

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

**Evaluation des teneurs en métaux lourds dans
l'environnement marin du littoral Algérois
chez Patella sp et les moules**

Présenté par :

M^{elle} : BELADJINE Siham

M^{elle} : GUERFI Houda

Soutenu le 28 /10/2015 devant le jury suivant :

Mme. GHAZI M.	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	Présidente du jury
Mr. KADA M.	Maitre Assistant (ENSSMAL)	Promoteur
Mme. HOUMA-BACHARI F.	Professeur (ENSSMAL)	Co-promotrice
Mr. BACHOUCHE S.	Chercheur (CNRDPA)	Examinateur
Mme. KHELIFA N.	Maître Assistant A (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2015

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donne les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

*Nous adressons le grand remerciement à notre promoteur Monsieur **KADA M.** et la Co-promotrice madame **BACHARI-HOUMA F.**, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.*

*Nous adressons le grand remerciement la présidente **GHAZI M.** d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude à Madame **KHELIFA N.** et à Monsieur **BACHOUCHE S.** Pour avoir faire la lecture de notre mémoire, allé l'examiner et l'évaluer. Nous les remercions pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour leurs précieux conseils et remarques.*

*Un grand merci pour Monsieur **ZERROUKI M.** et Monsieur **MATOUK Y.** pour leur précieuse aide.*

*Nous remercions également Madame **OUNADI F.** et Madame **EDALLIA N.** du laboratoire de recherche de Sidi Fredj pour leur aide.*

Nous tenons aussi à exprimer notre haute considération et nos sincères remerciements à l'ensemble des ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'ENSSMAL et le personnel de la bibliothèque.

Enfin, nous tenons vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

DEDICACE

*A celui qui a toujours garni mes chemins avec force et lumière... mon très cher père
'Mohammed el-Habib'*

A la plus belle perle du monde... ma très tendre mère 'Nacira'

A ceux qui m'ont toujours soutenu avec leurs prières et invocations ... mes grands parents

*A mes chères sœurs 'Fatima-Zahra, Bochra et Achwaq', avec mes souhaits de bonheur, de
santé et de succès*

A mes chers frères 'Abdelhaq et Mustapha'

A ma chère Soumia et ma chère Amel

Et spécialement à la petite Besma

A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé

A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie...

A tous mes collègues de ma promotion

Sans oublier tous les professeurs, du primaire jusqu'à l'université

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,
que je dédie cet humble travail...*

BELADJINE Siham

À la mémoire de mon père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous, que Dieu le tout puissant t'accorde son paradis éternel (amen).

À ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et L'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et T'accorder santé, longue vie et bonheur. (amen).

A mes sœurs et mes frères chéris(es), (Zakaria, Wafa, Aicha, Yahya)

Malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur et je dédie ce travail à vous avec tous mes vœux de bonheur, santé et réussite.

À ma grand-mère (Mami K. et grand père (Farhet Ahmed).

*À tous les membres de ma **famille GUERFI**, petits et grands.*

*À Monsieur **GUERFI Mokhtar** et Madame **Ratiba**.*

À tous mes chers amis (Amina, Mouhamed).

*Et tous mes collègues de l'école de **l'ENSSMAL**.*

GUERFI. Houda

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Schéma des différents transferts des ETM dans les milieux aquatiques	24
Figure 2: Morphologie des patelles	28
Figure 3: Radula des patelles vue sous microscope électronique	28
Figure 4: Face interne des valves	30
Figure 5: Caractéristiques différentielles entre le genre Perna et Mytilys	31
Figure 6: Système respiratoire et alimentaire chez la moule	32
Figure 7: Situation géographique et réseaux hydrographiques de la baie d'Alger	36
Figure 8: Nature du fond de la baie d'Alger	37
Figure 9: Situation géographique et réseaux hydrographiques de la baie de Bou Ismail	38
Figure 10: Carte sédimentaire de la baie de Bou- Ismail	39
Figure 11: Cartes des pressions naturelles et anthropiques dans la Baie de Bou-Ismail	40
Figure 12: Localisation géographique des sites de prélèvement du littoral Algérois	42
Figure 13.A: Port de Bouharoun	44
Figure 13.B: Port de Khemisti.	44
Figure 13.C: Anse de Kouali	44
Figure 13.D: Ain Tagourait	44
Figure 13.E: Zéralda	44
Figure 13.F: Front de mer de Bou Ismail.....	44
Figure 13.G: Bateau cassé	44
Figure 13.H: Figuier	44
Figure 14: Prétraitement des Patelles.	46
Figure 15: Lyophilisateur de type CHRIST-Beta 1- 8.	47
Figure 16: Minéralisation à blanc	48
Figure 17: Minéralisation des échantillons	49
Figure 18: Résultats de l'identification des patelles	57

Figure 19: Variation de la concentration en plomb chez Patella sp	60
Figure 20: Variation de la concentration en cadmium chez Patella sp.	61
Figure 21: Variation de la concentration en zinc chez Patella sp.	62
Figure 22: Variation de la concentration en Pb, Cd et Zn chez les moules	63
Figure 23: Comparaison des teneurs en métaux traces entre les patelles et les moules à Zéralda...	64
Figure 24: Comparaison des teneurs en métaux traces entre les patelles et les moules au Bateau cassé.....	65
Figure 25: Comparaison des teneurs en métaux traces entre les patelles et les moules à Figuié.....	65
Figure 26: Collecte et nettoyage des patelles	Annexe 1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Les différentes formes de la pollution marine	16
Tableau II : Sources des métaux traces dans l'environnement	18
Tableau III : Classification des éléments chimiques en fonction de leur absorption et de leur toxicité	19
Tableau IV : Les propriétés physico-chimiques des métaux lourds	19
Tableau V : Réactions chimiques du plomb	20
Tableau VI : Réactions chimiques du zinc.....	22
Tableau VII : Taxonomie des patelles	27
Tableau VIII : Taxonomie de la moule dans le règne animal.	29
Tableau IX: Période et zones de prélèvement dans le littoral algérois.....	42
Tableau X : Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en µg/g) observées chez les moules	53
Tableau XI : Résultats des paramètres physico-chimiques étudiés dans la baie de Bou Ismail et la baie d'Alger	55
Tableau XII : Résultats de l'indice de condition des patelles et des moules.....	58
Tableau XIII : Les teneurs en métaux traces chez <i>Patella</i> sp.....	60
Tableau XIV : Comparaison des teneurs en métaux traces chez la patelle dans la baie de Bou-Ismaïl avec celles obtenues dans d'autres études	67
Tableau XV : Comparaison des teneurs en métaux traces chez les moules dans la côte Algéroise ...	68
Tableau XVI : Les teneurs en métaux traces chez les moules dans certaines régions des côtes Algériennes.....	68

LISTE DES ACRONYMES

A : Taux d'humidité

AIEA: Agence Internationale de l'Energie Atomique

APPL : Agence pour la Promotion et la Protection du Littoral Algérois

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Cd: Cadmium

COI : Commission Océanographique Internationale

ETM : Éléments traces métalliques

FABS : Facteurs d'accumulation biote-sédiment

FBA : Facteurs de bioaccumulation

IC : Indice de condition

LEM : Laboratoire des études maritimes

M : masse molaire

MES : Matières en suspension

MO : Matières organiques

MPO : Ministère des Pêches et des Océans

OD : Oxygène dissous

OMS : Organisation mondiale de la Santé

PAC : Politique Agricole Commune

Pb: Plomb

PF : Point de Fusion

pH : potentiel d'Hydrogène

psu : practical salinity unit (unité pratique de la salinité)

RNO : Réseau National d'Observation de la qualité de l'eau

S : Salinité

SAA: Spectroscopie d'absorption Atomique

T : Température

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

Z : Numéro atomique

Zn: Zinc

δ: densité

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ACRONYMES

INTRODUCTION.....	13
I. GENERALITES.....	16
I.1 La pollution marine	16
I.1.1 Définition de la pollution marine.....	16
I.1.2 Sources et types de pollution marine	16
I.2 Les métaux lourds	17
I.2.1 Définition.....	17
I.2.2 Origine des métaux lourds	17
I.2.2.1 Origine naturelle	18
I.2.2.2 Origine anthropique	18
I.2.3 Classification des métaux lourds	18
I.3 Les métaux lourds étudiés	19
I.3.1 Propriétés physico-chimiques	19
I.3.1.1 Plomb.....	20
I.3.1.2 Cadmium	21
I.3.1.3 Zinc	22
I.3.2 Cycle biogéochimique des métaux lourds	23
I.4 Bioaccumulation des métaux lourds.....	24
I.4.1 Définition.....	24
I.4.1.1 Bioconcentration	24
I.4.1.2 Bioaccumulation	24
I.4.1.3 Bioamplification	25
I.4.2 Processus de bioaccumulation.....	25
I.4.2.1 Absorption	25
I.4.2.2 Elimination	26
I.5 Biomonitoring.....	26
I.5.1 Définition.....	26
I.5.2 Types de Biomonitoring	26
I.6 Présentation du biote	27

I.6.1	Patelles	27
I.6.2	Moules.....	29
I.7	Utilisation des moules et des patelles dans la surveillance environnementale	32
II.	ZONE D'ETUDE.....	36
II.1	Baie d'Alger	36
II.1.1	Description géographique	36
II.1.2	Réseaux hydrographiques	36
II.1.3	Sédimentologie	37
II.1.4	Sources de pollution dans la Baie d'Alger.....	37
II.2	Baie de Bou Ismail.....	38
II.2.1	Description géographique	38
II.2.2	Réseaux hydrographiques	38
II.2.3	Sédimentologie	39
II.2.4	Sources de pollution dans la Baie de Bou Ismail.....	39
III.	MATERIEL ET METHODES.....	42
III.1	Travaux en mer.....	42
III.1.1	Stratégie d'échantillonnage.....	42
III.1.2	Prélèvement des patelles et des moules	45
III.2	Travaux au laboratoire	45
III.2.1	Conditionnement du matériel.....	45
III.2.2	Prétraitement des échantillons	46
III.2.2.1	Patelles (Patella sp)	46
III.2.2.2	Moules	46
III.2.3	Lyophilisation.....	47
III.2.4	Broyage et homogénéisation	47
III.3	Extraction des métaux lourds (minéralisation ou digestion)	48
III.3.1	Principe de l'extraction des métaux lourds	48
III.3.2	Protocole expérimentale de l'extraction des métaux lourds.....	48
III.3.2.1	Minéralisation à blanc	48
III.3.2.2	Minéralisation du biote (patelles et moules)	48
III.4	Analyse des métaux par Spectroscopie d'Absorption Atomique (SAA).....	49
III.4.1	Principe de la Spectroscopie d'Absorption Atomique	49
III.4.2	Appareillage	50
III.4.2.1	Atomiseurs	51
III.5	Détermination des concentrations des métaux lourds	51

III.5.1	Calcul du poids corrigé des échantillons	52
III.5.2	Détermination des concentrations finales des échantillons	52
III.5.3	Evaluation du niveau de la pollution	53
IV.	RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	55
IV.1	Paramètres physico-chimiques	55
IV.2	Identification des matrices biologiques	57
IV.2.1	Identification des patelles	57
IV.2.2	Identification des moules	58
IV.3	Indice de condition (IC)	58
IV.4	Résultats des teneurs en métaux lourds.....	59
IV.4.1	Patelles.....	59
IV.4.2	Moules	63
IV.4.3	Comparaison des teneurs en métaux entre les patelles et les moules	64
IV.5	Comparaison des teneurs en métaux traces chez les patelles et les moules avec celles obtenues dans d'autres études au niveau de la côte algérienne et d'autres sites.....	66
IV.5.1	Patelles.....	66
IV.5.2	Moules	67
	CONCLUSION	70
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	73
	ANNEXES.....	88

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les écosystèmes marins et côtiers dans de nombreuses parties du monde sont sous une pression continue, causée par des activités industrielles productrices de plusieurs polluants dont le milieu marin constitue le réceptacle final (Rao et al., 2007).

La Méditerranée est une mer riche en biodiversité mais vulnérable en voie de dégradation, du fait de son exposition à un ensemble de nuisances dont 80 % sont d'origine terrestre (Marie, 2008).

La zone côtière algéroise présente un écosystème de grande diversité biologique et un intérêt économique incontestable (tourisme, ports...etc.). Il est menacé par les apports des effluents industriels qui sont chargés par différentes substances, notamment les métaux lourds. Ces polluants ont la particularité d'être toxiques et non biodégradables, ils s'accumulent dans les différents niveaux de la chaîne alimentaire ce qui représente un danger pour la santé de l'homme (Boening, 1999; Daby, 2006).

L'utilisation de bio-indicateurs issus des communautés marines affectent essentiellement les espèces benthiques et sessiles, représente l'un des moyens d'évaluation d'impact des activités humaines sur les écosystèmes marins. C'est le principe des bios indicateurs quantitatifs basés sur le fait que les organismes marins concentrent les contaminants, en particulier les métaux divalents, en relation avec les concentrations présentes dans le milieu (Phillips et Segar, 1986).

Plusieurs espèces ont été utilisés dans la biosurveillance de la qualité environnementale comme les moules, les crustacés, les poissons et les gastéropodes à savoir *Patella* sp (Kljaković-Gašpić et al., 2007 ; Connan et Tack, 2010 ; Kalantzi et al., 2013).

En méditerranée, cette dernière est considérée comme organisme de remplacement qui permet de combler l'absences ou les carences des bio-indicateurs déjà établis (Campanella et al., 2000).

Le présent travail, a pour objectif d'évaluer l'impact des activités anthropiques (pollution métallique) dans la zone côtière algéroise via l'étude de la bioaccumulation des métaux lourds à savoir le zinc, le cadmium et le plomb chez les moule les patelles.

Le manuscrit est organisé de la manière suivante :

- Une introduction suivie par un chapitre de généralités sur notre étude.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description de la zone d'étude concernant le littoral algérois.
- Le troisième chapitre décrit le matériel et les méthodes analytiques utilisés.
- La présentation et l'interprétation des résultats sont détaillées dans le quatrième chapitre.
- Ces chapitres sont suivis par une conclusion et des perspectives.

GENERALITES

I. GENERALITES

I.1 La pollution marine

I.1.1 Définition de la pollution marine

Selon la Commission Océanographique Internationale (COI) de l'UNESCO(1973), la pollution marine a été définie 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, y compris les pêcheries, détérioration des qualités de l'eau de mer pour son utilisation et réduction des possibilités dans le domaine des loisirs".

Donc, la pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels ; elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques.

I.1.2 Sources et types de pollution marine

La mer méditerranée est soumise à un problème de pollution dû à l'accroissement des activités anthropiques côtières (Houma - Bachari, 2009). L'origine et la nature sont les critères clés de classification de la pollution marine (Galaf et Channam, 2003).

L'origine tellurique représente plus de 75 % de la pollution marine, tandis que le transport maritime et l'immersion en mer représentent 10 % chacun (COI, 2001). Une variabilité spatio-temporelle ainsi qu'une variabilité en proportions et en concentrations est constatée dans les contaminants qui menacent le plus le milieu marin. Ces différents polluants combinent la toxicité, la persistance et la bioaccumulation dans la chaîne alimentaire (Casas, 2005). Elle se produit dans de nombreuses formes différentes, principalement chimiques, physiques et biologiques (Wilhelmsson et al., 2013). Ces dernières ont été récapitulées dans le tableau I.

Tableau I : Les différentes formes de la pollution marine (Wilhelmsson et al., 2013).

Pollution physique	Pollution chimique	Pollution biologique
radiations ionisantes, pollution thermique.	hydrocarbures, matières plastiques, pesticides, détergents, composés organiques de synthèse divers, dérivés du soufre, nitrates, phosphates, métaux lourds , fluorures, particules minérales (aérosols).	matière organique morte, microorganismes pathogène.

Le littoral Algérois est pratiquement touché par diverses pollutions, on constate une densité urbaine importante sur la côte qui déverse ses rejets dans les eaux marines, et des usines qui rejettent leurs déchets industriels et contribuent à polluer le milieu sous l'effet des substances toxiques et corrosives (Houma - Bachari, 2009).

La pollution métallique dans l'environnement marin côtier est une question d'actualité importante dans le contexte de perturbations environnementales, écologiques et de changement climatique (Chakraborty et al., 2014 ; Gao et Arthur Chen, 2012).

I.2 Les métaux lourds

I.2.1 Définition

Un métal est un élément chimique, d'un aspect brillant, qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations (Casas, 2005). C'est un bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, il se combine aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme (Thomas, 2007 ; Picot, 2014).

L'appellation « métaux lourds » fut souvent discutée car elle regroupait des métaux ayant une densité supérieure à 5 g.cm^{-3} et d'autres éléments toxiques non définis comme étant des métaux comme « l'Arsenic », qui est un métalloïde (Chiffolleau et al., 2001).

Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent l'appellation « éléments en traces métalliques » ou par extension « éléments traces » que l'appellation « métaux lourds » (Miquel, 2001). Ces appellations sont utilisées pour expliquer qu'ils se trouvent souvent en très faible quantité dans le milieu marin (Picot, 2002).

Les éléments traces métalliques sont des polluants pour les écosystèmes aquatiques du fait de leur toxicité et leur capacité à s'accumuler dans le biote. En outre ils sont non biodégradables et leur concentration dans les environnements aquatiques s'accroît considérablement car elle résulte en grande partie des activités de production et de consommation anthropiques (Coulibaly et al., 2009).

I.2.2 Origine des métaux lourds

Dans l'environnement marin, les métaux lourds proviennent soit de sources naturelles et/ou de sources anthropiques (Stankovic et al., 2014).

I.2.2.1 Origine naturelle

Les métaux lourds sont présents naturellement dans l'environnement marin avec des concentrations variables. Ils proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires (Devallois, 2009).

Selon Dixit et al., (2015), les sources naturelles des métaux lourds sont l'altération des minéraux, les incendies de forêts, les particules libérées par la végétation, ainsi que l'érosion et les activités volcaniques (Bin et al., 2013).

I.2.2.2 Origine anthropique

Les métaux résultent des activités humaines telles que l'exploitation minière, la galvanoplastie, l'utilisation de pesticides, les rejets d'engrais phosphatés, les effluents d'élevage et les boues issues des stations d'épuration, ainsi que les dépôts atmosphériques (Dixit et al., 2015). Le **tableau II** résume les différentes origines anthropiques des métaux lourds.

Tableau II : Sources des métaux lourds dans l'environnement (Dixit et al., 2015).

Eléments métalliques	Origines anthropiques
Chrome (Cr)	Tanneries, industries de l'acier
Nickel (Ni)	Fabrication d'acier et d'alliages, instruments chirurgicaux, batteries automobiles
plomb (Pb)	émissions aérienne de la combustion de l'essence au plomb, piles de déchets, insecticides et herbicides
Cadmium (Cd)	Peintures et pigments, stabilisants des plastiques, galvanoplastie, engrais phosphatés
Mercure (Hg)	la combustion du charbon, les déchets médicaux
Cuivre (Cu)	pesticides, les engrais, exploitation des gisements et traitement des minerais

I.2.3 Classification des métaux lourds

Les éléments de la table périodique sont classés en fonction de leur toxicité, de leur absorption et de leur niveau d'exposition aux organismes (Stankovic et al., 2014). Elle est illustrée dans le tableau ci-dessous.

Tableau III: Classification des éléments chimiques en fonction de leur absorption et de leur toxicité (Wood, 1974).

Non critique	Toxique, partiellement dissous ou facilement exposée	Très toxique et facilement Exposé
Na, C, F, K, S, Sr, H, Cl, P, Li, Mg, Al, O, Br, Si, Fe, Rb, Ca, N	Ti, Ga, Hf, Rh, Nb, Ir, La, Zr, Os, Ta, Ru, Re, W	Be, As, Au, Cu, Pd, Pb, Co, Se, Hg, Zn, Ag, Sb, Ni, Te, Tl, Pt, Sn, Cd, Bi

Selon leur nécessité pour les organismes vivants, les éléments traces métalliques peuvent être classés en deux groupes : les éléments essentiels ou oligo-éléments (Zn, Mn, Cu, Ni.) et les éléments non essentiels ou toxiques (Cd, Pb, Hg). Les premiers sont indispensables au monde vivant à faibles concentrations, mais ils deviennent toxiques à fortes doses. Tandis que les seconds sont des éléments pour lesquels aucune fonction biologique n'a été identifiée à ce jour et toxiques à de très faibles concentrations (Bliefert et Robert, 2009).

Ce phénomène de toxicité dépend de la nature du métal, sa concentration, sa spéciation ainsi que sa biodisponibilité.

I.3 Les métaux lourds étudiés

I.3.1 Propriétés physico-chimiques

Les principales caractéristiques physico-chimiques des métaux qui ont fait l'objet de cette étude sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV: Les propriétés physico-chimiques des métaux lourds étudiés (Ramade, 2011).

Eléments	propriétés physico-chimiques			
	Z	M (g/Kg)	δ (g/l)	PF (°C)
Plomb	82	206	11,34	327
Cadmium	48	112	8,65	321
Zinc	30	65,38	7,14	419,5

Z : nombre atomique ; M : masse molaire ; δ : densité ; PF : point de fusion.

I.3.1.1 Plomb

Le plomb existe sous trois formes : colloïdale, particulaire et dissoute (**Tableau V**). Les espèces dissoutes dans l'eau de mer sont (Cossa, 2003) :

- les carbonates de plomb (PbCO_3),
- chlorures de plomb (II) ou chlorure blomboux (PbCl_2),
- l'ion de chlorure du plomb (PbCl^+).

Il est à noter la présence du plomb méthylé dans la matière organique dissoute dans le sédiment marin (Cossa et al., 1993).

Dans l'eau de mer, le plomb présente une affinité importante pour la matière particulaire, environ 10% se trouve sous forme de complexes organiques labiles. Cette adsorption du plomb sur la matière particulaire est en fonction du pH et augmente avec ce dernier (Casas, 2005).

Tableau V: Réactions chimiques du plomb (Lozm et al., 1992 ; webqc.org, 2015).

Nom	Reaction chimique
carbonate de plomb	$\text{PbO(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{PbCO}_3\text{(s)}$
chlorure de plomb divalent.	$\text{Pb} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{PbCl}_2$
ion de chlorure du plomb	$\text{Pb}^{+2} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{PbCl}^+$

Le plomb, dans le milieu marin, provoque l'inhibition de la croissance du phytoplancton à partir de $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Casas, 2005 ; Lampert, 2007). Les invertébrés marins aux stades embryonnaires sont plus sensibles que les matures, en effet, le développement larvaire de la moule *Mytilus galloprovincialis* est inhibé à une concentration d'environ $500 \mu\text{g.L}^{-1}$, et au voisinage de celle-ci plusieurs anomalies au niveau des larves sont observées (Casas, 2005).

Chez les poissons, les concentrations élevées du plomb perturbe l'osmorégulation par la diminution de l'activité Na^+/K^+ ATPase au niveau branchiale (Pelletier et al., 2004).

Le plomb peut affecter aussi le métabolisme des métaux essentiels comme le calcium, le magnésium et le cuivre par le phénomène de compétition (Marchand et Kantin, 1997).

Chez l'homme, il provoque le saturnisme qui désigne l'intoxication par le plomb. Elle se manifeste par une compétition avec les ions Ca^{2+} ce qui induit à une anémie et une perturbation du métabolisme essentiellement au niveau du système nerveux, des reins et du sang (Marchand et Kantin, 1997).

I.3.1.2 Cadmium

Le cadmium est un élément rencontré au milieu marin à l'état minérale ou organique sous diverses formes : dissoute, colloïdale et particulaire (Chiffolleau et al., 2001).

- ✦ Les formes dissoutes ($< 1\text{nm}$) : du cadmium en milieu aquatique sont des espèces libres (Cd^{+2}) et formées par des complexations de cadmium avec des ligand minéraux ou organiques (Chiffolleau et Gonzalez, 1999). En milieu marin, les chlorocomplexes (CdCl^+ , CdCl_2) prédominent (Marchand et Kantin, 1997).
- ✦ Les formes colloïdales (de 450 à 1 nm) : lorsqu'il se fixe à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale (Casas, 2005).
- ✦ Les formes particulières ($> 0,45 \mu\text{m}$) : se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques (fond géochimique), par liaison à une fraction d'origine organique (Carbonates, restes d'organismes), par précipitation avec différents fractions minérales (Carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matière organique, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse) (Chiffolleau et Gonzalez ., 1999).

Les variables physico-chimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologie, nature géochimique des particules et concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (Chiffolleau et al., 2001 ; Chiffolleau et Gonzalez ., 1999).

Le cadmium est cancérigène qui génère, chez l'homme, des effets toxiques sur les reins, le squelette et l'appareil respiratoire (OMS, 2015). Alors qu'en milieu marin, il provoque des effets sur le développement larvaire de certains organismes, en particulier les mollusques, ce qui peut inhiber la détoxification de molécules organiques (Andral, 2010).

Le cadmium est caractérisé par son pouvoir génotoxique, du fait qu'il provoque des effets directs sur la structure et la fonction de l'ADN (Rumana et al., 2014). Il est facilement transféré aux animaux supérieurs de la pyramide trophique via la prise alimentaire (Das et al., 1998).

I.3.1.3 Zinc

Le zinc est un élément essentiel pour tous les organismes vivant. Il joue un rôle clé dans les processus métaboliques chez l'homme ainsi que les organismes marins (Wood et al., 2012 ; Larakeb et al., 2014).

Diverses formes du zinc existent dans l'eau de mer à savoir les ions hydratés ($Zn(H_2O)^{2+}_n$), les complexes organiques (acides fulviques et humiques) et les formes adsorbées sur la matière solide (Casas, 2005).

Les espèces inorganiques du zinc sont : l'ion Zn^{2+} , les carbonates ($ZnCO_3$), les sulfates du zinc ($ZnSO_4$), les hydroxydes de zinc ($Zn OH^+$ et $Zn (OH)_2$) ainsi que les chlorures de zinc ($ZnCl_2$) (Tableau VI).

Le cation Zn^{2+} libre reste l'espèce la plus abondante avec environ 30% de la concentration dissoute en Zn en eau de mer 33 ‰ de salinité (Wood et al., 2012).

Tableau VI: Réactions chimiques du zinc (webqc.org, 2015).

Nom	Reaction chimique
Carbonate du zinc	$ZnCO_3 = CO_2 + ZnO$
Sulfat du zinc	$ZnSO_4 = SO_3 + ZnO$
Hydroxide de zinc	$Zn (OH)_2 = H_2O + ZnO$

Le zinc intervient à de nombreux processus biologiques comprenant le métabolisme des protéines, des acides nucléiques, des hydrates de carbone et des lipides. Il est également impliqué dans des fonctions du système immunitaire, de la neurotransmission, de la signalisation de cellules et de la reproduction (Wood et al., 2012).

A partir de quelques milligrammes par litre, le zinc induit la formation de composés insolubles au niveau des muqueuses recouvrant les branchies des mollusques et des poissons, perturbant ainsi la fonction respiratoire (Rodier, 1996 ; Pétré, 2008).

I.3.2 Cycle biogéochimique des métaux lourds

C'est le cheminement des métaux par divers processus physiques, chimiques et biologiques à travers les principaux réservoirs du milieu marin (**Figure 1**).

Le compartiment sédimentaire et son interface avec la colonne d'eau sont le siège de nombreux processus biogéochimiques à savoir la spéciation chimique, la mobilité et la dégradation qui vont influencer le devenir des contaminants (Charriau, 2009).

Les métaux lourds sont présents dans les sédiments sous diverses formes : dissoutes dans l'eau interstitielle et fixées sur les particules solides. Leur fractionnement et leur mobilité au sein de la colonne sédimentaire dépendent des couplages entre les processus d'échanges solides – liquides et des mécanismes de transferts spécifiques à chaque phase (Devallois, 2009).

Ainsi que les formes dissoutes et colloïdales peuvent diffuser (diffusion interstitielle, bioturbation), être transportées (tassement, bioturbation) et être érodées. Les formes particulaires peuvent diffuser par bioturbation, être transportées (accumulation, tassement, bioturbation) et être érodées (Devallois, 2009).

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

- **La première étape** : consiste à piéger les éléments métalliques en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physico-chimiques du milieu marin et cela par : précipitation, absorption, adsorption et sédimentation.
- **La deuxième étape** : C'est l'inverse de la première, constituerait au relargage de ces polluants par désorption qui est le phénomène inverse de l'adsorption, diffusion ou propagation dans le milieu marin, décomposition ou minéralisation des matières organiques et, parfois même, par redistribution par l'activité des organismes marins (Sahnoun, 2009 in Bourdial, 1988).

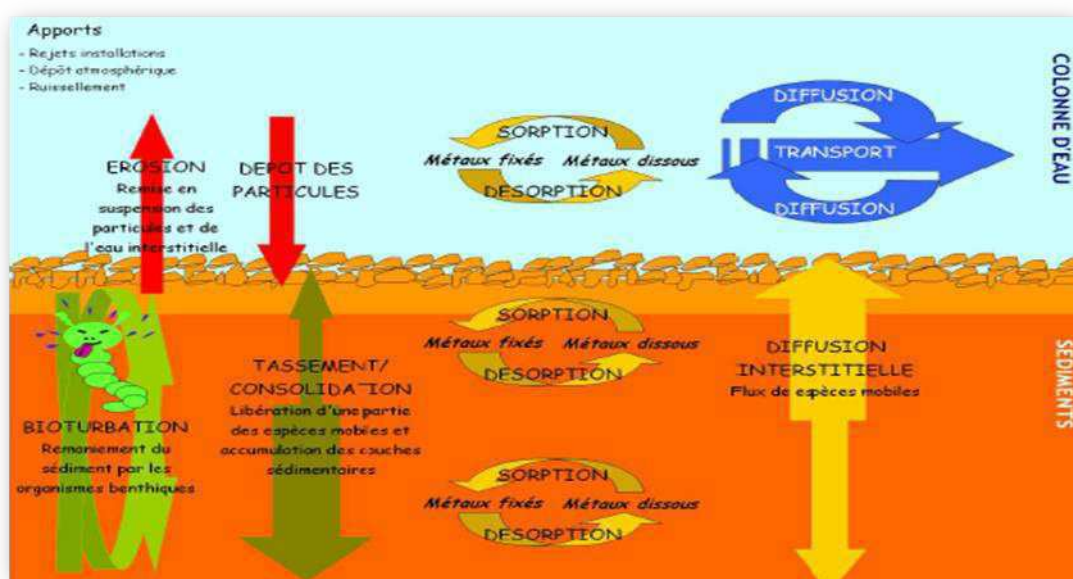


Figure 1: Schéma des différents transferts des ETM dans les milieux aquatiques (Devallois, 2009).

I.4 Bioaccumulation des métaux lourds

I.4.1 Définition

L'accumulation de substances dans les organismes est nommée bioconcentration, bioaccumulation ou biomagnification selon les voies d'entrée de la substance dans l'organisme (Papp, 2009).

I.4.1.1 Bioconcentration

Le mot « bioconcentration » désigne le phénomène d'augmentation de la concentration d'un élément (oligoélément, polluant, radionucléide ...) par le fait, d'un organisme vivant ou d'une association d'êtres vivants capable de capter cet élément à partir du milieu et de le conserver (Kayalto et Mbofung, 2009).

I.4.1.2 Biaccumulation

C'est un processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète : $V_{entrées} > V_{sorties}$, ce qui donne la capacité aux organismes aquatiques à concentrer et stocker les substances chimiques à partir de l'eau et/ou à partir de la nourriture, et ceci selon la nature chimique des composés à savoir leur hydrophobicité et leur persistance (Casas, 2005 ; Bodiguel, 2008).

I.4.1.3 Bioamplification (biomagnification)

Le transfert d'un polluant donné d'un organisme à un autre est appelé : une bioamplification. Celle-ci entraîne une concentration généralement plus élevée dans le prédateur que dans la proie (Slotton et al., 2004). Ce processus varie considérablement avec la structure et la longueur de la chaîne alimentaire (Atwell et al., 1998 ; Ikemoto et al., 2008 ; Misztal-Szkudli et al., 2011).

Le processus d'accumulation des métaux lourds peut être évalué par rapport aux matrices d'eau de mer et du sédiment marin, par l'utilisation de plusieurs facteurs comme le FBA, facteur de bioaccumulation, et le FABS, facteur d'accumulation biote-sédiment. Le premier est défini comme le rapport entre la concentration d'un contaminant donné dans le biote et sa concentration dans l'eau (Rowan, 2013). Alors que le facteur d'accumulation biote-sédiment (FABS) est calculée comme le rapport entre la concentration en métal dans l'organisme et celle dans le sédiment (Usero et al., 2005).

D'après Casas (2004), il existe d'autres paramètres qui affectent le taux de bioaccumulation comme les facteurs chimiques (spéciation, biodisponibilité), physiologiques (croissance, reproduction) et environnementaux (température, matières en suspension, chlorophylle).

I.4.2 Processus de bioaccumulation

La concentration des métaux lourds dans l'organisme résulte du bilan entre d'une part, les flux d'entrées des métaux (adsorption, absorption et séquestration), et d'autre part, les différentes voies d'élimination ou de décontamination (Boudou, 2004).

I.4.2.1 Absorption

L'entrée d'une substance xénobiotique dans l'organisme marin se fait soit directement à partir de l'eau par adsorption sur la barrière cutanée ou les zones d'échange telles que les branchies ou les parois digestives, soit indirectement par l'ingestion de proies contaminées (Deudero et al., 2007).

A l'intérieur de l'organisme, le xénobiotique peut diffuser vers différents organes, et ceci en fonction de l'affinité des substances (lipophile). En effet, les tissus lipidiques présentent le maximum d'accumulation. Il est à noter qu'au fur et à mesure qu'on s'élève dans les niveaux trophiques, plus la part due à l'alimentation augmente (Deudero et al., 2007).

I.4.2.2 Elimination

Les polluants dans les organismes marins sont éliminés soit sous forme soluble ou particulaire. Selon l'élément ou le composé, la perte de la fraction soluble peut se produire de manière passive par les processus d'échange de désorption et d'ions simples, ou activement par l'excrétion métabolique (Casas, 2007).

D'autres phénomènes induisent la diminution de la concentration des contaminants comme la croissance et la reproduction. En effet, la libération des gamètes et des œufs permettent l'élimination des polluants par diffusion passive (Amiard, 2011). Un changement d'environnement d'un milieu pollué vers un milieu non pollué produit une décontamination plus ou moins lente (Casas, 2007).

I.5 Biomonitoring

I.5.1 Définition

Biomonitoring ou biosurveillance est définie comme l'utilisation de bio-indicateur pour obtenir des informations quantitatives sur certaines caractéristiques de la biosphère (Markert et al., 2003).

En effet, elle révèle des changements biologiques des organismes touchés par les produits chimiques exogènes, ainsi que synergiques, et intégré les effets des polluants sur les organismes (Richir et Gobert, 2014).

La biosurveillance présente un large éventail d'avantages par rapport à la surveillance direct de l'environnement et a été considéré comme un outil précieux à la fois pour la surveillance de la santé des écosystèmes marins et de l'homme (Costa et Teixeira, 2014).

I.5.2 Types de Biomonitoring

Deux stratégies différentes peuvent être utilisées dans la biosurveillance : active et passive.

- ❖ **Biomonitoring passif** : repose sur les individus autochtones, organismes présents déjà naturellement dans l'écosystème qui sont examinés pour leurs actions, elle a été utilisée pendant plusieurs décennies en raison de sa simplicité et la possibilité de mettre en place des mesures à long terme (Sericano et al., 1995; Besse et al., 2012 ; Markert, 2007).

- ❖ **Biomonitoring actif** : implique la translocation d'organismes d'un endroit à un autre et quantifier leur biodiversité, leur réponses physiologiques et/ou métaboliques afin de déterminer la qualité des eaux marines (De Kock et Kramer, 1994). Elle est un bon outil pour surveiller la qualité de l'eau (Birungi et al., 2007).

I.6 Présentation du biote

I.6.1 Patelles

I.6.1.1 Systématique

La classification des patelles (Lincoln et al., 1998) est résumée dans le tableau ci-dessous.

Tableau VII : Taxonomie des patelles.

	Termes scientifiques	Termes en français
Embranchement	Mollusca	Mollusques
Classe	Gasteropoda	Gasteropodes
Sous-classe	Prosobranchia	Prosobranches
Ordre	Archéogasteropoda	Archéogasteropodes
Famille	Patellidae	Patellidés
Genre	Patella	

I.6.1.2 Habitat

La patelle est un mollusque gastéropode, benthique, sédentaire qui vit fixé sur les rochers battus et éclairés de l'étage médiolittoral (Neal et Skewes, 2004). Elle s'y fixe très solidement, grâce à son pied, à la manière d'une ventouse très puissante, afin de résister à la dessiccation et aux chocs des vagues (Boudouresque, 2005).

I.6.1.3 Physiologie et anatomie

Sa coquille, en forme de cône plate et fine, sculptée de côtes radiales fortes, souvent dissymétrique, avec un sommet décalé du côté antérieur (**Figure 2**). Il est de couleur gris-brun sale et mesure 2 à 6 cm de diamètre, et environ 1 cm de hauteur, avec un contour ovale ou irrégulier (Didierlaurent et Noël, 2014).

Le bord du manteau surplombe une gorge profonde, étendue autour du corps tout entier, qui abrite les branchies palléales (Rožiča et al., 2014). La cicatrice musculaire est en forme de fer à cheval avec une ouverture antérieure (Harvey, 2009).

I.6.1.4 Alimentation et locomotion

La patelle est un animal herbivore qui se déplace le jour, par des mouvements de reptation de son pied. Ce dernier sécrète du mucus afin de retrouver son emplacement au retour. Grâce à sa langue râpeuse ou radula circulaire (**Figure 3**), en forme de ruban à petites dents, la patelle broute les algues encroûtantes fixées sur la roche ([Didierlaurent et Noël, 2014](#)).

Elles se nourrissent également d'algues brunes (les fucus et les ascophylles) qu'elles mettent en danger, cependant elles pourraient jouer un rôle dans la lutte contre la prolifération des algues sur certaines côtes rocheuses du littoral ([Le Roux, 2005](#)).

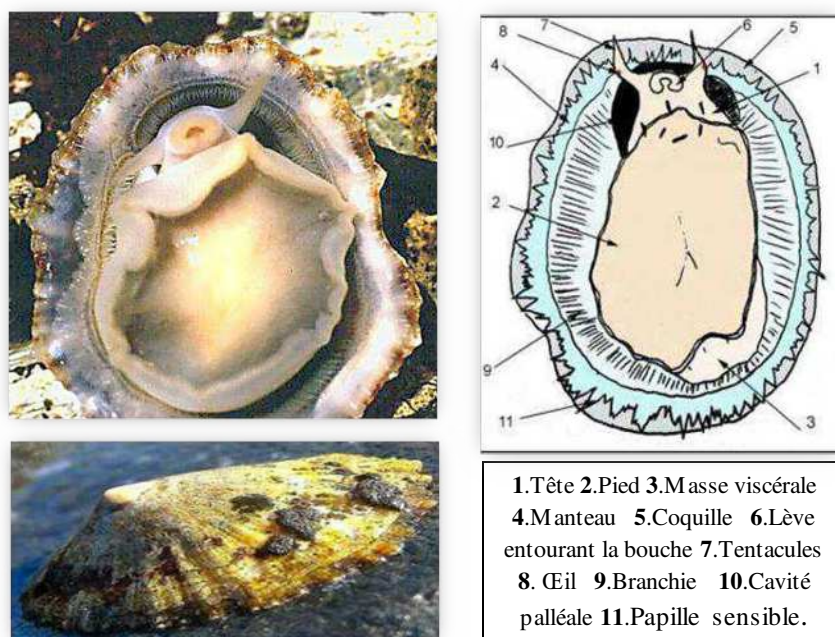


Figure 2:Morphologie des patelles.

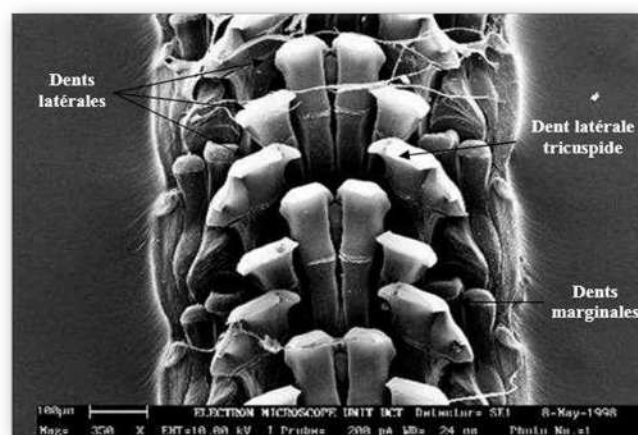


Figure 3: Radula des patelles vue sous microscope électronique ([Nakhlé, 2003](#)).

I.6.1.5 Mode respiratoire

Les patelles sont des Prosobranches, et quand elles sont baignées par les vagues, elles soulèvent leur coquille pour emprisonner l'eau puis la baissent afin qu'elle adhère parfaitement au rocher. Grâce à cette réserve d'eau, la patelle peut respirer, en y tirant de l'oxygène, et résister à l'émersion (Marshall et McQuaid, 1989).

I.6.1.6 Reproduction

La patelle est hermaphrodite protandre, c'est-à-dire d'abord mâle puis femelle (Nakhlé, 2003). La patelle mâle est mature à deux ans et devient femelle vers quatre ans. La fécondation est externe et a lieu à l'automne ou au début de l'hiver (Nakhlé, 2003).

La mer disperse les œufs, chaque œuf fécondé donne une larve trochophore, qui passe une vie planctonique pendant quelques jours puis se pose, souvent dans une flaque. A maturité, elle se déplacera sur une roche exposée (Didierlaurent et Noël, 2014).

I.6.2 Moules

I.6.2.1 Systématique

Tableau VIII: Taxonomie de la moule dans le règne animal (Jurd, 2000).

Embranchement	Mollusques
Classe	Bivalves = Lamellibranches
Sous=classe	Ptériomorphes
Ordre	Filibranchia
Sous=ordre	Anisomyaria
Super famille	Mytiloidea
Famille	Mytilidae
Genre	Mytilus, Perna
Espèce	Mytilus galloprovincialis, Perna perna

I.6.2.2 Ecologie

La moule se rencontre principalement dans les zones des marées des mers tempérées. Elle s'accroche à d'autres moules et se fixe sur un substrat, afin de minimiser l'impact des vagues. Elle résiste à de nombreux facteurs abiotiques (température, salinité...) ce qui permet de la retrouver dans la zone la plus élevée de l'estran (Cahen, 2006).

I.6.2.3 Physiologie et Anatomie

Les Mollusques possèdent un corps mou protégé et renforcé par une coquille à symétrie bilatérale (Boué et Chanton, 1962). Trois parties caractérisent le corps, un pied musculueux qui sert aux déplacements, une masse viscérale qui contient la plupart des organes internes, un manteau qui recouvre la masse viscérale (Figure 4).

Ce dernier forme la cavité palléale, dans lequel baignent les branchies, l'anus et les pores excréteurs (Boué et Chanton, 1962). La chair de la moule est le plus souvent de couleur rose ou orangée pour les femelles et blanchâtre pour les mâles (Bouchard, 2004).

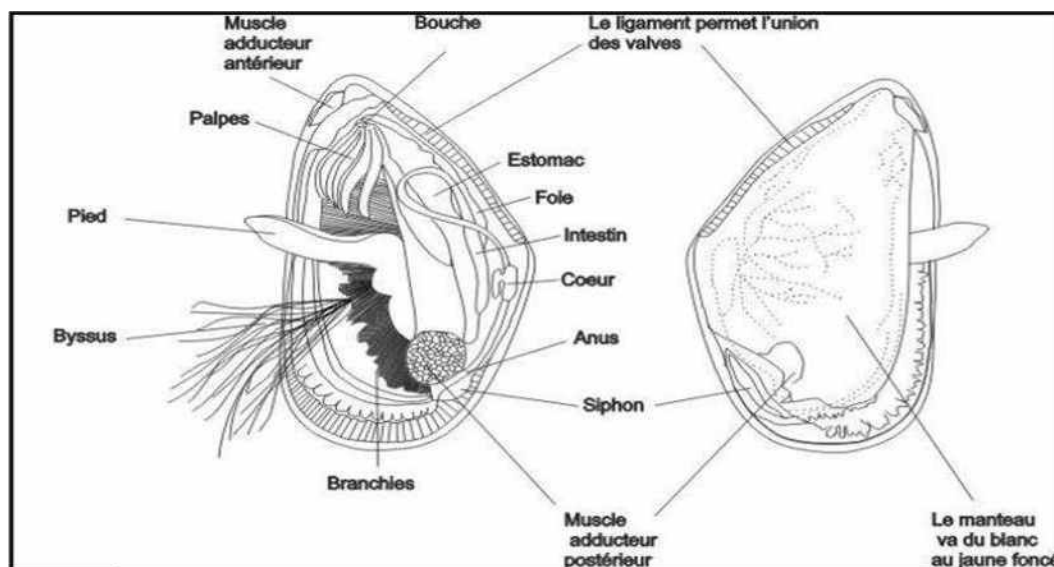


Figure 4 : Face interne des valves (Bouchard, 2004).

Les deux genres des moules ayant des caractéristiques bien différentes, le genre *Perna* ne possède pas de muscles adducteurs antérieurs, n'a que 2 dents cardinales (Figure 5) au lieu de 3 ou 4 pour le genre *Mytilus*, de plus les insertions des muscles rétracteurs du pied et de byssus sont adjacentes entre elles, mais séparées de celles de l'adducteur postérieur et des rétracteurs postérieurs du byssus (Cayre, 1976).

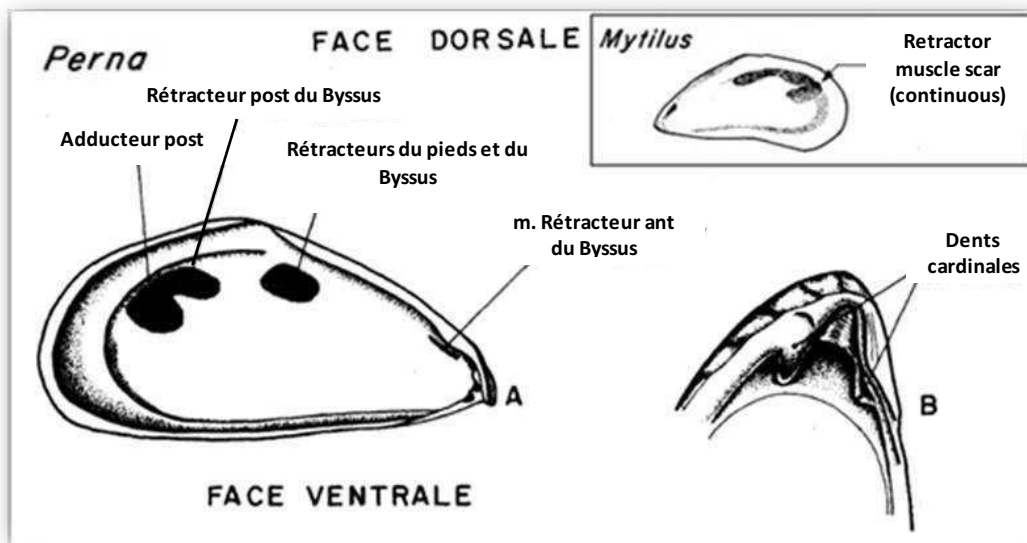


Figure 5: Caractéristiques différentielles entre le genre *Perna* et *Mytilus* (Cayre, 1976).

I.6.2.4 Alimentation

La moule est un microphage. Elle se nourrit de petites particules en suspension dans l'eau de mer qu'elle filtre à travers ses branchies et récupère les particules alimentaires qui y sont retenues pour se nourrir (**Figure 6**). Ce sont les algues microscopiques (le phytoplancton, cyanobactéries) et débris organiques qui constituent l'essentiel de sa nourriture (Bouchard, 2004).

I.6.2.5 Mode respiratoire

Les échanges d'oxygène se font par l'intermédiaire des branchies (Cahen, 2006). L'eau chargée en oxygène dissous pénètre dans la cavité palléale via le siphon inhalant. Elle est filtrée par les filaments des deux paires de branchies lamelleuses avant d'être évacuée par le courant exhalant (**Figure 6**).

L'oxygène ainsi capté pénètre dans l'hémolymphe pour être distribué dans tout l'organisme. Lorsque la moule se retrouve à l'air libre, elle ferme sa coquille et passe à une respiration anaérobie (Cahen, 2006).

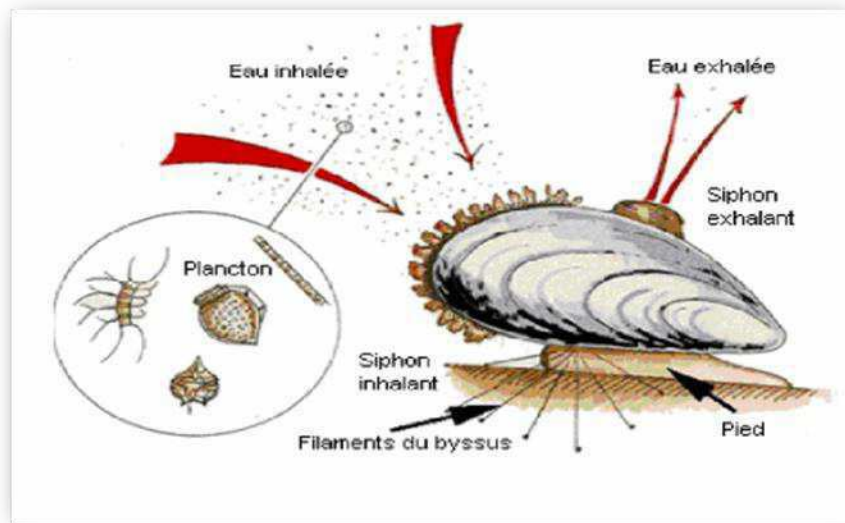


Figure 6 : Système respiratoire et alimentaire chez la moule (MPO, 2003).

I.6.2.6 Système excréteur

L'excrétion est réalisée par une paire de reins (néphridies) qui acheminent les déchets de l'hémolymphe vers la cavité palléale. Ceux-ci sont ensuite rejetés dans l'environnement de l'animal par le courant d'eau exhalant (Gosling, 1992).

I.6.2.7 Reproduction

La fécondation est externe. Pendant la période de reproduction, les ovules de la femelle sont libérés dans la cavité palléale où ils sont fécondés par les spermatozoïdes. Ces derniers sont déversés dans l'eau par les mâles, puis entraînés dans la cavité de la femelle par la circulation d'eau entrante.

Les œufs très nombreux (environ 500 000) donnent deux stades larvaires successifs : trochophore et véligère. La larve trochophore se transforme en larve véligère en 24h. Celle-ci se fixe sur un substrat, après 2 à 3 semaines, se métamorphose en jeune moule et devient adulte au bout de 2 ans (Cahen, 2006).

I.7 Utilisation des moules et des patelles dans la surveillance environnementale

Pour une surveillance optimale de la qualité des eaux marines, deux approches complémentaires sont utilisées : le dosage des polluants dans l'environnement, et l'utilisation de bio-indicateurs (Crochet, 1999).

En effet, l'analyse de l'eau de mer ne fournit pas d'informations sur la biodisponibilité des éléments traces métalliques pour les organismes et ne permet pas d'évaluer l'impact de ces substances sur les organismes ainsi que l'écosystème dans son ensemble. C'est dans ce contexte que [Goldberg \(1975\)](#) propose l'utilisation d'organismes pour évaluer la qualité du milieu et fait naître le concept d'indicateur biologique.

Plusieurs espèces marines, comme les algues, les gastéropodes, les poissons, les mammifères marins (phoque, otarie) et les oiseaux marins ont été employé pour le bio-monitoring de la pollution marine ([Nakhlé, 2003](#) ; [Jakimska et al., 2011](#) ; [Copat et al., 2013](#) ; [Stancovic et Stancovic, 2013](#)).

Les moules et les patelles présentent des caractéristiques qui leur conférant l'image de bons bioindicateurs de la contamination en raison de :

- leur faculté d'accumuler des contaminants présents dans l'environnement dans un facteur de concentration de 10^3 à 10^5 ([Casas, 2007](#)),
- leur mode de vie sédentaire, leur large distribution, leur durée de vie longue,
- leur importance écologique, leur abondance et leur facilité à être échantillonnés ([Espinós et al., 2007](#)),
- leur tolérance à différents stress, et leur possibilité de les transplanter ([Casas, 2007](#)),
- leur consommation par l'homme donc vecteur de contamination ([Casas, 2007](#)).

Les moules, en particulier le genre *Mytilus*, sont généralement utilisés dans des programmes de surveillance tel que le Réseau National d'Observation de la qualité de l'eau (RNO) en France ([Chiffolleau et al., 2003](#)), pour étudier l'accumulation de polluants dans les tissus et les effets qui découlent de cette accumulation sur les processus biologiques ([Banni et al., 2007](#) ; [Viarengo et al., 2007](#) ; [Canesi et al., 2011](#)).

Les patelles sont des espèces ou des groupes d'espèces, qui par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie ([Guelorget et Perthuisot, 1984](#)). Ils sont utilisés pour la surveillance des pollutions aquatiques depuis environ 35 ans ([Nakhlé, 2003](#)).

Ils sont aussi des indicateurs de variations géographiques de la contamination métallique du milieu tout à fait pertinents. Cependant, l'état physiologique des animaux affecte significativement leur capacité de bioindicateur. La prise en compte des indices de condition (IC) pourra aider à affiner les interprétations des variations de concentration (Nakhlé, 2003).

En Méditerranée, plusieurs travaux ont fait référence à l'utilisation de différentes espèces de patelles et des moules pour la surveillance des contaminations métalliques. En Liban, Nakhlé (2003) a utilisé deux espèces de patelles (*Patella caerulea* et *Patella vulgata*) pour analyser plusieurs métaux comme le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le fer (Fe) et le manganèse (Mn).

Le long des côtes Italiennes, Vanucci et al., (2005) se sont intéressés à l'analyse de cadmium (Cd) chez *Patella caerulea*.

En 2006, Hamed et Emara, analysent les mêmes métaux que Nakhlé (2003) pour les deux espèces de patelles (*Patella caerulea* et *Patella vulgata*), cette étude a été réalisé au niveau des côtes égyptiennes.

En Algérie, plusieurs travaux ont utilisés les moules comme bioindicateur (Rouane-Hassane, 2013). Alors que pour les patelles, il y en a peu d'études. Le travail de Benguedda-Rahal (2012) s'est intéressé à l'analyse du cadmium, de cuivre, du plomb, du zinc et du fer chez la patelle dans la zone de ghazaouat et de beni saf, afin de voir l'effet des installations industrielles sur le milieu marin et le pouvoir de bioaccumulation, en comparaison avec d'autres espèces des niveaux trophiques différents.

Dans le littoral algérois, à notre connaissance seul le mémoire d'ingénieur de Derradji (2014) aborde cette espèce là comme bioindicateur.

ZONE D'ETUDE

II. ZONE D'ETUDE

II.1 Baie d'Alger

II.1.1 Description géographique

La baie d'Alger est très vaste, elle occupe la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja de forme semi-circulaire. Elle s'étend sur 16 Km d'Est en Ouest, et de 6 Km du Nord au Sud. Elle est délimitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le cap Matifou et à l'Ouest par la pointe Pescade (Leclaire, 1972). La situation géographique de la baie d'Alger a été représentée dans la **figure 7**.

II.1.2 Réseaux hydrographiques

La baie d'Alger est le réceptacle d'oued el Harrach et oued el Hamiz à régime irrégulier. Ces derniers drainent les eaux usées domestiques et industrielles, les eaux de ruissellement et d'irrigation des zones de la Mitidja qu'ils traversent (**Figure 7**).



Figure 7 : Situation géographique et réseaux hydrographiques de la baie d'Alger.

II.1.3 Sédimentologie

En baie d'Alger, la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie (**Figure 8**). Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale. La distribution générale des faciès, établie par [Maouche \(1987\)](#), montre que la composition globale des dépôts caractérise trois types de faciès : Faciès sableux, Faciès carbonatés et Faciès pélitiques.

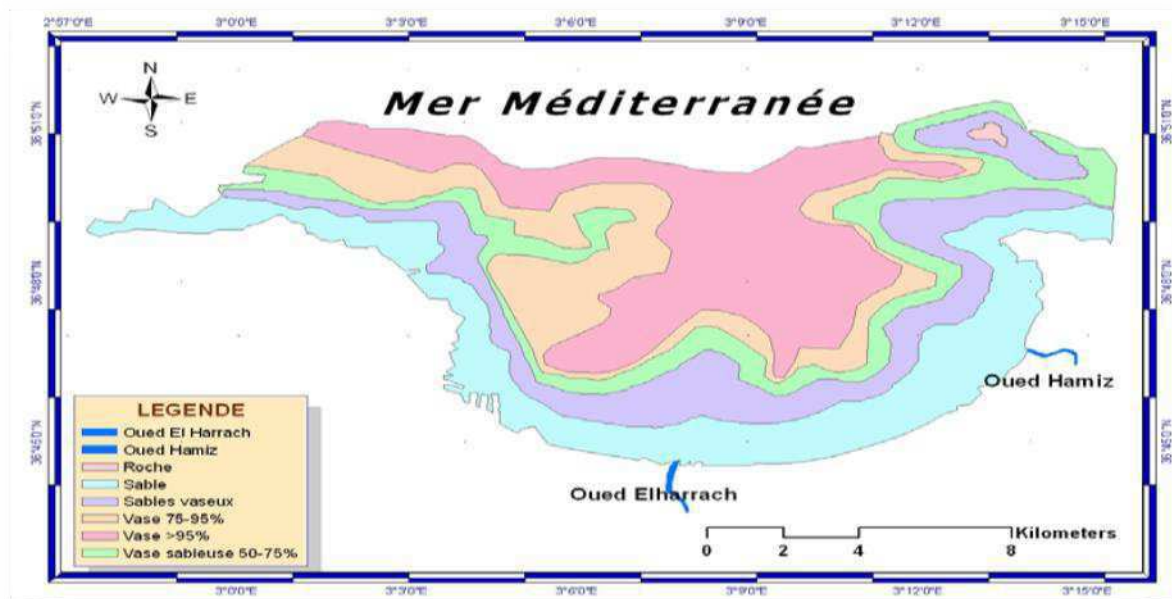


Figure 8 : Nature du fond de la baie d'Alger ([Maouche, 1987](#)).

II.1.4 Sources de pollution dans la Baie d'Alger

Le port d'Alger est l'une des principales sources de pollution, au niveau de la baie. Il reçoit 24 égouts au delà de l'activité portuaire. Il est à noter aussi l'effet des apports d'oued el Harrach et oued el Hamiz qui affecte la partie centrale et orientale de la baie ([APPL, 2015](#)).

Les eaux usées urbaines de la ville d'Alger, des villes côtières et des unités industrielles sont drainées vers le port ou la baie d'Alger sans traitement : 70 points de rejet dont 26 directs dans le port d'Alger ([Bachari et al., 2011](#)).

II.2 Baie de Bou Ismail

II.2.1 Description géographique

La baie de Bou-Ismaïl est située à 30 km à l'ouest d'Alger (Moufî El- Houari et al., 1999). Elle est limitée par de la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi-Fred, et par le Mont Chenoua à l'Ouest, par la plaine de la Mitidja au Sud et la mer méditerranéenne au Nord (**figure 9**). Cette baie couvre une surface de l'ordre de 350 Km², avec une morphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes (Houma - Bachari, 2009).

II.2.2 Réseaux hydrographiques

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigènes et également tous les polluants issus des activités humaines, agricoles et industrielles. Trois oueds déversent dans cette baie (Houma - Bachari, 2009 ; Babouri, 2013).

Les plus importants sont Oued Mazafran avec un bassin versant de 1850 km² et oued Nador disposant d'un bassin versant de 200 à 300 Km². Alors que oued Beni Messous est le moins important du réseau hydrographique de la baie (**Figure 9**).



Figure 9 : Situation géographique et réseaux hydrographiques de la baie de Bou Ismail.

II.2.3 Sédimentologie

Les fonds de la baie de Bou Ismail se caractérisent par une grande diversité sédimentaire (Houma-Bachari, 2009). Neuf faciès, ont été identifiés dont, les sables fins, les sables envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers-fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux (Figure 10). Selon (Grimes, 2010), la répartition de ces derniers n'est pas homogène avec une dominance des sables envasés.

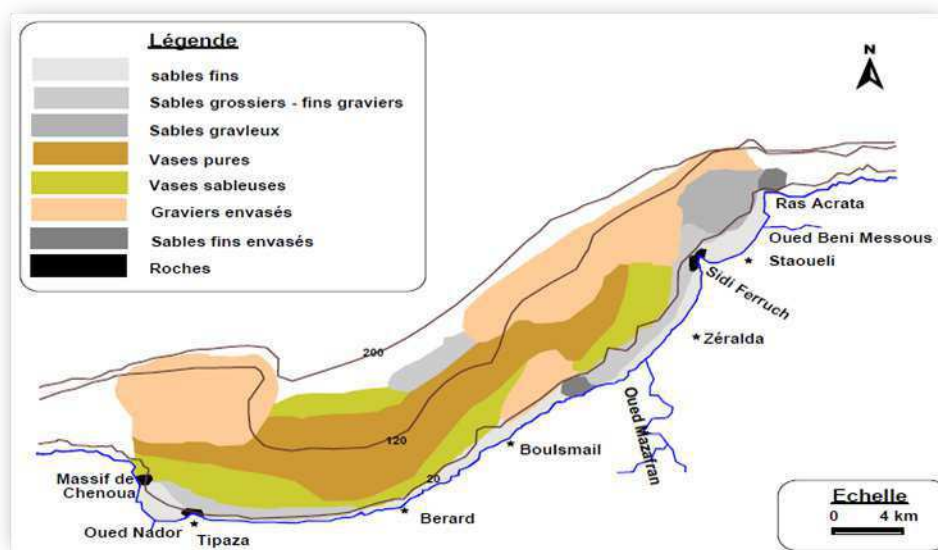


Figure 10 : Carte sédimentaire de la baie de Bou- Ismail (LEM, 1998).

II.2.4 Sources de pollution dans la Baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail subit onze déversements d'eaux usées ménagères et deux déversements d'eaux industrielles rejetées par les deux zones industrielles de Chouaiba et Bou Ismail, ce qui constitue «un véritable danger» pour l'environnement marin (Boufassa, 2015).

Ces rejets déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas, et qui s'accroissent en période estivale (Figure 11).

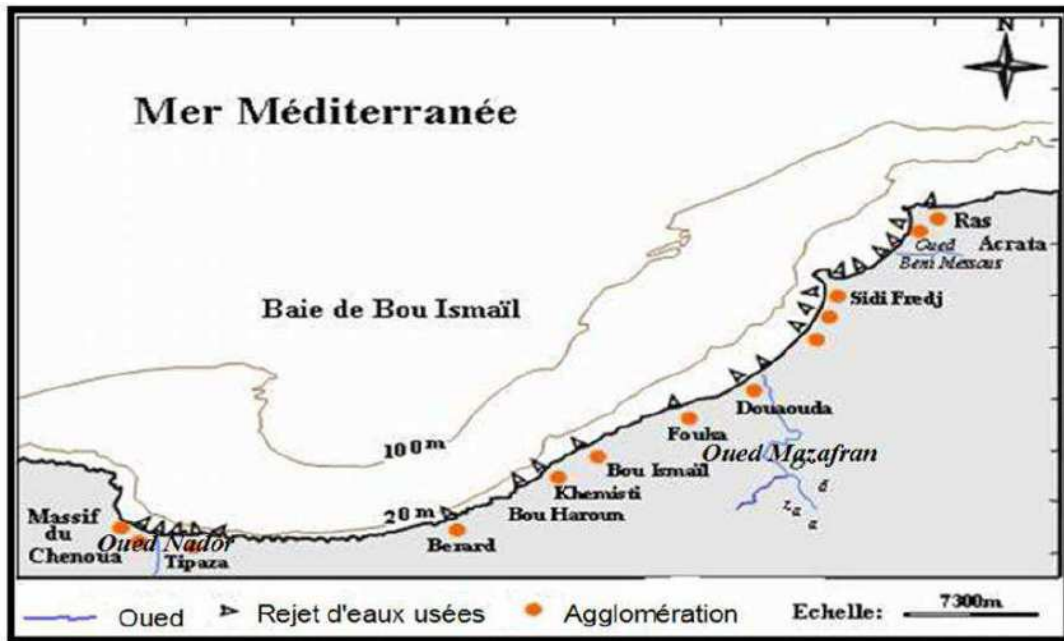


Figure 11 : Cartes des pressions naturelles et anthropiques dans la Baie de Bou-Ismaïl (PAC, 2004).

*MATERIEL
ET
METHODES*

III. MATERIEL ET METHODES

III.1 Travaux en mer

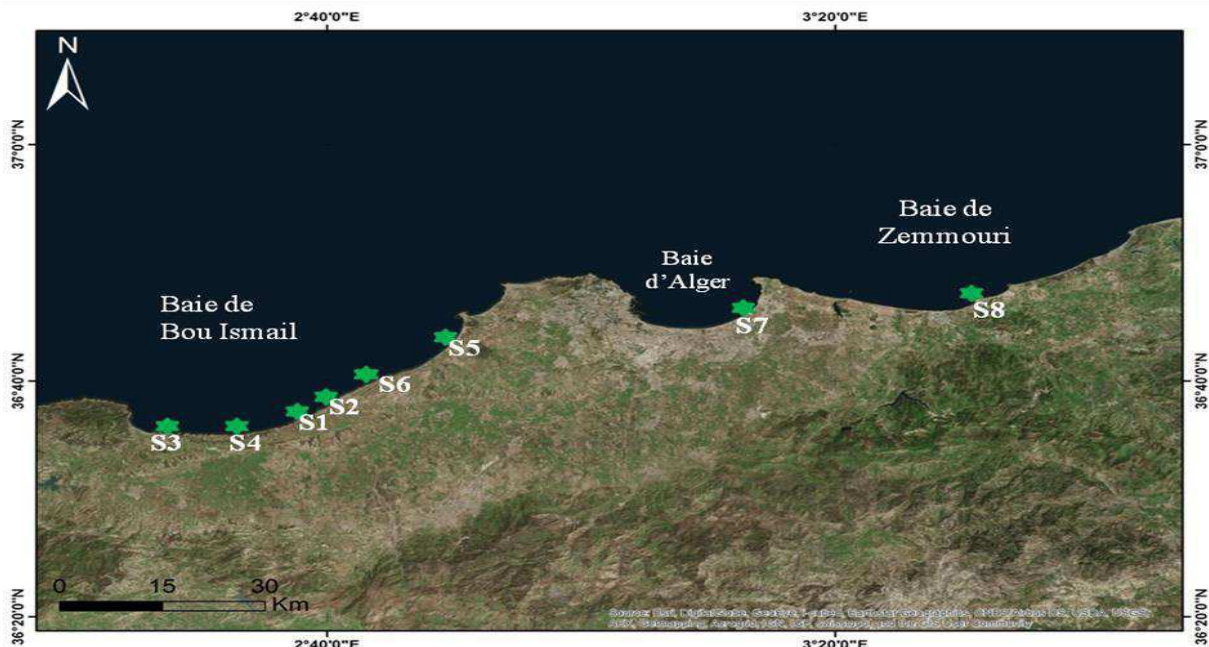
III.1.1 Stratégie d'échantillonnage

Le choix et la localisation des sites de prélèvement se repose d'une part sur la qualité du site, à savoir le degré de pollution et d'autre part, sur la représentativité des stations choisies, ainsi que la facilité d'accès et l'abondance des espèces.

L'échantillonnage a été effectué sur huit stations (**Figure 12**) lors de plusieurs sorties sur terrain effectuées entre le 28 mai 2015 et le 23 juin 2015, et ce, en fonction de leur niveau d'anthropisation.

Tableau IX: Période et zones de prélèvement dans la Baie d'Alger et la baie de Bou Ismail.

Stations de prélèvement	Date
S1. Port de Bouharoun S2. Port de Khemisti	28/05/2015
S3. Anse de Kouâli S4. Ain Tagourait S5. Zéralda	18/06/2015
S6. Front de mer de Bou Ismail	22/06/2015
S7. Bateau cassé S8. Figuier	23/06/2015



S1 : Port de Bouharoun, **S2** : Port de Khemisti, **S3** : Anse de Kouâli, **S4** : Ain Tagourait, **S5** : Zéralda, **S6** : Front de mer de Bou Ismail, **S7** : Bateau cassé, **S8** : Figuier.

Figure 12: Localisation géographique des sites de prélèvement du littoral Algérois.

Cinq stations sont situées dans des zones qui reçoivent des apports anthropiques (Port de Bouharoun, Port de Khemisti, Zéralda, Front de mer de Bou Ismail et Bateau cassé) et trois stations dans des zones considérées comme non polluées (Anse de Kouâli, Ain Tagourait et Figuier).

Le port de Bouharoun est situé à 45 km à l'Ouest d'Alger au centre de la baie de Bou Ismail orienté Nord-Est Sud-Ouest. Il est classé deuxième port de pêche après celui de Beni Saf (Belkessa, 2005). Il est la cible de plusieurs rejets d'eaux usées issues de la ville, d'hydrocarbures et des macro-déchets flottants (**Figure 13. A**).

Le deuxième site est le port de khemisti, situé à l'est du port de Bouharoun, orienté Sud-ouest Nord-est. Il est caractérisé par un rendement moins important que le premier. Il souffre d'un problème d'ensablement, en effet, des travaux de dragage ont été constatés le jour de la sortie (**Figure 13. B**).

Le troisième site est Zéralda, qui est une commune située à environ 24 km d'Alger. Le prélèvement a été situé au niveau de la brise lame ouest du complexe touristique et à l'est du rejet (**Figure 13. C**).

Le Front de mer de Bou-Ismaïl est soumis à des rejets domestiques non traités préalablement ainsi qu'aux rejets industriels (TONIC Emballages) qui déverse directement en mer. L'altération des eaux est constatée par un changement de couleur et présence des déchets flottants (**Figure 13. D**).

Le site du Bateau cassé est situé sur la rive orientale de la baie d'Alger, à environ 15 km d'Alger (Commune de Bordj el kiffan), (**Figure 13. E**).

L'Anse de Kouâli est situé au niveau de la baie de Bou Ismail, à environ 70 Km à l'ouest d'Alger. Il est classé réserve naturelle et considéré comme étant l'une des plus importantes criques de la région. Il n'est soumis qu'à des rejets sporadiques, essentiellement en période estivale (Boumaza, 2002), (**Figure 13. F**).

Le site d'Ain Tagouraitse situe au niveau de la baie de Bou Ismail. Elle est caractérisée par une activité agricole traditionnelle et une activité conchylicole. Des rejets urbains issue des quelques maisons du douar Mehieddine se déversent directement en mer (PAC, 2005), (**Figure 13. G**).

Enfin, le site de Figuier (El karma) est localisé à environ 5 km de Boumerdes. Le prélèvement a été effectué dans une moulière sauvage à l'est de la plage de figuier. Cette zone est à l'abri de toute sorte de pollution, d'où sa prise comme étant une zone de référence, (**Figure 13. H**).

La mesure des paramètres physico-chimiques à savoir la température, la salinité, le pH et l'oxygène dissous ont été également effectuée in situ, à l'aide d'une valise multi-paramètres

de marque Wissenschaftlich Technische Werkstätten « WTW », de référence (Oxi 330i/SET, pH 315i/ SET, Cond 197i).



Figure 13.A: Port de Bouharoun.



Figure 13.B: Port de Khemisti.



Figure 13.C: Anse de Kouâli



Figure 13.D: Ain Tagourait



Figure 13.E: Zéralda.



Figure 13.F: Front de mer de Bou Ismail.



Figure 13.G: Bateau cassé.



Figure 13.H: Figuier.

III.1.2 Prélèvement des patelles et des moules

Le prélèvement a été effectué sur un transect horizontal de 20 m au niveau de l'étage médiolittoral inférieur. À l'aide d'un couteau en acier inoxydable, une quarantaine d'individus, de taille comprise entre 2,5 et 3,5 cm pour les patelles, et 4 à 5 cm pour les moules ont été prélevées.

Afin d'éliminer les impuretés, les coquilles des patelles et des moules détachées sont nettoyées avec une brosse en nylon et rincées avec de l'eau de mer de la station. Puis, elles sont placées dans des sachets en polyéthylène étiquetés et transportés au laboratoire dans une glacière à 4°C, pour un prétraitement ultérieur (**Annexe 1, figure 26**).

III.2 Travaux au laboratoire

III.2.1 Conditionnement du matériel

Afin d'éviter les contaminations, tout instrument et verrerie utilisé dans notre travail sont minutieusement nettoyés et conditionnés selon le protocole suivant :

- Lavage aux détergents commerciaux ;
- Rinçage avec de l'eau du robinet ;
- Rinçage à l'eau bi distillée obtenue sur un système MILLI Q (MILLIPORE) et ayant une résistivité de 18M Ω ;
- Séchage à l'étuve à 70°C pour le matériel en verre et à 40°C pour le matériel en plastique pendant 24 h;
- Rinçage à l'eau acidulée à 5%, préparée à partir d'acide nitrique (HNO₃) de 68% de pureté;
- Rinçage à l'eau bi distillée;
- Séchage à l'étuve pendant 24 h.

III.2.2 Prétraitement des échantillons

III.2.2.1 Patelles (Patella sp)

Après décongélation, la chaire totale de chaque individu est détachée de sa coquille à l'aide d'un scalpel en acier inoxydable, et pesée sur une balance de précision, puis mise dans un pilulier en verre étiqueté.

Les paramètres biométriques de la coquille de chaque individu : longueur, largeur et hauteur ont été mesurés, avec un pied à coulisse de 0,1 mm de précision. Le poids de la coquille est déterminé (**Figure 14**).



Figure 14: Prétraitement des Patelles.

III.2.2.2 Moules

Le décoquillage des moules a été réalisé avec un scalpel en acier inoxydable. La partie molle a été mise à égoutter sur un papier filtre, puis stockés dans des piluliers en verre à -20 °C avant d'être lyophilisés.

L'indice de condition (IC) est un indice biométrique qui est couramment utilisé en conchyliculture pour rendre compte du degré de remplissage des coquilles des animaux. Il est calculé par la formule suivante (Nakhlé et al., 2006) :

$$IC = \frac{\text{poids sec du tissu mou}}{\text{poids sec de la coquille}} \dots (1)$$

III.2.3 Lyophilisation

La lyophilisation, ou séchage à froid, consiste à extraire progressivement l'eau contenue dans un produit préalablement congelé (phase solide) par passage à la phase vapeur, sans passer par la phase liquide à basse pression; c'est la sublimation (Romond, 2015).

Elle a été faite à l'aide d'un lyophilisateur de marque CHRIST-Beta 1- 8 (Figure 15), pendant 48 heures sous vide (10^{-1} mbar) et à très basse température (-50 C° à -60 C°). Cette méthode évite la perte des métaux les plus volatiles en particulier le mercure (Charlou et al., 1983).



Figure 15: Lyophilisateur de type CHRIST-Beta 1- 8.

III.2.4 Broyage et homogénéisation

Les échantillons du biote lyophilisés sont broyés à l'aide d'un broyeur automatique en acier inoxydable jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

Cette dernière est récupérée dans des piluliers en verre et stockée dans un endroit sec (dessiccateur). L'homogénéisation se fait avant minéralisation par agitation manuelle.

III.3 Extraction des métaux lourds (minéralisation ou digestion)

III.3.1 Principe de l'extraction des métaux lourds

La minéralisation des métaux lourds est la mise en solution des échantillons pour qu'ils puissent libérer les métaux lourds. Cette étape s'effectue par l'ajout des acides selon la nature des échantillons (biote, sédiment) (AIEA, 2001).

III.3.2 Protocole expérimentale de l'extraction des métaux lourds

III.3.2.1 Minéralisation à blanc

Avant l'utilisation des godets, on procède à une minéralisation à blanc (**Figure 16**). Un volume de 5 ml d'acide nitrique (HNO_3) à 69% est mis dans chaque godet à téflon puis ce dernier est fermé hermétiquement.

Par la suite, les godets sont mis sur une plaque chauffante à 120°C pendant 2h 30min. Après refroidissement des échantillons, la soupape de sécurité est ouverte doucement, les godets sont rincé à l'eau bi-distillée et séché à l'étuve.



Figure 16: Minéralisation à blanc.

III.3.2.2 Minéralisation du biote (patelles et moules)

La minéralisation a été effectuée au niveau du laboratoire de Sidi Fredj (**Figure 17**). Selon le protocole décrit par l'AIEA (2001), la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon.

Une masse de 0,5 g de chair sèche a été pesé dans des godets à téflon, puis un volume de 5ml d'acide nitrique(HNO_3) concentré à 69% est ajouté. Les godets sont fermés hermétiquement

avec des pinces et laissés à température ambiante pendant une nuit. Par la suite les godets ont été placés sur une plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min.

Après refroidissement, les échantillons ont été transposés dans des tubes coniques en polyéthylène de 50 ml, préparés au préalable (n°, espèce, date,...etc.). Les godets sont rincés plusieurs fois avec l'eau bidistillée, les tubes coniques sont complétés jusqu'à 50 ml par l'eau bidistillée.

Un blanc d'analyse est inséré avec chaque série d'échantillons. Ce dernier est préparé en mettant 5ml d'acide nitrique (HNO_3) concentré à 69% dans un godet en téflon.

Les séries sont conservés dans un réfrigérateur à 4°C jusqu'au moment d'analyse pour éviter toute perte et contamination (AIEA, 2001).



Figure 17: Minéralisation des échantillons.

III.4 Analyse des métaux par Spectroscopie d'Absorption Atomique (SAA)

La spectroscopie d'absorption atomique (SAA) est utilisée pour l'analyse des matrices liquides et solides. C'est une technique d'analyse quantitative sensible ; en effet, les concentrations détectées peuvent arriver à l'ordre du ppb (ng/ml ou ng/g) (Harlyk et al., 1997).

Elle est fondée sur le phénomène d'absorption de radiations lumineuses par des atomes libres (Laurence, 2010).

III.4.1 Principe de la Spectroscopie d'Absorption Atomique

Le passage de la forme ionique (métal en solution) à la forme atomique se produit par une source thermique (source d'atomisation). Les atomes ainsi formés passent d'un niveau énergétique fondamental (état initial) à un niveau plus élevé (état excité) traversé par un faisceau de lumière à mesure et d'intensité incidente I_0 . L'absorbance correspond à la différence entre l'intensité incidente (I_0) et l'intensité transmise (I). Cette différence ($I-I_0$) est

déterminée par un photomultiplicateur qui lui transforme cette intensité lumineuse en un signal électrique quantifiable.

La proportionnalité entre l'absorbance et la concentration permet de calculer les teneurs des échantillons (Michélot, 2001).

❖ Loi de Beer-Lambert

L'intensité de l'absorption dépend directement de nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert. D'après cette dernière, la densité optique d'une solution d'une substance absorbante dans un solvant transparent est proportionnelle à l'épaisseur de la solution traversés et à la concentration des substances absorbante de la solution (Audigie et al., 1985).

$$I = I_0 \times e^{-K \times L \times C} \dots (2)$$

La lecture s'effectue en absorbance (A) ou en densité optique (DO) :

$$A = DO = \log I_0/I = \varepsilon \times L \times C \dots (3)$$

Où:

I: Intensité de l'énergie lumineuse transmise (émergent).

I_0 : Intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente).

ε : Coefficient d'absorption atomique (constante).

L : Longueur du trajet optique (constante).

C : Concentration de l'élément absorbant (analyte).

III.4.2 Appareillage

L'appareil utilisé est un Perkin Elmer® AAnalyste 700 constitué d'un générateur de photons destiné à fournir un flux de photons d'intensité constante dans le temps et de fréquence bien définie correspondant à l'élément à doser, Il est équipé d'un générateur d'hydrures, d'un four à graphite et un système par flamme avec injecteur automatique (AS 800 Perkin Elmer) piloté par le logiciel Winlab 32 pour absorption atomique qui permet de très hautes performances d'analyse.

Selon Michélot (2001), un spectrophotomètre d'absorption atomique comprend de façon classique :

- Une source générateur de photons, le lampe souvent une lampe à cathode creuse ;
- Une source d'atomisation : flamme, four graphite, etc. ;
- Un sélecteur de radiations : monochromateur à prisme ou à réseau :
- Un dispositif de mesure comprenant un détecteur associé à l'ensemble électronique de mesure.

III.4.2.1 Atomiseurs

La lumière émise par la source primaire passe au travers de la cellule d'absorption (l'atomiseur) où une partie de la lumière incidente est absorbée.

Le rôle de l'atomiseur est de produire des atomes, mais ceux-ci doivent se trouver à l'état fondamental pour pouvoir absorber les photons provenant de la source. On distingue essentiellement deux types d'atomiseurs : la flamme et le four en graphite (électrothermique), (Laurence, 2010).

a. Source d'atomisation par flamme

La source d'atomisation par flamme a été utilisée pour la détection des métaux essentiels tels que : le chrome (Cr), du manganèse (Mn), du zinc (Zn), le nickel (Ni) et le fer (Fe). Les métaux sont atomisés par le biais d'un bruleur à flamme, alimenté par le mélange air-acétylène. Le bruleur est couplé à un nébuliseur qui transforme la solution aspirée au moyen d'un capillaire en aérosol, injectable directement dans la flamme (Asso, 1982).

b. Source d'atomisation par four à graphite

L'atomisation s'effectue dans un tube de graphite, avec revêtement pyrolytique interne. L'ensemble est porté à haute température par effet joule programmable en intensité et en durée. Le four est placé sous courant d'azote continu pour éviter l'oxydation trop rapide. Il est refroidi en permanence par une circulation d'eau.

Cette méthode, particulièrement adoptée aux dosages des faibles quantités d'échantillon permet de mesurer des faibles concentrations de l'ordre de nano gramme par millilitre (Asso, 1982). La source d'atomisation par four à graphite sera utilisée pour la détermination des métaux toxiques tels que : le plomb (Pb), cadmium (Cd).

III.5 Détermination des concentrations des métaux lourds

La concentration du métal dans l'échantillon minéralisé est obtenue à partir de la droite d'étalonnage par une régression linéaire aux moindres carrés.

III.5.1 Calcul du poids corrigé des échantillons

La minéralisation consiste à prendre un poids déterminé d'échantillon lyophilisés, ce dernier n'est pas à 100% juste, il y a des pertes le long de la dessiccation, c'est pour avant toute minéralisation on doit le corrigé par le calcul du taux d'humidité (AIEA, 2001).

$$A(\%) = [(PI - PF) / PI] \times 100 \quad \dots (4)$$

A : Taux d'humidité (%)

PI : poids initiale lyophilisé (g)

PF : poids finale après séchage à l'étuve pendant 24h, à 105°C (g)

A la fin, les poids secs corrigés sont obtenus comme suit :

$$Pc = p - \left(\frac{A}{100} \times P\right) \quad \dots (5)$$

Pc : poids de l'échantillon corrigé(g).

P : poids de l'échantillon pesé pour la minéralisation (0,5g).

A : Taux d'humidité(%).

III.5.2 Détermination des concentrations finales des échantillons en métaux lourds

La concentration du métal dans l'organisme est calculée selon la formule suivante (AIEA, 2001) :

$$Cps = \frac{(Cc - Cb) \times F \times V}{Pc} \quad \dots (6)$$

Cps : Concentration du métal en poids sec ($\mu\text{g/g}$).

Cc : Concentration du métal présent dans l'analyte ($\mu\text{g/ml}$).

Cb : Concentration du métal présent dans le blanc ($\mu\text{g/ml}$).

Pc : Poids sec corrigé de l'échantillon biologique minéralisé (g).

V : dilution ou le volume de la solution finale après minéralisation (50 ml).

F : facteur de dilution.

III.5.3 Evaluation du Niveau de la pollution

Dans la présente étude, l'évaluation de degré de contamination des moules en métaux traces est basée sur une comparaison avec des valeurs seuil prises comme valeurs de références (Mersch (1993) in Kerboub, 2014)

Tableau X: Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en $\mu\text{g/g}$) observées chez les moules (Mersch, 1993).

Métaux	Classe de qualité			
	Absence de pollution	Situation intermédiaire	Pollution certaine	Pollution Importante
Cd	≤ 1	1 - 2,5	2,5 – 8	> 8
Cr	≤ 1	1 - 3,5	3,5 – 10	> 10
Cu	≤ 12	12 – 45	45 – 80	> 80
Ni	≤ 12	12 – 45	45 – 100	> 100
Pb	$\leq 0,5$	0,5 – 4	4-14	> 14
Zn	≤ 110	110 – 220	220 – 400	> 400

*RESULTATS
ET
DISCUSSIONS*

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Paramètres physico-chimiques

La qualité de l'eau de mer des stations choisies a été déterminée par la mesure des paramètres physico-chimiques. Les résultats de ces derniers ont été récapitulés sur le tableau ci-dessous.

Tableau XI: Résultats des paramètres physico-chimiques étudiés dans le littoral algérois.

Stations	Paramètres physico-chimiques			
	T (°C)	pH	S (psu)	OD (mg/l)
Port de Bouharoun	18,5	7,97	ND	5,65
Port de Khemisti Ouest	18,7	7,93	ND	4,8
Port de Khemisti Est	19,6	7,79	ND	4,4
Anse de Kouâli	21,7	8,15	36,5	7,25
Ain Tagourait	21,8	8,13	36,8	7,1
Zéralda	21,7	7,82	36	5,58
Front de mer de Bou Ismail	20,7	8	36,3	ND
Bateau cassé	21,5	7,99	36	ND
Figuier	22,9	8,1	36,2	7,5

T, température ; S, salinité ; pH, potentiel d'hydrogène ; OD, oxygène dissous ; ND, non déterminée.

❖ Les valeurs de la température observées sont comprises entre 18,5°C enregistrée au niveau du Port de Bouharoun et 22,9°C enregistrée à Figuier, avec une moyenne de 20,9 °C. Ces variations reflètent la période saisonnière (Printemps et été) en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques (Rouibah et al, 2005). D'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent soit superficielles ou profondes (Rodier et al., 2009). Il est à noter aussi la part des apports d'eaux continentales par les oueds.

❖ Les taux de salinité mesuré in situ se situent dans un intervalle compris entre 36 psu et 36,8 psu avec une moyenne de 36,4 psu.

La salinité des eaux méditerranéennes est comprise entre 37.8 et 39.39 psu (in Boughrira, 2012). Les valeurs les plus faibles sont localisées au niveau des stations de Zéralda et Bateau

cassé (36 psu). Ce qui peut facilement être expliqué par les apports en eau douce par les cours d'eau (Draredja, 2007 ; Foussard et Etcheber, 2011).

Nous remarquons alors que les valeurs de salinité sont relativement faibles comparées à celles obtenues en printemps 2014 au niveau de la baie de Bou-Ismaïl (Derradji, 2014). Nous pouvons expliquer ceci par la période de pluviosité qui a précédé les sorties sur terrain. Donc, le ruissellement des eaux continentales qui a modifié le degré de salinité.

❖ Les valeurs de pH au niveau de l'Anse de Kouâli, Ain Tagourait et Figuier sont comprises entre 8,1 et 8,15. Alors qu'au niveau de port de Khemisti, Zéralda, port de Bouharoun, Bateau cassé et front de mer de Bou-Ismaïl, elles sont comprises dans un intervalle de 7,79 à 8. La valeur moyenne dans les eaux méditerranéennes est de 8.2 (Pilson, 2013).

Ce paramètre chimique permet de caractériser l'acidité ou la basicité d'un milieu et dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est à dire une modification de CO₂ par respiration, photosynthèse et échange air- mer (Rodier et al., 2009).

Un gradient de pH est constatée en allant du large vers la côte au niveau des eaux superficielles de la baie de Bou-Ismaïl (Harid, 2014), avec les valeurs les plus faibles surtout en face des zones portuaires et des embouchures des oueds (Boughrira, 2012 ; Harid, 2014).

Cette diminution est en corrélation avec le taux des rejets d'eaux usées, urbaines ou industrielles, et la quantité de la matière organique présente au niveau de ces stations et sa dégradation. En effet, la dégradation de la matière organique va enrichir le milieu en proton, donc diminution du pH (Aminot et Kérouel, 2004).

❖ L'oxygène dissous varie de 4,4 mg/l à 7,5mg/l. Les teneurs maximales sont enregistrées à Figuier, Anse de Kouâli et Ain Tagourait avec 7,5 mg/l, 7,25mg/l et 7,1 mg/l, respectivement.

A ces endroits, les eaux sont relativement bien oxygénées par le brassage des eaux et la libération d'oxygène lors de la production primaire (Faurie et al., 2012), qui est importante dans ces régions.

Alors que les faibles teneurs ont été observées dans le port de Bouharoun, port de khemisti (Est, Ouest) et Zéralda 5,65 ; 4,4 ; 4,8 et 5,58 mg/l, respectivement. Ceci pourrait être expliqué par les apports en eaux polluées, qui se déversent dans ces zones sans aucun

traitement, conduisant à la dominance du phénomène de minéralisation de la matière organique (Kankou, 2004 ; Harid, 2014).

IV.2 Identification des matrices biologiques

IV.2.1 Identification des patelles

Les patelles récoltées sont identifiées à partir des caractères morphologiques (Rupert et al., 2000). L'identification nous a permis de recenser six espèces : *Patella caerulea*, *Patella nigra*, *Patella rustica*, *Patella aspera*, *Patella safiana* et *Patella ulyssiopenensis*. Les résultats de cette identification sont illustrés dans la **figure 18**.

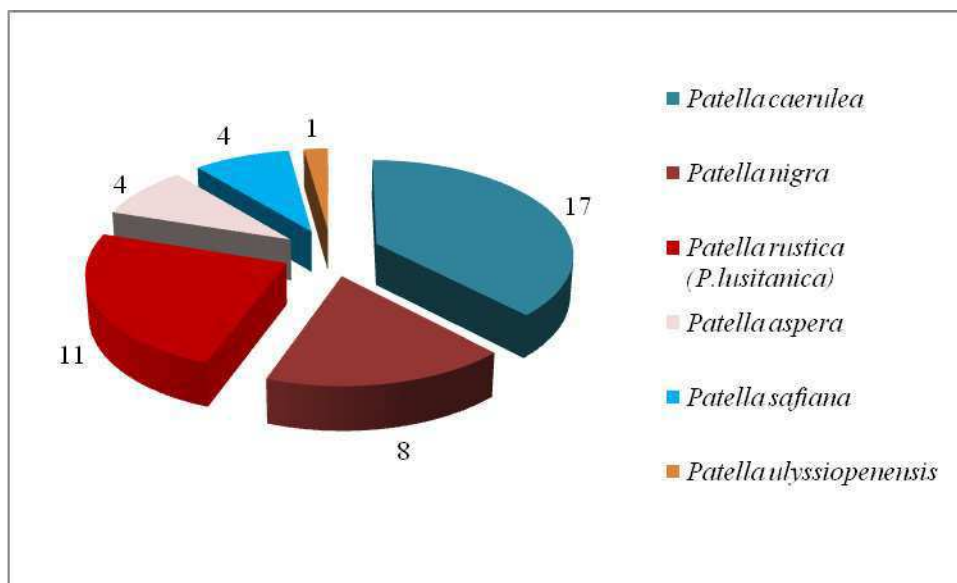


Figure 18: Résultats d'identification des patelles.

L'analyse quantitative sur les 45 individus récoltés montre une répartition inégale des dominances des espèces au sein de la famille Patellidae. En effet, les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une dominance de *Patella caerulea* avec 17 individus du stock des patelles recensées.

La deuxième place revient à *Patella rustica* (n=11), suivi de *Patella nigra* (n=8), puis *Patella aspera* et *Patella safiana* ayant toutes les deux des taux similaires (n=4). Enfin, *Patella ulyssiopenensis* contribue faiblement avec un seul individu.

Dans notre étude *Patella caerulea* prédomine ; c'est l'espèce la plus commune en Méditerranée (Guerra-Garcia et al., 2004). Elle montre une grande plasticité

morphométrique et représente une stratégie adaptative aux importantes fluctuations de facteurs environnementaux (Boukhicha et al., 2010).

La disparité dans la répartition des patelles le long de la côte rocheuse serait en rapport avec les exigences écologiques et trophiques des espèces (Beldi et al., 2012).

IV.2.2 Identification des moules

La deuxième matrice étudiée concerne les moules, deux espèces ont été trouvées dans trois stations : *Perna perna* à Zéralda et Figuiers, *Mytilus galloprovincialis* au Bateau cassé.

Cette variabilité des stations pour les deux espèces peut être due aux conditions des milieux. En effet, la moule *Perna perna* prédomine les zones caractérisées par une température relativement élevée (Khaldoun, 2009). Par contre, *Mytilus galloprovincialis* est présente souvent dans les eaux éclairées et battues où l'hydrodynamisme est important (Didierlaurent et Müller, 2014).

IV.3 Indice de condition (IC)

Le suivi des variations de l'indice de condition nous a permis d'évaluer l'état de santé des patelles et des moules provenant des sites d'étude. Le récapitulatif des résultats obtenus est donné dans le **tableau XII**.

Tableau XII : Résultats de l'indice de condition des patelles et des moules.

Stations	Indice de condition (IC)	
	Patelles	Moules
Port de Bouharoun	0,26	-
Port de Khemisti Est	0,18	-
Port de Khemisti Ouest	0,30	-
Anse de Kouâli	0,22	-
Ain Tagourait	0,22	-
Zéralda	0,29	0,17
Front de mer de Bou Ismail	0,49	-
Bateau cassé	0,14	0,12
Figuiers	0,20	0,13

Les résultats obtenus lors d'estimation de l'indice de condition (IC), varient entre 0,14 et 0,49 avec une moyenne de 0,26. Ce résultat a permis de constater que les patelles échantillonnées

sont caractérisées par une condition biologique satisfaisante. Ce qui signifie que les coquilles sont bien remplies. L'indice de condition varie avec les saisons, les sites d'échantillonnage et les individus (Nakhlé, 2003).

Au niveau des trois stations d'échantillonnage des moules, l'indice de condition est compris entre 0,12 et 0,17. Ces résultats sont comparables aux valeurs observées dans le bassin méditerranéen occidental qui sont comprises dans un intervalle de 0,06 à 0,22 (Benedicto et al., 2011).

Cet indice de condition est utilisé afin de pondérer la contamination mesurée entre des secteurs trophiques différents (Casas, 2005). La variation de remplissage, donc du poids, est due à plusieurs paramètres dont l'état de reproduction et de nutrition (Merzouki et al., 2009).

Les indices de condition sont importants au niveau des zones qui sont considérées comme zone polluée à savoir le Front de mer de Bou Ismail, le port de Khemisti Ouest, Zéralda et le port de Bouharoun avec 0,49 ; 0,30 ; 0,29 et 0,26 respectivement. Ceci est attribué à des changements dans la disponibilité en nourriture (Rouane-Hacene, 2013).

Les faibles valeurs recensé à la station de Bateau cassé et de port de Khemisti Est et (0,14 et 0,18) pourrait être associé à des épisodes de stress chimiques qui impliquent une perte de poids c'est-à-dire une mobilisation des réserves énergétiques pour le processus de détoxification (Rouane-Hacene, 2013).

IV.4 Résultats des teneurs en métaux lourds

L'analyse des éléments traces métalliques à savoir le plomb, le cadmium et le zinc chez *Patella* sp et *Mytilus* sp, a permis d'évaluer le niveau de contamination au niveau du littoral algérois.

IV.4.1 Patelles

Les résultats d'analyse des métaux traces à savoir le plomb, le cadmium et le zinc dans la chaire totale de *Patella* sp sont récapitulés dans le **tableau XIII**.

Tableau XIII : Les teneurs en métaux traces chez *Patella* sp.

Stations	Pb ($\mu\text{g/g}$) Ps	Cd ($\mu\text{g/g}$) Ps	Zn ($\mu\text{g/g}$) Ps
Port de Bouharoun	8,33	41,67	145,83
Port de Khemisti Ouest	4,17	29,17	135,42
Port de Khemisti Est	10,42	29,58	145,83
Anse de Kouâli	2,08	4,17	85,42
Ain Tagourait	2,6	6,25	93,75
Zéralda	5,21	26,04	104,17
Front de mer de Bou Ismail	10,42	27,08	127,08
Bateau cassé	9,38	20,83	94,79
Figuier	3,13	4,17	63,54

Les variations des concentrations des trois éléments analysés ont été représentées dans les graphes ci-dessous.

- **Plomb**

Les variations des concentrations du plomb en fonction des stations choisies, dans la chaire totale sont illustrées dans la **figure 19**.

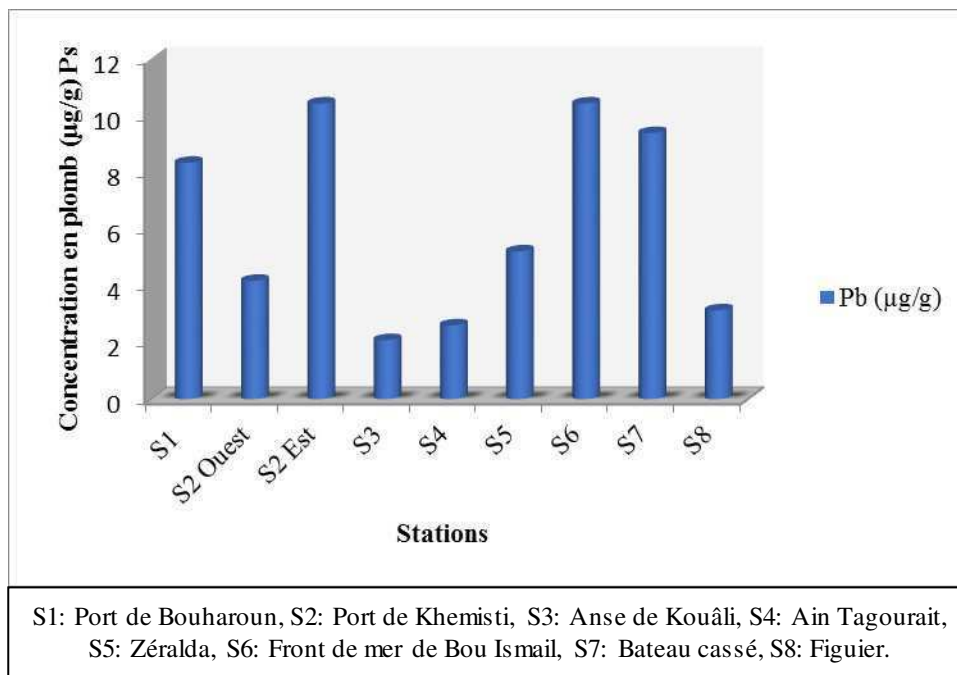


Figure 19 : variation de la concentration en plomb chez *Patella* sp.

Les concentrations les plus élevées dans la chair des patelles ont été enregistrées au niveau de quatre stations à savoir le port de Khemisti Est, Front de mer de Bou Ismail, Bateau cassé et Port de Bouharoun avec un maximum de 10,42 µg/g dans les deux stations (Port de Khemisti Est et Front de mer de Bou Ismail) et un minimum de 8,33 µg/g au Port de Bouharoun.

Cela peut être dû à la présence des fuites en essences des embarcations (Nakhlé 2003). Le flux le plus important du plomb à l'océan provient de l'atmosphère (Gagneux-Moreaux, 2006 ; Dixit et al., 2015). Par contre la faible teneur en plomb est observée à l'Anse de Kouâli, Ain Tagourait et Figuier qui sont situées loin des zones urbanisées.

- **Cadmium**

Les variations des concentrations du cadmium en fonction des stations choisies, dans la chair totale sont illustrées dans la **figure 20**.

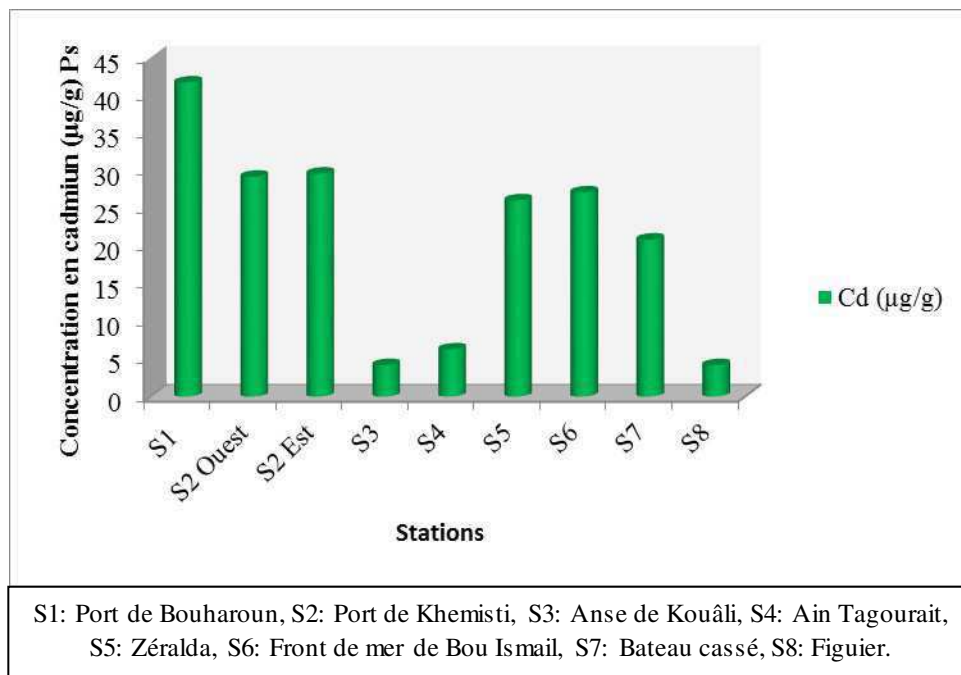


Figure 20 : variation de la concentration en cadmium chez *Patella* sp.

Les résultats montrent que les grandes valeurs de la concentration de cadmium ont été observées au niveau des zones portuaires (Port de Bouharoun, Port de Khemisti Ouest et Est), Zéralda, Front de mer de Bou Ismail et Bateau cassé, avec un maximum au niveau de Port de Bouharoun (41,67µg/g) et un minimum au niveau de Bateau cassé (20,83µg/g).

Cette augmentation peut être due à la présence des peintures antisalissure, aux déversements des eaux usées domestiques ainsi que des macro-déchets en plastiques (Timizar, 1989). L'influence de la courantologie des oueds peut être aussi la cause de ces teneurs élevés (Lampert, 2003 ; Nakhlé, 2003).

Les fortes teneurs observées dans la chaire des patelles peuvent être le résultat du comportement de patelle dans sa quête pour sa nourriture et l'adsorption des métaux sur le mucus pédestre (Nakhlé, 2003).

Très faibles valeurs du cadmium ont été enregistrées dans l'Anse de Kouâli, Ain Tagourait et Figuier (4,17 µg/g ; 6,25 µg/g et 4,17µg/g, respectivement), cela peut être due au lessivage des terres agricoles contenant le cadmium (Dixit et al., 2015).

- **Zinc**

Les variations des concentrations du cadmium en fonction des stations choisies, dans la chaire totale sont illustrées dans la **figure 21**.

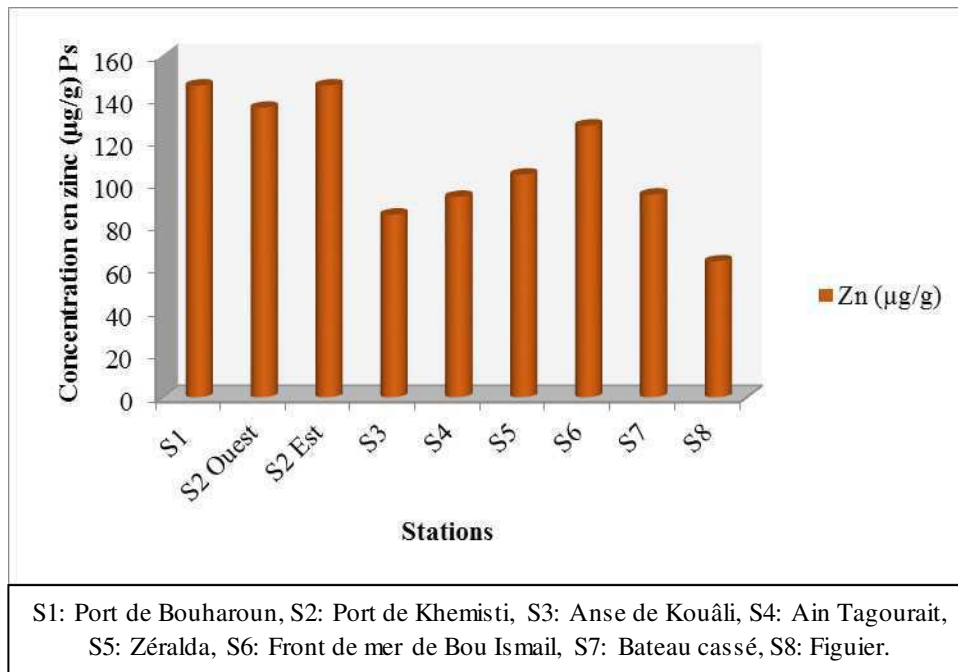


Figure 21 : variation de la concentration en zinc chez Patella sp.

Les valeurs de la concentration en zinc observées sont importantes, essentiellement dans les zones polluées, avec un maximum de 145,83µg/g au niveau des ports et un minimum de 63,54µg/g au niveau de Figuier.

Ces résultats sont expliqués par le rôle important du zinc qui est un métal essentiel (Picot, 2003 ; Casas, 2005). Il est impliqué dans de nombreux processus physiologiques donc il est indispensable à la vie d'un grand nombre d'organismes « oligoélément », en particulier comme coenzyme (Casas, 2005). Mais à de fortes concentrations, il devient toxique et constitue un contaminant majeur pour le milieu marin (Hemalatha et al. 2006).

IV.4.2 Moules

Les résultats d'analyse des métaux traces étudiés dans la chaire totale des moules au niveau des trois stations, Zéralda, Bateau cassé et Figuier sont illustrés le graphe ci-dessous.

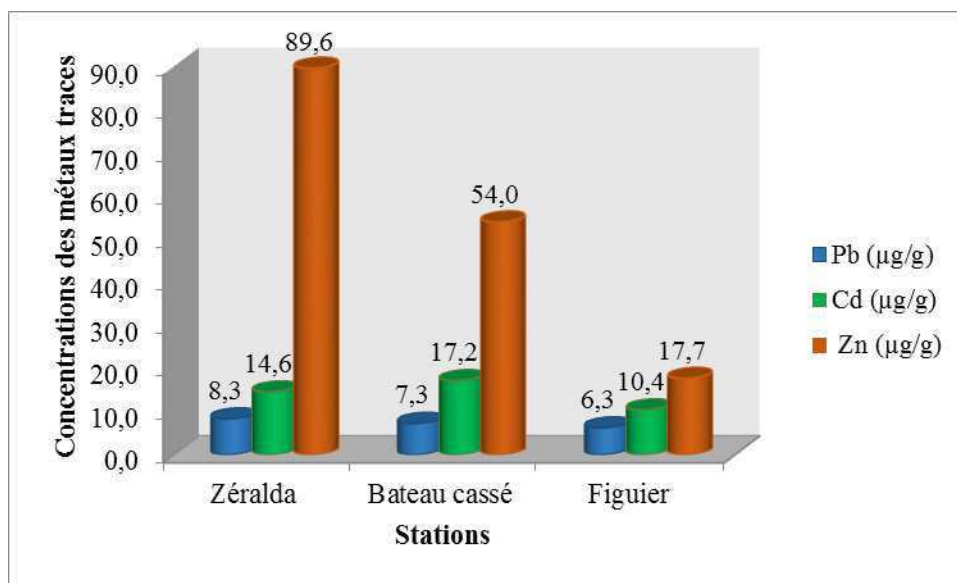


Figure 22 : variation de la concentration en Plomb, Cadmium et Zinc chez les moules.

Les teneurs en zinc chez les moules varient entre un maximum de 89,58µg/g et un minimum de 17,71µg/g. Les valeurs élevées sont observés dans les stations de Zéralda et Bateau cassé, par contre la faible valeur à été enregistrée à Figuier.

Les teneurs élevées du cadmium sont observées au Bateau cassé (17,19µg/g), alors que les faibles concentrations sont enregistrées au niveau du Zéralda et Figuier (14,58µg/g ; 10,42µg/g, respectivement).

Les concentrations du plomb sont importantes à Zéralda, avec une valeur de 8,33µg/g, par contre, les teneurs sont faibles dans les deux stations (Bateau cassé, 7,29µg/g ; Figuier, 6,25µg/g).

Afin d'évaluer le degré de contamination des moules en métaux traces, nous avons utilisé les valeurs seuil proposés par Mersch (1993) qui ont été illustrée dans le **tableau X**.

On remarque que les teneurs en zinc sont inférieures au seuil (110µg/g), ce qui témoigne une absence de pollution par le zinc au niveau de Zéralda, Bateau cassé et Figuier. Ce résultat peut être expliqué par le rôle important de cet élément, car il rentre dans les processus métaboliques des espèces.

Contrairement, les valeurs enregistrées de cadmium et du plomb sont importantes et dépassent les normes. L'apport de ces métaux aux milieu côtiers provient en partie des émissions atmosphériques (combustion de l'essence des véhicules, incinération des déchets), et provient d'autre part des lessivages des terrains agricoles contenant des engrais phosphatés (Cossa et al., 1993 ; Dixit et al., 2015).

IV.4.3 Comparaison des teneurs en métaux entre les patelles et les moules

Les concentrations des éléments traces (Pb, Cd et Zn) chez les patelles sont comparées par celles des moules à Zéralda, Bateau cassé et Figuier (**Figure 23**), (**Figure 24**), (**Figure 26**).

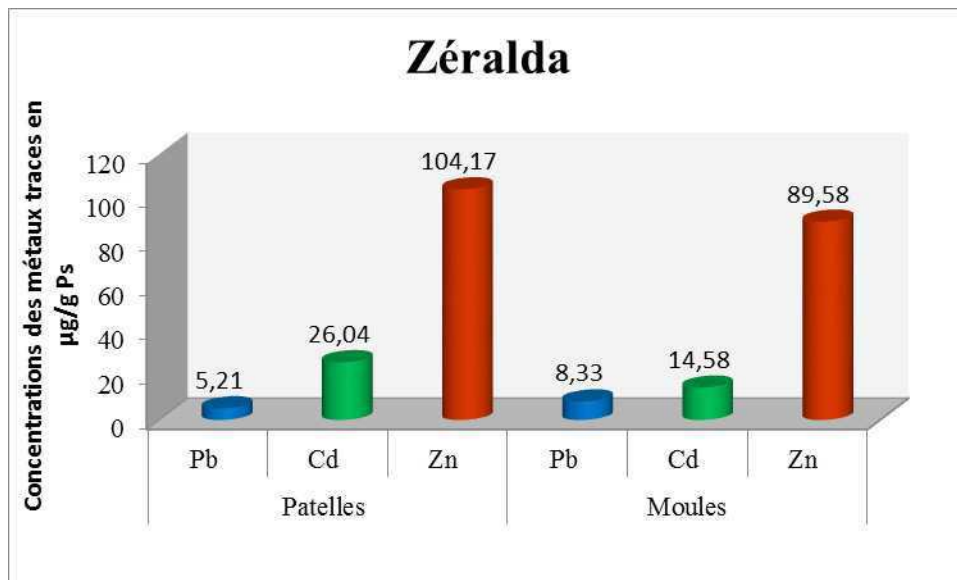


Figure 23: Comparaison des teneurs en métaux traces entre les patelles et les moules à Zéralda.

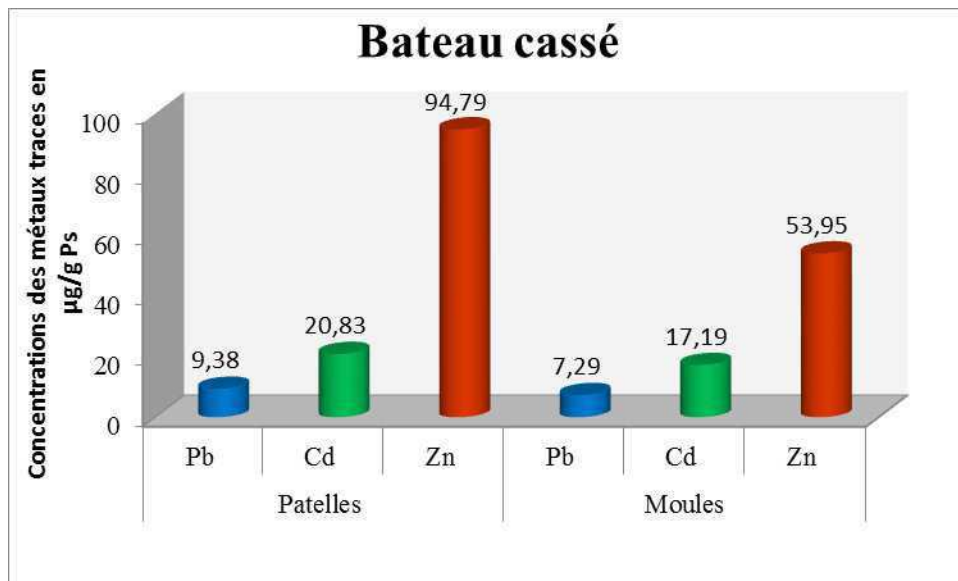


Figure 24 : Comparaison des teneurs en métaux traces entre les patelles et les moules au Bateau cassé.

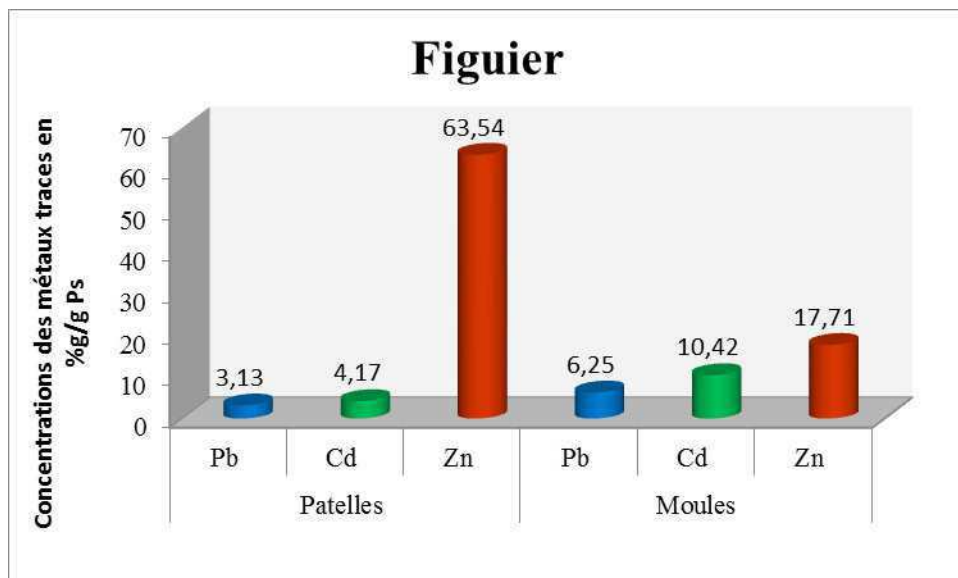


Figure 25 : Comparaison des teneurs en métaux traces entre les patelles et les moules à Figuier.

Les teneurs en métaux traces à savoir le plomb, le cadmium sont importantes chez les moules par rapport à celles des patelles, au niveau de Figuier prise comme zone de référence. Cela peut être dû selon l'étude qui a été faite par [Benguedda-Rahal \(2012\)](#), au mode de nutrition des patelles qui sont des brouteurs herbivores. Alors que les moules sont des filtreurs

(Bouchard, 2004), donc tous ce qui est acheminés dans l'eau de mer , soit nourriture ou contaminants, peut passer à l'intérieur de l'organisme (Pruel et al., 1987 ; Livingstone, 1991).

Alors que les valeurs de ces métaux non essentiels (Pb et Cd) au niveau de la station de Bateau cassé et Zéralda présente une certaine hétérogénéité chez les patelles et les moules, mais qui suit presque la même tendance de bioaccumulation, du fait que ces organismes ont été récoltés dans des zones polluées.

Les deux espèces, fournissent les mêmes modèles spatiaux, qui pourraient être liés aux sources de contamination locales identifiées (Nakhlé et al., 2006). Les teneurs élevées en cadmium, chez les patelles par rapport aux moules, pourraient être expliquées par le comportement de l'animal dans sa quête pour la nourriture et l'adsorption des métaux sur le mucus pédestre (Nakhlé, 2003).

Pour le zinc, il y a une forte accumulation par les patelles. En effet, la reproduction de ces dernières a lieu en automne ou le début d'hiver, mais selon l'étude de Hakab (2010), elle peut être effectuée en cas d'un choc thermique, résultant d'une variation brusque de la température de l'eau de mer, ou d'une différence de température entre l'air et l'eau.

IV.5 Comparaison des teneurs en métaux traces chez les patelles et les moules avec celles obtenues dans d'autres études au niveau de la côte algérienne et d'autres sites

IV.5.1 Patelles

Les concentrations en métaux lourds obtenus chez *Patella* sp dans la baie de Bou-Ismaïl et les deux zones (Bateau cassé, Figuier) sont comparées avec celles des patelles de la baie de Bou Ismaïl (Derradji, 2014 ; Halaili, 2014), ainsi que le littoral extrême ouest Algérien (Benguedda-Rahal, 2012).

Les résultats de cette comparaison sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau XIV : Comparaison des teneurs en métaux traces chez la patelle dans la baie de Bou-Ismaïl avec celles obtenues dans d'autres études.

Sites d'études	Métaux traces		
	Zn (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)
Baie de Bou Ismaïl	85,42 - 145,83	2,08 - 10,42	4,17 - 41,67
Bateau cassé	94,79	9,38	20,83
Figuier	63,54	3,13	4,17
Présente étude			
Baie de Bou Ismaïl (Derradji, 2014)	22,65 - 41,02	52,83 – 97,05	-
Baie de Bou Ismaïl (Halaili, 2014)	29,8 – 49,45	13,35 – 45,5	0,35 – 0,85
Littoral extrême ouest algérien (Benguedda-Rahal, 2012)	0,3 - 34	0,036 – 4,86	0,091 – 0,9

L'analyse des données montre, en générale, que les concentrations les plus élevées en métaux traces sont celles des patelles de la région centrale de la côte algérienne (Baie de Bou-Ismaïl).

Les résultats obtenus dans cette étude dépassent de loin ceux enregistrés dans les dernières années concernant les deux métaux (Zn et Cd). Alors, que pour le plomb, les concentrations observées cette années sont faibles par rapport à celles trouvés l'année passée, mais elles concordent avec les données obtenus au niveau du littoral ouest algérien.

D'après ces études, on peu déduire que les teneurs en métaux traces chez les patelles augmentent au fur et à mesure avec les dernières années mis à part le plomb.

IV.5.2 Moules

Les concentrations en métaux lourds obtenus chez les moules, dans cette étude au niveau de la côte Algéroise, sont comparables à celles obtenues antérieurement (Kerboub, 2014 ; Rouane-Hassane, 2013 ; Meguelati et Sraoui, 2012).

Tableau XV : Comparaison des teneurs en métaux traces chez les moules dans la côte Algéroise.

Sites d'étude	Métaux traces		
	Zn (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)
Côte Algéroise Présente étude	17,7 – 89,6	6,3 – 8,3	10,4 – 17,2
Côte Algéroise Kerboub, 2014	95,6 - 239	-	-
Côte Algéroise (Meguelati et Sraoui, 2012)	163 – 279	10,8 – 15,3	-

Les teneurs en métaux traces obtenus cette année sont légèrement faibles par rapport à celles enregistrées dans la côte algéroise en 2012 et en 2014. En effet, cette diminution peut être due à l'effet de facteurs abiotiques.

Tableau XVI : Les teneurs en métaux traces chez les moules dans certaines régions des côtes Algériennes.

Sites d'étude	Métaux Traces		
	Zn (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)
Côte Algéroise Présente étude	17,7 - 89,6	6,3 - 8,3	10,4 - 17,2
Côte ouest Algérienne (Rouane-Hassane, 2013)	5,99	7,11	15,7
Golf d'Annaba (Drif, 2012)	3 - 92,5	0,1 - 4,5	-

Les concentrations du zinc obtenues cette année coïncident avec celles enregistrées dans le Golf d'Annaba et la région Française, mais elles sont élevées par rapport aux teneurs observées dans la côte ouest algérienne.

Les concentrations de plomb et de cadmium enregistrées, dans la présente étude, concordent avec celles observées dans la côte ouest algérienne. Un même ordre de grandeur est observé aussi pour le zinc, pour la région ouest, est et centre.

CONCLUSION

CONCLUSION

La préservation de la qualité du littoral algérois nécessite non seulement une mesure des paramètres physico-chimiques à savoir l'oxygène dissous, le potentiel d'hydrogène, la salinité et la température, mais également une connaissance des niveaux de présence des contaminants métalliques dans cet environnement. Ainsi, l'utilisation des organismes marins comme indicateurs de pollution afin d'évaluer et déterminer le niveau de contamination s'avère indispensable.

Cette approche nous a permis d'estimer les teneurs et la biodisponibilité des métaux traces comme le zinc (Zn), le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) chez deux espèces bioindicatrices à savoir les moules et *Patella* au niveau du littoral algérois.

Les résultats de l'indice de conditions obtenus pour la matrice biologique étudiée révèle que la population des patelles et des moules se trouve en bon condition physiologique et dans un bon états de santé.

Il y a une diversité spécifique, constaté lors de cette étude, chez le genre *Patella*. Six espèces ont été identifiées à savoir *P. caerulea*, *P. nigra*, *P. rustica*, *P. aspera*, *P. safiana* et *P. ulyssiopenensis*, avec prédominance de *P. caerulea*, qui est la patelle commune de la méditerranée.

Les résultats obtenus de l'analyse chimique des métaux traces chez *Patella* sp ainsi que les moules sont bien représentatifs des stations étudiées. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des zones qui subissent une pollution d'origine anthropique à savoir les zones portuaires, Zéralda, Front de mer de Bou Ismail et Bateau cassé. Alors que les faibles teneurs, ont été retrouvés au niveau des zones plus ou moins propre comme l'Anse de Kouali, Ain Tagourait et Figuier. Les teneurs obtenues permettent de classer les métaux comme suit : Zn >> Cd >> Pb.

Les concentrations des métaux traces chez les moules et les patelles suivent la même tendance spatiale ainsi que par rapport aux types des métaux analysés, à l'exception du zinc, qui est en excès chez les patelles que les moules.

Du fait qu'il y a une corrélation des teneurs en métaux traces chez les patelles avec celles obtenues chez les moules ainsi que la capacité de ces espèces à résister à la pollution marine,

elles peuvent être considérées comme un bon indicateur biologique de l'environnement marin côtier Algérois vis-à-vis des métaux lourds.

D'après nos résultats, on peut confirmer qu'il y a une relation entre la pollution marine et les sources de la pollution le long des côtes algérienne ce qui motiver les décideurs et les scientifiques de trouver des stratégies pour solliciter ce problème et minimiser l'effet de la pollution sur le milieu marin notamment les côtes.

En perspective à ce travail :

- ➔ L'élargissement de l'utilisation des autres éléments métalliques pour une meilleure évaluation du niveau de contamination.
- ➔ Etudier l'accumulation des métaux chez les algues afin d'obtenir une comparaison avec l'accumulation des métaux chez les patelles.
- ➔ Etablir des stations d'épuration pour un traitement préalable des eaux avant leur versement direct en mer.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

A.I.E.A. (2001). Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples. Laboratory Procedure Book. 45 p.

Aminot, A. et Kérouel, R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. France : Ifremer, 336 p.

Andral, B. (2010). Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2009. Réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO) Paris : Ifremer, 85p.

APPL. (2015). Agence de Promotion et de Protection du Littoral Algérois.

Asso, A. (1982). Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule *Perna* (L), dans la région d'Alger. Mémoire de Magister : Océanologie Biologique : Université d'Aix-Marseille II, 138 p.

Atwell, L., Hobson, K.A., Welch, H.E. (1998). Biomagnification and bioaccumulation of mercury in an arctic marine food web: Insights from stable nitrogen isotope analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 55, p.14-1121.

Audigie, C., Dupont, G., Zonszain, F. (1985). *Principes des méthodes d'analyse biochimique.* Doin, Tome 1, 190 p.

B

Babouri, K. (2013). Utilisation des indicateurs trophiques pour l'évaluation de l'impact de la pêche sur un écosystème exploité : Application sur les pêcheries algériennes en mettant l'accent sur la pêcherie de la baie de Bou Ismail. Thèse de master, 59 p.

Bachari, N.E., Abdellaoui, A., Houma, F. (2011). Modélisation des données multisources pour l'étude de la pollution de la baie d'Alger à base d'un système d'information géographique. 2, p. 283-288.

- Banni, M. et al. (2007).** Assessment of heavy metal contamination using real-time PCR analysis of mussel metallothionein in mt10 and mt 20 expression: a validation along the Tunisian coast. 2 (4), p. 369-383.
- Beldi, H. et al. (2012).** Biodiversité des patellidae (gastropoda, prosobranchia) du golfe d'annaba (algérie nord-est). Bull. Soc. zool. Fr. 137(1-4), p. 121-132.
- Belkessa, R. (2005).** Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat : Université de Constantine, 412 p.
- Benedicto, J. et al. (2011).** A large scale survey of trace metal levels in coastal waters of the Western Mediterranean basin using caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*). 13, p. 1495-1505.
- Benguedda-Rahal, W. (2012).** Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de doctorat : Ecologie et Environnement : Université de Telemcen, 117 p.
- Besse, J. P., Geffard, O., Coquery, M. (2012).** Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the water framework directive. Trend Anal.Chem.36, p.113–127.
- Bin, H., Zhaojun, Y., Jianbo, S., GuiBin, J. (2013).** Research progress of heavy metal pollution in China: Sources, analytical methods, status, and toxicity. Springer, 7 p.
- Birungi, Z. et al. (2007).** Active biomonitoring of trace heavy metals using fish (*Oreochromis niloticus*) as bioindicator species. The case of Nakivubo wetland along Lake Victoria. Physics and Chemistry of the Earth. Elsevier. 32, p. 350–1358.
- Bliefert, C et Robert, P. (2009).** Chimie de l'environnement: air,eau,sols,déchets, 478 p.
- Bodiguel, X. (2008).** Caractérisation et modélisation des processus de bioaccumulation des PCB chez le merlu (*Merluccius merluccius*) du golfe du Lion. Thèse de doctorat : Biologie des Populations et Écologie, 216 p.
- Boening, D.W. (1999).** An evaluation of bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters. Environmental monitoring and assessment. 55, p. 459-470.
- Bouchard J-M. (2004).** Les organismes pluricellulaires : la moule.
- Boudou, A. (2004).** Les Journées contamination décontamination des mollusques bivalves. Mécanismes de bioaccumulation des métaux-traces chez les organismes aquatiques, p. 1-18.

Boudouresque, C.F. (2005). Excursion au Cap-Croisette (Marseille): le milieu marin.12. Marseilles. GIS Posidonie publ, p.1-48.

Boué, H., Chanton, R. (1962). Traité de zoologie : les invertébrés. Paris : G. Doin et Cie. Tome I:7 p.

Boufassa, L. (2015). Plages : la pollution gagne du terrain. Article dans le journal de courrier.

Boughrira, A. (2012). Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bou Ismail. Alger : ENSSMAL. Mémoire de magister, 111 p.

Boukhicha, J., Zouari-Tlig, S., Ben Hassine, O-K. (2010). Diversité morphométrique de *patella caerulea* (Linnaeus, 1758) du littoral rocheux des côtes tunisiennes. Rapport. Commission internationale. Mer Méditerranée. 39, 722 p.

Boumaza S. (2002). Plan d'action pour la mise en place d'un réseau de surveillance des herbiers à *Posidonia oceanica*. PNUE /CAR/ASP : 1-20 + annexes 1-2.

Bourdial, I. (1988). L'invasion sournoise des métaux lourds. 7, p.52-59.

C

Cahen, D. (2006). Dossier didactique, Moules nature, Muséum des Sciences naturelles.

Campanella, L et al. (2001). Trace metals in seagrass, algae and mollusc from an uncontaminated area in the Mediterranean. Environmental pollution. N°111. p. 117 - 126.

Canesi, L. et al. (2011). The Organophosphate Chlorpyrifos Interferes with the Responses to 17 β -Estradiol in the Digestive Gland of the Marine Mussel *Mytilus galloprovincialis*. PLoS ONE 6(5): e19803. doi:10.1371/journal.pone. 0019803.

Casas, S. (2004). Modélisation de la bioaccumulation des métaux traces chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Les Journées contamination décontamination des mollusques bivalves : Ifremer.

Casas, S. (2005). Modelisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat : France : Université du Sud-Toulon-Var, 314 p.

- Casas, S. (2007).** Modélisation de la bioaccumulation des contaminants organiques (PCB, DDT et HAP) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Paris : Ifremer, p. 241.
- Cayre, P. (1976).** Etude de la moule perna perna et de l'huitre gryphea gasar. Etude des possibilités de conchyliculture en république populaire du congo. ORSTOM. N°45, p. 26.
- Chakraborty, S. et al. (2014).** Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: a biomonitoring approach for pollution assessment. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 100, p.61-68.
- Charlou, J., Joanny, M. (1983).** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in Aminot, A., et Chaussepied, M. (Ed): Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, Brest, p. 285-295.
- Charriau, A. (2009).** Etude de la contamination organique et métallique associée aux sédiments du district hydrographique International de l'Escaut. France.
- Chiffolleau, J.F et Gonzalez, J.L. (1999).** Le Cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire. Programme scientifique Seine Aval. France : Ifremer.
- Chiffolleau, J.F. et al. (2001).** Spatiotemporal Changes in Cadmium Contamination in the Seine Estuary. France.
- Chiffolleau, J-F. et al. (2003).** Dosage de certains métaux traces (Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) dissous dans l'eau de mer par absorption atomique après extraction liquide-liquide. Editions Ifremer, Brest, France, 39 p.
- Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO et le développement durable (COI). (2001).** Document destiné au Sommet mondial sur le développement durable. Paris, 26 p.
- Connan, O et Tack, K. (2010).** Metals in marine environment (mollusc *Patella* sp., fish *Labrusbergylta*, crustacean *Cancer pagurus*, beach sand) in a nuclear area, the North Cotentin (France). *Environ Monit Assess*, N°165, p. 67–86.
- Copat, Ch., et al. (2013).** Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*. Vol.53, p. 33-37.
- Cossa, D. (2003).** Le plomb en milieu marin : biogéochimie et écotoxicologie. 1619 p.

Cossa, D., Françoise, E.P., Mauricette, G.B. (1993). Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie. Ifremer, 77 p.

Costa, C., Teixeira, J.P. (2014). Biomonitoring Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), p. 483-484.

Coulibaly, A.S. et al. (2009). Analyse des éléments traces métalliques (ETM) dans les baies estuariennes d'Abidjan en Côte d'Ivoire. *Côte d'Ivoire, Afrique science*, p.77 - 96.

Crochet, V. (1999). Le point sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Journal La gazette du laboratoire. N°39.

D

Daby, D. (2006). Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water, Air and Soil Pollution*. 174 (1-4), p. 63-91.

Das, P., Samantaray, S., Rout, G.R. (1998). Studies on cadmium toxicity in plants: A REVIEW. India.

De Kock, W.C., Kramer, K.J.M. (1994). Active Biomonitoring (ABM) by Translocation of Bivalves mollusks. In: Kramer, K.J.M. (Ed.), *Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries*. CRC Press, Boca Raton, FL, US, p. 51-84.

Derradji, C. (2014). Evaluation de la pollution dans la baie de Bou Ismail : Utilisation de *Patella* sp. Mémoire d'ingénieur : Environnement : ENSSMAL, 72 p.

Deudero, S. et al. (2007). Organic compounds temporal trends at some invertebrate species from the Balearics, Western Mediterranean. *Chemosphere* 68(9), p.1650-1659.

Devallois, v. (2009). transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux. Thèse doctorat : Marseille, 252 p.

Didierlaurent, S., Noël, P, in : DORIS, 29/11/2014 : *Patella caerulea* Linnaeus, 1758, http://doris.ffessm.fr/fiche2.asp?fiche_numero=1845.

Didierlaurent, S., Müller, Y., in DORIS, 16/4/2014 : *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, http://doris.ffessm.fr/fiche2.asp?fiche_numero=2527.

Dixit, R. et al. (2015). Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. Ed. Vincenzo Torretta, India, sustainability, 24p. www.mdpi.com/journal/sustainability.

Draredja, B. (2007). Structure et fonctionnement d'un milieu lagunaire méditerranéen : lagune mellah (El-kala, Algérie Nord-Est). Thèse de doctorat : Sciences de la Mer, 178 p.

Drif, F. (2012). Distribution des métaux traces chez les bivalves (Mollusques) dans le golfe d'Annaba (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat : Biologie Animale, 127 p.

E

Espinosa, F., Guerra-Garcia, J.M., Garcia-Gomez, J.C. (2007). Sewage pollution and extinction risk: an endangered limpet as a bioindicator? *Biodiversity and Conservation*, 16, p. 377-397.

F

Faurie, C. et al. (2012). Ecologie: Approche scientifique et pratique. Lavoisier. 6^e édition: TEC et DOC, 491 p.

Foussard, V., Etcheber, H. (2011). Proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico-chimiques pour les estuaires de la seine, de la Loire et de la Gironde. Rapport, 86 p.

G

Gagneux-Moreaux S., (2006). Les métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la production des micro-algues sur différents milieux de culture : Biodisponibilité- Bioaccumulation et impact physiologique. Thèse de Doctorat en biologie marine : Université de Nantes, 257 p.

Galaf ,F., Ghannam, S.(2003). Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire de troisième cycle. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II Rabat, 101p.

Gao, X., Arthur Chen, C. T. (2012). Heavy metal pollution status in surface sediments of the coastal Bohai Bay. *Water Research*. Elsevier. Vol.46 (6), p. 1901–1911.

Goldberge, D. (1975). The "Mussel Watch". *Mar. Pollut. Bull.* 6, p. 111-113.

Gosling, E. (1992). Systematics and geographic distribution of *Mytilus*. In: *The mussel Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science Ed Amsterdam, Elsevier, Amsterdam 25, p. 1-20.

Grimes, S. (2010). Peuplements benthiques des substrats meubles de la cote algerienne : Taxonomie, structure et statut écologique. Thèse de Doctorat : Université d'Oran (Algérie), 361p.

Guelorget, O., Perthuisot, J.P. (1984). Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralique, p. 67-76.

Guerra-Garcia, J.M. et al. (2004). Assessing habitatus of the endangered marine mollusc *Patella ferruginea* (Gastropoda, Patellidae) in northern Africa: preliminary results and implications for conservation. *Biological conservation*, 116, p. 319-326.

H

Hakab, Y.L. (2010). Mise en évidence de l'impact de la pollution portuaire d'Oran sur la distribution spatiale des patelles (*Patella ferruginea*, *Patella caerulea*, *Patella vulgata*): Etude préliminaire.

Halaili, Y. (2014). Biomonitoring de l'environnement marin de la zone côtière algéroise. Thèse de Magister : Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. 124 p.

Hamed, M.A., Emara, A.M. (2006). Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea, Egypt, *Journal of marine system*, 60, p. 220-234.

Harid, R. (2014). Etude de l'oxygène dissous et des paramètres du carbone dans la baie de Bou Ismail en été 2014. Thèse d'ingénieur : Environnement, 72 p.

Harlyk, C. et al. (1997). Determination of Copper, Zinc and Iron in Broncho-Alveolar Lavages by Atomic Absorption Spectroscopy. LEUVEN, Belgium.

Harvey, B. (2009). Archipelagos wildlife library. The digital library of Greek flora and fauna [online 2012]. <http://wildlife-archipelago.gr/wordpress/>.

Hemalatha, S. et al. (2006). Zinc and iron contents and their bioaccessibility in cereals and pulses consumed in India. *Food Chemistr*, p. 1328-1336.

Houma - Bachari, F. (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat : Sciences de l'Univers et Environnement, 272 p.

I

Ikemoto, T. et al. (2008). Biomagnification of trace elements in the aquatic food web in the Mekong Delta, South Vietnam using stable carbon and nitrogen isotope analysis Arch. Environ. Contam. Toxicol. 54, p. 504–515.

J

Jakimska, A., al. (2011). Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, part II: metal concentrations in animal tissues. Pol J Environ Stud. Vol. 20(5), p. 1127-1146.

Jurd, RD. (2000). Instant notes in animal biology. Scientific Publisher.

K

Kalantzi, I. et al. (2013). Heavy metals, trace elements and sediments geochemistry at for Mediterranean fish farms. Science of the Total Environnement. 444, p. 128-137.

Kankou, M. (2004). Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de Docteur de l'Université de Limoges : France, 159 p.

Kayalto, B., Mbofung, C. (2009). Contribution a l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du lac Tchad. Food and Nutrition. <hal-00825482>.

Kerboub, L. (2014). Biosurveillance des eaux côtières de la région Algéroise par les moules : métaux traces et qualité bactériologique. Mémoire d'ingénieur : Environnement, 61 p.

Khaldoun, L. (2009). Etude du cycle de reproduction de la moule *Perna perna* dans le littoral d'El Kala : Suivi biométrique et histologique. Thèse de Magistère : Sciences de la Mer, 52 p.

Kljakovic-Gaspic, Z. et al. (2007). Biomonitoring of trace metals (Cu, Cd, Cr, Hg, Pb, Zn) in Mali Ston Bay (eastern Adriatic) using the Mediterranean blue mussel (1998-2005). Vol.48 (1), p. 73-88.

L

L.E.M. (1998). Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger, 22 p.

Lampert, L. (2003). Suivi de la contamination métallique et organique de lots de moules (*Mytilus edulis*) implantés au port de Goury (Manche). Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral. Laboratoire côtier de Port-en-Bessin. Ifremer, 28 p.

Lampert, L. (2007). Suivi de la contamination métallique et Organique au port de Goury et à l'Anse des Moulinets (Manche) rapport. Paris : Ifremer. Direction des Ressources Vivants. Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LERN).

Larakeb, M, Youcef, L., Achour, S. (2014). Etude comparative de l'élimination du zinc par adsorption sur la goethite et sur la bentonite de maghnia. Algérie, Larhyss Journal, p.87-100.

Laurence, L. (2010). La préparation des matrices biologiques pour l'analyse des métaux. p.81-88. www.ata-journal.org.

Le Roux, A. (2005). Des patelles et des algues, Ed. Penn ar bed, Bulletin trimestriel de Bretagne vivante N°192, 36 p.

Leclaire, L. (1972). La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien). Muséum. Paris, 391 p.

Lincoln, R., Boxshall, G., Clark, P. (1998). A Dictionary of Ecology, Evolution and Systematics (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press, Ix + 361 p.

Livingstone, D.R. (1991). Organic xenobiotic metabolism in marine invertebrate. Advanced Comparative Environmental and physiology, 7, p. 45-187.

Lozm, J., Schupfeneck, L., Molinie, J. (1992). détermination des propriétés électrochimiques et thermodynamiques de Pb^{2+} , $PbCl^+$ et $PbCl_2$ à partir de mesures de conductivité de solutions aqueuses de chlorure de plomb à 25°C. Britain, p. 2519-2522.

M

Maouche, S. (1987). Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. France.

Marchand, M et Kantin, R. (1997). "Les métaux traces en milieu aquatique." Océanis, p.595-629.

Marie. (2008). Pollution et tourisme, guide Eco-Conso, 1p.

- Markert, B. (2007).** Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. Third International Symposium - Federation of European Societies on Trace Elements and Minerals (FESTEM). Vol, 21 (1), p. 77–82.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. (2003).** Bioindicators et Biomonitoring : Principles, Concepts and Applications. Trace Metals and other Contaminants in the Environment. Elsevier. Vol. 6, p. 1017.
- Marshall, D.J., McQuaid, C. D. (1989).** The influence of respiratory responses on the tolerance to sand inundation of the limpets *Patella granularis* L. (Prosobranchia) and *Siphonariacapsensis* Q. et G.(Pulmonata), *Journal of experimental marine biology and ecology*, 128, 3, p. 191-201.
- Meguellati, A., Sraoui, A.M. (2012).** Les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et de la baie Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur : Environnement, 64 p.
- Merzouki, M., Talib, N., Sif, J. (2009).** Indice de condition et teneurs de quelques métaux (Cu, Cd, Zn et Hg) dans les organes de la moule *Mytilus galloprovincialis* de la côte d'El Jadida (Maroc) en mai et juin 2004. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*. 31(1), p.21-26.
- Michelot, S. (2001).** La spectrométrie d'absorption atomique. Paris.
- Miquel, G.(2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 346 p.
- Misztal-Szkudli, M. et al. (2011).** Biomagnification of mercury in trophic relation of Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) and fish in the Vistula Lagoon, Poland *Environ. Monit. Assess.* 176, p. 439-449.
- Moulfi-El-Houari, L., Ambroise, D., Mathieu, R. (1999).** Distribution des foraminifères benthiques actuels sur la marge continentale Algéroise (baie De Bou-Ismaïl). *Revue de micropaléontologie*. N°4, Vol. 42, p. 315-327.
- MPO (Ministère des Pêches et des Océans). (2003).** Direction des politiques et des services économiques, Région du Golfe, Profil de la moule bleue (*Mytilus edulis*). *Pêches et Océans Canada*: 59.

Nakhlé, K. et al. (2006). Brachidontes variabilis and Pastella sp. as quantitative biological indicators for cadmium, lead and mercury in the Lebanese coastal waters. Environmental Pollution, 142, p.73-82.

Nakhlé, K.F. (2003). Le mercure, le cadmium et le plomb dans les eaux littorales libanaises: apport et suivi au moyen de bioindicateurs quantitatifs (éponges, bivalves et gastéropodes). Thèse de Doctorat : Paris, France : Univ. Denis Diderot, 246 p.

Neal K.J., Skewes M. (2004). Patella ulyssiponensis. Chine arapèdes. Marine Life Information Network.

O

OMS. (2015). Organisation mondiale de la Santé. www.who.int/fr/.

P

Papp, R. (2009). Les propriétés environnementales des substances. Collège National d'Experts en Environnement de l'Industrie Chimique, 116 p.

Pelletier, E. et al. (2004). Ecotoxicologie moléculaire. Principes fondamentaux et perspectives de développement. Presse de l'université de Québec (Canada).

Pétre, M.A. (2008). Étude de la spéciation des métaux traces dissous en Seine, relation avec le pH et la matière organique dissoute. Paris, 47 p.

Phillips, D.J.H., Segar, D. A. (1986). Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: Programme design imperatives. Marine Pollution Bulletin, p.10-17.

Picot, A. (2014). Les métaux, entre bénéfices et risques : quels dilemmes ? Paris : association toxicologie-chimie, 22 p. <http://atctoxicologie.fr>.

Picot, A. (2002). Le Trio : Mercure, Plomb, Cadmium. Les Métaux lourds : de grands Toxiques. Paris, 8 p.

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 2003. Paris, 14 p.

Pilson, M. (2013). An introduction to the chemistry of the sea. New York : Cambridge University Press.

Programme d'Aménagement Côtier Algérois (PAC). (2004). Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoa. Bilan et diagnostic, partie I caractéristiques physiques, Projet PAC/ MATE-PAM/CAR ASP, 64p.

Programme d'Aménagement Côtier Algérois (PAC). (2005). Lutte contre la pollution liée aux déchets solides – diagnostic – Programme d'Aménagement Côtier (PAC) « Zone Côtière Algéroise ». PAP-PAC. ALG/DS/04-04.

Pruel, R.J. et al. (1987). Availability of PCBs and PAHs to *Mytilus edulis* from artificially resuspended sediments. In : Cappuzzo, J.M., Kester, D.R (eds). Oceanic processus in marine pollution. Vol. 1 : Biological processus and wastes in the ocean. Robert, E.K. Publishers, Boca Raton, 10, p. 97-108.

R

Ramade, F. (2011). Introduction à l'écochimie: Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme. Paris. Ed.TEC et DOC. Lavoisier, 777 p.

Rao, J .V. et al. (2007). Environmental contamination using accumulation of metals in marine spongers, *sigmadocia fibulata* inhabiting the coastal waters of gulf of Mannar. India, Toxicological and environmental chemistry. Vol. 89, p.487-498.

Richir, J., Gobert, S. (2014). A reassessment of the use of *Posidonia oceanica* and *Mytilus galloprovincialis* to biomonitor the coastal pollution of trace elements: New tools and tips.

Rodier, J. (1996). l'analyse de l'eau " eaux naturelles, eaux residuaires, eau de mer ". Paris : Dunod, 1394 p.

Rodier, J. et al. (2009). L'Analyse de l'eau. 9e édition. Paris : Dunod, 1203 p.

Romond, C. (2015). «LYOPHILISATION», Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 08/05/2015. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/lyophilisation/>.

Rouane-Hacene, O. (2013). Bio-surveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologiques, la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez les moules *Mytilus galloprovincialis*. Thèse de doctorat : Université d'Oran, 295p.

Rouibah M. et al. (2005). Etude de la pollution du littoral Algérois et du Lac de Réghaia. Contrat ISMAL-APPL, 74p.

Rožič, P- Ž. Et al. (2014). Using stable nitrogen isotopes in *Patella* sp. to trace sewage-derived material in coastal ecosystems. *Ecological Indicators*. Elsevier. Vol. 36, p. 224–230.

Rumana, A. et al. (2014). Genotoxic effects of heavy metal cadmium on growth, biochemical, cyto-physiological parameters and detection of DNA polymorphism by RAPD in *Capsicum annuum* L. An important spice crop of India.

Rupert, R. et al. (2000). Faune et flore de la méditerranée. Barcelona : OMEGA,S,A.

S

Sahnoun, Z. (2009). Etude préliminaire des indices physiologiques (Indice de Réplétion, Indice Gonadique) et dosage des métaux lourds chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) pêché sur le littoral mostaganémois. Thèse de Magister.

Sericano, J.L. et al. (1995). Trace organic contamination in the Americas-an overview of the US National Status & trends and the international mussel watch programmes. *Mar. Pollut. Bull.* 31, p. 214–225.

Slotton, D.G. et al. (2004). Mercury bioaccumulation and trophic transfer in the Cache Creek Watershed of California, in relation to diverse aqueous mercury exposure conditions. Assessment of ecological and human health impacts of mercury in the San Francisco Bay-Delta Watershed. Final Report.

Stankovic, S., Kalaba, P., Stankovic, R. (2014). Biota as toxic metal indicators. Berlin. 22 p.

Stankovic, S., Stankovic, A.R. (2013). Bioindicators of toxic metals. *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. Vol.3, p. 151-228.

T

Taleb, M.Z., Boutiba, Z. (2007). La moule *mytilus galloprovincialis* : bioindicatrice de pollution marine – cas du port d'Oran. *Sciences et Technolog*, p.59-64.

Thomas, L. L. (2007). Incorporation des métaux dans les oeufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et fonctions digestives et immunitaires. École Doctorale de La Rochelle, 175 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00339245>.

Timizar, L. (1989). Métaux lourds : le danger. In: *El-Moudjahid*, janvier 1989: 9, 37 p.

U

Usero, J., Morillo, J., Gracia, I. (2005). Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chemosphere*. 59, p. 1175-1181.

V

Vanucci, S. et al. (2005). Putative midkine family protein up-regulation in *Patella caerulea* (Mollusca, Gastropoda) exposed to sublethal concentrations of cadmium, *Aquatox*, 75,4, p. 374-379.

Viarengo, A. et al. (2007). The use of biomarkers in biomonitoring: A 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology*. Elsevier. Part. 146, p. 281-300.

W

webqc.org. (2015). L'équation de l'équilibre chimique - Equilibrer en ligne. <http://www.webqc.org/balance.php>.

Wilhelmsson, D. et al. (2013). Managing Ocean Environments in a Changing Climate. *Sustainability and Economic Perspectives*, p. 127-169.

Wood, Ch.M., Farrell, A.P., Braun, C.J. (2012). Homeostasis and Toxicology of Essential Metals. Canada: Elsevier, ISBN:978-0-12-37863664.

Wood, J.M. (1974). Biological cycles for toxic elements in the environment.

SITES WEB

webqc.org. (2015). L'équation de l'équilibre chimique - Equilibrer en ligne. <http://www.webqc.org/balance.php>.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1



Figure 26: Collecte et nettoyage des patelles

Annexe 2

Les paramètres biométriques des patelles et des moules

• Patelles

Stations	Individus	L (mm)	l (mm)	H (mm)
Port de Bouharoun	1	29	23,5	10,5
	2	26	21	6,5
	3	25,5	22	7,5
	4	25	21,5	7
	5	25	18	7,5
Port de Khemisti Ouest	1	25	21	7,5
	2	27,5	22	9
	3	28	21,5	9,5
	4	28	23,5	10,5
	5	30	22,5	12
Port de Khemisti Est	1	24	18,5	7
	2	24,5	20	7,5
	3	24,5	18,5	6
	4	27,5	21	7
	5	24,5	18	6
Anse de Kouali	1	29,5	24,5	9,9
	2	19,8	16,5	6,5
	3	22,5	17	6
	4	24,5	20	7
	5	21,5	18,5	6,5
Ain tagourait	1	23	18	7
	2	25	20	8
	3	23	18	8
	4	23,5	20	8
	5	24	21	8,5
Zéralda	1	25	21	7
	2	28,5	23,5	7,5
	3	29	24	7
	4	31	25,5	7
	5	25	19	7,5
Front de mer de Bou Ismail	1	26.5	20	8
	2	24.8	19.8	7
	3	26	22	9
	4	26.5	22	9.9
	5	25.5	19	8.8
Bateau cassé	1	34	27	12,5
	2	31,5	23	9,5
	3	31	24	9,5
	4	33,5	30	9

	5	30	20	8
Figuier	1	24	18	9,9
	2	25,5	21	8,5
	3	27,5	21,5	9
	4	25,5	21,5	10
	5	26	21	10,5

- Moules

Stations	Individus	L (mm)	l (mm)	H (mm)
Zéralda (Perna perna)	1	43	20,5	15,5
	2	40,5	19	15
	3	41	20	16
	4	40,5	20,5	15
	5	49	23	16,5
	6	40,5	19	14,5
	7	40,5	21,5	16
	8	41	19	14
	9	41,5	19	15
	10	45	21,5	16
Bateau cassé (Mytilus galloprovincialis)	1	41	20,5	15,5
	2	41	19,9	18
	3	42	18	16
	4	42,5	20	16,5
	5	42	19,5	17
	6	52	25	20
	7	40	20,5	15,5
	8	45	22	17,5
	9	41	20,5	16,5
	10	39,5	20,5	16
Figuier (Perna perna)	1	47	21	14,5
	2	44,5	20,5	16,5
	3	46	19	17
	4	45,5	20,5	18,5
	5	42	19	16
	6	44,5	22	15
	7	43	20,5	14,5
	8	49	22,5	14
	9	49	22,5	15,5
	10	48,5	22	20

Indice de condition des patelles et des moules

- Patelles

Stations	Poids de la coquille sèche (g)	Poids de la chair sèche (g)	IC Patelles
Port de Bouharoun	4,8981	1,2595	0,26
Port de Khemesti est	6,2209	1,1136	0,18
Port de Khemesti ouest	5,4991	1,6679	0,30
Anse de Kouali	3,8654	0,8419	0,22
Ain Tagougait	4,8057	1,0776	0,22
Zéralda	5,7402	1,6742	0,29
Front de mer de Bou Ismail	5,0061	2,435	0,49
Bateau cassé	10,3252	1,4353	0,14
Figuier	6,5825	1,3287	0,20

- Moules

Station	Taille (cm)	Réplias	PCS (g) (coq)	PCS (g) chair	IC moules
Zéralda	4-5		31,3971	5,2441	0,17
Bateau cassé	4-5	R2	40,9648	5,4395	0,13
	4-5	R1	39,5324	4,2388	0,11
Figuier	4-5		41,3653	5,5809	0,13