



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté Des Sciences de la nature et de la vie

Département des sciences biologiques de l'environnement

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master II

En Environnement et Santé Publique

Thème

**CYCLE BIOGEOCHIMIQUE DE QUELQUES METAUX LOURDS
DANS LES EAUX COTIÈRES DU GOLFE DE BEJAÏA**

Réalisé par :

M^{lle} AIT ZIANE Kahina

M^{lle} BOUYAHIA Nassima

Membres de jury :

Présidente : M^{me} ZEBBOUDJ A.

Examineurs : M^r LAIMOUCHE A.

M^{me} MANKOU N.

Promoteur : M^r KHEMOUJ K.

Co-promoteur : M^r RAMDANE Z.

Année Universitaire : 2012/2013

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à l'éternel Dieu tout puissant pour la patience et la santé qui nous ont été indispensable au long de notre parcours et à nos chers parents sans eux rien n'aurait été possible.

Nous tenons à remercier profondément le membre de jury M^r LAIMOUCHE, examinateur, M^{me} MANKOÛ N examinatrice, M^{me} ZEBBOUDJ A présidente d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre promoteur KHEMOUDJ Kaddour et co-promoteur RAMDANE Zohir pour leur précieuse aide, leur orientations et leur conseils éclairés.

*Nos vifs remerciements s'adressent à:
M^{elle} OULTAH Amel pour son entière disponibilité et coopération lors de la réalisation de ce travail ;*

M^r RAMDANI et Mr ARKOUB pour nous avoir accueillis dans leur laboratoire.

Nous tenons à remercier également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

*Je dédie ce travail
avec vif plaisir à ceux qui sont les plus proches à
mon cœur, qui m'ont toujours aimé et qui ont fait
de toute leurs force pour que je sois toujours
heureuse, mes très chers parents, qui sans eux je ne serai rien ;*

À mes frères Brahim, Nabil

À ma très chère sœur Lila et son fils Younes

*À toute ma grande famille ; Imma hadja, mon grand père, mes
cousines, mes cousins*

À mes amies Hamida, Dalila, dyhia

À mes copines de chambre Anissa, Chahira, Nabila, Fadila

À toute la promotion d'Environnement et Santé Publique

À ma chère binôme et sa famille Bouyahya

Merci



Kahina

Dédicaces

Je dédie

ce travail aux personnes les plus proches de moi ;

Mes très chers parents qui m'ont mis au monde.

Mes deux frères Sofiane et Tarik, mes trois sœurs Naima,

Nadjete et bien sur ma petite Maria. Sans oublier

mon tendre époux Mohamed qui m'as toujours soutenu et à ma

belle famille.

J'aimerai aussi dédier ce travail à ma très chère amie Hamida

ainsi qu'à ma chère binôme Kahina avec toute sa famille et à

toute ma famille, mes amies ; Djamilia, Rosa, Fatima et Louiza.

Merci

Nassima



Sommaire :

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie I : Généralité sur les zones côtières et les métaux lourds

I.1. Présentation des zones côtières	2
I.1.2. Zone d'étude: présentation et caractéristiques	2
I.1.2.1. La situation géographique	2
I.1.2. Les caractéristiques physiques de la région de Bejaia	3
I.1.2.1. La population	3
I.1.2.2. Les Reliefs	3
I.1.2.3. La végétation.....	4
I.1.3. Les pressions sur les zones côtières	4
I.1.3.1. Activités urbanistiques	4
I.1.3.2. Activités économiques.....	5
I.1.4. Source de pollution dans le golf de Bejaia.....	7
I.1.4.1. Agriculture	7
I.1.4.2. Rejets industriels.....	7
I.1.4.3. Rejets solides domestiques	7
I.1.4.4. Eaux usées	7
I.1.4.5. Le trafic routier.....	8
I.2. Les métaux lourds	8
I.2.2. Caractéristiques principaux des métaux lourds.....	9
I.2.3. Origine des métaux lourds dans l'environnement.....	10
I.2.3.1. Sources naturelles	10
I.2.3.2. Sources anthropiques	10
I.2.4. Les métaux lourds dans le sol	10
I.2.4.1. Comportement des métaux lourds dans le sol.....	11
I.2.5. Répartition et devenir des métaux lourds dans l'environnement aquatique	11

I.2.5.1. Comportement des métaux et biodisponibilité	12
I.2.5.1.1. Complexation inorganiques	12
I.2.5.1.2. Complexation organiques	12
I.2.5.2. Processus physiologiques de bioaccumulation des métaux: exemple de la moule.....	13
I.2.5.3. Mécanisme de capture des métaux	13
I.2.5.4. Mécanisme d'excrétion des métaux.....	14
I.2.6. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique	14
I.2.7. Effets des métaux lourds sur la santé humains	15
I.2.8. Les bio-indicateurs du milieu aquatique	16
I.3. Cycle biogéochimique	16
I.3.1. Le cycle biogéochimique des métaux lourds	16

Partie II : Matériel et méthodes

II.1. Présentation du site d'échantillonnage	18
II.2. Echantillonnage	18
II.3. Mode opératoire	19
II.3.1. Préparation des échantillons	20
II.3.2. Protocole de mise en solution des échantillons (moules, sol)	20
II.3.2.1. Les étapes de la mise en solution des échantillons.....	20
II.3.3. Analyse physico-chimique de l'eau.....	21
II.3.4. Analyse minéralogique du sol	21
II.3.5. Préparation des étalons pour les courbes d'étalonnages.....	23
II. II.3.6. Techniques d'analyse des métaux lourds (SAA)	24
II.2.7. La vulnérabilité de la zone d'étude.....	25

Partie III : Résultats

III.1. Résultats des mesures physico-chimique	27
III.2. Résultats des analyses minéralogique du sol	30
III.2.1. Les spectres obtenus par diffractométrie au rayon X.....	30
III.3. Les caractéristique physique des moules étudiées	35
III.4. Résultat des analyses des métaux lourds étudier par SAA.....	35
III.4.1. Les concentrations des métaux (Pb, Cd, Zn) dans les moules	36
III.4.2. Les concentrations des métaux dans le sol.....	36
III.4.3. Les concentrations des métaux lourds (Zn, Pb, Cd) dans l'eau de mer	36
III.4.4. Comparaison entre les différents compartiments	36

III.4.5. les concentrations des métaux dans les deux espèces utilisées dans notre étudiées.....	37
III.5. Concentration des métaux lourds dans les différentes régions méditerranéenne.....	37
III.6.Réalisation de la carte de vulnérabilité	38

Partie IV : Discussions

IV.1. Analyse physico-chimique de l'eau	39
IV.2. Les analyses minéralogiques du sol	39
IV.3. Analyses des métaux lourds dans les compartiments étudiés (sol, eau, moule).....	39
IV.4. Réalisation de la carte de risque.....	40
Conclusion et perspective.....	41
Références bibliographiques	
Glossaire	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau 1 : la répartition de population des zones côtière	3
Tableau 2 : évolution de population des zones côtières	3
Tableau 4 : entreprises du secteur public et privé les plus implorants dans la zone	6
Tableau 5 : les caractéristiques physico-chimiques des métaux lourds étudié	8
Tableau 7 : les effets des métaux lourds étudié sur le milieu aquatique	14
Tableau 8 : capacités de bioconcentration de quelques espèces marines.....	16
Tableau 9 : la concentration des étalons (Pb, Cd, Zn)	24
Tableau 10 : les sept paramètres DRASTIC et leurs poids	26
Tableau 11 :critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC	26
Tableau 12 :les valeurs des paramètres physico-chimiques mesuré	27
Tableau 13 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station1	30
Tableau 14 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station2	31
Tableau 15 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station3	32
Tableau 16 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station4	33
Tableau 17 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station5	34
Tableau 18 : caractéristique physique des moules	35
Tableau 19 : concentration des métaux dans les trois compartiments (eau, sol, moule)	35
Tableau 20 : résultat des concentrations des métaux (France, Italie, Oran, Béjaia)	37

Liste des figures

Figure 1 : carte représentante de la zone d'étude	2
Figure 2 : photo de la plage d'Aokas en 1987.....	5
Figure 3 : photo de la plage d'Aokas en 2009.....	5
Figure 4 : station de déversement des eaux usées dans le golfe de Béjaia, station 1 : port de pêche (S ₁); Station 4 : Tichy (S ₄) ;Station 5 : Melbou (S ₅)	8
Figure 5 :origine des métaux dans le sol (Huynh, 2009	11
Figure 6 :cycle biogéochimique des métaux lourds	17
Figure 7 :positionnement des stations d'étude dans le Golfe de Bejaia.....	18
Figure 8 :photoreprésente les espèces pris en compte dans cette étude A : <i>Mytilus</i> sp ,B : <i>Patella</i> sp.....	19
Figure 9 :les étapes de la minéralisation A : Minéralisation, B : Agitation, C : Chauffage	21
Figure 10 :photo illustre la filtration	21
Figure 11 :photo de l'appareil spectrométrie d'absorption atomique	24
Figure 12 :courbe représentant les variations de pH dans les différentes stations	27
Figure 13 :courbe représentant les variations de la conductivité dans les différentes..... Stations	28 27
Figure 14 :courbe représentant les variations de eh dans les différentes stations	28
Figure 15 : courbe représentant les variations de la température dans les différentes Stations	29
Figure 16 : spectre DRX de l'échantillon du sol de station 1.....	30
Figure 17 : spectre DRX de l'échantillon du sol de station 2.....	31
Figure 18 : spectre DRX de l'échantillon du sol de station 3.....	32
Figure 19 : spectre DRX de l'échantillon du sol de station 4.....	33
Figure 20 : spectre DRX de l'échantillon du sol de station 5.....	34
Figure 21 : concentration du Pb	36
Figure 22 : concentration du Cd.....	36
Figure 23 : concentration du Zn	36
Figure 24 : répartition des concentrations des métaux dans les moules.....	37
Figure 25 : carte de vulnérabilité.....	38
Figure 26 :carte du risque du golfe de Béjaia.....	40

Liste des abréviations

Pop : population

C° : Degré Celsius

Ppm : Partie par million

N° : Numéro

Nb : Nombre

Ech : Echantillon

Km/s : Kilomètre par seconde

Mg/l : Mili gramme par litre

g/m³ : Gramme par mètre cube

h : Heurs

g/cm : Gramme par centimètre

MO : Matière organique

m/an : Mètre par ans

Hg : Mercure

Ni : Nikel

Cu : Cuivre

As : Arsenic

Cr : Crome

Cd : Cadmium

Pb: Plomb

Zn: Zinc

Cl-: Clorure

Br-: Bromure

CN- : Cyanure

NO₂- : Nitrite

CO₃²⁻: Carbonate

OH-: Hydroxide

[Cu H₂O]²⁻: Hydrate du cuivre

Ar : Arsenic

pH : Potentiel hydrogène

SAA : spectrométrie d'absorption atomique

HNO₃ : acide nitrique

HCl : Acide chlorhydrique

µg/l : microgramme par litre

Eh : potentiel redox

RN : Route national

DRX : Diffraction aux rayons X

% : pourcentage

Introduction

Les éléments comme l'hydrogène, l'oxygène, le carbone, l'azote, le phosphore, le soufre et les métaux lourds sont indispensables à la formation des molécules organiques. Les géochimistes, qui étudient la circulation et les interactions de ces éléments dans la nature, ont découvert au cours du XXe siècle que tous les éléments décrivent des cycles, passant d'un réservoir à un autre pour finalement revenir dans le réservoir initial. Aujourd'hui, les activités humaines perturbent les cycles biogéochimiques (**Anonyme, 2013**).

Les franges côtières sont généralement fortement urbanisées et industrialisées, et par conséquent, soumises à des rejets en métaux lourds d'origine anthropique. Les mers semi-fermées comme la Méditerranée sont d'autant plus sensibles à cet impact que le rapport longueur des côtes sur surface de la mer est grand et que le renouvellement des masses d'eaux est moins rapide (**Zegmout et al, 2011**).

Les métaux ont parfois des propriétés semblables, mais tous ont des caractéristiques originales qui interviennent à un niveau ou un autre de leur cycle. Ils sont susceptibles d'établir des liens réversibles avec une grande quantité de composés, organiques ou inorganiques, qui contrôlent leur transport et leur devenir à travers les chaînes trophiques. C'est pourquoi la notion de cycle géochimique a fait place à celle du cycle biogéochimique, qui souligne le rôle essentiel des systèmes biologiques sur les conditions physico-chimiques régnant à la surface de notre planète (**Casas, 2005**).

Le golfe de Bejaia est actuellement dans un état grave et constitue de ce fait un danger sérieux pour la santé publique et une source de contamination permanente de l'environnement à cause de l'ensemble de rejets des eaux usées urbaines et industrielles. C'est dans ce contexte bien précis que s'induit le présent travail étudier la qualité physico-chimique des eaux côtières et la détermination de la concentration de quelques métaux lourds tel que Pb, Zn, et Cd présent dans divers compartiment (eau, sol, matière biologique) et la minéralogie du sol.

Notre mémoire s'articule sur quatre parties :

La première partie traite des généralités sur les zones côtières et les métaux lourds.

La deuxième partie décrit le site d'échantillonnage, l'échantillonnage ainsi que les méthodes analytiques et l'appareillage utilisé pour l'obtention des résultats exploités.

La troisième partie, représente les résultats. En fin, la dernière partie consacrée à la discussion des différents résultats obtenus et la projection de ces dernier sur la carte de vulnérabilité a fin de réalisé une carte du risque de pollution.

I. Généralité sur les zones côtières et les métaux lourds

I.1. Présentation des zones côtières

Les zones côtières sont des zones de transition entre les écosystèmes terrestres et marins. Ces zones sont le point de départ de la plus part des chaînes alimentaires, et beaucoup d'espèces les utilisent comme frayères, pour ces raisons les zones côtières sont essentielles au maintien de la biodiversité marine de tout systèmes océaniques, ainsi elles sont considérées comme une composante importante de la biosphère à la fois pour la diversité des types de services et la fourniture de ressources. Mais malheureusement, les avancées de la science moderne et la découverte et l'exploitation à grande échelle des carburants fossiles ont commencé à dégrader ces écosystèmes, tel que les zones côtières en Méditerranée (Queguiner, 2009).

I.1.2. Zone d'étude: présentation et caractéristiques

I.1.2.1. La situation géographique

Le golfe de Béjaïa est limité à l'Est par le cape Cavallo et à l'Ouest par le cape Carbon, Au Nord il est ouvert sur la Méditerranée sur une longueur qui avoisine 120Km.



Figure 1: carte représentant la zone d'étude

I.1.2. Les caractéristiques physiques de la région de Béjaia

I.1.2.1. La population

La population de la wilaya de Béjaia est estimée à 935 200 habitants. Dans les zones côtières la répartition et l'évolution de la population diffère d'une zone à une autre (tableau 1, 2) (Anonyme, 2011).

Tableau 1 : répartition de population des zones côtières.

Communes	Agglomération Chef-lieu	Agglomération Secondaire	Zones éparses	Total
Bejaia	180 508	476	1 417	182 401
Tichy	9 420	5 124	2 413	16 957
Souk el tenine	6 364	4 285	3 744	14 393
Aokas	7 447	6 506	2 434	16 387
Melbou	2 631	3 450	5 595	11 667

Tableau 2 : évolution de population des zones côtières.

Communes	Pop 1987	Pop 1998	Pop 2008	Pop 2011
Bejaia	120 104	150 195	177 988	182 401
Tichy	11 016	14 349	16 546	16 957
Soul el tenine	8 945	11 762	14 045	14 393
Aoukas	11 865	14 495	15 990	16 387
melbou	7 448	9 990	11 396	1 176

I.1.2.2. Les Reliefs

La Wilaya de Béjaia se présente comme une masse montagneuse compacte et bosselée, traversée par le couloir formé par la vallée de la Soummam. Trois ensembles de reliefs sont distingué (Anonyme, 2011).

- **L'ensemble de montagnes:** occupe 75% (3/4) de la superficie totale de la Wilaya. Elle est constituée des chaînes des Bibans, Babors et Djurdjura.
- **L'ensemble de piémonts:** d'une morphologie ondulée constitué d'une succession de collines, il apparaît moins accidenté que la zone de montagne. Il représente la zone intermédiaire entre la plaine et la montagne.
- **L'ensemble de plaine:** composé des plaines de la vallée de la Soummam qui apparaît comme une bande sinueuse de 80 Kms de long sur une largeur maximale de 04 Kms et la plaine côtière qui sépare la mer et la chaîne des babors, elle se présente comme une bande

étroite qui s'étend de l'embouchure de Oued Soummam à celui de Oued Agrioun soit une trentaine de Kilomètres .

I.1.2.3. La végétation

La végétation de la région d'étude est de type méditerranéen, caractérisé par une diversité importante reconnue mondial. Tout au long de la plaine, de Sidi Ali Elbahr jusqu'aux grande surface de Souk El Tenine, en rencontre toute sorte de culture : *céréales, fourrage, maraichères, légumes* (Ait hamoudi, 2010).

I.1.3. Les pressions sur les zones côtières

L'impact sur la zone côtière est aggravé par une déficience des moyens de gestions et par l'absence d'un cadre juridique. Ceci a engendré la prolifération de plusieurs activités qui compromettent l'équilibre du milieu côtier. Dans la zone d'étude les principales préoccupations sont :

I.1.3.1. Activités urbanistiques

❖ Urbanisation

L'urbanisation est une expression directe de la croissance démographique. Les activités humaines qui conduisent à des problèmes environnementaux sur les côtes augmentent en même temps que la densité des populations qui y sont établies: construction et développement des rivages, activités intérieures (agriculture, déforestation, industrialisation).

❖ Extraction des sables

L'exploitation abusive du sable est un phénomène très répandu dans les plages de la zone d'études ces dernières décennies. Dès 250–300 km de plages sablonneuses en Algérie, reculent de 85% et perdent du sable à raison de 0,30 à 10,4 m/an. À la plage de Bejaia, la mer a avancé de 345 m entre 1959 et 1995 (AEE, 2006).



Figure 2 : La plage d'Aokas en 1987



Figure 3 : La plage d'Aokas en 2009

Selon l'AEE (2006), l'érosion peut avoir une multitude d'effets sur l'écosystème côtier :

- destruction des couches superficielles du sol conduisant à la pollution de la nappe phréatique et à la diminution des ressources en eau;
- dégradation du système des dunes, conduisant à la désertification et à la réduction de la diversité biologique ;
- destruction des dunes avec des effets néfastes sur la dynamique des plages et diminution des ressources sédimentaires;
- disparition des couloirs sablonneux du littoral qui protègent les terres agricoles contre l'intrusion de l'eau de mer (ce qui entraîne la salinisation du sol et des eaux souterraine).

II.1.3.2. Activités économiques

❖ Industrie

Béjaia dispose d'un tissu industriel significatif où presque toutes les branches sont présentes avec une prédominance des activités manufacturières et de transformation qui compte plus de 220 unités en activité l'industrie agros alimentaire, textiles et les transformations du cuir dominant le secteur industriel (**Chihab, 2010**) (Tableau N°4).

Tableau 4 : entreprises du secteur public et privé les plus implorants dans la zone

Nom de l'unité	Produits
ICOTAL industrie cotonnière Algérienne Arrière-port Béjaia	Vêtement sport, vêtement professionnelle, bonneterie
SPA TRANSBOIS Société transformation du bois Arrière-port Béjaia	Panneau contre-plaqué, Panneau latté, Panneau particules, Tanchage
SOMACOB Société des matériaux de construction Béjaia Z.Ihaddaden Bejaia	Montage des différents engins
ENCG/UP08 Raffinerie Savonnerie Guatre Chemins Bejaia	Huiles, savon ménage, savonnets Copeaux et savon
ComplexeCOGB/LaBelle Bejaia Complexe corps gras Est Z .I Ihaddaden_ Bejaia	Raffinerie, Savonnerie, margarine, glycérine, Acide gras, Emballage
SONATRACH DRB Route de Jijel Bejaia	Transport par canalisation pétrole brut, condensat, gaz naturel
NAFTAL DISTRICT COM Arrière-port Bejaia	Distribution produits pétroliers et dérivés Zone GPL : Butane, Propane zone CLP : carburants, lubrifiant, pneumatique et réseaux
SPA CEVITAL Raffinerie d'huile Margarinerie Sucre Nouveau Quai, Port de Bejaia	Huile Végétation et sucre
SCS Société des céramiques de la soumamm Z .I Bejaia	Carreaux céramiques
Etablissement (Etoile filante) ZAC Ighil Ouberouak Tala Hamza	Etablissement (Etoile Filante) ZACIghil Ouberouak Tala Hamza
SIMB Z.I Ihaddaden Bejaia	Unité de charpente Métallique Unité vente, entretien et réparation Véhicules
SONACOB Aokas	Entreprise de transformation du bois
CASDEP Tichy	Dépôts de bétail
ONACO Souk El Tnine	Unité de conserverie

❖ La pêche

La pêche s'effectue souvent sur les zones où les biotopes sont les plus riches. Les pratiques de pêche peuvent conduire à la surexploitation des ressources vivantes avec un impact sur l'écosystème côtier et marin. La cote s'étend sur 100 Km, caractérisée par un relief (Courleau, 2011).

❖ Tourisme

La région de Béjaïa est caractérisée par ses activités touristiques dont le nombre des estivent en moyenne et de 1 Million / ans.

I.1.4. Source de pollution dans le golf de Béjaia

I.1.4.1. Agriculture

La terre destinée à l'agriculture dans les zones côtières de la wilaya de Béjaia s'accapare d'une partie très importante, ce qui induit une augmentation de l'utilisation des produits chimiques comme les engrais et les pesticides qui atteignent les nappes souterraines par irrigation. Ces nappes déversent directement dans la mer et entraînent des effets nuisibles sur les ressources biologiques.

I.1.4.2. Rejets industriels

La plupart des entreprises industrielles implantées dans la zone côtière de Béjaia notamment le golfe, consomment énormément d'eau, d'électricité et des combustibles inflammables. La plupart de ces entreprises sont accusés de déverser des effluents industriels contaminés directement dans la mer. En conséquence, ces rejets déversés sans traitement dans la nature, sont fortement chargés en polluants, est l'absence de station de traitement des eaux industrielles aux niveaux de ces unités provoque des risques non négligeables sur la santé publique et les ressources naturelles animales et végétales (la faune et la flore) (**Amrani, 2005**).

I.1.4.3. Rejets solides domestiques

Le seul moyen d'élimination des ordures ménagères dans les communes côtières de Béjaia est la mise en décharge, soit en site désigné au préalable par les autorités, soit en site créé par les citoyens tel que la décharge Boulimat. Les ordures rejetées dans cette dernière sont ménagères et industrielles, déversés sans aucun contrôle, ce qui fait que cette décharge constitue un danger permanent pour les écosystèmes marins et continentaux. En plus de la pollution atmosphérique causée par le dégagement des gaz hautement toxiques émanant de l'incinération quotidienne et de la dégradation biologique des déchets, une importante partie de ces produits toxiques se retrouve dans la mer suite au lessivage provoqué par les pluies ce qui conduit à la dégradation du milieu aquatique (**Moualci, 2002**).

I.1.4.4. Eaux usées

Les eaux usées domestiques de la ville de Béjaia et des stations touristiques sont déversées en zones côtières (en mer) en absence de systèmes adéquats d'assainissement et de traitement. Les images suivantes représentent les déversements des eaux usées dans la mer (Fig. 4).



Figure 4 : Stations de déversements des eaux usées dans le golfe de Béjaia. Station 1 : Port de pêche (S₁); Station 4 : Tichy (S₄) ; Station 5 : Melbou (S₅).

I.1.4.5. Le trafic routier

La RN 9 qui traverse toute la côte de Bejaia représente une importante source d'émission des métaux en particulier le plomb rejeté par le gaz d'échappement des véhicules notamment en périodes estivale (Lyes S, 2012).

I.2. Les métaux lourds

Un métal est une matière, issue du minerai, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/ cm³ (tableau 5). Nommés éléments traces métalliques (ETM) avec une concentration inférieure à 1/1000 dans la croûte terrestre et 0.1/1000 dans les êtres vivants. Les métaux lourds dont la concentration est supérieure aux normes de l'OMS tel que : (Cd), (Pb) et le (Zn) devient toxique (Bendada et Boulakradech, 2011).

Tableau 5 : les caractéristiques physico-chimiques des métaux lourds étudiés.

Métaux lourds	Numéro atomique	Masse atomique (g/mol)	Masse volumique (g/cm ³)	Température de fusion	Température d'ébullition
Zn	30	65.39	7.14	419.58	907
Cd	48	112.1	8.642	321	765
Pb	82	207.2	11.34	327	1740

I.2.2. Caractéristiques principales des métaux lourds

Les caractéristiques générales données ne concernent que les métaux lourds retenus dans cette étude, à savoir : cadmium (Cd), plomb (Pb) et zinc (Zn). Ces métaux ont été retenus en raison de leurs effets bio-toxiques.

❖ *Plomb (Pb)*

C'est un métal gris bleuâtre, brillant, mou et ductile. Constitue des gisements primaires dans les roches éruptives et métamorphiques, il ne se trouve pas à l'état natif, il existe sous forme de sulfure et peut être associé à d'autres éléments tels que le Zn, l'arsenic, l'antimoine, le cuivre et l'argent. Dans l'eau de mer il existe sous trois formes essentielles: dissous, colloïdal et le plomb particulaire. Cet élément est très peu hydrosoluble et de faible mobilité géochimique (Casas, 2005).

❖ *Zinc (Zn)*

C'est un métal blanc de dureté faible à température ambiante qui devient malléable vers 100-150 °C et fragile cassant, essentiel pour la croissance et le développement normal d'espèces animales et végétales, mais devient nuisible quand il est en excès. Il n'existe pas à l'état métallique dans la nature, il n'est présent qu'à l'état divalent (Zn II). Dans l'eau de mer il se trouve en diverses formes: ion hydraté ($Zn(H_2O)^{2+n}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et adsorbé sur de la matière solide (Casas, 2005 ; Noppe, 1996).

❖ *Cadmium (Cd)*

C'est un métal rare qui n'existe pas à l'état natif il est stable à une température ordinaire mais s'oxyde lentement à l'air en présence d'humidité, il est présent en faible quantité dans la biosphère (0,1-0,2 ppm). En milieu aquatique se trouve sous diverses formes (dissoute, colloïdale, particulaire). Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément sont des espèces libres (Cd^{2+}) et formées par des associations (complexations) de cadmium avec des composés minéraux ou organiques, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ce dernier influencé par la salinité (Plus la salinité augmente, plus la concentration en Cd^{2+} diminue). En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures (Casas, 2005).

I.2.3. Origine des métaux lourds dans l'environnement

Les métaux lourds sont naturellement présents dans la croûte terrestre, ils suivent un cycle géochimique qui conduit à une distribution hétérogène de leurs concentrations à la surface du globe (**Le Goff et Bonnomet, 2004**). Les métaux sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles (en traces). Le développement industriel et technologique a provoqué l'augmentation de concentration dans le milieu environnemental.

I.2.3.1. Sources naturelles

Le cycle géochimique des métaux lourds est caractérisé par l'apport des formations géologique, érosion, le transport d'aérosols, les eaux de surface et souterraines.

I.2.3.2. Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. Parmi les activités qui contribuent à l'apport des concentrations dans l'environnement on a: activités pétrochimiques, utilisation de combustibles, transport, incinération de déchets, produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents), déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles, activités minières, déchets industriels (**Monna, 2008**).

I.2.4. Les métaux lourds dans le sol

Tous les sols contiennent naturellement des éléments traces métalliques dont la concentration naturelle résulte de son évolution à partir de la roche initiale. On parle de contamination d'un sol lorsque l'élément trace est présent à une dose constituant une menace pour l'activité biologique ou les fonctions du sol. Les contaminations diffuses, qui affectent les niveaux superficiels des sols, résultent de phénomènes naturels tels que les retombées atmosphériques d'aérosols d'origine volcanique, ou d'actions anthropiques intentionnelles ou non : poussières et dépôts atmosphériques, fertilisants minéraux (cuivre contenu dans les phosphates), pesticides, lisiers et fumiers, boues de stations d'épuration, activités minières, déchets industriels (bâtiments) ou urbains, transport (**Boukrah, 2008**).

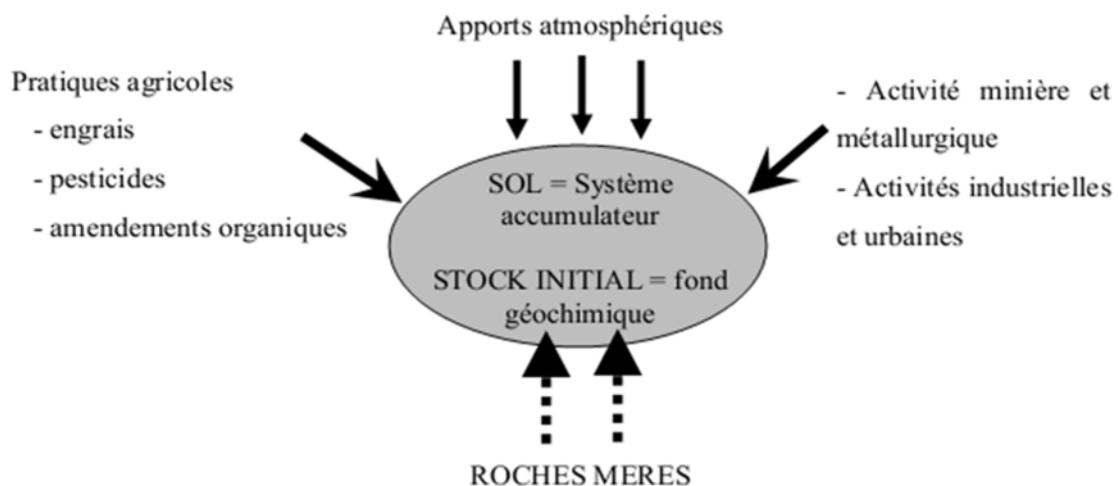


Figure 5: Origine des métaux dans le sol (Huynh, 2009)

I.2.4.1. Comportement des métaux lourds dans le sol

Les métaux sont absorbés par les particules du sol et les racines des plantes ce qui réduit leur mobilité. Ces métaux vont subir des transformations chimiques à l'aide des organismes vivants, ceci se traduit au niveau du cycle de la nature par la décomposition continue de la biomasse morte et dont les éléments s'accumulent avec les éléments humiques et minéraux argileux de ce fait le sol est également une source des métaux disponibles pour la constitution d'une nouvelle biomasse. Une partie des métaux non absorbés ou difficilement absorbés est écouler et transporté avec l'eau de percolation dans les couches les plus profondes et dans les eaux souterraines (Sirven, 2006). Le comportement des polluants dans le sol est déterminé par leurs propriétés telles que leur dégradabilité chimique ou biologique, leur coulabilité ou leurs facilités à être absorbés. Les polluants peuvent se répartir sur les parties solides du sol ou dans l'eau qu'il contient, être conduits vers les plantes en même temps que leurs substances ou être amenés par lessivage jusque dans la nappe phréatique (Lemiere, 2001).

I.2.5. Répartition et devenir des métaux lourds dans l'environnement aquatique

Une fois arrivés dans l'environnement aquatique, les métaux peuvent exister sous forme de complexes, de particules ou en solutions, tout dépend de la physico-chimie du milieu (pH, ions dissous, Eh et température). La distribution et la répartition de ces éléments dans le milieu aquatique se fait par différents processus telle que la dilution, l'advection, la dispersion, la sédimentation et l'adsorption/désorption. Certaines réactions chimiques (réduction, méthylation, déméthylation et oxydation) peuvent intervenir également. Ces

processus sont effectués par des micro-organismes et par des algues. Les métaux sont absorbés tant par la faune que par la flore. Ce qui provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire (Zhou, 2009).

I.2.5.1. Comportement des métaux et biodisponibilité

Dans un milieu aquatique les éléments et les composés organiques et inorganiques sont capable de complexer les ions métalliques. C'est ce que l'on appelle complexation inorganique et complexation organique. La fixation du métal par les organismes dépend de la forme sous la quel se trouve le métal dans le milieu. Ces phénomènes de complexation dépendent des paramètres physico-chimiques qui influent sur la répartition des différentes formes chimiques métalliques. Parmi ces paramètres, on peut citer le pH, le potentiel d'oxydoréduction et bien sûr la quantité de ligands disponible. Pour quelques métaux (Ag, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn), les concentrations en ions métalliques libres ainsi que celles de certains complexes sont principalement responsables de la toxicité (Le Goff, Bonnomet V., 2004).

I.2.5.1.1. Complexation inorganiques

Les métaux, en solution aqueuse, subissent un phénomène de solvatation. Ils fixent autour de leurs atomes des molécules d'eau, les liens entre l'ion et les molécules d'eau sont alors de véritables liaisons chimiques. C'est par exemple le cas de l'hydrate de cuivre $[Cu(H_2O)_2]^{2+}$. Ces hydrates sont des exemples d'ions complexes l'association d'un cation métallique, au centre et d'un certain nombre d'espèces moléculaires ou ioniques (les ligands). Les métaux de transition (Cu, Zn, Ni, Cr, Au, Ag, Cd, Hg) sont particulièrement susceptibles de former des complexes avec des ligands variés. Parmi les ligands possibles pour les métaux, on trouve les anions suivants : chlorure (Cl^-), bromure (Br^-), cyanure (CN^-), nitrite (NO_2^-), carbonate (CO_3^{2-}), hydroxyde (OH^-) (Le Goff, Bonnomet V., 2004).

I.2.5.1.2. Complexation organiques

Les métaux peuvent être complexés par les substances composant la matière organique et plus particulièrement par les sites carboxyliques, azotés et sulfurés qui s'y trouvent. La capacité de fixation des ions métalliques par la MO dans les eaux a été estimée entre 200 et 600 $\mu\text{mol.g}^{-1}$. Même si certains métaux sont connus pour se fixer préférentiellement sur certains sites, la plupart des éléments entrent en compétition pour l'accès aux sites de complexation de la MO (Le Goff, Bonnomet ., 2004).

I.2.5.2. Processus physiologiques de bioaccumulation des métaux: exemple de la moule

Définitions :

La bioaccumulation est le résultat des processus par lesquels le contaminant entre dans l'organisme et des processus de décontamination, une combinaison des mécanismes d'excrétion vers l'environnement et de biotransformation endogène. Les termes de transfert et d'accumulation sont fortement liés. Le premier représente un changement d'état du second.

La bioconcentration c'est l'accroissement direct de la concentration d'un contaminant lorsqu'il passe de l'eau à un organisme aquatique. Le facteur de concentration (FBC) peut être défini comme une constante issue du rapport de la concentration d'un élément dans un organisme en état d'équilibre à sa concentration dans le biotope.

La bioamplification est un phénomène capital au niveau de l'organisme, est exprimée par la différence entre la quantité de métaux qui pénètre au travers des barrières biologiques et celle qui est éliminée vers le milieu extérieur (processus d'excrétion). Pénétration, stockage dans les organes cibles et élimination seront sous la dépendance des facteurs abiotiques du milieu, de la nature du contaminant et des caractéristiques physiologiques et biochimiques de l'organisme ou de l'espèce considérée (Casas, 2005).

I.2.5.3. Mécanisme de capture des métaux

Pendant tout processus physiologique d'échange avec le milieu environnant, les molécules exogènes pénètrent à travers les barrières biologiques séparant l'environnement interne de l'organisme du milieu externe. Les métaux traces sont piégés par les organismes aquatiques par deux voies principales, à partir de l'eau (voie directe) et à partir de la nourriture (voie trophique). La pénétration des métaux traces nécessite donc le franchissement de structures biologiques spécifiques comme le revêtement extérieur et surtout l'épithélium branchial pour les contaminants présents dans l'eau, et l'ensemble du tractus digestif pour les métaux associés aux particules ou contenus dans les proies ingérées. Toutes ces voies sont possibles pour un même métal et leur importance relative est fonction de la forme chimique sous laquelle le métal est dans le milieu. C'est la coexistence de ces mécanismes et la dynamique de la spéciation qui rend si complexe la notion de biodisponibilité (Casas, 2005).

I.2.5.4. Mécanisme d'excrétion des métaux

Parallèlement aux étapes de pénétration et de répartition des contaminants au sein de l'organisme, de nombreux mécanismes physiologiques et biochimiques contribuent à les éliminer. Tous les organismes aquatiques piègent des métaux en quantités importantes mais pour beaucoup d'espèces, l'excrétion des métaux accumulés n'est pas négligeable. Les quatre

processus principaux sont: la défécation, la perte via la surface perméable, la désorption passive et les granules d'expulsion .L'organe d'excrétion des métaux est le rein. Les métaux stockés dans les granules peuvent être perdus à travers le tractus alimentaire sous forme de fèces. Ces métaux présents dans les lysosomes ou les sphérocristaux sont excrétés par exocytose du contenu vacuolaire, par épanchement de podocytes rénaux ou encore par diapédèse de granules in toto dans le tractus urinaire. A cette voie principale via le rein s'ajoute la voie trans-tégumentaire, par synthèse du byssus ou de la coquille ou encore par les gamètes lors de la ponte. Certains de ces mécanismes d'excrétion ont un caractère nettement épisodique, ce qui est susceptible d'amplifier les variations temporelles des concentrations en métaux chez les bivalves (Casas, 2005).

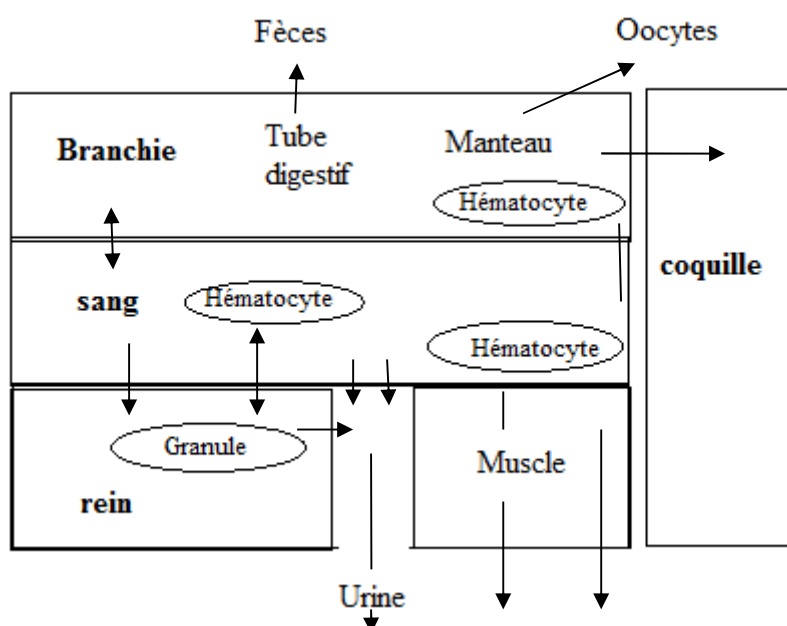


Schéma 1 : mécanismes d'excrétion des métaux chez les bivalves

I.2.6. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique

Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance tout au long de la chaîne alimentaire (Tableau, 7) (Casas, 2005).

Tableau 7 : les effets des métaux lourds étudié sur le milieu aquatique

Les métaux lourds	Effets sur le milieu aquatique
Cadmium	Anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves à la concentration 0,05 à 1,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$, inhibitions de croissance des mollusques
Plomb	Inhibition de la croissance des moules (<i>mytilus galloprovincies</i>)

	Effet sur la croissance de certaines espèces phytoplanctonique à partir 0,05 µg.L ⁻¹
Zinc	Effets sur la reproduction des huîtres et la croissance des larves.

I.2.7. Effets des métaux lourds sur la santé humains

L'être humain se trouve au sommet de la chaîne alimentaire. C'est cette position lui confère les risques pour sa santé liés aux contaminants présents dans les organismes marins comestibles (**Anonyme, 2008**).

❖ Toxicité du cadmium

Le cadmium présente des risques chez le consommateur. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. Cet élément n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants (**Casas, 2005**).

❖ Toxicité du plomb

Le plomb est un élément très toxique, provoque la maladie du saturnisme. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se caractérise par une anémie et une perturbation du métabolisme par compétition avec les ions Ca²⁺ (**Casas, 2005**).

❖ Toxicité du zinc

Le zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme (besoins 15 mg.jour⁻¹) (**Casas, 2005**). Cet élément devient toxique à très forte concentration, se manifestant par des nausées, des vomissements, une rigidité musculaire et une irritation des muqueuses ; alors qu'il occasionne dans l'eau une très forte astringence dès 5mg/l (**Khadem, 2005**).

I.2.8. Les bio-indicateurs du milieu aquatique

Dans les milieux aquatiques, de tels indicateurs peuvent servir à détecter des signes précurseurs d'éventuels problèmes environnementaux, à identifier les causes et les effets entre les perturbations du milieu et les répercussions sur le plan biologique ainsi qu'à évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre pour restaurer la qualité des milieux naturels. (**Taleb et Boutiba, 2007**).

Tableau 8 : capacités de bioconcentration de quelques espèces marines

Métal espèces	Cadmium	Plomb
Plantes aquatiques	Faible	Faible
Mollusques	Moyenne	Moyenne à forte
Crustacé	Forte	Moyenne à très forte
Moule	Forte	Moyenne
Huîtres	Très forte	Faible
Poissons	Faible	Moyenne à très forte

I.3. Cycle biogéochimique

Les cycles biogéochimiques sont des phénomènes de circulation cyclique suivis par les éléments et composés chimiques lors des échanges entre les différents compartiments de la biosphère: organismes biologiques, sols, eaux, atmosphère.

I.3.1. Le cycle biogéochimique des métaux lourds

Pour participer aux cycles biogéochimiques, il faut qu'un métal soit disponible et qu'il ait été mobilisé, c'est-à-dire rendu apte à être transporté au-delà de la zone où il s'était déposé. La disponibilité d'un métal dépend de son abondance et de la stabilité de ses minéraux. Sa mobilisation est le résultat de l'érosion chimique, qui altère les roches pour former des composés plus mobiles, ou bien de l'activité biologique : la croissance des racines broie mécaniquement les roches et expose des surfaces nouvelles à l'érosion chimique, tandis que les interactions entre les solutions du sol et les plantes modifient le pH des eaux, leur composition chimique et leur réactivité. L'activité volcanique contribue aussi à mobiliser les métaux les plus volatils (Pb, Cd, As, Hg), en extrayant les métaux des réservoirs profonds et en les injectant dans l'atmosphère (Monna , 2008).

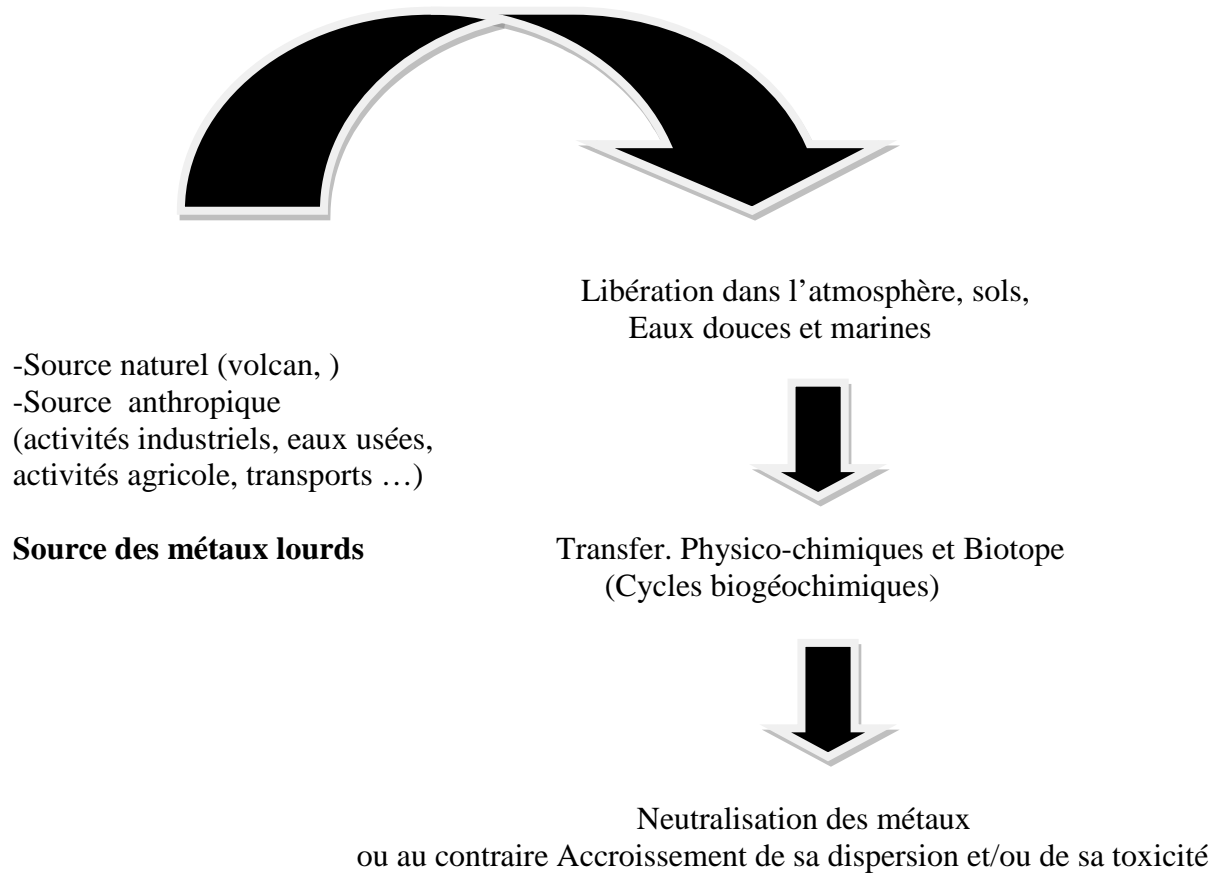


Figure 6: Cycle biogéochimique des métaux lourds

II. Matériel et méthodes

II.1. Présentation du site d'échantillonnage

Le choix des sites de prélèvement (sol, eau, moule) s'est reposé d'une part sur : la facilité d'accès, présence d'une grande quantité de l'espèce, d'autre part sur sa proximité des sources de pollution.

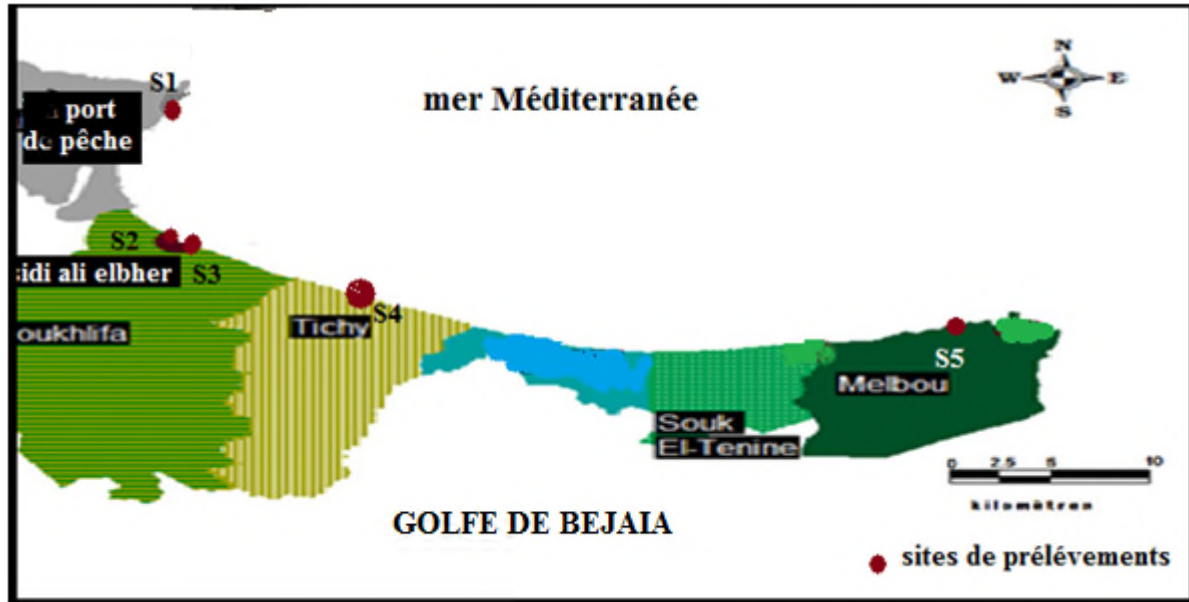


Figure 7 : situation des stations d'étude dans le Golfe de Bejaia

II.2. Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé sur une période de deux mois (mars, avril) dans les différentes stations au niveau du golf de Béjaia.

❖ *Prélèvement des échantillons de moule*

Nous avons choisi ce genre d'espèces par apport à sa particularité de concentrer les contaminants notamment les métaux lourds, facile à pêché puisqu'elle est visible à marée basse sur les roche. En effet, ces organismes présentent des caractéristiques, qui en font de bons bio-indicateurs très largement utilisés dans divers programmes de surveillance de la pollution des milieux marins. Les deux espèces traitées dans ce travail sont :

- *Mythillus galloprovincialis* est un mollusque bivalve très répandu de la famille des mytilidés, il vit fixé à la roche dans la zone balancement des marées.

-*Patella sp* est un mollusque gastéropode prosobranch sa coquille prends la forme d'un chapeau appliqué contre les roches. Cette espèce ne se détache pas de la roche grâce à une radula très longue et elle se nourrit de petites algues à la surface des roches (Nakhli, 2003).

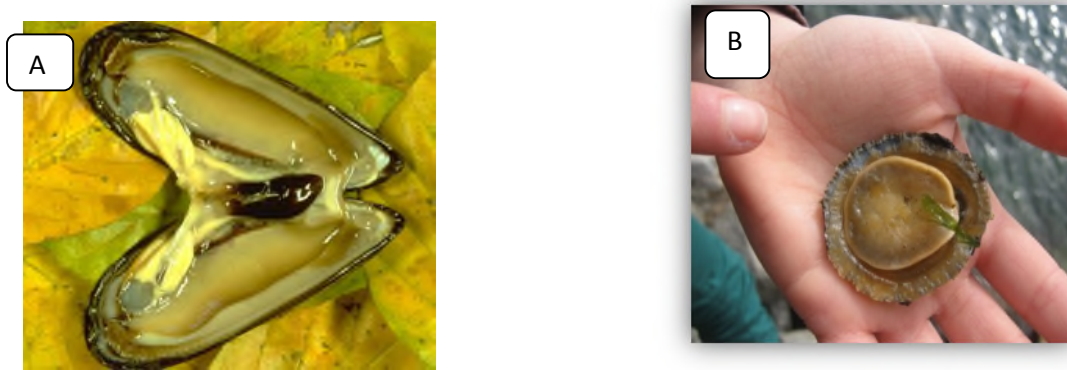


Figure 8 : photos des espèces pris en compte dans cette étude

A : *Mytilus galloprovincialis* , B : *Patella sp.*

Les moules ont été prélevés d'une manière aléatoire à l'aide d'une lame de couteau afin de les détachés de la roche, en suite on les a stockés dans des sachets en plastique. Ces derniers ont été mis dans une glacière pour protégés les échantillons de la chaleur et de la lumière.

❖ *Prélèvement des échantillons d'eau*

L'eau a été prélevée à l'aide d'une bouteille en plastique préalablement rincée à l'eau distillée. Lors du prélèvement, nous avons immergé délicatement les bouteilles à l'intérieure de l'eau de mer à une profondeur de 15 à 20 cm de la surface, en suite on les a mis dans une glacière.

❖ *Prélèvement de sol*

Le sol a été prélevé dans le même site du prélèvement précédent, en suite mis dans des sachets en plastique. Enfin ces derniers ont été conservés dans une glacière.

II.3. Mode opératoire

La préparation des échantillons a été réalisée au laboratoire zoologie de la faculté de la Science de la Nature et de la Vie de l'université de Béjaia.

II.3.1. Préparation des échantillons

- **Les moules** : après les avoir apporté au laboratoire de zoologie, la chair a été séparée de la coquille à l'aide d'une cuillère. Le diamètre, la longueur et le poids des coquilles ont été mesurés à l'aide d'une règle et une balance électronique respectivement. Une fois mesurée, la chair a été lavée avec l'eau distillée
- **Le sol**: les échantillons du sol ont été mis dans les boîtes de pétrie, déposés dans une étuve à 70 C° pendant 4 h, puis broyés à l'aide d'un mortier.
- **L'eau** : les échantillons ont été mis dans des tubes à essai après filtration à l'aide d'une membrane filtrante.

II.3.2. Protocole de mise en solution des échantillons (moules, sol)

Cette étape a été réalisée en suivant la méthode de l'eau régale

- *Eau régale*

Est un mélange qui est très employé en chimie minérale et organique. Ce mélange permet la dissolution des métaux et permet en outre l'attaque de composés organiques résiduels. Les deux acides utilisés sont l'acide chlorhydrique et acide nitrique avec un volume d'acide nitrique pour trois volumes d'acide chlorhydrique (**Pelerin, 2007**).

II.3.2.1. Les étapes de la mise en solution des échantillons

1/Prétraitement des échantillons

- **Les moules** : le chauffage s'est effectué dans l'étuve à 70C° pendant 72h, en suite les échantillons sont broyés à l'aide d'un mortier pour récupérer la poudre fine.
- **Le sol** : le chauffage se fait toujours dans l'étuve à 70C° mais cette fois pendant 4h seulement, puis broyé avec un mortier.

2/ Minéralisation

Pour 0,5g d'échantillon on a utilisé 3ml d'acide Chlorhydrique et 1ml d'acide Nitrique (fig. 9A), puis on fait passer les tubes dans un agitateur (fig. 9B) pour bien mélanger en suite chauffer dans un bain de sable jusqu'à ébullition et vaporisation, puis récupérer le résidu (fig. 9C).

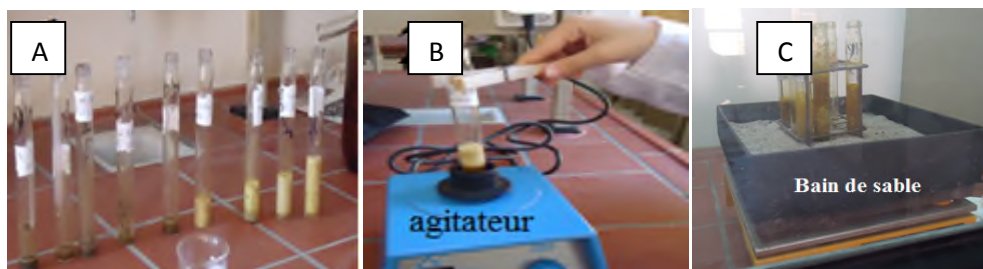


Figure 9: Les étapes de la minéralisation **A** : Minéralisation, **B**: Agitation, **C** : Chauffage

3/Mise en solution

Le résidu est dilué en rajoutant 3ml d'acide Chlorhydrique et 1ml d'acide Nitrique puis filtrer avec du papier filtre en fin les échantillons obtenus sont dilués à 50 ml avec de l'eau distillé (fig. D10)

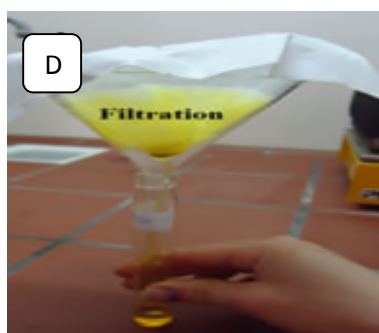


Figure 10 : filtration

II.3.3. Analyse physico-chimique de l'eau

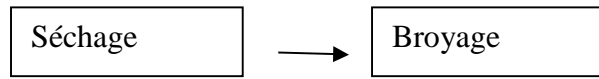
Cette analyse a été effectuée par un multi-paramètre qui est un appareil de mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau dont le pH, Eh, la conductivité, la température.

II.3.4. Analyse minéralogique du sol

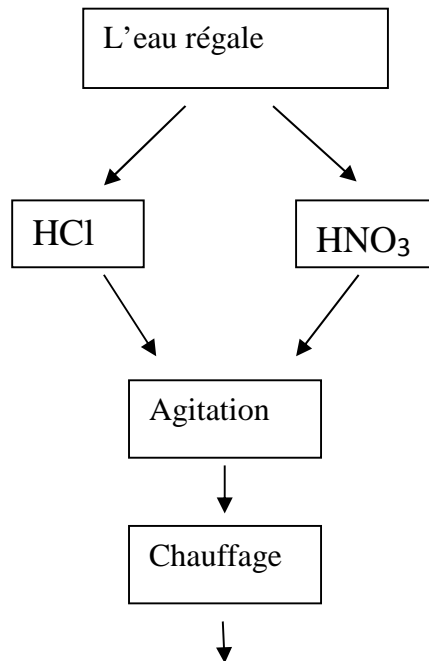
Analyse physico-chimique du sol a été faite par la méthode diffractométrie de rayons X. Cette méthode ne fonctionne que sur la matière cristallisée (minéraux, métaux, céramiques, produits organiques cristallisés), mais pas sur la matière amorphe (liquides, polymères, verres) ; toute fois, la matière amorphe diffuse les rayons X, et elle peut être partiellement cristallisée, la technique peut donc se révéler utile dans ce cas-là. Elle consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons x ($01 < \lambda < 10$ nm) sur un échantillon argileux orienté ou non. Le rayonnement pénètre le cristal, il ya absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations émises par des plan atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

L'organigramme ci – dessous illustre Les étapes précédentes:

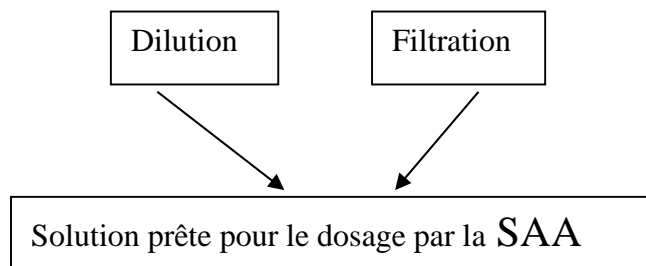
Etape I : Prétraitement de l'échantillon



Etape II : Minéralisation



Etape III : Mise en solution



Organigramme des étapes de préparation des échantillons (sol, moules).

II.3.5. Préparation des étalons pour les courbes d'étalonnages

Avant de faire passer les solutions obtenues, les courbes d'étalonnages doit d'être préparé pour chaque élément (Pb, Cd, Zn) suivant les étapes :

A /Préparer la solution mère

Nous avons mesuré 0,799 g de sel de Pb pour 0,5 ml d' HNO₃ et 0,5 ml d'eau distillé puis mélanger et verser dans une fiole de jaugé de 500 ml et compléter avec de l'eau distillé jusqu'au très de jaugé.Les mêmes étapes ont été suivies pour la préparation des solutions mères du Cd et le Zn.

B/ Préparation des étalons pour le Pb

La gamme d'étalonnage du Pb : 0,1-15 mg/l. On a préparé des étalons de 50 ml comme suite :

15 mg/l —————> 1000 ml

0,75 mg/l —————> 50 ml

On divise 0,75 par 4 pour avoir les nouvelles concentrations des 4 étalons et on calcule avec la relation de trois les différents volumes qu'on doit prélever de la solution mère les mettre dans des fioles de jaugés de 50 ml puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au très de jaugé, les même étapes ont été suivi pour le Zn et le Cd avec des gammes d'étalonnages respectivement (0,1-2 mg/l), (0,02-2,5 mg/l). Le tableau suivant représente les concentrations des étalons préparés.

Tableau 9: la concentration des étalons (Pb, Cd, Zn)

Solution mère	Concentration des étalons			
	C1	C2	C3	C4
Pb	0,1875	0,375	0,5625	0,75
Cd	0,0312	0,0625	0,093	0,125
Zn	0,025	0,05	0,075	0,1

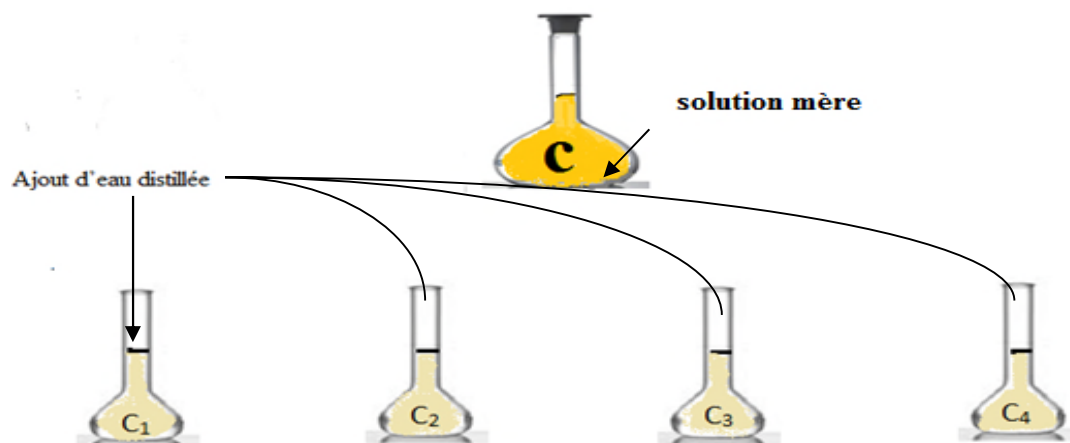


Schéma 2 : les solutions obtenues pour la courbe d'étalonnage

Les courbes d'étalonnage pour les différents éléments (Pb, Cd, Zn) sont réalisées par la spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

II.3.6. Techniques d'analyse des métaux lourds (SAA)

Cette technique a été réalisée au niveau de bloc de recherche scientifique à l'université Abdarrahmane Mira de Bejaia.

La spectrométrie d'absorption atomique est une technique servant à déterminer la concentration de certains métaux dans un échantillon. Elle fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur des méthodes optiques, elle conduit aussi bien à des résultats qualitatifs qu'à des données quantitatives. L'absorption est utilisée généralement pour faire un dosage (**Bendada et Boulekradech 2011**).



Figure 11 : photo de l'appareil spectrométrie d'absorption atomique de marque Aurora Instruments AL1200

II.2.7. La vulnérabilité de la zone d'étude

Vulnérabilité à la pollution est définie comme sa susceptibilité intrinsèque à la modification de la qualité et de la quantité d'eau souterraine dans l'espace et dans le temps, à cause des processus naturels et/ou de l'activité anthropique.

La vulnérabilité peut être considérée comme une fonction des risques, des dangers, de l'exposition et des options et réponses d'adaptation (**Khemouj, 2001**).

II.2.7.1. La méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC, est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque verticale à la pollution des aquifères par systèmes paramétriques; le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité. Chaque paramètre est subdivisé en intervalles de valeurs significatives et affecté d'une cotation numérique croissante en fonction de son importance dans la vulnérabilité. L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité :

Les sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol, ainsi que leur temps de transport.

Une valeur numérique appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est classé en classes associées à des cotes variant de 1 à 10. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. Une valeur numérique appelée indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID (**Khemoudj k, 2001**).

$$ID = D_p * D_c + R_p * R_c + A_p * A_c + S_p * S_c + T_p * T_c + I_p * I_c + C_p * C_c$$

(où D, R, A, S, T, I, et C les sept paramètres de la méthode DRASTIC, p étant le poids du paramètre et c, la cote associée). Les valeurs des poids des paramètres, dans la version standard de la méthode DRASTIC, sont présentées dans le tableau :

Tableau 10 : Les sept paramètres DRASTIC et leurs poids

Symbole	Paramètre	poids
(D)	Depth = Profondeur	5
(R)	Recharge = Recharge efficace	4
(A)	Aquifer = Milieu aquifère	3
(S)	Soil = Type de sol	2
(T)	Topography = Pente du terrain	1
(I)	Impact = Impact de la zone vadose	5
(C)	Conductivity = Conductivité hydraulique	3

Tableau 11 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très faible	< 80
Faible	80 - 120
Moyen	121 - 160
Élevé	161 - 200
Très élevé	> 200

III. Résultats

Dans cette partie nous allons exposer la totalité des résultats obtenus le long de notre étude.

II.1. Résultats des mesures physico-chimiques de l'eau

Les données recueillies sont synthétisées dans le tableau 13

Tableau 12 : les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés

Stations	Ph	Conductivité (mv)	Température(C°)	EH (mv)
Station 1	8,2	46,1	19,1	67,8
Station 2	8,08	49	18,7	68,3
Station 3	8,12	53,2	18,8	68,3
Station 4	7,77	28,29	22,5	48
Station 5	8,08	47,4	18,9	65,1

-Evolution du pH de l'eau de mer en fonction des stations

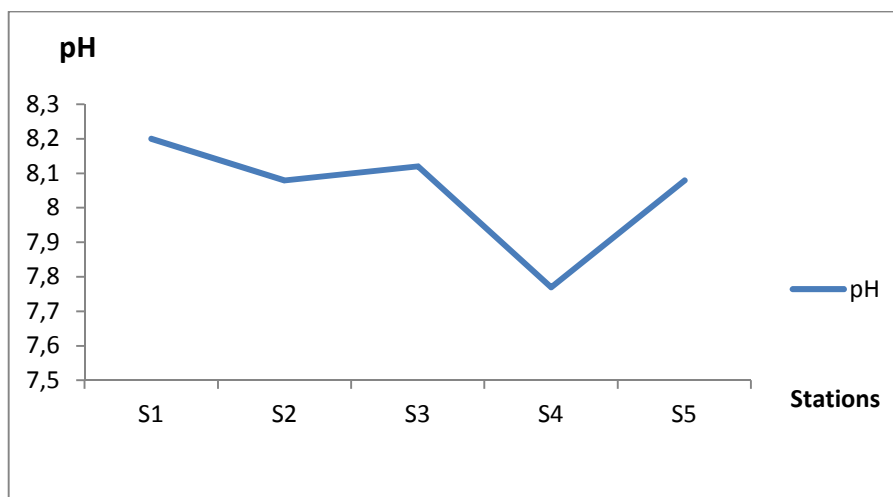
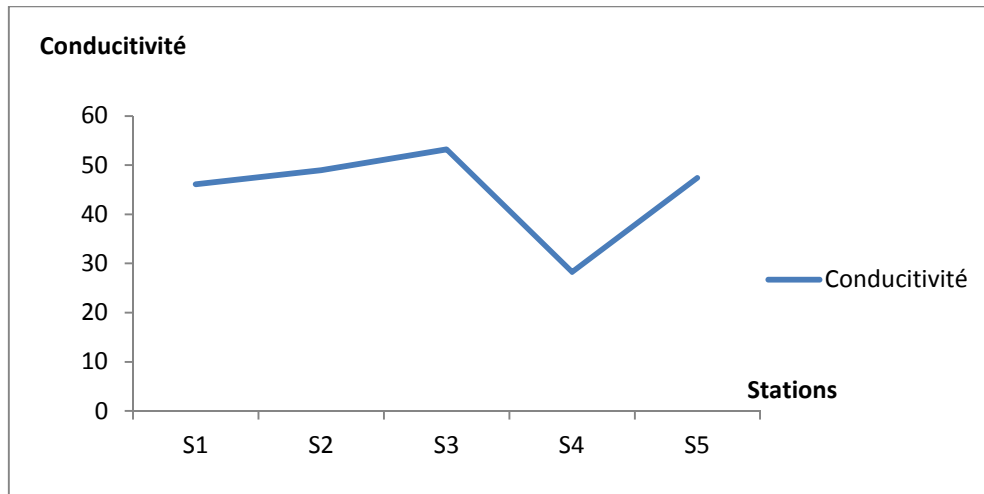
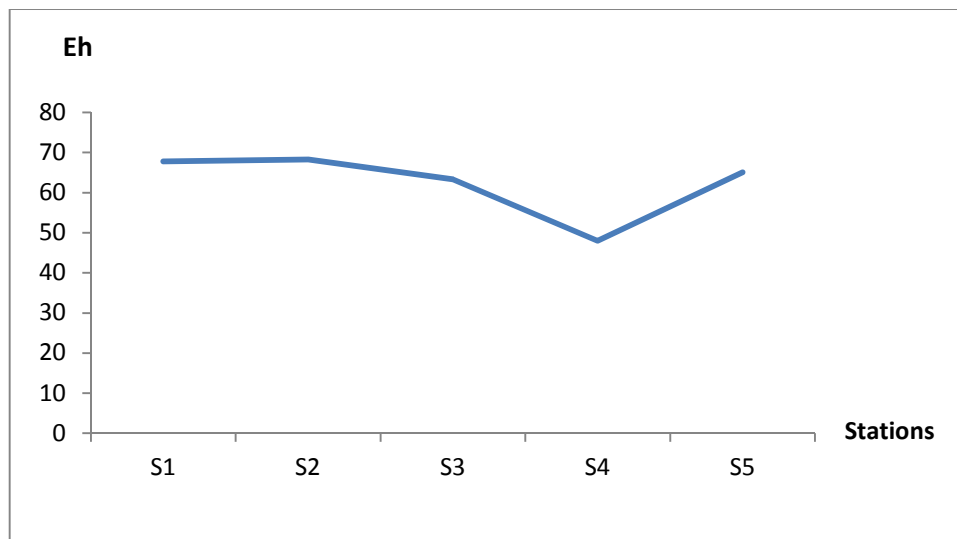


Figure12 : courbe représentant les variations de pH dans les différentes stations

Les valeurs du pH mesurées dans les stations 1, 2, 3 et 5 varient entre 8,08 et 8,2. Dans la station 4 une diminution légère du pH enregistrant une valeur de 7,77. Selon Damy (2011) des valeurs réglementaires du pH de l'eau de mer varient entre 7,5 et 8,5 (Fig.12).

-Evolution de la conductivité de l'eau de mer en fonction des stations**Figure 13:** courbe représentant les variations de la conductivité dans les différentes stations

Les valeurs de la conductivité mesurées pour les stations 1, 2 et 5 sont presque identiques (entre 47,4mv et 49 mv). Nous remarquons une augmentation assez conséquente de la conductivité en station 3 (53,2mv). En station 4 la valeur obtenue montre une forte diminution de la conductivité atteignant une valeur de 28,29 mv (Fig. 13).

-Evolution du potentiel redox (Eh) de l'eau de mer en fonction des stations**Figure14 :** courbe représentant les variations de Eh dans les différentes stations

Les valeurs du Eh (fig. 14) dans les trois premières stations (S1, S2, S3) et la dernière (S5) varient entre 65,1 mv et 68,3 mv. Cependant, nous remarquons une diminution du Eh dans la station 4 (48 mv).

-Evolution de la température de l'eau de mer en fonction des stations

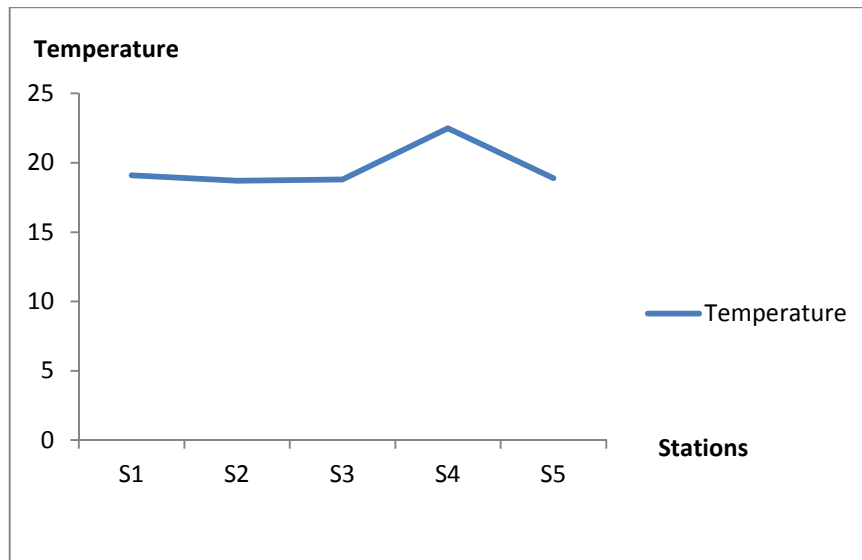


Figure15 : courbe représentant les variations de la température dans les différentes stations

La température mesurée (fig. 15) au niveau des stations 1, 2, 3 et 5 est assez stable (variant légèrement: de 18,7C° à 19,1C°). Une légère augmentation a été observée en station 4 (22,5°C).

III.2. Résultats des analyses minéralogiques du sol

III.2.1. Les spectres obtenus par diffractométrie au rayon X :

-Echantillon de station 1 (port de pêche)

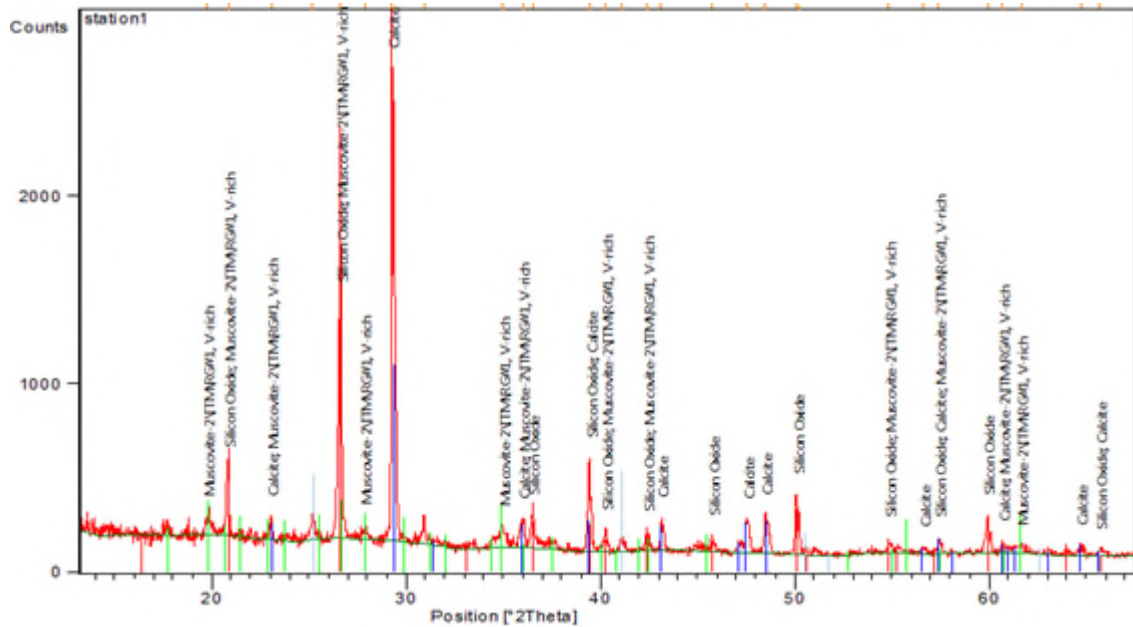


Figure16: spectre DRX de l'échantillon du sol de station 1

Tableau13 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station 1

Nom du minérale	Formule chimique	Pourcentage(%)	Type de la roche
Muscovite	$KAl_2 (Si_3AlO_{10}(OHF_2))$	36,11	Métamorphique
Quartz	$Si O_2$	33,33	Magmatique
Calcite	$Ca CO_3$	30,56	Sédimentaire

Le spectre de diffraction au rayons X de l'échantillon de la station 1 (Fig. 16), nous montre une composition minéralogique constitué par la présence de la muscovite (36,11%), du quartz (33,33%) et de la calcite (30,56%), cette minéralogique nous explique que l'origine du sol est de type magmatique, métamorphique et sédimentaire.

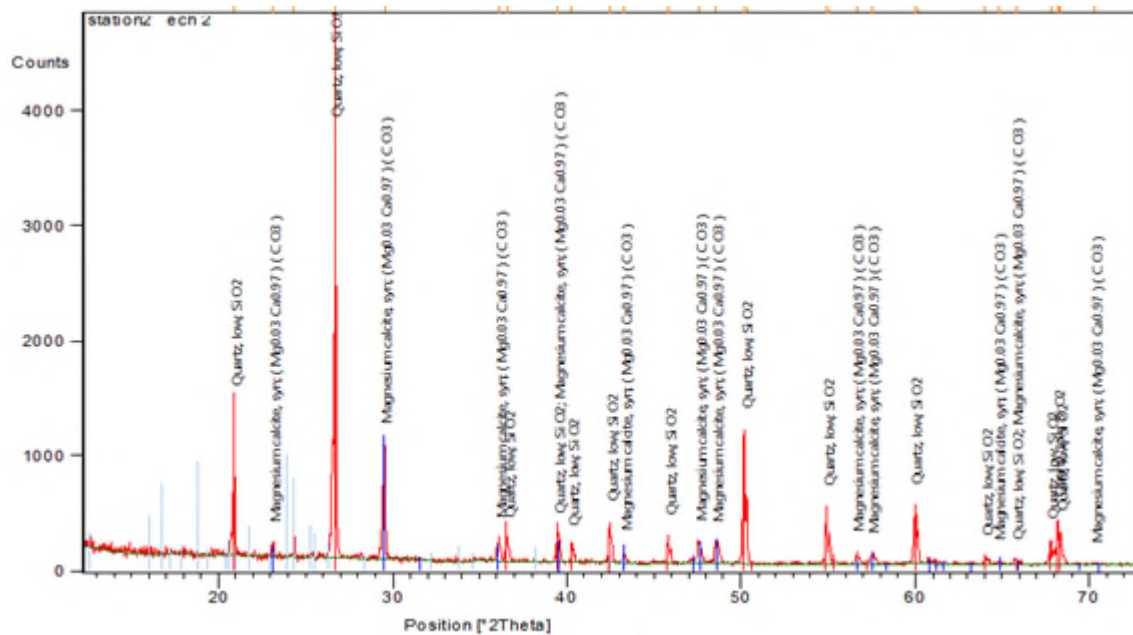
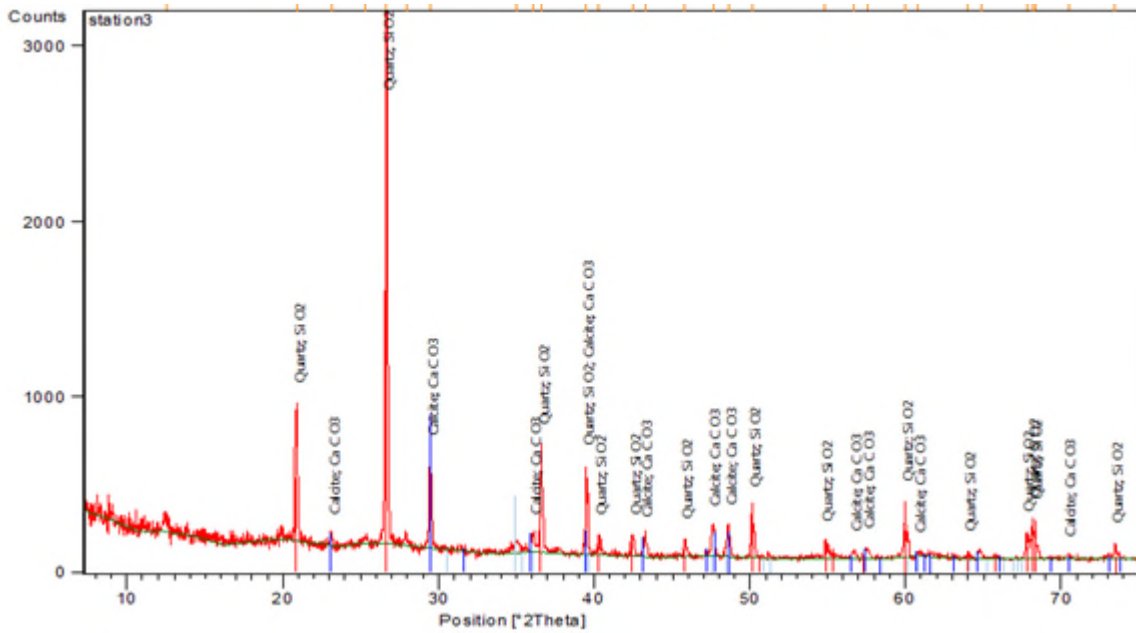
-Echantillon de station 2 (Sidi alielbher)

Figure17 : spectre DRX de l'échantillon du sol de station 2

Tableau14 : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon 2

Nom du minérale	Formule chimique	Pourcentage(%)	Type de la roche
Quartz	Si O ₂	52,17	Magmatique
Dolomite	Mg Ca (CO ₃)	47,83	Sédimentaire

Le spectre de diffraction aux rayons X de l'échantillon de la station 2 (Fig17), nous montre une composition minéralogique constituée par la présence de la dolomite (47,83%) et le quartz (52,17%), ceci confirme que l'origine du sol est de type magmatique, sédimentaire.

-Echantillon de station 3 (Sidi alielbher)**Figure18** : spectre DRX de l'échantillon de station 3**Tableau15** : différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon de la station 3

Nom du minérale	Formule chimique	Pourcentage(%)	Type de la roche
Quartz	Si O ₂	54,16	Magmatique
Calcite	Ca (CO ₃)	45,84	Sédimentaire

Le spectre de diffraction aux rayons X de l'échantillon de la station 3 (Fig18), nous montre une composition minéralogique constitué par la présence de la calcite (45,84%), et de quartz (54,16%), ces compositions nous indiquent l'origine du sol qui est de type magmatique et sédimentaire.

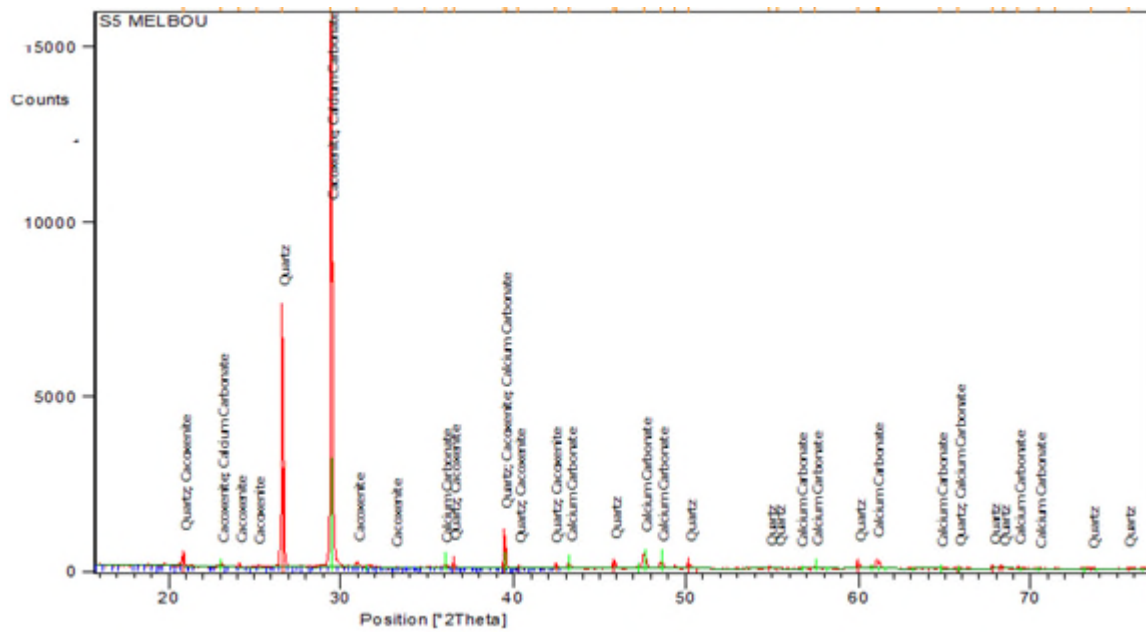
-Echantillon de station 5

Figure20: Spectre DRX de l'échantillon du sol de la station 5

Tableau17 : Différentes propriétés des minéraux constituant l'échantillon 5

Non du minéral	Formule chimique	Pourcentage(%)	Type de la roche
Quartz	Si O ₂	36,24	Magmatique
Calcite	Ca (CO ₃)	63,76	Sédimentaire

Le spectre de diffraction aux rayons X de l'échantillon 5 nous montre une composition minéralogique constitué par la présence de la calcite (63,76%), de quartz (36,24%), cette minéralogique nous explique que l'origine du sol est de type magmatique et sédimentaire

III.3. Les caractéristiques physiques des moules étudiées

Tableau 19 : caractéristiques physiques des moules

stations		Genre	Nombre des échantillons	Longueur (cm)	Diamètre (cm)	Poids	
						La chaire	La coquille
Station 1	Ech 1	<i>Patellasp</i>	8	2,9_4,8	2,4 - 4,1	12,5	21
	Ech 2	<i>Mytilusgalloprovincialis</i>	9	3,4 - 6,5		22	40,2
Station 2		<i>Patellasp</i>	11	2,2 - 4	1,4 - 3,5	20,5	38,15
Station 3		<i>Patellasp</i>	14	2,2 - 3,8	1,7 - 3,2	22,25	30,6
Station 4		<i>Patellasp</i>	10	2,3 - 5,5	2,0 - 3,0	14	21,1
Station5		<i>Patellasp</i>	29	1,9 - 2,9	1,2 - 2,5	24,4	38,8

Nous avons remarqué dans ce tableau 19 que les caractéristiques physiques des moules (*Patellasp*) varient d'une station à une autre les plus petites sont prélevées de la station 5 et les plus grandes en station 1.

III.4. Résultat des analyses des métaux lourds étudiés par SAA

Tableau20: concentration des métaux dans les trois compartiments (le sol, l'eau, moule)

Béjaia 2013	Sol (mg/kg)			Eau (mg/l)			Moule (mg/l)			
	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd		Pb	Zn	Cd
S1	2.35	9.05	11.75	8.4	28.9	1.45	Patelle	0.25	3	0
							Mytilus	0.4	7.2	0.15
S2	3.25	9.45	0.3	6.9	2.6	0.35	Patelle	1	3.4	0
S3	1.4	57.9	0.4	0.263	2.8	0.9	Patelle	1	3.85	0.05
S4	1.5	3.15	0.3	13.15	14.35	11.45	Patelle	1.3	11	0.65
S5	1.95	2.6	0.25	8.85	3.7	1	Patelle	16.9	5.9	11.25
Moyenne	2.05	16.43	2.6	9.15	10.47	3.02	Patelle	3.475	5.725	2.01
Ecartype	±0.65	±20.93	±4.57	±2.5	±10.21	±4.22	Patelle	±6.01	±2.78	±4.13

III.4.1. Les concentrations des métaux (Pb, Cd, Zn) dans les moules

Les résultats d'analyse des métaux lourds dans les moules ont montrés la présence de métaux avec des moyennes pour le Pb $3,475 \pm 6,01$ mg/kg, le Zn $5,725 \pm 2,78$ mg/kg et le Cd $2,01 \pm 4,13$ mg/kg (tableau 20). Le Cd varis entre 0 en station 1,2 et 11,25 mg/kg en station 5, pour le Pb elle est entre 0,25 mg/kg en station 1 et 16,9 mg/kg dans la station 5. En fin le Zn varis entre 3 mg/kg en station 1 et 11mkg en station 4.

III.4.2. Les concentrations des métaux dans le sol

Les résultats d'analyses des métaux lourds dans le sol ont donné des concentrations faibles en Pb dont la moyenne $2,05 \pm 0,065$ mg/kg avec une valeur maximale de 3,25 mg/kg en station 2. Le Zn présente une moyenne de $16,43 \pm 20,93$ mg/kg, avec une concentration maximale de 57,9 mg/kg en station 3. Les concentrations du Cd dans le sol sont en moyenne de $2,6 \pm 4,57$ mg/kg avec une valeur maximale 11,75 mg/kg (tableau20).

III.4.3. Les concentrations des métaux lourds (Zn, Pb, Cd) dans l'eau de mer

Le Pb présente une moyenne de $9,15 \pm 2,5$ mg/l, les concentrations varient entre 0,263 mg/l en station 3 et 13,15 mg/l en station 4. Les valeurs enregistrées pour le Zn sont en moyenne de $10,47 \pm 10,21$ mg/l, une valeur maximale de 28,9 mg/l en station1. Les concentrations en Cd varient entre 0,35 mg/l dans la station 2 et 11,45 mg/l en station 4 (tableau 20).

III.4.4. Comparaison entre les différents compartiments

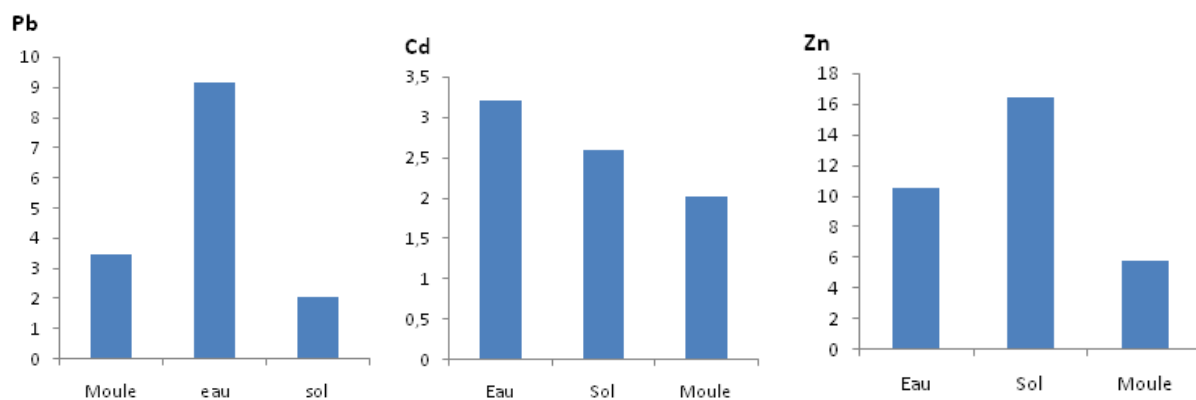


Figure 21:concentration du Pb **Figure 22 :** concentration du Cd **Figure 23 :** concentration du Zn

Le Zn se concentre plus dans le sol puis dans l'eau et diminue dans la moule,(Fig 24). Pour le Cd c'est dans l'eau qu'il présente une concentration élevé puis dans le sol et enfin dans la moule (Fig23). La concentration du Pb est plus élevée dans l'eau de mer ensuite dans la moule par contre dans le sol elle est moins élevée(Fig22).

III.4.5. les concentrations des métaux dans les deux espèces utilisées dans notre étudiées

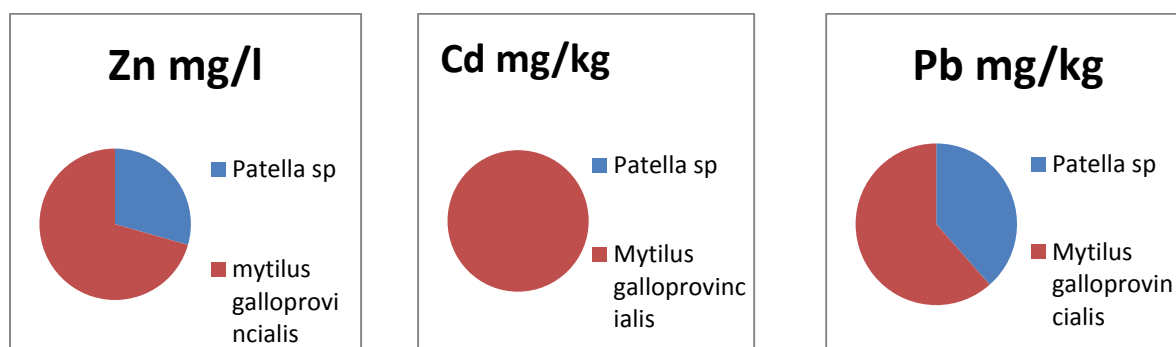


Figure 24 : répartition des concentrations des métaux dans les moules.

Nous avons remarqué que les concentrations de trois métaux étudiées (Pb, Zn, Cd) sont plus élevées chez la moule *Mytilus galloprovincialis* que *Patella sp.* (Fig 24).

III.5. Concentration des métaux lourds dans les différentes régions méditerranéenne

Tableau 21 : résultat des concentrations des métaux (France, Italie, Oran, Béjaia)

Région	Références	Concentration en métaux lourds								
		Moule (mg/g)			Sols (mg/g)			Eaux (mg/l)		
		Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn
Italie	(Lafabrie et al, 2007)	$117 \cdot 10^{-5}$	$4,67 \cdot 10^{-5}$		$4,67 \cdot 10^{-3}$	0,03	/	0,048	0,016	/
Italie	(Lafabrie et al 2007)	$1,43 \cdot 10^{-6}$	$177 \cdot 10^{-6}$		$18,67 \cdot 10^{-5}$		/	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-6}$	/
Oran	(Taleb et Boutiba, 2007)	1,48	0,12	/	/	/	/	/	/	/
Béjaia	Notre étude (2013)	3.475mg/kg	2,01mg/kg	5.725	2.05mg/kg	16.43	2.6mg/kg	9.15	3.02	10.45

Nos résultats pour la concentration des métaux lourds dans le golfe diffèrent de celle trouvée dans d'autres zones méditerranéennes (tableau21). Dans la moule nos résultats pour le Pb sont supérieurs aux valeurs trouvées en Italie et en France (Lafabrie et al, 2007) et à Oran (Taleb et Boutiba, 2007). Mais dans les deux autres compartiments (eau, sol) nos valeurs sont inférieures aux résultats obtenus en Italie et Oran. Pour le Cd au niveau de la moule ses

concentrations sont supérieures à celles trouvées en Italie et Oran, par contre elles sont plus faibles aux concentrations trouvées dans la moule en France, dans le sol nos résultats sont supérieurs aux résultats en Italie et Oran, la concentration du Cd dans l'eau de mer est faible par rapport aux résultats obtenus en Italie et en France. Le Zn n'a pas été pris en considération dans les études effectuées en Italie, en France et à Oran.

III.6. Réalisation de la carte de vulnérabilité

La carte suivante représente les zones les plus vulnérables du golfe de Béjaïa, elle a été réalisée en suivant la méthode DRASTIC (page 25) par Ait hamoudi (2010).

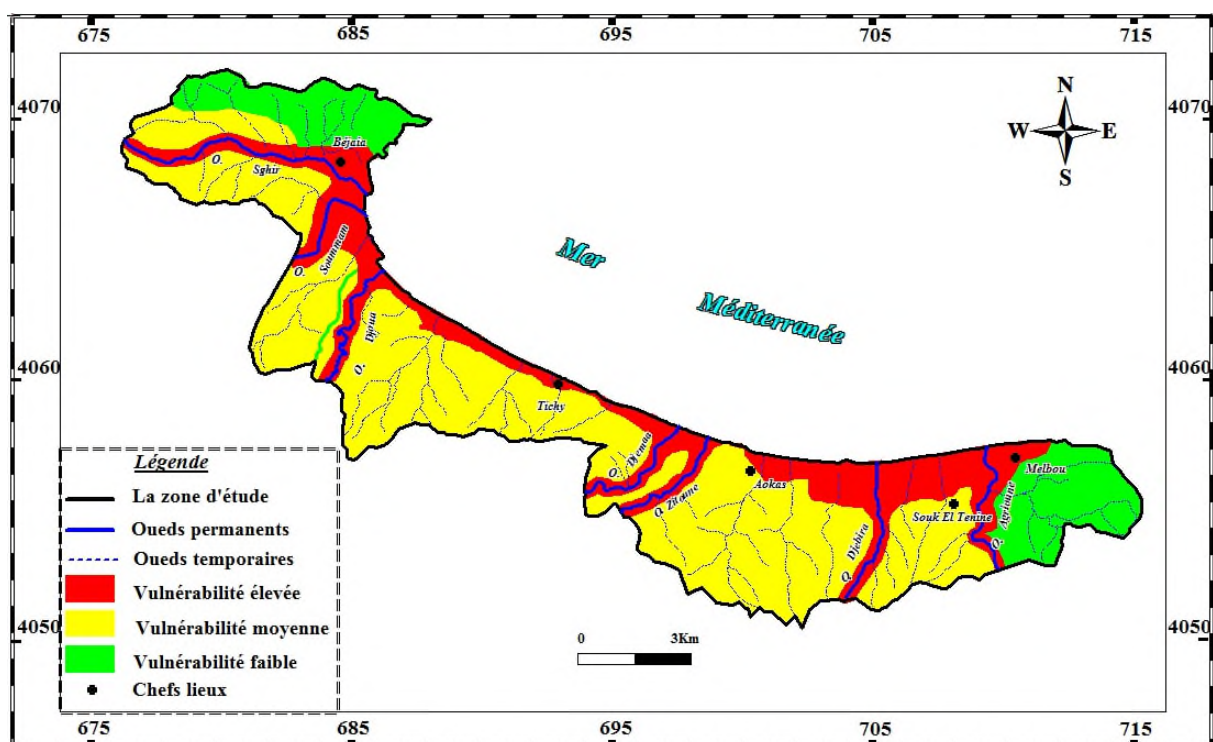


Figure 25 : carte de vulnérabilité du golfe de Béjaïa

IV. Discussion

IV.1. Analyse physico-chimique de l'eau

L'étude réalisée nous a permis d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux côtières du golfe de Béjaia. Les paramètres physico-chimique mesurés (pH, conductivité, température, Eh) influent sur la concentration des éléments métalliques et décident de leur transfert dans un support ou un autre. Les valeurs obtenus pour chaque station de prélèvement (port de pêche, Sidi Ali Elbher et Melbou (Annexe II)) varient dans le même intervalle, alors que pour Tichy (S4) sont soit supérieure ou inférieure par rapport aux autres valeurs mesurées, cela est éventuellement due aux apports d'eaux usées qui déversent directement en mer ainsi que les produits chimiques rejetés. Selon les résultats obtenus l'eau de mer du golfe de Béjaia est alcaline vu que le $pH > 7$, d'après IBGE (2005) les polluants métaux lourds se précipitent et s'accumulent fortement ce qui confirme que cette région est chargée en polluants due aux apports des eaux usées ménagères et industriels ainsi que les rejets solides des unités industrielles qui gouvernent cette région. Les autres paramètres : la température reflète les périodes saisonnières en relation avec les conditions météorologiques. Nos résultats obtenus montrent que les eaux côtières du golf de Bejaia sont fortement oxydants ; étant donné qu'un Eh compris entre 27 et 40 mv, désigne un milieu oxydant et un Eh compris entre 0 et 27 mv dénonce un milieu réducteur. L'eau côtière présente une conductivité élevée, ce dernier est lié à la libération des ions ou à leurs concentrations.

IV.2. Les analyses minéralogiques du sol

Vu la nature de la composition minéralogique et pétrographique du sol, on constate l'absence des métaux lourds d'origine naturelle, ceci explique bien que la source des métaux dans la région du golf de Bejaia est probablement d'origine anthropique.

IV.3. Analyses des métaux lourds dans les compartiments étudiés (sol, eau, moule)

Nos résultats indiquent que les concentrations des métaux lourds étudiés (Pb, Cd,) dans la moule *Patella* sp sont très élevées au niveau de la station 5 par rapport aux autres stations (tableau 19). Selon Casas (2005) la relation métal/taille montre que la concentration des différents contaminants métalliques est plus élevée dans les petites moules que dans les grandes, cette différence est due à la quantité de métal biodisponible, si un animal est plus gros la quantité de métal est diluée (dilution biologique). Tous comme nous avons constaté

que la moule *Mytilus galloprovincialis* concentre plus de métaux que *Patella* ; éventuellement liée à la spéciation de l'état physiologique de chaque espèce, de plus la moule *mytilus galloprovincialis* est reconnu mondialement comme étant un très bon bio- indicateur des métaux lourds.

Les concentrations du Pb et du Zn dans le sol sont plus élevées en station 2 et 3 respectivement qui correspondent à la plage de Sidi Ali Elbhar sont due au apports des eaux usées déversées directement dans cette plage ainsi qu'au rejets industriels des deux complexes CIVITAL et l'entreprise national de SONATRACH qui s'éloignent d'en virent 200 à 300 m de cette plage, ainsi que l'embouchure de l'oued Sommam qui diverse directement dans la mer, sans oublier sa proximité de l'aéroport de Béjaia, Vu que les métaux lourds peuvent être d'origine anthropique. Mais pour le Cd il s'avère plus concentré en station 1 (port de pêche), cela doit être lié aux effluents industriels et urbains évacués directement dans le port sans aucun traitement préalable ainsi qu'au trafic maritime.

Les résultats obtenus pour l'eau de mer présentent des valeurs maximales du Zn en station 1 (port de pêche), dues à l'influence directe du trafic maritime. Cette circonstance conduit à incriminer les peintures anti-salissures qui couvrent les coques des embarcations, et qui par phénomène de la lixiviation des couches de ces peintures entraîne la libération de différents métaux toxiques ainsi qu'aux rejets industriels déversés sans traitement. Le Pb et le Cd se concentre plus en station 4 (Tychi) due aux émissions de gaz émis par le trafic routier (RN 9) ainsi qu'au nombre de décharges publiques et les hôtels implantés dans la région.

Selon les résultats obtenus pour le Pb et le Cd se concentrent plus dans l'eau de mer que dans les autres compartiments (sol, moule); influencés par les paramètres physico-chimiques de l'eau, les métaux se précipitent et s'accumulent fortement (pH alcalin). D'autant plus que le milieu aquatique est considéré comme le récepteur final de tous les rejets industriels et domestiques. Par contre le Zn se concentre plus dans le sol que dans l'eau et les moules, ce résultat peut être lié à la diffusion lente du métal (Zn) dans le sol ou bien sa présence sous forme de colloïde dans le milieu.

En comparant notre étude sur la concentration des métaux aux études effectuées dans d'autres zones de la méditerranée, nous avons conclut que le golfe de Bejaia est plus sensible à la pollution que ces régions (Italie, France) probablement due au nombre d'échantillons étudiés et aussi parce que nous avons ciblé les zones les plus exposées au risque de pollution dans le golfe. En revanche, les études qui ont été effectué au niveau d'Oran ont montré que

cette région est plus contaminée par les métaux lourds et cela est peut être due aux caractéristiques de cette région (Urbanisation, les activités industrielles, tourisme) tous cela jouent un rôle très important dans la dégradation de l'environnement.

IV.4. Réalisation de la carte de risque

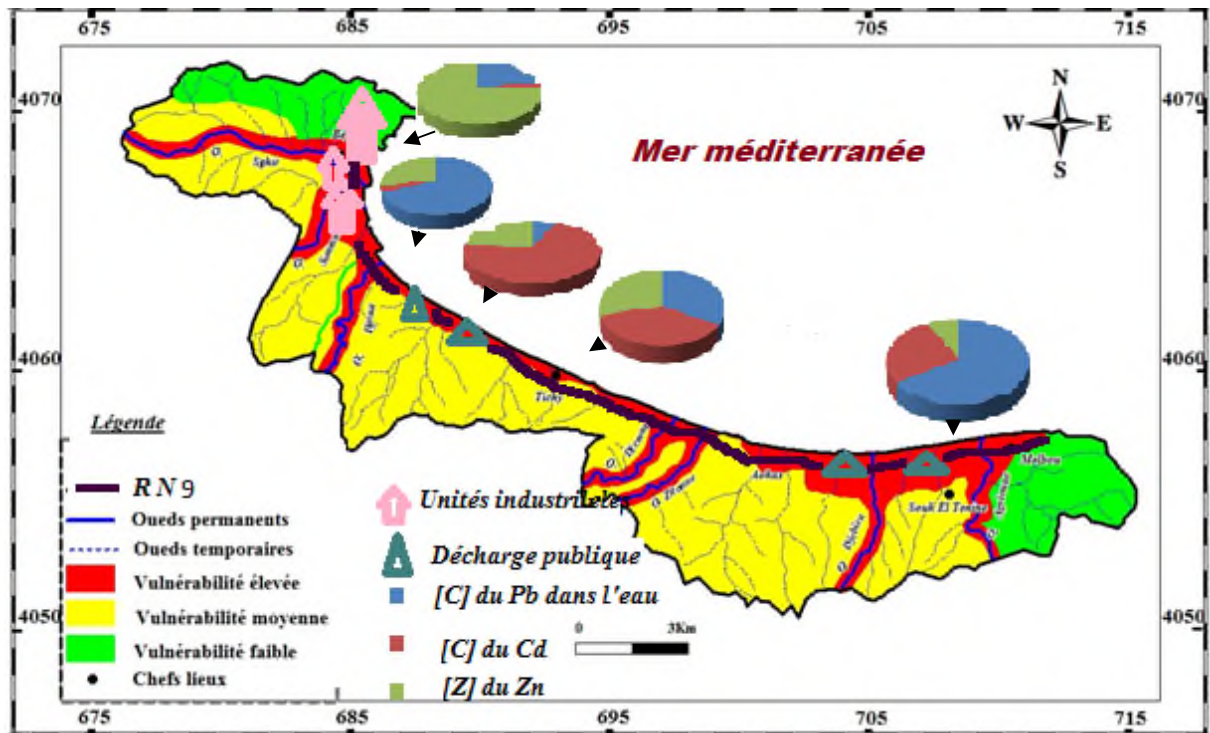


Figure 27 : carte du risque de pollution de golfe de Béjaia.

Vue que les analyses géochimique confirment l'absence des métaux lourds (Pb, Cd, Zn) d'origine naturel et les analyses du sol, de l'eau et des moules affirment la présence de ces métaux dans le golfe. Ceci indique la présence de sources de pollution qui sont localisées dans la zone de vulnérabilité élevée ce qui confirme la carte du risque de pollution de la région.

Conclusion et perspectives

L'étude que nous avons effectuée dans les trois compartiments (eau, sol et moule) nous a permis de dégager certains points importants sur la qualité physico-chimique des eaux côtières du golfe de Béjaia qui est caractérisé par un $\text{pH} > 7$ et une température reflétant les conditions météorologiques ainsi que la présence des métaux lourds tel que le Zinc, le cadmium et le plomb qui diffère d'un élément à un autre par rapport à leur concentration dans le milieu aquatique (eau, moule) et le sol. Ces derniers indiquent leurs cycles biogéochimiques. Les éléments étudiés sont probablement d'origine anthropique vu que les analyses de diffractométrie du sol ont montrées leur absence dans ce dernier.

La projection des concentrations des métaux trouvés dans les trois compartiments sur la carte de vulnérabilité nous a permis de relier les sources de pollution afin d'établir la carte du risque de la région du golfe de Béjaia. Afin de protéger la région de la pollution par les métaux lourds tel que le Zn, Cd, Pb on recommande :

- Placer des stations de traitement des eaux usées, industrielles et les eaux pluviales issues du bassin urbain et du trafic routier à fin de contrôler l'évolution de la pollution ;
- Contrôler les décharges publiques de Tichy, Souk El Tenine, et Bolimat ;
- Installer des stations de surveillance ;
- Analyse physico-chimique de l'eau dans le port ;
- Exploitation de la carte de vulnérabilité et la carte du risque par les gestionnaires, les responsables locaux.

Référence bibliographique

Agence européenne pour l'environnement (AEE). Problèmes prioritaires pour l'environnement méditerranéen [en ligne]<<http://www.glossary.fr.eea.europa.eu/terminology/>. [consulté 20.03.2013].

Ait hamouda, (2010). Vulnérabilité de la baie de Béjaia à la pollution. Mémoire de fin de cycle : université de Béjaia, 98p.

Amrani, S. (2005). Les expériences des entreprises industrielles algériennes dans L'intégration de la dimension environnementale dans leur stratégie de gestion : Cas des entreprises industrielles de la Wilaya de Bouira. memoire de fin de cycle. Université de Bejaia 120. 126 p.

Anonyme, 2013. Cycle biogéochimique. [En ligne] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/cycles-biogeochimiques/> [consulté le 24.05.2013]

Anonyme, (2011). Direction de planification et de l'aménagement du territoire (D.P.A.T). 2012- annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 12 p.

Anonyme, 2008. Poison ou métaux lourds [en ligne], www.gethyimage.com. [Consulté le 22.05.2013].

Bendada, K. et Boulakradeche, M. W. (2011). Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds. Mémoire : Université Houari Boumediene, 73 p.

Boulkrah, H. (2008). Etude comparative de l'absorption des ions plomb sur différents absorbants. Thèse de doctorat : Pollution chimique et environnemental : université du 20 Aout 1955 de Skikda, 140 p.

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 : Océanologie biologique, Environnement marin : université du sud Toulon Var, 363 p.

Chiheb, N. (2010). Etude de la dynamique de l'occupation spatiale sur le littoral de la wilaya de Bejaia. Mémoire de fin de cycle : Biologie des organismes et des populations : université de Bejaia, 102 p.

Courteau M R, (2011). La pollution de la méditerranée : état et perspectives à l'horizon 2030. <http://www.actu-environnement.ae/news/rapport-opecest-courteau-pollutions-mediterrann-20230-12869.php4> [consulté 25.03.2013]

- Damy, (2011).** Synthèse des connaissances sur l'origine et la disponibilité du cadmium dans les eaux continentales. Mémoire de fin de cycle : université de Paris.
- Huynh, T. (2009).** Impacte des métaux lourds sur l'interaction plantes/ver de terre/microflore tellurique. Thèse de doctorat: Ecologie microbienne : université Paris Est, 169 p.
- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), (2005),** Qualité physico-chimique et chimique des eaux
- Kadem, D. (2005).** Evaluation et comportement des métaux lourds (Cd – Cr – Cu – Ni – Pb – Zn et Mn) dans les sols à vocation agricole et végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique (El - hadja – Annaba – est algérien). Influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux. Thèse de doctorat : Ecologie. Université Mentouri de Constantine, 76 p.
- Khemoudj k, (2001).** Impacte de la pollution industrielle, urbaine et agricole de la région d'El Eulma (wilaya de Setif) mémoire de magister. université Badji Moukhtar-Anaba
- Lafabri et al, (2007).** Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species - validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor. *Archive internationale de l'Ifremer*, 68 (11), 2033-2039.
- Le Goff F et Bonnet, V. (2004).** Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable Direction de l'Eau, Paris.
- Lemiere B., Seguin J.J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger Ph., Darmendrail D., Conil P., (2001) –** guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un contexte d'évaluation détaillée des risques pour les ressources en eau. BRGM/RP-50662-FR, 103 p., 23 fig., 9 tabl, 5 ann.
- Lyes S, (2012),** la cote est de Bejaia entre embouteillage, pollution et incivisme des estivants. TSA, quotidien électronique, consulter le 15/07/2012, en ligne <http://www.tsa-algerie.com/divers/la-cote-est-de-bejaia-entre-embouteillage-pollution-et-incivisme-des-estivants-21449.html>
- Monna, F. (2008).** Cycles biogéochimiques des éléments traces métalliques aux interfaces de l'environnement. Thèse de doctorat : Sciences de la terre et de l'environnement : université de Bourgogne, 181 p.
- Moualci, K. (2002).** Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia. Mémoire de fin de cycle : Ecologie et environnement : Université de Béjaia, 55 p..
- Nakhlé, K. F. (2003).** Le Mercure, le Cadmium et le Plomb dans les eaux littorales libanaise : apport et suivi au moyen de bioindicateurs quantitatifs (éponges, bivalves et gastéropodes). Thèse de doctorat : Interaction toxique des écosystèmes : université Paris 7 Denis Diderot, 255 p.

Noppe, K. (1996). Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons. Mémoire de fin de cycle : Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistiques et Géochimie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 92 p.

Pelerin, (2007). Extraction des métaux Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn par la méthode d'extraction séquentielle. Mémoire de fin de cycle université de Toulon et Var.UFR science et technologique.s

Queguiner, B. (2009). Interactions Continent / Océan / Atmosphère », Centre d'Océanologie de Marseille. Mémoire de fin de cycle : Océanographie physique, chimique, biologique : université Aix Marseille, 54 p.

Sirven, J. B. (2006). Détection des métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission plasma induit par laser(LIBS). Thèse de doctorat : lasers et matière dense : université de Bordeaux 1, 252 p.

Taleb, M. Z. et Boutiba. Z. (2007). La moule *Mytilus galloprovincialis* : bioindicateur de pollution marine cas du port d'Oran, science et technologie, 25, 59_64.

Zegmout , Eladdouli, Chahlaoui et al, (2011). Bioaccumulation de quelques métaux lourds (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd) chez la petite praire au niveau de l'Embouchure de la Moulouya Maroc Nord Oriental , ScienceLib Editions Mersenne, Vol 3 , N ° 111212, ISSN 2111-4706, Oudja 12p.

Zhou, Y. (2009). Evaluation de la biodisponibilité des métaux dans les sédiments. Rapport d'étude. Agence de l'Eau Artois-Picardie et Université des Sciences et Technologies de Lille I, UMR Géosystèmes, 33 p.

Glossaire

Frayère : Endroit où les poissons déposent leurs œufs

Ecosystème : Système formé par un environnement (biotope) et par l'ensemble des espèces (biocénose) qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent.

Faune : Ensemble des espèces animales vivant dans un espace géographique ou un habitat déterminé.

Flore : Ensemble des espèces végétales indigènes ou subspontanées dans une région donnée, un milieu donné.

Eruptive : S'est dit initialement des roches formées à la suite d'une éruption, avant d'être étendu à l'ensemble des roches magmatiques.

Métamorphique : Se dit d'une roche qui a subi un ou plusieurs métamorphismes

Ligand : Molécule ou ion unis à l'atome central d'un complexe par une liaison de coordination.

Aquatique: qui se développe et vit dans l'eau

Espèce: Subdivision du genre, rassemble des plantes ou des animaux fortement apparentés.

Dans la nomenclature des plantes et des poissons, la seconde partie du nom scientifique désigne l'espèce.

Biosphère : Ensemble des écosystèmes de la Terre, correspondant à la mince couche (20 km max.) de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère où la vie est présente.

Sédiment : En géologie, dépôt laissé par l'eau ou le vent.

Génotypes : Ensemble des caractères génétiques d'un être vivant, qu'ils se traduisent ou non dans son phénotype (ensemble des caractères physiques et biologiques d'un individu).

Embryons : Très jeune organisme animal ou végétal vivant encore à l'état enclos, nourri soit par l'organisme maternel, soit à partir de réserves nutritives, et n'ayant pas encore tous les organes nécessaires à une vie libre.

Alcalin: Il s'agit d'une eau qui contient des ions alcalins dissous (OH⁻). Il faut savoir que l'alcalinité d'une eau notée par son pH est fournie sur une échelle logarithmique. C'est à dire qu'une eau de pH 8 contient 10 fois plus d'ions OH⁻ qu'une eau de pH 7. En général, dans le domaine aquariophile, la notion d'eau alcaline est associée à la notion d'eau dure (fortement minéralisée)

Larve : Animal libre apparaissant à l'éclosion de l'œuf et présentant avec l'adulte de son espèce des différences importantes, tant par sa forme que par son régime alimentaire ou même son milieu.

Cortex : Partie périphérique des hémisphères cérébraux, siège des fonctions nerveuses les plus élaborées telles que le mouvement volontaire et la conscience.

Biotope : Milieu défini par des caractéristiques physicochimiques stables et abritant une communauté d'êtres vivants (ou biocénose). (Le biotope et sa biocénose constituent un écosystème).

Exogène : Qui provient du dehors, de l'extérieur du phénomène.

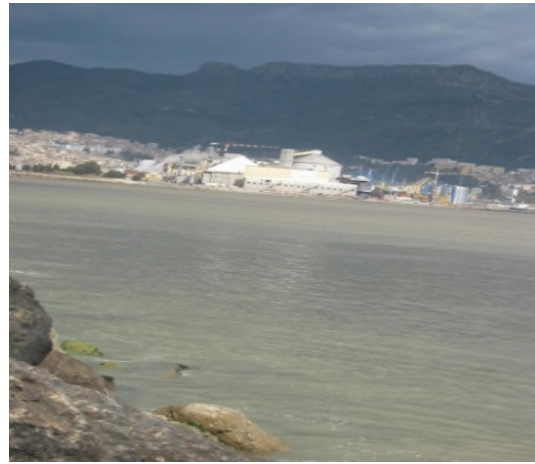
Lysosome : Élément sphérique d'une cellule, entouré d'une membrane et contenant des enzymes (hydrolases) participant au métabolisme de la cellule.

Exocytose : le mécanisme par lequel la cellule libère de larges biomolécules à travers sa membrane.

Annexe 1 : les sites des prélèvements



Station 1 : Port de pêche



Station 2 : Sidi Ali Elbher



Station 3 : Sidi Ali Elbher

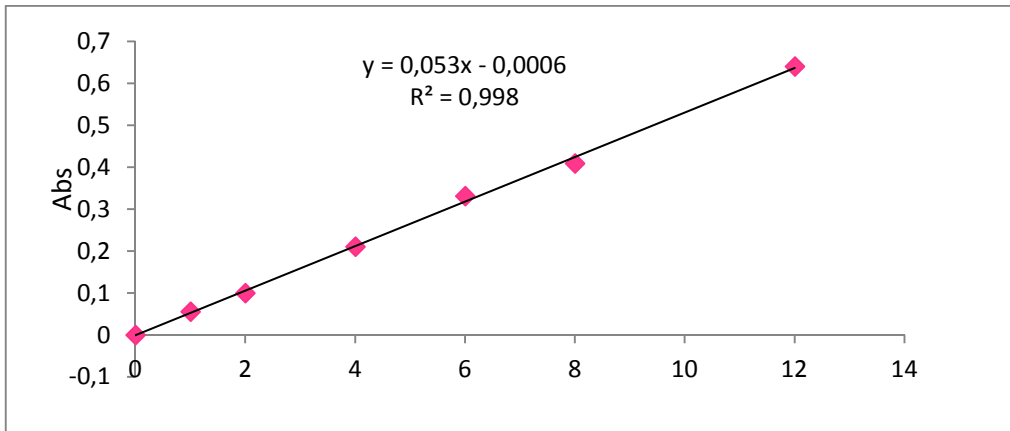


Station 4 : Tichy

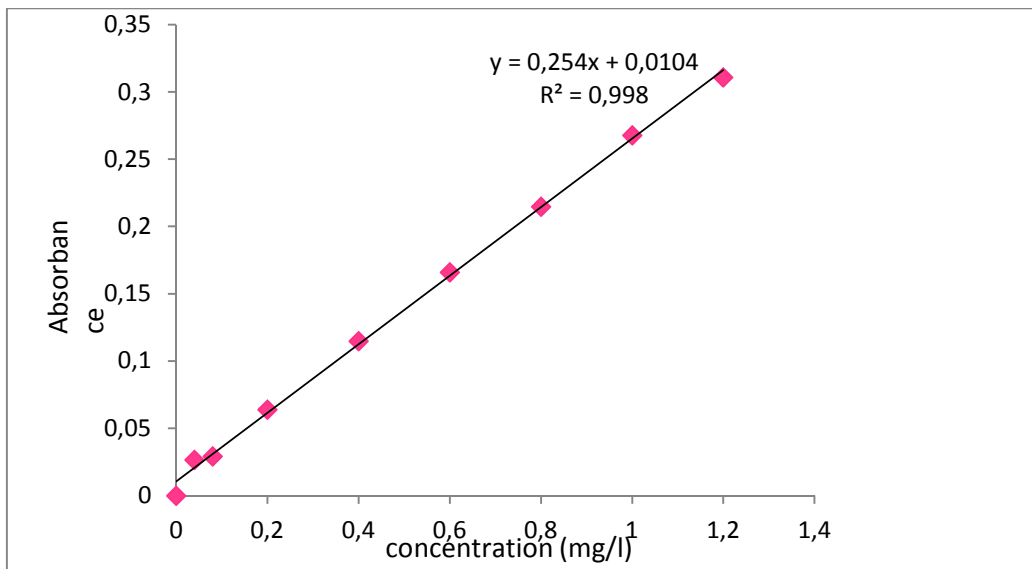


Station 5 : Melbou

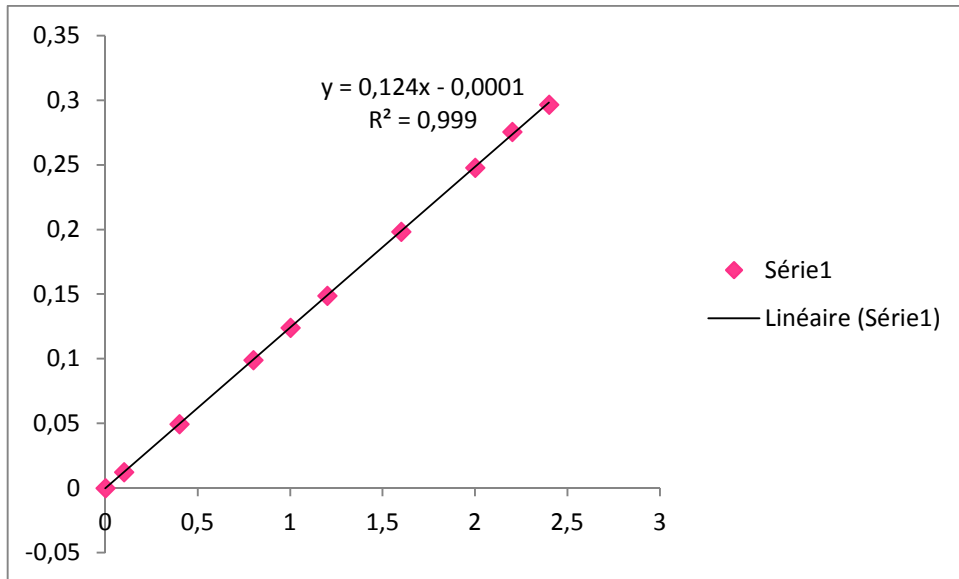
Annexe II : courbe d'étalonnage du Pb, Zn, et Cd



Courbe d'étalonnage du Plomb



Courbe d'étalonnage du Zn



Courbe d'étalonnage du Cd

Résumé :

Dans le but d'évaluer la qualité des eaux côtière et la concentration des métaux lourds (Zn, Pb et Cd) dans le sol, l'eau, et les moules au niveau du golfe de Béjaia, nous avons utilisés une méthode d'analyse physico-chimique (Température, pH, conductivité, eh) et dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique ainsi que la minéralogie du sol. Les paramètres physico-chimiques des échantillons prélevés montrent des fluctuations en fonction des stations. Les résultats obtenus sur la concentration des métaux dans les compartiments indiquent le cycle biogéochimique de ces éléments.

Pour terminé, nos résultats sont projeté dans la carte du vulnérabilité a fin pour réalisé une carte du risque.

Mots clés : Métaux lourds, Golfe de Béjaia, Eau côtière, Carte du vulnérabilité.

Abstract

In order to evaluate the quality of coastales water and the concentration of heavy metals (Zn, Pb and Cd) in the land, water and the grind at the level of the gulf of Béjaia, we used a physic-chemical analysis method (temperature, Ph, conductivity, Eh) and mixture of heavy metals by spectrometry of atomic absorption thus the mineralogy of land.

The physic-chemical parameters(measures) of the patters drawn show a fluction of the stations .the results got about the concentration of metals in the compartment declare the biogeochemical cycle of these elements .finally, to conclude, our results are projected in the vulnerability maip in order to realize a risky maip.

Key word:

Heavy metals, Gulf of Béjaia, Coastales water, Vulnerability maip.