية تلمسان). يركز عملنا المختبري على تركيز عيناتنا. خضعت العينات الى الترشيح ثم حلت بواسطة الامتصاص الذري الطيفي بواسطة مطياف الامتصاص الذري (SAA)

أظهرت النتائج أن الكاديوم والرصاص والزنك يتجاوز القيم المرجعية لتلوث الرواسب البحرية وفقاً (Turekian و Wedepohl 1961).

ظهر النتائج في الطحالب التي تم الحصول عليها تلوئاً معدنياً أكثر وضوحاً في محطة تافسوت، خاصة بالنسبة للكاديوم والرصاص. تمت معالجة النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق الاختبارات الإحصائية ANOVA 1، اختبار الطالب CAH و ACP. الكلمات المفتاحية: Honaine، التلوث، المعادن الثقيلة، الرواسب، الطحالب، الرضفة ferruginea، مطياف الامتصاص الذري