

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème :

**Etude des métaux traces chez les moules de la côte algéroise
(*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*)**

Présenté par:

- BOUADI Mohamed Chomousedine

Soutenu le 07 / 06 / 2016 devant le jury suivant :

M. GUERFI M.	Professeur	Président (<i>ENSSMAL</i>)
M ^{me} . BENTCHIKOU. L	Maître Assistante A	Examinatrice (<i>ENSSMAL</i>)
M. INAL A.	Attaché de recherche	Examineur (<i>CNRDPA</i>)
M. BOULAHIDID M.	Professeur	Encadreur (<i>ENSSMAL</i>)

Promotion : (2015-2016)

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

A cet effet, je remercie Monsieur [BOULAHDI D .M](#), d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions et sa présence permanente à mes côtés, aussi :

Je remercie Monsieur [ABDERRAHMANI .K](#) d'avoir co-encadrer ce travail en toute ambiance.

Je tiens à remercier Monsieur [GUERFI .M](#), d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

C'est avec un grand plaisir que je remercie Monsieur [INAL .A](#), pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Je remercie Madame [BENTCHIKOU .L](#), d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.

Je tiens à remercier mes chers parents et famille qui m'ont constamment aidé de leurs conseils, encouragements, et de leur soutien moral tout le long de mes études.

Mes remerciements, s'adressent aussi à Monsieur [BOUDJELAL .Y](#) ainsi que l'ensemble des personnes de [Laboratoire de sidi Fredj \(IDALIA et FARIZA\)](#), qui ont vraiment m'aidé pour réaliser ce travail dans les bonnes conditions.

Je remercie aussi l'ensemble des personnes de [l'E.N.S.S.M.A.L](#), qui m'ont permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions de travail et dans une bonne ambiance.

Enfin, je tiens vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

A mes chers parents

A toute ma famille

Et à tous mes amis

Je dédié ce travail

Liste des figures

Figure 1 : principales interactions d'un métal M avec les constituants particuliers, organiques et inorganiques et les organismes vivants du milieu aquatique (Buffl.J, 1988).....	19
Figure 2 : Représentation schématique du cycle biogéochimique des ETM dans l'environnement marin	20
Figure 3 : Anatomie interne de la moule (Marteil, 1976).....	26
Figure 4 : Système respiratoire et alimentaire chez la moule (MPO, 2003).....	28
Figure 5 : Système respiratoire et lamelles branchiales (Gosling, 1992).....	28
Figure 6 : Image satellitaire du bassin algérois.....	30
Figure 7 : Variations du débit mensuel moyen (m^3/s) au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran de 2003 à 2012.....	34
Figure 8 : Variations du débit mensuel moyen (m^3/s) au niveau de l'embouchure d'Oued El Harrach de 1999 à 2008.....	34
Figure 9 : Températures mensuelles entre 2001 et 2010 du bassin algérois (ONM, 2010).....	36
Figure 10 : <i>Mytilus galloprovincialis</i>	41
Figure 11 : <i>Perna perna</i>	41
Figure 12 : Lyophilisateur de modèle Christ.....	43
Figure 13 : Plaque chauffante à minéralisation.....	44
Figure 14 : L'indice de condition pour chaque station de prélèvement.....	51
Figure 15 : Concentrations du cuivre chez les deux espèces étudiées dans nos stations.....	52
Figure 16 : Concentration du zinc chez les deux espèces de moule présentes dans nos stations.....	53
Figure 17 : les concentrations du nickel dans nos stations chez les deux espèces de moules.....	53
Figure 18 : les concentrations de manganèse dans nos stations pour les deux espèces étudiées.....	54
Figure 19 : les concentrations du fer pour nos stations et dans les deux espèces étudiées.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : tableau englobant les stations de prélèvements ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des stations.....	40
Tableau 2 : Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en $\mu\text{g/g}$) observées chez les moules (Mersch, 1993).....	48
Tableau 3 : Taille moyenne des espèces des différentes stations de prélèvement....	50
Tableau 4 : degrés de contamination de chaque métal dans la baie de Zemmouri...	55
Tableau 5 : degré de contamination du port d'Alger.....	56
Tableau 6 : degré de contamination du Bateau cassé.....	56
Tableau 7 : degré de contamination de la baie de Bou-Ismaïl par les métaux.....	56
Tableau 8 : corrélation inter-métaux dans la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i>	57
Tableau 9 : corrélation inter-métaux dans la moule <i>Perna perna</i>	57
Tableau 10 : comparaison des résultats obtenus avec d'autres résultats précédents..	58

Liste des abréviations :

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

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

ETM : Eléments Traces Métalliques.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

pH : potentiel d'Hydrogène.

CNRDPA : Centre National de Recherche et de Développement de Pêche et d'Aquaculture.

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

ONM : Office National Météorologique.

PSU : pratique salinité unité.

S.A.A : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

P.perna : *Perna perna*.

M.galloprovincialis : *Mytilus galloprovincialis*.

IC : Indice de Condition.

AFNOR : Association française de normalisation

U.N.E.P : United Nations Environment Program

Sommaire

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Liste des abréviations	III
Introduction	12
Chapitre I : Généralités	
I. Généralités sur la pollution.....	15
I.1. Définition de la pollution marine.....	15
I.2. Sources de pollution.....	15
I.2.1. Pollution urbaine.....	15
I.2.2. Pollution industrielle.....	15
I.2.3. Pollution agricole.....	16
I.3. Les types de pollution marine.....	16
I.3.1. Pollution chimique.....	16
I.3.2. Pollution biologique.....	16
I.3.3. Pollution physique.....	17
I.4. Pollution par les éléments traces métalliques (ETM).....	17
I.4.1. Définition et classification des ETM.....	17
I.4.1.1. Les métaux traces essentiels.....	17
I.4.1.2. Les métaux traces non essentiels.....	18
I.4.2. Origines des ETM.....	18
I.4.2.1. Origine naturelle.....	18
I.4.2.2. Origine artificielle.....	18
I.4.3. La spéciation des ETM.....	19
I.4.4. Cycle biogéochimique des ETM dans le milieu marin.....	20
I.4.5. La mobilité des ETM.....	21
I.4.6. Propriétés physico-chimiques biologique et toxicité de quelques métaux traces.....	21
I.4.6.1. Le manganèse (Mn).....	21
I.4.6.2. Le plomb (Pb).....	21
I.4.6.3. Le zinc (Zn).....	22
I.4.6.4. Le cuivre (Cu).....	23
I.4.7. Bioaccumulation et bioamplification des métaux traces	23

I.5. Généralités sur les moules.....	24
I.5.1. Critères d'une espèce bioindicatrice.....	24
I.5.2. Les moules.....	25
I.6. Systématique de la moule.....	25
I.6.1. Anatomie.....	25
I.6.2. Physiologie.....	26
I.6.3. Locomotion.....	27
I.6.4. Alimentation.....	27
I.6.5. Mode respiratoire.....	28

Chapitre II : Zone d'étude

II.1. Description géographique et présentation du site	30
II.2. Stations de prélèvements.....	30
II.2.1. La baie de Zemmouri.....	30
II.2.1.1. La ferme ORCA Marine (sercouf).....	31
II.2.1.2. Boudouaou El Bahri.....	31
II.2.1.3. Figuier.....	31
II.2.2. La baie de Bou-Ismaïl.....	31
II.2.2.1. Bou-Ismaïl.....	32
II.2.2.2. Zeralda.....	32
II.2.3. Baie d'Alger.....	32
II.2.3.1. Port d'Alger.....	32
II.2.3.2. Bateau cassé (bordj El kiffan).....	32
II.3. Réseau hydrographique de la région algéroise.....	33
II.3.1. Climatologie.....	35
II.3.2. Température de l'air.....	35
II.3.3. Pluviométrie.....	36
II.3.4. Vent.....	36
II.4. Sources de pollution.....	36
II.4.1. pollution de la Baie de Bou Ismaïl.....	36
II.4.2 Pollution de la Baie d'Alger.....	37
II.4.3 Pollution de la Baie de Zemmouri.....	38

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Les prélèvements.....	40
III.1.1. Prélèvements de l'eau de mer.....	40
III.1.2. Prélèvements des moules.....	41
III.2. Méthodes d'analyses.....	41
III.2.1. Préparation des matériels.....	41
III.2.2 Traitement des moules.....	42
III.2.2.1. Calcul de l'indice de condition.....	42
III.2.2.2. Détermination des éléments traces métalliques.....	42
III.2.2.2.1. Lyophilisation.....	42
III.2.2.2.2. Broyage.....	43
III.2.2.2.3. Homogénéisation.....	43
III.2.3. Extraction des métaux lourds.....	43
III.2.3.1. Principe de la digestion ou de la minéralisation.....	43
III.2.3.1.1. Le protocole expérimental.....	44
III.2.3.1.2. Minéralisation à blanc.....	44
III.2.3.1.3. Minéralisation des moules.....	44
III.2.4. Analyse des métaux traces.....	45
III.2.4.1. La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.....	45
III.2.4.2. Calcul des concentrations des métaux.....	47
III.3. Evaluation du Niveau de la pollution.....	47

IV. Résultats et discussions

IV.1. La taille moyenne.....	50
IV.2. Indice de condition.....	50
IV.3. Les teneurs en métaux lourds.....	51
IV.3.1. Le cuivre.....	51
IV.3.2. Le zinc.....	52
IV.3.3. Le nickel.....	53
IV.3.4. Le manganèse.....	53
IV.3.5. Le fer.....	54
IV.4. Evaluation du niveau de contamination des moules du littoral algéroise par les métaux traces.....	55

IV.4.1. Baie de Zemmouri.....	55
IV.4.2. Baie d'Alger.....	55
IV.4.3. Baie de Bou-Ismaïl.....	56
IV.5. Analyse binaire.....	56
IV.5.1. Corrélation inter-métaux.....	56
IV.5. Comparaison des teneurs en métaux traces dans les moules.....	57
Conclusion	60
Bibliographie	61
Annexes	65
Résumer	

INTRODUCTION

Introduction :

La zone côtière correspond à un espace d'interactions entre les écosystèmes marins et terrestres regroupant l'essentiel des ressources marines (**Castro et al. 1999**). Cette zone correspond également à un espace d'intenses activités économiques (activités domestiques, industrielles, agricoles, etc.) et constitue de ce fait le réceptacle de quantités considérables de substances d'origine naturelle ou anthropique, dont un nombre important possède des propriétés nocives et toxiques.

La pollution des eaux se manifeste au moment où les propriétés physico-chimiques des eaux sont abusivement utilisées comme un vecteur d'évacuation des déchets. Ce type de pollution était d'origine ménagère et facilement biodégradable. Aujourd'hui celle-ci est plus complexe. Ses origines sont variées, elle peut être urbaine, industrielle et/ou agricole (chimique, organique, radioactive et/ou microbiologique).

La particularité de la pollution des eaux qui n'est pas le seul problème environnemental mondial, est le fait de l'Homme et cela dans les domaines de la terre, de l'eau et de l'air. L'Homme contribue par son ignorance au déséquilibre de l'écosystème, par une contamination de l'eau, des sédiments et des organismes.

L'étude des métaux traces dans l'environnement marin est primordiale, car ces derniers demeurent un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant. Ils sont présents dans tous ses compartiments (eau, sédiment, faune et flore)

Les métaux, qui sont des éléments à l'état de traces dans l'environnement, dits essentiels (rôle important dans les processus biologiques ex : Cuivre, Fer et Zinc) peuvent produire des effets toxiques comme ceux dits non essentiels (aucun rôle dans les processus biologiques ex : plomb et mercure) lorsque leurs concentrations dépassent un certain seuil d'acceptabilité (**Chiffolleau et al 2001 ., Miquel, 2001**).

Les bivalves présentent des caractéristiques qui en font de bons bioindicateurs (leur large répartition géographique, leur mode de vie sessile et euryhalin, leur tolérance à différents stress, la possibilité de les transplanter, leur faculté d'accumuler des métaux et leur consommation par l'homme donc vecteur de contamination) (**Casas, 2005**).

Ce travail a pour objectifs de :

Suivi de l'évolution de la pollution par les métaux traces chez deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758) dans la côte algéroise comprenant les trois baies : baie de Zemmouri, baie d'Alger et baie de Bou-Ismaïl.

Le manuscrit s'articule autour de quatre chapitres :

Dont le premier fait l'objet d'une synthèse bibliographique des généralités sur la pollution marine et les métaux lourds dans le milieu marin ainsi que l'espèce concernée par ce suivi. Dans le second chapitre, une présentation de la zone d'étude incluant les réseaux hydrographiques, ses conditions climatiques et ses sources de pollution.

En ce qui concerne le troisième chapitre, il décrit la stratégie expérimentale pour laquelle nous avons utilisé pour atteindre l'objectif générale de l'étude.

Le quatrième chapitre regroupe la présentation des résultats obtenus, leur analyse et leur discussion.

Enfin, une conclusion générale clôture ce mémoire.

CHAPITRE 1 : GENERALITES

I. Généralités sur la pollution:

I.1. Définition de la pollution marine :

La pollution marine résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans, en conséquence de l'activité humaine. Elle comprend la pollution de l'eau, des biotes et celle des sédiments, plus généralement toutes les atteintes aux écosystèmes marins causées par les rejets de substances nuisibles par leurs natures ou leurs quantités.

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « pollution marine ». Parmi lesquelles, on note la définition adoptée par **GESAMP** (1989), 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 ".

I.2. Sources de pollution :

Selon l'origine de la pollution, on distingue trois catégories : la pollution urbaine, la pollution industrielle et la pollution agricole.

I.2.1. Pollution urbaine :

Elle due principalement aux rejets domestiques véhiculés en mer sans traitement (**Kankou, 2004**), issues des eaux de vannes d'évacuation des toilettes et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines et salles de bain. Les déchets présents dans ces eaux sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales.

I.2.2. Pollution industrielle :

Les principales origines de cette forme de pollution sont les rejets liquides des diverses industries installés 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**).

La pollution de ces eaux peut être organique, minérale et toxique. Donc les caractéristiques des rejets d'origine industrielle sont bien évidemment directement liées aux types d'industries implantées sur le littoral.

I.2.3. 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**). Ces substances sont lessivées et transportées à la mer par plusieurs facteurs (**Kankou, 2004**).

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.3. Les types de pollution marine :

Ils existent différents types de pollution marine. Comme leurs sources sont très diverses, une classification basée sur leur nature physico-chimique prédominante et les usages de l'eau qui sont à l'origine des pollutions est établie (**Ramade, 2000**).

I.3.2. 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 introduites 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**). Elle peut être due aussi à l'invasion des espèces marines, qu'il s'agisse de virus, d'invertébrés, d'algues ou de poissons, qui est un phénomène qui a profondément perturbé les eaux côtières.

I.3.3. Pollution physique :

De nombreuses pollutions modifient l'environnement du fait de leur nature physique. Nous distinguons les matières en suspension, les immersions au large, les apports d'eau douce, les macrodéchets, le réchauffement des eaux et les radiations ionisantes (**Lacaze, 1996**).

I.3.1. Pollution chimique :

Ce type de pollution est dû à l'entrée d'un ou de plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau de mer (**Kankou, 2004**). Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés (**Ramade, 2000**).

Cette pollution est évaluée par deux types de paramètres : les paramètres globaux qui résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps par exemple le pH, la turbidité et demande chimique en oxygène, et les paramètres spécifiques qui caractérisent

des composés de même propriété chimique (Kankou, 2004). Ce type de pollution peut avoir des effets nocifs sur les organismes aquatiques directement ou indirectement.

I.4. Pollution par les éléments traces métalliques (ETM) :

I.4.1. Définition et classification des ETM :

Un métal est un élément chimique, issu le plus souvent d'un minerai doté d'un éclat particulier appelé « éclat métallique », bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'Antiquité (Casas, 2005).

On appelle en général « Métaux Lourds » les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm³ (Holleman et Wiberg, 1985). La classification des métaux lourds est souvent discutée car certains métaux ne sont pas particulièrement « lourds » (cas du Zinc) et certains éléments ne sont pas tous des métaux (cas de l'Arsenic). Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation « Métaux Lourds », l'appellation « Éléments en Traces Métalliques » (ETM), «Éléments Traces» ou encore « Métaux Traces» (Chiffolleau *et al.* 2001). Ces appellations sont utilisées pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faibles quantités dans les eaux et les solides (Ramade, 2000).

Les ETM peuvent être classés en fonction de leur caractère essentiel pour les organismes vivants.

I.4.1.1. Les métaux traces essentiels :

Ils sont aussi appelés « oligo-éléments » (la liste des oligo-éléments a été fixée par l'OMS (au total 21 éléments sont reconnus comme tels, dont 14 métaux) et ce sont : le zinc, l'étain, le vanadium, le fer, le chrome, le molybdène, le nickel, le cuivre, le sélénium, le cobalt, et le manganèse. Ils sont considéré comme indispensables pour les organismes vivants et l'augmentation de leur concentration dans l'environnement peut aboutir à des phénomènes de toxicité. D'après une étude faite par Pequegnat *et al.*, 1969 qui ont calculé qu'il faut tout au plus de 2.7 ppm en poids sec de zinc pour satisfaire les besoins des enzymes contenus dans la partie molle des organismes marins (Asso, 1988).

I.4.1.2. Les métaux traces non essentiels :

Ce sont des éléments qui ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent être même préjudiciables comme le mercure, le plomb et le cadmium. (Chiffolleau et al, 2001).

I.4.2. Origines des ETM :

Les ETM naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches (Devallois, 2009). Les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribué à l'augmentation des concentrations de métaux traces dans le milieu marin et surtout en zones côtières on peut distinguer deux origines :

I.4.2.1. Origine naturelle :

Cette origine résulte essentiellement de l'altération et le lessivage des roches terrestres contenant les métaux sous forme de trace ou concentrés en gisements économiques. Les sources naturelles potentielles des métaux traces sont :

- Le volcanisme sous-marin ;
- Les sources hydrothermales sous-marines ;
- La dégradation de la matière organique (végétale, animale et fossile) contenant les métaux trace en concentration plus ou moins faibles ;
- Les poussières cosmiques entrant dans la terre et précipitant dans l'océan ;
- L'altération et la réaction avec les sédiments marins.

I.4.2.2. Origine artificielle :

Essentiellement les sources des métaux dues aux activités humaines, on peut distinguer :

- Les eaux usées ménagères et industrielles et les sous-produits industriels ;
- La combustion de la matière organique végétale (incendies forestiers) et fossiles (pétrole et ses dérivés notamment les carburants) ;
- Exploitation des gisements miniers ;
- Navigation maritimes et accidents en mer ;
- Activités portuaires ;
- Lessivage des engrais et des biocides.

Ces sources peuvent déverser les métaux lourds directement dans le milieu marin comme ils peuvent être acheminés par les cours d'eau ou par la voie éolienne.

I.4.3. La spéciation des ETM

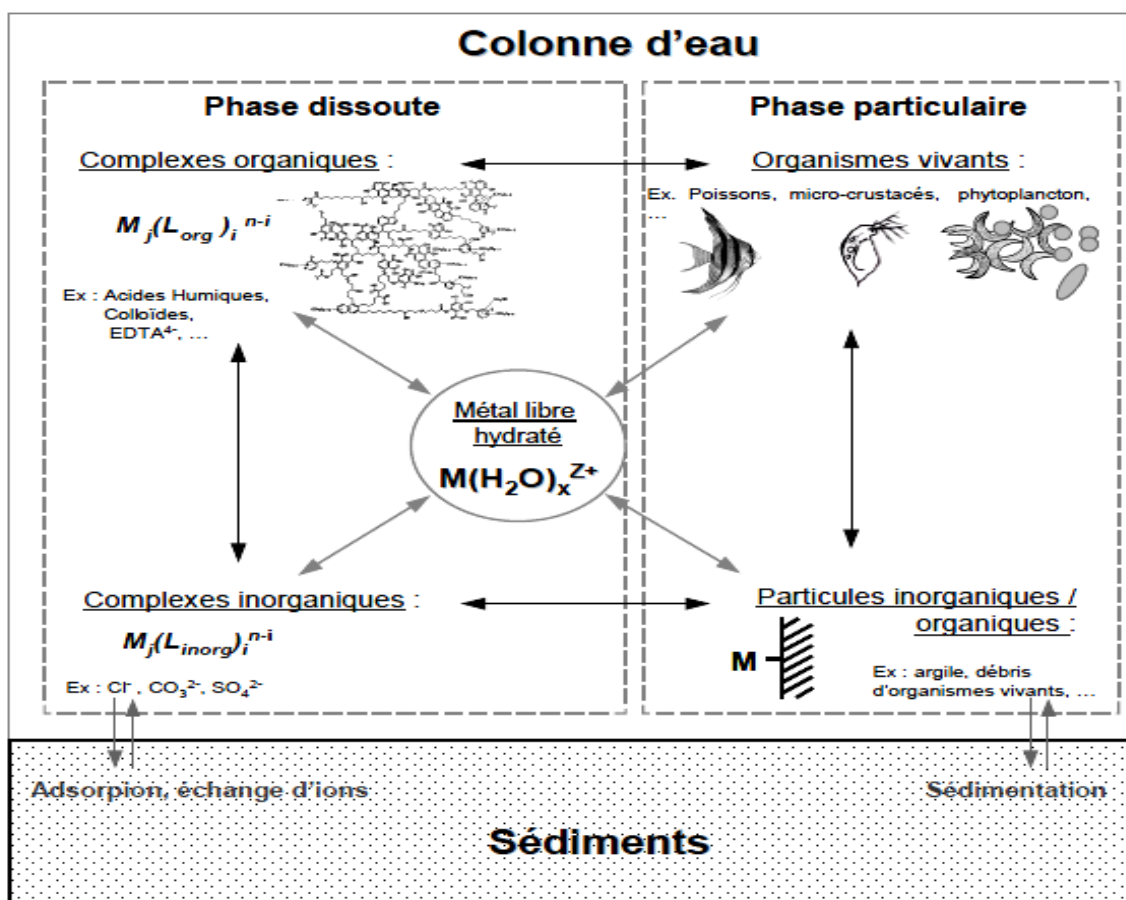


Figure 1 : Principales interactions d'un métal M avec les constituants particulaires, organiques et inorganiques et les organismes vivants du milieu aquatique (**Buffle, J., 1988**).

C'est la distinction entre les différentes formes chimiques possibles d'un élément. La spéciation est à la base de la compréhension du devenir des métaux dans les milieux aquatiques (**Sigg, 2001**). C'est la distribution des espèces chimiques d'un élément donné dans un système (**Audry, 2003**).

La spéciation d'un élément dépend de sa concentration et de la chimie de la solution (pH, Eh, complexant, minéraux, etc.). La toxicité d'un polluant vis-à-vis des organismes vivants peut fortement dépendre de sa spéciation.

La figure 1 illustre les principales interactions entre les éléments traces métalliques et les différents ligands (particules, composés inorganiques, organismes), influençant la spéciation des métaux en milieu aquatique.

I.4.4. Cycle biogéochimique des ETM dans le milieu marin :

C'est le cheminement des ETM par divers processus physiques, chimiques et biologiques à travers les principales matrices du milieu marin.

Les ETM sont devenues à la mer par différentes apports (Figure 2) (éoliennes, ruissellements, industrielles, volcaniques) qui y sont transférés se présentent dans la colonne d'eau et le sédiment sous deux formes :

- 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 biodisponible pour les populations aquatiques.

- Fixée sur les particules des sédiments ou en suspension dans la colonne d'eau qui peuvent s'accumuler dans le compartiment sédimentaire formant ainsi des stocks de polluants (Devallois, 2009).

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

- Une première consisterait en un piégeage des polluants métalliques par les particules en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physico-chimiques du milieu marin et cela par : précipitation, absorption et adsorption et sédimentation.

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

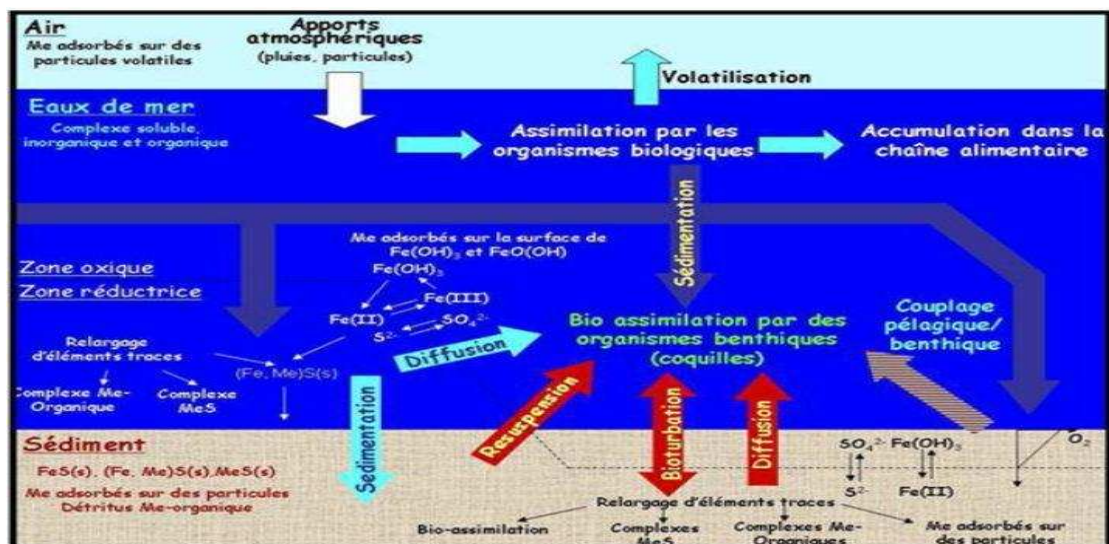


Figure 2 : Représentation schématique du cycle biogéochimique des ETM dans l'environnement marin.

I.4.5. La mobilité des ETM :

La mobilité des métaux se traduit généralement par le passage de la forme colloïdale et particulaire à la forme dissoute. Le pH, l'oxygène, la salinité et la teneur en carbone organique sont les paramètres physico-chimiques qui influencent en majeure partie ce type d'échange dans l'eau (**Burgess et Scott, 1992**).

I.4.6. Propriétés physico-chimiques biologique et toxicité de quelques métaux traces :

I.4.6.1. Le manganèse (Mn) :

- Propriétés physico-chimiques

Le manganèse présente des changements de forme (soluble, particulaire et colloïdale), il est plus concentré dans la fraction colloïdale, ce qui implique qu'il a une sédimentation plus lente (**Dojlido, 1993**).

On le retrouve dans les accumulateurs électriques, dans la fabrication de l'acier, dans les engrais ainsi que dans l'industrie du verre. Les sources anthropiques de manganèse dans le milieu aquatique sont essentiellement dues à l'activité industrielle et aux consommations des énergies fossiles.

- Propriétés biologiques et toxicité

Le Mn est un élément essentiel à faible concentration, il devient toxique lorsque ses teneurs dépassent certains seuils de tolérance. Ainsi, on observe une altération de la croissance et de la reproduction chez certains organismes aquatiques lorsqu'il est ingéré à forte concentration

I.4.6.2. Le plomb (Pb)

- Propriétés physico-chimiques

Le plomb existe sous trois formes essentielles : le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire. Le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire (**Cossa, 1993**), à peine 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est en fonction du pH et elle augmente avec ce dernier. Dans les sédiments, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé.

Cette solubilisation s'observe également en sub-surface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse (**Cossa, 1993 ; Marchand et Kantin, 1997**). En conséquence, le plomb est immobile dans l'environnement aquatique et tend à s'accumuler en sédiments près de son point d'entrée (**Erdogan, 2009**).

- Propriétés biologiques et toxicité

La pénétration du plomb dans les cellules est linéaire en fonction du temps et directement proportionnelle à sa concentration dans l'eau (**Schulz-Baldes, 1974**).

Le plomb présente une toxicité aiguë pour l'ensemble des organismes vivants. De plus cet élément se concentre de manière irréversible tout au long de la chaîne alimentaire. L'effet toxique du plomb peut se traduire par une compétition avec des métaux essentiels. Chez les moules, en présence de plomb ($0,1 \text{ mg.l}^{-1}$), il y a perturbation du métabolisme des autres métaux divalents : notamment le calcium, le magnésium et le cuivre (**Marchand et Kantin, 1997**). Ainsi, la concentration inhibitrice du développement embryonnaire de la moule (*Mytilus galloprovincialis*) est d'environ $500 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, de plus, à cette concentration, un grand nombre de larves sont anormales (**Casas, 2005**).

I.4.6.3. Le zinc (Zn)

- Propriétés physico-chimiques

Il est physiologiquement indispensable pour les activités biologiques, activateur d'enzymes. Il est insoluble dans l'eau et les solvants organiques usuels. Dans les sédiments, le zinc peut exister sous différentes formes. Selon (**Tessier, 1980**), on distingue les formes.

- Associé aux oxydes de fer et du manganèse (39-40%) ;
- Associé au carbonate (21-24%) ;
- Associé à la matière organique.

Le phénomène d'adsorption et de précipitation du zinc est favorisé lors d'une forte présence d'argile et d'oxydes de fer et de manganèse. Dans les sédiments en conditions d'anaérobiose, il y a formation de sulfure de zinc (sphalérite, ZnS). Cet élément montre des affinités à la fois pour les argiles et la matière organique (**Maouche, 1987**).

- Propriétés biologiques et toxicité

Le zinc est un métal essentiel nécessaire à la vie d'un grand nombre d'organismes en quantité généralement faible. Les entrées de zinc se font préférentiellement sous forme ionique (Zn^{2+}) par des protéines de transport membranaire (**Sunda et Huntsman, 1998**). Les bivalves accumulent ce métal principalement dans l'hépatopancréas, les gonades et les branchies (**Adami et al, 2002**).

Pour le zinc, il semble que le potentiel de biomagnification soit faible, sa concentration décroît en montant dans la chaîne trophique (**Casas, 2005**). Dans les sédiments marins propres, les teneurs du zinc est de l'ordre de $5 \text{ à } 50 \mu \text{ g/g}$ (**Callender, 2003**).

I.4.6.4. Le cuivre (Cu)

- Propriétés physico-chimiques

C'est un oligo-élément nécessaire à la vie, mais qui peut présenter des effets toxiques à partir d'un certain seuil de concentration. Dans le milieu aquatique, le cuivre existe sous forme particulaire, colloïdale et dissoute. Il a tendance à former des complexes avec des bases fortes telles que carbonates et nitrates. En milieu marin, il se trouve peu lié aux acides humiques (10 %), car il est rapidement déplacé de ses complexes par le calcium et le magnésium (**Mantoura et al, 1978 in Alzieu et al, 1999**).

- Propriétés biologiques et toxicité

Cependant, il devient toxique aux êtres vivants lorsque sa concentration est plus de 10 µg/g (**Callender 2003**). Les entrées de cuivre se font préférentiellement sous forme ionique (Cu²⁺) par des protéines de transport membranaire (**Sunda et Huntsman, 1998**).

Les bivalves accumulent ce métal principalement dans l'hépatopancréas, les gonades et les branchies (**Adami et al, 2002**). La toxicité vis à vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation, Le cuivre complexé est moins toxique que le cuivre à l'état ionique (**Casas, 2005**).

I.4.7. Bioaccumulation et bioamplification des métaux traces :

La bioaccumulation est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne donc la somme des absorptions d'un élément par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques ou terrestres (**Ramade, 2000**). La bioaccumulation est le phénomène qui conduit à la concentration d'une substance, qu'elle soit toxique ou non, dans un organisme (**Lacaze, 1996**).

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 (**D'Adamo et al, 2008, in Bélanger. D 2009**).

- La biomagnification (ou bioamplification) est l'augmentation des concentrations d'un contaminant au fur et à mesure que l'on passe d'un maillon trophique inférieur à un maillon supérieur (**Chiffoleau *et al*, 1999**).

I.5. Généralités sur les moules :

I.5.1. Critères d'une espèce bioindicatrice :

Un bioindicateur est défini comme étant « une espèce ou association d'espèces capables par leurs comportements générales de rendre compte de l'évolution générale d'un milieu ». Selon le ministère de l'environnement, comité scientifique Faune et Flore (1978) cité par Jean-Louis Rivière (1993).

L'utilisation d'organisme marin comme bioindicateur est bien connue depuis quelques années, surtout pour les moules, leur utilisation a été proposée pour la première fois par Goldberg en 1975 sous le vocable de « Mussel Watch » pour la surveillance de la qualité de l'eau de mer, en effet ces organismes filtreurs sont connus pour accumuler de fortes concentrations de métaux lourds dans leurs tissus (**Viarengo *et al*, 1993 in Bouilly, 2004**).

Pour constituer un bon « bioindicateur quantitatif », l'espèce animale utilisée doit avoir, selon Butler *et al.* (1971) et Philips et Rainbow (1994) cités par Casas (2005), les qualités suivantes :

- l'organisme doit concentrer le contaminant, sans effet léthal, aux concentrations rencontrées dans le milieu ;
- il doit être sédentaire afin d'être représentatif de la zone d'échantillonnage ;
- il doit être abondant dans zone étudiée ;
- il doit avoir une durée de vie suffisamment longue pour permettre l'échantillonnage de plusieurs classes d'âges ;
- il doit avoir une taille suffisante afin de donner une quantité de tissus adéquate pour l'analyse chimique ;
- il doit être euryhalin ;
- il doit concentrer suffisamment pour permettre des dosages sans pré-concentration ;
- il doit exister une corrélation entre la teneur en contaminants dans l'organisme et la concentration dans l'eau environnante, la concentration dans les tissus reflétant ainsi la biodisponibilité du métal dans le milieu ;
- les effets de variations de la salinité et de la température doivent être connus.

I.5.2. Le modèle biologique moule :

Dans les projets Med-Pol, plusieurs organismes marins ont été choisis afin d'évaluer les effets des polluants dans l'environnement marin et de permettre ainsi le contrôle et la surveillance de ce milieu. Parmi ces organismes, les moules ont été retenues pour leurs caractéristiques biologiques. La moule est sédentaire et elle est témoin authentique et représentative de la zone étudiée (**Cossa, 1989**) en particulier *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*. Casas, en 2005 a décrit les caractéristiques pour lesquelles les moules sont considérées comme bons bioindicateurs :

1. Leur large répartition géographique allant des régions tempérées aux régions subarctiques ;
2. Leur mode de vie sessile et euryhalin ; leur faculté d'accumuler des métaux présents dans l'environnement dans un facteur de concentration de l'ordre de 10³ à 10⁵ par rapport à l'eau environnante ;
3. La stabilité de leur population ;
4. Leur tolérance à différents stress ;
5. La possibilité de les transplanter ;
6. Leur consommation par l'homme, donc vecteur de contamination.

I.6. Systématique de la moule :

Les moules appartiennent à la classe des bivalves ou lamellibranches. Il existe plusieurs classifications des bivalves selon que les auteurs tiennent compte de la forme de la coquille, de celle de la charnière ou de la structure des branchies. Les moules appartiennent au genre *Mytilus*, qui est extrêmement répandu dans le monde (**Marteil, 1976**). Selon ce dernier la classification des deux espèces est comme suit :

Règne : Animal

Embranchement : Mollusques

Classe : bivalves (pélicypodes)

Sous classe : Ptériomorphes

Ordre : Mytiloïdés

Famille : Mytilidés

Genre : *Mytilus*

Espèce : *galloprovincialis*

I.6.1. Anatomie :

Les mollusques possèdent un corps mou qui, la plupart du temps, est protégé et renforcé par une coquille. Ils sont caractérisés par une symétrie bilatérale. Leur corps peut être divisé en trois parties principales, un pied musculueux qui sert habituellement aux déplacements, une masse viscérale qui contient la plupart des organes internes, un manteau qui recouvre la masse viscérale et peut sécréter une coquille. Chez de nombreux Mollusques, le manteau se prolonge et forme un compartiment rempli d'eau, appelée cavité palléale, dans lequel baignent les branchies, l'anus et les pores excréteurs (**Boué et Chanton, 1962**). La moule adulte est formée de deux valves lisses, identiques et oblongues.

La coquille laisse échapper un faisceau de filaments bruns et solides, le byssus, communément appelé la barbe. La chair de la moule est le plus souvent de couleur rosé ou orangée (femelle) ou blanchâtre (mâle), la chair des moules est d'une excellente qualité pour la consommation autour des mois de mars, avril, mai, octobre et novembre, en dehors de la saison de frai, habituellement quand la température de l'eau est plus froide qu'en été (**Bouchard, 2004**).

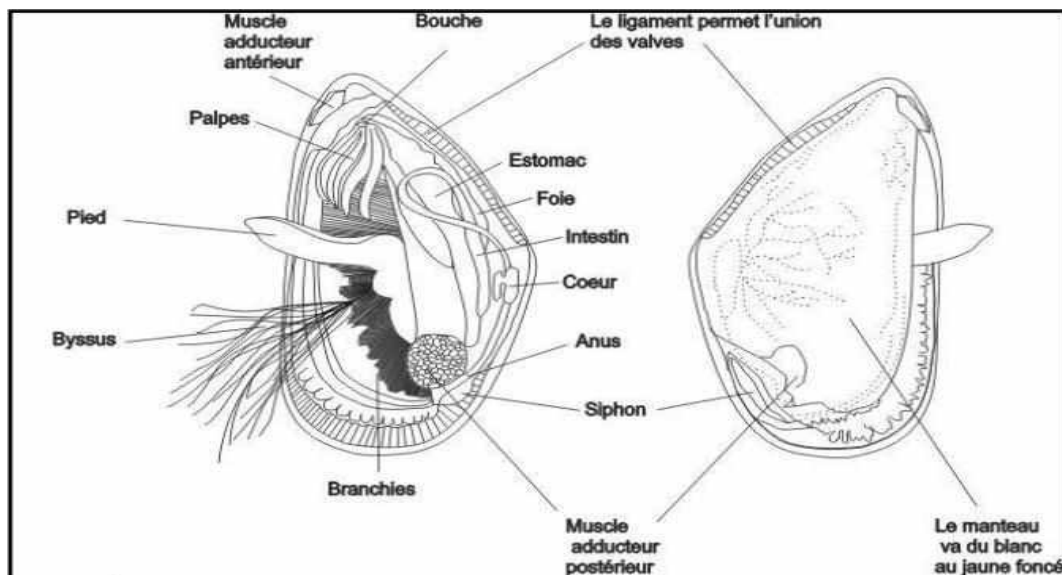


Figure 3 : Anatomie interne de la moule (**Marteil, 1976**).

I.6.2. Physiologie :

L'aperçu des différentes parties du corps et de leurs systèmes associés, nous donnera une meilleure appréciation de l'adaptation fonctionnelle des organes.

Parfois les moules rompent certains filaments du byssus et en sécrètent de nouveaux qu'elles fixent sur le substrat leur permettant un déplacement, très lent et très limité (**Boué et Chanton, 1962**).

La coquille est formée de deux valves ovales et convexes reliées par une charnière. Celles-ci présentent des stries concentriques, témoins de leur croissance. Le côté postérieur est la partie la plus ancienne de la coquille.

La moule est un Mollusque Lamelibranche à corps mou non segmenté (à branchies lamelleuses) ou Pélécy-podes (pied en forme de hache, permet le déplacement et l'enfouissement de l'animal dans le sable. Il peut se replier sous l'action de deux muscles rétracteurs), à masse viscérale (masse des viscères) aplatie transversalement, enveloppée par le manteau formé de deux grands lobes qui entourent le corps. Le manteau permet aussi de fabriquer la coquille calcaire bivalve. Ce dernier est sensible au milieu extérieur et insère les branchies dans une cavité où circule l'eau (**Boué et Chanton, 1962**).

Le bord du manteau sécrète les deux premières couches et assure la croissance en largeur de la coquille, tandis que l'ensemble du manteau produit la couche de nacre et assure la croissance en épaisseur.

Les valves de la coquille sont maintenues fermées par la contraction de muscles :

Le muscle adducteur antérieur et le muscle adducteur postérieur. Le muscle postérieur est le plus développé. Grâce à ces deux puissants muscles, la coquille s'ouvre pour faire entrer l'eau et se referme pour protéger l'animal des prédateurs. Ses branchies lui permettent de filtrer l'eau pour respirer et pour retenir le plancton dont elle se nourrit (**Boue et Chanton, 1962**).

La moule peut filtrer l'eau pendant 18,5 à 24 heures par jours sans interruption avec une vitesse moyenne de 20 litres/h. Cependant, la durée et le temps de filtration varient en fonction des différents paramètres (**Marteil, 1976**). Elle trie la nature et la taille des particules qui pénètrent dans la cavité palléale de 3 et 13 micromètres (**Villeneuve et Désiré, 1965**).

I.6.3. Locomotion :

La moule adulte est un animal fixé, espèce sessile. Elle résiste aux courants, aux chocs des vagues *et* à l'arrachement grâce aux solides filaments du byssus qui sont soudés au rocher. Le pied, linguiforme permet le déplacement et l'enfouissement de l'animal dans le sable. La moule peut se déplacer, mais très lentement. C'est une espèce qui ne fait jamais de grand voyage, car elle est de nature semi-sédentaire. Le pied peut se replier sous l'action de deux muscles rétracteurs. A sa base se trouve la glande du byssus. Elle synthétise des filaments (byssus) qui fixent la moule à son substrat. Une fois qu'ils sont sécrétés, les filaments se solidifient au contact de l'eau de mer (**Bouchard, 2004**).

I.6.4. Alimentation :

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

I.6.5. Mode respiratoire :

Les échanges d'oxygène se font par l'intermédiaire des branchies. L'eau chargée en oxygène dissous pénètre dans la cavité palléale via le siphon inhalant. Elle est filtrée par les filaments des deux paires de branchies lamelleuses avant d'être évacuée par le courant exhalant. L'oxygène ainsi capté pénètre dans l'hémolymphe pour être distribué dans tout l'organisme. Lorsque la moule se retrouve à l'air libre, elle ferme sa coquille et passe à une respiration anaérobie (respiration réalisée par certains organismes en l'absence d'oxygène) (Cahen, 2006).

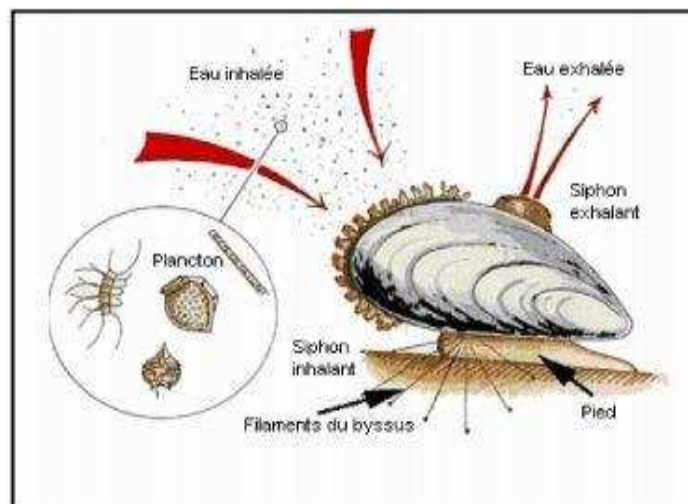


Figure 4 : Système respiratoire et alimentaire chez la moule (MPO, 2003).

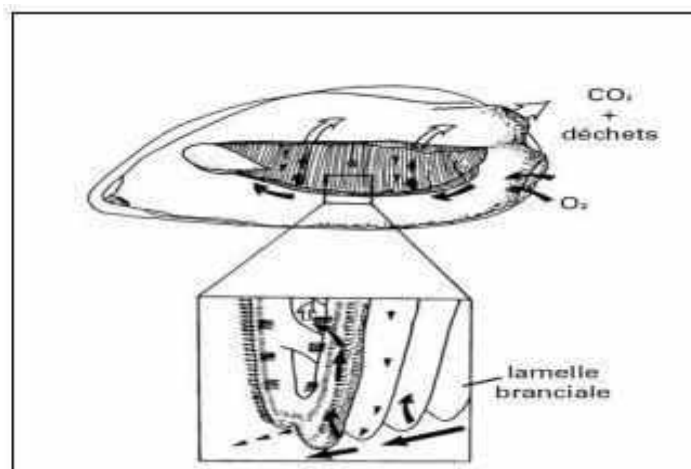


Figure 5 : Système respiratoire et lamelles branchiales (Gosling, 1992).

CHAPITER 2 : ZONE D'ETUDE

II.1. Description géographique et présentation du site :

Notre zone d'étude se situe au centre du littoral algérien (figure 7), dans le secteur géographique de l'agglomération algéroise avec la capitale Alger comme élément central. Elle couvre le littoral des wilayas de Tipaza, d'Alger et de Boumerdès, et plus spécialement l'espace côtier allant du Mont Chenoua à l'Ouest jusqu'au Cap Djinet à l'Est. Ce bassin algérois apparaît comme un ensemble de trois baies où les caractéristiques physiques et chimiques diffèrent en relation avec leurs morphologies et l'importance des apports et des activités urbaines, industrielles et agricoles.

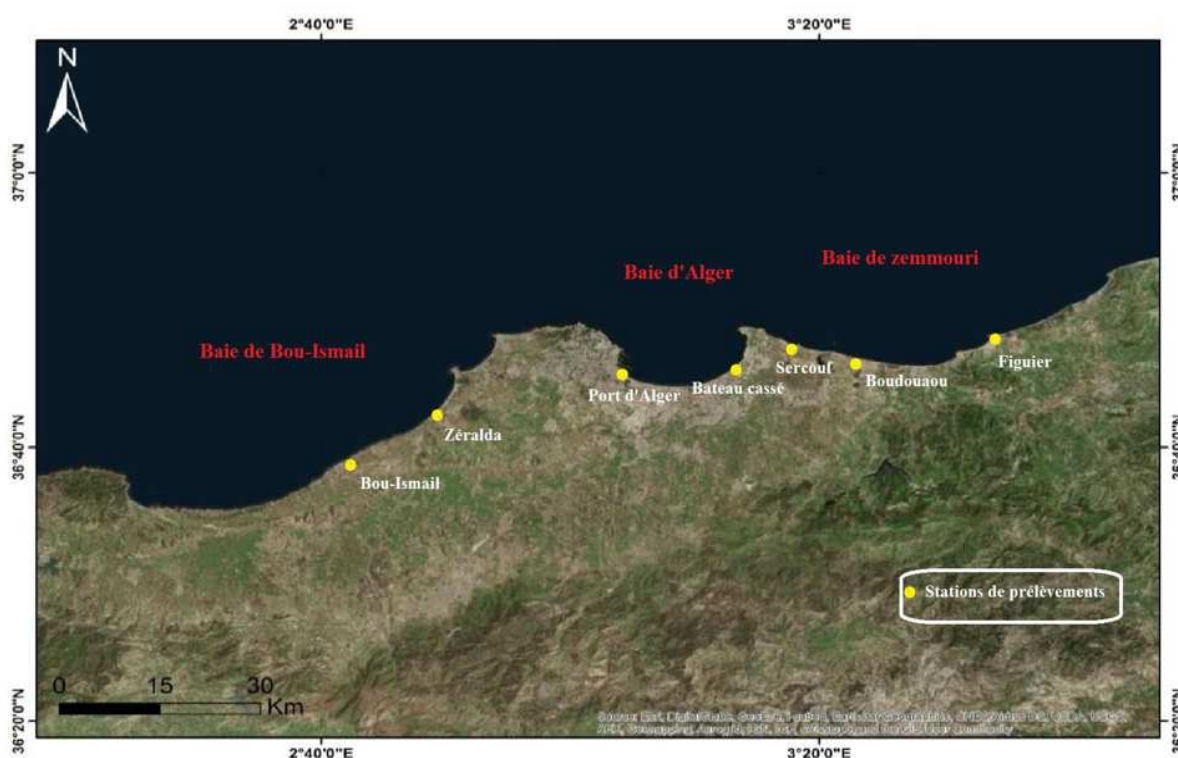


Figure 6 : Image satellitaire du bassin algérois.

II.2. Stations de prélèvements :

II.2.1. La baie de Zemmouri :

La baie de Zemmouri El-Bahri se situe à l'Est immédiat de la baie d'Alger, elle est délimitée à l'Est par le Cap Djinet (Ras 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 principal émissaire. Le plateau continental, très étroit, occupe entre 2 et 6 km de largeur.

A l'Est du Cap Matifou, le plateau devient exigu au droit des îles Sandja et la pente s'élargit à nouveau. La morphologie côtière est marquée par une succession de plages et de dunes. Le climat est humide, la moyenne annuelle des précipitations est de 6,14mm en été

et de 102 à 123mm, entre novembre et février (Tazerouti, 2007 in Zerrouki, 2014).

Les vents Ouest, Nord-est, Sud et Sud-est dominant d'octobre à avril ; des vents 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 de 25 à 30°C en été. La salinité est comprise entre 36 et 37. Dans cette baie, trois sites sont concernés par les prélèvements :

II.2.1.1. La ferme ORCA Marine (Sercouf) :

La ferme conchylicole ORCA Marine a été créée en octobre 1987 par Mr Boualem Khodja pour l'élevage des moules et des huitres. Elle est rentrée en phase d'expérimentation en 1990, et en phase d'exploitation en 2003. Elle est conçue de 2000 m² à terre et 5000m² en mer. Le site de prélèvement « Ain Chrob » (ex Sercouf) est une plage de la commune d'Ain Taya wilaya d'Alger à 30 km à l'Est d'Alger. Le site d'élevage se situe à peu près à 1 km de la plage. Le site est soumis à l'influence d'un hydrodynamisme sans aucune protection, ce dernier est représenté d'une part par les courants côtiers locaux et d'autre part par la houle qui est essentiellement de direction Nord-est et Nord-ouest pouvant dépasser 3,25 m/s en hiver.

II.2.1.2. Boudouaou El Bahri :

Boudouaou El Bahri (anciennement *Alma-Marine*) 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. Le site de prélèvement est une plage ou une moulière qui se trouve sur des roches naturelles. Dans cette moulière cohabite les deux espèces de moule *Mytillus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758).

II.2.1.3. Figuier :

El karma (ex Figuier) est une commune de la wilaya de Boumerdes, situé à 5 km à l'est de Boumerdes. Le site de prélèvement est la plage de figuier où la moulière se trouve sur des roches naturelles. Sur ses roches cohabite les deux espèces de moule *Mytillus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758).

II.2.2. La baie de Bou-Ismaïl

Cette baie est située à l'ouest d'Alger entre 2° 20' E et 2° 55'E, elle s'étend du mont Chenoua (Cap El Amouche) à l'Ouest à ras Caxine (Cap Acrata) à l'Est. Avec une ouverture de 40km, la baie est orientée du Sud-est au Nord-est et couvre une superficie de 350Km². Deux prélèvements sont effectués dans cette baie.

II.2.2.1. Bou-Ismaïl :

La commune de Bou-Ismaïl est située au Nord-est de la wilaya de Tipaza, à environ 23 km au Nord-Est de Tipaza et à environ 40 km au Sud-Ouest d'Alger. Le site de prélèvement est situé près de la station de CNRDPA, l'espèce concernée par la récolte est *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).

II.2.2.2. Zéralda :

Zéralda est une commune de la wilaya d'Alger, située à environ 24 km d'Alger. Le site de prélèvement est situé au niveau de la brise lame Ouest du complexe touristique. Sur ces roches artificielles cohabitent les deux genres de moule *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758).

II.2.3. Baie d'Alger :

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte algérienne, Elle s'étend de 37°01' N à 37°43' N et de 3°15' E et 3°5' E, 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 la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée. Le plateau continental s'élargit pour former la baie d'Alger. Le plateau s'ouvre au Nord-Nord Est sur 19 Km de la pointe Pescade au cap Matifou et présente un tracé remarquablement régulier.

II.2.3.1. Port d'Alger :

Le port d'Alger a été construit à l'Ouest de la baie d'Alger, protégé par le massif de Bouzaréah, c'est le port le plus important du pays. Il constitue un milieu semi-fermé et comprend une importante zone industrielle et commerciale à usage de stockage et de manutention et une zone de pêche et de plaisance. Il couvre un plan d'eau de 179 ha et il est subdivisé en trois bassins : bassin du vieux port, bassin de l'Agha et bassin Mustafa.

II.2.3.2. Bateau cassé (bordj El kiffan) :

Bordj El Kiffan est située à environ 15 km à l'est d'Alger, sur la rive orientale de la baie d'Alger. En plus de la ville même de Bordj El Kiffan, elle englobe les zones urbanisées de Ben Mred, de Dergana et de Ben Zerga. Le site de prélèvement se trouve au niveau de la plage de Bateau cassé sur des roches naturelles. Cette moulière est caractérisée par la présence de *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).

II.3. Réseau hydrographique de la région algéroise :

Utilisés comme déversoirs naturels d'eaux usées (domestiques, industrielles et agricoles), les Oueds constituent l'un des principaux vecteurs des polluants en mer. Ils interviennent de très près sur la nature des fonds et les paramètres physico-chimiques de la zone de l'embouchure, et conditionnent de la sorte l'abondance et la diversité de ses peuplements. Tous les Oueds de la zone d'étude traversent la plaine de la Mitidja du Sud vers le Nord, contournant les obstacles qu'ils rencontrent, avant de se jeter dans la mer.

- Trois Oueds débouchent dans la Baie de Bou Ismail :

Oued Nador : situé dans la partie occidentale, il draine, à partir des Oueds Bouyersen, Bouardoun et Meurad, tous les apports solides du massif du Chenoua. D'un débit de $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ et s'étendant sur 230 km^2 (**Braïk, 1989**), il débouche sous forme d'un collecteur dans la petite Baie du Chenoua, entre Djebel Chenoua et Tipaza (**ANRH, 2013**).

Oued Béni Messous : avec son débit réduit ($0,245 \text{ m}^3/\text{s}$) (**Braïk, 1989**), il ne participe que faiblement à l'enrichissement de cette baie. S'alimente à partir du massif de la Bouzaréah, il sera chargé essentiellement de résidus d'origine urbaine récoltés lors de son transit pour déboucher sur les plages des Dunes et d'El Djamilia.

Oued Mazafran : c'est l'Oued le plus important de la baie de Bou Ismail par ses rejets et son débit, il draine un bassin de 1900 km^2 (partie Ouest de la Mitidja) (**Braïk, 1989**) et débouche sur la mer au niveau d'une petite plage sablonneuse à 30 km d'Alger, entre Zéralda et Douaouda. Son débit annuel est estimé entre 1969 et 2013 à $5,77 \text{ m}^3/\text{s}$ (**ANRH, 2013**). Il est caractérisé par des crues fortes et rapides en hiver-printemps qui augmentent la turbidité de la zone par la remise en suspension de substrat fin (**Pauc, 1989**). Trois Oueds secondaires lui sont afférents : Bou-Roumi, Chiffa et Djer.

D'après des données de l'ANRH (2014), les débits moyens pluriannuels sont en augmentation, de $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (2003) à $11,92 \text{ m}^3/\text{s}$ (2012). Le débit suit ainsi un cycle saisonnier avec des valeurs maximales en hiver et minimales en été. Sur le plus long terme, le débit montre une tendance nette à l'augmentation (figure 7) avec des valeurs plus au moins élevées suivant un cycle pluriannuel. Ces augmentations pourraient être liées aux variations climatiques agissant à l'échelle régionale.

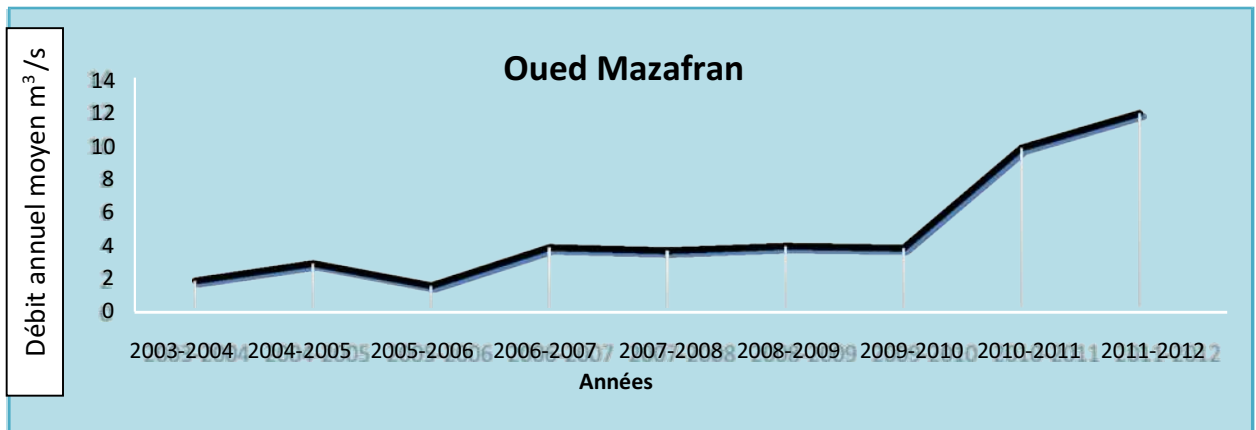


Figure 7 : Variations du débit annuel moyen (m³/s) au niveau de l'embouchure d'Oued Mazafran de 2003 à 2012 (ANRH).

- La baie d'Alger est caractérisée par les Oueds suivants :

Oued El-Harrach : le bassin versant d'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. A ces facteurs s'ajoute le caractère torrentiel qui se manifeste par une forte érosion et un important alluvionnement.

Le débit suit ainsi un cycle saisonnier avec des valeurs maximales en hiver et minimales en été (parfois on observe un assèchement total en amont pendant l'été).

Sur le plus long terme, le débit montre une variation d'une année à autre (figure 8) avec des valeurs plus au moins élevées suivant un cycle pluriannuel. Ces variations pourraient être liées aux variations climatiques agissant à l'échelle régionale.

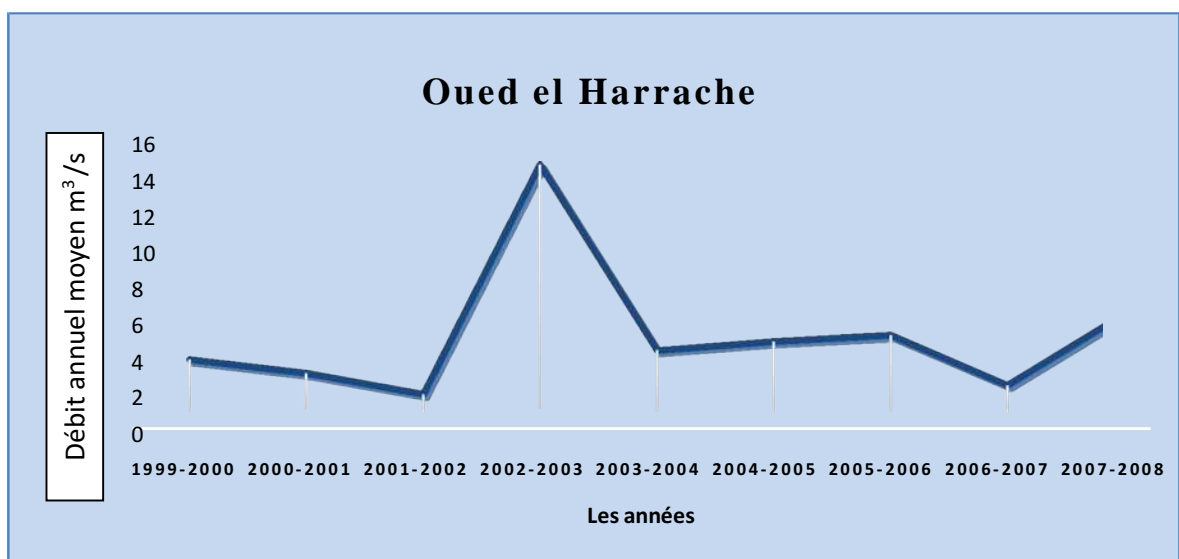


Figure 8 : Variations du débit annuel moyen (m³/s) au niveau de l'embouchure d'Oued El Harrach de 1999 à 2008 (ANRH).

Oued El-Hamiz : il prend source dans l'Atlas blidéen avant de traverser la plaine de la Mitidja. La superficie du bassin versant de Oued El-Hamiz est de l'ordre de 160 km². La présence du barrage El-Hamiz a réduit considérablement les apports terrigènes dans la baie d'Alger.

- Deux Oueds importants caractérisent la baie de Zemmouri, à savoir :

Oued Réghaïa : c'est l'oued le plus important de la région Est d'Alger, long de 5500 m et large de 10 m avec une profondeur de 17 m. Son bassin versant couvre 75 km² dont 25 km² sont constitués d'un territoire monticuleux, le reste étant une plaine inclinée vers la mer. Il est alimenté par deux affluents, à savoir l'Oued Guesbai et l'Oued Berraba. Oued El Biar prend naissance aux environs de la zone industrielle Rouiba – Réghaïa et traverse une grande partie des champs pour aller se déverser au niveau du lac.

Oued Isser : le plus important, il prend naissance dans les monts du Titteri dans une assez large vallée alluviale qui est le siège d'une nappe importante et très exploitée, drainant la partie occidentale de la chaîne du Djurdjura, les collines Chaab et El Ameurs et la vallée de Isser.

II.3.1. Climatologie

Le bassin algérois se caractérise par un climat méditerranéen tempéré. Il est connu par ses longs étés chauds et secs. Les hivers sont doux et humides, la neige est rare mais pas impossible. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud surtout de la mi-Juillet à la mi-Août. Les données utilisées dans ce travail nous ont été fournies par l'Office National Météorologique d'Alger (Dar El Beida) et concernent les années 2001 à 2010.

II.3.2. Température de l'air

La courbe des moyennes de température mensuelle entre 2001 et 2010, montre que le mois le plus froid est Janvier, le plus chaud étant Août (figure 9). Les valeurs moyennes minimales pour la période considérée, sont respectivement 11,1°C et 26,3°C, ce qui donne une amplitude de variations thermiques de 15,2°C (ONM, 2010).

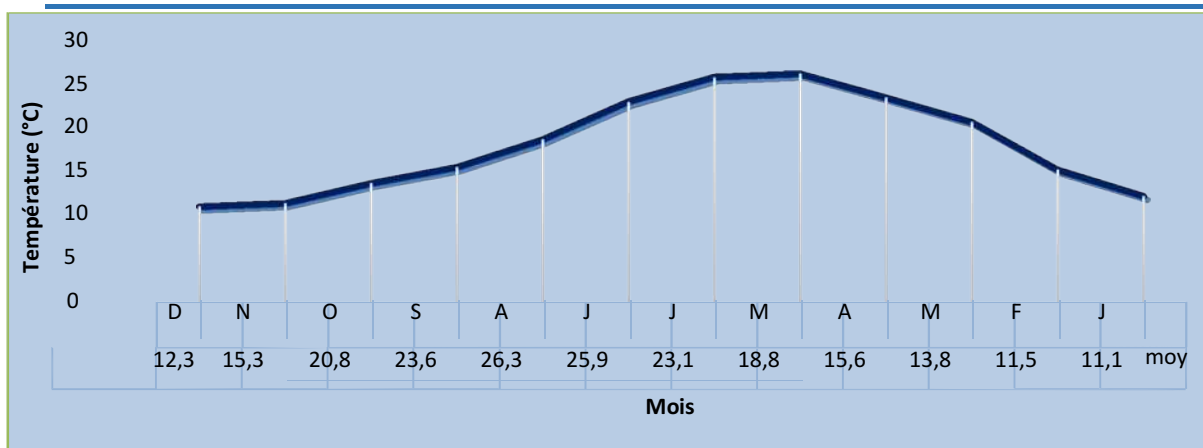


Figure 9 : Températures mensuelles entre 2001 et 2010 du bassin algérois (ONM, 2010).

II.3.3. Pluviométrie :

La période pluvieuse se situe surtout de Novembre à Mars, mais elle commence fréquemment en Septembre. Elle correspond à la saison hivernale. La hauteur moyenne annuelle est de 801 mm en 2007 (ONM, 2010). Les précipitations importantes ont pour conséquence directe le grossissement des Oueds augmentant les apports d'eau douce dans les trois baies. La fréquence et l'abondance des pluies varient selon les années et les mois. Entre Janvier 2001 et Décembre 2010, la quantité maximale est tombée en Novembre 2007, avec 250,1 mm et la quantité minimale en Juillet 2010 et Août 2005 avec une valeur de 0,1 mm (ONM, 2010).

II.3.4. Vent :

D'une manière globale, une prédominance des vents Nord Nord-Ouest et Nord-Est est observée (Leclaire, 1972). L'hiver est caractérisé par une agitation quasi permanente au cours de laquelle les vents dominants proviennent des directions comprises entre Nord-Ouest et Nord Nord-Ouest. La saison estivale est relativement plus calme ou peu agitée, les vents du secteur Nord-Est et Est étant dominants (Braïk, 1989). Pour cette année les statistiques des vents montre une dominance des vents Nord Nord-Ouest.

II.4. Sources de pollution :

II.4.1 Pollution de la baie de Bou Ismail :

Le littoral de la baie de Bou Ismail est peu urbanisé et industrialisé comparativement à la baie d'Alger. La population le long du littoral (60 km) de cette baie est estimée à environ 189.000 habitants. Il n'existe pas d'unités ou de zones industrielles importantes sur ou à proximité du littoral de cette baie, seules quelques petites unités industrielles sont localisées dans les villes côtières (Bou-Ismaïl, Ain Benian, Bou Haroun) dont les rejets d'eaux usées restent très modestes. La principale pollution en baie de Bou Ismail est une pollution

organique résultant des rejets d'eaux usées domestiques des agglomérations côtières. Ce volume d'eaux usées augmente de manière très appréciable en été en raison de l'affluence touristique dans les nombreux complexes touristiques implantés le long de la baie (Sidi Fredj, Mazafran, Zeralda, Tipaza). Les eaux usées des agglomérations côtières sont rejetées dans le milieu marin sans traitement, seules celles des complexes touristiques de la zone Club des Pins, Sidi Fredj subissent un traitement partiel avant leur rejet en mer.

La région littorale et l'arrière-pays de la baie de Bou Ismail sont surtout à vocation agricole. Ces dernières années les cultures intensives sous serres dans ces régions ont connu un grand développement ; pour ces cultures on a recours de plus en plus, parfois de façon abusive, aux engrais chimiques, aux produits phytosanitaires et cela n'est pas sans conséquences sur l'environnement notamment marin. Les eaux de ruissellement, les eaux de lessivage des sols généralement sablonneux, entraînent une partie de ces produits chimiques, soit directement ou indirectement par le biais des oueds, vers le milieu marin.

Les oueds Beni Messous, Mazafran et Nador drainent vers la baie les eaux usées, les polluants des villes et des industries implantées sur leur parcours, et également les eaux de lessivage des sols des régions agricoles traversées par ces oueds.

Les quelques études disponibles apportent très peu d'informations ou alors une information fragmentaire et très ponctuelle dans le temps et l'espace : **Asso, (1982)** pour les polluants métalliques chez la moule *Perna perna* et **Boudjellal, (1993)** pour les métaux lourds dans les sédiments. Ces auteurs constatent et soulignent que le seuil critique de pollution est loin d'être atteint dans la baie de Bou Ismail.

II.4.2 Pollution de la baie d'Alger :

La région algéroise est constituée de deux parties bien distinctes : la baie d'Alger et la plaine de la Mitidja. La région algéroise est une région très urbanisée et industrialisée : environ 15 % de la population algérienne et 22 % du parc national des unités économiques. La région algéroise, en particulier la plaine de la Mitidja, est une zone agricole importante ; ces dernières années l'agriculture intensive, grande consommatrice d'engrais chimiques, s'est beaucoup développée dans cette région. Les oueds "El Harrach et El Hamiz" drainent vers la baie toutes les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles des zones de la Mitidja qu'ils traversent.

Toutes les eaux usées résultantes des activités humaines dans la région algéroise ne sont pas traitées ; elles arrivent directement ou indirectement dans le milieu marin. Les eaux usées urbaines d'Alger, des villes côtières et d'un certain nombre d'unités industrielles sont drainées vers le port ou la baie d'Alger grâce à un réseau d'assainissement complexe (environ soixante-

dix points de rejets). Le port d'Alger est un milieu fortement pollué (**Bakalem et Romano JC, 1986 ; Rebzani-Zahaf et al., 1990 ; Bakalem et Romano JC, 1989 ; Rebzani-Zahaf et al., 1997**). Par le biais de la passe Sud le secteur ouest de la baie est sous l'influence négative des eaux portuaires, il en est de même pour le secteur à proximité de la passe Nord.

Les flux de pollution sont importants dans le secteur ouest de la baie, secteur soumis à une triple influence : la première due aux nombreux et importants émissaires débouchant dans ce secteur, la seconde émanant de l'oued El Harrach et la dernière du port d'Alger par le biais de la passe Sud.

II.4.3 Pollution de la baie de Zemmouri :

Au niveau de la baie de Zemmouri 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, un des plus importants d'Algérie, à grand bassin versant transportant sur une grande distance des matériaux variables (débris solides) : vases, limons, minéraux solides et légers et les matières organiques.
- Le système Ouest : qui est celui des petits Oueds côtiers situés à l'Ouest de Zemmouri-el-Behri (courbet marine) : Oued.Boudouaou, Oued.Corso, Oued.Boumerdes et Oued.Safsaf, à débits moins importants et de cours réduit, mais drainant principalement des régions à faciès cristallins d'où des apports (surtout pour les deux derniers oueds) 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 surtout après le séisme de Boumerdès (21 Mai 2003), avec la multiplication des bidonvilles sur tout le littoral de Boumerdès à Zemmouri engendrant plus de sources de pollution à la mer.

CHAPITER 3 : MATERIELS ET METHODES

Le tableau suivant résume les deux formes d'espèces récoltées depuis les stations étudiées.

stations	Espèce	Etat de mer	Date	T (C°)	S (Psu)
Figuier	<i>P.perna</i>	Mer calme et bien visible.	13-05-2015 à 13:00	19.70	35.4
Boudouaou	<i>P.perna</i>	Mer calme et bien visible.	13-05-2015 à 15:10	20.70	35.1
Sercouf	<i>M.galloprovincialis</i>		13-06-2015		
Bateau cassé	<i>M.galloprovincialis</i>	Mer visible et peu perturbée.	11-07-2015 à 12:20	25.60	35.8
Port d'Alger	<i>M.galloprovincialis</i>		17-05-2015		
Zéralda	<i>P.perna</i>	Peu perturbée et bien visible.	17-06-2015 à 13.45	18.20	35.7
Bou-Ismaïl	<i>M.galloprovincialis</i>		11-08-2015		

Tableau 1 : tableau englobe les stations de prélèvements ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des stations.

III.1. Les prélèvements :

Afin d'atteindre l'objectif recherché, une série de prélèvements, étalée sur une période de cinq mois a été réalisée. Les prélèvements effectués sont de deux types: prélèvements de l'eau de mer et les prélèvements des bio- indicateurs (les moules).

III.1.1. Prélèvements de l'eau de mer

Au niveau de certaines stations, des prélèvements d'eau ont été effectués pour la mesure des paramètres physico-chimiques (salinité et température). Les échantillons ont été correctement prélevés, dans des flacons stériles, évitant toute contamination accidentelle, puis étiquetés et transportés au laboratoire dans une glacière isotherme (4°C) à l'abri de la lumière et analysés après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes.

III.1.2. Prélèvements des moules :

Les moules de chaque station ont été arrachés du substrat par section de leurs byssus en prenant soin de ne pas endommager le pied. Elles sont mises dans des sachets stérilisés à utilisation unique sur lesquelles est mentionnée la date, le site de prélèvement et le nom de l'espèce. Les échantillons sont conservés au frais dans une glacière et transportés au laboratoire de l'ENSSMAL.

Les espèces de moules accueillies sont *Mytilus galloprovincialis* identifié par Lamarck en 1819 et *Perna perna* identifié par Linnaeus en 1758.



Figure 10 : *Mytilus galloprovincialis*



Figure 11 : *Perna perna*

III.2. Méthodes d'analyses :

Pour la réalisation de notre dosages, une série des étapes a été faite pour que les résultats soit précises et fiables.

III.2.1. Préparation des matériels :

Les instruments (scalpel et pinces) ainsi que la verrerie utilisée lors de notre étude sont minutieusement nettoyés et conditionnés selon le protocole décrit par "A.I.E.A., 1997". Ce dernier exige un lavage avec un détergent suivi d'un rinçage convenable à l'eau du robinet et l'eau bi-distillée, acidulée (HCL 10%) et à l'eau bi distillée puis séchage à l'étuve à 70°C.

III.2.2 Traitement des moules

La taille de l'animal est considérée comme étant la longueur de la coquille car les parties molles croissent parallèlement à cette dernière. La longueur est mesurée sur un nombre suffisant d'individus représentatifs de l'échantillon prélevé (25 individus), avec un pied à coulisse donnant une mesure au 1/100^{ème} de millimètre.

Le traitement est fait selon les recommandations de Bernhard (1978), le décoquillage a été fait, le même jour (sauf quelques échantillons), avec un scalpel en acier inoxydable propre, en évitant d'endommager les moules avec la lame et en éliminant le byssus. La totalité de la partie molle, muscle compris, est récupérée dans des petites pots en plastique et pesées : cela nous donne le poids frais totale, puis les mettre au congélateur (-18⁰C) dans le but d'être lyophilisé.

III.2.2.1. Calcul de 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 (NFV 45056), exprimé par l'équation :

$$IC = \left(\frac{PTSEP}{Poids\ total} \right) * 100$$

Avec :

PTSEP = Poids des tissus mous sans l'eau palléale.

III.2.2.2. Détermination des éléments traces métalliques :

III.2.2.2.1. Lyophilisation :

Le principe est la déshydratation des échantillons par sublimation qui s'effectue par la libération de l'eau de l'échantillon en passant de la phase solide à la phase vapeur sans passer par la phase liquide. Ce moyen de déshydratation est préférable à celui de l'évaporation à l'étuve car dans ce dernier cas l'élévation de température peut être une source de pertes des métaux les plus volatiles en particulier le mercure. (Charlou et Joanny, 1983).

La lyophilisation a été faite au niveau de laboratoire des écosystèmes marins et littoraux de l'ENSSMAL à Sidi Fredj par un lyophilisateur de marque CHRIST (figure 13).

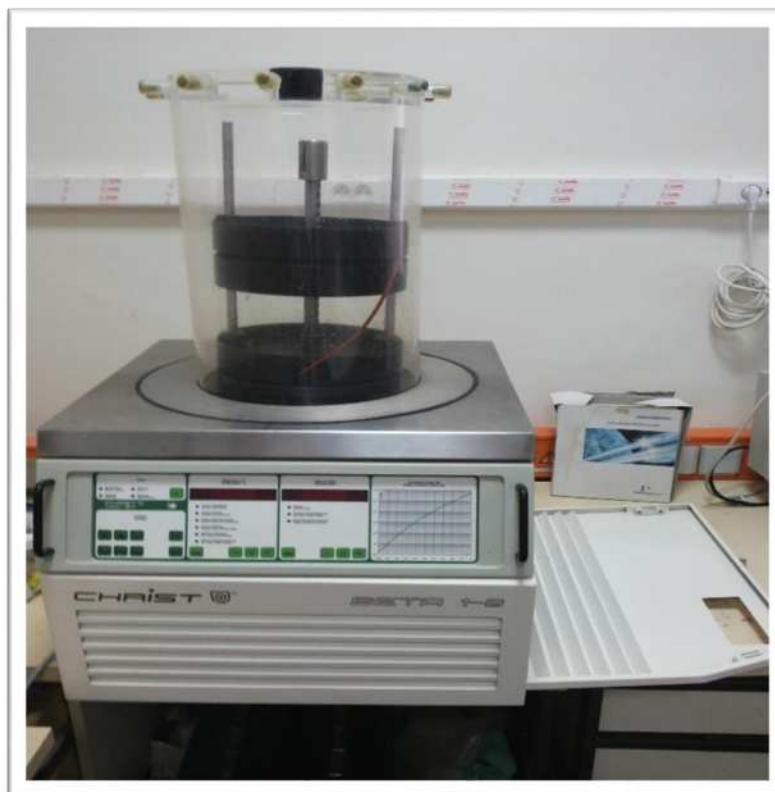


Figure 12 : Lyophilisateur de modèle Christ.

III.2.2.2.2. Broyage :

Les échantillons de moules lyophilisés sont broyés à l'aide d'un broyeur automatique en acier inoxydable jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Cette dernière est récupérée dans des piluliers en plastique et stockée dans un endroit sec.

III.2.2.2.3. Homogénéisation :

Pour une répartition uniforme des éléments métalliques au sein de la matière sèche des moules et afin de prélever une quantité représentative de l'échantillon, une Homogénéisation a été faite avant la minéralisation par agitation manuelle pendant quelques minutes.

III.2.3. Extraction des métaux lourds :

III.2.3.1. Principe de la digestion ou de la minéralisation :

La digestion consiste à libérer les différents métaux bioaccumulés par la chair molle des moules et les métaux adsorbés à la surface des particules par extraction et mise en solution.

Aussi, pour que l'attaque de l'échantillon biologique soit suffisamment efficace et que le rendement de récupération des métaux lourds soit maximum, la minéralisation s'effectue par voie humide par attaque à l'acide nitrique, à chaud et sous pression.

III.2.3.1.1. Le protocole expérimental :

Le protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P. / I.A.E.A (1985 a et b, 1986a et b, 1998, 2001).

III.2.3.1.2. Minéralisation à blanc :

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc. On met dans chaque godet à téflon 4 ml d'acide nitrique 69%. On ferme hermétiquement les godets, puis on réchauffe sur une 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 rince à l'eau bi- distillée et on sèche dans l'étuve.

III.2.3.1.3. Minéralisation des moules :

Selon le protocole décrit par l'A.I.E.A. (2001), la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon. On pèse environ 0,5 g de matière sèche de moule. On y ajoute 5 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré à 68 % puis on ferme hermétiquement les godets.

On laisse les échantillons à température ambiante une nuit 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 minéralisâtes dans des tubes en polypropylène de 50 ml. On rince les godets avec l'eau bi-distillée 3 fois et en récupérant les rinçages dans les tubes en polypropylène. On ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bi-distillée.



Figure 13 : Plaque chauffante à minéralisation.

III.2.4. Analyse des métaux traces

Ils existent plusieurs méthodes permettant l'analyse des métaux traces dans différentes matrices du milieu marin et la méthode utilisée dans notre étude est celle de la Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA).

III.2.4.1. La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

La Spectrophotométrie d'Absorption atomique (SAA) est une technique d'analyse quantitative, fondée sur le phénomène d'absorption de radiations lumineuses par des atomes libres. Elle est largement appliquée (**Forstner et Salomons, 1980 in Asso, 1982**), simple et très documentée, bien adaptée et recommandée pour l'analyse des métaux lourds (**Asso, 1982**).

Le dosage d'élément par SAA repose sur le principe qu'un atome soumis à un rayonnement d'énergie E, peut passer d'un état fondamental à un état excité, caractérisé par des électrons à un niveau d'énergie plus élevé et instable : c'est le phénomène d'absorption. Le retour de l'atome à son état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement photonique spécifique caractérisé par sa longueur d'onde λ .

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert.

$$I = I_0 \cdot e^{-K.L.C}$$

Avec :

I : Energie lumineuse transmise.

I_0 : Energie lumineuse émise.

K : Constante égal ou coefficient d'absorption moléculaire.

L : Trajet optique égal à l'épaisseur de la cellule de mesure.

C : Concentration du métal dosé.

La différence entre le faisceau incident (I_0) et le faisceau transmis est enregistrée par un Photomultiplicateur. Cette différence est la conséquence de l'absorption d'une partie de la radiation (I_0) par les atomes de la solution à analyser. Ces atomes qui se trouvent en solution sous forme ionique passe sous forme atomique généralement par le rapport thermique calculé par la formule suivante :

$$A = DO = \text{Log}(I_0/I) = \varepsilon \cdot L \cdot C$$

Avec :

- DO : densité optique ;
- I_0 et I : sont respectivement les intensités lumineuses incidente et émergente du milieu absorbant ;
- ε : le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et la longueur d'onde ;
- L : la longueur du milieu traversé exprimé en centimètre ;
- C : concentration de la solution absorbante exprimé en mol/l.

Appareillage

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

Un spectrophotomètre d'absorption atomique comprend généralement 7 composants principaux :

- La source lumineuse;
- Le collimateur (photomultiplicateur);
- Le brûleur atomiseur;
- Le monochromateur ou disperser;
- L'amplificateur;
- Le détecteur;
- L'afficheur ou enregistreur des données (intégrateur ou pc).

Etalonnage

La méthode d'étalonnage utilisée est celle des standards seuls. La calibration du spectrophotomètre est réalisée à partir de 5 solutions standards (S1, S2, S3, S4 et S5) de concentrations croissantes mg/l, susceptibles d'approcher les concentrations des différents analystes. Les absorbances de ces 5 solutions sont mesurées, ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage (Absorbance = f (concentrations)). Pour les faibles concentrations, c'est-à-dire pour les faibles absorbances, la courbe est quasi linéaire, donc de la forme :

$$Y = a.X + b$$

Avec :

Y : absorbance du métal

X : concentration du métal

a : pente de la droite

b : ordonnée à l'origine.

III.2.4.2. Calcul des concentrations des métaux

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

$$[C]_{Finale} = ([C]_X - [C]_b) . V/P$$

Avec :

$[C]_{Finale}$: Concentration finale en poids sec ($\mu\text{g/g}$ ou mg/kg ou ppm) ;

$[C]_X$: Concentration du métal présent dans l'analyte en $\mu\text{g/l}$;

$[C]_b$: Concentration du blanc en $\mu\text{g/l}$;

V : volume de dilution en ml (50 ml) ;

P : poids de l'échantillon sec minéralisé (g).

III.3. Evaluation du Niveau de la pollution :

Dans la présente étude, c'est les valeurs seuil de (Mersch, 1993 in Rebhi 2013) qui sont retenus en tant que valeurs de références pour l'évaluation de degré de contamination des moules en métaux traces.

Classe de qualité				Métaux
Pollution importante	Pollution certaine	Situation intermédiaire	Absence de pollution	
> 8	2,5 – 8	1 - 2,5	≤ 1	Cd
> 10	3,5 – 10	1 - 3,5	≤ 1	Cr
> 80	45 – 80	12 – 45	≤ 12	Cu
> 100	45 - 100	12 – 45	≤ 12	Ni
> 14	4 - 14	0,5 – 4	≤ 0.5	Pb
> 400	220 - 400	110 – 220	≤ 110	Zn

Tableau 2 : Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en µg/g) observées chez les moules.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. La taille moyenne :

Les tailles moyennes de la station de Bou-Ismaïl (S7) sont les plus grands (88.04 mm) enregistrés chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lamrack, 1819). Tandis que les tailles moyennes les plus petits de la même espèce est de (43.72 mm) observées dans la station de Sercouf (S3).

Pour *Perna perna* (Linnaeus, 1758) une taille moyenne plus élevée est observée à Boudouaou (S2) et elle est de (49.73 mm). La station de Zéralda (S6) présente la plus faible taille chez cette espèce, de (36.90 mm).

Stations	Figuier (S1)	Boudouaou (S2)	Sercouf (S3)	Bateau Cassé (S4)	Port d'Alger (S5)	Zéralda (S6)	Bou- Ismaïl (S7)
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (mm).	----	----	43.72	45.84	44.96	----	88.04
<i>Perna perna</i> (mm).	46.91	49.73	----	----	----	36.90	----

Tableau 3 : Taille moyenne des espèces des différentes stations de prélèvement.

IV.2. Indice de condition :

Chez l'espèce *Mytilus galloprovincialis*, les moules de la station de Sercouf (S3) présentent l'indice de condition le plus élevé (33.68 %) car il s'agit de moules d'élevage, bien que l'indice de condition le plus faible (28.95 %) est apparue sur la station de Bou-Ismaïl (S7).

Alors que pour l'espèce *Perna perna*, la valeur la plus élevée est observée au niveau de la station de figuier (S1) (31.13 %) et la valeur la plus faible est enregistrée dans la station Boudouaou (S2), (29.31 %).

La variation de l'indice de condition dépend de plusieurs paramètres dont l'état de reproduction et de nutrition (Cossa, 1980).

La différence inter-sites n'est pas vraiment significative, montre un remplissage des coquilles en faveur des moules.

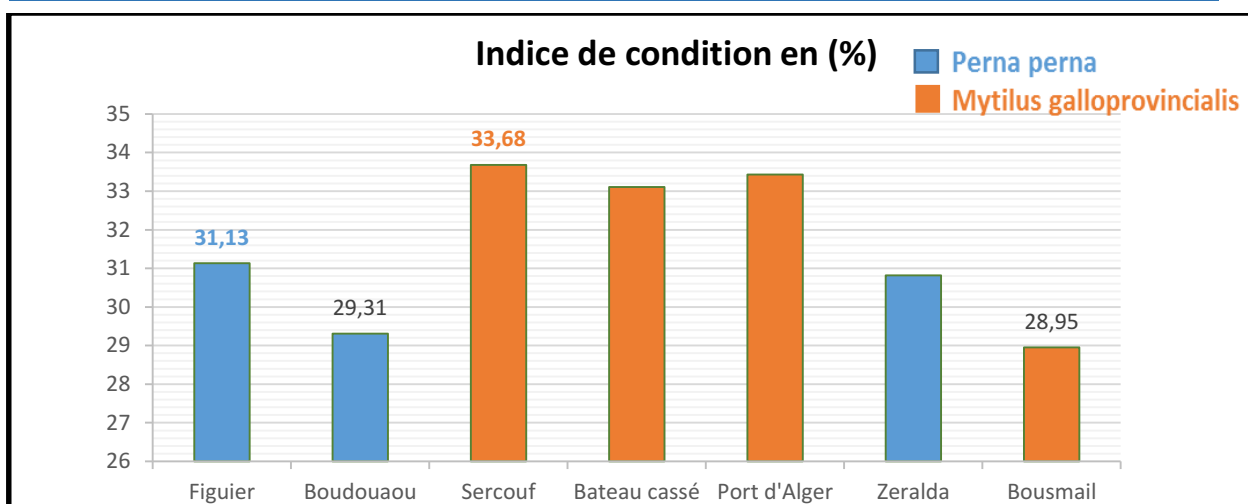


Figure 14 : L'indice de condition pour chaque station de prélèvement.

IV.3. Les teneurs en métaux lourds :

L'analyse des métaux par spectrométrie d'absorption atomique à flamme a été focalisée sur les éléments traces suivants : le Cuivre, le Zinc, le Nickel, le Manganèse et le Fer. Les analyses sont faites par la partie (Flamme) de l'appareille et non pas le (four) au niveau de la station de (CNRDPA).

IV.3.1. Le cuivre :

Le graphe ci-dessous représente la concentration du cuivre dans les différents sites d'études et pour les deux espèces étudiées.

À partir du graphe on remarque que les concentrations du cuivre varient entre un maximum de 91.39 et un minimum de 6.42 ($\mu\text{g/g PS}$) pour toutes les stations.

Pour *Mytilus galloprovincialis*, dans la majorité des stations, la concentration du cuivre est faible (entre 7-10 $\mu\text{g/g PS}$) à l'exception de Port d'Alger (S5) où nous avons enregistré une valeur maximale de 91.39 ($\mu\text{g/g PS}$), tandis que la plus faible concentration mesurée est celle de la station de Bou-Ismail (S7), qui est de l'ordre de 6.42 ($\mu\text{g/g PS}$).

Concernant l'espèce *Perne perna*, une concentration maximale de 9.17 ($\mu\text{g/g PS}$) est mesurée dans la station de Figuiet (S1), tandis que la plus faible valeur est notée dans la station de Boudouaou (S4) de l'ordre de 7.54 ($\mu\text{g/g PS}$).

L'énorme concentration du cuivre dans la station du Port d'Alger est peut-être due à la peinture antisalissure des bateaux qui s'embarquent d'une façon permanente dans la port.

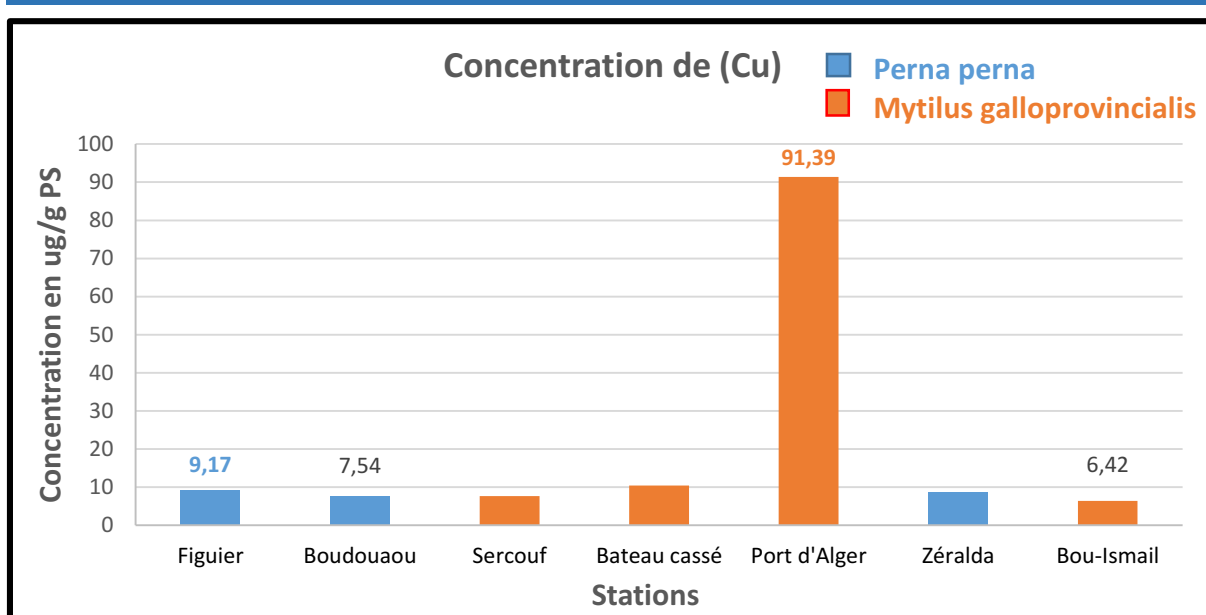


Figure 15 : Concentrations du cuivre chez les deux espèces étudiées dans nos stations.

IV.3.2. Le zinc :

Les concentrations du zinc dans nos stations et pour les deux espèces sont présentées dans le graphe suivant.

Pour ce métal on a aussi remarqué que la moule *Mytilus galloprovincialis* accumule plus de zinc que *Perna perna*.

D'après les résultats obtenus, le zinc montre un maximum de concentration de 153.61 (ug/g PS) dans la station de Sercouf (S3) et une concentration minimale de l'ordre de 107.2 (ug/g PS) au Bateau cassé (S4) chez *Mytilus galloprovincialis*.

Pour *Perna perna* on remarque une concentration plus élevée de 151.06 (ug/g PS) à Boudouaou (S2) et une valeur faible de 109.03 (ug/g PS) dans la station de Figuier (S1).

La concentration élevée en zinc dans les stations de Boudouaou et de Sercouf peut être expliquée par la forte activité agricole dans cette région ou par les apports fluviaux d'Oued Réghaïa.

Les autres stations montrent aussi une concentration supérieure à 110 (ug/g) en ce métal.

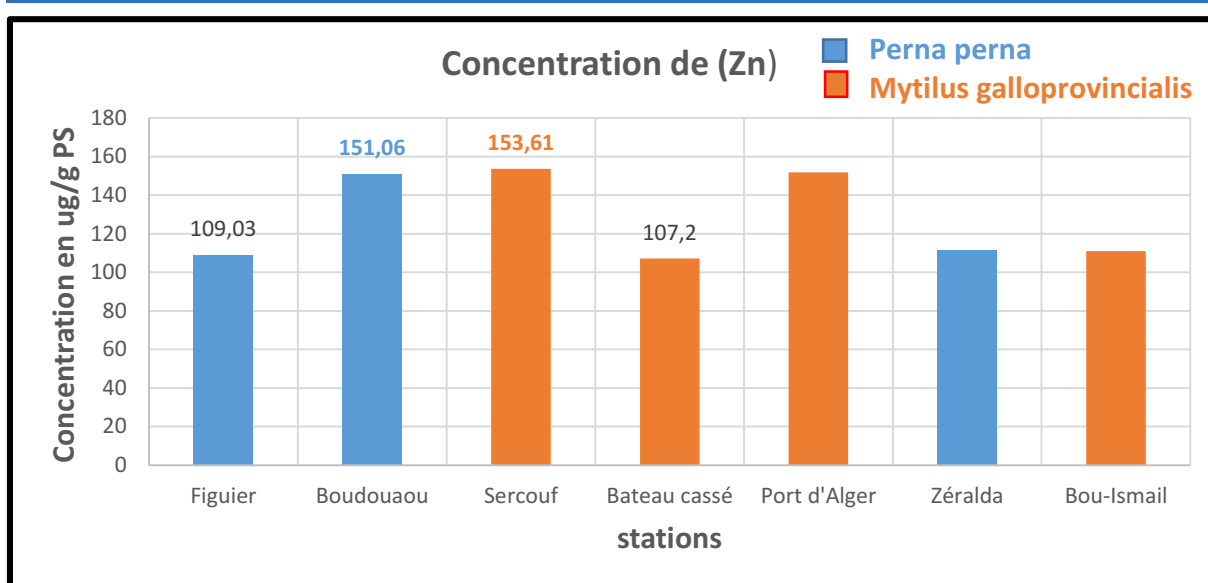


Figure 16 : Concentration du zinc chez les deux espèces de moule présentes dans nos stations.

IV.3.3. Le nickel :

Les concentrations du nickel sont assez proches et faibles chez les deux espèces de moules. Et elle est entre un minimum de 6.02 ($\mu\text{g/g PS}$) dans la station de Bateau cassé (S4) et un maximum de 6.93 ($\mu\text{g/g PS}$) à Bou-Ismaïl (S7) chez *Mytilus galloprovincialis*.

Et entre un minimum de 6.22 ($\mu\text{g/g PS}$) à Figuiier (S1) et un maximum de 7.34 ($\mu\text{g/g PS}$) dans la station de Zéralda (S6), chez *Perna perna*.

Les deux stations de la baie de Bou-Ismaïl présentes les concentrations les plus élevés et cela est probablement dû aux apports terrigènes par les Oueds (Nador Mazafran et Beni Messous).

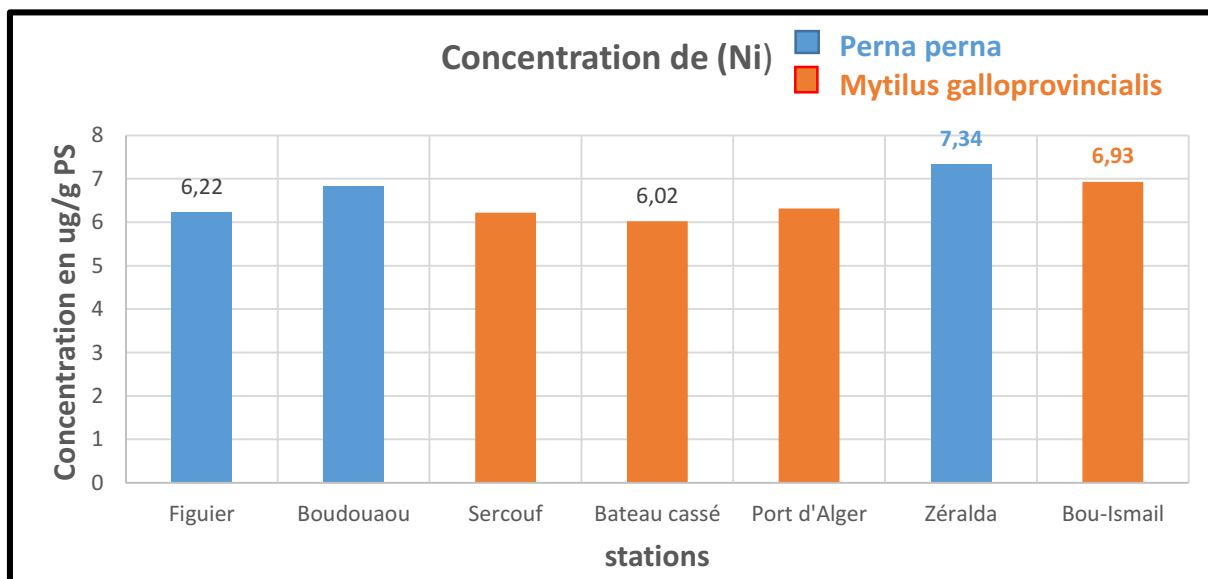


Figure 17 : les concentrations du nickel dans nos stations chez les deux espèces de moules.

IV.3.4. Le manganèse :

D'après ces résultats, nous avons remarqués que la concentration de manganèse la plus élevée est enregistrée au niveau de la station de Bateau cassé (S4) 15.7 ($\mu\text{g/g PS}$) alors que la plus faible valeur est notée au niveau de Bou-Ismaïl (S7) de 5.91 ($\mu\text{g/g PS}$) chez *Mytilus galloprovincialis*.

Les valeurs de Manganèse change entre un minimum de 10.09 ($\mu\text{g/g PS}$) dans la station de Figuier (S1) et un maximum de 24.27 ($\mu\text{g/g PS}$) à Zéralda (S6) chez *Perna perna*.

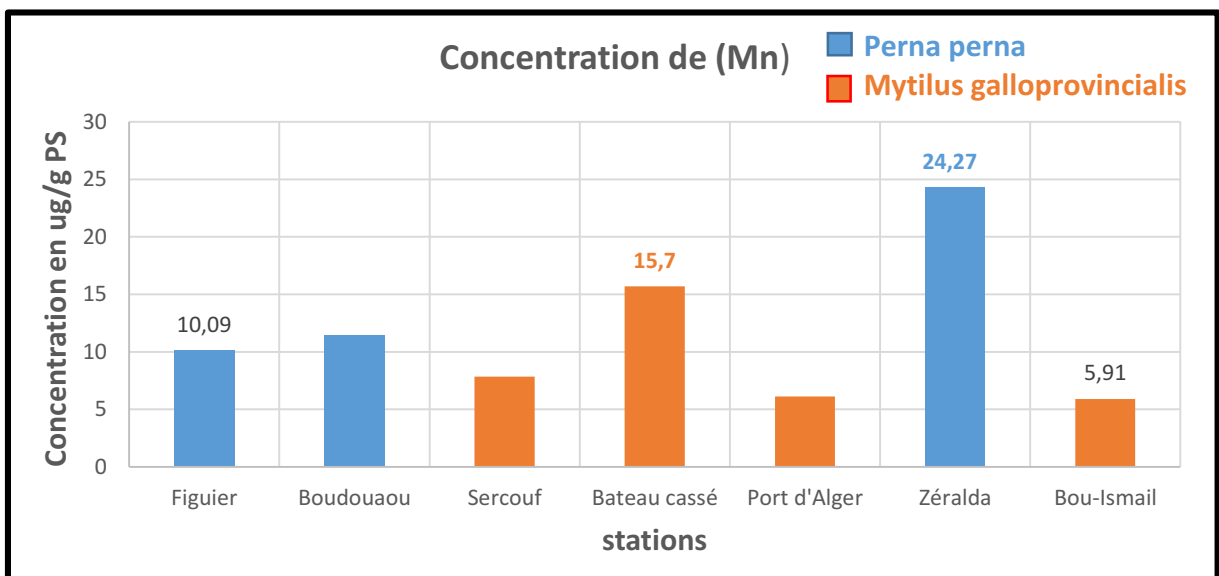


Figure 18 : les concentrations de manganèse dans nos stations pour les deux espèces étudiées.

IV.3.5. Le fer :

L'analyse montre des concentrations très élevées du fer, ce qui est très loin par rapport à la normale si en comparant avec des études faites auparavant, cette anomalie peut être due à une contamination lors de la manipulation ou probablement que l'appareille est pas calibrée pour ce métal.

Chez *perna perna*, les concentrations mesurées dans les deux stations de Boudouaou et Figuier sont presque similaire à l'exception de la valeur la plus extrême notée à la station de Zéralda (S6) qui est de l'ordre de 139.23 ($\mu\text{g/g PS}$).

Alors que *Mytilus galloprovincialis* accumule des concentrations moins faibles que *Perna perna*, et elle sont autour 19.76 ($\mu\text{g/g PS}$) dans la station de Sercouf (S3) et 33.58 ($\mu\text{g/g PS}$) au Bateau cassé (S4).

Pour les teneurs en fer, la remarque qui peut être accordée c'est que le fer semble être plus accumulable par *Perna perna* que par *Mytilus galloprovincialis*.

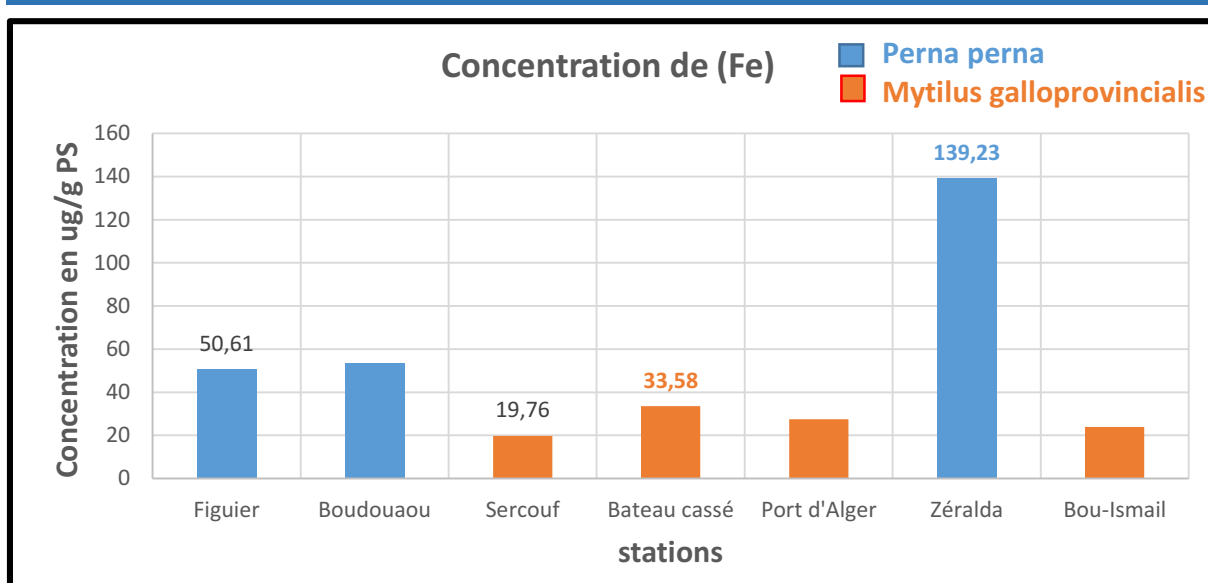


Figure 19 : les concentrations du fer pour nos stations et dans les deux espèces étudiées.

IV.4. Evaluation du niveau de contamination des moules du littoral algéroise par les métaux traces :

Pour cette partie d'analyse, nous utilisons les valeurs de Mersch 1993, pour estimer l'état de contamination des moules par les métaux traces dans nos stations.

IV.4.1. Baie de Zemmouri :

L'évaluation du degré de contamination concerne les trois stations étudiées.

Métaux	Concentration moyenne (ug/g)	Interprétation de la baie
Cu	8.12	Absence de pollution
Zn	137.9	Pollution modérée
Ni	6.42	Absence de pollution
Mn	9.78	---
Fe	41.29	---

Tableau 4 : degrés de contamination de chaque métal dans la baie de Zemmouri.

IV.4.2. Baie d'Alger :

Pour la baie d'Alger on a séparé les deux stations pour avoir une interprétation plus pertinente du degré de contamination, ainsi que pour le port d'Alger, on doit l'analyser seul vu les différents phénomènes qui se manifeste au sein de ce dernier.

Métaux	Concentration moyenne (ug/g)	Interprétation de la station
Cu	91.39	Pollution importante
Zn	155.77	Pollution modérée
Ni	6.32	Absence de pollution
Mn	6.12	---
Fe	27.5	---

Tableau 5 : degré de contamination du port d'Alger.

Métaux	Concentration moyenne (ug/g)	Interprétation de la station
Cu	10.4	Absence de pollution
Zn	107.2	Absence de pollution
Ni	6.02	Absence de pollution
Mn	15.7	---
Fe	33.58	---

Tableau 6 : degré de contamination du Bateau cassé.

IV.4.3. Baie de Bou-Ismaïl :

L'évaluation du degré de contamination concerne les deux stations étudiées.

Métaux	Concentration moyenne (ug/g)	Interprétation de la baie
Cu	7.59	Absence de pollution
Zn	111.22	Pollution modérée
Ni	7.13	Absence de pollution
Mn	15.09	---
Fe	81.56	---

Tableau 7 : degré de contamination de la baie de Bou-Ismaïl par les métaux.

IV.5. Analyse binaire :

L'analyse binaire est faite dans le but de pouvoir expliquer les relations entre les métaux les uns par rapport aux autres dans les moules, pour cela une droite de régression linéaire de forme $Y = aX + b$ est obtenue par la méthode de moindre carré pour chaque métal en fonction des autres.

Le coefficient de corrélation (r) calculé permet de vérifier l'existence ou non d'une corrélation entre les deux éléments considérés.

Si :

- $R > 0.5$ La corrélation est positive (significative).
- $0.5 > R > -0.5$ La corrélation est négative (non significative).
- $R < -0.5$ Pas de corrélation.

IV.5.1. Corrélation inter-métaux :

- *Mytilus galloprovincialis* :

D'après le tableau il existe trois corrélations positives ce qui signifie que les deux métaux concernés se bioaccumulent dans la moule *Mytilus galloprovincialis* d'une façon similaire.

C'est le cas pour les couples : (Cu-Zn), (Zn-Mn) et (Ni-Mn).

Les corrélations négatives révèlent que les couples concernés se bioaccumulent indépendamment les uns par rapport aux autres.

Corrélation	R ²	R	Interprétation
Cu-Zn	0.293	0.54	Corrélation positive.
Cu-Ni	0.015	0.12	Corrélation négative.
Cu-Mn	0.132	0.36	Corrélation négative.
Zn-Ni	0.06	0.24	Corrélation négative.
Zn-Mn	0.276	0.52	Corrélation positive.
Ni-Mn	0.478	0.69	Corrélation positive.

Tableau 8 : corrélation inter-métaux dans la moule *Mytilus galloprovincialis*.

- *Perna perna* :

Pour *Perna perna* il existe deux corrélations positives qui sont entre les couples (Cu-Zn) et (Ni-Mn), ce qui explique la similarité de bioaccumulation de ces couples d'éléments pour cette espèce. Les autres couples de métaux se bioaccumulent indépendamment dans cette espèce.

Corrélation	R ²	R	Interprétation
Cu-Zn	0.963	0.98	Corrélation positive.
Cu-Ni	0.081	0.28	Corrélation négative.
Cu-Mn	0.039	0.19	Corrélation négative.
Zn-Ni	0.009	0.09	Corrélation négative.
Zn-Mn	0.147	0.38	Corrélation négative.
Ni-Mn	0.778	0.88	Corrélation positive.

Tableau 9 : corrélation inter-métaux dans la moule *Perna perna*.

IV.6. Comparaison des teneurs en métaux traces dans les moules :

Dans cette partie d'étude nous comparant les résultats de notre présente étude avec celles des études faite auparavant dans des différentes régions algériennes ou des régions européennes.

Métaux	Cu	Zn	Mn
Stations	Moyenne (ug/g)	Moyenne (ug/g)	Moyenne (ug/g)
Baie de Zemmouri (Présente étude)	8.12	137.9	9.78
Baie d'Alger - Bateau cassé - Port d'Alger (Présente étude)	10.04 91.39	107.2 151.77	15.7 6.12
Baie de Bou-Ismaïl (Présent étude)	7.59	111.22	15.09
Baie de Zemmouri (Rebhi, 2013)	2.26	167.41	44.31
Baie d'Alger - Bateau cassé - Port d'Alger (Rebhi, 2013)	2.17 53.34	171.52 350.89	31.11 33.65
Baie de Bou-Ismaïl (Rebhi, 2013)	2.26	202	36.12
Baie d'Alger (Meguellati et Seraoui, 2012)	6	182.5	13
Baie de Bou-Ismaïl (Meguellati et Seraoui, 2012)	270.5	7.5	15
Région d'Alger (Asso, 1982)	13.1	200	-
Région d'Alger (Abdelouahab, 1998)	0,37 – 7,31	25,04 – 187,23	-
Région française (Casas, 2005)	2 – 17,3	28 - 283	-
Région marocaine (Tahiri et al, 2005)	8,77	225	-

Tableau 8 : comparaison des résultats obtenus avec d'autres résultats précédents.

CONCLUSION

Conclusion

Au terme de ce travail, qui a porté sur l'utilisation de la moule *M. galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758) comme indicateur de la pollution par les métaux (Zn, Cu, Ni, Mn et Fe), le long de la côte algéroise, nous a permis d'évaluer le degré de la pollution métallique actuel dans cette zone côtière.

Les moules de *Mytilus galloprovincialis* de la station de Bou-Ismaïl présentent les tailles les plus grandes parmi les moules étudiés.

Les résultats obtenus de l'analyse chimique des métaux traces (Zn, Cu, Ni, Mn) par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), sont assez cohérents. En effet, la fiabilité de la méthode est reconnue.

Les résultats obtenus pour le fer semblent très élevés par rapport à la normale ce qui explique une contamination lors de la manipulation ou une erreur lors du dosage par l'appareil (SAA).

Les concentrations du zinc sont les plus élevées suivant toutes les stations étudiées, par contre pour le cuivre les teneurs les plus élevées sont celles des moules de port d'Alger, tandis que les autres stations présentent des concentrations assez similaires et faibles. Pour le nickel et le manganèse les teneurs sont faibles pour les deux espèces,

Une contamination excessive par le cuivre au niveau du port d'Alger ce qui indique la présence d'une pollution importante dans le port.

Les corrélations inter-métaux montrent deux corrélations significatives pour les deux espèces de moule l'une entre le "Zinc et le Cuivre" et l'autre est entre le "Nickel et le Manganèse" ce qui explique que les deux métaux se bioaccumulent d'une façon similaire dans la moule.

Une autre corrélation significative est observée entre le "Zinc et le Manganèse" chez *Mytilus galloprovincialis*.

D'après les valeurs de seuil de (Merches, 1993) qui sont retenues comme référence pour l'évaluation du degré de contamination des moules par les métaux, les résultats obtenus pour le zinc montrent la présence d'une pollution modérée dans tous les trois baies étudiées. Bien que les teneurs du cuivre reflètent l'existence d'une pollution importante dans la baie d'Alger et l'absence de pollution dans les baies de Zemmouri et de Bou-Ismaïl.

Les concentrations du Nickel indiquent l'absence de pollution suivant toutes les trois baies.

La présente étude révèle que l'accumulation des métaux dans les moules n'est pas similaire pour les deux espèces, c'est pour cela que l'utilisation de d'autres espèces bio-indicatrices est recommandée pour mieux apprécier l'état de la mer et augmenter le degré de certitude et de fiabilité.

Bibliographie

- A.I.E.A. (2001).** Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples. *Laboratory Procedure Book*. Vol. 2, n° 3, p. 321-365.
- ALZIEU, C. (1999).** *Dragages et environnement marin : état des connaissances*. N° 4. Plouzané : Ifremer. 223 p.
- ANRH. (2013).** agence nationale des ressources hydrauliques. Rapport final. Alger.
- ASSO, A. (1982).** *Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule Perna (L), dans la région d'Alger*. Mémoire de magister. Océanologie biologique. Marseille : Université d'Aix ,138 p.
- AUDRY, S. (2003).** *Bilan géochimique du transport des éléments traces métalliques dans le système fluvial anthropisé Lot-Garonne-Gironde*. Thèse de doctorat. Géosciences. Bordeaux : Université de Bordeaux I, 101 p
- BAKALEM, A., ROMANO, JC. (1985).** Etude des peuplements benthiques d'un milieu perturbé. Rapport initial. Alger : FAO.
- BAKALEM, A., ROMANO, JC. (1988).** Les peuplements benthiques du port d'Alger : les mollusques. Rapport Mer Médit. Alger : FAO.
- BELANGER, D. (2009).** *Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier*. N° 22. Canada : Mac Graw Hill. 67 p.
- BOUCHARD, J.M (2004).** *Les organismes pluricellulaires : la moule*. N° 4. France : Masson et Cie. 75 p.
- BOUDJELLAL, Y., SELLALI, B., BENOUD, D. et al. (1993).** Métaux lourds dans le sédiment superficiel de la baie d'Alger. Circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb. *Izmir : INOC*, p. 153-156.
- BOUE, H., CHANTON, R. (1962).** *Traité de zoologie, les invertébrés (Tome I)*. N° 3. Paris : Doin et Cie. 723 p.
- BOUILLY, K. (2004).** *Impact of environmental factors on aneuploidy in the Pacific oyster, Crassostrea gigas, in Marennes-Oléron Bay*. Thèse de doctorat. Environnement marin. France : Université de La Rochelle, 235 p.
- BRAIK, DJ. (1989).** *Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail -sédimentologie-problèmes d'érosion du littoral-aménagement*. Mémoire de magister. Géologie. Alger : U.S.T.H.B, 174 p.
- BUFFLE, J. (1988).** *Complexation reactions in aquatic systems. An analytical approach*. N° 4. New York : John Wiley and Sons. 98 p.
- BURGESS, R.M., SCOTT, KJ. (1992).** The significance of in-place contaminated marine sediments on the water column: processes and effects. In **Burton, Jr.GA.** Sediment toxicity

Bibliographie

assessment. N° 5. New York : Lewis Publisher Boca Raton, p.129–166.

CAHEN, D. (2006). *Dossier didactique, moules natures*. N° 2. France : Museum des sciences naturelles. 154 p.

CALLENDER, E. (2003). *Heavy metals in the environment-historical trends*. N° 12. Canada : Elsevier. 612 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. Océanologie biologique. France : Université du Sud Toulon Var, 240 p.

CASTRO, H. (1999). *Differentiation of calms from fishing areas an approximation to coastal quality assesmant*. N° 3. Boston : Old Kant. 260 p.

CHIFFOLEAU, J.F., CLAISSE, D., COSSA, D. et al. (2001). La contamination métallique. Programme scientifique Seine-Aval. France : Dion et Cie.

CHIFFOLEAU, J.F (2001). Spatiotemporal changes in cadmium contamination in the seine estuary. France : Dion et Cie.

COSSA, D. (1980). *Utilisation de la moule bleu comme indicateur de niveau de pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures dans l'estuaire et le golf de St Laurent*. Thèse de doctorat. Océanologie : Université Québec. 474 p.

COSSA, D. (1989). Cadmium in *Mytilus spp* : worldwide survey and relationship between seawater and mussel content. *Mar. Environ. Res.* Vol. 26, n° 2, p. 265-284.

COSSA, D. (1993). *Le plomb en milieu marin. biogéochimie et écotoxicologie*. N° 2. France : Ifremer. 75 p.

DEVALLOIS, V. (2009). *Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux*. Thèse de doctorat. Environnement : Université de Provence, 237 p.

DOJLIDO, D. (1993). *Chemistry of water and water pollution*. N° 3. New York : Mac Graw Hill. 363 p.

ERDOGAN, M. (2009). *Monitoring and statistical assessment of heavy metal pollution in sediments along izmir bay using ICP-MS*. Thèse de doctorat. Chimie. Turquie : Ecole des sciences et de la génie de Izmir, 153 p.

GOSLING, E. (1992). *Genetics of mytilus*. N° 3. Amesterdam : Elsevier. 92 p.

HOLLEMAN, F. (1985). *Manuel de chimie inorganique*. N° 4. Germany : Malocostraca. 83 p.

KANKOU, M. (2004). *Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie*. Thèse de doctorat. Microbiologie. France: Université de Limoges, 159 p.

Bibliographie

- KERBOUB, L. (2014).** *Biosurveillance des eaux côtières de la région Algéroise par les moules : métaux traces et qualité bactériologique.* Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 81 p.
- KITCHING, J.A (1959).** The mussels and their predator. *The journal of animal ecology.* Vol. 2, n° 3, p. 331-341.
- LACAZE, J.C (1996).** *La pollution des mers.* France : Dominos Flammarion, 128 p.
- LECLAIRE, L. (1972).** *La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (précontinent algérien).* Paris : Muséum, 391 p.
- LEROY, J.B (1999).** *La pollution des eaux (le point des connaissances actuelles).* France : Masson, 126 p.
- LUBET, P. (1973).** la biologie des mollusques bivalves. *Application à la conchyliculture des récentes.* N° 38, p. 57-82.
- MAOUCHE, S. (1987).** *Mécanisme hydro sédimentaires en baie d'Alger approche sédimentologiste géochimique et traitement statistiques.* Thèse de doctorat. Océanologie. France : Université de Perpignan, 214 p.
- MARCHAND, M., KANTIN, R. (1997).** Contaminants chimiques en milieux aquatiques. *Océanis.* Vol. 3, n° 1, p. 175-199.
- MARTEIL, L. (1976).** La conchyliculture française biologie de l'huitre et de la moule. *Oceanis.* Vol. 2, n°3, p. 597-629.
- MIQUEL, G. (2001) :** les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. France. 261 p.
- MPO. (2003).** Direction des politiques des services économiques (région du golfe) : profil de la inouïe bleue (*Mytilus édilus*). *Pêche océans.* Canada. 59 p.
- ONM. (2010).** *Office national météorologique.* Alger. 251 p.
- PAUC, H. (1989).** L'intrusion saline et la dynamique des matériaux en suspension au contact fluviomarín. Régime de crue et régime d'étiage dans l'oued Mazafran (ouest Algérois). *Journal d'environnement.* Vol. 2, n° 10, p. 351-420.
- RAMADE, F. (2000).** *Dictionnaire encyclopédique des pollutions.* France : Science international, 690 p.
- REBHI, S. (2013).** *Les métaux lourds dans deux espèces de moules M. galloprovincialis et P. perna.* Mémoire d'ingénieur. Science de la mer. Alger : ENSSMAL, 64 p.
- REBZANI-ZAHAF, C. (1990).** *Les peuplements macro benthiques du port d'Alger. Evolution spatiotemporelle : impact de la pollution.* Mémoire de magister. Océanographie. Alger : U.S.T.H.B, 199 p.

Bibliographie

- REBZANI-ZAHAF, C., BELLAN, G., BAKALEM, A., et al. (1997).** Cycle annuel du peuplement macro benthique du port d'Alger. *Oceanologica acta*. Vol. 2, n° 2, p. 461-477.
- SCHULZ-BALDES, F. (1974).** Lead uptake from seawater and food, and lead loss in the common mussel. *Laboratory procedure*. Vol. 2, n°5, p. 193-241.
- SIGG, L. (2001).** *Chimie des milieux aquatiques : chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement*. 4^e éd. Paris : Dunod, 564 p.
- SUNDA ET HUNTSMAN. (1998).** Processes regulating cellular metal accumulation and physiological effects. *Phytoplankton as model systems*. Vol. 4, n° 1, p. 181-222.
- TESSIER, A. (1980).** Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal*, p. 844-851.
- ZERROUKI, M. (2014).** *Etude de l'acidification et de l'oxygénation de la côte Algéroise* : Mémoire de magister. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 129 p.

Annexe 1 :

Localisation de stations de prélèvements :



Figure 21 : Moulière de Figurier.



Figure 22 : Moulière de Boudouaou.

Matériels utilisé pour la dissection :



Figure 23 : Trousse de dissection.



Figure 24 : Pied à coulis.

Une espèce de moule collectée de la station de Bou-Ismaïl :



Figure 25 : moule géante.



Figure 26 : balance de précision.

Annexe 2 :

Système circulatoire

L'appareil circulatoire est relativement simple. On y trouve un cœur dorsal (enveloppé par le péricarde) qui comprend deux oreillettes latérales et un ventricule. L'hémolymphe (mélange de sang et de lymphe), chassée dans deux aortes, est distribuée aux différentes parties du corps par un réseau de vaisseaux sanguins. Ce système artériel aboutit à des espaces libres sans parois propres : les lacunes (**Gosling, 1992**). L'hémolymphe n'est plus, à ce moment, canalisée en un système de vaisseaux individualisés. Elle gagne ensuite les reins, où elle est purifiée, avant de pénétrer dans les branchies.

Dans ces organes, elle s'enrichit alors en oxygène (O_2) et se décharge en gaz carbonique (CO_2). Une fois oxygénée, l'hémolymphe rejoint les oreillettes du cœur. A ce circuit principal se superpose un circuit accessoire. En effet, l'hémolymphe qui circule dans le manteau a la possibilité de suivre une voie de retour directe au cœur sans passer par les reins ni les branchies. Lors du passage dans le manteau, un échange d'oxygène et de gaz carbonique a lieu également (**Gosling, 1992**).

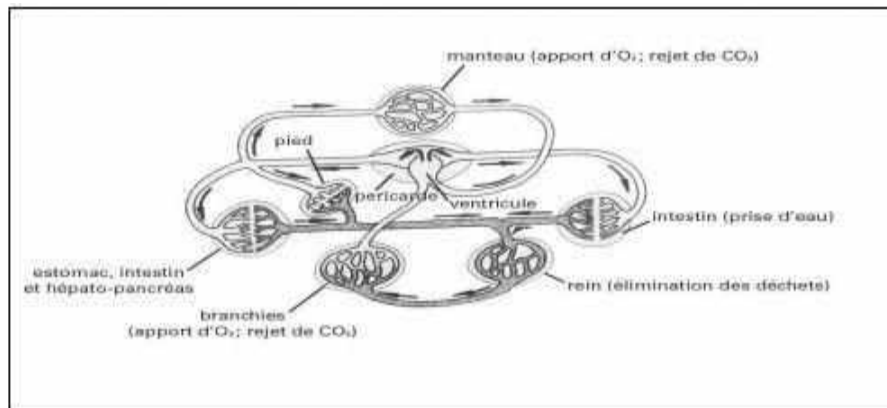


Figure 20 : Système circulatoire (**Deconinck, 1971**).

Système excréteur

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

Système nerveux

Le bord du manteau est tapissé de cellules nerveuses sensibles à la température, aux substances chimiques et à la lumière. Le système nerveux est réduit à trois paires de ganglions nerveux situés sur le manteau, le pied et les viscères (**Deconinck, 1971**).

Reproduction

La moule est sexuellement différenciée. Pendant la période de reproduction, les ovules de la femelle sont libérés dans la cavité palléale où ils sont fécondés par les spermatozoïdes. Ces derniers, déversés dans l'eau par les individus mâles, sont entraînés dans la cavité de la femelle par la circulation d'eau entrante. La fécondation est donc externe, c'est la rencontre des deux gamètes dans l'eau. La moule *Mytilus galloprovincialis* (**Lamarck, 1819**) possède une période de ponte établie durant toute l'année et même chose pour *Perna perna* (**Linnaeus, 1758**) (**Bouchroufa, 1982**).

Les œufs très nombreux (environ 500000) donnent deux stades larvaires successifs : trochophore et véligère. La larve trochophore se transforme en larve véligère en 24h. Celle-ci se fixe sur un substrat, après 2 à 3 semaines, se métamorphose en jeune moule (**Cahen, 2006**).

LA maturité sexuelle se fait entre 5 et 8 mois pour une taille d15 à 35 mm (**Lubet, 1973**).

Ecologie :

Habitat

La moule se rencontre principalement dans les zones des marées des mers tempérées des hémisphères Nord et Sud. Elle colonise l'estran, zone qui s'étend de la ligne du flux maximum (vives-eaux) à la ligne de reflux maximum (mortes-eaux). Dans cet espace libéré régulièrement par la mer, les conditions de vie sont difficiles. Les organismes vivants sont recouverts d'eaux ou asséchés, suivant les variations journalières de flux et de reflux. Les zones les plus hautes ne sont couvertes que lors des marées de vives-eaux. Les zones les plus basses ne sont découvertes que lors des marées de mortes-eaux. Dans ces zones de marées, la moule peut coloniser et couvrir de vastes espaces (bancs de moules) (**Cahen, 2006**)

Adaptations aux marées

Son corps est protégé par une coquille. Elle s'accroche à d'autres moules et se fixe sur un substrat, de sorte l'impact des vagues se fait moins ressentir. Elle filtre sa nourriture de l'eau sans devoir se déplacer. Lorsque le niveau de l'eau descend, la moule retient l'eau en fermant ses valves. Elle est protégée contre le dessèchement, l'air, la lumière et la prédation. Quand l'oxygène vient à manquer dans l'eau ainsi retenue, la moule passe à un mode de respiration anaérobie. Elle résiste à de nombreux facteurs abiotiques (température, salinité...) ce qui permet de la retrouver dans la zone la plus élevée de l'estran (**Cahen, 2006**).

Mortalité et prédation

Selon **Kitchuig et al., (1959)** différents facteurs influencent la mortalité et la dispersion des populations de moules : la température, le dessèchement, les tempêtes

Annexes

et mouvements des vagues, la salinité, les compétitions intra- et interspécifiques et la prédation. La prédation est la plus importante cause de mortalité. De nombreux prédateurs sélectionnent préférentiellement les moules d'une certaine taille et déterminent ainsi la taille moyenne des moules au sein d'une population donnée.

Ses prédateurs les plus importants sont l'escargot pourpre (*Nucella lapillus*) se nourrit de moules dans la zone des marées basses et moyennes, principalement au printemps et en été. Chaque escargot mange entre 0,1 et 0,6 moule par jour. Les moules se protègent contre ce prédateur en l'immobilisant dans les filaments du byssus.

L'étoile de mer (*Asterias rubens*, *Marthasterias glacialis* et *Asterina gibbosa*) chasse principalement sous l'eau dans les zones à marée basse. Elle préfère les moules de grande taille (7 cm). La population d'étoile de mer s'accroît démesurément à un intervalle régulier et peut provoquer la disparition d'une fraction très importante de population de moules.

Le crabe est le plus féroce des prédateurs (*Cancer pagurus*, *Xantho incisus*, *Carcinus maenas* et *Portinus puber*). Les moules de petite taille sont les plus exposées. Leur vulnérabilité décroît au fur et à mesure de leur croissance.

L'huitrier pie et le canard eider consomment de grandes quantités de moules pendant les mois d'hiver. Un vol d'eiders peut consommer environ 4 500 moules/m² pendant 60 jours. Leur influence sur les populations de moules est donc majeure.

Les poissons plats comme le flétan (le fi élan de l'océan atlantique *Hippoglossus hippoglossus* le flétan du Groenland *Reinhardtius hippoglossoides* le flétan du Pacifique *Hippoglossus stenolepis*, la plie (Plie du Canada *Hippoglossoides platessoides*, Plie grise *Glyptocephalus cynoglossus*. Plie rouge *Pseudopleuronectes americanus*. Plie commune *Pleuronectes platessa*. Plie lisse *Liopsetta putnami*) et la limande (*Limanda aspera* (Pallas, 1814)).

Annexe 3 :

Détermination des concentrations des métaux lourds

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

- **Calcul du poids corrigé des échantillons**

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

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

Avec :

A : Taux d'humidité (%)

PI : poids initiale lyophilisé (g)

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

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

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

Où :

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

P : poids de l'échantillon pesé pour la minéralisation (0,4902g).

A : Taux d'humidité(%).

- **Détermination des concentrations finales des échantillons en métaux lourds**

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

$$Cps = \frac{(Cc - Cb) \times V}{Pc}$$

Cps : Concentration du métal en poids sec (µg/g).

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

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

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

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

Annexe : 4

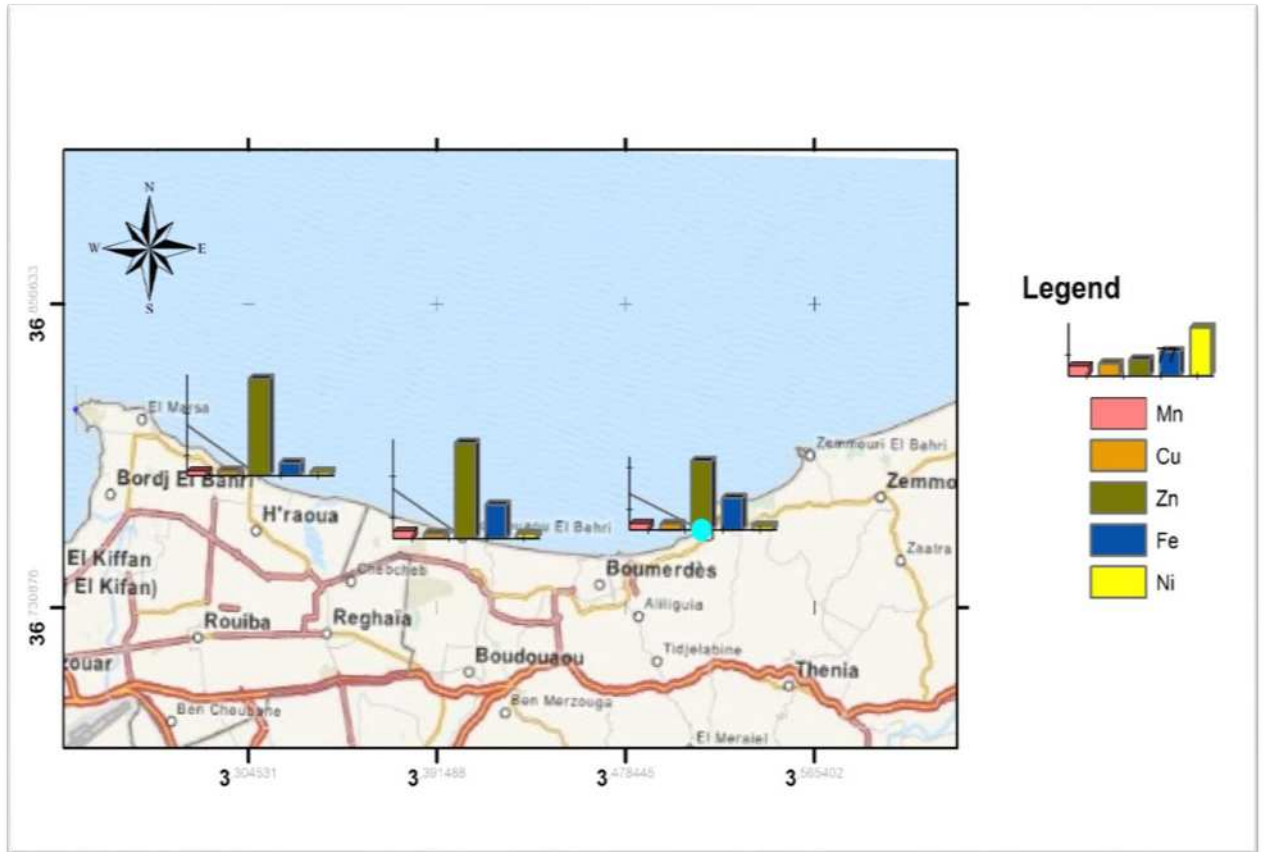


Figure 27 : carte qui présente les concentrations des métaux dans la baie de Zemmouri.

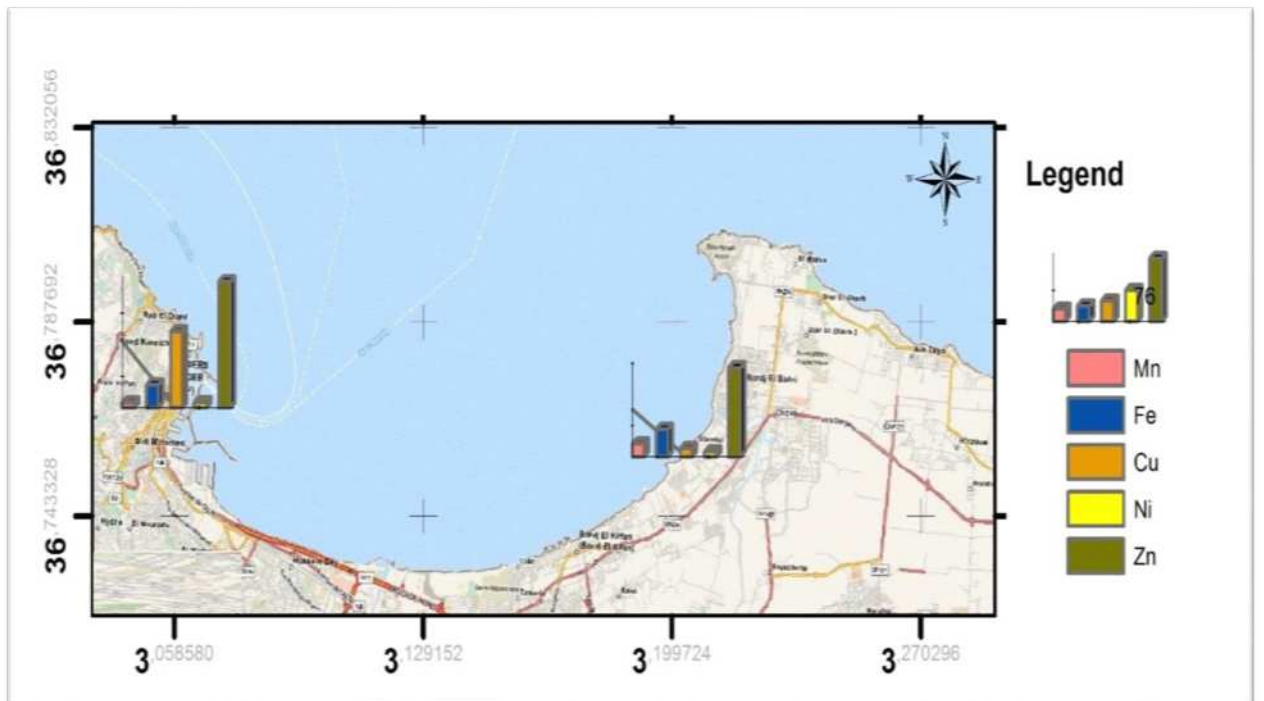


Figure 28 : carte qui présente les concentrations des métaux dans la baie d'Alger.

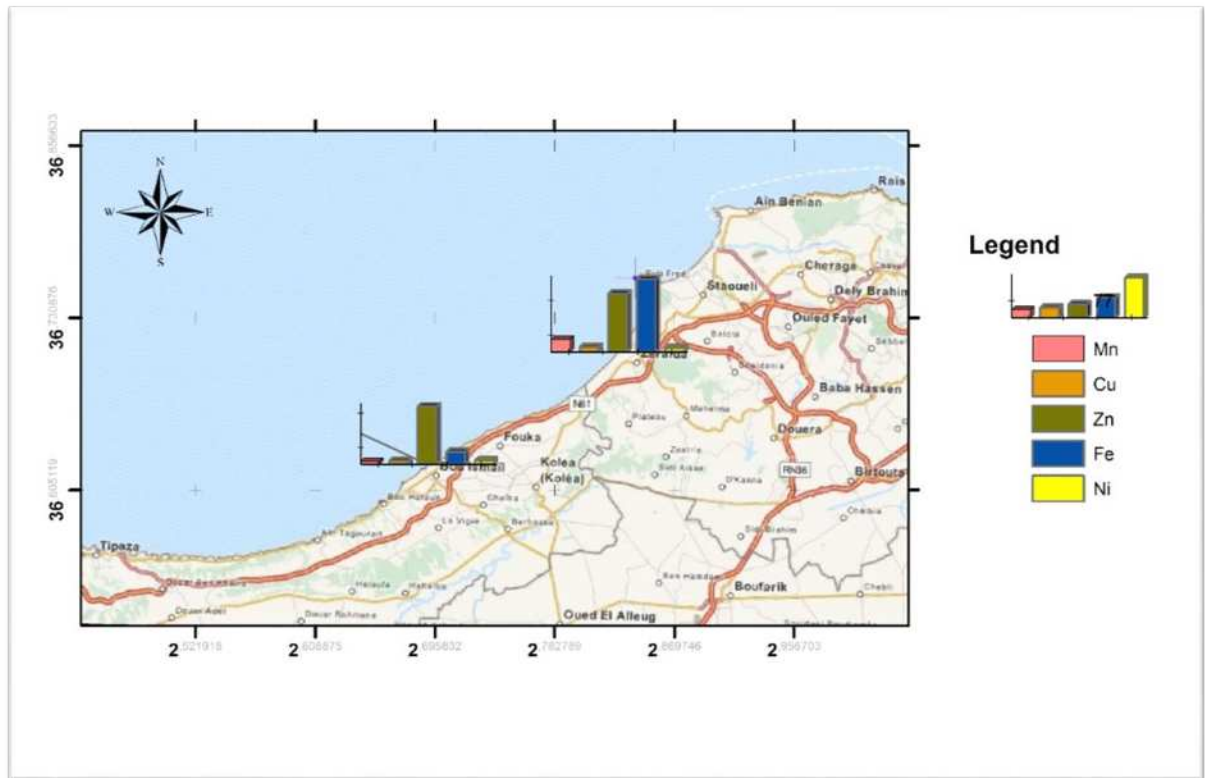


Figure 29 : carte qui présente les concentrations des métaux dans la baie de Bou-Ismaïl.

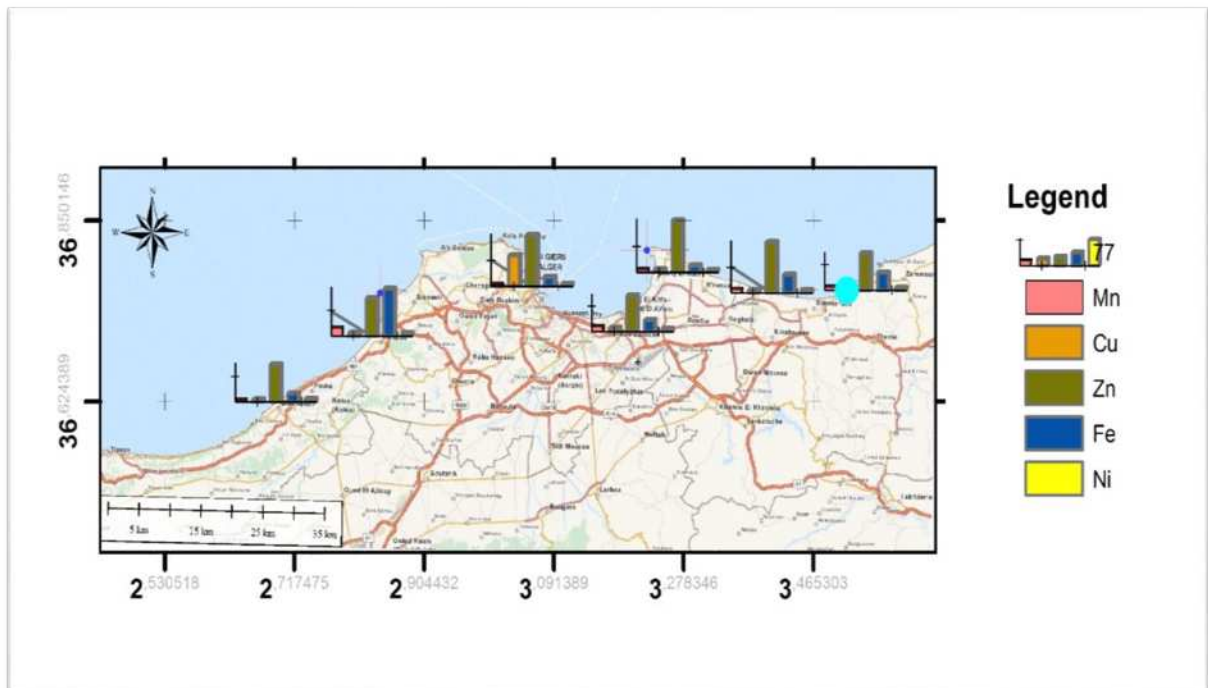
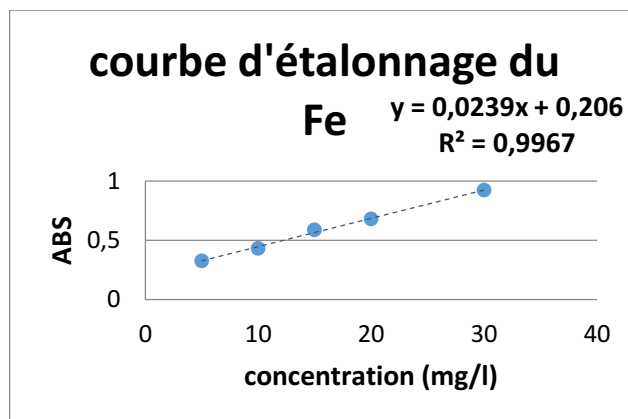
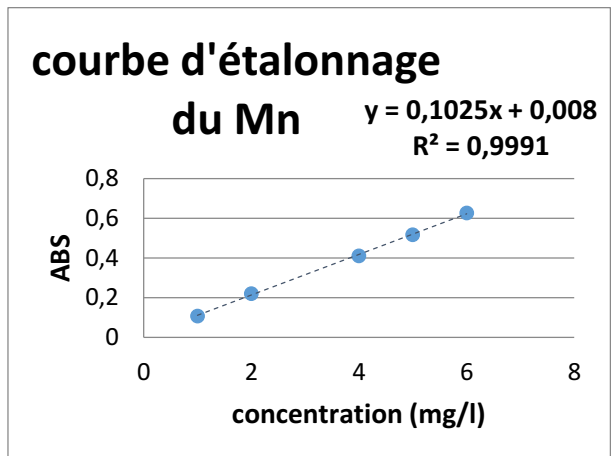
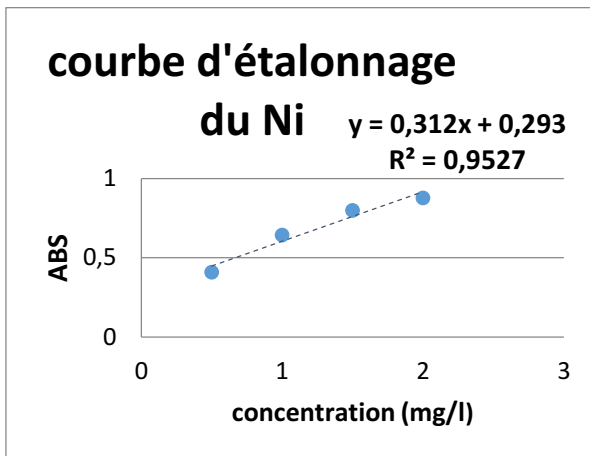
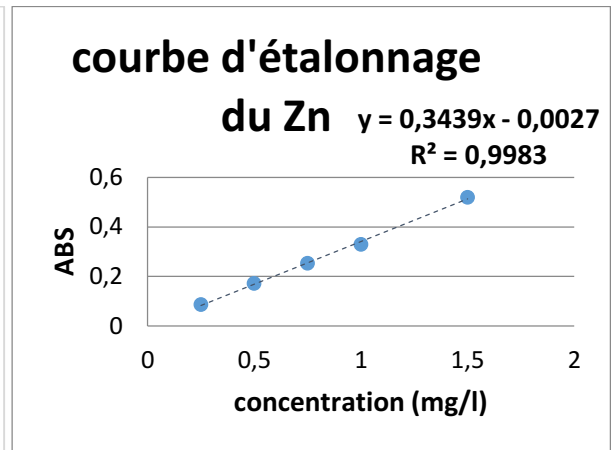
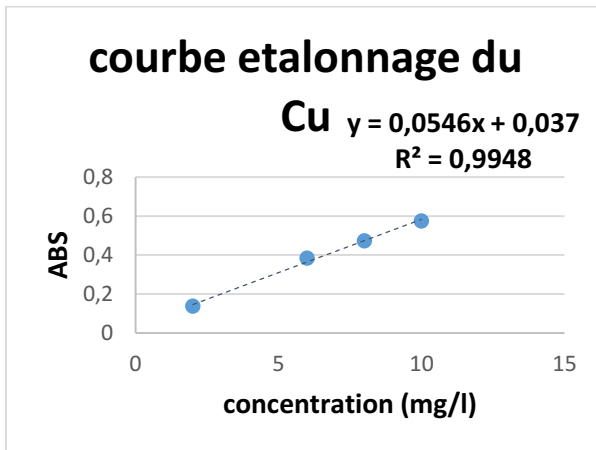


Figure 30 : carte qui présente les concentrations des métaux dans toute la côte algéroise.

Les courbes d'étalonnages :



Résumer et mots clés

Etude des métaux traces chez les moules de la côte algéroise (*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*)

Résumer :

Afin de connaître le degré de nocivité des eaux côtières de la cote algéroise une étude de concentration des métaux lourds dans cette région a été faite par l'intermédiaire des moules *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* pour mieux comprendre les interactions entre les écosystèmes marins et terrestres.

les résultats obtenus pour le zinc montrent la présence d'une pollution modérée dans tous les trois baies étudiées. Bien que les teneurs du cuivre reflètent l'existence d'une pollution importante dans la baie d'Alger et l'absence de pollution dans les baies de Zemmouri et de Bou-Ismaïl. Les concentrations du Nickel indiquent l'absence de pollution suivant toute les trois baies.

Mots clés : *Mytilus galloprovincialis*, *Perna perna*, métaux lourds, pollution, baie, Alger, Zemmouri, Bou-Ismaïl.

Abstract :

In order to know the degree of harmfulness of the Algerian coastal waters a study of heavy metals concentrations in this region was madden through *M.galloprovincialis* and *P.perna* as models to better understand the marine and terrestrial interactions. The results for zinc confirm the presence of moderate pollution in all three studied bays. Although copper contents reflect the existence of serious pollution in the bay of Algiers and the absence of pollution in the bays of Zemmouri and Bou-Ismaïl. Nickels concentrations indicate the absence of any pollution following three bays.

Keywords : *Mytilus galloprovincialis*, *Perna perna*, heavy metals, pollution, bay, Algiers, Zemmouri, Bou-Ismaïl.

ملخص :

يهدف معرفة درجة سمومة المياه الساحلية للساحل العاصمي قمنا بدراسة تركيز المعادن الثقيلة في الحيوانات البحرية *Perna perna* و *Mytilus galloprovincialis* وذلك من أجل معرفة و فهم العلاقات الموجودة بين البيئة البحرية و القارية.

النتائج المتحصل عليها فيما يخص معدن الزنك أثبتت وجود التلوث بدرجة متوسطة على مستوى الخلجان الثلاثة. بينما تركيز النحاس يعكس وجود التلوث بكمية معتبرة في خليج الجزائر و غياب التلوث في الخليجين زموري و بوسماعيل. بالنسبة لتراكيز معدن النيكل أثبتت عدم وجود التلوث في كل الخلجان الثلاثة.

مصطلحات : المعادن الثقيلة. التلوث. خليج. الجزائر. زموري. بوسماعيل *Mytilus galloprovincialis*.

Perna perna