

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم والبحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR EN SCIENCES
DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

Evaluation de la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl :
utilisation de *Patella sp.*

Présenté par :

Mlle. DERRADJI Chahinez

Soutenu le 24/11/2014 devant le jury suivant :

Mr R. SEMROUD

Mr M. KADA

Mme F. HOUMA-BACHARI

Mme S. HAMDI-CHERNAI

Mr A. INAL

Professeur (ENSSMAL)

Assistant (ENSSMAL)

Professeur (ENSSMAL)

Maitre de conférences A (ENSSMAL)

Attaché de recherche (CNRDPA)

Président

Promoteur

Co-promoteur

Examinatrice

Examineur

Promotion : 2014

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR EN SCIENCES
DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

Evaluation de la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl :
utilisation de *Patella sp.*

Présenté par :

Mlle. DERRADJI Chahinez

Soutenu le 24/11/2014 devant le jury suivant :

Mr R. SEMROUD

Mr M. KADA

Mme F. HOUMA-BACHARI

Mme S. HAMDI-CHERNAI

Mr A. INAL

Professeur (ENSSMAL)

Assistant (ENSSMAL)

Professeur (ENSSMAL)

Maitre de conférences A (ENSSMAL)

Attaché de recherche (CNRDPA)

Président

Promoteur

Co-promoteur

Examinatrice

Examinateur

Promotion : 2014

REMERCIEMENT

Je remercie Allah de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce mémoire de fin d'étude.

J'adresse mes remerciements à mon promoteur Mr M. KADA et ma co-promotrice le professeur F. Houma-Bachari pour avoir accepté de diriger ce travail. Je les remercie très vivement pour leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur confiance qu'ils m'ont témoignée tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier monsieur le professeur R. SEMROUD de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Je remercie également Madame S. HAMDI-CHERNAI et Monsieur A. INAL pour avoir accepté de faire partie du jury et examiner ce travail et dont les critiques me serviront sûrement plus tard.

Je remercie toute l'équipe du laboratoire de Sidi-Fredj, en particulier Mme F. OUNADI et Mme N. EDDALIA. Un grand merci pour votre aide, vos conseils et vos encouragements.

Mes remerciements s'adressent également à tout le personnel de la bibliothèque pour leur disponibilité, aide et gentillesse en particulier Fatima, et Mme BESSAOU.

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous mes enseignants, depuis ma première année fondamentale, jusqu'à la cinquième année universitaire.

Mes vifs remerciements à ma grande sœur et mon grand frère, et spécialement à ma très chère maman ainsi que mon fiancé, qui m'ont soutenu et encourager durant la réalisation de ce modeste travail.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	2
SOMMAIRE	3
LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES ACRONYMES	10
INTRODUCTION.....	12
1 GENERALITES	15
1.1 Pollution chimique.....	15
1.2 Les métaux lourds.....	15
1.2.1 Définition	15
1.2.2 Origine des métaux lourds.....	16
1.2.3 Classification des métaux lourds.....	16
1.2.4 Présentation des principaux métaux étudiés.....	17
1.2.5 Cycle biogéochimique des métaux lourds.....	19
1.3 La Bioaccumulation.....	21
1.3.1 Définition	21
1.3.2 Conséquences de la bioaccumulation.....	21
1.3.3 Les passages transmembranaires.....	22
1.4 Bioamplification	22

1.5	Présentation de la matrice biologique : <i>Patella sp</i>	23
1.5.1	Systématique	23
1.5.2	Habitat	23
1.5.3	Morphologie	24
1.5.4	Respiration	26
1.5.5	Nutrition	26
1.5.6	Reproduction	27
1.6	L'utilisation de <i>Patella sp</i> dans la bio surveillance environnementale	28
2	ZONE D'ETUDE.....	31
2.1	Description géographique et présentation du site	31
2.2	Climat	32
2.3	Réseau hydrographique	32
2.3.1	Oued Mazafran	32
2.3.2	Oued Nador	32
2.3.3	Oued Béni-Messous	33
2.4	Sédimentologie	33
2.5	Courantologie	34
2.6	Les sources de pollution dans la baie de Bou-Ismail.....	35
3	MATERIEL ET METHODES.....	39
3.1	Travaux effectués en mer	39

3.1.1	Choix et localisation des stations de prélèvement.....	39
3.1.2	Echantillonnage.....	40
3.2	Travaux effectués au laboratoire.....	41
3.2.1	Conditionnement du matériel utilisé.....	41
3.2.2	Prétraitement des patelles.....	41
3.2.3	Lyophilisation.....	42
3.2.4	Broyage.....	42
3.2.5	Homogénéisation.....	42
3.3	Extraction des métaux traces.....	42
3.3.1	Principe de la digestion ou la minéralisation.....	42
3.3.2	Le protocole expérimental.....	43
3.4	Analyse des métaux traces.....	44
3.4.1	La spectrophotométrie d’Absorption Atomique.....	44
3.4.2	Principe de la Spectrophotométrie d’Absorption Atomique.....	44
3.4.3	La loi de Beer – Lambert.....	45
3.4.4	Appareillage.....	46
3.5	Conditions expérimentales.....	46
3.5.1	Calcul des concentrations des métaux traces.....	46
4	RESULTATS ET DISCUSSION.....	50
4.1	Résultats des paramètres physico-chimiques.....	50

4.2	Les teneurs en métaux traces	51
4.2.1	Variations des concentrations en métaux traces.....	53
4.2.2	Résultats d'indice de condition	58
4.3	Comparaison des teneurs en métaux lourds chez <i>Patella sp</i>	60
	CONCLUSION	63
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	66
	Annexes	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma des différents transferts de métaux lourds dans les milieux aquatiques (Devallois, 2009).....	20
Figure 2 : Habitat écologique de <i>Patella sp</i> (Photo Derradji, 2014).	24
Figure 3 : Morphologie externe de <i>Patella rustica</i>	24
Figure 4 : Morphologie de <i>Patella sp</i>	25
Figure 5 : Microscopie électronique de la radula de <i>Patella sp</i> (Nakhlé, 2003).....	27
Figure 6 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.	31
Figure 7 : Réseau hydrographique de la baie de Bou-Ismaïl.	33
Figure 8 : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).	34
Figure 9 : Cartes des pressions naturelles et anthropiques dans la Baie de Bou-Ismaïl (Belkessa et al., 2008 ; AlSid Chikhet al., 2009).....	36
Figure 10 : Positionnement des stations de prélèvement au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.	40
Figure 11 : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique Perkin Elmer AAnalys 700.....	46
Figure 12 : Variation du Cuivre chez la patelle au niveau de différentes stations.	53
Figure 13 : Variation du Cuivre en fonction de l'organe.	54
Figure 14 : Variation du Zinc chez la patelle au niveau de différentes stations.	55
Figure 15 : Variation du Zinc en fonction de l'organe.	56
Figure 16 : Variation du plomb chez la patelle de différentes stations.	57
Figure 17 : Variation du plomb en fonction de l'organe.	58
Figure 18 : Port de Bouharoune.	Annexe 1

Figure 19 : Front de Mer de Bou-Ismaïl.	Annexe 1
Figure 20 : Anse de Koali.	Annexe 1
Figure 21 : Prétraitement des Patelles.	Annexe 1
Figure 22 : Lyophilisation des échantillons.	Annexe 2
Figure 23 : Broyage des échantillons.	Annexe2
Figure 24 : Minéralisation des échantillons.	Annexe 2

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification de <i>Patella sp</i> (Lincoln et al., 1998).	23
Tableau II : Les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (M.A.T.E, 2006).....	37
Tableau III : Paramètres physico-chimique des eaux de stations d'étude.	50
Tableau IV : Teneurs en métaux lourds dans la patelle de la baie de Bou-Ismaïl ($\mu\text{g/g p.s}$). 52	
Tableau V : Présentation des résultats de l'Indice de Condition.	58
Tableau VI : Présentations des indices de conditions et des C_a du cuivre, zinc et du plomb. 59	
Tableau VII : Comparaison des teneurs en métaux chez <i>Patella sp</i> dans la baie de Bou-Ismaïl avec d'autres sites sur la côte Algérienne et en méditerranée.	60

LISTE DES ACRONYMES

A.I.E.A : Agence Internationale de l'Energie Atomique.

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

L.E.M : Laboratoires des Etudes Maritimes.

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

MerMEX : Marine Ecosystems Response in the Méditerranean Experiment.

ONM : Office Nationale de la Météorologie.

PAC : Programme d'Aménagement Côtier.

ONEDD : Observatoire National de l'Environnement et du Développement

ATSDR : The Agency for Toxic Substances and Disease Registry

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La pollution marine aussi bien chimique que biologique est un phénomène en perpétuelle évolution avec de plus en plus d'ampleur. Les rivages marins constituent le réceptacle final de toutes sortes de déchets des activités humaines, acheminés via les rejets domestiques et industriels.

Le milieu marin est contaminé par de nombreux produits chimiques tel que les métaux lourds ou éléments métalliques rejetés par les industries, l'agriculture et les communautés urbaines (**Pons et al., 1988 ; Casas, 2005**). Les zones côtières, sous forte influence continentale, sont les plus touchées par cette contamination.

Les métaux lourds sont des micropolluants non biodégradables qui peuvent affecter la salubrité du milieu marin. Ils peuvent de ce fait s'accumuler dans les différents maillons des chaînes trophiques à des concentrations toxiques dans les organismes marins (**Neathery & Miller 1975**).

L'utilisation de bio-indicateurs issus des communautés benthiques marines affectées représente un des moyens d'évaluer l'impact des activités humaines sur les écosystèmes marins et de prévenir les situations critiques par la mise en place d'outils de restauration et de conservation (**Burger et al., 2006 ; Key et al., 2006 ; Usseglio-Polatera et al., 2000**).

En Méditerranée, où les bio-indicateurs déjà établis ne sont plus présents ou sont en état de carences (Moules, poissons sédentaires...etc.), les patelles sont considérées comme organismes de remplacement (**Campanella et al., 2000**).

Le présent travail s'inscrit dans le cadre du projet MERMEX pour l'évaluation de la pollution par les métaux lourds chez *Patella sp* au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. Les métaux qui ont fait objet dans cette étude sont : le Zinc (Zn), le Plomb (Pb) et le Cuivre (Cu).

Ce travail a pour objectif :

- ✓ De connaître les niveaux de bioaccumulation en métaux lourds dans le biote à savoir *Patella sp*,
- ✓ D'évaluer le degré de contamination en métaux lourds dans plusieurs sites représentatifs de la baie de Bou-Ismaïl,
- ✓ L'utilisation de *Patella sp* comme bio-indicateur de la pollution métallique dans la baie de Bou-Ismaïl.

Ce travail a comporté les étapes suivantes :

- L'analyse des paramètres physico-chimiques des sites d'étude ;
- Evaluation des indices de condition (IC) chez *Patella sp* ;
- Détermination des taux du Zinc (Zn), du Plomb (Pb) et du Cuivre (Cu) dans la chair et la radula de *Patella sp* ;
- Etude de la corrélation entre l'indice de condition et les teneurs en métaux lourds analysés.

GENERALITES

1 GENERALITES

1.1 Pollution chimique

La pollution chimique est l'une des modalités possibles de la perturbation anthropiques des milieux marins qui comprend aussi la pollution bactériologique, la pollution thermique, les effets liés à des apports de macro déchets, de matières sédimentaires ou l'introduction d'espèces allochtones.

Parmi les polluants chimiques déversés dans le milieu marin et représentant une sérieuse menace pour les organismes vivants, figurent les métaux lourds. Ainsi ces métaux sont souvent solubles dans la colonne d'eau ou liés aux particules du sédiment et peuvent s'accumuler dans les organismes vivants à des concentrations supérieures à celles présentes dans l'eau (**Ramade, 1995 ; Van Der Oost et al., 2003**).

1.2 Les métaux lourds

1.2.1 Définition

Un métal est un élément chimique d'un aspect brillant (réflectivité élevée pour la lumière), bon conducteur d'électricité et de la chaleur, qui entre habituellement dans des réactions chimiques comme ion positif (cation) (**Lacoue-Labarthe, 2007 ; Luoma et Rainbow, 2008**).

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm³.

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles, à l'état de traces (**Miquel, 2001**). Le terme "métaux traces" est utilisé pour inclure les métaux et les métalloïdes qui partagent une suite commune des comportements chimiques, biologiques et physiques, qui ont le potentiel d'être toxiques à la faune et la flore marine ou biote (**Luoma et Rainbow, 2008**).

1.2.2 Origine des métaux lourds

Les métaux traces sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, que ce soit naturellement ou issus de certaines activités humaines favorisant leurs dispersions (**Casas, 2005**).

Les métaux lourds ont plusieurs sources qui les acheminent vers l'eau de mer. La source naturelle, produite par la lixiviation lente à partir du sol ou de roches à arroser, est habituellement aux niveaux bas, n'entraînant aucun effet sérieux sur la santé de l'homme (**Zhou et al., 2008**).

Les sources anthropiques, variées et ponctuelles, sont les principales sources des métaux lourds dans l'environnement marin. Elles résultent des effluents domestiques et urbains dont principalement les ordures ménagères, les boues de stations d'épuration ainsi que les résidus des eaux usées.

Les apports diffus de métaux lourds dû aux usages agricoles sont essentiellement les engrais phosphatés, les pesticides et les traitements phytosanitaires (Arsenic, Zinc, organo-mercuriels, Cuivre dans la bouillie bordelaise...), ainsi que les additifs alimentaires utilisés en élevage (**Amiard, 2011**).

Les utilisations spécifiques de métaux lourds présentent aussi des sources non négligeables, comme l'argent dans la photographie, le plomb (sous forme tétra-éthyle) dans la fabrication de carburants (essence), le Cuivre dans les peintures anti-salissures (**Amiard, 2011**). Ces métaux peuvent s'accumuler dans les organismes marins et persistent dans l'eau et le sédiment marin. (**Sevcikova et al., 2011**).

1.2.3 Classification des métaux lourds

Parmi les métaux, certains sont essentiels à la vie, car ils ont un rôle physiologique tandis que d'autres seront toxique à très faible doses comme le cadmium qui est cancérigène ou le plomb qui est neurotoxique (**Luoma et Rainbow, 2008**).

Les plus importants des métaux lourds du point de vue de la pollution de l'eau sont : Zinc, Cuivre, Cadmium, Plomb, Mercure, Nickel et Chrome (Zn, Cu, Cd, Pb, Hg, Ni et Cr respectivement).

Certains de ces métaux comme le cuivre, le nickel, le chrome et le zinc sont des métaux traces essentiels à la vie des organismes marins, mais peuvent devenir toxique à des concentrations plus élevées. Alors que d'autres comme le plomb, le mercure, l'arsenic, et le cadmium sont des éléments toxiques, qui n'ont aucune fonction biologique. Ces métaux ne se dégradent pas, par conséquent ils s'accablent le long de toute la chaîne alimentaire (**Waykar et Deshmukh, 2012 ; Markovice, 2012**).

L'environnement marin avec sa qualité d'eau est considéré comme le facteur principal commandant l'état de santé chez l'homme et le biote (**Markovice, 2012**).

1.2.4 Présentation des principaux métaux étudiés

1.2.4.1 Plomb

Le plomb existe sous trois formes essentielles :

- dissoute, les espèces dominantes sont les carbonates de Plomb ($PbCO_3$), les chlorures de Plomb ($PbCl_2$) ou $PbCl^+$;
- colloïdale ;
- particulaire.

Le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire dans l'eau de mer, en effet 10 % se trouve sous forme de complexes organiques labiles.

L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH ; elle augmente avec l'augmentation de ce dernier (**Casas, 2005**). En conséquence, le plomb est immobile dans l'environnement aquatique et tend à s'accumuler dans le sédiment près de son point d'entrée (**Erdogan, 2009**).

Dans l'environnement, le plomb est majoritairement présent dans le compartiment atmosphérique et provient des fonderies, des industries de la métallurgie, de la combustion du charbon, de l'incinération des déchets et des gaz d'échappement des véhicules. Les rejets aquatiques les plus importants proviennent de la sidérurgie (**Amiard, 2011**).

Les doses létales du plomb, sous la forme de sel minéral, sont souvent supérieures à sa limite de solubilité dans l'eau de mer, c'est-à-dire 4 mg/l. Le plomb inorganique peut donc être considéré comme hautement toxique (concentration létales de 1 à 10mg/l) ou modérément toxique (concentration létale de 10 à 100mg/l) (**Casas, 2005**).

Des effets sur la croissance de certaines espèces phyto-planctoniques ont été enregistrés à partir de 0.5µg/l. Les invertébrés marins aux stades embryonnaires sont plus sensibles que les adultes, l'effet toxique du plomb peut se traduire par une compétition avec des métaux essentiels (**Marchand et Kantin, 1997**).

1.2.4.2 Cuivre

Le cuivre est un élément qui existe à l'état natif, principalement extrait de minerais de cuivre. Il s'agit d'un métal "essentiel" intervenant dans les processus métaboliques (**Erdogan, 2009**). Existe sous forme particulaire, colloïdale et dissoute. Les caractéristiques physico-chimiques du milieu agissent sur le degré de dissociation entre les formes métalliques et ioniques du cuivre (**Chiffolleau, 2001**).

L'oxyde cuivreux Cu_2O est insoluble dans l'eau alors que les formes : sulfate de cuivre (CuSO_4), hydroxyde de cuivre ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) et chlorure de cuivre (CuCl_2) sont solubles dans l'eau. La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'adsorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. Dans l'eau, le cuivre particulaire représenterait de 40 à 90% du cuivre (**ATSDR, 1990**).

La toxicité du cuivre en milieu marin est en fonction de sa forme chimique et son état d'oxydation. Des inhibitions de croissance du phytoplancton ont été observées à partir de 4 µg de cuivre par litre (**Chiffoleau, 2001**) et les sédiments fortement pollués présentent des teneurs de 200 µ g/g (**Erdogan, 2009**).

1.2.4.3 Zinc

Le Zinc est un oligo-élément nécessaire au métabolisme des êtres vivants, essentiel pour de nombreux métallo-enzymes et les facteurs de transcription qui sont impliqués dans divers processus cellulaires tels que l'expression des gènes, transduction du signal, la transcription et la réplication.

Il existe dans l'eau sous diverses formes à savoir : ion hydraté ($Zn(H_2O)^{2+}$), complexé à des ligands organiques (acides fulviques et humiques), adsorbé sur de la matière solide et sous forme d'oxydes de zinc (**Pichard, 2005**).

Les apports de zinc au milieu marin sont principalement dus à la métallurgie et à la combustion des bois et des charbons. De plus, les zones portuaires sont soumises à la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion et au relargage de zinc présent dans certaines peintures anti-salissures (**Chiffoleau, 2001**).

Les sels de zinc sont moins nocifs pour les organismes marins que pour ceux des eaux douces. Cependant, la toxicité du zinc s'exerce à partir de quelques milligrammes par litre chez le poisson (**Rodier, 1996**). Chez l'homme, les besoins en zinc s'élève à 15 mg/j et permettent de maintenir certaines activités enzymatiques. Par contre, la déficience en zinc entraîne le nanisme (**Chiffoleau, 2001**).

1.2.5 Cycle biogéochimique des métaux lourds

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

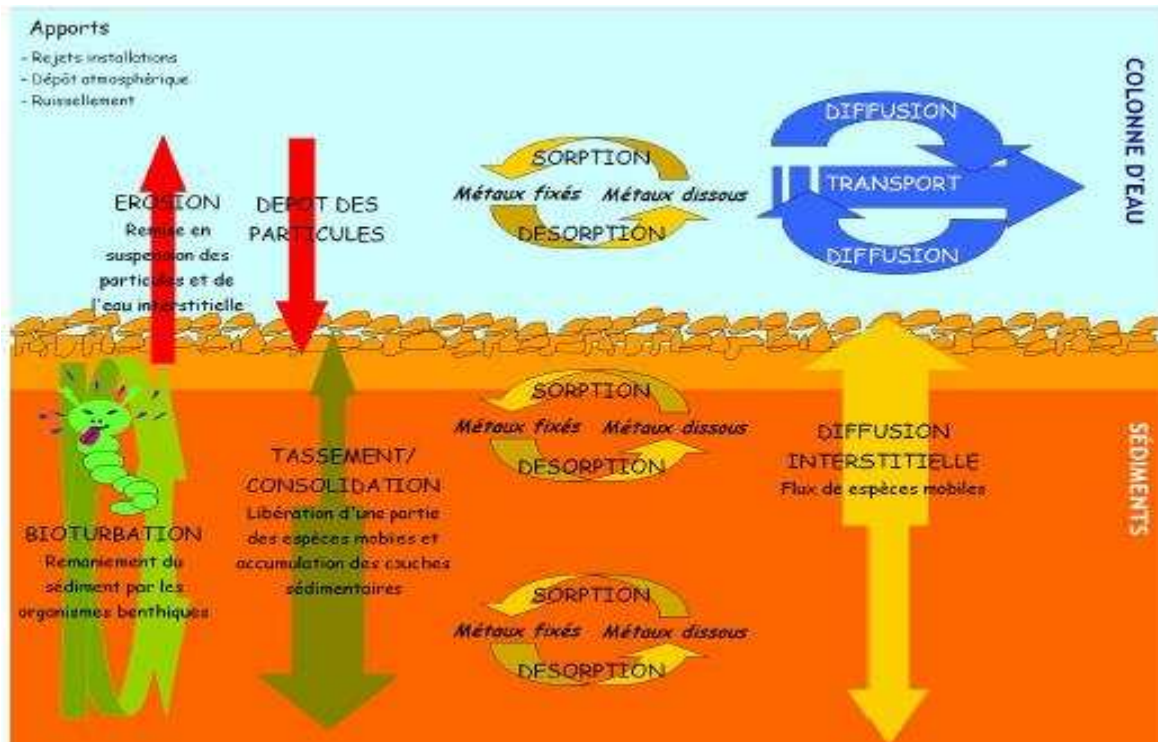


Figure 1 : Schéma des différents transferts de métaux lourds dans les milieux aquatiques (Devallois, 2009).

Les éléments traces métalliques sont déposés à la mer par différents apports : atmosphérique, industriels, volcaniques et par ruissellements. Ils sont transférés dans la colonne d'eau et le sédiment sous deux formes :

- Dissoute dans la colonne d'eau et l'eau interstitielle du sédiment, c'est la forme la plus mobile et donc la plus biodisponible pour les populations aquatiques ;
- Fixés sur les particules des sédiments ou en suspension dans la colonne d'eau qui peuvent s'accumuler dans le compartiment sédimentaire formant ainsi des stocks de polluants (Devallois, 2009).

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

- Une première consisterait en un piégeage des polluants métalliques par les particules 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 ;
- Une deuxième étape inverse à la première consisterait à un relargage de ces polluants par désorption, diffusion ou propagation dans le milieu marin, décomposition des matières organiques, dissolution et parfois même par une redistribution par l'activité des organismes marins (bioturbation).

1.3 La Bioaccumulation

1.3.1 Définition

C'est un processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise (**Ramade, 2010**).

La bioaccumulation décrit l'accumulation nette d'un métal dans les tissus d'un organisme en raison de la prise de toutes les sources (nourriture et eau). Elle est influencée par la chimie du métal spécifique, et de la réaction du métal avec son environnement et la physiologie spécifique de l'espèce (**Ramade, 2010**).

La bioaccumulation est souvent une bonne mesure intégratrice d'expositions aux métaux lourds des organismes marins dans des écosystèmes pollués. Elle est de valeur particulière pour les métaux parce qu'ils ne sont pas biodégradables (**Luoma et Rainbow, 2008**).

1.3.2 Conséquences de la bioaccumulation

Une des principales conséquences de la présence des métaux lourds dans l'eau de mer est leur passage dans la biomasse. Ce transfert peut entraîner des toxicités directes, qui se manifestent rapidement par voie direct ou indirect, qui sont liées à l'accumulation progressive de ces métaux par les organismes. Il semble logique de penser que les phénomènes de toxicité ou de bioaccumulation sont liés à la teneur en métal dans l'eau de mer environnante (**Gaujous, 1995**).

1.3.3 Les passages transmembranaires

Lorsqu'un polluant pénètre dans un organisme, quelle que soit sa voie d'entrée, orale, branchiale, cutanée, pulmonaire, il parvient dans un premier temps dans la circulation générale (sang ou son équivalent). Puis à partir de ce liquide interne, il se distribue dans les différents tissus et organes avant d'être éventuellement excrété (**Amiard, 2011**).

Comme les divers milieux biologiques sont aqueux à plus de 90%, les molécules doivent avoir un certain degré d'hydro-solubilité pour pouvoir se déplacer. Le déplacement dans l'organisme suppose aussi le passage de multiples barrières membranaires (**Amiard, 2011**).

Les membranes sont en général des assemblages de phospholipides et de protéines en bicouches moléculaires dont les pôles hydrophiles protéiques sont orientés vers l'extérieur et les pôles hydrophobes à l'intérieur de la membrane. Seules les molécules lipophiles peuvent donc traverser la membrane par simple diffusion, les molécules hydrophiles devront passer par des pores ou canaux ou à l'aide de divers types de transporteurs (**Amiard, 2011**).

Tandis que le Transport passif se fait par une simple diffusion, selon le gradient de concentration, du milieu le plus concentré vers le milieu le plus dilué, les transports actifs nécessitent de l'énergie ainsi des transporteurs spécifiques et agissent contre le gradient de concentration (**Amiard, 2011**).

1.4 Bioamplification

La bioamplification est le résultat du transfert des contaminants le long des différents niveaux de la chaîne alimentaire, ce qui implique leur concentration (**Kaiser, 2001; Amiard, 2011**).

Beaucoup de polluants se concentraient dans les organismes vivants (bioconcentration). Une partie de ces polluants seront transférés aux niveaux des chaînes trophiques successives et à l'homme, consommateur final de chaînes alimentaires courtes ou longues (**Amiard, 2011**).

1.5 Présentation de la matrice biologique : *Patella sp*

1.5.1 Systématique

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

Tableau I : Classification de *Patella sp.*

	Termes scientifiques	Termes en français
Embranchement	<i>Mollusca</i>	Mollusques
Classe	<i>Gastropoda</i>	Gastéropodes
Sous-classe	<i>Prosobranchia</i>	Prosobranches
Ordre	<i>Archaeogastropoda</i>	Archéogastéropodes
Famille	<i>Patellidae</i>	Patellidés
Genre	<i>Patella</i>	

1.5.2 Habitat

Patella sp est un animal benthique sédentaire qui habite les rochers éclairés de l'étage médiolittoral où elle forme des populations denses (**Figure 2**), (**Neal et Skewes, 2004 ; Rozič et al., 2014**). Elle s'est adaptée à cet écosystème par son amélioration d'organisation, sa fixation très solide à la manière d'une ventouse très puissante, grâce à son pied musclé adhérent, pour résister à la fois à la dessiccation et aux chocs des vagues (**Nakhlé, 2003 ; Boudouresque, 2005, Rozič et al., 2014**). Elle peut vivre plus de 10 ans (**Nakhlé et al., 2006**).

Dans les substrats tendres comme la roche calcaire, elle creuse grâce à une sécrétion acide des cavités appelées cupules dans lesquelles elles s'encastrent pour mieux résister à l'assaut des vagues (**George et George, 1980**).

Bien qu'elle soit sédentaire, la patelle se déplace à marée haute pour se nourrir, et regagne son gîte à marée basse tout en épousant parfaitement la forme du rocher afin de réduire les pertes d'eau par évaporation (**Nakhlé, 2003 ; Nakhlé et al., 2006**).



Figure 2 : Habitat écologique de *Patella sp* (Photo Derradji, 2014).

1.5.3 Morphologie

La patelle, petit gastéropode en forme de chapeau chinois, a une coquille conique à une seule valve à sommet central ou assez antérieur (**Figure 3**), à ouverture ovale ou polygonale, de taille moyenne ou assez grande avec des lignes radiales et concentriques (**Rozič et al., 2014**). Sa hauteur dépend des conditions hydrodynamiques environnantes : bombée en mode battu et plus aplatie en mode calme ou en profondeur. Cette coquille est élaborée à partir d'éléments de l'eau de mer et de gaz carbonique issus du métabolisme et transformés en grande partie en calcaire (**Le Roux, 2005**). L'accroissement de la coquille répond à deux rythmes distinct : saisonnier et selon l'endroit pour mieux s'adapter aux conditions environnantes (**Nakhlé, 2003**).



Figure 3 : Morphologie externe de *Patella rustica*.

A l'intérieur de la coquille, à mi-distance entre le sommet et le bord de l'ouverture, on observe l'empreinte musculaire qui est une bande étroite et terne en forme de fer à cheval ouverte vers l'avant (Harvey, 2009), c'est la trace de l'insertion du muscle qui relie les parties molles de l'animal à sa coquille (Le Roux, 2005).

Le corps de la patelle comporte (Figure 4) :

- La tête avec une bouche plus ou moins ventrale et deux tentacules portant à leur base deux petits yeux ;
- Le pied composé d'une masse musculuse, lui permet à la fois de se déplacer et d'adhérer au substrat faisant office de ventouse ;
- Le manteau (lieu de sécrétion de la coquille) situé derrière la tête, double la coquille entre le rebord et le pied ;
- La cavité palléale qui est le siège d'indispensables courants respiratoires, alimentaires ou de rejet de déchet ;
- La masse viscérale enroulée en hélice dans la coquille, comprend les appareils digestif, respiratoire, circulatoire, excréteur et reproducteur.

- Organisation générale des patelles**
1. Tête
 2. Pied
 3. Masse viscérale
 4. Manteau
 5. Coquille
 6. Lèvre entourant la bouche
 7. Tentacules
 8. Œil
 9. Branche
 10. Cavité palléale
 11. Papille sensible

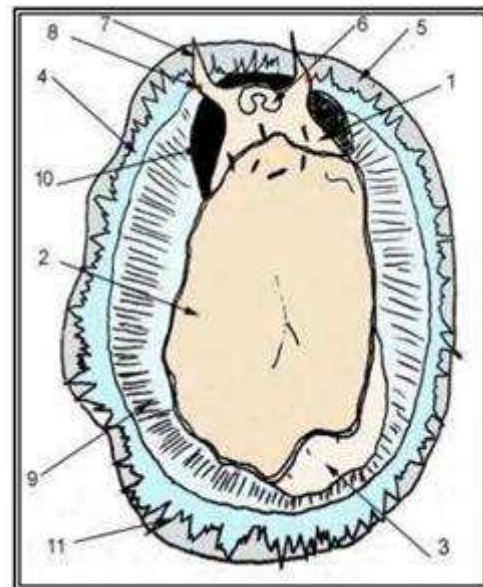


Figure 4 : Morphologie de *Patella sp.*

1.5.4 Respiration

Dans la sous-classe des prosobranches, les branchies se situent dans la cavité palléale, et ont une forme de cercle continu situé sous le rebord du manteau. Quand les patelles 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 Mc Quaid, 1989**).

1.5.5 Nutrition

La patelle est un brouteur herbivore qui consomme des micro-algues et les débris divers qu'elle racle sur les rochers environnants avec sa radula (**Nakhlé, 2003 ; Rozič et al., 2014**), puis retourne à sa place pour les digérer (c'est le comportement de "homing") (**Boudouresque, 2005**). La jeune larve se nourrit généralement d'algues microscopiques jusqu'à sa métamorphose et sa fixation.

La radula est une multitude de petits denticules d'une substance dure (scléroprotéine) imprégnée de minéraux et disposées sur un ruban souple, qui est animée d'un mouvement de va et vient par des muscles du bulbe buccal (**Nakhlé, 2003**). Elle est caractéristique de tous les mollusques gastéropodes (**Davies, 2005**).

Elle est caractérisée par trois dents latérales, dont une la plus extérieure est tricuspide, et par trois dents marginales (**figure 5**).

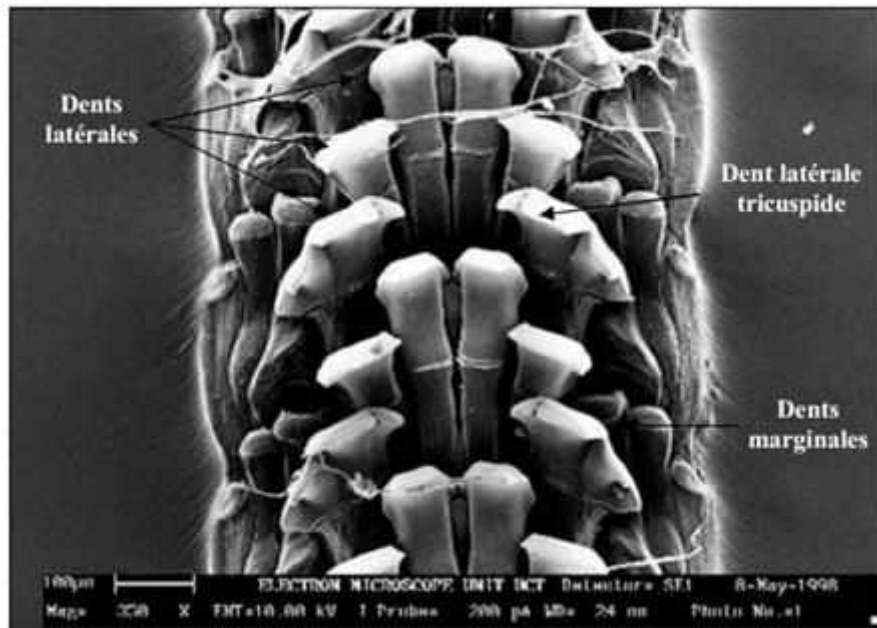


Figure 5 : Microscopie électronique de la radula de *Patella sp* (Nakhlé, 2003).

1.5.6 Reproduction

D'après la littérature, les patelles sont des hermaphrodites protandres, c'est -à-dire qu'elles sont d'abord males et changent de sexe pour devenir femelles (Nakhlé, 2003). Les gamètes mâles et femelles sont émises conjointement et la fécondation a lieu en pleine eau et donnent naissance à des larves véligères qui mènent une vie planctoniques durant quelques jours (Nakhlé, 2003, Rozič et al., 2014).

Après la métamorphose, les jeunes patelles de sexe male commencent leur vie benthique et changent de sexe dès la deuxième ou la troisième année d'âge (Rozič et al., 2014). La reproduction a lieu en automne ou au début de l'hiver (de septembre à janvier) (Nakhlé, 2003).

1.6 L'utilisation de *Patella sp* dans la bio surveillance environnementale

Pendant les deux dernières décennies, l'intérêt porté aux bio-indicateurs pour la surveillance et l'évaluation de la pollution environnementale par les métaux lourds a fortement augmenté (**Stancovic et Stancovic, 2013**). Ces derniers ont tendance à donner une meilleure estimation de la biodisponibilité des contaminants métalliques dans les écosystèmes marins (**Rainbow, 1995**).

Les mollusques, à savoir les moules, ont été utilisés pour estimer la qualité des écosystèmes côtiers dans plusieurs programmes de surveillance, tel que le Réseau National d'Observation de la qualité de l'eau (RNO) en France et le Mussel Watch projet aux Etats-Unis (**Stancovic et Stancovic, 2013**).

Cependant on observe ces dernières années, une rareté voire une absence dans la distribution de cette espèce dans la partie Sud et Est de la Méditerranée. Ce changement résulte probablement de la destruction des habitats à cause du développement côtier, ou encore de l'interférence avec des espèces provenant de la mer Rouge (**Nakhlé, 2003**).

D'autres espèces marines, comme les algues, les gastéropodes, les poissons, les mammifères marins (phoque, otarie) et les oiseaux marins peuvent également être employés pour le bio-monitoring de la pollution marine, en raison de leur capacité de les absorber de l'eau, du sédiment, et de la chaîne alimentaire (**Nakhlé, 2003 ; De Mora, 2004 ; Jakimska et al., 2011, Zhang et al., 2012 ; Copat et al., 2013 ; Stancovic et Stancovic, 2013**).

En Méditerranée, où les bio-indicateurs déjà établis ne sont plus présents (Moules, poissons sédentaires...etc.), les patelles sont considérées comme organismes de remplacement (**Campanella et al., 2000**).

Les patelles présentent des caractéristiques lui conférant l'image d'un bon bio-indicateur en raison de :

- leur faculté d'accumuler des contaminants présents dans l'environnement ; en effet, des corrélations entre la concentration des métaux traces dans l'eau et dans les patelles ont été établies (**Pope et al., 1998**) ;
- leur large répartition géographique ; elles sont cosmopolites ;
- leur mode de vie sessile et euryhalin ;
- Facile à échantillonner et importants du point de vue économique et écologique, ainsi que la possibilité de travailler sur différentes classes d'âge ;
- Leur consommation par l'homme les présente donc vecteurs de contamination.

En Méditerranée, plusieurs travaux ont utilisé *Patella sp* comme bio-indicateur de la pollution métallique dans l'environnement marin. Le long des côtes Libanaises, (**Nakhlé, 2003**) et (**Nakhlé et al., 2006**) a analysé le cadmium, le plomb et le mercure dans les parties molles de *Patella sp*. En Grèce, la patelle a été sujette d'analyse de plomb et de zinc pour évaluer la haute charge potentielle en métaux due à l'exploitation historique des gisements adjacents de sulfure de Plomb et de Zinc (**Kelepertzis, 2013**).

D'autres études aussi, soit en Méditerranée ou dans le monde, ont utilisé les patelles comme bio-indicateurs de la pollution par les métaux lourds, à savoir en Turquie sur *Patella caerulea* (**Yüzereroglu et al., 2010**), au Royaume Unie sur la radula du *Patella vulgata* (**Davies et al., 2005**) et en France (**Connan et Tack, 2010**) et en Italie pour le suivi des teneurs en cadmium chez *Patella caerulea*.

En Algérie, peu d'étude ont utilisé *Patella sp* comme bio-indicateur. Seul l'exemple de l'étude faite par (**Benguedda-Rahal, 2012**) est disponible. Celle-ci a analyser le cadmium, le cuivre, le plomb, le zinc et le 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, aucune étude n'a été entreprise sur les patelles afin d'évaluer la pollution métallique.

ZONE D'ETUDE

2 ZONE D'ETUDE

2.1 Description géographique et présentation du site

La baie de Bou-Ismaïl (ex : Golfe de Castiglione) est située à l'ouest d'Alger. Elle est limitée par le mont Chenoua à l'ouest ($36^{\circ}37'N - 2^{\circ}24'E$) et le promontoire de Ras Acrata à l'est ($36^{\circ}48'N - 2^{\circ}54'E$). Elle a une superficie de 509 Km^2 , avec un linéaire de 58 Km. L'ouverture de la baie s'oriente selon un axe Nord-Ouest d'environ 48 Km (*in Bachari-Houma, 2009*).

Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d'El Djamilia, qui représente le quart oriental de la baie de Bou Ismaïl. C'est une baie relativement fermée, limitée à l'ouest par la presqu'île de Sidi Fredj et à l'est par Ras Acrata (**Figure 6**).

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes (*in Bachari-Houma, 2009*).

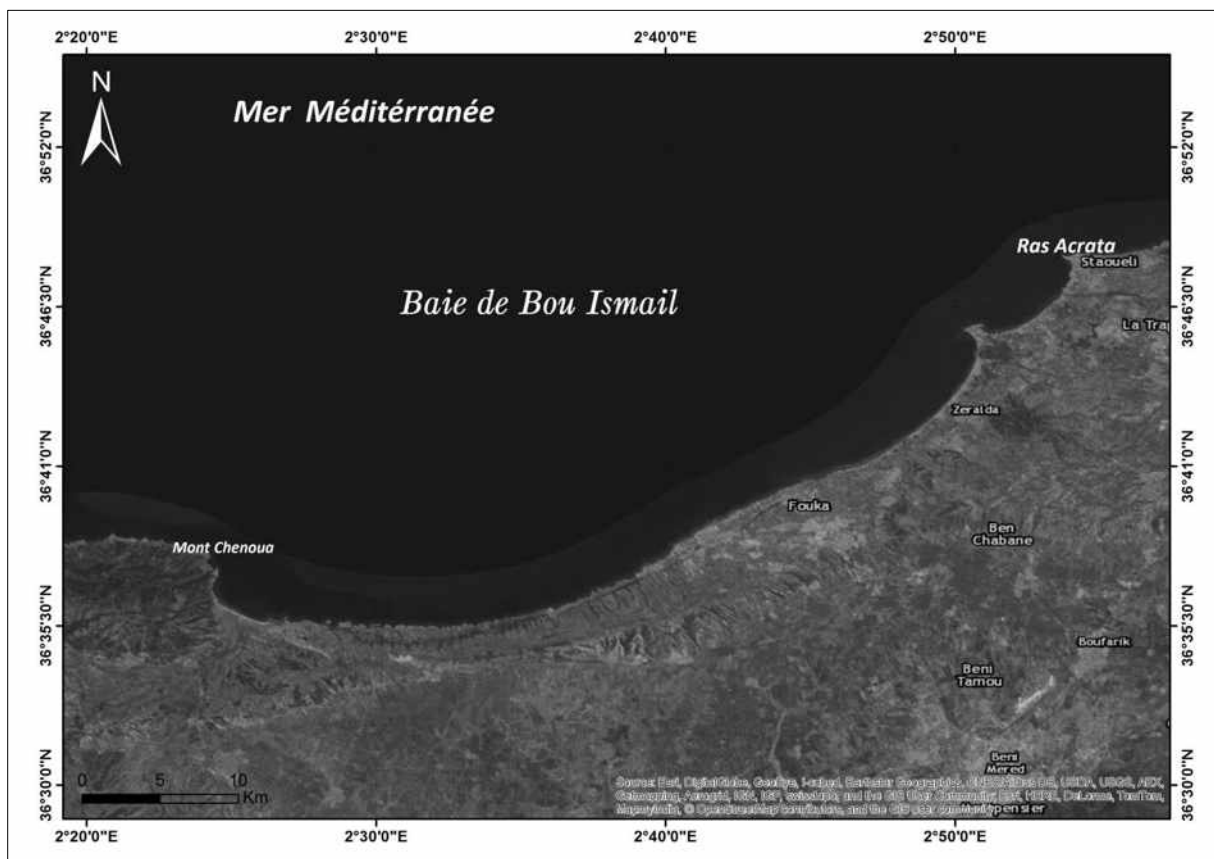


Figure 6 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.

2.2 Climat

L'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen, mais avec une grande variété de climats régionaux qui sont essentiellement dus à la situation géographique et orographique de ce pays.

Dans la baie de Bou-Ismaïl, l'alternance de brise de mer fraîche et humide et de brise de terre chaude et sèche laisse apparaître des hivers doux (12°C minimum) avec une pluviométrie relativement importante et des étés modérément chauds (25,6°C maximum) et marqués par une période sèche en juillet-Aout, Office National Météorologique (**ONM, 2010**).

2.3 Réseau hydrographique

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier avec un apport des formes dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigène. Trois principaux oueds déversent dans la baie : Oued Nador à l'ouest, Oued Mazafran au centre et Oued Beni-Messous à l'est (**Figure 7**).

2.3.1 Oued Mazafran

Il possède un bassin versant de 1850Km², c'est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie (**Braïk, 1989**). Il est formé des oueds : Chiffa, Djer et Bouroumi qui débouche au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda et Zeralda avec un débit moyen d'environ 7.566 m³/s.

Le régime hydrographique de ce oued est caractérisé par son long étiage qui débute de juin jusqu'à début Décembre avec un débit de 17.38% représentant le débit liquide annuel. Entre Décembre et Avril, ces débits sont de 82.61%, Agence National des Ressources Hydrauliques (**A.N.R.H, 2003**).

2.3.2 Oued Nador

Situé dans la partie occidentale de la baie, il a un bassin versant d'une superficie de 200 à 300 Km² drainé par un réseau d'affluents : oued Bou-yersen et oued Bou-Ardon qui débouche entre Djbel Chenoua et Tipaza. Son débit liquide est de 28 millions m³/an. (**A.N.R.H, 2003**).

2.3.3 Oued Béni-Messous

Il est situé entre El-Djamila et Club des Pins à 18 Km à l'ouest d'Alger. Il prend naissance dans le massif de Bouzaréah, traverse les communes de Béni-Messous et de Chéraga au nord, et débouche enfin au niveau d'une plage appelée « Les Dunes ». Il a un débit faible comparé aux oueds précédemment cités, il est estimé à $0.245\text{m}^3/\text{s}$. (A.N.R.H, 2003).

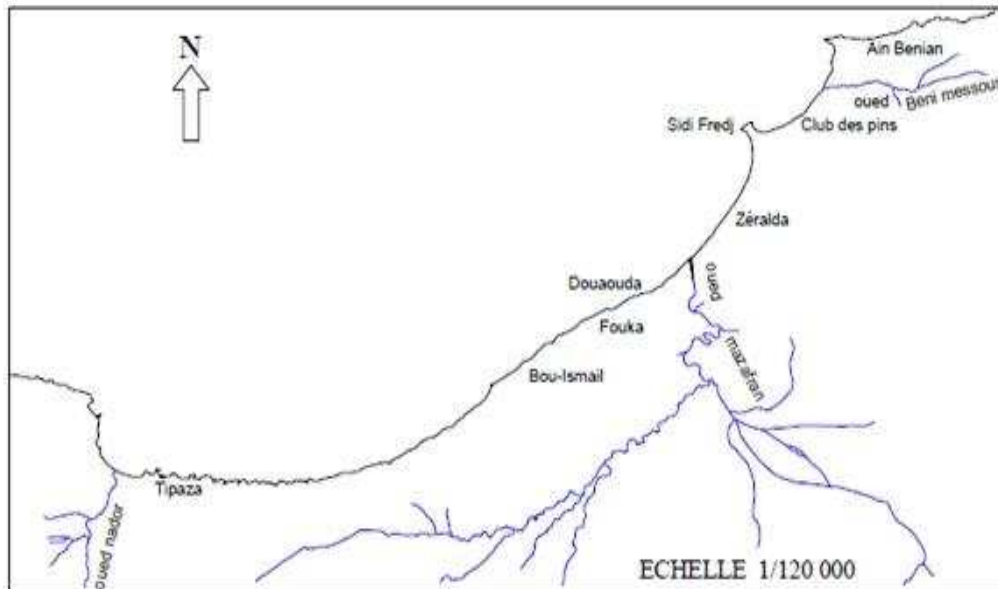


Figure 7 : Réseau hydrographique de la baie de Bou-Ismaïl.

2.4 Sédimentologie

L'analyse des sédiments de la baie de Bou Ismaïl a permis de mettre en évidence une grande diversité des fonds de cette baie, neuf faciès ont été identifiés à savoir : les sables fins, les sables envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux (Figure 8).

La répartition de ces faciès n'est pas identique en tout point de la baie. Ainsi deux régions apparaissent : la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologique propres (Dagorne, 1973 ; Belkessa, 1999).

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou Ismail. Les vases sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés le sont dans la région Est. Le faciès des sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux n'est présent que dans la région orientale; les sables graveleux se limitent au secteur oriental. (L.E.M, 1998).

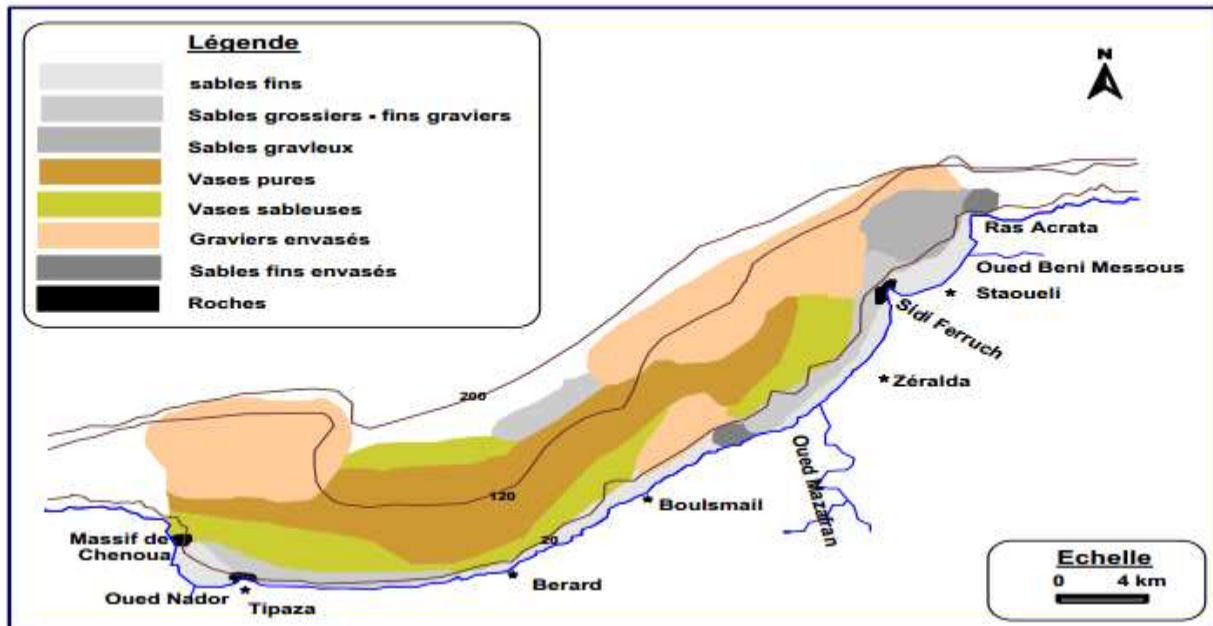


Figure 8 : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).

2.5 Courantologie

Les côtes algériennes sont plus ou moins influencées par le courant Algérien, il est défini comme une veine d'eau de surface près du méridien 0°, qui agit sur la distribution des facteurs physico-chimiques, nutritifs, biologiques ainsi que la dispersion des polluants.

La vitesse du courant général des eaux atlantiques de Gibraltar vers l'Est reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s, au large des côtes algériennes. Ce courant général crée dans la plupart des baies un contre-courant littoral vers l'ouest (LEM, 1998 ; Benzohra, 1993 in Bachari-houma, 2009).

Des tourbillons cyclonique et anticyclonique dérivent vers l'est le long de la côte algérienne à une vitesse de quelques cm/s. Les tourbillons anticycloniques, qui ont une signature sur toute la hauteur de la colonne d'eau, grandissent et atteignent des diamètres de l'ordre de 100 km (**Millot, 1994**). Ils peuvent se détacher du courant et dériver vers le large dans le bassin algérien à environ 3°E. Ils forment alors des tourbillons quasi-stationnaires, de diamètre d'environ 200 km, identifiables pendant des périodes de plusieurs mois (**Taupier-Letage et Millot, 1988**).

Le courant de retour, correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage (*in* **Bachari-Houma, 2009**).

Des courant de la dérive littorale parallèle au rivage, se manifeste dans la zone de déferlement des vagues. La houle arrive à la côte avec une incidence oblique, elle donne naissance à un courant de dérive littorale (**L.E.M., 2005**).

2.6 Les sources de pollution dans la baie de Bou-Ismaïl

La région de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole. Sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas, et qui s'accroissent en période estivale.

Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds, qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels (**Figure 10**), (**L.E.M., 1998**).

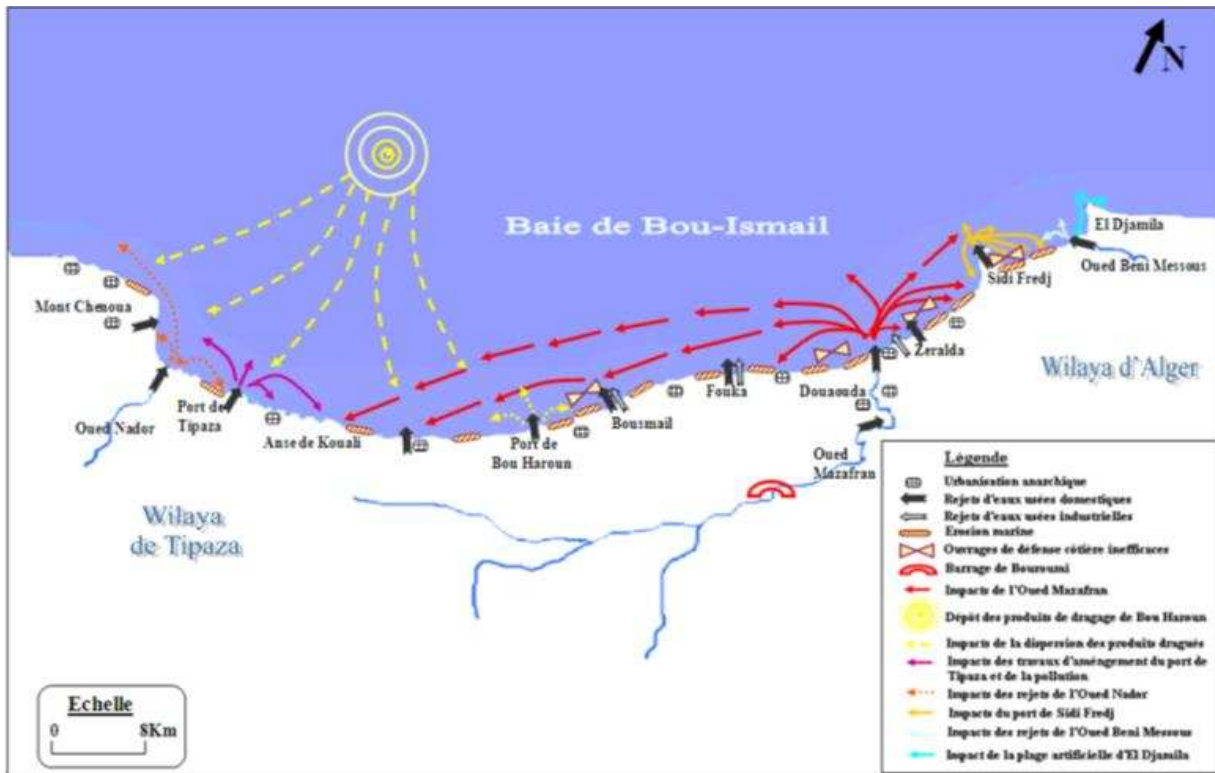


Figure 9 : Cartes des pressions naturelles et anthropiques dans la Baie de Bou-Ismaïl

(Belkessa et al., 2008 ; AISid Chikhet al., 2009).

Il faut signaler que la baie de Bou Ismaïl est sujette à une pression démographique, à une extension de l'urbanisation et à l'installation de plusieurs unités industrielles, qui rejettent une charge polluante qui est en perpétuelle augmentation en quantité qu'en qualité (**Tableau II**).

Tableau II : Les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (M.A.T.E, 2006).

Dénomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution générée
Sarl Resiteck	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds, huiles et lubrifiants
Alufer	Métallurgie	Chutes d'Aluminium et poussières de Fer
Aluminal		
SARL Prochimal	Fabrication de produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimiques ; rejets de savons, agent de lavage et rinçage caractérisé par une teneur élevée en savons saponifiés et en DBO
Plastram	Transformation Plastique	Eaux de nettoyage
PFIZER	Fabrication des produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
Imprimerie SHELLIA	Utilisation importante d'encre	Déversement des encres avec les eaux domestiques
TONIC Emballage	Fabrication de boîte, gobelets, emballage de différentes dimensions	Rejet d'eaux usées domestiques + Chutes de cartons, papiers
TERRA Céramique	Production de céramiques et poteries	Lessivages d'argiles vers la mer
Autres unités :		
KN Mine Matelot	Eurl CCNBH	Sarl SAFCF Poterie
CPKD	La sahelienne	Sarl Fouka Emballage Touhami
ECOREP	Sarl SOAL BIC	Sarl Roxal
Sarl Irsal	Société Algérie Lumière	Sarl Castihygiene
Céréales d'or	Intrace	Céramique Hyppocampe

MATERIELS

ET

METHODES

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Travaux effectués en mer

3.1.1 Choix et localisation des stations de prélèvement

La considération des interactions entre la structuration des peuplements et les facteurs anthropiques, en particulier les sources de pollution, constituent un élément fondamental de notre stratégie d'échantillonnage.

Quatre stations ont été choisies, selon le degré de pollution, deux stations sont situées dans des zones qui reçoivent des apports anthropiques (Port de Bouharoune, Front de mer Bou Ismail) et les deux autres stations sont situées dans des zones considérées comme non polluées (Anse de Koali, Ain Tagourait).

Le Port de Bouharoune est situé au centre de la baie de Bou-Ismaïl à 40 Km à l'ouest d'Alger. Il a une superficie totale de 30.000m². Dans le port la qualité des eaux des bassins du port est infectée par le rejet des eaux usées, des peintures, des hydrocarbures et des macro-déchets flottants (**Figure 18, annexe 1**).

Le Front de mer Bou-Ismaïl est soumis à des rejets domestiques non traités préalablement ainsi qu'au rejet 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 19, annexe 1**).

L'Anse de koâli se situe au niveau de la baie de Bou Ismaïl, à environ 70 Km à l'ouest d'Alger. Il est classé réserve naturelle est considéré comme étant l'une des plus importantes criques de la région. Il est soumis qu'à des rejets sporadiques, essentiellement en période estivale (**Figure 20, annexe 2**).

Le site d'Ain Tagourait (ex-Bérard) située dans la baie de Bou-Ismaïl, à environ 50 Km à l'Ouest d'Alger. C'est une zone caractérisée par une activité agricole traditionnelle sans engrais chimiques (agriculteurs de la région) et une activité conchylicole. Des rejets urbains issue des quelques maisons du douar Mehieddine se déversent directement en mer (**PAC, 2005**).

Trois sorties sur terrain ont été organisées pour le prélèvement des patelles. La première sortie a été effectuée le 11/05/2014, deuxième sortie le 18/05/2014.

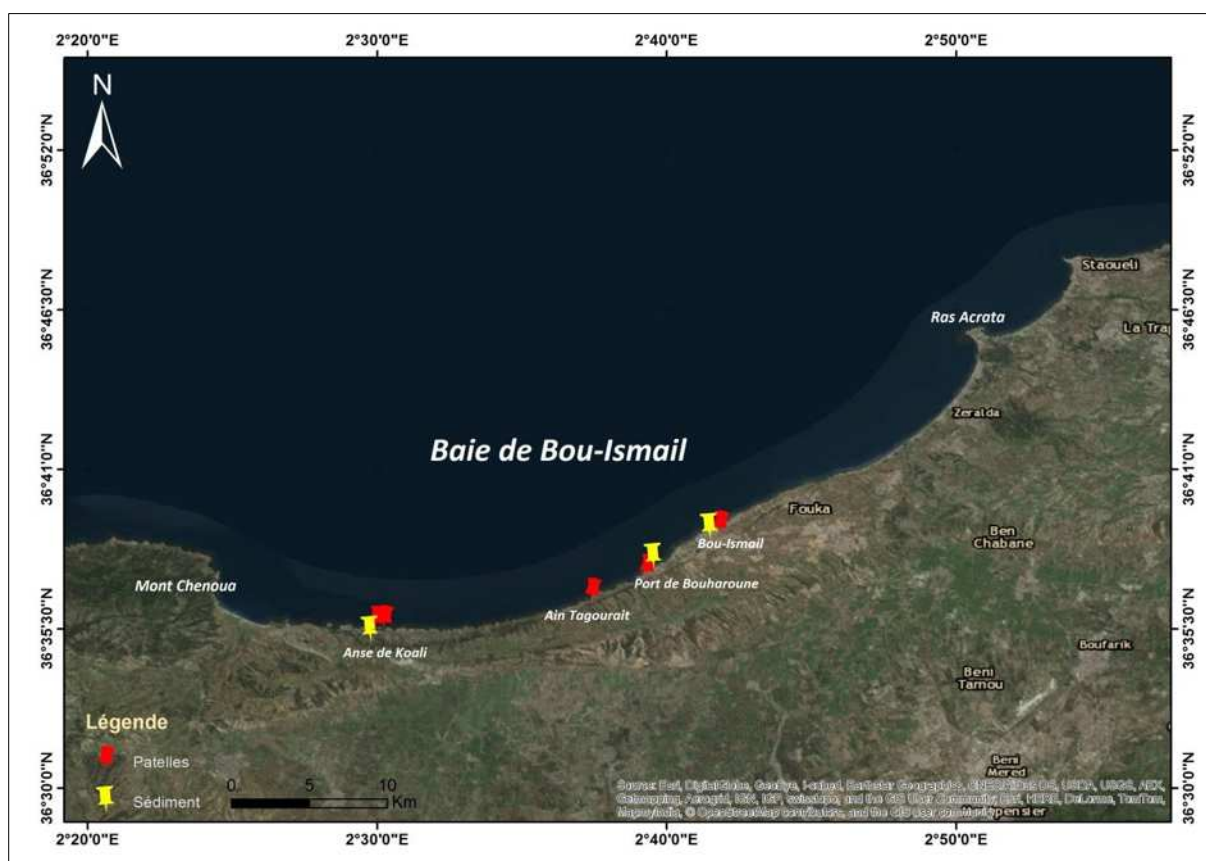


Figure 10 : Positionnement des stations de prélèvement au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

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 HANNA, référence HI 9828 multiparameter.

3.1.2 Echantillonnage

3.1.2.1 Récolte des patelles

Le prélèvement des patelles s'est effectué au niveau de l'étage médiolittoral sur une ligne horizontale de 20m, à l'aide d'un couteau en inox et Gants à la main pour éviter toute contamination. La taille des patelles ciblées est comprise entre 25 et 35 mm. Les patelles détachées soigneusement sont nettoyées avec une brosse en nylon afin d'éliminer le sédiment et les impuretés puis rincées avec de l'eau de mer.

Puis, elles sont placées dans des sachets en plastiques étiquetés et transportés au laboratoire dans une glacière à 4°C. Elles ont été conservés au congélateur jusqu'à la dissection et la minéralisation.

3.2 Travaux effectués au laboratoire

3.2.1 Conditionnement du matériel utilisé

Afin d'éviter les contaminations, tout instrument et verrerie utilisé sont minutieusement nettoyés et conditionnés avant chaque utilisation selon le protocole suivant :

- Lavage aux détergents commerciaux ;
- Rinçage avec de l'eau courante (eau du robinet) ;
- Rinçage à l'eau bidistillée 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 en téflon et à 40°C pour le matériel en polyéthylène et en matière plastique ;
- Rinçage à l'eau acidulée à 10% préparée à partir d'acide nitrique (HNO₃) concentrée à 68% ;
- Rinçage à l'eau bidistillée ;
- Séchage a l'étuve.

3.2.2 Prétraitement des patelles

Après décongélation, à l'aide d'un scalpel en inox, la partie molle de chaque individu est détachée de sa coquille et pesée puis mise dans un pilulier en verre. D'un lot de 15 individus issus de chaque station, la radula est détachée, pesée puis mise dans un pilulier en verre. Les paramètres biométriques de la coquille de chaque individu : longueur, largeur et hauteur ont été mesuré, avec un pied à coulisse de 0,01 mm de précision. Le poids de la coquille est déterminé. (**Figure 21, annexe 1**).

L'indice de condition (IC), qui est un indice biométrique qui est couramment utilisé en conchyliculture pour rendre compte de l'état physiologique du mollusque, a été calculé pour chaque individu comme le rapport entre le poids sec du tissu mou divisé par le poids de la coquille.

3.2.3 Lyophilisation

Les échantillons des patelles congelés ont été passés au lyophilisateur (**Figure 22, annexe 2**) de type CHRIST pendant 48 heures sous vide (10^{-1} bar) 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 Joanny, 1983**).

3.2.4 Broyage

La chair des patelles lyophilisée est broyée à l'aide d'un broyeur automatique en acier inoxydable jusqu'à l'obtention d'une poudre fine (**Figure 23, annexe 2**). Cette dernière est récupérée dans des piluliers en plastiques et stockée dans un endroit sec (Dessiccateur en présence de gel de silice activé).

3.2.5 Homogénéisation

Pour une répartition uniforme des métaux lourds au sein des particules sédimentaires et de prélever ainsi une quantité de sédiment représentative de l'échantillon, l'homogénéisation se fait avant minéralisation par agitation manuelle.

3.3 Extraction des métaux traces

3.3.1 Principe de la digestion ou la minéralisation

La digestion consiste à libérer les différents métaux bio-accumulés par la partie molle des patelles par extraction et mise en solution. La minéralisation a été effectuée par attaque acide à chaud et sous pression. Cette combustion par voie humide est selon **Pinta (1979)** une méthode ayant l'avantage de donner des résultats précis et de supprimer certaines sources d'erreurs dues à la déperdition de composées volatiles organométalliques en cours de séchage.

3.3.2 Le protocole expérimental

Le protocole décrit est celui adopté par (Charlou et Joanny, 1983) et (I.A.E.A, 2001). Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

3.3.2.1 Minéralisation à blanc

Avant l'utilisation des godets, on procède à une minéralisation à blanc. Un volume de 4 ml d'acide nitrique (HNO_3) à 69% est mis dans chaque godet à téflon puis ce dernier est fermé hermétiquement. Après une nuit à température ambiante, 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 rincés à l'eau bi-distillée et séchés à l'étuve.

3.3.2.2 Minéralisation de l'échantillon biologique

Selon le protocole décrit par l'A.I.E.A (2001), la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon. Un poids de 0.5g de chair ou 0.25 g de radula lyophilisé de patelle est pesé. Un volume de 5ml d'acide nitrique (HNO_3) à 69% est rajouté puis les godets sont fermés hermétiquement avec des pinces.

Les échantillons sont laissés à température ambiante pendant une nuit, puis mis sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min (**Figure 24, annexe 2**).

Les échantillons sont laissés à refroidir avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement. Après ouverture des godets, les minéralisâtes sont transférés dans des tubes coniques en polypropylène de 50 ml, et les godets sont rincés à l'eau bi-distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages toujours dans les tubes en polypropylène. Le volume est ajusté jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bi-distillée. Un blanc est inséré avec chaque série d'échantillons biologiques. On met 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 du dosage pour éviter toute perte et contamination (A.I.E.A, 2001).

3.4 Analyse des métaux traces

3.4.1 La spectrophotométrie d’Absorption Atomique

Bien qu’en théorie rien ne s’oppose à une absorption d’une lumière convenablement choisie par les atomes, la mise au point d’une méthode de dosage fondée sur ce principe a présenté beaucoup de difficultés et ce n’est qu’en 1955 qu’elle a été réalisée par Walsh (**Hamon et al., 2002**).

La spectrophotométrie d’absorption atomique est une technique d’analyse quantitative, fondée sur le phénomène d’absorption de radiations lumineuses par des atomes libres. Elle est largement appliquée (**Forstner et Salomons, 1980**), simple et très documentée (**A.I.E.A, 2001**), bien adaptée (**Boust, 1981**) et recommandée pour l’analyse des métaux lourds (**Asso, 1982**).

3.4.2 Principe de la Spectrophotométrie d’Absorption Atomique

La spectrométrie d’absorption atomique consiste à porter les éléments à leur état atomique sur le trajet même d’un rayon lumineux, et à effectuer simultanément une mesure de l’absorption à une longueur d’onde spécifique aux atomes formés (**Perkin, 1976**). La proportionnalité entre l’absorbance et la concentration permet de calculer les teneurs dans les échantillons.

La formation d’atomes neutres peut être réalisée de deux manières différentes, soit par vaporisation et atomisation dans une flamme air/acétylène (2200°C), soit par séchage, pyrolyse et atomisation dans un four en graphite dont la montée en température est progressive (3000°C maximum).

Le procédé à la flamme, le moins sensible, est employé pour déterminer Cu, Zn, Fe dont les teneurs dans les tissus des organismes marins sont relativement élevées.

Le procédé du four en graphite, est utilisé dans le cas de Pb et Cd.

3.4.3 La loi de Beer – Lambert

L'intensité de l'absorption dépend directement du 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 traversée et à la concentration des substances absorbante de la solution (**Audigié et al., 1985a**).

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot L \cdot C} \quad \dots (1)$$

En pratique, l'absorbance (A) peut être appréhendée par la variation de l'intensité lumineuse à travers la chambre d'atomisation de l'élément à doser. La lecture s'effectue en absorbance (A) ou en densité optique (DO) :

$$A = DO = \log I/I_0 = \epsilon \cdot L \cdot C \quad \dots (2)$$

Où

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

I₀: 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).

3.4.4 Appareillage

L'appareil utilisé est un Perkin Elmer® AAnalyst 700 (**Figure 11**), 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.

Les parties les plus importantes du Spectrophotomètre d'Absorption Atomique sont :

1. Source de radiation.
2. Dispositif de transformation de l'échantillon en atomes libres.
3. Un ensemble de mesure du degré d'absorption de la radiation.



Figure 11 : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique Perkin Elmer AAnalys 700.

3.5 Conditions expérimentales

3.5.1 Calcul des concentrations des métaux traces

La concentration du métal dans l'échantillon minéralisé est obtenue à partir de la droite d'étalonnage par une régression linéaire aux moindres carrés. Les droites d'étalonnage ne sont pas données dans ce manuscrit ; en effet l'analyse des métaux lourds a été effectuée à l'ONEDD et les concentrations ont été directement données en milligramme par litre (mg/l).

3.5.1.1 Calcul du poids corrigé de l'échantillon biologique

La chair des patelles après lyophilisation piègent un certain nombre de particules d'eau due à la période qui sépare la lyophilisation et l'analyse. Par conséquent, les poids pesés ne sont pas les vrais poids secs, pour cela le calcul du taux d'humidité afin de pouvoir corriger ces poids et avoir les poids secs réels semble indispensable.

Le calcul se fait par l'application de la formule suivante (A.I.E.A, 2001) :

$$A = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad \dots (3)$$

Où :

A : Taux d'humidité (%),

P1 : Poids de la coupelle vide + le poids de l'échantillon dans la coupelle (g),

P2 : Poids de l'échantillon dans la coupelle après 24 heures à 105 °C (g).

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

$$Pc = P - \left(\frac{A}{100} \times P \right) \quad \dots (4)$$

Où :

P_c : Poids de l'échantillon corrigé (g),

P : Poids de l'échantillon pesé pour la minéralisation (g),

A : Taux d'humidité (%).

3.5.1.2 Détermination de la concentration au niveau de la patelle

La concentration du métal dans l'organisme est calculée selon la formule suivante (Asso, 1982) :

$$\boxed{C_{ps} = \frac{(C_c - C_b) \times V}{P_c}} \dots (5)$$

Où :

C_{ps} : Concentration du métal en poids sec (µg/g).

C_c : Concentration du métal présent dans l'analyte (µg/ml).

C_b : Concentration du métal présent dans le blanc (µg/ml).

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

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

RESULTATS
ET
DISCUSSIONS

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Résultats des paramètres physico-chimiques

Afin de déterminer la qualité de l'eau de mer dans les stations retenues, une étude des paramètres physico-chimique a été effectuée. Le récapitulatif de cette étude se résume dans le tableau III.

Tableau III: Paramètres physico-chimique des eaux de stations d'étude.

paramètres	Stations			
	Anse de Koâli	Ain Tagourait	Port Bouharoune	Bou-Ismaïl
Température °C	19,2	19,7	20,1	17,6
Salinité ‰	37	36,8	36,85	37,16
Oxygène dissous mg/l	ND	ND	3,12	3,69
pH	8,1	8,14	7,95	7,99

ND : non déterminé

Les résultats montrent que :

- Les valeurs de la température sont comprises entre 17.6 °C et 20.1 °C, d'une façon général les valeurs enregistrées reflètent la période saisonnière en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques (**Rouibah et al., 2005**). Donc les valeurs obtenues sont influencées par celles de l'air.
- Le taux de salinité varie de 36,8‰ à 37,16‰ au niveau des stations. Ces variations demeurent très faibles.

- Les teneurs de l'oxygène dissous sont de 3,12mg/l et 3,69mg/l au niveau du Port de Bouharoune et de Bou Ismail, respectivement. Ceci s'expliquerait par la consommation d'oxygène pour la minéralisation de la matière organique, issue en quantités importantes des rejets domestiques et industriels, qui se déversent dans ces zones sans aucun traitement.
- Le *ph* mesuré à l'Anse de Koâli et Ain Tagourait (8,1 et 8,14, respectivement) est proche de la valeur moyenne des eaux méditerranéennes qui est de 8.2 (Aminot et Kérouel, 2004). Alors que les valeurs recensées au Port de Bouharoune et à Bou-Ismail sont inférieures à 8, elles sont de l'ordre de 7,95 et 7,99 respectivement. Elles témoignent de la présence d'une oxydation de la matière organique intense, issue des rejets urbains et industriels, ce qui va enrichir le milieu en proton, donc diminution du *ph*.

4.2 Les teneurs en métaux traces

L'analyse des concentrations de trois métaux traces à savoir le cuivre, le zinc et le plomb chez *Patella sp*, durant cette étude, a permis d'évaluer le niveau de contamination du biote dans les différents sites de la baie de Bou-Ismail, et cela dans son habitat naturel.

Les teneurs mesurés au niveau de la chair et la radula de ce bio-indicateur tout au long de la baie, sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau IV : Teneurs en métaux lourds dans la patelle de la baie de Bou-Ismaïl ($\mu\text{g/g p.s.}$).

Station	Cuivre		Zinc		Plomb	
	Chair	Radula	Chair	Radula	Chair	Radula
Port de bouharoune	12,60	13,16	49,21	32,83	44,07	111,04
Bou-ismaïl	19,44	11,89	36,88	19,03	21,50	172,60
Ain Tagourait	9,13	Non faite	30,41	Non faite	12,73	Non faite
Anse de koâli	6,60	9,35	25,31	19,98	0	105,65

Les différentes variations des concentrations de ces métaux par rapport à chaque station d'échantillonnage ainsi que leurs variations par rapport à la partie ciblée, qui est soit molle (chair) ou solide (radula), sont illustrées dans ce qui suit.

4.2.1 Variations des concentrations en métaux traces

4.2.1.1 Cuivre (Cu)

Les variations des concentrations du cuivre en fonction des sites d'études (Figure 12), dans la chair et la radula (Figure 13) sont illustrées dans les graphes ci-dessous :

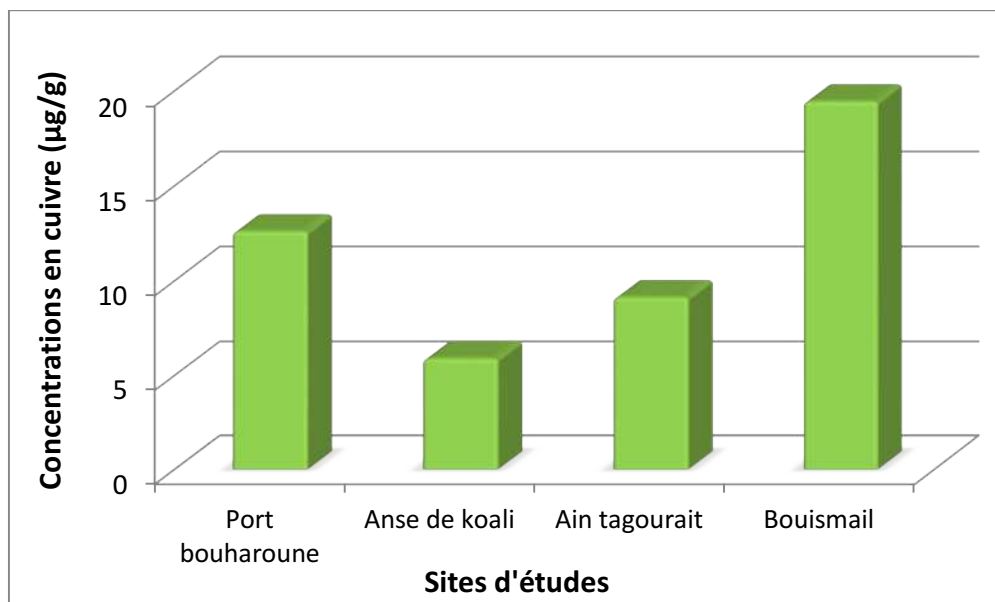


Figure 12 : Variation du Cuivre chez la patelle au niveau de différentes stations.

Les concentrations du cuivre observées varient de $5,9\mu\text{g/g}$ à $19,44\mu\text{g/g}$. Le maximum est noté au niveau de Bou-Ismaïl alors que le minimum est obtenu à l'Anse de koâli, qui est considérée comme une zone de référence.

Ces différences seraient le résultat d'une pollution déduite lors de la mesure de l'oxygène et du pH, au niveau de Bou Ismaïl ainsi que le port de Bouharoune, due aux rejets industriels et urbains qui déversent en grandes quantités au niveau de ces zones. L'Anse de koâli, qui est considérée comme une zone saine est loin de toute agression anthropique, ce qui est confirmé par une faible accumulation de cuivre.

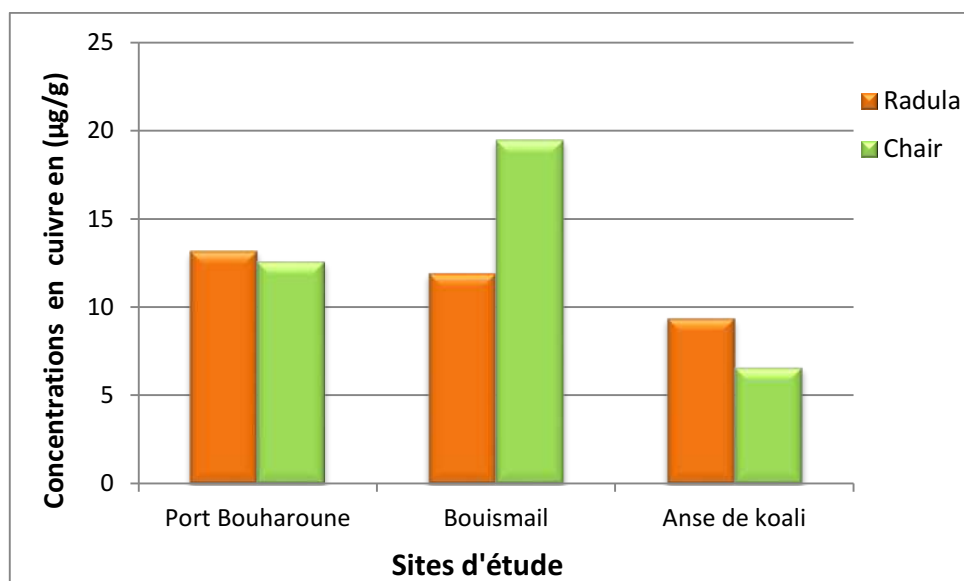


Figure 13 : Variation du Cuivre en fonction de l'organe.

Les taux du cuivre enregistrés au niveau de la radula présentent un gradient croissant allant de l'anse de koâli au port de Bouharoune avec $9,35\mu\text{g/g}$ et $13,16\mu\text{g/g}$, respectivement. On a constaté que les taux d'accumulation du cuivre dans la radula et la chair sont presque proches, avec $13,16\mu\text{g/g}$ et $12,6\mu\text{g/g}$, respectivement au niveau du Port de Bouharoune. Alors qu'à Bou-Ismaïl, il est nettement supérieur au niveau de la chair avec $19,44\mu\text{g/g}$ et inférieur à l'anse de koali avec $6,6\mu\text{g/g}$.

D'après ces résultats, les stations qui font objet de rejets industriels et domestiques, à l'instar du port de Bouharoune et Bou-Ismaïl, présentent les taux les plus élevés soit au niveau de la chair soit au niveau de la radula.

Le cuivre, qui est un métal essentiel intervenant dans les processus métaboliques (**Erdogan, 2009**), est rejeté en excès dans ces zones sous formes particulières. Les conditions du milieu favorisent la présence des formes ioniques (**Chiffolleau, 2001**), après dissociation, qui vont être bio disponibles et passent à l'organisme par voie cutanée.

Le cuivre a été signalé auparavant dans la radula de *Patella sp*, et lui a été suggéré d'être impliqué dans la réticulation enzymatique du composants organiques (**Davies et al., 2005**).

4.2.1.2 Zinc (Zn)

Les variations des concentrations du zinc en fonction des zones (Figure 14), dans la chair et la radula (Figure 15) sont illustrées par les histogrammes suivants :

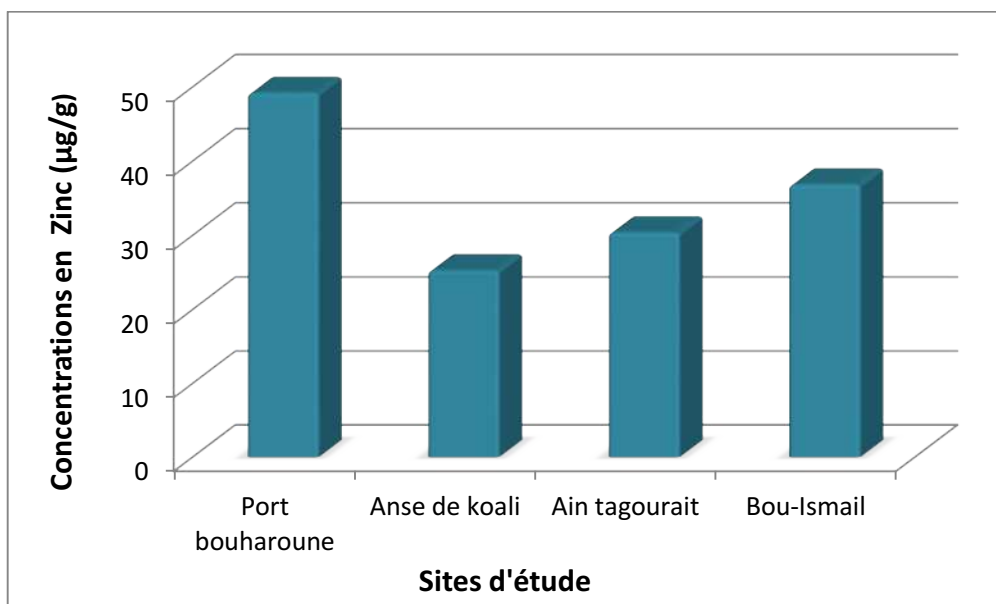


Figure 14 : Variation du Zinc chez la patelle au niveau de différents stations.

Les concentrations du zinc sont importantes et variables au niveau des stations étudiées. La teneur la plus élevée est constatée au niveau du port de Bouharoun avec une valeur de 49,21 µg/g, tandis que la valeur minimale est observée à l'Anse de koali avec 25.31 µg/g.

Le zinc est un métal essentiel pour les processus métaboliques. Cette présence en excès se traduit par l'utilisation excessive des fertilisants en agriculture installées dans les terrains riverains de la baie de Bou-Ismaïl, et aux rejets domestiques non traités au préalable déversés tout au long de ces cotes ainsi à la combustion des bois des forêts voisines.

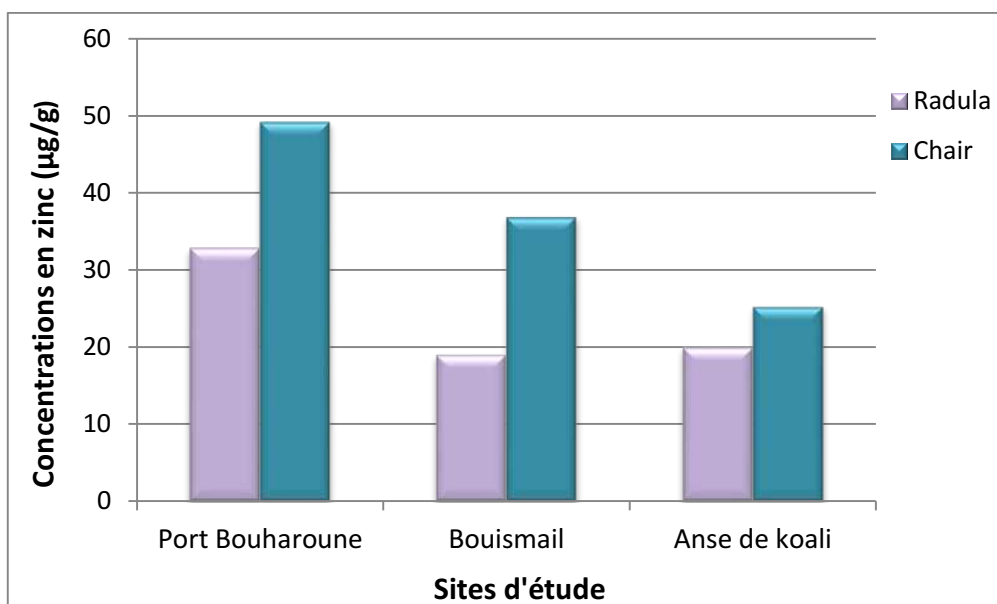


Figure 15 : Variation du Zinc en fonction de l'organe.

Le zinc, qui est un élément essentiel pour les activités enzymatiques, se trouve à des concentrations supérieures dans la Chair que la Radula.

L'enrichissement de la chair en zinc pourrait survenir par voie cutanée (forme ionique), ou bien par adsorption (forme solide) sur le mucus pédestre fixé sur le substrat rocheux et sur le film algal.

Le va et viens de la patelle au niveau de la même piste l'oblige à se nourrir des micro-algues déjà imprégnés par ce mucus, ce qui augmente le taux du zinc dans la chair de la patelle (Nakhlé, 2003).

Dans la radula, le zinc pourrait jouer un rôle dans la commande de la cristallisation d'oxyde de fer (Davies *et al.*, 2005).

4.2.1.3 Plomb (Pb)

Les variations des concentrations du plomb en fonction des sites d'études (Figure 16), dans la chair et la radula (Figure 17) sont illustrées dans l'histogramme ci-dessous :

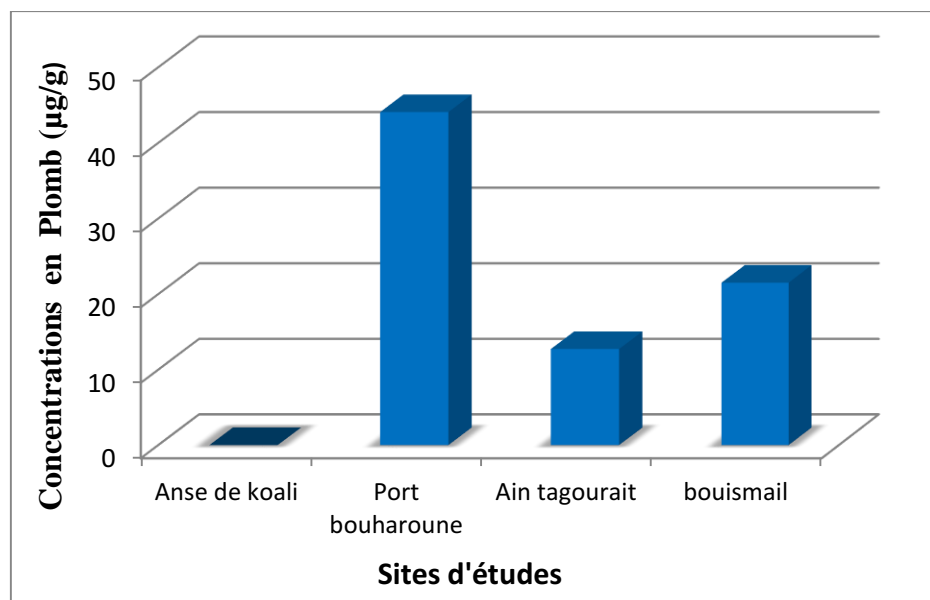


Figure 16 : Variation du plomb chez la patelle de différentes stations.

Les concentrations du plomb sont très variables dans les différentes stations, la plus élevée est de 44.07 µg/g au Port de bouharoune, suivi de Bou-Ismaïl avec 21.50 µg/g. La teneur du plomb au niveau de l'Anse de koâli est nulle.

Ces teneurs sont dues aux rejets des industries installées au niveau de cette baie, ainsi qu'à la circulation intense de l'automobile au niveau du Port de bouharoune et de Bou-Ismaïl.

La pénétration du plomb dans les cellules s'effectue par voie passive ou ingestion d'algues contaminées, accélère les taux de bioaccumulation. En effet, il y'a une proportionnalité avec les concentrations de l'eau environnante. Les concentrations du plomb sont répartis comme suit : Port de Bouharoune >> Bou-Ismaïl >> Ain Tagourait.

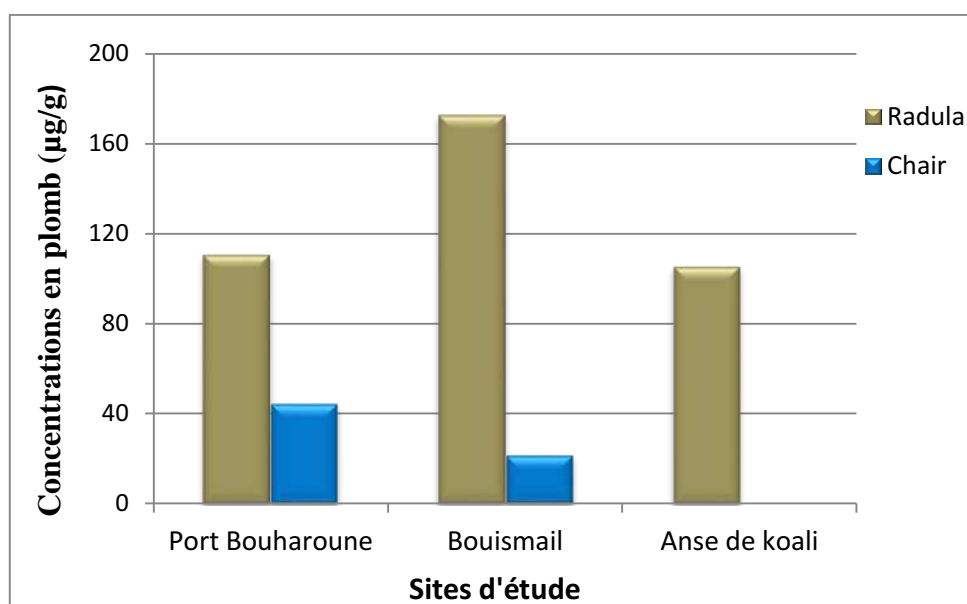


Figure 17 : Variation du plomb en fonction de l'organe.

D'après cette figure, on a remarqué que le taux d'accumulation est plus élevé au niveau de la radula que dans la chair, avec un maximum de 172.60 µg/g au niveau de Bou-Ismaïl, alors que le minimum est enregistré au niveau de l'Anse de koali.

Le plomb a été signalé à des concentrations élevées dans la radula et le mucus, dans plusieurs études, comparé à la chair (Davies et al., 2005). Elle jouait un rôle dans l'iono-régulation des quantités du plomb lors du contact. En effet, son entrée ne s'effectue que par une voie digestive, où il est retenu au niveau de la radula et non pas dans la chair. Il faut noter que ce métal est non essentiel pour l'organisme de la patelle (*Patella sp*).

4.2.2 Résultats d'indice de condition

L'indice de condition, est un indice biométrique (Tableau V), qui définit l'état biologique et sanitaire de la patelle. Cette dernière est considérée comme étant en bonne santé si l'indice de condition est égal à 1 (IC=1). Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V : Présentation des résultats de l'Indice de Condition.

	Poids de la coquille (g)	Poids sec de la chair (g)	Indice de condition
Port de bouahroune	2,0451	2,4966	1,12
Bouismail	2,2453	2,2117	1,11
Ain Tagourait	1,2004	1,3385	1,02
Anse de koali	0,88258	0,8639	0,98

Les résultats, obtenus lors d'estimation de l'indice de condition (IC), ont permis de constater que les patelles du port de Bouharoune, Bou-Ismaïl et d'Ain Tagourait sont en bonne Santé et en condition biologique satisfaisante. Tandis que pour les patelles de l'Anse de Koâli se trouvent en faible condition physiologique.

4.2.2.1 Comparaison des teneurs en métaux aux indices de condition

Les concentrations accumulées (C_a) du cuivre, du zinc et du plomb dans les stations étudiées sont données en fonction de l'indice de condition (IC) dans le tableau VI.

Tableau VI : Présentations des indices de conditions et des C_a du cuivre, zinc et du plomb.

Zone	Port de Bouharoun	Bou-Ismaïl	Ain Tagourait	Anse de Koâli
Indice de condition IC	1,12	1,11	1,02	0,98
Cuivre	12,60	19.44	9.13	6,60
Zinc	49,21	36.88	30.41	25.31
Plomb	44,07	21.50	12.73	0

D'après les résultats obtenus, on constate une légère différence entre les individus des différentes stations, avec la plus grande concentration accumulé qui se trouve à Bou Ismail et le port de Bouharoune. Celle-ci est liée à la bonne condition biologique des individus. On a obtenu un classement de l'indice de condition similaire à celui des concentrations accumulé ($IC \leftrightarrow C_a$), qui est comme suit : Port de Bouharoune > Bou-Ismaïl > Ain Tagourait > Anse de koâli.

4.3 Comparaison des teneurs en métaux lourds chez *Patella sp*

Les concentrations en métaux lourds obtenus chez *Patella sp* dans la baie de Bou-Ismaïl sont comparées à celles des patelles des côtes ouest Algériennes (**Benguedda-Rahal, 2012**), à celles des côtes grecques (**Kelepertzis, 2013**) ainsi que la région française (**Connan et Tack, 2010**).

Tableau VII : Comparaison des teneurs moyennes en métaux lourds chez la patelle dans la baie de Bou-Ismaïl avec d'autres sites sur la côte Algérienne et en méditerranée.

Stations	Cuivre ($\mu\text{g/g}$)	Zinc ($\mu\text{g/g}$)	Plomb ($\mu\text{g/g}$)
Baie de Bou-Ismaïl (présente étude)	6.60 – 19.44	25.31 – 49.21	0 – 44.07
Littoral extrême ouest algérien (Rahal, 2012)	0.52 – 4.38	13.55 – 34.35	0.036 – 4.86
Nord-est de la Grèce (Kelepertzis, 2013).	6 – 28	48 - 196	8 – 96
Nord cotentin, France (Connan et Tack, 2010)	4.3 - 4.9	46.5 – 66.8	0.9 – 1.3

Les résultats obtenus dans cette étude concordent avec les données obtenus dans des études antérieures faites auparavant dans la côte ouest Algérienne et en méditerranée dans la matrice biologique à savoir les patelles pour les teneurs en zinc. Alors que pour le cuivre et le plomb, les concentrations obtenues lors de cette étude dépassent de loin celles enregistrées ailleurs.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'objectif du travail était l'évaluation de la bioaccumulation des métaux lourds (zinc, cuivre et plomb) chez un mollusque gastéropode qui est *Patella sp*, récoltée de plusieurs zones dont certaines sont exposées à des apports anthropiques.

Les concentrations en métaux lourds à savoir le zinc, le cuivre et le plomb dans les patelles sont bien significatifs et représentatifs des zones étudiées. Les teneurs les plus élevées ont été retrouvées au niveau d'Ain Tagourait, Bou-Ismaïl et port de Bouharoun qui sont sujettes à des niveaux élevés d'anthropisation via les rejets domestiques et industriels, riches en contaminants métalliques. Alors que l'anse koâli, considérée comme une zone de référence, a présenté les taux les plus faibles en éléments essentiels (zinc et cuivre) et l'absence totale du plomb dans la matrice biologique.

Cette accumulation se fait préférentiellement dans la chair par rapport à la radula pour le zinc et le cuivre, par contre pour le plomb c'est la radula qui illustre les concentrations élevées. Ceci est lié au métabolisme de *patella sp* dont le zinc et le cuivre jouent un rôle comme des catalyseurs et dans le transport de l'oxygène à l'intérieur de l'organisme. En effet, le cuivre est incorporé dans l'*hémocyanine* (pigment respiratoire qui existe dans le sang des mollusques et des crustacés).

Les résultats du calcul de l'indice de condition témoignent de la bonne santé des individus échantillonnés au niveau de ces zones. La comparaison des teneurs en métaux lourds bio accumulés en fonction de l'indice de condition a révélé que le pouvoir accumulateur est lié à la bonne condition biologique de la patelle. L'effet de maladie qui augmente les taux d'accumulation et minimise les pouvoirs de détoxification chez *Patella sp* n'a été signalé dans cette étude.

Patella sp. Pourrait être considéré comme un bon indicateur biologique de l'environnement marin côtier vis-à-vis des polluants inorganiques à l'image des métaux lourds. Ce qui va modifier la stratégie d'utilisation des bio-indicateurs comme les moules qui sont en carence dans la région en faveur des patelles qui sont des organismes potentiellement interagissant.

L'exacerbation de la présence des quantités notables en plomb dans les patelles aux niveaux des environnements pollués, ajoutée à la consommation de ces derniers par l'homme peuvent contribuer à l'émergence des risques sanitaires au niveau communautaire.

En perspective à ce travail :

- Elargir l'investigation des contaminations en éléments traces métalliques (ETM) à l'ensemble des organes de *Patella sp.* en fonction de la taille et de la saison ;
- L'étude des ETM en niveaux des algues consommées par les patelles pour suivre l'évolution verticale de cette contamination, et déterminer ces origines ;
- Etudier l'effet de la contamination métallique au niveau cellulaire via les biomarqueurs pour suivre l'évolution des métaux à l'échelle intracellulaire.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

AL SID CHIKH, S et al. (2009). Diagnostic du littoral ouest algérois pour une gestion intégrée; The 5th International Symposium on sandy beaches, which will be held in Rabat. Morocco.

ALLOWAY, B.J et AYRES, D.C. (1997). Chemical principles of environmental pollution. London : Chapman & Hall. 395 p.

AMIARD, J.C. (2011). Les risques chimiques environnementaux, méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. Paris : Lavoisier. 782 p.

ASSO, A. (1982). Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule *Perna* (L), dans la région d'alger. Mémoire de magistère: Océanologie Biologique. 138 p.

ATSDR (1990). Toxicological profiles for copper. Agency for toxic substances and disease registry, Atlanta, GA: US department of health and human services, public health services.

BACHARI-HOUMA, 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.

BELKESSA, R. (1999). Causes et conséquences de l'érosion marine sur la cote Algérienne. *Revue symbiose*.

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. Tlemcen. 149 p.

BOUDOURESQUE, C.F. (2005). Excursion au Cap-Croisette (Marseille) : le milieu marin. 12^e éd. GIS Posidonie publication, Marseille. pp. 1-48.

BOUST, D. (1981). Les métaux traces dans l'estuaire de la Seine et ses abords. *Thèse de doctorat: 3^{ème} cycle en géologie*. 187 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRAIK, D. (1989).** Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou-Ismaïl. Sédimentologie-Morphologie-Problèmes d'érosion du littoral-Aménagement. *Thèse de magistère en géologie*. 174 p.
- CAMPANELLA, L et al. (2001).** Trace metals in seagrass, algae and mollusc from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental pollution*. N°111. pp. 117 - 126.
- CASAS, S. (2005).** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu Méditerranéen. *Thèse de doctorat: Océanologie biologique, Environnement marin*. 314 p.
- CHARLOU, J et JOANNY, M. (1983).** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in Aminot, A; Chaussepied, M. Manuel des analyses chimique en milieu marin. Brest : Cnexo. pp. 285-295.
- CHIFFOLEAU, J.C et Coord. (2001).** La contamination métallique. région Haute Normandie : Ifremer. 39 p.
- CHIFFOLEAU, J. F. (1994).** Le chrome en milieu marin. s.l. : Reperes Ocean. 43 p.
- CONNAN, O et TACK, K. (2010).** Metals in marine environment (mollusc *Patella* sp., fish *Labrus bergylta*, crustacean *Cancer pagurus*, beach sand) in a nuclear area, the North Cotentin (France). *Environ Monit Assess*, N°165. pp. 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. pp. 33–37.
- DAGORNE. (1973).** Sédimentologie et bionomie benthique en baie de Bou-Ismaïl. *Pelagos*. Vol.4(2). pp. 40-53.
- DAVIES, M et al. (2005).** Metal Concentrations in the Radula of the Common Limpet, *Patella vulgata*, from 10 Sites in the UK. *Ecotoxicology*, Vol.14. pp. 465–475.
- DEVALLOIS, V. (2009).** Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux. *Thèse de doctorat: Science de l'environnement*. Aix- Marseille, Université de provence : [s.n.]. 277 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ERDOGAN, M. (2009).** Monitoring and statistical assessment of heavy metal pollution in sediments along Izmir bay ICP-MS. *Thèse de doctorat: chimie*. Turquie, Ecole des sciences de la génie de Izmir : [s.n.].
- FORSTNER, U et SALOMONS, W. (1980).** Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: assessment of sources and intensities. *Environmental Technology Letters*. Vol. I. pp. 494-505.
- GAUJOUS, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire. Paris : Lavoisier, 220 p.
- GEORGE, D et GEORGE, J. (1980).** La vie marine, encyclopédie illustrée des invertébrés marins. Maloine S.A. 173 p.
- GRALL, J et COIC, N. (2005).** Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu cotier . *Dyneco/Vigies*. Ifremer. Vol.13. 06 p.
- HAMON, M et al. (2002).** Chimie analytique: méthodes spectrales et analyse organique. Tome 3. 2ème. s.l. : Masson. 266 p.
- IFREMER, (1994).** Surveillance du milieu marin. *Travaux du réseau national d'observation de la qualité du milieu marin*.
- JAKIMSKA, A et al. (2011).** Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, part II: metal concentrations in animal tissues. *Pol J Environ Stud*. Vol.20(5). pp. 1127-1146.
- KELEPERTZIS, E. (2013).** Heavy metals baseline concentrations in soft tissues of *Patella* sp. From the straton coastal environment, NE Greece. *Ecol chem eng s*.Vol.20(1). pp. 141-149.
- LACOUÉ-LABARATHE, T. (2007).** Incorporation des métaux dans les oeufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires. *thèse de doctorat: océanologie biologique & environnement marin*. 175 p.
- LINCOLN, R et al. (1998).** A Dictionary of Ecology, Evolution and Systematics 2^e éd. Cambridge: Cambridge University Press. 361 pp.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LEM, (1998).** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger. Laboratoires d'Etudes Maritime.
- LE ROUX, A. (2005).** Des patelles et des algues. Penn ar bed. Bulletin trimestriel de Bretagne vivante. N°192. 36 p.
- LUOMA, S.N et RAINBOW, Ph.S. (2008).** Metal contamination in aquatic environment. Cambridge : Cambridge. 573 p.
- MARCHAND, M et KANTIN, R. (1997).** Contaminants chimiques en milieux aquatiques. *Océanis*.Vol. 23.4. 178 p.
- MARKOVIC, J, et al. (2012).** trace element of concentrations in wild mussels from the coastal area of southeastern adriatic, Montenegro. Belgrade: Arch.Biol.Sci.Vol.64(1). pp. 265-275.
- MIQUEL, M. G. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. France : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. 261 p.
- MILLOT, C. (1994).** Models and data: a synergetic approach in the Western Mediterranean sea. Ocean processes in climate dynamics: global and Mediterranean Examples. Kluwer Academic. pp. 407-425.
- NAKHLÉ, Kh.F et al. (2006).** Brachidontes variabilis and Patella sp. as quantitative biological indicators for Cadmium, Lead and Mercury in the lebanese coastal waters. Environmental Pollution. N°142(1). pp. 73-82.
- NEAL, K.J et SKEWES, M. (2004).** Patella ulyssiponensis. Chine arapèdes. Marine Life Information Network.
- NEATHERY, M.W et MILLER, W.J. (1975).** Metabolism and toxicity of cadmium, mercury and lead in animals. J. Dairy Scientific.Vol.58. pp. 1767-1781.
- PICHARD, A. (2003).** données toxicologiques et environnementales des substances chimiques: Plomb et ses dérivés. s.l. : INERIS. 90 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- PICHARD, A. (2005).** fiche de données toxicologiques et environnementale des substances chimique: Zinc et ses dérivés. s.l. : INERIS. 69 p.
- PINTA, M. (1979).** Spectrophotométrie d'Absorption Atomique. Application a l'analyse chimique. Tome 1. 2ème. France : Masson O.R.S.T.O.M.
- PONS, J.C et al. (1988).** teneurs en métaux lourds des sédiment fins de la baie de Fort de France, Martinique, Petites Antilles française. Oceanologica acta. Vol 11.
- RAMADE, F. (1995).** Eléments d'écologie: écologie appliquée. Ediscience. 631 p.
- RODIER, J. (1996).** l'analyse de l'eau " eaux naturelles, eaux residuaires, eau de mer ". Paris : Dunod. 1394 p.
- ROZIČ, P.Z et al. (2014).** Using stable nitrogen isotopes in *Patella sp.* To trace sewage-derived material in coastal ecosystems. Ecological Indicators. Vol.36. pp. 224- 230.
- SEVCIKOVA, M et al. (2011).** Metals as a cause of oxidative stress in fish. Veterinarni Medicina. Vol.56. pp. 537-546.
- STANKOVIC, Slavka et STANKOVIC, Ana R. (2013).** Bioindicators of toxic metals. Environmental Chemistry for a Sustainable World. Vol.3. pp. 151-228.
- TAUPIER-LETAGE, I et Millot, C. (1988).** Surface circulation in the Algerian basin during 1984. Oceanological Acta. pp. 79-85.
- VAN DER OOST, R et al. (2003).** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment. Toxicol and Pharmaco. Vol.13. pp. 57-149.
- WAYKAR, B et DESHMUKH, G. (2012).** Evaluation of bivalves as bioindicators of metal pollution in fresh water. Contam Toxicol. Vol.88. pp. 48-53.
- WOOD, Ch.M et al. (2012).** Homeostasis and toxicology of essential metals . Canada : Elsevier. 109 p.
- YÜZEREROGLU, T.A et al. (2010).** Heavy metals in *Patella caerulea* (Mollusca, Gasteropoda) in polluted and non-polluted areas from the Iskenderun Gulf (Méditerranéan Turkey). Environ Monit Assess.N°167. pp. 257-264.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ZHOU, Q et al. (2008). Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*. N°606. pp. 135-150.

Annexes

Annexe 1



Figure 18 : Port de Bouharoune.



Figure 19 : Front de Mer de Bou-Ismaïl.



Figure 20 : Anse de Koali.



Figure 21 : Prétraitement des Patelles.

Annexe 2



Figure 22 : Lyophilisation des échantillons.



Figure 23 : Broyage des échantillons.



Figure 24 : Minéralisation des échantillons.

