

République algérienne démocratique et populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

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

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Environnement

Thème :

Bioaccumulation des métaux traces chez les moules de la côte algéroise

Présenté par :

MOUMENE Ikram

Soutenu le 15/07/2017 devant le jury composé de :

M. DRICHE M.	Maître de conférences	ENSSMAL	Président
M. AROUA M.	Doctorant	ENSSMAL	Examineur
M. BENHALIMA M.	Doctorant	ENSSMAL	Examineur
M. BOULAHID M.	Professeur	ENSSMAL	Promoteur
M. ABDERRAHMANI K.	Attaché de recherche	CNRDPA	Co-Promoteur

Année universitaire : 2016 - 2017

Remerciements

Au terme de ce travail, Je tiens en premier lieu à remercier Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

*Mes premiers remerciements les plus vifs, s'adressent à mon promoteur Monsieur **BOULAHIDID Mostefa**, professeur à l'ENSSMAL pour sa confiance en acceptant de m'encadrer dans la réalisation de ce travail en dépit de ses occupations. Je le remercie aussi d'avoir été compréhensif et patient, de m'avoir accordé une grande autonomie et surtout, d'avoir partagé avec nous ses connaissances d'enseignement, dans la quatrième année. Qu'il trouve dans ces mots l'expression indéniable de mon respect.*

Je tiens aussi à remercier les personnes qui ont accepté de participer au jury de ce mémoire :

- *Monsieur **DRICHE Mohamed** pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury*
- *J'exprime tous mes remerciements à Monsieur **AROUA Mohamed** et Monsieur **BENHALIMA Mostefa** pour avoir pris le temps d'examiner ce travail. Je les remercie également pour leur soutien et leur aide.*

*J'exprime ma profonde gratitude à Madame **OUNADI Fariza**, ingénieur de labo à Sidi Fredj pour m'avoir apporté son aide précieuse, pour tous ses conseils et pour le temps qu'elle m'a accordé au long de mon travail au laboratoire.*

Mes remerciements, s'adressent également au personnel de la bibliothèque et tous les enseignants de l'ENSSMAL.

Dédicaces

« Je dédie ce modeste travail à ma mère qui me donne toujours une raison d'avancer chaque jour, à ma chère sœur, à mes frères »

Sommaire

Introduction

Chapitre I. Synthèse bibliographique	5
I.1 La pollution marine	5
I.1.1 Définition	5
I.2 Les types de la pollution marine	5
I.2.1 Pollution physique.....	5
I.2.2 Pollution biologique.....	6
I.2.3 Pollution chimique	6
I.3 Sources de la pollution marine	6
I.3.1 Pollution urbaine	6
I.3.2 Pollution industrielle.....	6
I.3.3 Pollution agricole	7
I.4 Classification des polluants	7
I.4.1 Les polluants conservatifs.....	7
I.4.2 Les polluants chimiques non conservatifs	7
I.4.3 Les polluants microbiens	7
I.5 Les éléments traces métalliques dans l'environnement marin	8
I.5.1 Définition	8
I.5.2 Classification des éléments traces métalliques	8
I.5.3 Origines.....	9
I.6 Cycle biogéochimique des métaux traces dans le milieu marin.....	9
I.7 Les métaux traces étudiés	10
I.7.1 Le Zinc	10
I.7.2 Le Cuivre.....	11
I.7.3 Le Cadmium.....	12
I.7.4 Le Manganèse	12
I.7.5 Le Cobalt.....	13
I.8 La bioaccumulation des métaux traces	14
I.8.1 Définition	14
I.9 Présentation de la matrice biologique : moule.....	14
I.9.1 Présentation de l'espèce	14

I.10	Utilisation des moules dans la surveillance environnementale	17
Chapitre II. Zone d'étude		20
II.1	Choix et localisation des stations de prélèvement	20
II.2	Présentation des zones d'étude	21
II.3	La baie de Bousmail	21
II.3.4	Zeralda.....	24
II.3.5	Fouka Marine	25
II.3.6	Bousmail.....	25
II.4	La baie d'Alger	26
II.4.4	Port d'Alger.....	29
II.5	La baie de Zemmouri.....	29
II.5.3	La ferme Orca Marine (Sercouf).....	30
II.5.4	Boudouaou El Bahri	31
II.5.5	Figuier	31
Chapitre III. Matériels & Méthodes		34
III.1.1	Prélèvement.....	35
III.2	Travaux effectués au laboratoire	35
III.2.1	Prétraitement des échantillons.....	36
III.2.2	Traitement des échantillons.....	37
III.2.3	Analyse des métaux lourds.....	38
III.2.4	Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).....	39
III.3	Normes et indice de contamination	42
III.4	Les analyses biochimiques	42
III.4.1	Dosage des protéines totales.....	42
III.4.2	Dosage des lipides totaux	45
Chapitre IV.Résultats& Interprétations.....		49
IV.1	Taille moyenne	49
IV.2	Indice de condition	49
IV.2.1	Les teneurs en métaux lourds	50

IV.2.2	Comparaison intersites	54
IV.2.3	Comparaison des teneurs en métaux traces dans les moules avec les résultats précédents	55
IV.2.4	Corrélation inter-métaux	57
IV.3	Résultats d'analyses biochimiques	58
IV.3.1	Lipides	58
IV.3.2	Protéines	58
IV.4	Corrélation entre teneurs en métaux traces _ teneurs en lipides et protéines	59
Conclusion générale		63
Références bibliographiques		71
Annexes		71

Liste des abréviations

AFNOR : *Association Française de Normalisation*

A.I.E.A : Agence internationale de l'énergie atomique

C.E.E : Communauté Economique Européenne

CNRDPA : Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et l'Aquaculture

ENSSMAL : Ecole Nationale Supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral

ETM : Elements Traces Métalliques

GESAMP: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

IC : Indice de Condition

IPCS : Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

OGM : Organismes Modifiés Génétiquement

ONAB : Office National des Aliments de Bétails d'Attabla

P.A.C : Plan d'Aménagement Côtier

P.N.U.E (U.N.E.P) : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PS : Poids Sec

S.A.A : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

Liste des figures

Figure I-1: Différents transferts de métaux lourds dans les milieux aquatiques (Devallois, 2009)	10
Figure I-2 : Anatomie interne de la moule (Marteil, 1976).....	15
Figure I-3: Système respiratoire et alimentaire chez la moule (MPO, 2003).....	16
Figure II-1: Localisation des stations de prélèvement dans la côte algéroise	20
Figure II-2: La localisation de la baie de Bou-Ismaïl.....	21
Figure II-3: Réseau hydrographique dans la baie de Bou-Ismaïl (P.A.C, 2004 in Meguellati, 2012).....	24
Figure II-4: Brise lame au niveau de la plage de Zeralda.....	24
Figure II-5: Photographie de la côte rocheuse de Bousmaïl.....	25
Figure II-6: La localisation de la baie d'Alger	26
Figure II-7: Schéma synthétique de la dynamique littorale dans la baie d'Alger (Belkessa, 2005)	27
Figure II-8: Rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 1998).....	28
Figure II-9: La localisation de la baie de Zemmouri	29
Figure II-10: Photographie de la côte rocheuse de Boudouaou el Bahri.....	31
Figure II-11 : Photographie de la côte rocheuse de Figuiet	31
Figure III-1 : <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819).....	34
Figure III-2 : <i>Mytilus edulis</i>	35
Figure III-3: Lyophilisateur de modèle Christ.....	37
Figure III-4: Broyeur automatique	37
Figure III-5: Appareil de spectrophotométrie d'absorption atomique.....	39
Figure III-6: Appareil de minéralisation « Inkjel »	43
Figure III-7: appareil de distillation « Behr, Labor-Technik ».....	44
Figure III-8: Titration en mesurant le Ph	44
Figure III-9: appareil de Soxhlet sur plaque chauffante.....	46
Figure IV-1: représentation de l'indice de condition des moules prélevées.....	50
Figure IV-2: Représentation des concentrations de Manganèse dans les moules	51
Figure IV-3: Représentation des concentrations de Zinc dans les moules prélevées de la côte algéroise	51
Figure IV-4: Représentation des concentrations de Cuivre dans les moules	52
Figure IV-5: Représentation des concentrations de Cadmium dans les moules	53
Figure IV-6 : Représentation des concentrations de Cobalt dans les moules.....	54
Figure IV-7: Représentation des teneurs en lipides dans les moules prélevées de la côte algéroise	58
Figure IV-8 : Représentation des teneurs en protéines dans les moules	58

Liste des tableaux

Tableau III-1 : Tableau représentant les stations de prélèvement et les observations.....	34
Tableau III-2: Classification de niveaux de pollution chez es moules selon les normes AFNOR	42
Tableau IV-1: Taille moyenne des espèces des différentes stations de prélèvement.....	49
Tableau IV-3: Les concentrations moyennes en métaux traces dans les moules de chaque baie .	54
Tableau IV-4: Comparaison des résultats obtenus avec les résultats des travaux précédents.....	56
Tableau IV-5: Corrélation inter-métaux	57
Tableau IV-6 : Corrélation entre les teneurs en lipides et protéines et l'accumulation de métaux traces.....	59

INTRODUCTION

Les mers et les océans reçoivent aujourd'hui des volumes importants en polluants comme les métaux lourds et les pesticides à partir de multiples sources tels que les rejets industriels et les rejets d'eau usée. Les mers semi-fermées comme la Méditerranée sont d'autant plus sensibles à cet impact que le rapport longueur des côtes sur surface de la mer est grand et que le renouvellement des masses d'eaux est moins rapide (**Bellan et Peres, 1994**).

À l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, Le littoral algérien connaît de sérieux problèmes environnementaux. La région algéroise est certainement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible (**PAC, 2006**), ce qui rend la surveillance et le suivi de la qualité des eaux côtières une nécessité pour préserver cet espace. L'étude des métaux traces dans l'environnement marin conduit à une meilleure compréhension de leur comportement, notamment en tant qu'indicateur des sources de pollution (**Essein et al, 2009**).

Les métaux lourds sont des micropolluants qui peuvent affecter la salubrité du milieu marin, puisqu'ils ne subissent pas de dégradation biologique ou chimique. Ils peuvent de ce fait s'accumuler dans les différents maillons des chaînes trophiques à des concentrations toxiques dans les organismes marins tels que les bivalves.

Ces mollusques qui sont d'excellents capteurs de polluants métalliques; ces derniers se concentrent sur les organes d'assimilation (équivalents foie et reins), qui sont précisément ce que l'homme mange. Ainsi, le suivi de la contamination côtière par les métaux, au moyen du bivalve est de pratique courante dans de nombreux programmes de surveillance à travers le monde (**Mason et al, 1998**).

Pour cela on a dosé les teneurs de 5 métaux traces (Cd, Zn, Cu, Mn, Co) dans la chair de moules (*Mytilus galloprovincialis*, *Mytilus edulis*) récoltées à partir de divers sites de la côte algéroise. En raison de son caractère filtreur, sa sédentarité et son pouvoir accumulateur, la moule *Mytilus galloprovincialis* a été utilisée dans les programmes de surveillance de la qualité du milieu marin.

L'objectif principal de cette étude est le suivi de la pollution par les métaux traces chez des espèces de moules de la côte algéroise (*Mytilus galloprovincialis*, *Mytilus edulis*).

On essaye au cours de ce travail, d'évaluer la bioaccumulation des métaux traces par les moules et de déterminer si le taux en protéines et lipides dans les moules ont un rôle dans l'accumulation des métaux traces.

Ce présent travail est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la description des différents paramètres analysés dans des espèces de moules au niveau de la côte algéroise (baie de Zemmouri, baie d'Alger et baie de Bousmail).
- Le deuxième chapitre est consacré à la description des sites d'étude.
- Le troisième chapitre traite les travaux effectués en mer et au laboratoire, et décrit les travaux de conditionnement, d'analyse des échantillons et les méthodes appliquées pour les différentes analyses.
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, leur analyse et discussion qui se rapporte à l'impact des métaux traces sur le milieu marin.

Chapitre I

I. Synthèse bibliographique

I.1 La pollution marine

I.1.1 Définition

La pollution marine est malheureusement aujourd'hui un fait solidement établi qui concerne l'ensemble des mers et des océans du globe (Alzieu, 1999).

Selon la convention de MONTEGO-BAY 1982 des nations unies sur le droit de la mer, le terme de pollution fait l'objet d'une définition reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP), comme étant : «l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément » (Ramade, 2000).

I.2 Les types de la pollution marine

De nombreux critères ont été retenus afin de réaliser une classification des pollutions. En conséquence, ce n'est pas une entreprise aisée car aucune ne peut prendre en compte la totalité des paramètres permettant leur discrimination de sorte qu'aucune n'est en conséquence entièrement satisfaisante.

Un des critères les plus évidents consiste à grouper les agents polluants selon leur nature (Ramade, 2011), On distinguera donc :

I.2.1 Pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs influençant sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (Kankou, 2004), ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires et les nappes pétrolières et les radiations ionisantes (Lacaze, 1996).

I.2.2 Pollution biologique

Cette pollution est due à la présence des polluants microbiens ; tels que les bactéries et les virus pathogènes, les parasites, les champignons ; qui sont introduits dans les eaux marines par l'intermédiaire des déjections humaines et animales (déversement en mer d'eaux usées d'origine domestique ou agricole) (**Lacaze, 1996**). Et en date récente, apparition de nouveaux problèmes liés à la pollution de l'espace rural par les OGM (**Ramade, 2011**).

I.2.3 Pollution chimique

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine (**Kankou, 2004**). Ces éléments peuvent être des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols... (**Ramade, 2000**).

I.3 Sources de la pollution marine

Selon l'origine de la pollution, on distingue trois catégories :

I.3.1 Pollution urbaine

Due principalement aux rejets domestiques véhiculés en mer sans traitement, issus des eaux de vannes d'évacuation des toilettes et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain. Les déchets présents dans ces eaux sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension (**Kankou, 2004**).

I.3.2 Pollution industrielle

Les principales origines de cette forme de pollution sont les rejets liquides des diverses industries installées le long de la côte (industries alimentaires, industries agricoles, l'industrie chimique, métallurgique, électronique...), et cela par l'utilisation de combustibles fossiles, des molécules minérales et organiques de synthèses (**Ramade, 2000**).

I.3.3 Pollution agricole

L'agriculture est devenue une cause importante de pollution des eaux par suite de l'usage systématique des engrais chimiques, des pesticides et des produits phytosanitaires (**Ramade, 2000**).

Les pollutions agricoles présentent la particularité d'être diffuses : Les engrais et pesticides étant répandus sur de vastes surfaces (**Ramade, 2000**). Mais, elle est aussi due à l'accumulation des résidus des élevages intensifs des animaux et des eaux d'abattoirs qui engendrent des pollutions chroniques et diffuses (**Leroy, 1999**).

I.4 Classification des polluants

On distingue trois classes de polluants :

I.4.1 Les polluants conservatifs

Sont les polluants qui restent en permanence dans le milieu marin, soit dispersés dans l'eau soit fixés sur du matériel particulaire composé généralement de matière organique contenue dans la vase, on distingue les métaux lourds (mercure, cadmium, cobalt) et les polluants organiques non biodégradables.

I.4.2 Les polluants chimiques non conservatifs

Tels que la matière organique, les sels nutritifs, les hydrocarbures, les détergents et les produits sanitaires, qui disparaissent à terme. Ils ne présentent donc de danger que par leurs conséquences immédiates.

I.4.3 Les polluants microbiens

Polluants qui sont véhiculés en quantités considérables au milieu marin par l'intermédiaire des rejets urbains : issus des eaux usées domestiques et industrielles et des effluents agricoles.

I.5 Les éléments traces métalliques dans l'environnement marin

I.5.1 Définition

Un métal est un élément chimique ayant un éclat métallique caractéristique, conduit bien la chaleur et l'électricité, malléable et se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'Antiquité.

Dans le milieu aquatique, un métal sera défini comme un élément chimique qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations (**Lacoue-Labarthe, 2007**).

Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : Mercure, Plomb, Cadmium, Cuivre, Arsenic, Nickel, Zinc, Cobalt, Manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le Plomb, le Cadmium et le Mercure. L'origine des métaux présents dans le milieu marin est double. Naturellement présents dans la biosphère, ils proviennent, d'une part, de l'érosion mécanique et chimique des roches et du lessivage des sols (**Lacoue-Labarthe, 2007**).

Le terme « métaux traces » est utilisé pour inclure les métaux et les métalloïdes qui partagent une suite commune des comportements chimiques, biologiques et physique, qui ont le potentiel d'être toxiques à la faune et la flore marine (**Luoma et Rainbow, 2008**).

I.5.2 Classification des éléments traces métalliques

Les métaux sont généralement séparés en deux catégories selon leur caractère essentiel ou non pour les êtres vivants.

En effet, ils peuvent s'avérer indispensables au déroulement des processus biologiques « oligo-éléments », c'est le cas du Fer (Fe), du Cuivre (Cu), du Zinc (Zn), du Nickel (Ni), du Cobalt (Co), du Vanadium (V), du Sélénium (Se), du Molybdène (Mo), du Manganèse (Mn).

Dans ce cas, leurs concentrations dans les organismes doivent répondre aux besoins métaboliques de ces derniers. Dans le cas contraire, une carence ou un excès de ces éléments essentiels peut induire des effets délétères.

D'autres ne sont pas nécessaires à la vie « non essentiels », et peuvent être même préjudiciables comme le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et l'Antimoine (Sb) (**Casas, 2005**).

Certains des métaux traces essentiels à la vie des organismes marins peuvent devenir toxiques à des concentrations plus élevées. Alors que d'autres comme le plomb, le cadmium sont des éléments toxiques, qui n'ont aucune fonction biologique.

Comme tous les métaux ne se dégradent pas, par conséquent ils s'accumulent le long de toute la chaîne alimentaire (**Waykar et Deshmukh, 2012**).

I.5.3 Origines

Les métaux traces qui entrent dans l'environnement aquatique proviennent de source naturelle et de source anthropogène :

I.5.3.1 Origine naturelle

La source naturelle, produite par la lixiviation lente à partir du sol ou des roches à arroser, est habituellement aux niveaux bas, n'entraînent aucun effet sérieux sur la santé humaine (**Zhou et al, 2008**).

I.5.3.2 Origine anthropique

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 des stations d'épuration ainsi que les résidus des eaux usées.

Les apports diffus de métaux lourds dus aux usages agricoles sont essentiellement les engrais phosphatés, les pesticides et les traitements phytosanitaires, ainsi que les additifs alimentaires utilisés en élevage (**Amiard, 2011**).

I.6 Cycle biogéochimique des métaux traces dans le milieu marin

Le cycle biogéochimique des métaux traces est le cheminement des ETM par divers processus physiques, chimiques et biologiques à travers les principales matrices du milieu marin.

Les ETM sont transportés vers la mer par différents apports (éoliennes, ruissellements, industrielles, volcaniques). Ils se présentent dans la colonne d'eau et dans le sédiment sous deux formes :

1. Dissoute dans la colonne d'eau et l'eau interstitielle de la colonne sédimentaire, c'est la forme la plus mobile et donc la plus disponible pour les populations aquatiques.
2. Fixée aux particules en suspension dans la colonne d'eau ou dans les eaux interstitielles ou aux sédiments. Ils peuvent s'accumuler dans le compartiment sédimentaire formant ainsi des stocks de polluants (**Devallois, 2009**).

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

3. 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 et adsorption et sédimentation.
4. 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).

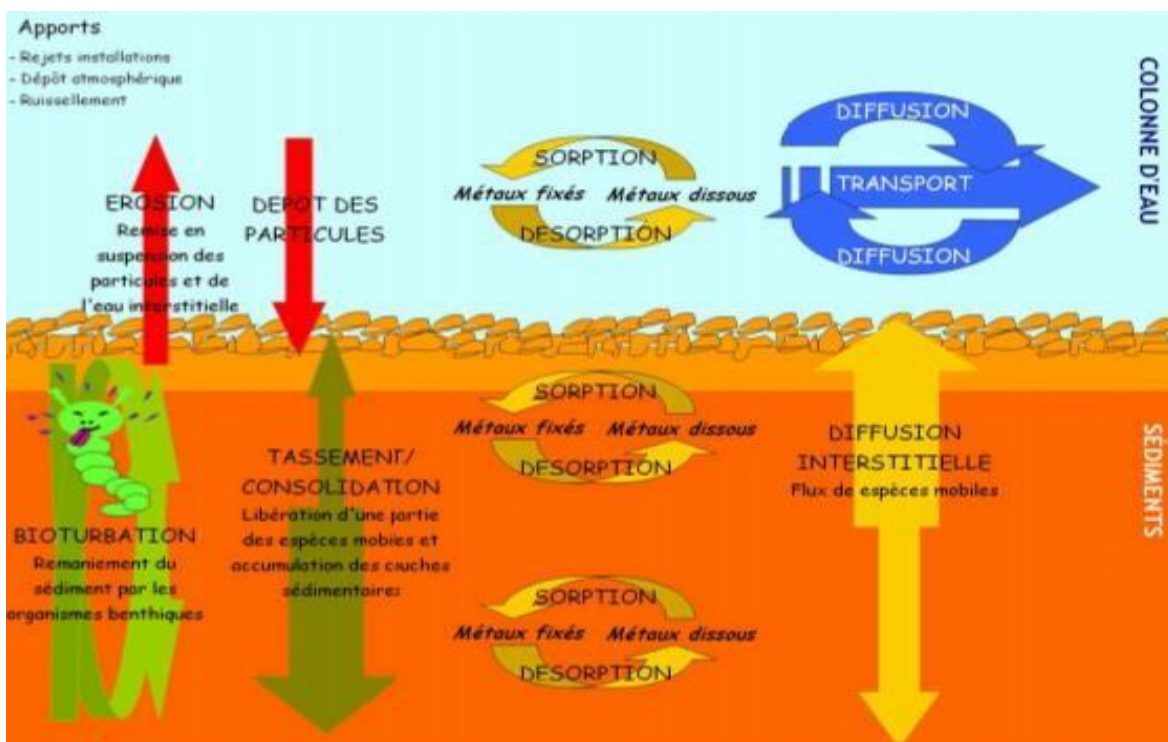


Figure I-1: Schéma des différents transferts de métaux lourds dans les milieux aquatiques (Devallois, 2009)

I.7 Les métaux traces étudiés

I.7.1 Le Zinc

Le zinc est indispensable au métabolisme des êtres vivants « oligo-éléments » ; en particulier comme coenzyme (besoins $15 \text{ mg} \cdot \text{jour}^{-1}$). Le zinc existe dans l'eau de mer sous diverses formes: ion hydraté ($\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})^{2+ n}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et zinc adsorbé sur la matière solide (Casas,2005).

Sources anthropiques et toxicité

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minéral, raffinages, galvanisation du fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animale, lisiers) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures). Dans les zones portuaires, le zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, et est contenu dans certaines peintures antisalissures. Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il s'agisse, à des fortes concentrations, sur la reproduction des huîtres et la croissance des larves (Casas, 2005).

I.7.2 Le Cuivre

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure intervenant dans un métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire, la pigmentation. Il a une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques. Chez les mollusques, le sang renferme un pigment respiratoire à base de cuivre, l'hémocyanine (Casas, 2005).

Sources anthropiques et toxicité

Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération d'ordures ménagères, la combustion de charbon, d'huile et d'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate).

Dans les eaux, le cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau (68 %), de la contamination par le sulfate de cuivre (13 %) et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du cuivre, même après traitement.

Par conséquent, ce métal, connu pour son effet fongicide sur les végétaux, se retrouve présent dans l'écosystème aquatique récepteur et peut être à l'origine de perturbations au niveau des populations phytoplanctoniques. La toxicité vis à vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. En particulier, la concentration létale en 48 h pour 50 % des larves d'huîtres plates serait de 1 à 3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Casas, 2005).

I.7.3 Le Cadmium

Le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants.

Est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (**Borchardt, 1985 in Casas, 2005**).

Sources anthropiques et toxicité

Les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique. Dans l'eau, le cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines.

Le Cadmium fait partie des métaux lourds les plus dangereux. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées.

Il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Au niveau subléthal, des concentrations de 0,05 à 1,2 µg.L⁻¹ peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance (**Chiffolleau et al, 2001**).

I.7.4 Le Manganèse

Le Manganèse est un minéral qui intervient dans l'activité de nombreuses enzymes impliquées dans la protection des cellules contre les radicaux libres.

Le Mn²⁺ est souvent en compétition avec Mg²⁺ dans les systèmes biologiques. Les composés de manganèse où celui-ci est en état +7 sont de puissants agents oxydants (par exemple, le permanganate de potassium KMnO₄) (**Salvarredy Aranguren, 2008**).

Sources anthropiques et toxicité

Le Manganèse est souvent trouvé dans la composition des engrais, dans la fabrication de l'acier.

Ainsi, Le dioxyde de manganèse est utilisé comme pigment, des composés de manganèse dans la fabrication du verre pour le colorer.

L'intoxication aiguë au Manganèse cause divers syndromes pulmonaires : fièvre des métaux, pneumonie au Manganèse ou intoxication aiguë par ingestion.

L'excès de Mn dans l'eau peut causer cirrhose du foie chez l'homme. Toutefois l'inhalation est beaucoup plus dangereuse parce qu'elle génère des pneumonies, et si l'exposition est chronique il peut causer des problèmes neurologiques (Salvarredy Aranguren, 2008).

I.7.5 Le Cobalt

Le cobalt est un oligo-élément entrant dans la composition de la cobalamine encore appelée vitamine B12. De ce fait, certains auteurs ne l'examinent pas comme un nutriment à part entière. On le trouve dans divers aliments dont le lait, la viande, les mollusques, les fruits et les légumes verts. Dans l'organisme, en plus d'être un activateur enzymatique, cet oligo-élément contribue à la formation de la gaine de myéline autour des nerfs, à la production de globules rouges ainsi qu'à leur entretien.

Sources anthropiques et toxicité

L'homme rejette de faibles quantités de cobalt dans l'atmosphère lors de la combustion du charbon et de l'exploitation minière de minerais contenant du cobalt et, lors de la production et l'utilisation de produits chimiques à base de cobalt. Le ruissellement des eaux de pluies à travers la terre et les roches contenant du cobalt peut apporter du cobalt dans les eaux de surface.

Plusieurs composés de cobalt sont la base de pigments bleus pour la porcelaine, le verre, la poterie, les tuiles, les émaux de même que pour certaines encres d'imprimerie.

Il est surtout utilisé sous forme d'alliage, tels que le Vitallium, un alliage dentaire, l'Elgeloy, un alliage servant à faire des ressorts et certains alliages pour les implants chirurgicaux.

Le cobalt n'est pas détruit une fois qu'il a pénétré dans l'environnement. Il peut réagir avec d'autres particules ou s'adsorber sur les particules du sol ou sur les sédiments dans l'eau où la plupart du cobalt finit. Cependant, des concentrations trop importantes de cobalt peuvent être nocives.

Les effets résultants d'une consommation de concentrations élevées de cobalt sont:

- Vomissements et nausées
- Problèmes de vision
- Problème de cœur
- Détérioration de la thyroïde

I.8 La bioaccumulation des métaux traces

Les contaminations chimiques sont le résultat d'une exposition de longue durée (plusieurs semaines à plusieurs mois) à des concentrations anormales de polluants dans l'eau. Cependant les mécanismes d'accumulation des polluants par les coquillages sont des phénomènes lents et complexes (Lesne, 1992).

On peut dire donc que l'accumulation des polluants dans les coquillages relève bien plus de phénomènes chroniques que d'accidents passagers. Une pointe de pollution accidentelle brève aura peu de répercussion sur la qualité des organismes, alors que des niveaux de présence de polluants moins élevés mais durables auront des conséquences importantes (Lesne, 1992).

I.8.1 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, 2011).

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 d'un métal avec son environnement et la physiologie spécifique de l'espèce (Ramade, 2011).

Les bioaccumulateurs sont des organismes ayant la capacité d'accumuler certains contaminants présents dans l'environnement dans des proportions nettement supérieures à celles du milieu naturel (Kaiser, 2001). Il existe deux principaux phénomènes responsables de la bioaccumulation de contaminants par les organismes : la bioconcentration et la bioamplification.

- ❖ La bioconcentration est le transfert direct des substances à partir du milieu ambiant (eau, sédiments, etc.) vers les tissus et les organes.
- ❖ La bioamplification est le résultat du transfert des contaminants le long des différents niveaux de la chaîne alimentaire (Kaiser, 2001).

I.9 Présentation de la matrice biologique : moule

I.9.1 Présentation de l'espèce

La moule est un mollusque de la classe des bivalves, caractérisé par deux coquilles secrétées par deux lobes du manteau, elle est de l'ordre des Filibranches à cause de la structure des branchies qui sont constituées de filaments réfléchis et unis par des touffes de cils.

L'ordre des Filibranches englobe plusieurs familles, dont les Mytilidés est celle des moules, caractérisés par deux valves égales, un ligament externe, une charnière sans dents (et/ou avec des dents très réduites), un pied allongé et un byssus (**Barnabé, 1989**).

La famille des Mytilidés comporte le genre *Mytilus*, c'est le plus connu au monde qui renferme deux espèces *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis* (**Chebab, 1996**).

I.9.1.1 Systématique

- Règne : Animal
- Embranchement : Mollusques
- Classe : bivalves (pélicypodes).
- Sous classe : Ptériomorphes
- Ordre : Mytiloidés
- Famille : Mytilidés
- Genre : *Mytilus*

I.9.1.2 Anatomie

C'est un mollusque (corps mou non segmenté) lamellibranches (branchies en lamelles) ou pélicypodes (pied en forme de hache) dont le corps est protégé par une coquille de nature calcaire formée de deux valves égales d'où le nom de mollusque bivalves, ces valves sont composées principalement de carbonate de calcium et d'oligoéléments tels que le fer et le magnésium.

La masse viscérale est enveloppée dans un manteau, repli tégumentaire formé par deux lobes libres ventralement et soudés dorsalement sauf au niveau de la boutonnière.

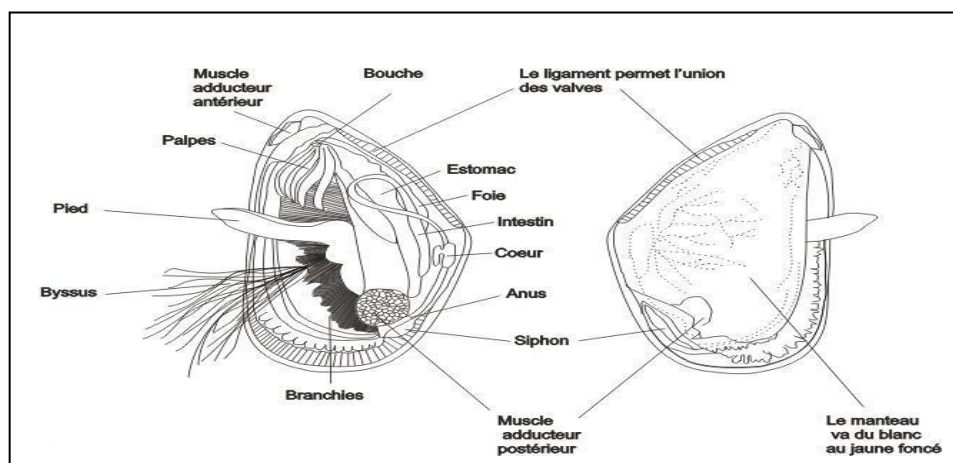


Figure I-2 : Anatomie interne de la moule (Marteil, 1976)

1.9.1.3 Nutrition

Consommateur microphage, la moule se nourrit de petites particules en suspension dans l'eau de mer (le phytoplancton qui sont des algues microscopiques végétales). Elle utilise son appareil branchial comme un filtre, en effet le courant d'eau inhalant passe à travers les branchies qui joue le rôle de tamis et qui comporte des sillons garnis de cellules muqueuses qui agglomèrent les particules en suspension dans l'eau ; les microparticules consommable sont alors transportées jusqu'à la bouche puis atteignent ensuite l'estomac ou elles sont broyées, entourées de mucus et pénètrent dans la glande digestif (Devauchelle, N et al, 1995).

1.9.1.4 Respiration

La respiration est branchiale, à l'aide des palpes labiaux et les cils vibratiles qui recouvre les branchies, elle crée un courant d'eau inhalant qui entre par la face ventrale entre les deux valves, et un courant exhalant qui ressort par la boutonnière du manteau.

Ce courant d'eau ventilatoire permet les échanges gazeux respiratoires entre le sang des deux filaments des deux paires de branchies et l'eau de la cavité palléale.

Les branchies ont donc un rôle à la fois dans la nutrition et la respiration. La capacité de filtration de la moule peut aller jusqu'à 120 litre d'eau par jour.

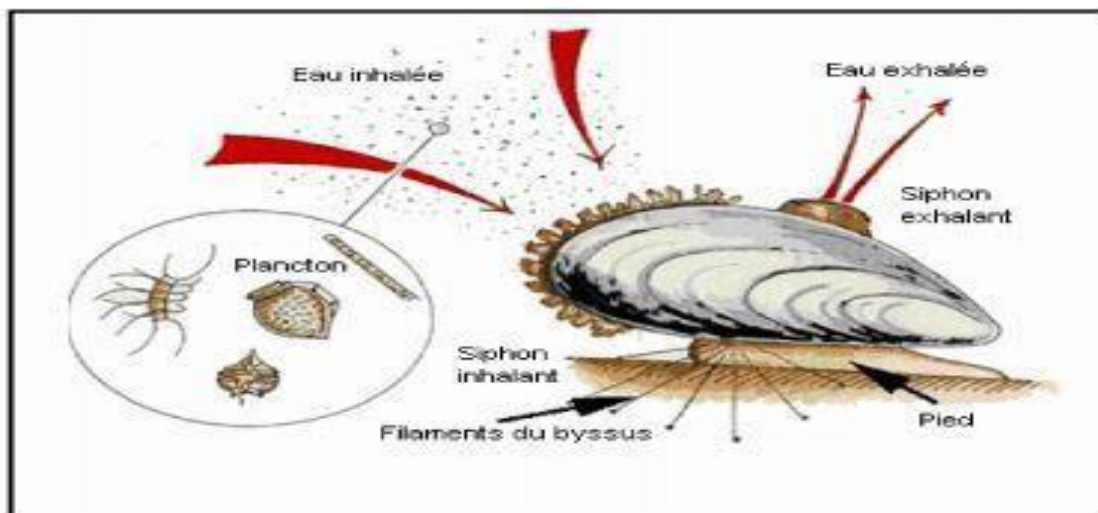


Figure I-3: Système respiratoire et alimentaire chez la moule (MPO, 2003)

1.9.1.5 Reproduction

Chez la moule les sexes sont séparés ; au moment de la reproduction les lobes du manteau sont orange chez la femelle et blanchâtre chez le male. La fécondation est externe, la moule femelle rejette ses œufs dans la cavité palléale où ils sont fécondés par les spermatozoïdes, les œufs fécondés, au nombre de 500 000 environ donnent des larves trochophores univalves puis des

larves véligères bivalves ciliées. Ces larves planctoniques tombent ensuite sur le fond et se métamorphosent en des jeunes moules.

I.9.1.6 Habitat

C'est une espèce rencontrée sur des fonds très variés, des substrats durs (rocheux ou graveleux), ou bien meubles (sableux, vaseux), elle est présente dans des régions soumises à des hivers rudes 7 à 8 °C de moyenne qu'à des étés chauds 26 à 29 °C.

Elle est capable aussi de vivre dans des zones à marées grâce à une série d'adaptations.

Elle vit fixée par son byssus aux substrats solides comme la roche ou d'autres supports, tels que les cordages, elle supporte de rester hors de l'eau un certain temps car elle garde une réserve d'eau entre ses deux valves. Elle occupe principalement la zone intertidale et sub-tidale relativement pas profonds, on peut la trouver jusqu'à des profondeurs de 15_20m (**Haouchine, 1995**).

I.10 Utilisation des moules dans la surveillance environnementale

Ce qui est un inconvénient pour le consommateur devient d'un intérêt primordial pour les environnementalistes cherchant à évaluer la qualité du milieu marin (**Lesne, 1992**).

Les caractéristiques principales d'un indicateur biologique: il doit

- Supporter une pollution sans être tué,
- Etre sédentaire,
- Abondant,
- Avoir une durée de vie suffisamment longue pour refléter un impact dans le temps,
- Avoir une taille raisonnable,
- Etre aisé à échantillonner,
- Supporter des expériences de laboratoire,
- Une équation simple doit décrire la relation entre la concentration du polluant dans le milieu et les teneurs accumulées dans les tissus de l'organisme.

Comparés à d'autres organismes les mollusques filtreurs fixés sont des candidats intéressants puisqu'ils répondent à la plupart des conditions énoncées (**Mersch, 1993**).

Chapitre II

II. Zone d'étude

II.1 Choix et localisation des stations de prélèvement

Dans le cadre de l'évaluation du degré de contamination de la côte algéroise par les métaux traces, on a réalisé plusieurs prélèvements de moules dans différentes stations.

Sept stations ont été choisies selon le degré de pollution, trois au niveau de la baie de Bousmail (Bousmail et Fouka Marine et Zeralda), une station dans la baie d'Alger (port d'Alger) et trois stations au niveau de la baie de Zemmouri (Figuier et Boudouaou el Bahri et Sercouf) dont cette dernière qui est considérée comme zone non polluée.

Les analyses ont aussi concerné le taux des lipides et des protéines dans les moules.

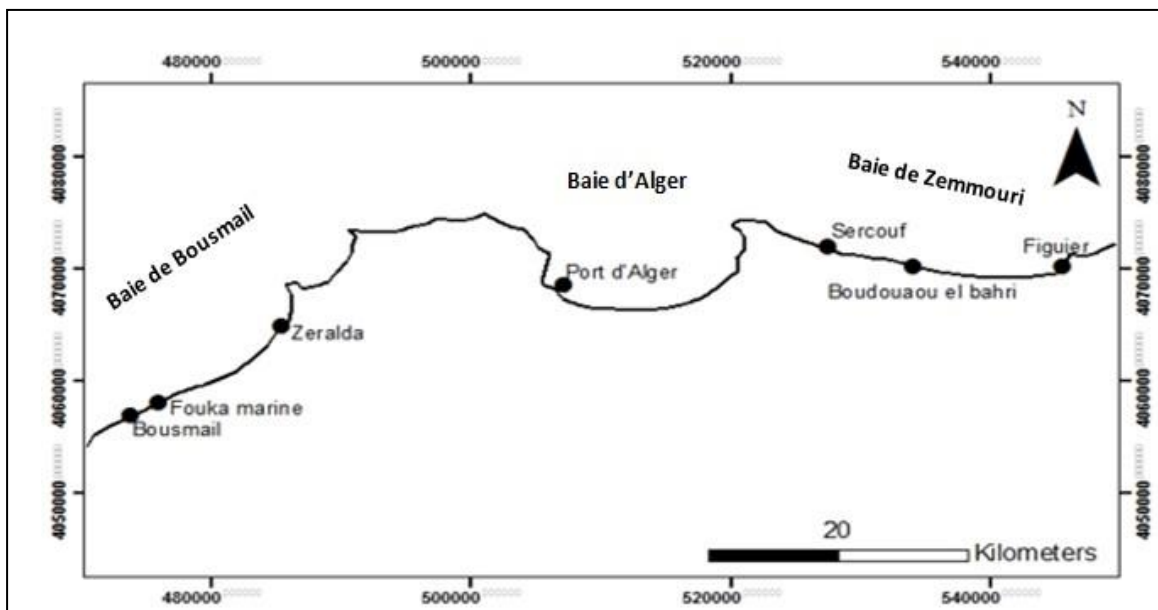


Figure II-1: Localisation des stations de prélèvement dans la côte algéroise

II.2 Présentation des zones d'étude

II.3 La baie de Bousmail

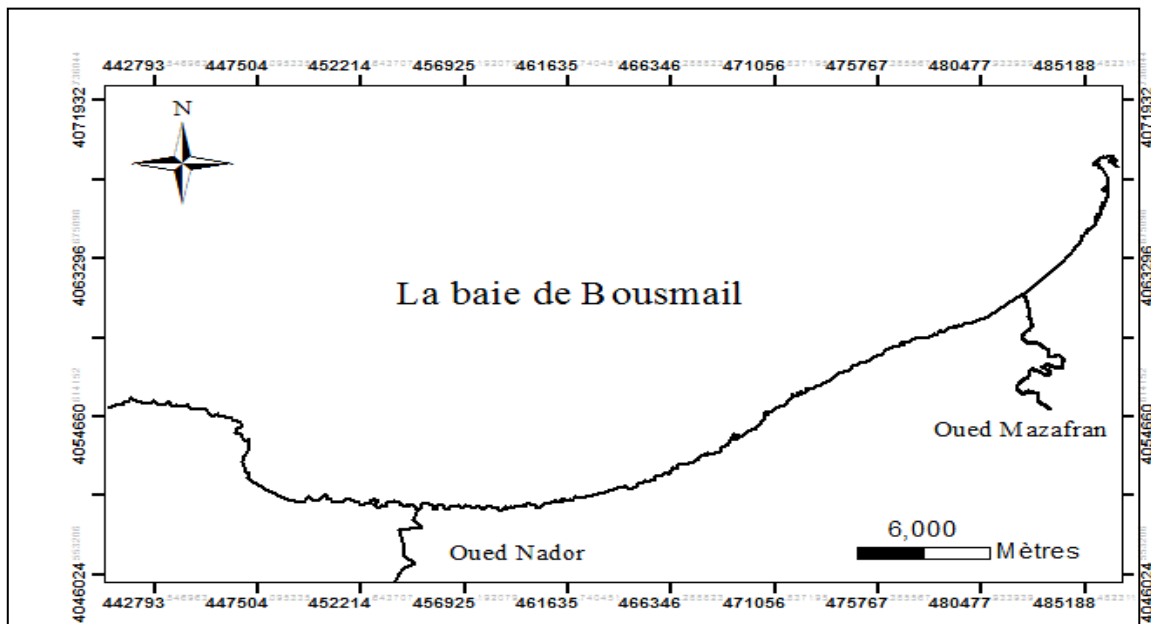


Figure II-2: La localisation de la baie de Bou-Ismaïl

La Baie de Bou Ismaïl, (anciennement appelée **Castiglione**), située dans la partie centrale du littoral algérien, à 50 km à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza, entre 2°25' à l'Ouest et à 2°55' à l'Est.

La baie est limitée par de la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi-Fredj, et par le Mont Chenoua à l'Ouest, par la plaine de la Mitidja au Sud et la mer méditerranéenne au Nord. L'ouverture de la baie de Bou-Ismaïl est d'environ 40 Km, et s'oriente du Sud-Ouest à Nord-Est. Cette baie couvre une surface de l'ordre de 350 Km². La baie est le réceptacle d'oued à régime irrégulier : Mazafran, Nador et Béni-messous.

II.3.1 Réseaux hydrographiques

Les principaux oueds qui déversent dans la baie de Bou-Ismaïl sont Oued Mazagan, Oued Nador, Oued Beni-Messous.

Oued Mazafran

Situé à l'ouest de Sidi-Fredj, l'oued est formé par l'embranchement des oueds Der, Chiffra et Bou-Roumi, il prend sa source de la plaine de la Mitidja.

L'oued débouche entre Zeralda et Douaouda. Le régime hydrographique de cet oued est marqué par un long étiage de juin à début décembre avec des débits représentant 17.38% du débit liquide annuel. Entre décembre et avril, ces débits sont de 82.61% (A.N.R.H, 2003).

Oued Nador

Situé dans la partie occidentale de la baie, il s'est formé à partir de la cluse de Tipaza et par l'assemblage des oueds suivants : Oued Bou-Yersin, Bou-Ardon et Oued Murad. Son débit est de 0.89 m³/s débouchant entre Djebel Che noua et Tipaza. Ces oueds jouent un rôle très important dans les apports en eaux usées (A.N.R.H, 2003).

Oued Beni-Messous

Il est situé à 30 Km à l'Ouest d'Alger, entre le Ras Acrata et l'épointement de Sidi-Fredj sur une distance de 4 Km. L'Oued traverse les communes de Beni-Messous et Chéraga, ses eaux sont chargées des rejets d'origine domestiques et industrielles. Son débit est faible par rapport aux débits des oueds précédemment cité et estimé à 0.245 m³/s (A.N.R.H, 2003).

II.3.2 Facteurs hydrodynamiques

II.3.2.1 Les vents

Deux directions distinctes des vents au large de la baie aux quelles est exposée :

- Vents Nord-est en été
- Nord-Nord-Ouest en hiver

II.3.2.2 Les houles

Les houles dominantes dans la baie de Bou-Ismaïl sont de direction Ouest Nord-Ouest et Nord Est. En hiver les houles les plus importantes sont d'origine Ouest et Nord-ouest avec des amplitudes de 2 à 2,5 m.

En été les directions sont Est et Nord Est avec des amplitudes généralement plus faibles 0,5 à 1,5 m.

II.3.2.3 Les courants

Les courants sont d'origine Atlantique, qui entrent par le détroit de Gibraltar. Ils se dirigent vers l'Est au large des côtes algériennes avec une vitesse variant entre 0,5 et 2,5 nœuds.

II.3.3 Les sources potentielles de pollution

Bou-Ismaïl se présente comme une ville aux richesses agricoles, touristiques et manufacturières multiples, ce qui accentue les différentes formes de pollution (agricole, et domestique) issue des rejets des agglomérations et des complexes touristiques.

La baie fait partie de la zone d'expansion touristique qui s'accroît en période estivale, plus les nombreuses unités industrielles, tous ces rejets sont évacués directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable.

Les plus importantes sources de pollution sont :

- Base centrale logistique de Beni Mered (rejet de cyanure, nickel et cuivre)
- Office National des Aliments de Bétails d'Attabla (ONAB)
- Unité de tissage
- Finissage et teinturerie qui utilisent des produits chimiques tels que les colorants à base de métaux.
- la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Bouharoun, Khemisti, Tipaza, Sidi Fredj, El Djamila.

En plus de ces activités, les oueds entraînent vers la mer, les eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Beni mered aux niveaux de l'oued Macta Makhoulf qui n'est que la continuité de l'oued Beni Azza où se déversent les eaux usées de la tannerie du moulin, d'une unité d'électroglace, mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, d'industrie agroalimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique de Beni mered.

D'après des données communiquées par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 67 points de rejets d'eaux usées collectées par le réseau d'assainissement qui se déversent directement en mer sans aucun traitement. Ces rejets ont pour source 12 industries (installées dans une zone d'activité située au Sud- Ouest du chef-lieu) sur un total de 24 pour toute la wilaya de Tipaza (PAC, 2006).

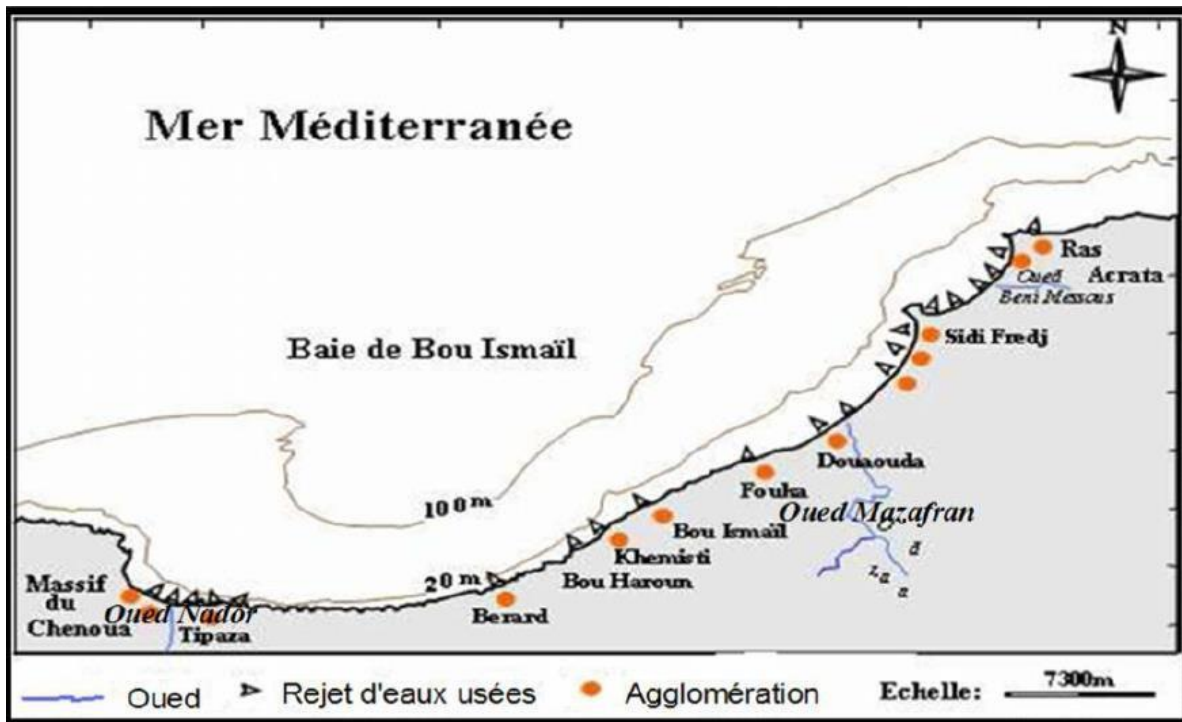


Figure II-3: Réseau hydrographique / rejets d'eaux usées dans la baie de Bou-Ismaïl (P.A.C, 2004 in Meguellati, 2012)

Les sites d'échantillonnage

II.3.4 Zeralda

Les coordonnées géographiques de positionnement : 36.726045° et 2.452201°

Zeralda est une commune de la wilaya d'Alger, située à environ 24 km d'Alger. Les prélèvements sont effectués au niveau de la brise lame (roches artificiels), au ouest du complexe touristique.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).



Figure II-4: Brise lame au niveau de la plage de Zeralda

II.3.5 Fouka Marine

Les coordonnées géographiques de positionnement : 36.675786° et 2.746578°

La commune de Fouka Marine est située au nord de la wilaya de Tipaza, délimitée au sud par Chaiba-Koléa, à l'est Douaouda, à l'ouest Bousmail. C'est une plage rocheuse à côté d'une zone urbaine et agricole, la présence des signes de pollution est remarquée au niveau de cette plage.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). (figure 25.15)

II.3.6 Bousmail

La commune de Bousmail est située au Nord-est de la wilaya de Tipaza, à environ 23 km de Tipaza et à 40 km au Sud-Ouest d'Alger. Les prélèvements ont été effectués près de la station de CNRDPA.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). (figure 25.15)



Figure II-5: Photographie de la côte rocheuse de Bousmail

II.4 La baie d'Alger

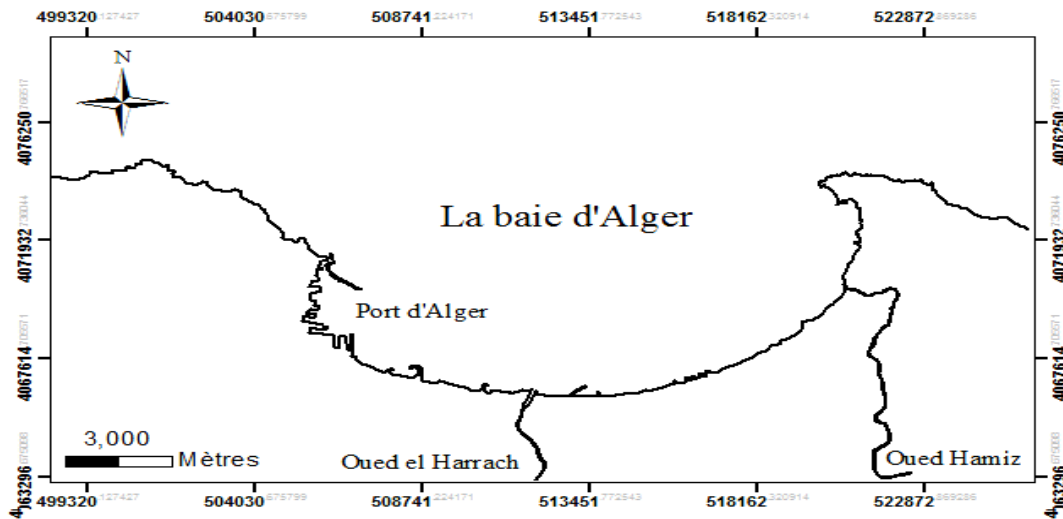


Figure II-6: La localisation de la baie d'Alger

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte algérienne, elle est délimitée par la pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest, le cap Matifou à l'est, au sud la ville d'Alger et le bassin de Metidja et au Nord par la mer Méditerranée.

II.4.1 Réseaux hydrographiques

La baie d'Alger est le réceptacle de deux principaux oueds à régime très irrégulier, ils sont caractérisés par un long étiage de six mois et des crues d'hiver et de printemps soudaines et fortes.

Oued El Harrach : Le bassin versant de l'oued El-Harrach présente une superficie de 970 km² et une altitude moyenne de 830 m; ce bassin est caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une faible pluviométrie. se déverse au centre de la baie.

Oued EL Hamiz : Il prend source dans l'Atlas blidéen avant de traverser la plaine de la Mitidja. La superficie du bassin versant de l'Oued El-Hamiz est de l'ordre de 160 km², se déverse à l'Est de la baie près du cap Matifou. la présence du barrage El-Hamiz a réduit considérablement les apports terrigènes en baie d'Alger.

II.4.2 Facteurs hydrodynamiques

II.4.2.1 Le vent

D'une manière globale, une prédominance des vents Nord-ouest et Nord-Est observée. L'hiver est caractérisé par une agitation quasi permanente au cours de laquelle les vents dominants proviennent des directions comprises entre le Nord-Ouest et Nord Nord-Ouest. La saison estivale est relativement plus calme et peu agitée, les vents du secteur Nord-Est et Est étant dominants (Leclaire, 1972).

II.4.2.2 La houle

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, la direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle.

D'après les données de houle requises d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « summary of synoptic météorological observation » S.S.M.O s'étalant sur une période de 8 ans (1963 à 1970) ; il a été observé une dominance des houles de Nord-Est.

II.4.2.3 Les courants de dérive littorale

Ces courants existent quand il y a incidence oblique de la houle, ils sont parallèle à la côte et contribuent à mettre les sédiments en mouvement, à les transporter et à la disperser.

(La dominance dans la baie d'Alger est une dérive est-ouest durant l'été et une dérive Ouest-Est durant l'hiver) (Belkessa, 2005).

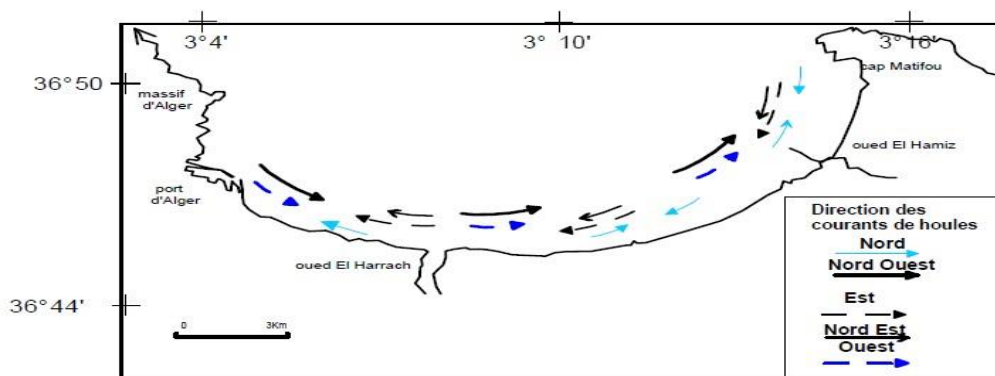


Figure II-7: Schéma synthétique de la dynamique littorale dans la baie d'Alger (Belkessa, 2005)

II.4.3 Les sources potentielles de pollution

Tout le long de son pourtour et plus particulièrement dans sa partie Ouest, La baie d'Alger reçoit les rejets urbains, industriels et portuaires de l'agglomération algéroise et des communes environnantes :

- Le port d'Alger par les activités portuaires et les égouts qui s'y déversent.
- Les émissaires urbains du secteur Hussein-dey qui véhiculent les rejets domestiques et industriels de la ville d'Alger.
- L'oued El-Harrach, véritable égout à ciel ouvert, draine la partie Est de la plaine de la Metidja ; ses eaux sont chargées de déchets domestiques et industriels de toute la zone Est.
- Une station de traitement des eaux usées est située en amont de l'embouchure de cet oued (Baraki).
- Une multitude d'égouts, de moindre importance, non signalée par les services du cadastre, déversent les eaux usées, d'origine domestique, dans la baie.
- Les nombreux navires en mouillage dans la rade, constituent également un risque de pollution des eaux de la baie.
- Les apports atmosphériques, en relation avec l'intense circulation automobile, particulièrement dans la ville d'Alger (secteur Ouest) (LEM, 1998).

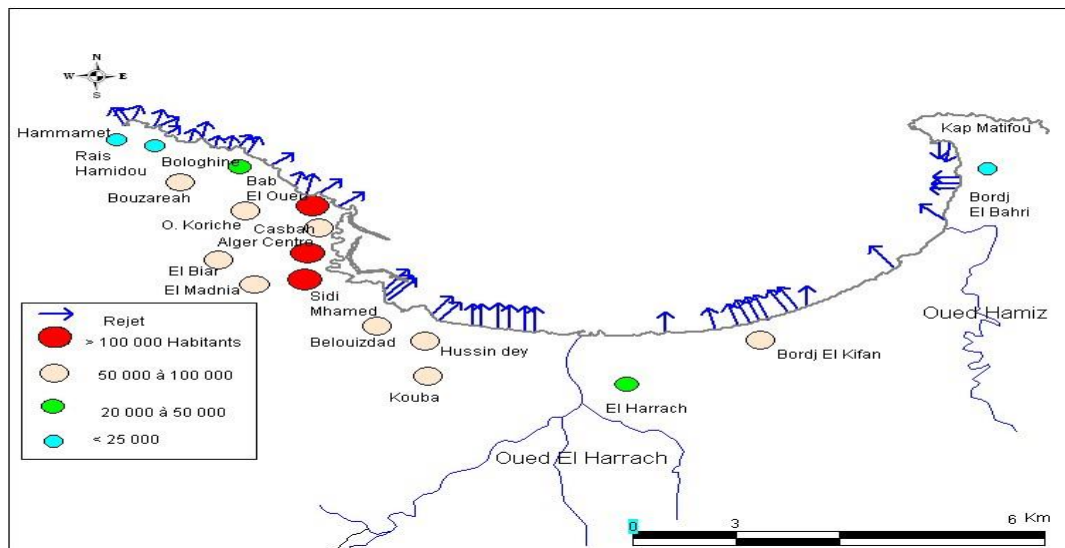


Figure II-8: Rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 1998)

Le site d'échantillonnage

II.4.4 Port d'Alger

Les coordonnées géographiques de positionnement : 03°02' de longitude Est et 36°50' de latitude Nord

Le port d'Alger est situé à l'Ouest de la baie d'Alger. Le port d'Alger couvre un plan d'eau de 179 ha pouvant recevoir des navires ayant un tirant d'eau de 11m. L'accès au port s'effectue par 2 entrées, la passe Nord est large de 176m avec une profondeur de 22m, la passe Sud de 240 m de largeur et une profondeur de 16m.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). (figure15)

II.5 La baie de Zemmouri

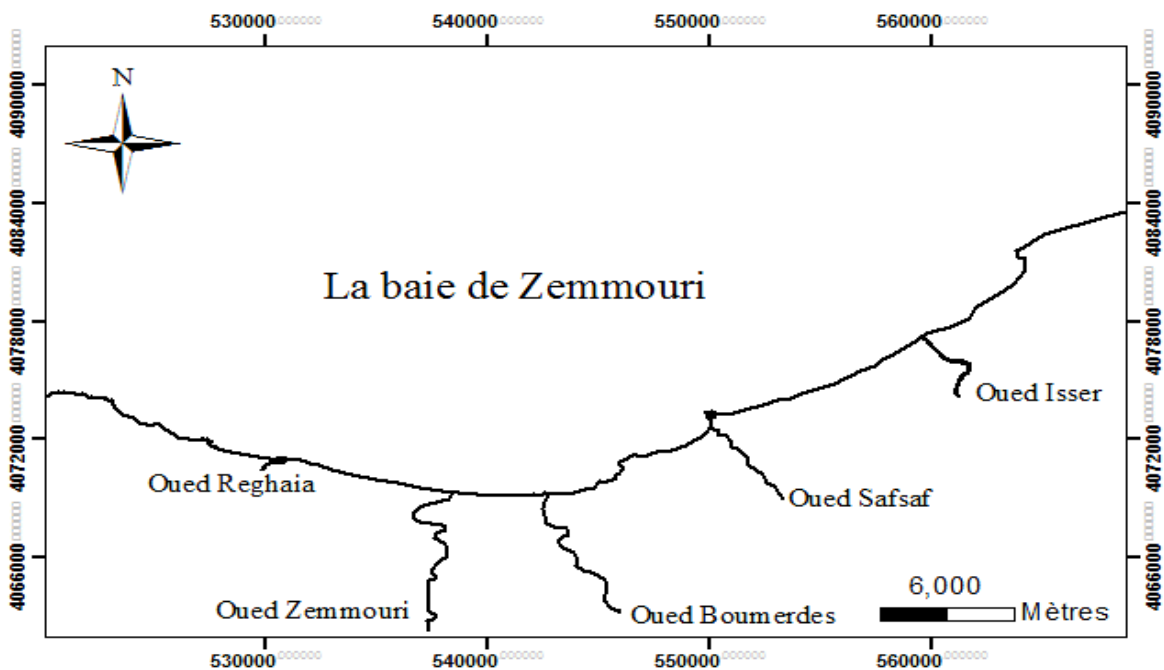


Figure II-9: La localisation de la baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri se situe à l'Est de la baie d'Alger, délimitée à l'Est par le Cap Djinet et à l'Ouest par le cap Matifou. Largement ouverte vers le Nord, elle s'étale sur 50 km. L'oued Isser constitue le principale émissaire. Le plateau continental est très étroit, occupe entre 2 et 6 km de largeur.

A l'Est de Cap Matifou, le plateau devient exigu au droit des îles Sandja et la pente s'élargie à nouveau.

II.5.1 Réseaux hydrographiques

Au niveau de cette baie se déversent une multitude d'oueds de nature et d'importances variables, ceux-ci entraînent des apports plus ou moins importants le long des côtes de la baie. Ces apports actuels peuvent provenir de deux systèmes différents :

- **Le système Est :**

Qui est celui de l'oued Isser, l'un des plus importants oueds en Algérie, a un grand bassin versant transportant sur une grande distance des matériaux variables (débris solides) : vases, limons, minéraux solides et légers, matières organiques.

- **Le système Ouest :**

Qui est celui des petits oueds côtiers situés à l'ouest de Zemmouri El Bahri.

Oued Boudouaou, oued Reghaia, oued Boumerdes et oued Safsaf, qui ont des débits moins importants mais drainant principalement des régions à faciès cristallins d'où des apports de sables à minéraux variés.

En plus de ces différents matériaux que drainent ces oueds, des apports en déchets urbains et industriels se déversent en mer soit par les égouts qui débouchent directement sur la mer soit par l'intermédiaire des oueds (**Lokmane, 1993**).

II.5.2 Facteurs hydrodynamiques et climat

Le climat est humide, la moyenne annuelle des précipitations est de 6,14mm en été et de 102 à 123 mm en hiver (**Tazeouti, 2007 in Zerrouki, 2014**).

Les vents Ouest, Nord-Est et Sud-est dominant le reste de l'année. La température moyenne des eaux est de 13 à 17 °C en hiver, et 25 à 30 °C en été.

Les sites d'échantillonnage

II.5.3 La ferme Orca Marine (Sercouf)

Les coordonnées géographiques de positionnement : 36.794311° Nord et 3.305687° Est.

La ferme est délimitée par Alger plage à l'ouest, Reghaia à l'est, Rouïba au Sud. Elle est située en dehors de la baie d'Alger à environ 1000m de la plage de Ain Taya dont la zone conchylicole a un fond composé de sable grossier et de gravier, située en mer ouverte soumise à des renouvellements d'eau et à des hydrodynamismes sans aucune protection.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).

II.5.4 Boudouaou El Bahri

Les coordonnées géographiques de positionnement : 36.772576° et 3.407233°

Est une commune de la wilaya de Boumerdès, située à 5 km au nord de Boudouaou, à 7 km à l'Ouest de Boumerdès et à environ 35 km à l'Est d'Alger. Les prélèvements ont été effectués au niveau d'une plage où des espèces de moules étaient sur des roches naturelles.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Mytilusedulis*. (figure15,16)



Figure II-10: Photographie de la côte rocheuse de Boudouaou el Bahri

II.5.5 Figuier

Les coordonnées géographiques de positionnement : 36.773489° et 3.504308°

El Karma (ex Figuier) est une commune de la wilaya de Boumerdès, Les prélèvements ont été effectués au niveau d'une plage où des espèces de moules étaient sur des roches naturelles.

Les individus récoltés sont du genre *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).



Figure II-11 : Photographie de la côte rocheuse de Figuier

Chapitre III

III. Matériels & Méthodes

Le tableau suivant résume les observations dans les stations d'échantillonnage et le genre des espèces récoltées :

Tableau III-1 : Tableau représentant les stations de prélèvement et les observations

stations	espèces	Etat de la mer	Date
Boudouaou el Bahri	<i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>edulis</i>	Mer agitée et peu visible	23/04/2017 à 11h
Figuier	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mer agitée et peu visible	23/04/2017 à 11h50
Port d'Alger	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mer calme	24/04/2017 à 12h30
Bousmail	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mer calme et bien visible	25/04/2017 à 11h
Fouka Marine	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mer calme et peu visible	25/04/2017 à 11h30
Zeralda	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mer calme et très visible	25/04/2017 à 12h15
Sercouf	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mer calme	13/05/2017

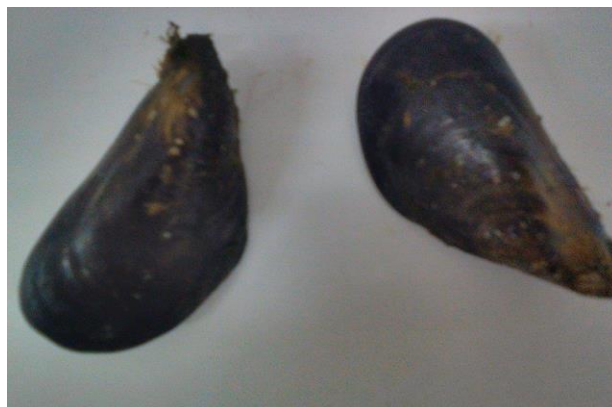


Figure III-1 : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)



Figure III-2 : Mytilus edulis

Travaux effectués sur terrain

III.1.1 Prélèvement

- Une vingtaine d'individus de moules ont été prélevées par station, appartenant à deux classes de taille différentes.
- Le prélèvement a été effectué à l'aide d'un couteau en inox pour éviter toute contamination en détachant soigneusement l'espèce de la roche où elle est fixée.
- Par la suite, les échantillons ont été conservés dans des sachets en plastique étiquetés (date, lieu de prélèvement, l'espèce...) et transportés au laboratoire dans une glacière à 4°C.
- Dès leur arrivée au laboratoire, ils sont conservés au congélateur jusqu'à la dissection.

Le maximum de précautions ont été prises pour éviter la contamination des échantillons sur le lieu de prélèvement et pendant le transport.

III.2 Travaux effectués au laboratoire

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 l'eau courante,
- Rinçage à l'eau bidistillée ; obtenue sur un système MILLI Q (annexes),
- 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 plastique,
- Rinçage à l'eau acidulée à 10% préparée à partir de l'acide chlorhydrique,

- Rinçage à l'eau bidistillée,
- Séchage à l'étuve.

III.2.1 Prétraitement des échantillons

Après décongélation et sur un nombre suffisant d'individus représentatifs de l'échantillon prélevé (25 individus) à l'aide d'un scalpel en inox, la partie molle de chaque individu est détachée de sa coquille et pesée et mise dans un pilulier en plastique et le rapport de remplissage est déterminé (poids de la chair par rapport au poids total).

- Les paramètres morphologiques de la coquille de chaque individu: longueur, largeur et épaisseur ont été mesurés avec un pied à coulisse de 0.01 mm de précision.
- Deux classes de taille sont définies (>30mm et <30mm) à l'exception de la station 4 (Port d'Alger) dont les individus étaient divisés en deux classes (>50mm et <50mm). Et à l'égard du site de Sercouf où toutes les moules appartiennent à une seule classe de taille.
- La chair des individus d'une même classe de taille d'un site est homogénéisée et les analyses sont effectuées sur l'homogénat obtenu.
- Les piluliers sont ensuite placés au congélateur (-18°C) dans le but d'être lyophilisé (figure 17).

❖ Cette opération était réalisée dans le laboratoire d'aquaculture à l'ENSSMAL.

III.2.1.1 L'indice de condition

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.

Parmi les nombreuses formules proposées, nous avons choisi l'indice AFNOR (NF V 45056, sep 85), exprimé par l'équation :

$$IC = (PTSEP / Poids total) * 100$$

PTSEP = Poids des tissus mous sans l'eau palléale

III.2.2 Traitement des échantillons

III.2.2.1 Lyophilisation

La lyophilisation est le procédé de déshydratation par sublimation. C'est-à-dire que l'eau contenue dans l'échantillon passe directement de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide, ce qui permet à l'échantillon de maintenir ses propriétés chimiques initiales. Les échantillons congelés sont immédiatement mis à sécher dans le lyophilisateur à -40°C et sous vide (10^{-1}bar) pendant 48 h par un lyophilisateur (modèle CHRIST BETTA 1-8)



Figure III-3: Lyophilisateur de modèle Christ

III.2.2.2 Broyage

Les échantillons lyophilisés sont broyés à l'aide d'un broyeur automatique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Cette dernière est récupérée dans des piluliers en plastique et stockés dans un endroit sec (dessiccateur en présence de gel de Silice activé).



Figure III-4: Broyeur automatique

III.2.3 Analyse des métaux lourds

III.2.3.1 Extraction des métaux lourds

La méthode utilisée dans les analyses des métaux lourds est la méthode d'extraction du métal total contenu dans l'échantillon.

III.2.3.2 Principe de la digestion ou de « la minéralisation »

La digestion permet de libérer les différents métaux bio-accumulés par la partie molle des moules par extraction et mise en solution pour faciliter le dosage par absorption atomique.

La minéralisation a été effectuée par attaque acide à chaud et sous pression.

III.2.3.3 Le protocole expérimental

Le protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P./I.A.E.A.(1985a et b, 1986a et b). Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

III.2.3.3.1 Minéralisation à blanc

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc. On met dans chaque godet 4 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 68 %. Puis on ferme hermétiquement les godets et on chauffe sur une plaque chauffante à 120 ° C pendant 2h30mn.

On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on rince à l'eau bidistillée et on sèche dans l'étuve.

III.2.3.3.2 Minéralisation des échantillons

Selon le protocole décrit par l'AIEA (1998), la minéralisation a eu lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon.

- On pèse environ 0.5 g de chair de moules lyophilisée. On y ajoute 5 ml de HNO₃ puis on ferme hermétiquement les godets.
- On laisse les échantillons à température ambiante une nuit, afin d'éviter un début de réaction trop brusque (minéralisation à froid) puis on les met sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min. On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on transfère les échantillons dans les tubes en polypropylène de 50 ml.

- On rince les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau distillée.

La solution obtenue doit être agitée. Elle est ensuite conservée au réfrigérateur à + 4°C jusqu'au moment du dosage afin d'éviter toute perte et contamination (AIEA, 2001).

Pour chaque série, on réserve un godet pour témoin blanc.

- ❖ La méthode de dosage utilisée est la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

III.2.4 Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)

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, simple et très documentée (AIEA, 2001), bien adaptée et recommandée pour l'analyse des métaux lourds.

Les éléments métalliques accumulés dans les moules sont analysés par SAA selon les protocoles expérimentaux décrits (AIEA, 2001). La description de la technique d'analyse et les éléments constitutifs du spectrophotomètre utilisé sont inspirés de HITACHI ,1999 et 2000. Les analyses ont été réalisées sur un spectrophotomètre d'absorption atomique de marque HITACHI, modèle Z-5000 équipé de four, flamme et correction effet Zeeman.



Figure III-5: Appareil de spectrophotométrie d'absorption atomique

III.2.4.1 Principe de la SAA

Un rayon monochromatique d'intensité (I_0) et de longueur d'onde donnée est émis par une source de radiation (lampe), ce rayon traverse une solution (x) contenant un élément (y) se

trouvant sur le chemin optique, l'élément (y) va absorber spécifiquement une partie du rayonnement émis.

Cette absorption est en fonction de l'élément (y), de sa concentration et de l'épaisseur du milieu traversé.

L'absorption qui correspond à la différence entre l'intensité incidente et l'intensité transmise ($I_0 - I$) est enregistrée par un dispositif photoélectrique de l'appareil utilisé. Cette absorbance est proportionnelle à la concentration de l'élément dosé suivant la loi de Beer Lambert.

$$I = I_0 e^{-k.e.C}$$

$$\log I_0 / I = k.e.C = DO = Abs$$

I_0 : Rayon émis

Abs = Absorbance.

I = Rayon transmis

K = Coefficient d'absorption atomique

e = épaisseur de la tranche

c = concentration de l'élément (y)

DO = Densité optique

III.2.4.2 Equipement d'un SAA

Les concentrations des métaux étudiés sont déterminées suivant des méthodes différentes.

- **Flamme air acétylène:** Concernant les métaux essentiels aux concentrations relativement importantes (Cu, Zn, Mn, etc...), on utilise la méthode de flamme air acétylène. La surface de l'échantillon est exposée au nébuliseur sous l'action d'un gaz. Celui-ci produit un aérosol qui va être dissocié en atomes par la flamme qui absorbe la lumière émise sous forme de radiation de chaque élément constituant la lampe.
- **Four à graphite:** Les éléments métalliques à concentrations relativement faibles sont analysés à l'aide d'un four à graphite (Cd, Pb...etc). C'est un four en graphite de revêtement pyrolytique interne. Le modèle utilisé est de type «HGA 500» de Perkin Elmer.

Le principe repose sur la volatilisation des échantillons par atomisation dans le four suivant trois cycles de montées de température. 10µl de chaque échantillon sont injectés automatiquement dans le four. Après écoulement du temps de montées de température programmée, l'absorption relative est enregistrée.

III.2.4.3 Dosage des échantillons

Pour tous les métaux étudiés, nous avons utilisé des solutions standards. La calibration du spectrophotomètre est réalisée à partir de quatre solutions (S_0 , S_1 , S_2 , S_3) de concentrations croissantes, S_0 est le blanc des standards.

Les absorbances de ces solutions standards sont mesurées, ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage (Absorbance = f(concentration)), pour les faibles concentrations, c'est-à-dire pour les faibles absorbances, la courbe est quasi linéaire, donc de la forme :

$$Y = aX + b$$

Où :

Y : Densité optique (DO)

X : Concentration du métal à analyser

a: Pente de la courbe

A l'aide de la droite d'étalonnage, nous pouvons déterminer les concentrations inconnues en métaux des échantillons de moules à analyser.

III.2.4.4 Mode de calcul

La concentration de chaque métal est déterminée à partir de l'équation de la droite d'étalonnage, cette dernière est établie par régression linéaire. Connaissant la densité optique du métal (calculée par le programme), on calcule alors la concentration de l'échantillon.

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

:

$$C_{ps} = \frac{C_c}{P_s} * V$$

Où

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

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

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

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

- ❖ Les analyses des métaux traces étaient réalisées au laboratoire de l'ENSSMAL « chimie et pollution marine » à Sidi Fredj.

III.3 Normes et indice de contamination

Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en µg/g) observées chez les moules (Selon les normes AFNOR)

Tableau III-2: Classification de niveaux de pollution chez es moules selon les normes AFNOR

Métaux (µg/g)	Classe de qualité			
	Absence de pollution	Situation intermédiaire	Pollution certaine	Pollution importante
Cd	≤ 1	1 – 2.5	2.5 - 8	> 8
Cu	≤ 12	12 - 45	45 - 80	> 80
Zn	≤ 110	110 - 220	220 - 400	>400

III.4 Les analyses biochimiques

III.4.1 Dosage des protéines totales

L'extraction et le dosage des protéines ont été effectués selon la méthode de référence « Kjeldahl ».

III.4.1.1 Principe de la méthode

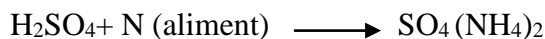
La détermination des protéines par la méthode Kjeldahl s'effectue en trois étapes

III.4.1.1.1 Etape1 : Digestion ou minéralisation de l'échantillon

Pendant l'étape de la digestion, l'Azote protéique est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide sulfurique concentré à haute température, en présence d'un catalyseur et d'un sel :

- L'acide sulfurique concentré a pour but d'oxyder la matière organique et de transformer l'azote protéique en ammoniac NH₃.
- L'addition du sel de sulfate de potassium (K₂SO₄) a pour but d'élever le point d'ébullition de la solution pour accélérer la réaction de minéralisation de la matière organique.
- Le catalyseur utilisé est le Sélénium Se.

La réaction chimique est la suivante :



La minéralisation permet de dénaturer les protéines (casser les liaisons) et de libérer les acides aminés, ensuite transformer l'azote organique en azote minérale. Elle est effectuée à l'aide d'un appareil de minéralisation «Inkjel. M, Behrlabor-technik GmbH» (figure 20) équipé d'une plaque chauffante, un porte matras, un collecteur de fumée et un thermostat. Tout le système est relié à une pompe à vide qui est relié à un piègeur de fumée.

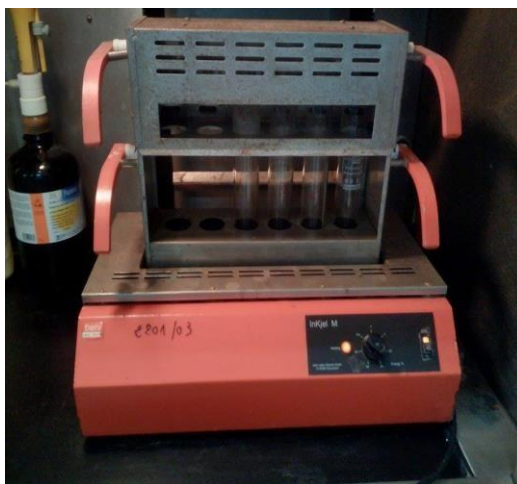


Figure III-6: Appareil de minéralisation « Inkjel »

Après la minéralisation, on filtre chaque minéralisat :

III.4.1.1.2 Filtration et dilution du minéralisât

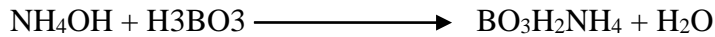
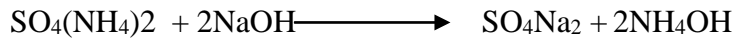
On ajoute environ 50 ml d'eau distillée dans chaque matras et on procède à la filtration dans des erlenmeyers à bouchon colorés en brun jusqu'à 100ml d'échantillon final.

III.4.1.1.3 Etape2 : Distillation de l'ammoniac

Avant de distiller l'ammoniac à la vapeur d'eau, on doit libérer l'ammoniac sous la forme du sel (NH₄)₂SO₄ par l'addition d'une solution concentrée de Soude (NaOH) en excès :

L'ammoniac est ensuite distillé par la vapeur d'eau et piégé dans une solution d'acide borique.

Les transformations chimiques sont :



(sel de borate d'ammonium)

- La distillation s'effectue avec 20 ml du minéralisât filtré qui est placé dans un matras de Kjeldahl (figure 21), puis s'ajoute 40 ml de la soude (NaOH) à 40% dans le matras. le distillat qui est recueilli dans un erlenmeyer de collecte contenant 20 ml d'acide borique à 4%, dont le pH a été préalablement déterminé. la distillation se continue jusqu'à l'obtention de 100 ml de solution (acide borique + ammoniacque entrainé à la vapeur).



Figure III-7: appareil de distillation « Behr, Labor-Technik »

III.4.1.1.4 Etape3 : Titrage de l'ammoniac

L'ammoniac sous la forme de borate d'ammonium est titré directement jusqu'à l'obtention du pH initial de la solution d'acide borique (figure22) à l'aide d'une solution standardisée d'acide chlorhydrique(HCl) à 0.2N, et d'un indicateur « le Tashiroy » (annexes) ajouté au distillat.



Figure III-8: Titrage en mesurant le Ph

- ❖ On fait un blanc en mettant tous les réactifs sauf l'échantillon, pour soustraire l'ammoniac contenu dans les réactifs de l'ammoniac contenu dans l'échantillon.

III.4.1.2 Calcul

Soit : 1 ml de Hcl → 2.803 mg N (azote)

Selon Aissou (2012), le taux des protéines est calculé par l'équation suivante :

$$\% \text{ protéines} = X * F = \frac{2.803 * V * 100}{1000 * m} * F$$

X : Quantité d'Azote dans 100g de la chair

F : facteur dépendant du type d'aliment analysé (=6.25)

V : volume de Hcl

m : Le poids de l'échantillon

III.4.2 Dosage des lipides totaux

La méthode Soxhlet est la méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse dans les aliments solides déshydratés. C'est une méthode gravimétrique, puisqu'on pèse l'échantillon au début et la matière grasse à la fin de l'extraction.

III.4.2.1 Principe de la méthode

L'aliment solide est pesé et placé dans une capsule de cellulose. L'échantillon est extrait en continu par l'éther éthylique à ébullition (P.E 35⁰C) qui dissout graduellement la matière grasse. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Comme seul le solvant peut s'évaporer de nouveau, la matière grasse s'accumule dans le ballon jusqu'à ce que l'extraction soit complète. Une fois l'extraction terminée, l'éther est évaporé, généralement sur un évaporateur rotatif, et la matière grasse est pesée.

Les cartouches de cellulose sont perméables au solvant et à la matière grasse qui y est dissoute. Ces cartouches sont jetables.



Figure III-9: appareil de Soxhlet sur plaque chauffante

III.4.2.2 Calcul

Le taux des lipides est estimé par la relation suivante :

$$\% \text{ lipides} = \frac{M}{m} * 100$$

M : La quantité des lipides (P-P0) en g

m : Poids de l'échantillon

- ❖ Les analyses biochimiques étaient réalisées dans le laboratoire de biochimie à l'ENSSMAL.

Chapitre IV

IV. Résultats & Interprétations

Dans ce chapitre sont présentés et évalués les résultats obtenus des analyses des teneurs en métaux traces (Cu, Zn, Mn, Co, Cd) et les analyses biochimiques (teneurs en protéines et lipides) sur les moules de la côte algéroise.

IV.1 Taille moyenne

Le tableau suivant résume les tailles moyennes des individus récoltés dans chaque station :

Tableau IV-1: Taille moyenne des espèces des différentes stations de prélèvement

	Bou-smail	Fouka Marine	Zeralda	Port d'Alger	Sercouf	Boudouaou el Bahri	Figuier
Classe de taille1	34,33	31,28	40,76	65,87	57,93	46,73	42,33
Classe de taille2	23,76	25,06	25,02	46,02	---	25,81	28,22

D'après le tableau, la taille moyenne des moules prélevées de la baie de Bousmail (de 23 à 40mm) est inférieure à celle de la baie d'Alger et Zemmouri. Tandis que, les individus récoltés du port d'Alger ont des tailles nettement supérieures (jusqu'à 65mm).

IV.2 Indice de condition

La figure suivante représente l'indice de condition mesuré pour les individus prélevés de chaque station :

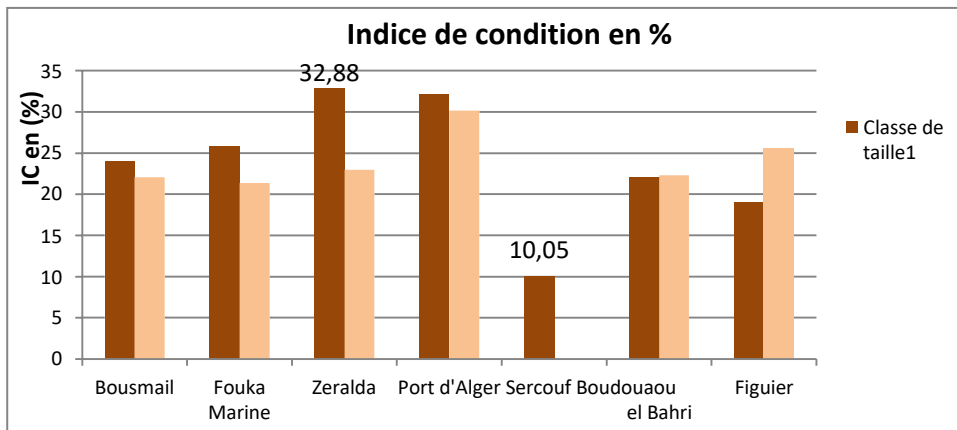


Figure IV-1: représentation de l'indice de condition des moules prélevées

Dans la station de Zeralda (classe de taille > 30mm), Les moules présentent un indice de condition de l'ordre de 32.88 ; c'est la valeur la plus élevée.

L'indice de condition le plus faible (10.05) a été noté chez les moules issues de la station 5 (site de Sercouf). La différence inter-sites n'est pas nettement significative; montrant une légère différence de remplissage des coquilles d'individus récoltés de plusieurs sites.

Les coquilles des moules de la classe de taille 1 présentent un IC légèrement supérieur aux individus de la deuxième classe.

L'indice de condition, indicateur de l'état physiologique des animaux varie selon la nutrition et la reproduction (Cossa 1980).

IV.2.1 Les teneurs en métaux lourds

Les concentrations sont exprimées en microgramme de polluant par gramme de chair de moule analysé par spectrométrie d'absorption atomique.

IV.2.1.1 Le Manganèse

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en Manganèse dans la chair d'espèces de moules récoltées :

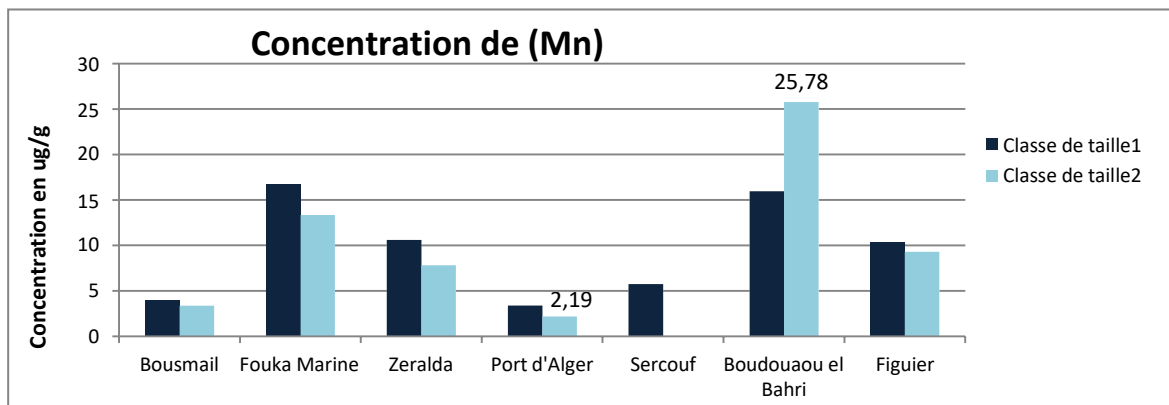


Figure IV-2: Représentation des concentrations de Manganèse dans les moules prélevées de la côte algéroise

Les concentrations moyennes en Manganèse varient de 6 à 16 µg/g de poids sec, à l'égard des deux sites de Port d'Alger et Bousmail où les teneurs en Manganèse ne dépassent pas 3.5 µg/g en Poids sec. Ainsi, la concentration maximale (25.78 µg/g en Poids sec) est notée chez les individus de la classe de taille 2 des moules du site de Boudouaou el Bahri.

Pour les autres sites, on peut remarquer que les moules des deux classes de taille accumulent le Manganèse presque de la même façon.

IV.2.1.2 Le Zinc

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en Zinc dans la chair d'espèces de moules récoltées :

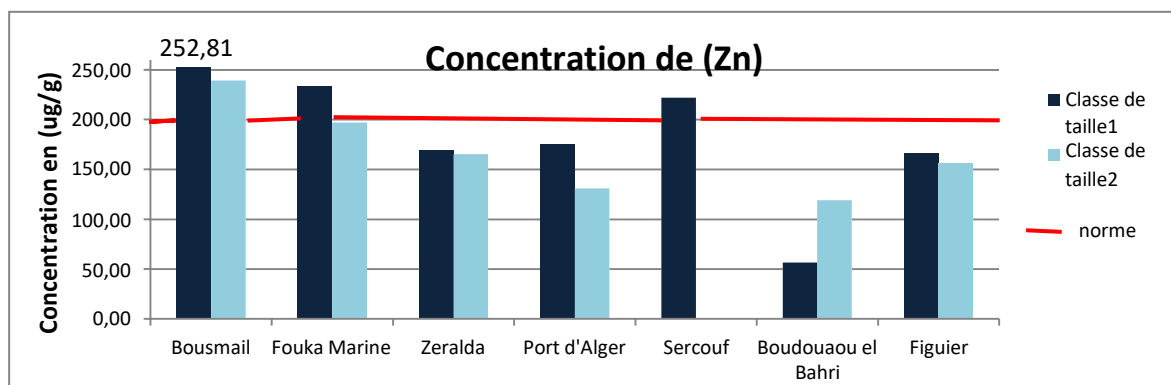


Figure IV-3: Représentation des concentrations de Zinc dans les moules prélevées de la côte algéroise

Les concentrations de Zinc varient entre 119 et 252 µg/g PS. Elles sont relativement élevées pour l'ensemble des stations étudiées.

Par ailleurs, une valeur très faible est enregistrée au niveau de la station de Boudouaou el Bahri (classe de taille $>30\text{mm}$) ; une teneur en Zinc de $56.43 \mu\text{g/g}$ en poids sec.

Au niveau des moules de la classe de taille 1, les concentrations en Zinc sont légèrement plus élevées.

L'accumulation de Zinc chez les moules du port d'Alger serait dû principalement aux activités maritimes qui consistent au chargement et au déchargement d'essences et d'autres produits chimiques ainsi que du séjour à quai des navires (corrosion et dissolution des peintures marines antifouling).

Les teneurs élevées en zinc présentes au niveau de la baie de Bousmail résulteraient très probablement d'une contamination due aux rejets urbains et industriels à partir des apports d'oued Mazafran (Boudjellal et al, 1995).

IV.2.1.3 Le Cuivre

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en Cuivre dans la chair d'espèces de moules récoltées :

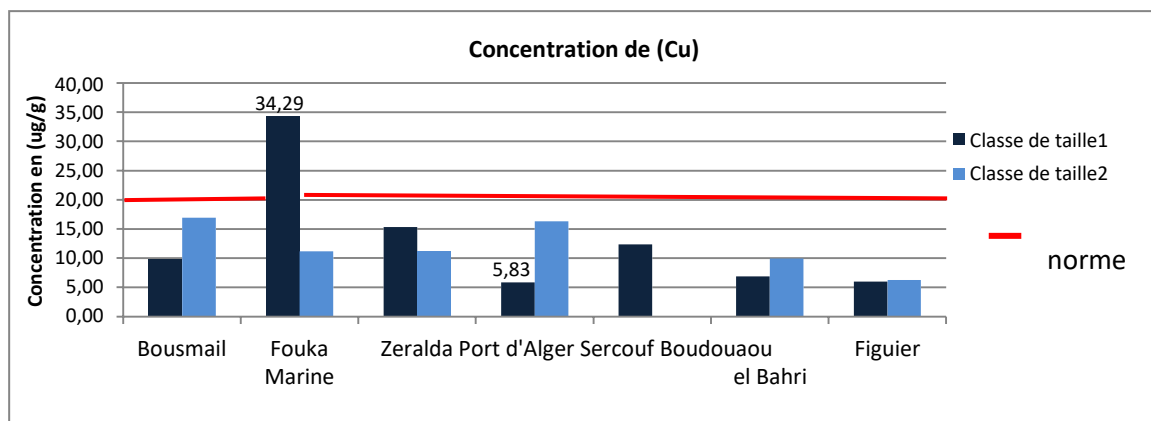


Figure IV-4: Représentation des concentrations de Cuivre dans les moules prélevées de la côte algéroise

La plus part des teneurs en Cuivre oscillent entre 5.83 et $17 \mu\text{g/g}$ PS. Cette dernière valeur reste faible par rapport à la norme européenne tolérable. Par ailleurs, la valeur maximale du cuivre ($34.29 \mu\text{g/g}$ PS) détectée au niveau des moules du site de Fouka marine « taille $>30\text{mm}$ » n'est pas acceptable en comparaison avec les normes C.E.E ($20 \mu\text{g/g}$ PS).

L'accumulation importante du Cuivre dans les moules des sites Fouka Marine, Bousmail peut être due aux lessivages des terres agricoles (étant donné que les engrais et les biocides sont fréquemment à base de cuivre) et les apports terrigènes du oued Mazafran. Tandis qu'au niveau du port d'Alger cette pollution peut être d'origine de l'utilisation de matière active pour les

peintures antisalissures marine, de plus, le port est une zone presque fermée où l'échange d'eau de mer est lent.

IV.2.1.4 Le Cadmium

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en Cadmium dans les moules récoltées :

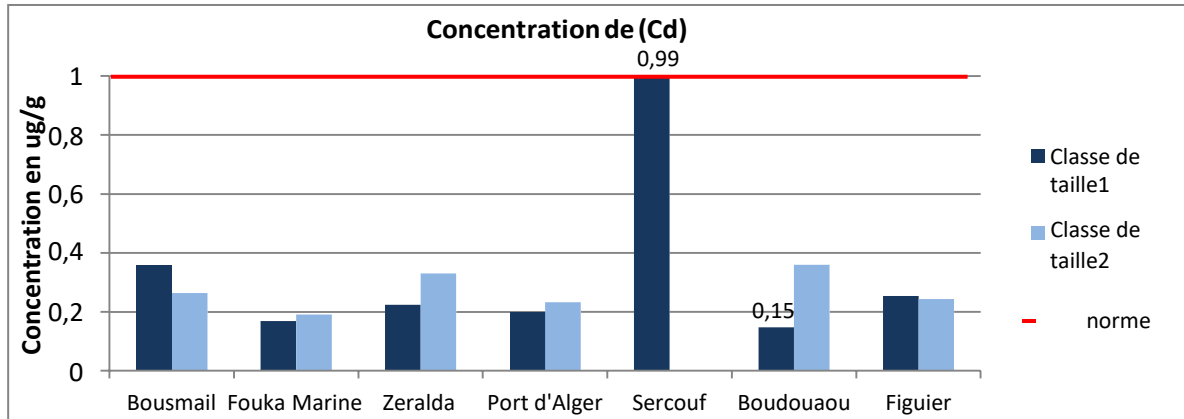


Figure IV-5: Représentation des concentrations de Cadmium dans les moules prélevées de la côte algéroise

Le cadmium présente de très faibles teneurs fluctuant entre 0.15 et 0.36 $\mu\text{g/g}$ de poids sec. Avec un pic enregistré au niveau des moules du site Sercouf.

La plus faible concentration (0.15 $\mu\text{g/g}$ PS) est détectée au site de Boudouaou el Bahri (classe de taille >30mm), Le maximum correspond aux échantillons de la ferme de Sercouf (0.99 $\mu\text{g/g}$) ; néanmoins, cette valeur est avec la limite par rapport à la norme de salubrité (1 $\mu\text{g/g}$ PS) retenue par la C.E.E.

La teneur élevée en Cadmium des moules de la ferme de Sercouf est probablement liée à l'activité industrielle.

IV.2.1.5 Le Cobalt

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en Cobalt dans la chair d'espèces de moules récoltées :

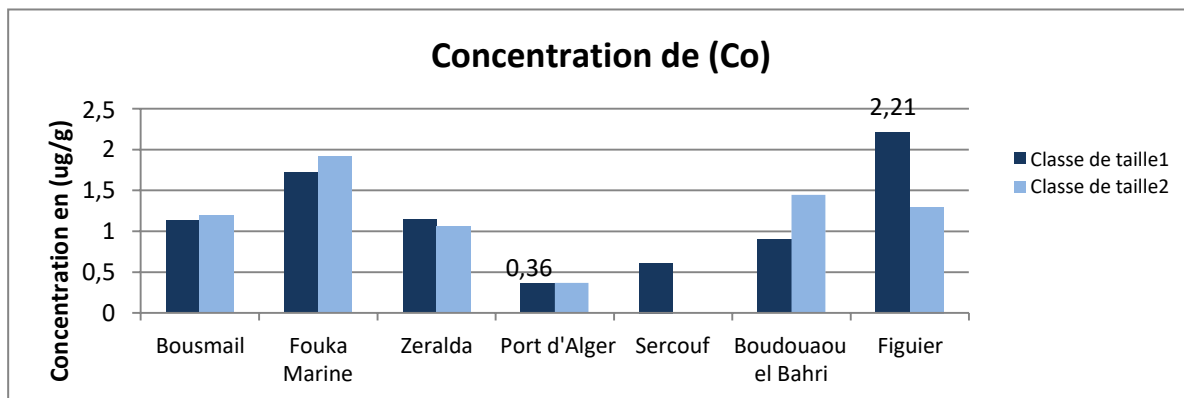


Figure IV-6 : Représentation des concentrations de Cobalt dans les moules prélevées de la côte algéroise

D'après les résultats obtenus, Les concentrations moyennes en Co varient de 0.9 à 2.21 µg/g de poids sec, à l'égard des deux sites de Sercouf et Port d'Alger où les teneurs en Cobalt ne dépassent pas 0.6 µg/g PS.

On peut remarquer que les individus de deux classes de taille accumulent le Cobalt de la même façon.

La forte accumulation du Cobalt au niveau des moules du site Figuier a probablement pour sources les rejets d'origine industrielle, ainsi que les eaux de ruissellement. Surtout que ce dernier est utilisé à des fins médicales et dans certaines peintures.

IV.2.2 Comparaison intersites

Le tableau ci-dessus donne les moyennes de concentrations en métaux traces dans les moules récoltées de chaque baie :

Tableau IV-2: Les concentrations moyennes en métaux traces dans les moules de chaque baie

Sites Métaux Traces (µg/g)	Baie de Bousmail	Baie d'Alger	Baie de Zemmouri
Mn	9,30	2,79	12,15
Zn	209,48	152,81	157,04
Cu	16,46	11,08	8,98
Co	1,36	0,37	1,18
Cd	0,26	0,21	0,50

Les résultats des dosages des métaux traces chez les moules des trois baies permettent d'estimer le taux de pollution métallique des eaux de la côte algéroise.

Seules les moyennes sont présentées pour la comparaison entre les sites étudiés.

La contamination en Cd des moules de la baie de Zemmouri est importante (2 fois plus contaminées que celles de la baie de Bousmail et d'Alger), la contamination en Cu et Zn des sites de la baie de Bousmail est patente (une teneur en Zinc de plus de 209 $\mu\text{g/g}$ et 16.46 $\mu\text{g/g}$ en Cuivre).

De même, les moules de la baie de Zemmouri sont plus contaminées en Manganèse, tandis que celle de la baie d'Alger « site du port d'Alger » représentent la concentration la plus faible (respectivement 12.5 et 2.79 $\mu\text{g/g}$).

La concentration moyenne en Zn dans les trois baies est élevée et supérieure à 110 $\mu\text{g/g}$; les sites peuvent être classés comme pollués.

Le site de Fouka Marine est l'un des sites les plus pollués de la baie de Bousmail, comparé au site de Zeralda et Bousmail ; cette pollution proviendrait essentiellement de :

- L'importante activité agricole de cette zone ;
- Des fongicides et engrais utilisés dans cette zone agricole ;
- Des rejets des complexes touristiques qu'elle abrite ;
- Des rejets d'eaux usées domestiques (**Boudjellal et al, 1995**).

La pollution métallique est relevée aussi bien au niveau des individus avec une taille >30mm qu'au niveau des organismes qui ont une taille inférieure, sauf dans le site de Boudouaou.

Cependant, le danger que représentent de telles concentrations pour l'homme et l'environnement marin ne devrait pas être négligé.

IV.2.3 Comparaison des teneurs en métaux traces dans les moules avec les résultats précédents

Le tableau suivant illustre les résultats obtenus pour les différents métaux analysés dans cette étude et des travaux précédents

Tableau IV-3: Comparaison des résultats obtenus avec les résultats des travaux précédents

	Site d'étude	Zn	Mn	Cu
Présente étude	Baie de Bousmail	218,236	10,42	19,82
	Baie d'Alger	152,81	2,79	11,15
	Baie de Zemmouri	111,27	10,68	8,43
Travaux précédents	Baie d'Alger (Bouadi, 2016)	107.2-151.77	6.12-15.7	10.04-91.39
	Baie de Zemmouri (Bouadi, 2016)	137.9	9.78	8.12
	Baie de Bousmail (Bouadi, 2016)	111.22	15.09	7.59
	Baie d'Alger (Rebhi, 2013)	171-350.89	33.65	2.17-53.34
	Baie de Zemmouri (Rebhi, 2013)	167.41	44.31	2.26
	Baie de Bousmail (Rebhi, 2013)	202	36.12	2.26
	Côte algéroise (Kherboub, 2014)	95.6-239.53	--	--
	Baie de Bousmail (Meguellati, 2012)	270.5	15	7,5
	Baie d'Alger (Meguellati, 2012)	182.5	13	6

De la comparaison des teneurs métalliques avec les travaux précédents ressort une illustration sur l'évolution des teneurs.

Les teneurs en zinc sont en augmentation dans les trois baies (de 100 à 200 µg/g PS)

Tandis que, les valeurs du Mn sont plus faibles par rapport aux résultats des travaux précédents, surtout au niveau de la baie d'Alger.

En ce qui concerne le Cuivre, les concentrations dans les trois baies présentent une augmentation très nette (de 2 à 19.82µg/g PS).

Au contraire, la teneur en Manganèse a fortement diminué au niveau de la baie d'Alger (2,7 µg/g PS dans la présente étude).

IV.2.4 Corrélation inter-métaux

Le tableau suivant représente le type de corrélation entre les différentes concentrations de métaux traces :

Tableau IV-4: Corrélation inter-métaux

	R	Interprétation
Zn-Cu	0,44	Corrélation non significative
Zn-Mn	-0,45	Corrélation non significative
Zn-Co	0,11	Corrélation non significative
Zn-Cd	0,4	Corrélation non significative
Cu-Co	0,32	Corrélation non significative
Cu-Mn	0,53	Corrélation significative
Cu-Cd	-0,09	Corrélation non significative
Mn-Co	0,5	Corrélation significative
Mn-Cd	-0,45	Corrélation non significative
Cd-Co	-0,33	Corrélation non significative

Deux corrélations significatives entre le couple Cu– Mn et Mn-Co est révélées (Tableau 6), ce qui pourrait indiquer que l'accumulation d'un de ces éléments métalliques dans les moules des sites étudiés est lié à la présence de l'autre.

L'absence d'une corrélation entre les autres couples de métaux pourrait être expliquée par la différence des variables biologiques (taille, poids...etc.) des moules dans les trois baies.

IV.3 Résultats d'analyses biochimiques

IV.3.1 Lipides

Les résultats d'analyse du taux de lipides dans la chair des moules prélevées sont représentés dans la figure ci-dessous. Les analyses ont été effectuées par la méthode Soxhlet. La chair de moule de deux classes de taille de la même station ont été homogénéisées.

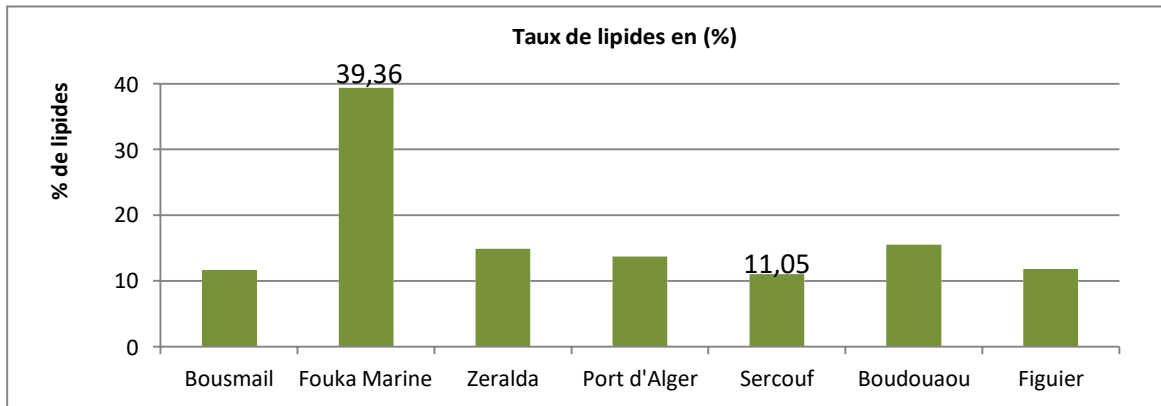


Figure IV-7: Représentation des teneurs en lipides dans les moules prélevées de la côte algéroise

L'analyse montre des teneurs en lipides homogènes dans tous les moules des stations étudiées, à l'exception des espèces du site Fouka Marine qui présentent un taux de lipides nettement élevé (39.36% en PS).

IV.3.2 Protéines

Les résultats d'analyse du taux de protéines dans la chair des moules prélevées sont représentés dans la figure ci-dessous. Les analyses ont été effectuées par la méthode Kjeldahl (figure 31).

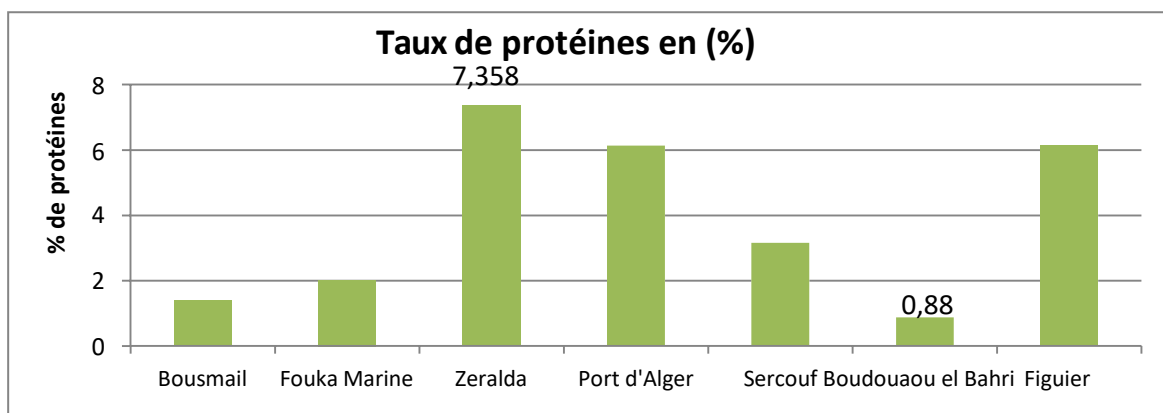


Figure IV-8 : Représentation des teneurs en protéines dans les moules prélevées de la côte algéroise

L'analyse montre des teneurs en protéines élevées dans les moules du site de Zeralda, Port d'Alger et Figuier.

Tandis que les moules des autres stations représentent un taux en protéines plus faible avec un minimum de 0.88 % en PS au niveau du site Boudouaou el Bahri.

IV.4 Corrélation entre teneurs en métaux traces _ teneurs en lipides et protéines

Les corrélations entre les teneurs en métaux et teneurs en lipides et protéines dans les moules de la cote algéroise sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-5 : Corrélation entre les teneurs en lipides et protéines et l'accumulation de métaux traces

	R	Interprétation
Mn -% en protéines	-0,28	Corrélation non significative
Mn -% en lipides	0,66	Corrélation significative
Zn -% en protéines	-0,02	Corrélation non significative
Zn-% en lipides	0,22	Corrélation non significative
Co-% en lipides	0,35	Corrélation non significative
Co-% en protéines	0,07	Corrélation non significative
Cd-% en protéines	-0,12	Corrélation non significative
Cd-% en lipides	-0,35	Corrélation non significative
Cu-% en protéines	-0,23	Corrélation non significative
Cu-% en lipides	0,92	Corrélation significative

Le taux de protéines et de lipides et celui de la concentration des métaux traces dans les moules des stations étudiées ne présentent pas une corrélation significative, alors que cette corrélation se manifeste entre l'accumulation en Cuivre et Manganèse avec le taux de lipides dans la moule.

Conclusion générale

Cette étude a été menée dans le cadre d'un projet du réseau de biosurveillance des eaux de la côte algéroise avec l'utilisation des espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* et *Mytilus edulis*) comme bioindicateur sur l'état de la contamination par les métaux traces et d'estimer la corrélation entre la teneur en lipides et protéines avec le taux d'accumulation de pollution métallique par les moules.

Globalement, l'accumulation des métaux traces (Cd, Mn, Co, Cu et Zn) chez les moules des stations étudiées ne montre pas de différences significatives selon la taille.

Les moules des stations de la baie de Bousmail sont significativement plus contaminées par le Zinc, Cuivre, Cobalt et Manganèse que celles des autres stations.

Par ailleurs, les moules du site Sercouf sont hautement contaminées par le Cadmium où elles présentent des valeurs seuils avec les normes.

D'autre part, la consommation incontrôlée et anarchique de ce bivalve peut s'avérer dangereuse pour les populations de la région.

Les moules des trois baies sont classées comme modérément polluées, en particulier les moules de la baie de Bousmail. Qui est due en grande partie à la contribution des apports anthropiques des oueds de la baie

Cette étude montre également que toutes les moules des stations étudiées ont plus d'affinité pour le Zinc ; d'où des concentrations élevées étaient observées.

De plus, l'indice de condition étudié révèle que les coquilles des moules issues de la station de Zeralda et le port d'Alger ont un degré de remplissage relativement plus important par rapport aux autres stations de prélèvement.

L'étude biochimique indique la richesse des moules de la baie de Bousmail en lipides et du site du port d'Alger en protéines.

Ainsi que l'accumulation en Cuivre et Manganèse avec le taux de lipides dans l'espèce de moule montre une corrélation significative, ce qui pourra expliquer la forte accumulation de ces métaux traces dans les moules de la baie de Bousmail.

Perspectives

A l'image des conclusions énoncées dans ce travail, on recommande :

- De continuer le suivi pendant plusieurs années afin d'établir une stratégie qui va nous permettre de résoudre le problème de la pollution incontrôlée dans la côte algéroise.
- D'envisager d'autres études et approches analytiques en parallèles avec ce travail pour une compréhension meilleure de la relation entre le taux de mortalité des moules et la qualité biologique du milieu. Si l'existence d'une corrélation entre ces deux paramètres s'est confirmée, elle permettrait de prévoir, dans une certaine mesure, la faisabilité biologique d'une étude de surveillance active.
Ainsi pour confirmer la relation entre les teneurs en lipides et protéines avec le taux d'accumulation de métaux traces par les moules.
- Vue la grande affinité des espèces de moules étudiées pour le Zinc, il est également donc recommandé d'utiliser plusieurs bioindicateurs par site pour l'étude de la pollution.

Références bibliographiques

ALZIEU, C. (1999). Dragage et environnement marin, état des connaissances : Rapport de l'IFREMER. Nantes : 223 p.

AMIARD, J. (2011). Les risques chimiques environnementaux, méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. France: Lavoisier, Paris : 65 p.

BARNABE, G. (1989). Aquaculture. Paris : Lavoisier. 198 p.

BELLAN, G et PERES, J-M. (1986). La pollution des mers. presses universitaires de France. Paris : pp 5-12.

BELKESSA, R. (2005). Les ports algériens. Ensablement et pollution par les métaux lourds et dragage. Thèse de Doctorat. Constantine : Université de Constantine Faculté des Sciences de la Terre, 425 p.

BOUADI, M-C. (2016). Etude des métaux traces chez les moules de la côte algéroise. Mémoire d'ingénieur. Algérie : ENSSMAL, 58 p.

BOUDJELAL, Y. (1995). Heavy metals the superficial sediments of Bouismail bay. Report of Laboratory of chemistry and marine pollution. Alger: ISMAL.

CHEBAB, B. (1996). Influence sur la reproduction de l'immersion permanente de *Mytilus galloprovincialis* placé en élevage. Mémoire de Magister. Alger: ENSSMAL, 55 p.

CASAS, S. (2005). Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat, université de Toulon : 314 p.

CHIFFOLEAU, J-F et al. (2001). Spatiotemporel changes in Cadmium contamination in the Seine estuary: Rapport de l'IFREMER. France : 26 p.

COSSA, D. (1980). Trace element in *Mytilus edulis* L from the estuary and gulf of St Lawrence, Canada. In: Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological, 23, p.p. 1-8.

Devallois, V. (2009). Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonnesédimentaire des hydro systèmes continentaux. Thèse de doctorat. France : Université de Provence, 237 p.

DEVAUCHELLE, N. (1995). La reproduction naturelle et contrôlée des bivalves cultivés en France : Rapport de l'IFREMER. France : 48 p.

ESSEIN, J-P. (2009). Distribution, Seasonal Variations and Ecotoxicological Significance of Heavy Metals in Sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp. In: Water Air Soil Pollut : 91–105 .

HAOUCHINE, M. (1995). Ecologie et biologie de la reproduction de la moule au sein d'un système lagunaire saumâtre (lac El Melah). Mémoire de Magister. Alger : USTHB, 105 p.

KAISER, J. (2001). Bioindicators and biomarkers of environmental Pollution and Risk Assessment. Report of Indian Institute of Chemical Technology Hyderabad, India: 77 p.

KANKOU, M. (2004). Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie. Etude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de Doctorat. France: Université de Limoges, 159 p.

LACAZE, J. (1980). La pollution pétrolière en milieu marin. France : Ed. Masson. 119 p.

LACOUÉ-LABARTHE, 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. France : université de La Rochelle, 200 p.

LECLAIRE, L. (1972). La sédimentation Holocène sur le versant Méridional du bassin algéro- baléares (Précontinent algérien). France : Muséum. 391 p.

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

LEORY J.B (1999). La pollution des eaux. Edition : Le point des connaissances actuelles, France, 126 P.

LESNE, J. (1992). Coquillages et santé publique - Du risque à la prévention. France : Ed. ENSP. 343 p.

LOKMANE, D. (1993). Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la baie de Zemmouri. Mémoire de DEUA. Alger : ISMAL, 45 p.

LUOMA, S-N et RAINBOW, Ph. (2008). Metal contamination in aquatic environment. Cambridge : Cambridge, 573 p.

MARTEIL, L. (1976). La conchyliculture française, biologie de l'huître et de la moule. Revue des travaux de l'Istitut des Pêches Maritimes, n^o 40. Vol. 2, pp 149-346.

MASON, R-P et Reinfeld, J-R. (1998). Toxicity and trophic transfer of mercury in a coastal diatom: Report of Princeton University. New Jersey: 30 p.

MEGUELLATI, A. (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. Alger : ENSSMAL, 111 p.

- MERSCH, J. (1993).** Modalités d'utilisation de la moule Zèbre en tant qu'indicateur biologique de la contamination des écosystèmes d'eau douce par les métaux lourds. Thèse de Doctorat.
France : Université de Metz, 281 p.
- M.P.O. (2003).** Profil de la inouïe bleue (Région du Golfe) : Rapport de MPO. Canada, 59 p.
- O.M.S. (1980).** Les micropolluants dans les sédiments fluviaux : Rapport de l'O.M.S., Danemark, 86 p.
- P.A.C. (2006).** Programme d'aménagement côtier (zone côtière algéroise) : Rapport du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Alger, 13 p.
- RAMADE, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. France : Ed. Ediscience International. 428 p.
- RAMADE, F. (2011).** Introduction à l'écochimie-Les substances chimiques de l'écosystème à l'homme. Paris : Ed. Lavoisier. 55 p.
- REBHI, S. (2013).** Les métaux traces dans les moules du littoral algérois. Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, 29 p.
- SALVARREDYA (2008).** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni par des déchets miniers. Thèse de doctorat. France : Université de Toulouse, 215 p.
- WAYKAR-B et DESHMUKH-G. (2012).** Evaluation of bivalves as bioindicators of metal pollution in fresh water. In: Contam Toxicol. N°88, pp. 48-53.
- ZHOU, Q et al. (2008).** An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Analytica Chimica Acta. N°606, p.p. 135-150.
- ZERROUKI, M. (2014).** Etude de l'acidification et de l'oxygénation de la côte algérienne. Mémoire de magister. Alger : ENSSMAL

Annexes

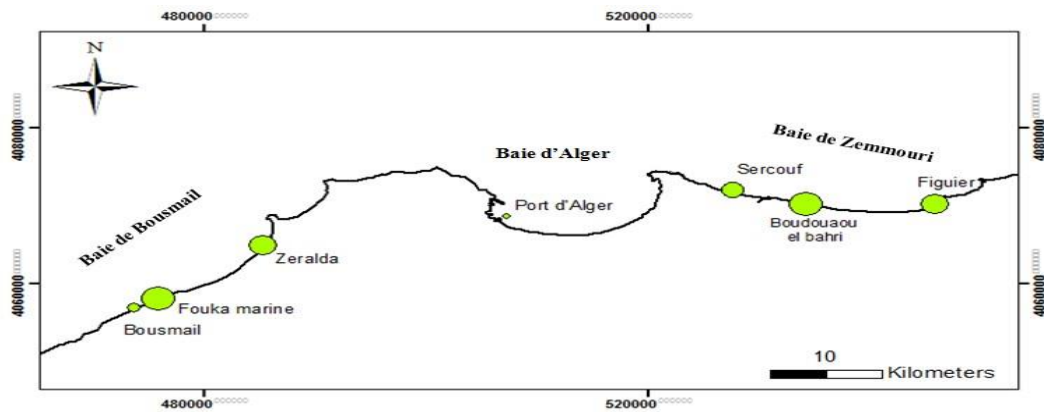


Figure : Répartition des teneurs en Manganèse dans les moules de la côte algéroise

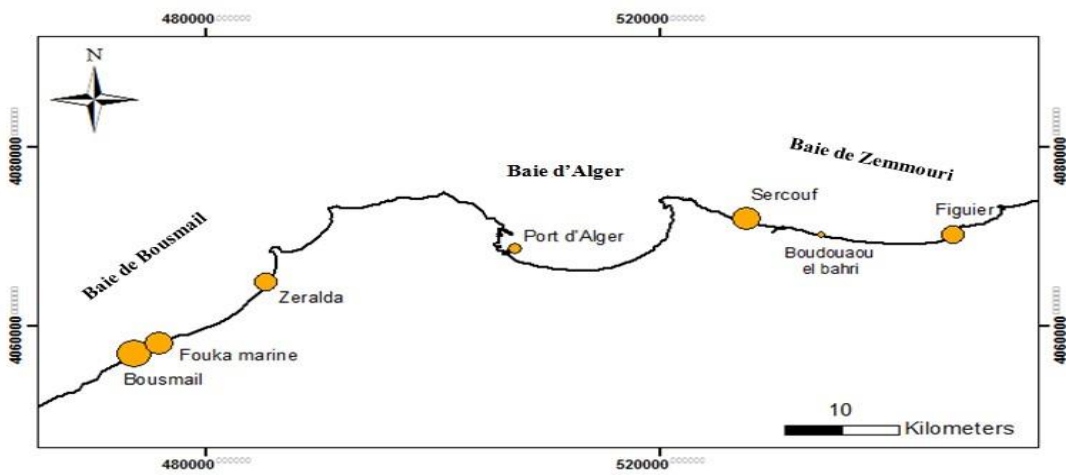


Figure : Répartition des teneurs en Zinc dans les moules de la côte algéroise

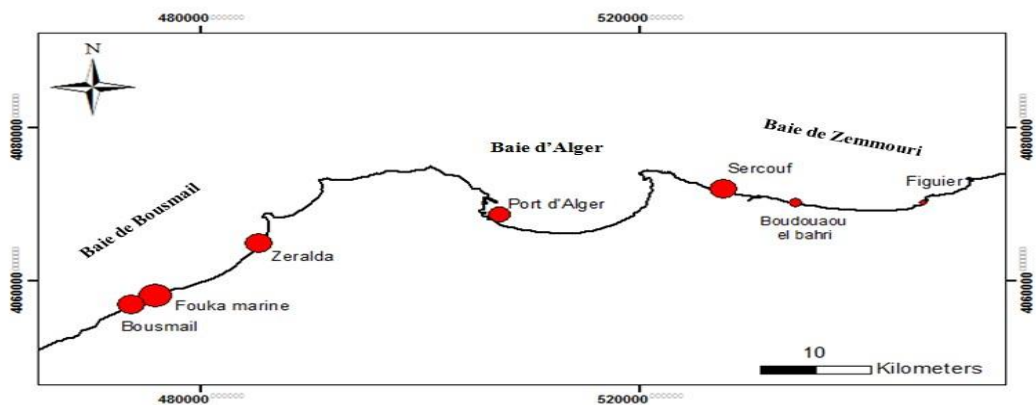


Figure : Répartition des teneurs en Cuivre dans les moules de la côte algéroise

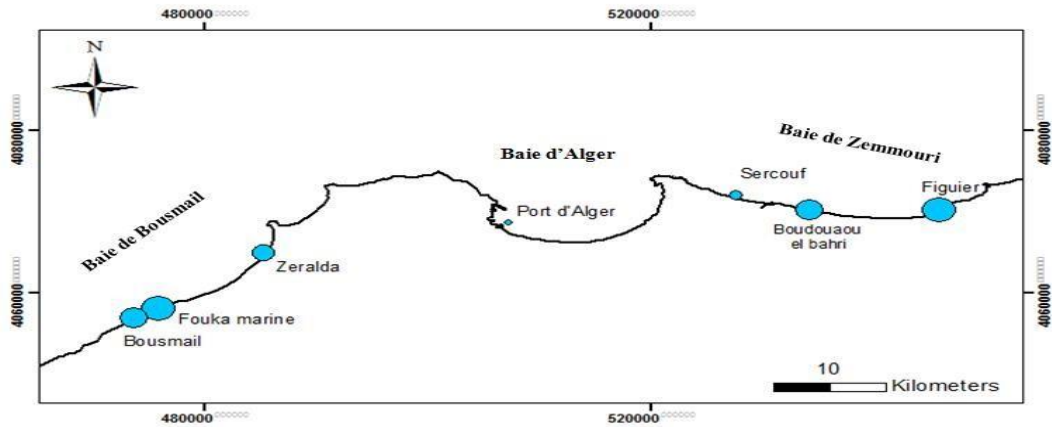


Figure : Répartition des teneurs en Cobalt dans les moules de la côte algéroise

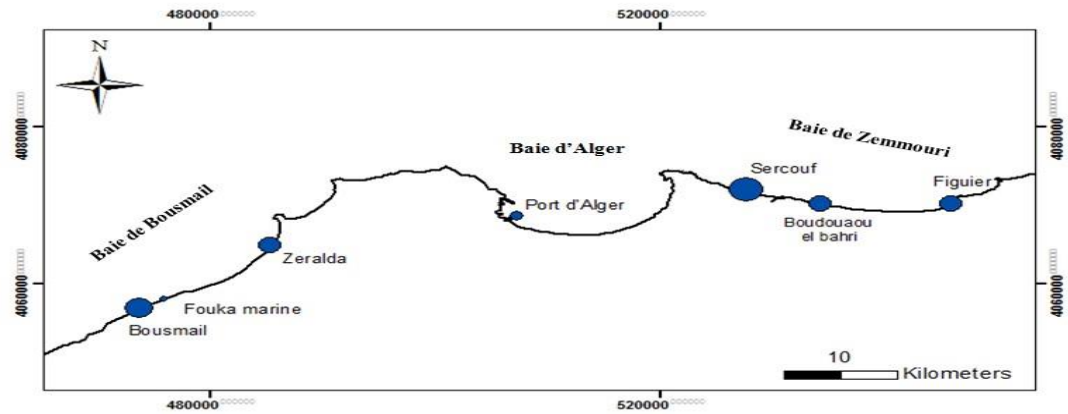
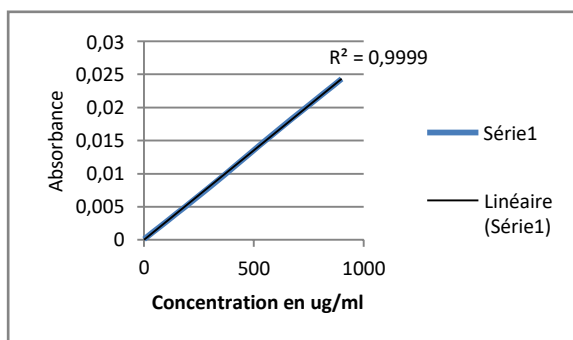


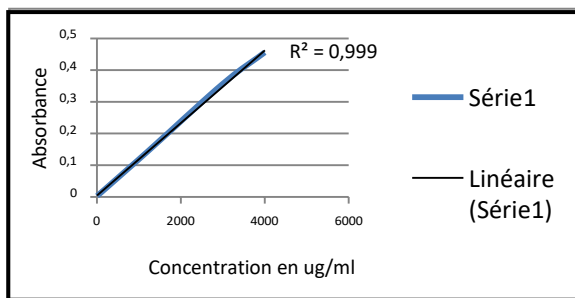
Figure : Répartition des teneurs en Cadmium dans les moules de la côte algéroise

Gamme d'étalonnage du Manganèse



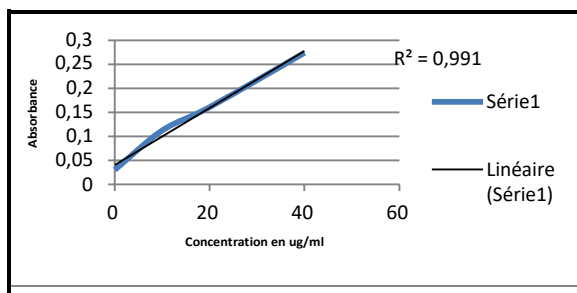
Standards	Concentration en ug/ml
S1	300
S2	600
S3	900

Gamme d'étalonnage du Zinc



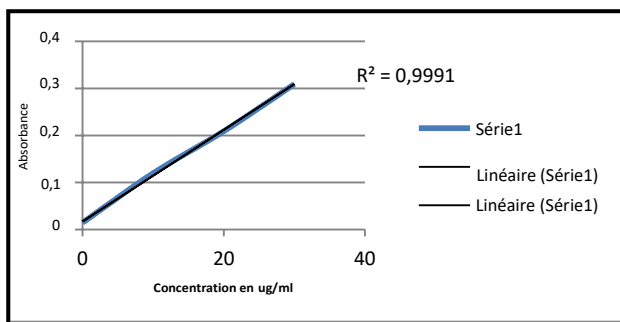
Standards	Concentration en ug/ml
S1	1200
S2	3000
S3	4000

Gamme d'étalonnage du Cuivre



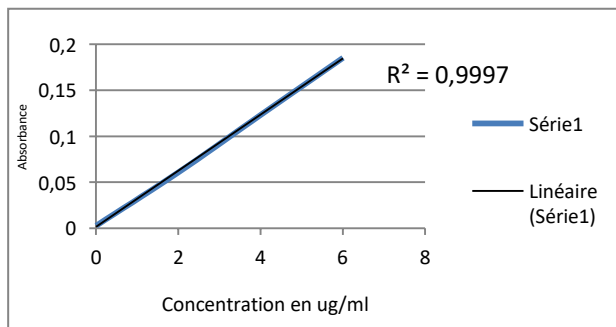
Standards	Concentration en ug/ml
S1	10
S2	20
S3	40

Gamme d'étalonnage du Cobalt



Standards	Concentration en ug/ml
S1	10
S2	20
S3	30

Gamme d'étalonnage du Cadmium



Standards	Concentration en ug/ml
S1	2
S2	4
S3	6

Préparation de l'indicateur coloré Tashiro :

On dissout 2g de Rouge de Méthyle et 1g de Méthylène dans 1 d'éthanol à 95%.

Système milli Q :

Est un système pour obtenir une eau ultra-purifiée, composé essentiellement de filtres/ résines/ membranes dont la résistivité est de 18.2 M Ω .cm(marque déposée par la société Millipore Corporation). Cette eau est par exemple utilisée en biologie et biochimie de façon à pouvoir contrôler exactement la concentration des ions présents qui sont rajoutés à cette eau « pure ».

Résumé : Dans le but d'étudier le degré de pollution des eaux de la côte algéroise, deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* et *Mytilus edulis* ont été choisies comme bioindicateurs. Ce travail porte sur le dosage de 5 métaux traces (Zn, Cu, Mn, Co, Cd) dans la chair de moules récoltées à partir de 7 stations situées dans la côte algéroise (baie de Bousmail, baie d'Alger, baie de Zemmouri). Et de rechercher une éventuelle corrélation entre cette contamination et la taille des individus le degré de remplissage (indice biométrique) chez cet animal. Des moules de deux classes de taille ont été prélevées en période printanière. Les stations étudiées ont la particularité d'être situées à différentes distances de rejets urbains et/ou industriels.

Les résultats montrent qu'à l'exception du zinc, les teneurs en Cadmium, Manganèse, Cuivre et Cobalt présentent une différence significative entre les animaux des trois baies. L'accumulation des métaux traces (Cd, Mn, Co, Cu et Zn) chez les moules des stations étudiées ne montre pas de différences significatives selon la taille. D'autre part, le degré de remplissage des coquilles, reflété par l'indice de condition, est plus important chez les animaux du site de Port d'Alger. L'enrichissement en métaux traces de la chair de moules *Mytilus galloprovincialis* et *Mytilus edulis*, serait probablement engendré par l'augmentation des charges polluantes métalliques dans les eaux de ruissellement des oueds de la région et aux rejets directs d'origine industrielle.

Mots clés : Manganèse; Cadmium; Cuivre; zinc; Cobalt ; baie de Bousmail ; baie d'Alger ; baie de Zemmouri; moules; teneurs en métaux traces; *Mytilus galloprovincialis*.