

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



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

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème :

**Les métaux traces dans les moules : Etude rétrospective et
comparative dans les côtes centrales algériennes (baies de
Zemmouri, d'Alger et de Bou-Ismaïl).**

Présenté par :

AMAMRA Imène

BOUDBALA Fella

Soutenu le 17/12/2020 à 9:30h devant le jury :

| | | | |
|-------------------------|------------|-----------------------|--------------|
| Mme. BENTCHIKOU Latifa | M.A.A | ENSSMAL | Présidente |
| Mr. BOULAHIDID Mostefa | Professeur | ENSSMAL | Encadreur |
| Mr. AROUA Mohamed | Doctorant | ENSSMAL | Co-encadreur |
| Mr. BENHALIMA Moustapha | M.A.A | CentreUniv. de Tipaza | Examinateur |
| Mr. GUENDOUDI Yassine | M.C.B | CentreUniv. de Tipaza | Examinateur |

Année universitaire : 2019/2020

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.

Nos premiers remerciements les plus vifs, s'adressent à Notre promoteur Monsieur BOULAHID .M, professeur à l'ENSSMAL pour sa confiance en acceptant de nous encadrer dans la réalisation de ce travail. Qu'il soit remercié pour nous avoir aidé et accompagné en manifestant une disponibilité continue et une patience sans limite.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions Monsieur AROUA .M pour son soutien et son accompagnement tous le moment de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier Madame BENTCHIKOU .L, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Nos remerciements s'adressent également au Monsieur BENHALIMA .M et Monsieur GUENDOZI .Y qui ont bien voulu faire partie de jury, d'examiner et enrichir ce travail par leurs commentaires et leur expérience.

Nous tenons à remercier nos chers parents et familles qui nous ont constamment aidé de leurs conseils, encouragements, et de leur soutien moral tout le long de nos études.

Nos remerciements, s'adressent aussi à l'ensemble des personnes de l'E.N.S.S.M.A.L, qui nous ont permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions de travail et dans une bonne ambiance.

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

Dédicace

A mes chers parents que dieu les protègent

A mes frères Abdallah et Abderrahmane

A mes sœurs Maria et Nihal

*A toute ma famille surtout ma grand-mère, mes tantes et mon oncle
Madjid*

A tous mes amis

*A la mémoire de mon cher grand parent que dieu offre à leur âme le
paradis.*

Je dédie ce modeste travail.

FELLA

Le 07/12/2020 à 14 :57

Dédicace

A mes chers parents que dieu les protège

*A mes frères Faher et Ali et leurs épouses et leurs enfants : Rawae,
Abdalilah, Bailasene et Soudjoud*

A mes sœurs Chahrazed et Djoher

A toute ma famille

A tous mes amis

Je dédie ce modeste travail.

J.MENE

Le 07/12/2020 à 15 :30

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Schéma des différents transferts des ETM dans les milieux aquatiques. | 18 |
| Figure 2: Anatomie d'une moule <i>Mytilus sp.</i> | 27 |
| Figure 3: Principaux pays producteurs de <i>Mytilus galloprovincialis</i> | 29 |
| Figure 4: Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl | 31 |
| Figure 5: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl..... | 33 |
| Figure 6: Situation géographique de la baie d'Alger. | 34 |
| Figure 7: Image satellitaire de la ferme de SARL EAM..... | 57 |
| Figure 8: Les tendances d'évaluation de la taille moyenne de la moule <i>M. galloprovincialis</i> en fonction du temps et de l'espace dans sept stations | 64 |
| Figure 9: Les tendances d'évaluation de la taille moyenne de la moule <i>P. perna</i> en fonction du temps et de l'espace dans les station de Zeralda et Boudouaou El Bahri | 65 |
| Figure 10: Les tendances d'évaluation de l'IC de la moule <i>M. galloprovincialis</i> en fonction du temps et de l'espace dans les stations de Zeralda et Sercouf | 66 |
| Figure 11: La tendance d'évaluation de l'IC de la moule <i>P. perna</i> en fonction du temps et de l'espace dans la station de Zeralda | 66 |
| Figure 12: Les tendances d'évolution de la concentration du Zinc dans la moule <i>M. galloprovincialis</i> en fonction du temps et de l'espace dans les stations Fouka Marine, Bateau Cassé, Port d'Alger et Boudouaou El Bahri..... | 70 |
| Figure 13: Les tendances d'évolution de la concentration du Zinc dans la moule <i>P. perna</i> en fonction du temps et de l'espace dans les stations de Zeralda et Boudouaou El Bahri... .. | 70 |
| Figure 14 : Les tendances d'évolution de la concentration du Cuivre dans la moule <i>M. galloprovincialis</i> en fonction du temps et de l'espace dans les stations Fouka Marine, Bateau Cassé et Port d'Alger..... | 71 |
| Figure 15: La tendance d'évolution de la concentration du Cuivre dans la moule <i>P. perna</i> en fonction du temps et de l'espace dans la station de Zeralda | 72 |
| Figure 16 : Les tendances d'évolution de la concentration du Manganèse dans la moule <i>M. galloprovincialis</i> en fonction du temps et de l'espace dans les stations Fouka Marine, Bateau Cassé, Port d'Alger et Boudouaou El Bahri..... | 73 |
| Figure 17: La tendance d'évolution de la concentration du Manganèse dans la moule <i>P. perna</i> en fonction du temps et de l'espace dans la station de Zeralda..... | 73 |
| Figure 18: Les résultats microbiologiques de la FMAT (A) et les CT (B) Chez les moules <i>M. galloprovincialis</i> et <i>P. perna</i> dans la chair et le liquide intervalvaire à Boudouaou El Bahri | 76 |
| Figure 19 : La tendance d'évolution des lipides de la moule <i>M. galloprovincialis</i> en fonction du temps et de l'espace dans la station de Fouka Marine | 77 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Les travaux réalisés sur la Biosurveillance des moules du littoral algérois selon un ordre chronologique croissant | 47 |
| Tableau 2: Taille moyenne et indice de condition des moules en 2013..... | 49 |
| Tableau 3: Les concentrations moyennes des métaux traces dans les moules en 2013. | 49 |
| Tableau 4: Salinité et PH dans les deux sites de Boudouaou El Bahri et ORCA marine | 50 |
| Tableau 5: Taille moyenne des moules de la côte algéroise en 2014..... | 51 |
| Tableau 6: Indice de condition des moules de la côte algéroise en 2014..... | 51 |
| Tableau 7: Valeurs extrêmes des métaux traces au niveau de trois baies en 2014. | 51 |
| Tableau 8: Taille moyenne des moules pour chaque site de prélèvement en 2016..... | 53 |
| Tableau 9: Les concentrations moyennes des métaux traces dans les moules en 2016. | 54 |
| Tableau 10: Taille moyenne des espèces des différentes stations de prélèvement en 2017. | 55 |
| Tableau 11: Les concentrations moyennes en métaux traces dans les moules en 2017..... | 55 |
| Tableau 12: Les moyennes des paramètres biométriques des moules en 2018..... | 61 |
| Tableau 13: Les concentrations moyennes des métaux traces des moules en 2018 | 61 |
| Tableau 14: Tableau récapitulatif d'Indice de condition et des tailles moyennes des moules du littoral algérois chez les moules <i>M. galloprovincialis</i> | 62 |
| Tableau 15: Tableau récapitulatif d'Indice de condition et des tailles moyennes des moules du littoral algérois chez les moules <i>Perna Perna</i> | 63 |
| Tableau 16: Tableau récapitulatif des taux de suivi de la biosurveillance par les métaux dans les moules <i>M. galloprovincialis</i> au niveau des moulières naturelles du littoral algérois..... | 67 |
| Tableau 17: Tableau récapitulatif des taux de suivi de la biosurveillance par les métaux dans les moules <i>Perna Perna</i> du littoral algérois | 68 |
| Tableau 18: Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques observées chez les moules..... | 68 |
| Tableau 19: Intervalle critique du coefficient de corrélation. | 74 |
| Tableau 20: Corrélation inter métaux dans les deux espèces de moules <i>M. galloprovincialis</i> et <i>P.perna</i> dans le littoral algérois..... | 74 |
| Tableau 21: Représentation des résultats d'analyse bactériologique des moules de la côte Algéroise | 75 |
| Tableau 22: Tableau récapitulatif des teneurs moyennes en protéines, lipides et glucides | 76 |
| Tableau 23: Comparaison des teneurs moyennes des métaux traces de la baie de Bou-Ismaïl, baie d'Alger et de Zemmouri avec d'autre site de la côte algérienne et Méditerranéenne. | 77 |

Liste des acronymes

AFNOR : Association Française de Normalisation

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

C.E.E : Communauté Economique Européenne

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

ETM : Eléments Traces Métalliques

FAO : Food and Agriculture Organisation

IC : Indice de Condition

IFREMER : Institut Français de Recherche pour Exploitation de la Mer

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

LEM : Laboratoire Etudes Maritimes

MES : Matière En Suspension

OMG : Organismes Modifiés Génétiquement

OM : Matière Organique

ONAB : Office National des Aliments de Bétails d'Attabla

ONG : Organisation non gouvernementale

ONM : Office National Météorologique

PAC : Plan d'Aménagement Côtier

PH : Potentiel Hydrogène

PSU : Pratical Salinity Unit

RINBIO : Réseau Intégrateurs Biologiques (France)

RLM : Réseau Littoral Méditerranéen

RMC : Rhône Méditerranée Corse

RNO : Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (France)

ROCCH : Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral (France)

SAA : Spectrométrie d'Absorption Atomique

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 11 |
| I.Généralités | 14 |
| I.1. La pollution marine | 14 |
| I.1.1. Définition de la pollution marine | 14 |
| I.1.2.Types de pollution marine | 14 |
| I.1.3. Classification de pollution marine selon son origine | 15 |
| I.2. Pollution par les métaux traces..... | 16 |
| I.2.1.Définition des métaux traces | 16 |
| I.2.2.Classification des métaux traces | 16 |
| I.2.3. Origine des métaux traces | 17 |
| I.2.4.Cycle biogéochimique des métaux traces dans le milieu marin..... | 17 |
| I.2.5. Propriétés physico-chimiques et biologiques de quelques métaux traces..... | 19 |
| I.2.6.Toxicité de quelques métaux traces | 21 |
| I.2.7. Mécanismes de pénétration des métaux traces chez l'organisme marin..... | 22 |
| I.2.8. Biosurveillance..... | 24 |
| I.2.9.Quelques réseaux de surveillance | 24 |
| I.2.10. Le choix des moules comme bioindicateurs de pollution | 25 |
| I.3.Généralités sur les moules | 26 |
| I.3.1. Systématique | 26 |
| I.3.2. Anatomie | 26 |
| I.3.3. Morphologie | 27 |
| I.3.4. Physiologie | 27 |
| I.3.5. Ecologie..... | 29 |
| II. Zone d'étude | 31 |
| II.1. Baie de Bou-Ismaïl | 31 |
| II.1.1. Situation géographique | 31 |
| II.1.2. Topographie | 31 |
| II.1.3. Réseaux hydrographiques | 32 |
| II.1.4. Facteurs hydrographiques | 32 |
| II.1.5. Sources de pollution..... | 32 |
| II.2. Baie d'Alger..... | 33 |
| II.2.1. Situation géographique | 33 |
| II.2.2. Topographie | 34 |
| II.2.3. Réseaux hydrographiques | 35 |
| II.2.4. Facteurs climatiques..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| II.2.5. Sources de pollution..... | 36 |
| II.3. Baie de Zemmouri..... | 37 |
| II.3.1. Situation géographique | 37 |
| II.3.2. Réseaux hydrographiques | 37 |
| II.3.2. Facteurs climatiques..... | 38 |
| II.3.3. Facteurs hydrodynamiques | 39 |
| II.3.4. Sources de pollution..... | 40 |
| III. Matériels et Méthodes | 43 |
| III.1. Travaux effectués sur terrain | 43 |
| III.1.1. Préparation des matériels de sortie..... | 43 |
| III.1.2. Collecte des moules | 43 |
| III.2. Travaux effectués au laboratoire | 43 |
| III.2.1. Préparation et conditionnement de matériel | 43 |
| III.2.2. Décontamination des moules | 44 |
| III.2.3. Les mesures biométriques | 44 |
| IV. Synthèse des travaux et discussion des résultats | 47 |
| IV.1. Aperçu général sur les travaux de biosurveillance réalisés par les métaux traces dans les moules le long du littoral algérois | 47 |
| IV. 2. Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissant | 48 |
| IV. 2.1. Etude réalisée en 2013..... | 48 |
| IV. 2.2. Etude réalisée en 2014 (Métaux traces) | 50 |
| IV. 2.3. Etude réalisée en 2014 (Biochimie) | 52 |
| IV. 2.4. Etude réalisée en 2016..... | 53 |
| IV. 2.5. Etude réalisée en 2017(Métaux traces et biochimie)..... | 54 |
| IV. 2.6. Etude réalisée en 2017(Croissance) | 56 |
| IV. 2.8. Etude réalisée en 2018..... | 60 |
| IV.3. Traitement, analyse et discussion des données acquises entre 2013 et 2018 | 62 |
| IV. 3.1. La croissance des moules | 62 |
| IV. 3.2. La qualité des moules | 66 |
| IV. 3.3. Comparaison des teneurs moyennes des métaux traces du littoral algérois avec d'autres sites de la côte algérienne et Méditerranéenne | 77 |
| Conclusion..... | 80 |
| Références bibliographiques | 82 |
| Annexes | |
| Résumés | |

Introduction

Introduction

Depuis la révolution industrielle, la pollution n'a eu de cesse de s'accroître dans les différentes régions du monde. Ainsi, elle a touché les écosystèmes, la faune et la flore jusque dans la chaîne alimentaire. Assez variée et complexe, cette pollution a diverses formes et types de contaminants issus de sources naturelles, mais beaucoup plus de sources anthropiques au travers des rejets des installations industrielles et urbaines, les carburants liés au transport, le pillage des énergies fossiles ... etc.

De ce fait, jamais notre planète n'a été autant polluée, une des conséquences de la course au développement, la dictature du profit et l'inter- mondialisme. Cette situation a fait que l'impact de la pollution est tel que non seulement c'est devenu une question de santé publique, mais également un enjeu politique, économique et autre... (**Ramade, 2000**).

La pollution de l'eau correspond à la présence dans, celle-ci, de minuscules organismes pathogènes, de produits chimiques, de déchets industriels et autres matériaux indésirables et nocifs pour l'homme et son environnement. A court et moyens termes, cette pollution touche les eaux de surface des écosystèmes aquatiques (océans, rivières, lacs) et, à long terme, elle peut atteindre les eaux souterraines. Elle entraîne une dégradation de la qualité de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse et perturbe beaucoup le milieu aquatique (**Ghali, 2008**).

Des différents écosystèmes, le milieu marin est l'un des plus impactés par la pollution. Que ce soit à cause de la navigation maritime commerciale, touristique ou autres qui peuvent causer des accidents et des dégâts spectaculaires, , ou à cause des forages pétroliers en off-shore qui peuvent générer des fuites et déversements massifs de pétrole ou encore à cause du braconnage ou de la surpêche qui menacent gravement la biodiversité marine. Des ONG régionales et internationales, telles que Greene Peace, peinent à combattre problèmes (**Gaujous, 1995**).

Plusieurs méthodes et approches sont utilisées pour l'étude de cette pollution, sa quantification, sa distribution et son impact sur l'environnement. La biosurveillance qui utilise les biotes comme bioindicateur de la pollution est l'une des approches les plus adéquates. Ainsi, les moules sont largement considérées comme de bons indicateurs de la contamination du milieu marin dans lequel elles vivent, puisqu'elles possèdent la propriété d'accumuler les contaminants présents dans ce milieu jusqu'à atteindre un équilibre avec lui. Ce phénomène de bioaccumulation est à l'origine d'un facteur de concentration entre le milieu et l'organisme pouvant être très élevé (**Boutiba et Taleb, 2007**).

Introduction

Ces contaminants métalliques qui viennent par l'intermédiaire des effluents industriels et de l'atmosphère, des fleuves et de leur estuaire, peut modifier la composition de l'eau de mer qui peut devenir toxique pour les plantes et les animaux (Casas, 2005).

Le but de ce travail est de faire une synthèse des travaux de biosurveillance réalisés au paravent dans la zone côtière algéroise et de l'exploiter pour essayer d'évaluer l'impact de la pollution métallique (quelques métaux traces) dans cette zone côtière via l'étude de la bioaccumulation des métaux traces chez les moules.

Le présent travail est organisé de la manière suivante :

- Le premier chapitre comporte une synthèse bibliographique sur la pollution marine, ses types, une description des contaminants métalliques étudiées (Zn, Cr, Pb, Mg) et une généralité sur les moules.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description de la zone d'étude (Baie de Bou-Ismaïl, Baie de Zemmouri et Baie d'Alger).
- Le troisième chapitre décrit la partie expérimentale (le matériel et les méthodes analytiques utilisés en mer et au laboratoire).
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude rétrospective où une synthèse et une interprétation des travaux antérieurs ont été faite. Elle est suivie par une comparaison des données de biosurveillance de l'étude rétrospective avec d'autres travaux.
- A la fin, une conclusion générale clôture ce travail suivie par des annexes.

Généralités

I. Généralités

I.1. La pollution marine

I.1.1. Définition de la pollution marine

Le problème de la pollution des eaux représente, sans aucun doute, un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement (**Ramade, 2000**).

Selon la convention de **MONTEGO-BAY 1982** des nations unies sur le droit de la mer, on entend par pollution marine : « l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marines, risques pour la santé de l'homme, entrave aux activités maritimes, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément ».

I.1.2. Types de pollution marine

A partir de la nature prédominante de la pollution, on distingue trois types principaux :

I.1.2.1. Pollution physique

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

I.1.2.2. Pollution chimique

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine (**Kankou, 2004**). Parmi ces éléments, on peut distinguer (**Ramade, 2000**) :

- Des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...);
- Des composés organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols...etc ;
- Les matières organiques fermentescibles.

I.1.2.3. Pollution biologique

Elle résulte de la présence de micro-organismes qui sont véhiculés par l'eau (**Kankou, 2004**). La présence de ces polluants microbiens, tels que les bactéries et les virus pathogènes, les parasites, les champignons; introduit 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**).

I.1.3. Classification de pollution marine selon son origine

Suivant l'origine des substances polluantes, on distinguera :

I.1.3.1. Pollution domestique

Provenant des habitats, elle englobe les eaux vannes qui comprennent les eaux des diverses toilettes et les eaux ménagères, notamment celles qui résultent des lavages (**Leroy, 1999**), qui sont véhiculées en mer souvent directement sans épuration. La pollution domestique se caractérise par (**Gaujous, 1995**):

- Des germes fécaux ;
- Des fortes teneurs en MO ;
- Des sels minéraux (azote, phosphate ...) ;
- Des détergents.

I.1.3.2. Pollution industrielle

Provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau. Tous les produits ou sous-produits de l'activité humaine se retrouvent ainsi dans l'eau, qui est un bon solvant (**Gaujous, 1995**):

- Matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires, équarrissages ...) ;
- Hydrocarbures (raffineries, fuites lors des chargement/déchargement, accident lors du transport maritime ...) ;
- Métaux (traitement de surface, métallurgie, utilisation des peintures spécifiques à métaux, construction et réparation navale ...) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries ...) ;

- Eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques).

I.1.3.3. Pollution agricole

Provenant des fermes ou des cultures, elle présente la particularité d'être diffuse (**Ramade, 2000**). Elle se caractérise par (**Gaujous, 1995**) :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant des engrais, des purins et lisier (élevage) ;
- La présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...).

I.2. Pollution par les métaux traces

I.2.1. Définition des métaux traces

Un métal est un élément chimique issu, le plus souvent, d'un minerai doté d'un éclat "métallique" particulier, bon conducteur de la chaleur et de l'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**).

Les éléments traces métalliques sont fréquemment désignés par le terme « métaux lourds » en raison de la forte masse atomique de certains d'entre eux, ou bien « métaux toxiques » du fait de leur caractère toxique (**Lamprea, 2009**).

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

I.2.2. Classification des métaux traces

I.2.2.1. Métaux traces essentiels

Nommés aussi les oligo-éléments sont toujours présents dans l'eau, dans des quantités très faibles. Leur présence est généralement indispensable au développement des êtres vivants, et leur absence peut entraîner des carences. A forte concentration, ils deviennent toxiques (**Gaujous, 1995**). C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), du titane (Ti) ... (**Miquel, 2001**).

I.2.2.2. Métaux traces non essentiels

Les métaux non essentiels n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule mais présentent un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration, c'est le cas du plomb (Pb), du Mercure (Hg), du Cadmium (Cd), de l'arsenic (As) ... (Chiffolleau, 1992).

I.2.3. Origine des métaux traces

I.2.3.1. Origine naturelle

Les métaux traces sont diffusés vers l'atmosphère lors de processus naturels comme l'érosion éolienne, les activités volcaniques, les embruns marins et les feux de forêts (Amiard, 2011).

Les métaux se trouvent dans les roches de la croûte terrestre et dans les sols qui résultent de l'érosion de ces roches. Ils sont présents dans les ruisseaux, les rivières et les lacs dans les gelées dissoutes et associés à des matières particulaires. Ils sont également présents dans l'atmosphère sous forme de particules, d'aérosols et, dans quelques cas, sous forme volatile (Lamprea, 2009).

I.2.3.2. Origine anthropique

Les métaux sont émis par des sources concentrées, comme les installations industrielles, et par des sources diffuses, comme le ruissellement des rues. Les sols et les sédiments constituent le principal dépôt dans l'environnement (Amiard, 2011).

Les activités anthropiques telles que la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des ordures ménagères et industrielles, l'exploitation minière, l'industrie métallurgique, les industries du ciment et les fonderies, l'entretien des routes, le chauffage et le trafic automobile (combustion du carburant), la corrosion des véhicules, l'abrasion des freins et pneumatiques et la dégradation des pots catalytiques ont conduit à une augmentation de leurs concentrations dans les compartiments environnementaux (Lamprea, 2009).

I.2.4. Cycle biogéochimique des métaux traces dans le milieu marin

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

Ces métaux se présentent sous formes d'ions, de complexes inorganiques et organiques, en solution ou adsorbés sur des colloïdes ou des aérosols (Bliefert et Perraud, 2001). Ils

viennent suite à l'érosion mécanique et chimique des roches et du lessivage des sols (Labarthe, 2007).

Une fois arrivés dans l'environnement aquatique, les métaux se répartissent entre les différents compartiments de l'environnement aquatique : eau, matières en suspension, sédiment et biote (Biney *et al*, 1994). Ils se trouvent dans les sédiments souvent sous formes dissoute dans la colonne d'eau et dans l'eau interstitielle de la colonne sédimentaire ou fixés aux particules en suspension dans la colonne d'eau ou dans les eaux interstitielles ou aux sédiments (Devallois, 2009).

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

- **Etape 1** : consiste à piéger des polluants métalliques par les particules en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physico-chimiques du milieu marin et cela par : précipitation, absorption, adsorption et sédimentation.
- **Etape 2** : c'est l'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 (In Sahnoun, 2009).

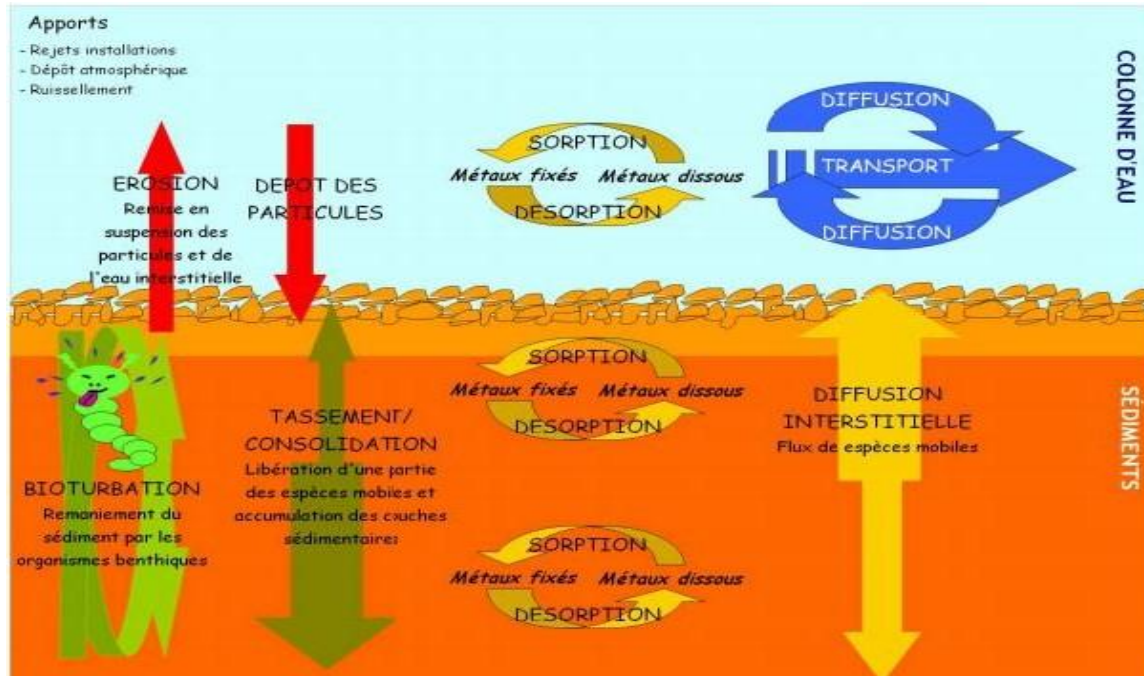


Figure 1: Schéma des différents transferts des ETM dans les milieux aquatiques (Devallois, 2009).

I.2.5. Propriétés physico-chimiques et biologiques de quelques métaux traces

I.2.5.1. Zinc

Le zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30. C'est un métal moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène. L'état d'oxydation unique du zinc est Zn^{+2} (appelé ion zincique). Ainsi, la géochimie du zinc est relativement peu complexe et l'on note un comportement chalcophile assez marqué par une association fréquente avec le soufre (Mahan, 1987 *In* Miguel, 2008).

Il est indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments) ; en particulier comme co-enzyme. Il existe dans l'eau de mer sous diverses formes: ion hydraté, zinc complexé par les ligands organiques et zinc adsorbé sur de la matière solide (Casas, 2005).

I.2.5.2. Cadmium

Le cadmium est un métal blanc argenté ayant des propriétés physiques proches de celle du zinc. Lors de l'ébullition du cadmium, il se dégage des vapeurs jaunes toxiques. Sa masse spécifique (densité) est de 8 650 kg/m³. Il est ductile (résistance à l'étirement), malléable (résistance à l'aplatissement) et résiste à la corrosion atmosphérique.

Les propriétés chimiques sont aussi semblables à celles du zinc. L'ion cadmium est remplacé par le zinc métallique en solution : il est donc plus noble que le zinc. Il s'oxyde très peu à température ambiante et brûle dans l'air. Il réagit avec les acides et les bases. La masse molaire atomique du Cadmium (Cd) est de 112,41 g/mol (Ghali, 2008).

Le cadmium remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (Casas, 2005). C'est un élément connu pour son caractère assez toxique pour les êtres vivants.

I.2.5.3. Cuivre

C'est un oligo-élément nécessaire à la vie. 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 les carbonates et les 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).

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

I.2.5.4. Manganèse

Le manganèse est un métal de transition gris-blanc qui ressemble au fer. C'est un métal dur et fragile, il fond sans difficulté, mais il est facilement oxydé. Le manganèse n'est ferromagnétique qu'après un traitement spécifique. Ce métal et ses ions les plus communs sont paramagnétiques (**Mahan, 1987 In Casas, 2005**).

Le Manganèse est un élément qui intervient dans l'activité de nombreuses enzymes impliquées dans la protection des cellules contre les radicaux libres (**Miguel, 2008**).

I.2.5.5. Chrome

Le chrome fait partie de la série des métaux de transition. C'est un métal dur, d'une couleur gris acier argenté. Il résiste à la corrosion et au ternissement. Les états d'oxydation les plus communs de ce métal sont Cr^{+2} , Cr^{+3} et Cr^{+6} (**Brown, 1971**).

Le chrome trivalent est un oligo-élément essentiel pour le métabolisme du sucre chez l'être humain (**In Belabed, 2010**).

I.2.5.6. Fer

Le fer est un métal dur de masse atomique 55,85 g/mol. Sa température d'ébullition est de 2750 °C. Alors que la température fusion est de 1536°C. Il est une part importante de l'hémoglobine: c'est l'agent colorant rouge du sang qui transporte l'oxygène dans notre corps.

I.2.5.7. Nickel

Le Nickel est un métal de transition, sa masse atomique est 58,69 g/mol avec une densité de 8,9 kg/l. il provient de composant de la croûte terrestre, incinération des déchets, épandage des boues d'épuration et activités industrielles (**In Lafabrie, 2007**).

I.2.5.8. Cobalt

Le cobalt est un oligo-élément entrant dans la composition de la cobalamine encore appelée vitamine B12. De ce fait, certains auteurs ne l'examinent pas comme un nutriment à part entière. On le trouve dans divers aliments dont le lait, la viande, les mollusques, les fruits et les légumes verts. Dans l'organisme, en plus d'être un activateur enzymatique, cet oligo-élément contribue à la formation de la gaine de myéline autour des nerfs, à la production de globules rouges ainsi qu'à leur entretien (*In Moumene, 2017*).

I.2.6. Toxicité de quelques métaux traces

I.2.6.1. Zinc

Le zinc possède un effet toxique chez les animaux et chez l'homme. Dans les poissons, la dose létale est comprise entre 0,5 et 5 mg/l en Zn. A la dose de 150 et 650 mg, Zn est toxique chez l'homme, mais si cette dose descend au-dessous le 6 g, elle est létale (*In Miguel, 2008*).

I.2.6.2. Cadmium

Très toxique sous toutes ses formes (métal, vapeur, sels, composés organiques...). Le cadmium est l'un des rares éléments n'ayant aucune fonction connue dans le corps humain ou chez l'animal. Chez l'homme, il provoque notamment des problèmes rénaux et l'augmentation de la tension artérielle.

Le cadmium est concentré par la chaîne alimentaire (Les mollusques bivalves concentrent jusqu'à 300 000 fois le cadmium) (*Ghali, 2008*).

I.2.6.3. Cuivre

La toxicité vis à vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. En particulier, la concentration létale en 48 h pour 50 % des larves d'huîtres plates serait de 1 à 3 µg/l et des inhibitions de croissance du phytoplancton se produisent à partir de 4 µg/l (*Casas, 2005*).

I.2.6.4. Manganèse

L'excès de manganèse dans l'eau peut causer la cirrhose du foie chez l'homme. Toutefois l'inhalation est beaucoup plus dangereuse parce qu'elle génère des pneumonies, et si l'exposition est chronique il peut causer des problèmes neurologiques (**Miguel, 2009**).

I.2.6.5. Chrome

Le chrome est un élément trace dit essentiel. Il peut néanmoins être toxique selon l'état physico-chimique dans lequel il se trouve. Sous la forme hexavalente (Cr^{+6}), forme apparaissant la plus toxique, il est considéré comme un danger réel pour l'environnement puisqu'il peut entraîner des effets mutagènes et carcinogènes sur les êtres vivants (**In Lafabrie, 2007**).

I.2.6.6. Fer

La dose mortelle du fer est 30 mg/kg. C'est une dose unique d'une substance qui cause la mort de 50% d'une population animale exposée à la substance par n'importe quel itinéraire autre que l'inhalation.

I.2.6.7. Nickel

En excès, le nickel peut néanmoins inhiber certains processus biochimiques au niveau des systèmes biologiques. Chez l'homme, il peut causer des allergies de contact et être à l'origine d'eczéma des mains (**In Lafabrie, 2007**).

I.2.6.8. Cobalt

Le cobalt n'est pas détruit une fois qu'il a pénétré dans l'environnement. Il peut réagir avec d'autres particules ou s'adsorber sur les particules du sol ou sur les sédiments dans l'eau où la plupart du cobalt est acheminé. Cependant, des concentrations trop importantes de cobalt peuvent être nocives (**In Moumene, 2017**).

I.2.7. Mécanismes de pénétration des métaux lourds chez l'organisme marin

Chez les organismes aquatiques, la contamination par les polluants métalliques peut se faire soit directement par l'eau (pénétration branchiale, cutanée, digestive, ...), soit par l'intermédiaire de la nourriture (**Amiard, 1990**).

Certaines espèces ont, en effet, la capacité d'accumuler les contaminants métalliques dans leurs tissus mous. L'exploitation de ces propriétés d'incorporation permet d'évaluer l'évolution des concentrations capables, dans le milieu ambiant, de franchir les barrières biologiques et de pénétrer dans les organismes (**Beliaeff B et al, 2011**).

I.2.7.1. Bioaccumulation

C'est un mécanisme physiologique qui se traduit par la fixation des substances toxiques dans les organismes marins, c'est donc la possibilité pour une espèce donnée de concentrer un toxique donné à partir du milieu extérieur. Ces substances non biodégradables vont se concentrer le long des divers maillons de la chaîne trophique. Les concentrations maximales se trouvent chez les grands prédateurs (poissons, mammifères marins, et l'homme) ou chez les mollusques filtreurs comme les moules (**Boutiba, 2004**).

I.2.7.2. Bioconcentration

La bioconcentration est un cas particulier de bioaccumulation. Elle est définie comme le processus par lequel une substance (ou un élément) se trouve présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant. C'est donc l'accroissement direct de la concentration d'un contaminant lorsqu'il passe de l'eau à un organisme aquatique. Le facteur de concentration FC est défini comme une constante issue du rapport de la concentration d'un élément dans un organisme en état d'équilibre à sa concentration dans le biotope (**Ramade, 1992**).

I.2.7.3. Bioamplification

C'est une concentration d'un toxique après consommation de plus petit organisme de la chaîne par le plus grand, il s'agit dans ce cas de la possibilité pour un toxique d'être cumulé par une chaîne trophique. Si le toxique n'est pas dégradé ou éliminé, il va s'accumuler de plus en plus au niveau de chaque maillon de la chaîne alimentaire (**Boutiba, 2004**).

I.2.7.4. Processus de bioaccumulation

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

- **Adsorption** : l'entrée d'une substance xénobiotique dans l'organisme marin se fait soit à partir de l'eau par adsorption sur la barrière cutanée ou la zone d'échange tel que les branchies ou les parois digestives, soit indirectement par l'ingestion de proies contaminées. A l'intérieur de l'organisme, le xénobiotique peut diffuser vers différents organes, et ceci en fonction de l'affinité des substances (lipophile). En effet, les tissus lipidiques présentent le maximum d'accumulation (**Deudero et al, 2007**).
- **Elimination** : les polluants dans les organismes marins sont éliminés soit sous forme soluble ou particulaire. Selon l'élément ou le composé, la perte de la fraction soluble peut se produire de la manière passive par les processus d'échange, de désorption et d'ions simples, ou activement par l'excrétion métabolique (**Casas, 2007**).

I.2.8. Biosurveillance

I.2.8.1. Définition

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

I.2.8.2. Types de biosurveillance ou Biomonitoring

Deux stratégies différentes peuvent être utilisées dans la biosurveillance :

- **Biomonitoring passif** : repose sur l'utilisation des individus autochtones, organismes présents déjà naturellement dans l'écosystème qui sont examinés pour leurs actions. Elle a été utilisée pendant plusieurs décennies à cause de sa simplicité et de la possibilité de mettre en place des mesures à long terme (**Sericano et al, 1995 ; Besse et al, 2012 ; Merkert, 2007**).
- **Biomonitoring actif** : implique la transplantation d'organismes d'un endroit dans un autre à surveiller pour quantifier leur biodiversité, leurs réponses physiologiques et/ou métaboliques afin de déterminer la qualité des eaux marines (**De Kock et Kramer, 1994**).

I.2.9. Quelques réseaux de surveillance

I.2.9.1. Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin (RNO)

C'est un réseau coordonné par l'**IFREMER**. Il a été mis en place en France par le ministère chargé de l'environnement destiné à l'évaluation des niveaux et des tendances de

contamination et des paramètres généraux de la qualité du milieu dont les métaux sont inclus. C'est un réseau de type « passif » dont les premiers prélèvements ont débuté en juin 1974 et ont essentiellement porté jusqu'en 1978 sur les eaux marines. Par la suite, se sont développés les programmes de surveillance des contaminants dans la matière vivante, compartiment mieux adapté pour répondre aux objectifs du RNO. Ce réseau d'observation a été arrêté en 2006 pour être remplacé par le Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral (ROCCH). Depuis 2008, ce dispositif est l'un des rares en Europe à comporter une surveillance pérenne en routine. Les organismes marins (moules et huîtres) sont alors utilisés comme indicateurs quantitatifs de la contamination (**Casas, 2005**).

I.2.9.2. Réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO)

Le réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO), c'est un réseau de type actif, a été développé en partenariat entre l'Ifremer, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC) et l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) depuis 1996. Il a pour objectif d'évaluer les niveaux de contamination chimique et radiochimique dans chaque unité du référentiel géographique du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône Méditerranée Corse (Le SDAGE du bassin RMC délimite le littoral par une double bande terrestre et marine, découpée en cinquante zones homogènes. C'est à travers ces cadres territoriaux qu'a été conçu le Réseau Littoral Méditerranéen (RLM) pour disposer d'un dispositif intégré de connaissance et d'évaluation de la qualité des eaux littorales à l'échelle de la façade. Parmi les propositions opérationnelles du RLM, le premier objectif concrétisé a porté sur la connaissance du niveau moyen de la contamination chimique dans la zone de dilution des apports polluants affectant la partie marine de la zone côtière (champ moyen), en utilisant un organisme bio intégrateur notamment les moules (**Casas, 2005**).

I.2.10. Le choix des moules comme bio indicateur de pollution

Les moules sont considérées comme bons bioindicateurs à cause des caractéristiques suivantes (**Casas, 2005**):

- Leur large répartition géographique ;
- Leur mode de vie sessile ; qui exclue toute possibilité de fuite ;
- Leur faculté d'accumuler des métaux présents dans l'environnement dans un facteur de concentration de l'ordre 10³ à 10⁵ par rapport à l'eau environnante ;
- Leur tolérance à différents stress ;

- La possibilité de les transplanter ;
- Leur consommation par l'homme donc vecteur de contamination.

I.3. Généralités sur les moules

I.3.1. Systématique

- Règne : Animal
- Embranchement : Mollusques
- Classe : bivalves
- Sous classe : *pteriomorphia*
- Ordre : *filibranchia*
- Sous ordre : *Anisomyaria*
- Super famille : *Mytiloidea*
- Famille : *Mytilidae*
- Genre : *Mytilus*

Espèces : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)

I.3.2. Anatomie

Le corps de bivalves est mou, non segmenté, comprimé latéralement, sans tête distincte (Acéphales) ni appareil masticateur ; il est enveloppé par un manteau, constitué de deux lobes qui sécrètent et supportent chacun des valves de la coquille. Ces deux lobes (palléaux), fusionnés dorsalement entre eux et avec la masse Viscérale délimitent ventralement une vaste cavité palléale interne en communication avec le milieu extérieur.

Les bords externes du manteau sont parfois plus ou moins soudés, formant vers l'arrière deux siphons permettent l'entrée de l'eau dans la cavité palléale ou son rejet vers l'extérieur.

Le pied, organe musculueux ventral mobile, parfois en forme de hache, permet la locomotion (fouissage) ou la fixation au substrat par des filaments (byssus) qui est élaboré par une glande située dans le pied. Selon la nature chimique du byssus, l'animal sera soit définitivement collé au support par un byssus calcifié, soit temporairement fixé par un byssus de protéine tannée (Maheo, 1997).

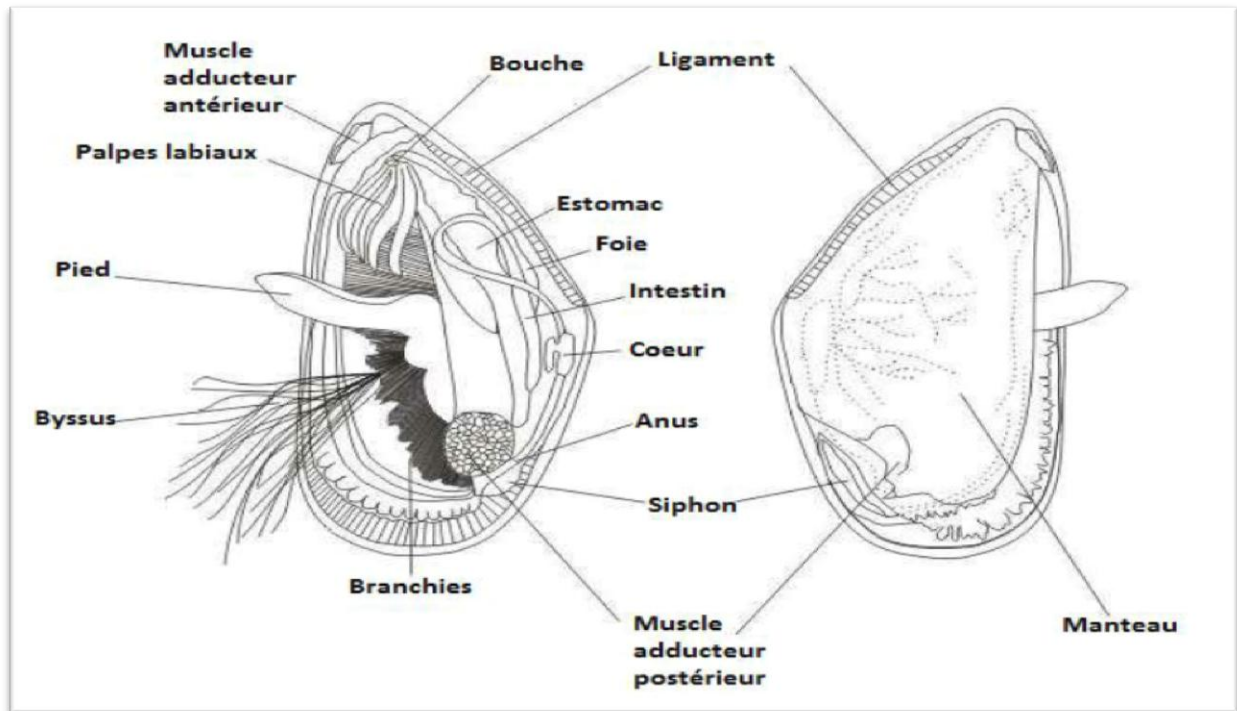


Figure 2: Anatomie d'une moule *Mytilus sp* (Bachelot, 2010).

I.3.3. Morphologie

Tous les *Mytilus* ont des coquilles distinctives allant du noir avec des teintes bleues ou violacées au brun foncé et parfois au marron clair. Bien que la forme de *M. galloprovincialis* diffère de celle des autres espèces de *Mytilus*, les analyses de plusieurs caractères morphologiques combinés (morphométrie) sont le plus souvent utilisées pour distinguer *M. galloprovincialis* des autres espèces de *Mytilus* (Beaumont, 2008), et permet les caractères morphologiques distinctifs de *M. galloprovincialis* définis par Lewis (1969) : Petite taille de l'empreinte du muscle adducteur antérieur; couleur violette ou pourpre du bord du manteau; la forme et la petite taille du plateau cardinal; l'extrémité antérieure pointue; le profil transversal et l'aplatissement de la surface ventrale à l'endroit du plateau cardinal et juste en arrière de celui-ci; la bordure dorsale arrondie de la coquille.

I.3.4. physiologie

I.3.4.1. Nutrition

La plupart des espèces sont microphages, se nourrissent soit de plancton ou de particules organiques en suspension dans l'eau (suspensivores), soit de nourriture collectée sur le fond (dépositivores). Quelques espèces ont développé des régimes alimentaires particuliers (carnivore, xylophage) (Shafee, 1999).

I.3.4.2. Respiration

La respiration se fait par l'intermédiaire des branchies chez les Mollusques vivant dans les eaux douces ou salées, mais il faut en excepter les pulmonés aquatiques, soit marins, soit d'eau douce. Pour les Lamellibranches, les branchies se présentent sous la forme de deux lames placées de chaque côté du corps ; en arrière se trouvent deux tubes nommés siphons, dont l'un est destiné à amener aux branchies l'eau nécessaire à la respiration et l'autre à rejeter le liquide aspiré du dehors.

Lorsque la moule est dans l'air, sa coquille reste en permanence fermée mais lorsque la moule est dans l'eau, sa coquille reste entrouverte en permanence. Dans l'eau, les moules respirent avec deux paires de branchies qui portent de très nombreux cils. Les battements permanents de ses cils créent constamment un courant d'eau à l'intérieur de la coquille. Ainsi, les branchies peuvent absorber le dioxygène contenu dans l'eau (**Laib et Halilou, 2018**).

I.3.4.3. Système excréteur

Le système excréteur comprend deux reins, disposés de chaque côté du corps entre le péricarde et le muscle adducteur postérieur, et des glandes péricardiques auriculaires qui sont particulièrement développées chez la moule et entourant les oreillettes (**Marteil, 1976**).

Une partie des déchets vient directement du sang après passage à travers la paroi du cœur ; celui-ci passe ensuite dans les reins, puis est rejeté dans la cavité palléale (**Marteil, 1976**). Ceux-ci sont ensuite rejetés dans l'environnement de l'animal par le courant d'eau exhalant. (**Gosling, 1992**).

I.3.4.4. Reproduction

Dans leurs grandes majorités, les bivalves ont des sexes séparés et rejettent leurs gamètes dans le milieu extérieur où a lieu la fécondation ; les larves mènent une vie planctonique libre pour quelques jours ou quelques semaines avant la métamorphose conduisant à la vie benthique définitive. Cependant, certaines espèces peuvent montrer différentes formes d'hermaphrodisme, la fécondation peut avoir lieu dans la cavité palléale, parfois avec des protections des œufs ou des larves dans une « poche incubatrice ». L'existence planctonique larvaire est quelques fois très réduite ou même totalement absente ; Les jeunes étant assez évolués à l'éclosion pour mener directement une vie benthique (**Shafee, 1999**).

I.3.5. Ecologie

I.3.5.1. Habitats

C'est une espèce rencontrée sur des fonds très variés, des substrats durs (rocheux ou graveleux), ou bien meubles (sableux, vaseux). Elle est présente dans des régions soumises à des hivers rudes 7 à 8 °C de moyenne qu'à des étés chauds 26 à 29 °C (**Haouchine, 1995**).

Elle est capable aussi de vivre dans des zones à marées grâce à une série d'adaptations. Elle vit fixée par son byssus aux substrats solides comme la roche ou d'autres supports, tels que les cordages. Elle supporte de rester hors de l'eau un certain temps, car elle garde une réserve d'eau entre ses deux valves. Elle occupe principalement la zone intertidale et subtidale relativement pas profonds, on peut la trouver jusqu'à des profondeurs de 15-20m (**Haouchine, 1995**).

I.3.5.2. Principaux pays producteurs

Mytilus galloprovincialis est principalement cultivée dans des eaux côtières allant de la Galicie (NW Espagne) jusqu'à la Côte Nord Méditerranéenne. Cependant, la production de cette espèce a été aussi reportée dans des pays sud de la Méditerranée, la Russie Fédérale, Ukraine et l'Afrique du Sud. Cette espèce est aussi cultivée en Chine (**FAO, 2006**).

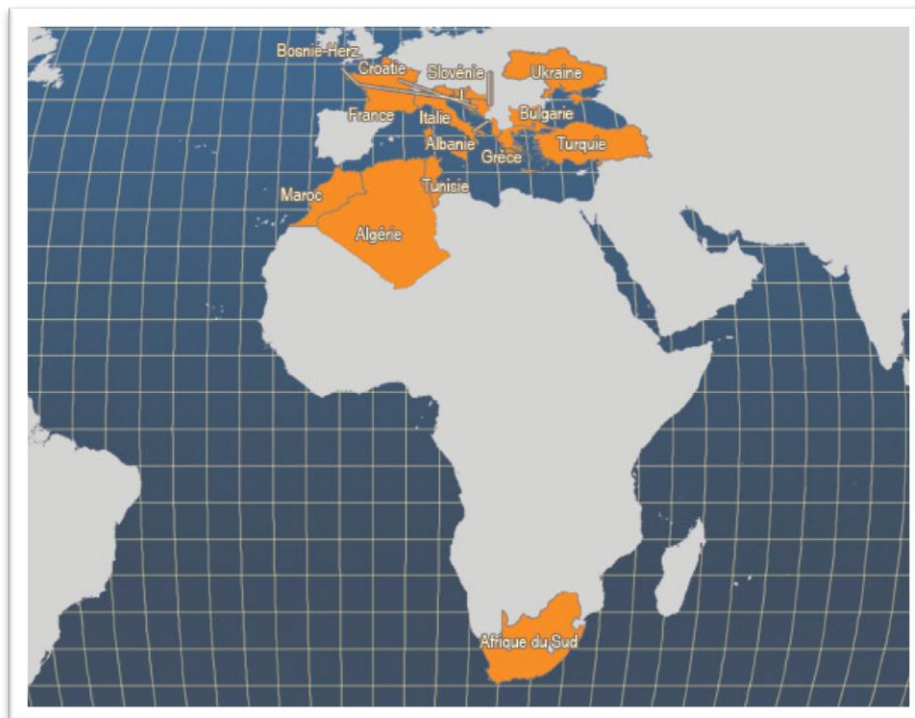


Figure 3: Principaux pays producteurs de *Mytilus galloprovincialis* (**FAO Statistiques des pêches, 2006**).

Zone d'étude

II. Zone d'étude

II.1. Baie de Bou-Ismaïl

II.1.1. Situation géographique

La baie de Bou-Ismaïl est située à 30 km à l'ouest d'Alger (**Moulfi El- Houari *et al*, 1999**). Elle est limitée par la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi-fredj, et par le mont de Chenoua à l'Ouest, par la plaine de la Mitidja au sud et la mer méditerranéenne au Nord (**figure 4**).

Cette baie couvre une surface de l'ordre de 350 km², avec une morphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de plages et de dunes.

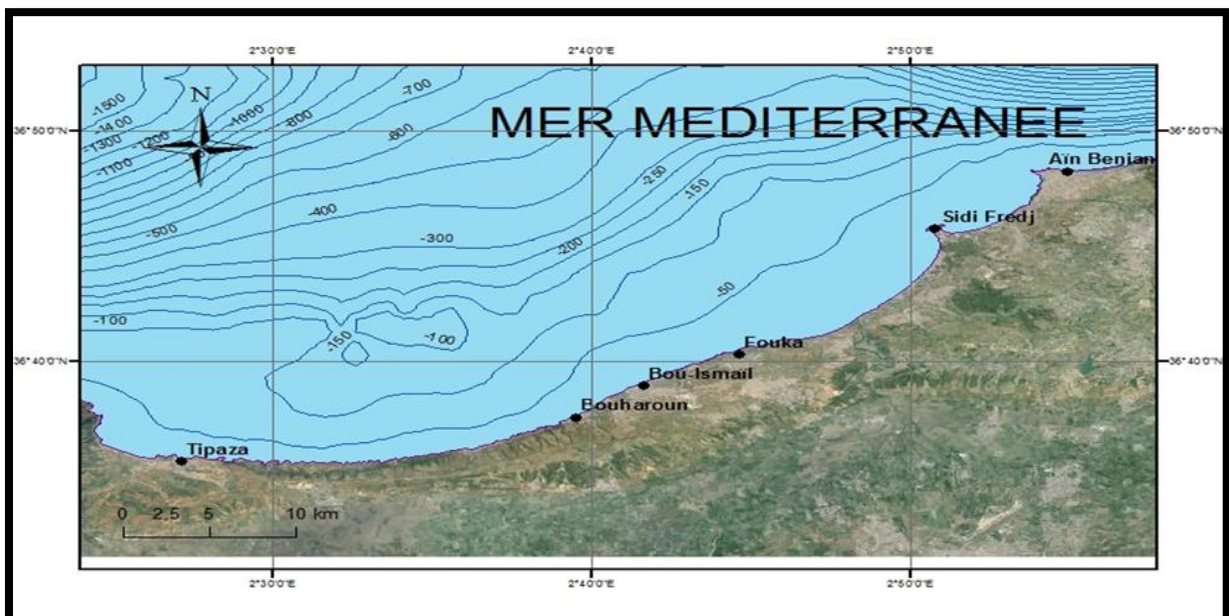


Figure 4: Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.

II.1.2. Topographie

Le plateau continental est, d'une manière générale, très étroit (**Vaissiere et Fredj, 1963**).

La limite la plus extrême est au niveau du mont Chenoua atteint les 7 milles. Ainsi, sa surface est de 509 km² (**Zeghdoudi, 1994**).

Il est caractérisé par une faible déclinaison de l'ordre de 1% (**Asso, 1982**).

II.1.3. Réseaux hydrographiques

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulières très importantes d'origine terrigènes et également tous les polluants issus des activités humaines, agricoles et industrielles.

Trois oueds principaux se déversent dans cette baie, de l'Ouest à l'Est il y a : Oued Mazafran avec un bassin versant de 1850 km² et Oued Nador disposant d'un bassin versant de 230 km², alors que l'Oued de Béni Messous est le moins important du réseau hydrographique de cette zone (*In Beladjine et Guerfi, 2015*).

II.1.4. Facteurs hydrographiques

II.1.4.1. Les vents

Deux directions distinctes des vents au large de la baie aux quelles est exposée, les vents Nord-est en été et Nord-Nord-Ouest en hiver (*In Moumene, 2017*).

II.1.4.2. Les courants

Les courants sont d'origine Atlantique, qui entrent par le détroit de Gibraltar. Ils se dirigent vers l'Est au large des côtes algériennes avec une vitesse variant entre 0,5 et 2,5 nœuds (*In Moumene, 2017*).

II.1.4.3. Les houles

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

En été les directions sont Est et Nord Est avec des amplitudes généralement plus faibles 0,5 à 1,5 m (*In Moumene, 2017*).

II.1.5. Sources de pollution

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

Les plus importantes sources de pollution sont (*In Moumene, 2017*):

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

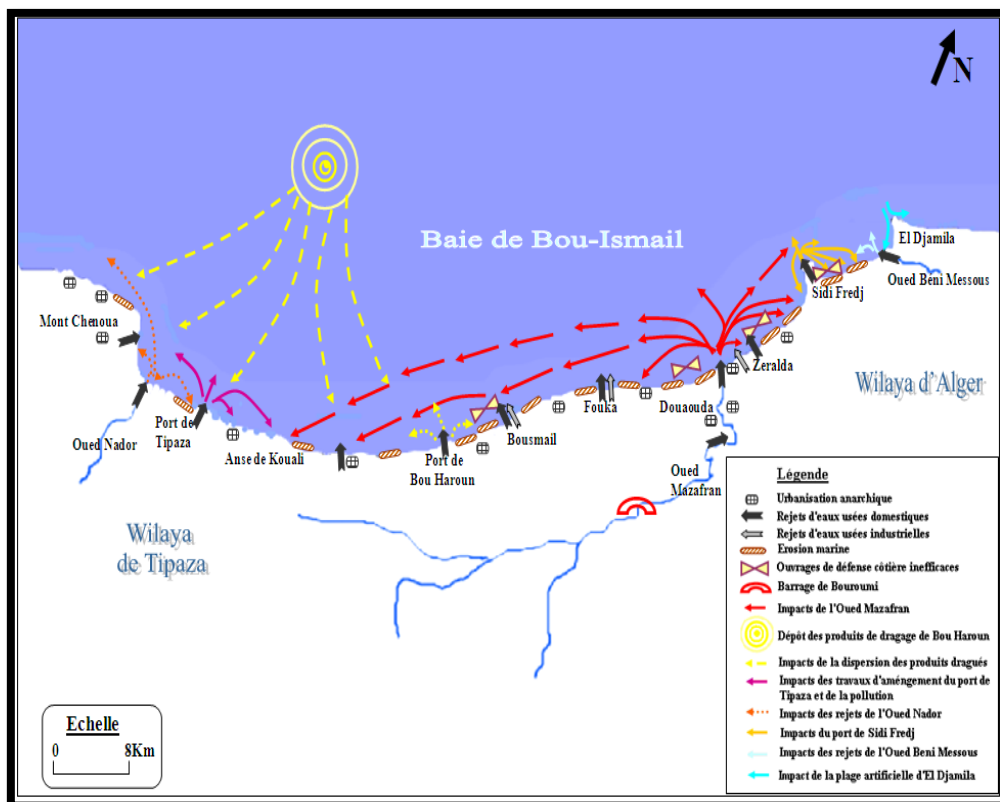


Figure 5: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl (*Belkessa et al. 2008 ; Al Sid ChiKh et al. 2009*).

II.2. Baie d'Alger

II.2.1. Situation géographique

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne (**figure 6**), Elle est délimitée géographiquement par :

- Nord : la mer méditerranée ;
- Est : le cap Matifou (3°18'' Est) ;

- Sud : la plaine de Metidja et la ville d'Alger ;
- Ouest : la pointe Pescade "Rais Hamidou" (3° 00" Est).



Figure 6: Situation géographique de la baie d'Alger (Base map Arcgis, 2020).

II.2.2. Topographie

Au débouché de la plaine de la Mitidja, entre le massif de Bouzaréah et le Cap Matifou, le plateau continental est large d'environ 9 km et délimite la baie d'Alger. La superficie de cette baie est d'environ 140 km². Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celui des 100 m (0° 35'). De la Pointe Pescade au Cap Matifou, c'est-à-dire l'ouverture de la baie, la distance est d'environ 19 km. Le rivage de la baie s'étire sur 31 km dont 22 km de côte basse constituée de dunes et de trottoirs d'algues dans la partie Est de la baie. Par contre dans la partie ouest le profil du littoral a été profondément modifié par les nombreux aménagements urbains et les infrastructures routières. Aux deux points extrêmes de la baie on constate : un plateau continental très réduit (1km de largeur maximale) au pied du massif de Bouzaréah ; l'existence d'un promontoire sous-marin prolongeant le Cap Matifou et constituant au large de ce Cap un haut fond : le banc de Cap Matifou. La pente continentale relie de façon quasi rectiligne ces deux points extrêmes de la baie c'est-à-dire le massif de Bouzaréah et le Cap Matifou (*In Taoudiat, 2009*).

II.2.3. Réseaux hydrographiques

La baie d'Alger est alimentée par l'oued El Harrach et l'oued El Hamiz. Ces cours d'eau prennent leur source dans l'atlas Blidéen et traversent la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer. Le régime hydrographique de ces oueds se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps (**Madi, 2009**).

II.2.3.1. Oued El Harrach

Son bassin versant couvre une superficie 970 km², il englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemââ, Smar à l'Est et Terro à l'Ouest. Il s'écoule du Sud vers le Nord à travers l'atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer. C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui en faveur d'une forte érosion et d'un alluvionnement important (**In Khedimi et Abderrahmani, 2008**).

Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5,4 m³/s (**Madi, 2009**).

II.2.3.1. Oued El Hamiz

La superficie du bassin versant est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports liquides et solides venant en mer (**In Khedimi et Abderrahmani, 2008**).

Ses principaux affluents sont: oued Segia et oued Barek.

II.2.4. Facteurs climatiques

La zone d'étude connaît un climat méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse s'étalant de septembre à Mai et un été sec. Ce littoral jouit d'un climat tempéré dû à l'action modératrice de la mer. L'amplitude diurne, au cours d'une année est inférieure à 10°C (**LEM, 1996**).

II.2.4.1. La température

La région algéroise en générale et celle de la baie d'Alger en particulier, selon **LEM (2006)**, se distingue par deux périodes dans le cycle saisonnier annuel :

- La première est chaude : elle s'étale de mai à octobre avec un maximum en Aout (39,2°C) ;
- La seconde est relativement froide : elle couvre les autres mois de l'année avec un minimum en février (3°C).

II.2.4.2. Les vents

Selon le travail de **Maouche (1987)**, Le régime et la vitesse des vents dans la région d'Alger sont caractérisés par :

- Des vents de secteur NE : qui sont les plus fréquents et mieux marqués en été, leur vitesse se répartisse entre 1 et 30 nœuds ;
- Des vents de secteur W-SW, bien représentés eux aussi, soufflent principalement en hiver, de 6 à 10 nœuds ;
- Des vents de secteur S-SE : qui sont les moins représentés, ils sont marqués en automne et en hiver, leur vitesse est de 6 à 10 nœuds.

II.2.4.3. Pluviométrie

Les précipitations sur la région varient de 600 à 1000 mm et tombent en 80 jours en moyenne. Elles sont très irrégulièrement réparties à l'échelle annuelle. On observe une croissance rapide de la pluviosité de septembre à décembre puis une décroissance plus lente jusqu'en juin et enfin des pluies quasiment nulles en juillet et en aout (**LEM, 2006**).

II.2.5.Sources de pollution

La ville d'Alger est très urbanisée et elle est principalement contaminée par différentes sources de pollution et soumise à plusieurs types de rejets urbains, industriels et pétroliers. La zone côtière algéroise constitue le réceptacle de plusieurs types de pollution. Ces eaux usées sont chargées de matières organiques, matière en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes, génèrent des pollutions organiques et chimiques, cette situation est aggravée par la quasi absence de traitement des eaux (**In Kassar, 2011**).

Les principaux zones urbanisées et /ou industrialisées sont :

- **Hussein Dey** : Zone principalement soumise aux rejets urbains et à l'influence des activités portuaires (**In Kassar, 2011**).
- **EL Harrach** : Son bassin versant couvre une superficie 970 km². Son débit en période de pluie est de l'ordre de 1000 m³/seconde en 1998. Le bilan des écoulements moyens

annuels est de 5,4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influent sur la qualité physico-chimique et microbiologique du milieu marin de la baie d'Alger, ainsi il provoque la rupture de l'équilibre du milieu naturel (*In Kassar, 2011*).

- **Bordj EL Kiffan** : Située à une dizaine de kilomètre à l'Est d'Alger, ce secteur connaît un développement industriel et urbain qui l'expose à une pollution assez accentuée selon le sens du courant et par l'influence des oueds EL-Harrach et EL-Hamiz (*In Kassar, 2011*).
- **EL Hamiz** : Il se situe à l'Est de la baie près du cap Matifou. La superficie du bassin versant est de 160 km². Son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports liquides et solides venant en mer (**LEM, 1998**), le débit est régulé par ce barrage. L'activité industrielle y est réduite. Il présente une charge polluante peu importante (*In Kassar, 2011*).

II.3. Baie de Zemmouri

II.3.1. Situation géographique

La grande baie de Zemmouri se situe à une quarantaine de km à l'Est d'Alger. C'est une baie largement ouverte vers le nord d'environ 45 km, dont le linéaire côtier s'étale sur environ une cinquantaine de kilomètre (51 km) (**Guidou et Touzi, 2016**).

La grande baie de Zemmouri est limitée par :

- Le cap Djinet à l'est ;
- Le cap Matifou à l'ouest.

II.3.2. Réseaux hydrographiques

Au niveau de cette baie se déversent une multitude d'oueds de nature et d'importances variables, ceux-ci entraînent des apports plus ou moins importants le long des côtes de la baie. (**Lokmane, 1993**).

Les apports actuels peuvent provenir de deux systèmes différents :

II.3.2.1. Système Est

Qui est celui de l'oued Isser, l'un des plus importants oueds en Algérie. Il a un grand bassin versant transportant sur une grande distance des matériaux variables (débris solides): vases, limons, minéraux solides et légers, matières organiques... (**Lokmane, 1993**).

II.3.2.2. Système Ouest

Qui est celui des petits oueds côtiers situées à l'ouest de Zemmouri El Bahri: Oued Boudouaou, ou Regaia, Boumerdes et Safsaf, qui ont des débits moins importants, mais drainant principalement des régions à faciès cristallins d'où des apports (surtouts pour les deux derniers oueds) de sables à minéraux variés (**Lokmane, 1993**).

II.3.3. Facteurs climatiques

Le site de Zemmouri est caractérisé par un climat de type Méditerranéen, caractérisé par une sécheresse estivale qui est relativement longue. Toutefois, il existe toujours un contraste entre la saison froide qui est humide et la saison chaude avec un été sec.

II.3.3.1. Température

La moyenne des minima (m) du mois le plus froid est de 5,9°C enregistré durant le mois de Janvier. La moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud enregistré durant le mois d'Aout est de 31,8°C.

On constate que les amplitudes thermiques (M-m) sont relativement faibles et comprises entre $9,1 < M-m < 11$ (**Ferrani et Chehaima, 1998**).

II.3.3.2. Précipitation

La pluviométrie est irrégulière et varie entre 600 et 1000 mm par an du mois d'octobre jusqu'au mois de mars. Il y a lieu de signaler que les régions du Nord-est de la wilaya de Boumerdes sont plus arrosées que le reste de la wilaya avec une pluviométrie moyenne supérieure à 900 mm/an (**In Damouche, 2017**).

II.3.3.1. Vent

C'est un facteur climatique important qui joue un rôle primordial par sa fréquence et sa force, il intervient dans le transport des particules ainsi que la provocation de la houle et son déferlement.

Cette baie est marquée par la prédominance des vents qui soufflent du Nord et du Nord-Est en été, et des vents du Sud-ouest, d'Ouest et du Nord-Ouest en hiver (ONM, 2010).

II.3.4. Facteurs hydrodynamiques

II.3.4.1. La houle

La baie de Zemmouri est soumise à l'action des houles de deux directions principales du vent :

- Les houles de Nord-Est sont les plus fréquentes surtout en période estivales ;
- Les houles de Nord-Ouest sont les plus actives sur les côtes (LEM, 1989).

II.3.4.2. Les courants

Les courants de dérive littorale : Dans le cadre général des houles de petite et moyenne amplitude, ces courants ne sont notables que dans la zone de déferlement.

Ils assurent donc le transport latéral (dérive latéral) et la dispersion des sables et des graviers de la frange littorale (fond de -10 m). Les houles de fortes amplitudes peuvent agir jusqu'à des fonds de (-40 m à -60 m).

Le courant de dérive littorale est la résultante au rivage de tous les mouvements d'eau dirigés vers la côte et qui sont obliques. Ils ont donc une direction à la ligne de rivage et ils sont d'autant plus importants que l'angle d'incidence est plus grand. (Ferrani et Chehaima, 1998).

La dérive littorale Nord-Est est la plus active, elle est à l'origine d'énormes transports littoraux acheminés depuis l'Ouest de l'oued Sebaou vers l'Ouest pour former les plages de Zemmouri et le Cap Blanc.

Les courants de retour : Ils sont le produit de plusieurs facteurs météo-marins comme :

- L'incidence normale des vagues qui sont ensuite réfléchies vers le large ;
- La surcote ;
- Les courants de downwelling côtiers.

Les courants permanents : Au large des côtes algériennes, le "Courant Algérien" se dirige d'Ouest vers l'Est. Formé des eaux atlantiques modifiées, il longe les côtes algériennes à une vitesse de l'ordre de quelques km par jour (Millot, 1987). En fonction de la morphologie

côtière, il peut former des contre courants d'importance variable qui seront à l'origine de remontées d'eau profondes dans les baies d'Alger et de Bou-Ismaïl (**Boulaïdid *et al.* 2003, Boulaïdid *et al.* 2007**). Ces remontées d'eau permettent le renouvellement des eaux de ces baies et, ainsi, permettent aussi l'exportation de la pollution dissoute ailleurs vers l'Est (**Boulaïdid *et al.* 2003**).

Les courants de surface : Ces différents courants n'agissent pas séparément, ils se combinent entre eux en augmentant ou diminuant, selon le cas, leur vitesse, ainsi le courant permanent peut être perturbé en surface de dérive littorale par le vent continental. Ainsi, les eaux littorales se trouvent entraînées vers le large. Contrairement aux courants de dérive littorale et aux contre courants générés par le Courant Algérien qui conditionnent toute la dynamique littoral, les courants dus aux vents n'ont un rôle que dans la dispersion des particules fines en suspensions (**Ferrani et Chehaima, 1998**).

Dans la région de Boumerdes, des mesures de courant ont fait l'objet d'études dans la mer près de Zemmouri El Bahri (**Instituts Danois d'Hydraulique**), des observations au large ont été effectuées chaque trois jours durant une période de neuf mois. Ils en ressortent que les courants de surface près de Zemmouri ont une direction vers l'Est, la plus grande vitesse est de 0,35m/s. Elle fut dépassée de deux fois mais en général, les vitesses sont inférieures à 0,10m/s. (**Ferrani et Chehaima, 1998**).

Les courants côtiers : Les plus dominants sont de l'Est vers l'Ouest à partir de Cap Djinet jusqu'à Boumerdes où la dominance est du sens contraire, créant un courant de retour.

Les mesures couranto-métriques sont justifiées par l'orientation des embouchures des cours d'eau :

- Oued Isser est orienté vers l'Ouest ;
- Oued Réghaïa est orienté vers l'Est.

II.3.5. Sources de pollution

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 oueds 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-Bahri: 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 Boumerdes (21 Mai 2003), avec la multiplication des bidonvilles sur tout le littorale de Boumerdes à Zemmouri engendrant plus de sources de pollution à la mer (*In Bouadi, 2016*).

Matériels et Méthodes

III. Matériels et méthodes

III.1. Travaux effectués sur terrain

III.1.1. Préparation des matériels de sortie

Cette étape a été faite avant la sortie pour assurer la disponibilité de tous matériels pour réaliser le prélèvement et le collecte des échantillons. Les matériaux indispensables de ramener sont :

- Glaciaires ;
- Les sachets en polyéthylènes (sacs de congélation) ;
- Moyens d'étiquetage des échantillons prélevés ;
- Des bidons de 5 l.

III.1.2. Collecte des moules

- Les moules sont arrachés du substrat solide par les mains pour éviter tous sortes de contaminations en prenant soin de ne pas endommager le pied lors du sectionnement du byssus.
- Par la suite, ils sont rincés en extérieur par l'eau de mer sur les lieux de prélèvement puis placés dans des sachets en polyéthylène sur lesquelles est mentionnée la date, le site de prélèvement et le nom de l'espèce avec un volume d'eau de mer récupérée de la même site de prélèvement.
- Les échantillons sont transportés au laboratoire dans une glacière à une température comprise entre 5 et 10°C. Les moules doivent, en effet, rester vivants (**Claisse, 2007**).

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

III.2. Travaux effectués au laboratoire

III.2.1. Préparation et conditionnement de matériel

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

- Lavage aux détergents commerciaux ;
- Rinçage avec l'eau courante ;

- Rinçage à l'eau bidistillée ;
- Rinçage à l'eau acidulée (HCl 10%) ;
- Rinçage à l'eau bi-distillée puis séchage à l'étuve à 70°.

III.2.2. Décontamination des moules

Une fois on arrive au laboratoire :

- Nettoyer chaque individu des moules avec un scalpel avec l'élimination complète de toutes épiphytes fixées sur la coquilles (les algues, les d'autres mollusques ...) ;
- Mettre les moules dans des bacs en matière plastique incolore (parce que les pigments peuvent constituer une source de contamination) pendant 24h. La couche d'eau recouvrant les coquillages doit être d'au moins 10cm. Les individus doivent être isolés du fond du récipient utilisé par une grille ou un portoirs non métalliques (**Claïsse, 2007**).

III.2.3. Les mesures biométriques

Cette étape nécessite un pied à coulisse avec une précision de 0.01mm pour mesurer la longueur, la largeur et l'épaisseur de chaque individu (**voir annexe**).

III.2.3.1. La pesée des moules

Cette phase a été effectuée séparément pour chaque site en assurant le conditionnement du matériel utilisée :

- 1^{ère} étape : on pèse le poids complet sans décoquiller les moules de chaque individu à l'aide d'une balance à précision et on le note le poids dans un tableau ;
- Une fois on termine, on décoquille les moules à l'aide d'un scalpel en acier inoxydable bien nettoyé ; en évitant d'endommager les moules avec la lame pour limiter la perte de liquide intra tissulaire ;
- Ensuite, on procède à peser les différents poids de la chaire, le pot vide e le pot complet ;
- On pèse un pot stérile vide en plastique sans son couvercle puis on tare la balance.
- Ensuite, on ajoute la première chaire, on note son poids et on tare avant d'ajouter la chaire de l'individu suivant. On continue en suivant la même procédure ;

- Une fois le pot est rempli, on tare la balance, on pèse le pot à nouveau et on note son poids (selon **Claisse 2007**, le pot doit être rempli à $\frac{3}{4}$ de volume complet) ;
- On récupère le pot, on met un bout de sac de congélation pour éviter la contamination et on ferme le couvercle ;
- Le pot sera étiqueté (le nom station, la date, numéro de pot). et conservé au congélateur jusqu'à l'étape suivante.

NB : Les étapes suivantes (lyophilisation, broyage, minéralisation) ont été annulées à cause de la pandémie COVID-19 qui a paralysé notre pays et le monde entier.

Donc, aucun laboratoire n'est resté ouvert et les travaux ont été arrêtés. En mois de juin, un changement de sujet nous a été proposé pour finaliser le mémoire.

En disposant de plusieurs études faites et des données déjà acquises dans les mêmes zones et le long de la côte algérienne pour faire une étude rétrospective sur les moules (de l'année 2012 jusqu'à l'année 2018).

Pour les analyses des métaux traces dans les études précédentes, après le prélèvement et la dissection des moules, la chair récupérée est congelée pour la lyophilisation et le broyage puis la minéralisation. Cette dernière consiste en une digestion à chaud d'un échantillon dans l'acide nitrique (HNO_3) et sous pression; Cette minéralisation s'effectue pour une série d'échantillons qui s'accompagnent par celle des blancs constitués de solutions contenant le réactif de minéralisation (acide nitrique) et subissant les mêmes conditions expérimentales que la série d'échantillon.

Les métaux concernés par l'étude ont été dosés dans la chair des moules par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) suivant le protocole expérimental décrit par **Charlou et Joanny (1983)** et U.N.E.P./I.A.E.A.(1985a et b, 1986a et b). Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire (**voir annexe**). Les analyses des métaux ont été effectuées au Laboratoire de recherche "Ecosystèmes Marins et Littoraux" de ENSSMAL au niveau de Sidi Fredj.

**Synthèse des travaux
et
Discussions des résultats
(Etude rétrospective)**

IV. Synthèse des travaux et Discussions des résultats

IV.1. Aperçu général sur les travaux de biosurveillance réalisés par les métaux traces dans les moules le long du littoral algérois

La zone côtière Algéroise présente un espace d'intenses activités économiques (activités domestiques, industrielles, agricoles...). Elle est probablement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible (PAC, 2006), ce qui rend la surveillance et le suivi de la qualité des eaux côtières une nécessité pour préserver cet espace. L'étude des métaux traces dans l'environnement marin conduit à une meilleure compréhension de leur comportement, notamment en tant qu'indicateur des sources de pollution (Essein et al, 2009).

Une série de travaux de recherche sur la bioaccumulation des métaux traces chez deux espèces de moules *Perna perna* et *Mytilus galloprovincialis* ont été réalisés au niveau du laboratoire de recherche "Ecosystèmes Marins et Littoraux" de l'ENSSMAL, pour le suivi de la qualité du milieu marin dans le littoral Algérois.

Pour cela on a effectué une recherche bibliographique englobant l'ensemble des travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral Algérois par les métaux traces qui sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau1: Les travaux réalisés sur la Biosurveillance des moules du littoral algérois selon un ordre chronologique croissant.

| Zone d'étude | Référence | Les analyses effectuées | Métaux traces étudiés |
|--|------------------------|--|-----------------------|
| Baie de Bou-Ismaïl, Baie d'Alger, Baie de Zemmouri | Rebhi 2013 | Métaux traces | Zn, Cu, Mn, Cr |
| Baie de Bou-Ismaïl, Baie d'Alger, Baie de Zemmouri | Kerboub 2014 | Métaux traces et analyses bactériologiques | Zn, Ni |
| Baie de Bou-Ismaïl, Baie d'Alger, Baie de Zemmouri | Kerboub 2014 | Analyses biochimiques | — |
| Baie de Bou-Ismaïl, Baie d'Alger, Baie de Zemmouri | Bouadi 2016 | Métaux traces | Zn, Ni, Cu, Mn, Fe |
| Baie de Bou-Ismaïl, Baie d'Alger, Baie de Zemmouri | Moumene 2017 | Métaux traces et analyses biochimiques | Zn, Mn, Cu, Cd, Co |
| Ain Tagourait-Tipaza | Gouffi et Guettaf 2017 | Croissance des moules | — |
| Baie de Zemmouri, Baie de Bou-Ismaïl, Baie d'Alger | Halilou et Laib 2017 | Métaux traces | Zn, Mn, Cd, Fe |

IV.2. Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissant

IV.2.1. Etude réalisée en 2013

Ce travail a pour objectif d'étudier l'évolution des métaux traces chez deux espèces des moules dans *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linne, 1758) du littoral algérois.

Les sites d'études sont au nombre de sept : trois dans la baie de Bou-Ismaïl (Berrard, Fouka marine, Zeralda et Ain benian), deux dans la baie d'Alger (Port d'Alger et Bateau-cassé) et deux dans la baie de Zemmouri (Boudouaou El Bahri et Figuier).

Toutes les moules proviennent des moulières naturelles. Elles ont été arrachées de leur substrat à l'aide d'un couteau à lame, à l'exception des moules récoltés de la station de Surcouf (une ferme conchylicole). Les échantillons ont été immédiatement entreposés dans des sachets en plastique au frais dans des glacières.

Au laboratoire, les moules ont été nettoyées à l'aide d'un couteau de leur byssus et des salissures collées à leur coquille.

Les travaux effectués dans le laboratoire sont les suivants :

Calcul de l'indice de condition qui est un indice biométrique utilisé en conchyliculture pour rendre compte du degré de remplissage des coquilles des animaux.

La formule choisie dans ce travail est d'AFNOR (NF V 45056), exprimée par l'équation :

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

Avec PTSEP est le poids des tissus mous sans l'eau palléale.

Pour calculer cet indice, la mensuration des tailles de chaque individu a été faite à l'aide d'un pied à coulisse ; puis ils sont mis dans une balance pour avoir le poids total de la moule.

On a récupéré la chair de chaque individu (moule) : en commençant par la section des muscles adducteurs, puis en séparant les valves et les parties molles détachées à l'aide d'un scalpel et récupérées dans des boîtes de pétrie pour les peser puis les mettre au congélateur (-18°C) dont le but est d'être lyophilisé pour la détermination des ETM.

Les résultats obtenus montrent que La *P.perna* dans les deux moulières naturelles a des tailles moyennes importantes par rapport aux tailles moyennes de la moule *M.galloprovincialis*, car cette espèce n'est pas concernée ni par la commercialisation ni par la conchyliculture.

La différence des valeurs de l'indice de condition entre les deux espèces est faible. En effet, le remplissage des coquilles des deux espèces est presque identique. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2: La taille moyenne (mm) et indice de condition des moules pour chaque site.

| Espèce | Baie | Site | Taille moyenne | Indice de condition |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| <i>Mytilus galloprovincialis</i> | Baie de Bou-Ismaïl | Fouka Marine | 24,53 | 22,95 |
| | | Zeralda | 32,25 | 20,32 |
| | | Ain benian | 29,33 | 21,88 |
| | Baie d'Alger | Port d'Alger | - | - |
| | | Bateau-cassé | 35,41 | 27,10 |
| | Baie de Zemmouri | Sercouf | 61,11 | 38,07 |
| | | Boudouaou el Bahri | - | - |
| <i>Perna perna</i> | Baie de Bou-Ismaïl | Zeralda | 48,21 | 24,15 |
| | Baie de Zemmouri | Boudouaou el Bahri | 49,58 | 27,19 |

Les métaux concernés par cette étude sont : Zn, Mn, Cu, Cr. Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 3: Les concentrations moyennes ($\mu\text{g/g}$) en métaux traces dans les moules dans les trois baies.

| Espèce | baie | Site | Zn | Cu | Mn | Cr |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------|-------|-------|------|
| <i>Mytilus Galloprovincialis</i> | Baie de Bou Ismaïl | Fouka Marine | 211,89 | 2,28 | 37,42 | 2,51 |
| | | Zeralda | 217,76 | 2,28 | 29,18 | 8,40 |
| | | Ain benian | 255,88 | 2,28 | 37,38 | 8,40 |
| | Baie d'Alger | Port d'Alger | 350,89 | 53,34 | 31,11 | 8,37 |
| | | Bateau-cassé | 171,52 | 2,17 | 33,65 | 8,00 |
| | Baie de Zemmouri | Sercouf | 181,92 | - | 27,11 | 2,50 |
| | | Boudouaou el Bahri | 152,91 | 2,26 | 61,52 | 2,49 |
| <i>Perna perna</i> | Baie de Bou-Ismaïl | Zeralda | 122,56 | 2,23 | 40,50 | 8,21 |

Les teneurs en métaux traces dans les deux espèces de moules des différents sites d'étude montrent que les concentrations de zinc les plus élevées se trouvent dans les moules du port d'Alger. Les moules des autres sites présentent aussi des concentrations assez importantes. Ainsi que pour le cuivre, les teneurs la plus élevées sont celles des moules du port d'Alger, les moules des autres sites présentent des teneurs faibles. Par ailleurs, le manganèse semblerait être bioaccumulé par la moule *M.galloprovincialis* beaucoup plus que par la moule *P.perna*. Tandis que les teneurs les plus élevées en chrome se manifestent dans les moules des sites de Zeralda, Ain banian, Bateau cassé et port d'Alger. Les moules des autres sites bioaccumulent des teneurs plus ou moins faibles en chrome.

IV.2.2. Etude réalisée en 2014 (Métaux traces)

Le travail porte sur la biosurveillance des eaux côtières de la région Algéroise (Baie de Zemmouri, Baie de Bou-Ismaïl et Baie d'Alger) par les moules (métaux traces et qualité bactériologique). Il s'inscrit dans le cadre du suivi de l'évolution de la pollution par les éléments-traces métalliques dans deux espèces de moule *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758) d'une part et d'autre part de chercher l'état de contamination bactériologique.

Deux types de prélèvement ont été effectués : prélèvement de l'eau de mer et prélèvement des moules dans une période de trois mois aux niveaux de six stations : deux dans la baie de Bou-Ismaïl, une dans la baie d'Alger et trois dans la baie de Zemmouri.

La mesure de paramètres physico-chimiques (pH et salinité) a été réalisée *in situ* à l'aide d'un PH-mètre et un salinomètre de marque Wissenschaftlich Technische Werkstätten « WTW » sur deux stations. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4: Salinité et pH dans les deux sites de Boudouaou El Bahri et ORCA marine (Kerboub, 2014).

| Stations \ Paramètres mesurés | Salinité (PSU) | Potentiel d'hydrogène (pH) |
|-------------------------------|----------------|----------------------------|
| Boudouaou El Bahri | 36 | 8,3 |
| ORCA Marine | 36,4 | 8,2 |

Les valeurs moyennes du pH enregistrées au niveau des deux stations sont des valeurs caractéristiques de l'eau de mer. Alors que pour la salinité, ils concordent avec la salinité des eaux de mer méditerranéenne (Kerboub, 2014).

La mesure de la longueur des moules qui représente la taille des moules selon Noel-Lambot et al, (1980) et Nielsen, (1988) in (Essedaoui et Sif 2001) montre que les moules de la baie de

Zemmouri ont des tailles plus élevées que celles des moules de la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl (Tableau 5).

Tableau 5 : Taille moyenne (mm) des moules de la côte Algéroise (Kerboub, 2014).

| Stations Espèce | Fouka Marine | Zeralda | Bateau- cassé | Sercouf | Boudouaou el Bahri | Figuier |
|----------------------------------|-----------------|---------|------------------|---------|-----------------------|---------|
| <i>Mytilus galloprovincialis</i> | 32,62 | 44,46 | 35,95 | 61,74 | 63,10 | 58,45 |
| <i>Perna perna</i> | - | 44,70 | - | - | 58,79 | 58,94 |

D'après ces résultats, l'indice de condition inter-sites dans ce travail n'est pas vraiment significative, il montre un remplissage des coquilles en faveur des moules.

Tableau 6: Indice de condition des moules de la côte Algéroise (Kerboub, 2014)

| Stations Espèce | Fouka Marine | Zeralda | Bateau- cassé | Sercouf | Boudouaou El Bahri | Figuier |
|----------------------------------|-----------------|---------|------------------|---------|-----------------------|---------|
| <i>Mytilus galloprovincialis</i> | 31,52 | 25,71 | 30,31 | 26,88 | 26,46 | 31,52 |
| <i>Perna perna</i> | - | 32,4 | - | - | 28,41 | 28,28 |

Deux métaux sont analysés : Zinc (Zn), Nickel (Ni) qui sont montrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7: Valeurs extrêmes des concentrations ($\mu\text{g/g}$) des métaux traces au niveau des trois baies de Bou-Ismaïl, d'Alger et de Zemmouri (Kerboub, 2014).

| Métaux Traces ($\mu\text{g/g}$) (Max-Min) | Sites Baie de Bou-Ismaïl | Baie d'Alger | Baie de Zemmouri |
|---|-----------------------------|--------------|------------------|
| Zn | 221,30-107,90 | 95,60 | 239,52-133,93 |
| Ni | 3,80-1,89 | 0 | 6,28-0,59 |

La station de Boudouaou El Bahri montre une concentration plus élevée en Zn que les autres. Ceci peut être expliqué par la forte activité agricole. Alors que, Les concentrations observées en Ni montre une homogénéité dans toutes les stations, sauf la station de bateau-cassé où la concentration est nulle, donc elle est inférieure à la limite de détection (Kerboub, 2014).

Les résultats obtenus montrent que l'espèce *Mytilus galloprovincialis* a concentré plus de Zinc et de Nickel que l'espèce *Perna perna*.

Les analyses bactériologiques ont été faites dans deux stations Boudouaou El Bahri et ORCA Marine sur l'eau de mer en recherchant les germes suivants : Coliformes totaux, *E.Coli*, Streptocoques fécaux, *Clostridium sulfito-réducteur*, Salmonella, Vibriion, Staphylocoques, Levures, moisissures, *Pseudomonas aeruginosa* et la flore totale mésophile par la méthode de filtration.

Et aussi sur les moules en recherchant : Coliformes totaux, *E. Coli*, salmonella, staphylocoques, et la flore mésophile.

La préparation des moules a été faite en tenant compte de la Norme ISO 6887 qui est composée des directives générales pour la préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen bactériologique.

Les résultats obtenus pour l'eau de mer montrent que le site de Boudouaou El Bahri présente des concentrations en flore mésophile totale, en coliformes totaux et en levures et moisissures légèrement élevées par rapport au site de la ferme conchylicole d'ORCA marine et une absence totale pour les autres germes. Elles montrent aussi que les charges bactériennes dans les deux sites d'étude sont complètement inférieurs aux normes guide et impérative de la directive de la CEE. En conséquence les deux sites d'étude peuvent être déclarés de bonne qualité bactériologique (**Rodier et al, 1996**).

Alors que pour les moules, les résultats des analyses pour les deux sites sont inférieurs au seuil limite, donc elles représentent une qualité bactériologique satisfaisante et reflètent l'état du milieu environnant.

IV.2.3. Etude réalisée en 2014 (Biochimie)

Le travail porte sur la biochimie des moules de la région Algéroise (Baie de Zemmouri, Baie de Bou-Ismaïl et Baie d'Alger) en 2014 afin d'évaluer la valeur nutritive des moules (le taux des lipides, des protéines et des glucides) chez les deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758). C'est un travail de Master complémentaire à celui réalisé dans le cadre du mémoire d'ingénieur mentionné précédemment.

Le prélèvement et la dissection des moules ont été fait le même jour. La chair récupérée est congelée pour la lyophilisation et le broyage au niveau du laboratoire Ecosystèmes Marins et Littoraux de l'ENSSMAL au niveau de Sidi Fredj.

Le dosage des protéines a été effectué suivant la méthode de « **Kjeldahl** » suivant 3 étapes : digestion ou minéralisation de l'échantillon, distillation de l'ammoniac et titrage de l'ammoniac.

L'extraction des lipides a été réalisée par la méthode de « **Soxhlet** » à l'aide d'un solvant organique (éther éthylique). Et pour les glucides, elles sont dosées selon la méthode du **Dubois et al. (1956)**.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en protéines et les concentrations en glucides chez *Mytilus galloprovincialis* sont plus élevées que celles observées chez *Perna perna* alors que pour les lipides c'est l'inverse (**Kerboub, 2014**).

IV.2.4. Etude réalisée en 2016

Le travail porte sur le 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.

Les prélèvements ont été réalisés sur une période de cinq mois. L'analyse des métaux traces (Zn, Cu, Ni, Mn, Fe) a été réalisée par la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

Les résultats de la mensuration montrent que les tailles moyennes prélevées au niveau de la station de Bou-Ismaïl sont les plus grandes enregistrées chez la moule *Mytilus galloprovincialis* tandis que les tailles moyennes les plus petites de la même espèce est de (43,72 mm) observées dans la station de Sercouf.

Pour *Perna perna* une taille moyenne plus élevée est observée à Boudouaou et elle est de (49,73 mm). La station de Zéralda présente la plus faible taille chez cette espèce. Le tableau (8) résume ces résultats.

Tableau 8 : La taille moyenne (mm) des moules pour chaque site de prélèvement.

| Stations | Figuier | Boudouaou | Sercouf | Bateau Cassé | Port d'Alger | Zéralda | Bou-Ismaïl |
|----------------------------------|---------|-----------|---------|--------------|--------------|---------|------------|
| <i>Mytilus galloprovincialis</i> | - | - | 43,72 | 45,84 | 44,96 | - | 88,04 |
| <i>Perna perna</i> | 46,91 | 49,73 | - | - | - | 36,90 | - |

Les résultats obtenus lors du calcul de l'indice de condition montrent que la différence inter-sites n'est pas assez significative. Leur variation dépend de plusieurs paramètres dont l'état de reproduction et de nutrition (**Cossa, 1980**).

Les résultats des métaux traces sont représentés dans le tableau (9) ci-dessous.

Tableau 9: Les concentrations moyennes ($\mu\text{g/g}$) des métaux traces dans les deux espèces de moules pour chaque site.

| Espèce | site | Cu | Mn | Fe | Zn | Ni |
|----------------------------------|--------------|-------|-------|---------|--------|------|
| <i>Mytilus galloprovincialis</i> | Bou Ismail | 6,42 | 5,91 | 239,9 | 111,07 | 6,93 |
| | Port d'Alger | 91,39 | 6,12 | 270,50 | 151,77 | 6,32 |
| | Bateau cassé | 10,40 | 15,70 | 335,58 | 107,20 | 6,01 |
| | Sercouf | 7,65 | 7,85 | 191,76 | 153,61 | 6,22 |
| <i>Perna perna</i> | Zéralda | 8,77 | 24,27 | 1399,23 | 111,38 | 7,34 |
| | Boudouaou | 7,54 | 11,42 | 536,52 | 151,06 | 6,83 |
| | Figuier | 9,17 | 10,09 | 500,61 | 109,03 | 6,22 |

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

Les concentrations du zinc sont les plus élevées dans toutes les stations étudiées. Par contre, pour le cuivre les teneurs les plus élevées sont celles des moules du 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. Pour le cuivre, on relève une contamination excessive par cet élément au niveau du port d'Alger, ce qui indique la présence d'une pollution importante dans ce port.

IV.2.5. Etude réalisée en 2017 (Métaux traces et biochimie)

Le travail porte sur bioaccumulation des métaux traces chez les moules de la côte algéroise (Baie de Zemmouri, Baie de Bou-Ismaïl et Baie d'Alger) dont le but est d'évaluer, d'une part, la teneur des métaux traces chez la moule *Mytilus galloprovincialis*, et, d'autre part, la teneur en protéines et lipides dans la même moule.

Le prélèvement des moules est effectué entre le 23 avril et le 13 mai 2017 sur 7 stations (Bou Ismaïl, Fouka Marine, Zéralda, Port d'Alger, Sercouf, Boudouaou El Bahri, Figuier) avec une vingtaine d'individus pour chaque station. Les individus prélevés appartiennent à deux classes de tailles différentes, inférieures et supérieures à 30mm. Cependant, le Port d'Alger fait l'exception et les deux classes de taille sont inférieure et supérieure à 50 mm (Moumene, 2017).

Trois paramètres morphologiques ont été mesurés pour chaque individu, il s'agit de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur de la coquille. La taille des moules étudiées a été

considérée comme la longueur de la coquille, car selon Noel-Lambot et al, (1980) et Nielsen, (1988) in (Essedaoui et Sif, 2001).

Tableau 10: Taille moyenne (mm) des espèces des différentes stations de prélèvement (Moumene, 2017).

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

La baie d'Alger a des moules de taille plus grande que les deux autres baies, aussi les résultats de l'indice de condition montrent qu'il y a une légère différence de coquilles que ce soit entre les deux classes de tailles ou entre les différents sites.

Cinq métaux traces sont analysés : Manganèse (Mn), Zinc (Zn), Cuivre (Cu), Cobalt (Co), Cadmium (Cd). Le tableau (11) ci-dessous présente les concentrations des métaux dans les trois baies.

Tableau 11: Les concentrations moyennes ($\mu\text{g/g}$) en métaux traces dans les moules de chaque baie (Moumene, 2017).

| Sites Métaux Traces ($\mu\text{g/g}$) | Baie de Bou-Ismail | Baie d'Alger | Baie de Zemmouri |
|---|--------------------|--------------|------------------|
| Mn | 9,30 | 2,79 | 12,15 |
| Zn | 209,48 | 152,81 | 157,04 |
| Cu | 16,46 | 11,08 | 8,98 |
| Co | 1,36 | 0,37 | 1,18 |
| Cd | 0,26 | 0,21 | 0,50 |

Les résultats obtenus montrent que les trois baies ont une concentration du Zn très élevées par rapport aux autres métaux étudiés. La concentration la plus élevée est relevée au niveau de baie de Bou-Ismail, exactement à Fouka Marine ce qui peut la considérer comme zone contaminée. Ces teneurs élevées en zinc présentent au niveau de la baie de Bou-Ismail résultent probablement d'une contamination due aux rejets urbains et industriels à partir des apports d'Oued Mazafran (Boudjellal *et al*, 1995) et de la ville de Bou-Ismail, notamment de sa zone industrielle.

La contamination en Cd dans la baie de Zemmouri est importante par rapport aux deux autres baies, exactement à la ferme de Sercouf. Elle est probablement liée aux rejets des eaux usées urbaines et industrielles des zones limitrophes.

La pollution métallique est relevée aussi bien au niveau des individus avec une taille >30mm qu'au niveau des organismes qui ont une taille inférieure, sauf dans le site de Boudouaou (**Moumene, 2017**). Donc, l'accumulation des métaux est plus importante dans les moules qui ont une taille plus grande.

Pour les analyses biochimiques, l'extraction et le dosage des protéines ont été effectués selon la méthode de référence « **Kjeldahl** » suivant trois étapes : digestion ou minéralisation de l'échantillon, distillation de l'ammoniac et titrage de l'ammoniac. Alors que pour l'extraction des lipides, la méthode de référence utilisée est la méthode au **Soxhlet**. Elles ont été réalisées au niveau de laboratoire de biochimie à l'ENSSMAL.

Les résultats obtenus de ces analyses montrent qu'il y a une richesse des moules de la baie de Bou-Ismaïl (site du Fouka Marine) en lipides et du site du port d'Alger en protéines.

IV.2.6. Etude réalisée en 2017 (Croissance)

Ce travail consiste à évaluer la performance de croissance, la qualité et les mortalités des moules de type *Mytilus galloprovincialis* au niveau des cages flottantes dans la ferme SARL EAM à Ain Tagourait durant la période de février à juillet 2017.

Les sorties en mer sont réalisées à bord d'une embarcation privée. Les différents points d'échantillonnage sont représentés sur la figure ci-dessous.

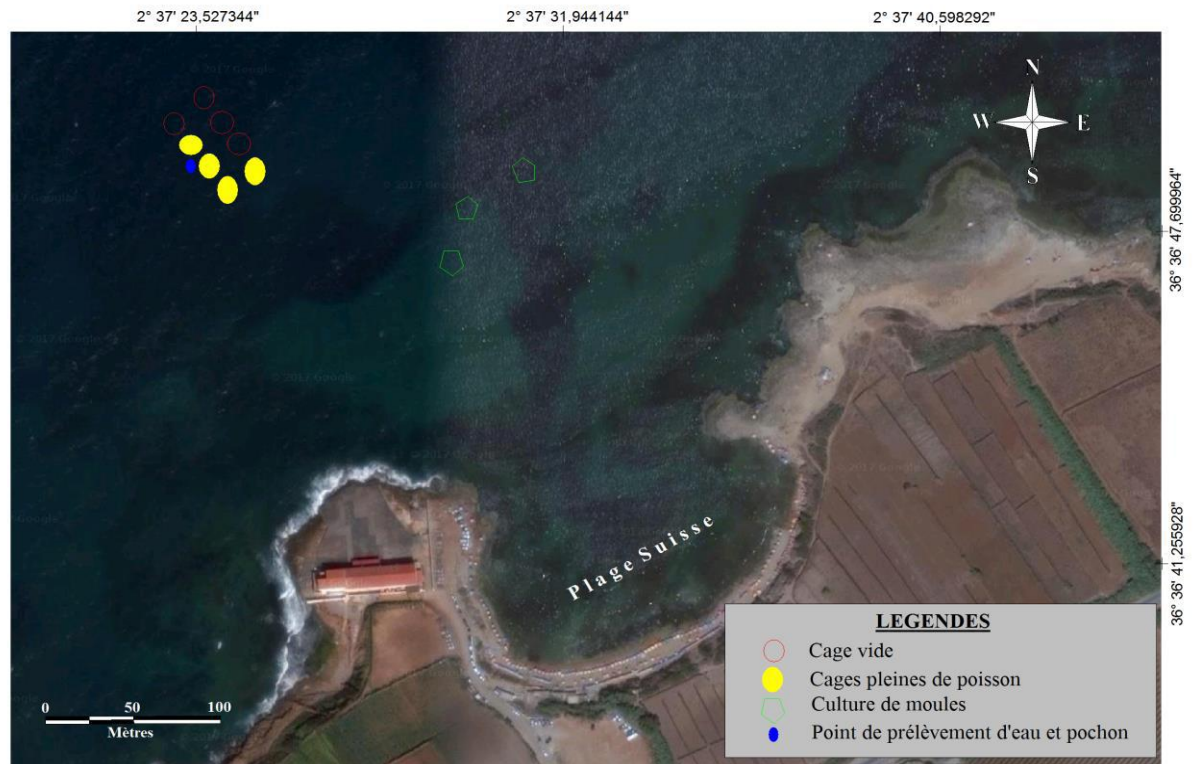


Figure 7: Image satellitaire de la ferme SARL EAM. Positionnement des structures d'élevage et des points de prélèvements (Gouffi et Guettaf, 2017).

Les études réalisées dans cette partie I sont : les mesures des paramètres physicochimiques, l'analyse des peuplements de phytoplancton et l'étude de la croissance de l'espèce *Mytilus galloprovincialis*.

La mesure de la température, du pH, de l'oxygène dissous et de la salinité a été réalisée in situ à l'aide d'une valise multi-paramètres (HANA). Par contre, pour les analyses des sels nutritifs et les matières en suspension (MES), des échantillons d'eau de mer sont prélevés à l'aide de bouteilles NESKIN puis conditionnés dans des flacons en polyéthylène et acheminés au laboratoire. A l'arrivée à ce dernier une filtration sous vide a été appliquée sur les échantillons d'eau de mer à l'aide d'une rampe à filtration pour la mesure des matières en suspension. L'analyse chimique des sels nutritifs est faite par la méthode automatisée sur colorimètre à flux continu.

Pour l'analyse des peuplements de phytoplancton, quelques gouttes de Lugol ont été ajoutées aux prélèvements d'eau placés dans des flacons de polyéthylène d'un volume de 1l. La détermination des espèces phytoplanctoniques pour le site d'élevage est réalisée au moyen d'un microscope inversé.

Une étude de la population a été faite afin de classer les individus selon la taille et le sexe. En effet, la distinction de sexe est basée sur le calcul du Sex-ratio (nombre de male / nombre de femelle). Des mesures biométriques ont été réalisées pour estimer la croissance d'une population de moule *Mytilus galloprovincialis*, au niveau des cages dans la ferme SARL EAM sur une durée de 5 mois.

L'étude de la croissance s'est basée aussi sur le calcul de l'indice de condition qui donne une idée de l'état physiologique des individus et permet d'estimer la part de la matière organique émise lors de la reproduction. Les indices calculés sont : **Indice de Lawrence et Scott et Indice de Walne et Mann (Voir annexe)**.

Afin de tester les différences en poids et en taille durant les mois de prélèvement, un test de **Kruskal-Wallis** a été fait. Ce test est utilisé lorsqu'il y a présence de k échantillons indépendants, afin de déterminer si les échantillons proviennent d'une même population ou si au moins un échantillon provient d'une population différente des autres.

Pour estimer le taux de mortalité, une centaine de moule de 3g dont la longueur été de 30mm ont été mises dans un pochon. Puis la mortalité est évaluée par le comptage des individus morts à chaque mois d'échantillonnage.

Afin d'estimer aussi la proportion du byssus secrétée par *Mytilus galloprovincialis* produit à Ain Tagourait le poids total humide de 60 moules et celui de leur byssus après dissection, ont été pris au moyen d'une balance de précision.

Les résultats obtenus lors de ce travail sont comme suite :

Sur le plan physico-chimique, La température moyenne balance entre un minimum (15°C) en février et un maximum (25°C) en juillet.

La salinité (36) et le pH (8,1) enregistrés sont restés plutôt stables durant la période d'étude. Concernant les concentrations en oxygène dissous, elles sont dans l'intervalle de [7-9 mg/l]. Quant à la concentration des matières en suspension, des valeurs faibles ont été enregistrées.

Pour les sels nutritifs, les valeurs de nitrates varient entre un maximum de 4,12 $\mu\text{mol/l}$ durant le mois de Juillet et un minimum de 0,74 $\mu\text{mol/l}$ en mois de Février. Pour les nitrites une valeur maximale de 0,13 $\mu\text{mol/l}$ en mois de Février et un minimum de 0,09 $\mu\text{mol/l}$ dans les deux mois Mars et Mai. Pour les phosphates, une valeur maximale de 0,032 $\mu\text{mol/l}$ a été

enregistrée en mois d'Avril, et une valeur minimale de 0,01 $\mu\text{mol/l}$ en mois de Mars. Une légère augmentation des phosphates est notée en mois d'Avril.

L'étude des populations phytoplanctoniques montre une dominance des diatomées par rapport aux dinoflagellés durant la saison printanière. Pendant la période d'étude, les espèces potentiellement toxiques trouvées avec des taux faibles sont (*Pseudo-nitzschia sp*, *Nitzschia sp*, *Gonyaulax sp*).

L'étude de la population montre que les individus mis près des cages durant la période allant du mois de février à juillet montrent des tailles variant de 12 à 48 mm. Les effectifs les plus faibles sont enregistrés dans les classes de taille inférieures à 16mm et supérieures à 12 mm. Les individus dont la taille est comprise entre 32 et 36 mm représentent le plus gros des effectifs de la population de moules.

Une prédominance de femelles dans la population échantillonnée a été notée à 58% des moules *Mytilus galloprovincialis* ; avec un sexe- ratio de 0,65.

L'étude de la croissance révèle que la taille du naissain est passé de $19,02\text{mm} \pm 3,599$ à une taille de $38,8\text{mm} \pm 3,301679$ en cinq mois, cette taille est proche de la taille marchande (40mm), ce qui traduit un taux de croissance de 0,16mm/jour.

Concernant le poids total, il est passé de $0,56\text{g} \pm 0,264714$ à $5,12\text{g} \pm 1,054365$, ce qui traduit un taux de croissance de 0.031 g/jour. Par contre le poids de la chair humide est passé de $0,07\text{g} \pm 0,06$ à $0,9\text{g} \pm 0,2$. C'est à dire, une augmentation pondérale journalière de 0,005g/jour.

Concernant les deux indices de conditions Lawrence and Scott et Walne et Mann, ils montrent qu'au niveau des cages, un taux de remplissage de 80 (Lawrence et Scott) est atteint dans les deux mois d'avril et de mai.

Toute fois le produit ne peut être classé, car les indices ont été appliqués sur un produit n'ayant pas encore atteint la taille marchande (4 cm).

Les relations biométriques entre la taille et le poids traduisent une bonne corrélation.

Longueur total-largeur révèle une allometrie minorante c'est-à-dire, la longueur totale croit plus vite que la largeur.

Longueur totale-épaisseur révèle une allometrie minorante, c'est-à-dire, la longueur totale croit moins vite que l'épaisseur.

Largueur-épaisseur révèle une allométrie majorante c'est-à-dire, la largeur croît plus rapidement que l'épaisseur de la coquille.

Pour la relation longueur totale-poids total frais, les résultats indiquent une allométrie minorante entre la longueur totale des individus ce qui indique que le cube de la longueur totale croît plus rapidement que poids.

Le test de **Kruskal-Wallis** montre que les individus n'appartiennent pas à la même population.

Les résultats montrent une corrélation positive entre la température et la longueur et entre la température et le poids total.

Une corrélation négative entre la salinité et la longueur, et la salinité et le poids total a été trouvée.

Les particules en suspension comprenant le phytoplancton, le zooplancton et les résidus organiques ou seston jouent un rôle très important dans la croissance des moules

Le taux de mortalité observé durant le suivi est très bas (6%), ce qui traduit une mortalité habituelle non causée par l'impact des facteurs du milieu sur l'espèce.

Le byssus représente environ 2% du poids total des moules produites qui peut être valorisé et utilisé dans différents domaines.

IV.2.7. Etude réalisée en 2018

Le thème de ce travail porte sur la biosurveillance des certains métaux traces (Zn, Mn, Fe, Ca) chez deux espèces des moules (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1918) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758)) dans le littoral algérois.

Trois zones ont été choisies pour cette étude au niveau de littoral algérois : Baie d'Alger, Baie de Bou-Ismaïl et Baie de Zemmouri. Sept sites de prélèvement ont été choisis selon le degré de pollution et un 8^{ème} site de référence au niveau de Golf de Annaba a été rajouté.

Une cinquantaine d'individus de moules ont été prélevés par station dans une période en dehors de celle de la reproduction des espèces cibles. Les métaux traces analysées sont : Zn, Mn, Fe, Cd.

Les résultats des paramètres biométriques (largeur, longueur (taille), épaisseur) sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 12: Les moyennes des paramètres biométriques (mm) des moules pour chaque site de prélèvement.

| Station | Les paramètres biométriques | | |
|---------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|
| | Largeur moyenne (mm) | taille moyenne (mm) | Epaisseur moyenne (mm) |
| EL karma | 39,19 | 40,32 | 15,58 |
| Boudouaou | 16,07 | 17,14 | 15,20 |
| Port d'Alger | 27,93 | 49,02 | 17,14 |
| Zeralda | 21,20 | 42,06 | 16,07 |
| Ain Tagourait | 46,70 | 94,92 | 33,42 |
| Cultmare | 31,99 | 54,80 | 19,17 |
| Fouka Marine | 63,75 | 64,20 | 23,15 |
| l'Hnaya | 25,57 | 60,92 | 21,00 |

La ferme d'Ain Tagourait présente la taille maximale de 94,92 mm, ceci est dû aux conditions d'élevage.

Les stations où on a enregistré des moules avec des grandes tailles sont soit protégées (le cas de la ferme Ain Tagourait) soit d'accès contrôlé ou difficile (le cas de port d'Alger).

Les résultats d'analyse des métaux traces dans les différents sites d'études sont présentés dans le tableau (13).

Tableau 13: Les concentrations moyennes ($\mu\text{g/g}$) des métaux traces des moules pour chaque site de prélèvement.

| Sites | Baie de Bou-Ismaïl | Baie d'Alger | Baie de Zemmouri |
|---|--------------------|--------------|------------------|
| Métaux Traces ($\mu\text{g/g}$) (Max-Min) | | | |
| Zn | 197-270 | 209 | 243,63-249,18 |
| Mn | 0-3,15 | 2,29 | 2,51-3,69 |
| Fe | 631,14-127,90 | 182,93 | - |

L'analyse des teneurs en Zinc dans la chaire totale des deux espèces des moules montre que les stations (Figuier, Boudouaou El Bahri, Zeralda, station de dessalement Fouka et la ferme

Cultmare) présentent des teneurs relativement élevées. Elles sont supérieures à 220 µg/g du poids sec de la chaire (Laib et Halilou, 2018).

Ces fortes teneurs peuvent être liées à des facteurs multiples qui peuvent être expliqués par la forte activité anthropique agricole (épandage et l'utilisation des engrais) ou les rejets industriels.

En ce qui concerne le manganèse, des valeurs relativement faibles ont été détectées dans l'ensemble des stations.

Pour le Fer, des teneurs élevées ont été notées dans les stations suivantes (El Hnaya, Boudouaou, Fouka, Zeralda) avec des valeurs importantes qui peuvent atteindre jusqu'à 396,73µg/g du poids sec.

L'analyse du Cadmium révèle que ses teneurs sont inférieures à 1 µg/g dans toutes les stations, ce qui signifie l'absence de pollution par ce métal.

IV.3. Traitement, analyse et discussion des données acquises entre 2013 et 2018

IV.3.1. la croissance des moules

Parmi les données biométriques des moules acquises lors des études réalisées dans les côtes de la région algéroise par le laboratoire "Écosystèmes Marins et Littoraux", nous avons regroupé les données des tailles moyennes des coquilles des moules et les indices de conditions respectives. Celles relatives à l'espèce *M. galloprovincialis* sont présentées dans le tableau (14) alors que celles relatives à l'espèce *Perna perna* sont présentées dans le tableau (15).

Tableau 14: Tableau récapitulatif d'Indice de condition et des tailles moyennes (mm) des moules du littoral algérois chez les moules *M. galloprovincialis*.

| Espèce | Référence | Site | Indice de condition | La taille moyenne (mm) |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------------|
| <i>M. galloprovincialis</i> | Rebhi 2013 | Fouka Marine | 22,95 | 24,53 |
| | | Zeralda | 20,32 | 32,25 |
| | | Ain benian | 21,88 | 29,33 |
| | | Bateau-cassé | 27,10 | 35,41 |
| | | Sercouf | 38,07 | 61,11 |
| | Kerboub 2014 | Fouka Marine | 31,52 | 32,62 |
| | | Zeralda | 25,71 | 44,46 |
| | | Bateau-cassé | 30,31 | 35,95 |

| | | | | |
|---------|----------------------|--------------------|-------|-------|
| | | Sercouf | 26,88 | 61,74 |
| | | Boudouaou el Bahri | 26,46 | 63,10 |
| | | Figuier | 31,52 | 58,45 |
| | Bouadi 2016 | Bou-Ismaïl | 28,95 | 88,04 |
| | | Port d'Alger | - | 44,96 |
| | | Bateau-cassé | - | 45,84 |
| | | Sercouf | 33,68 | 43,72 |
| | Moumene 2017 | Bou-Ismaïl | - | 29,05 |
| | | Fouka Marine | - | 28,17 |
| | | Zeralda | 32,88 | 32,89 |
| | | Port d'Alger | - | 55,95 |
| | | Sercouf | 10,05 | 57,93 |
| | | Boudouaou el Bahri | - | 36,27 |
| | | Figuier | - | 35,28 |
| | Laib et Halilou 2018 | Cultmare | - | 54,80 |
| | | Berrard | - | 94,92 |
| | | Fouka Marine | - | 64,20 |
| | | Zeralda | - | 42,06 |
| | | Port d'Alger | - | 49,02 |
| | | Boudouaou el Bahri | - | 17,14 |
| | | Figuier | - | 40,32 |
| El Kala | | - | 60,92 | |

Tableau 15: Tableau récapitulatif d'Indice de condition et des tailles moyennes (mm) des moules du littoral algérois chez les moules *Perna Perna*.

| Espèce | Référence | Site | Indice de condition | La taille moyenne (mm) |
|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| <i>P. perna</i> | Rebhi 2013 | Zeralda | 20,32 | 48,21 |
| | | Boudouaou el Bahri | 27,19 | 49,58 |
| | Kerboub 2014 | Zeralda | 32,40 | 44,70 |
| | | Boudouaou el Bahri | 28,41 | 58,79 |
| | | Figuier | 28,28 | 58,94 |
| | Bouadi 2016 | Zeralda | - | 36,90 |
| | | Boudouaou el Bahri | 29,31 | 49,73 |
| | | Figuier | 31,13 | 46,91 |

IV.3.1.1. La taille moyenne des moules *M. galloprovincialis* et *P. perna*

Les tailles moyennes des moules (**Figure 8**) varient entre un minimum de 17,14 mm en 2018 à Boudouaou El Bahri et un maximum de 64,2 mm en 2018 à Fouka Marine pour *M. galloprovincialis* alors que pour *P. perna* (**Figure 9**) varient entre un minimum de 36,9 mm en 2016 à Zeralda et un maximum de 58,79 mm en 2014 à Boudouaou El Bahri. Il y a une distribution temporelle variable et instable de la taille au cours des années dans les différents sites de prélèvement.

La plus grande taille moyenne durant les années est celle de la moule *M.galloprovincialis* de Sercouf, il s'agit des moules d'élevage, elles ont une taille très homogène.

Deux sites enregistrent une diminution de tailles en fonction des années Boudouaou El Bahri chez *M. galloprovincialis* et Zeralda chez *P. Perna*. Ça peut être dû à la nourriture et l'augmentation de la pollution dans ces zones.

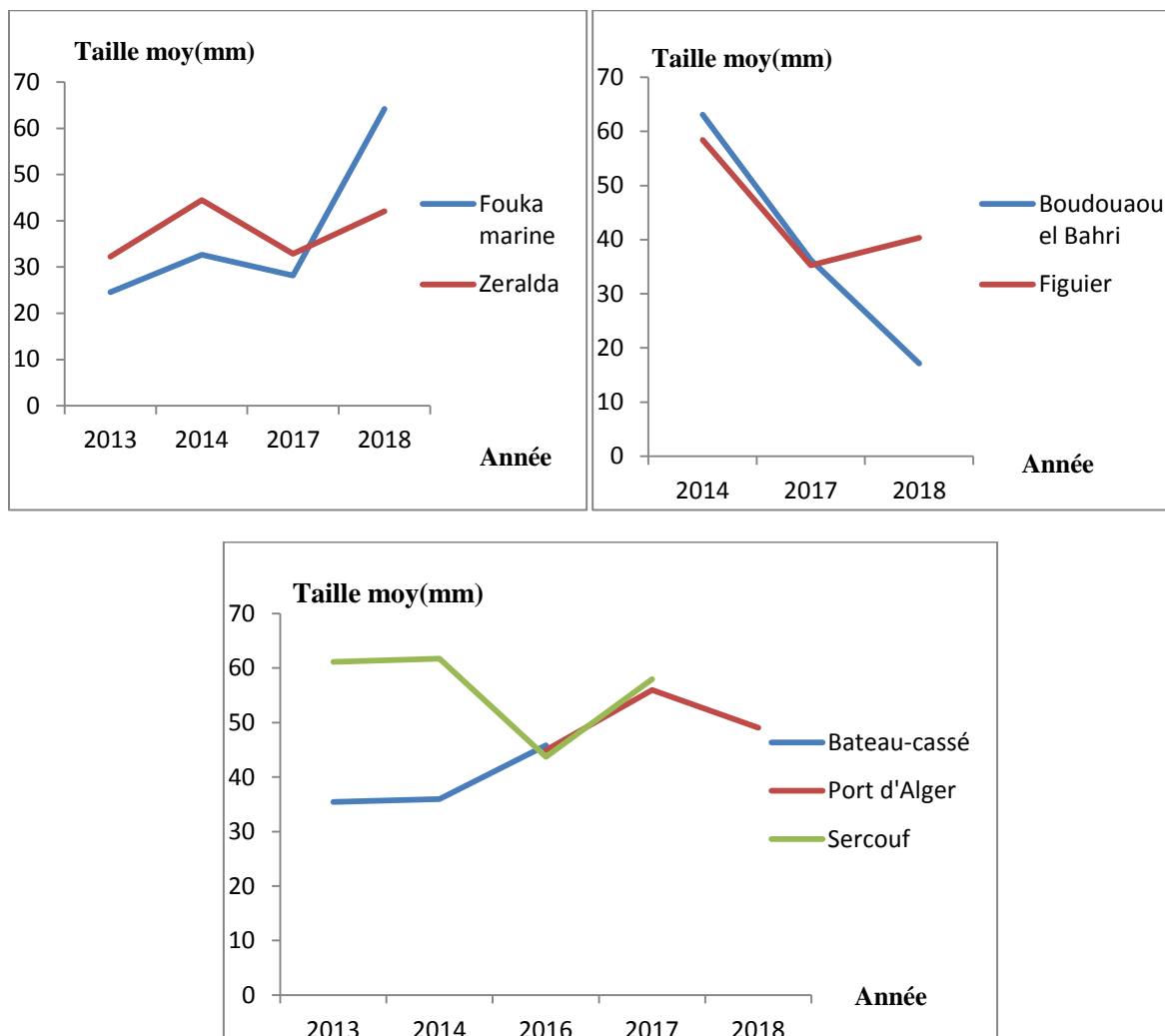


Figure 8: Les tendances d'évolution de la taille moyenne de la moule *M. galloprovincialis* en fonction du temps et de l'espace dans sept stations.

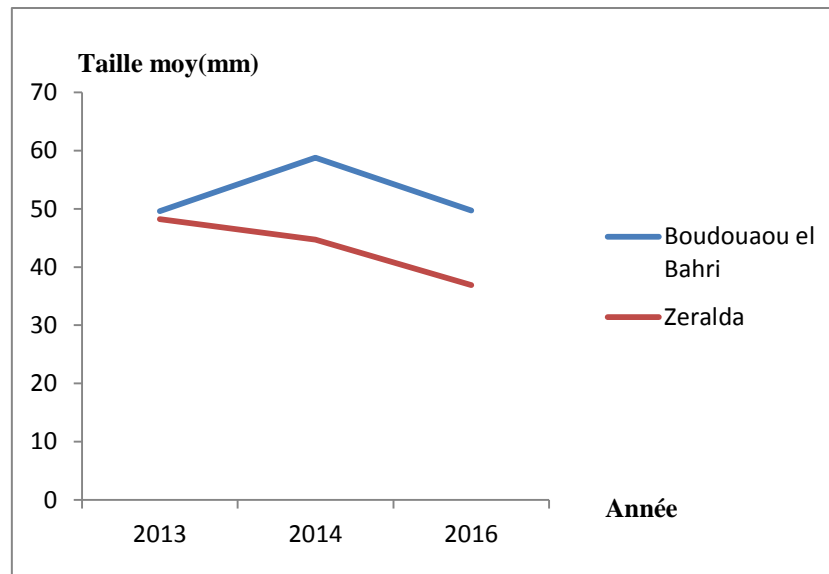


Figure 9: Les tendances d'évolution de la taille moyenne de la moule *P. perna* en fonction du temps et de l'espace dans les stations de Zeralda et Boudouaou El Bahri.

IV.3.1.2. Indice de condition des moules *M. galloprovincialis* et *P. perna*

Chez les moules *Mytilus galloprovincialis*, l'indice de condition (**Figure 10**) varie entre un minimum de 10,05 en 2017 et un maximum de 38,07 en 2013.

La distribution temporelle très variable et instable au cours des années, ces variations liées principalement aux facteurs saisonniers, comme la température, la disponibilité de la nourriture et le cycle de reproduction.

En effet, dans les années 2013 et 2016 les valeurs de l'IC sont très importantes dans le site de Sercouf car il s'agit des moules d'élevage.

Chez le moule *Perna perna*, l'IC (**Figure 11**) a varié entre un minimum de 27,19 en 2013 et un maximum de 29,31 en 2014.

La variation de l'IC augmente d'une année à l'autre, et cela est dû aux facteurs mentionnés précédemment.

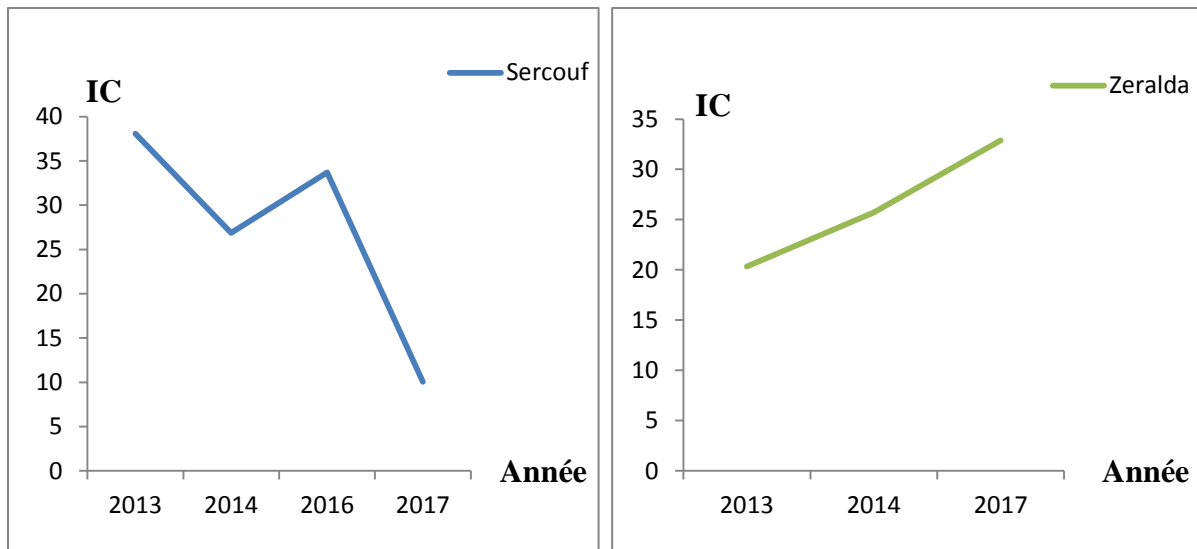


Figure 10: Les tendances d'évolution de l'IC de la moule *M. galloprovincialis* en fonction du temps et de l'espace dans les stations de Zeralda et Sercouf.

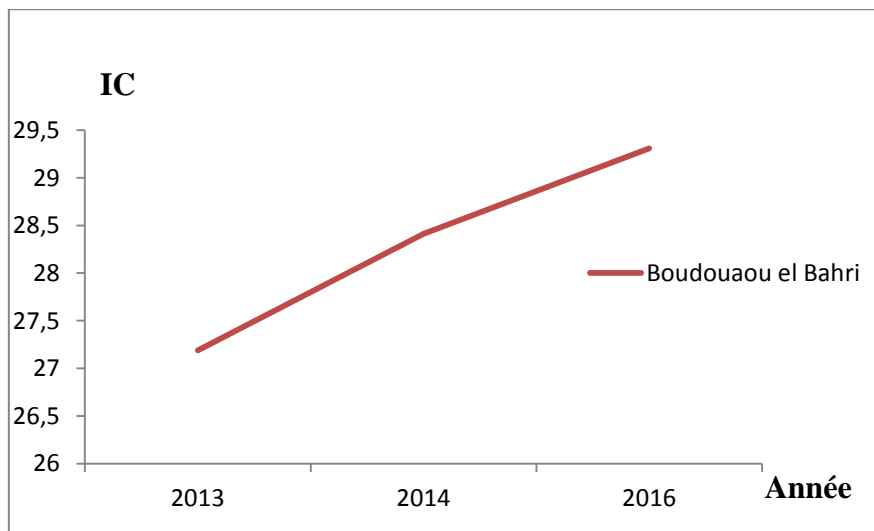


Figure 11: La tendance d'évolution de l'IC de la moule *P. perna* en fonction du temps et de l'espace dans la station de Zeralda.

IV.3.2. La qualité des moules

IV.3.2.1. la contamination par les métaux traces

Le suivi de la qualité des moules par la biosurveillance au niveau des moulières naturelles concernées par le réseau d'observation a été fait de 2012 à 2019. Cependant, vu le manque de moyens techniques, moyens analytiques et de logistiques, cette biosurveillance n'a pas été régulière. En effet, ce ne sont pas toutes les moulières (stations) qui sont échantillonnées chaque année et aussi ce ne sont pas tous les métaux ou les mêmes métaux qui sont analysés chaque année (**Tableau 16 & 17**). De ce fait, les résultats rassemblés dans

cette étude rétroactive présentent des lacunes qui ne permettent pas de faire une étude exhaustive et établir une tendance qui couvre toutes les années de la période, toutes les stations ou les mêmes et tous les métaux ou les mêmes métaux chaque année d'observation.

Malgré cela, un choix a été fait pour établir certaines évolutions et tendances pour certains métaux dans certaines moulières (stations), montrées dans le tableau (16 &17), ci-dessous.

Tableau 16: Tableau récapitulatif des taux de suivi de la biosurveillance par les métaux dans les moules *M. galloprovincialis* au niveau des moulières naturelles du littoral algérois.

| Espèce | Référence | Site | Zn | Cd | Cu | Mn | Cr | Fe | Ni | Co | Pb |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>M. galloprovincialis</i> | Megullati et Sraoui 2012 | Fouka Marine | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Ilot de Sidi fredj | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Espadon | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Bateau cassé | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Rebhi 2013 | Fouka Marine | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Zeralda | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Ain benian | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Port d'Alger | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Bateau cassé | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Sercouf | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Kerboub 2014 | Boudouaou el Bahri | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fouka Marine | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Zeralda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Bateau cassé | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Sercouf | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | Boudouaou el Bahri | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Bouadi 2016 | Figuier | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | Bou Ismail | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | Port d'Alger | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | Bateau cassé | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Moumene 2017 | Sercouf | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | Bou Ismail | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fouka Marine | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Zeralda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Port d'Alger | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | | Sercouf | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Boudouaou el Bahri | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Laib et Halilou 2018 | Figuier | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | | Cultmare | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | Berrard | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fouka Marine | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | Zeralda | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Port d'Alger | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Boudouaou el Bahri | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Figuier | | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| El Kala | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | |

1 : surveillance faite avec un résultat. 0 : surveillance non réalisée et pas de résultat.

Le taux de suivi est assez faible de l'ordre de 31%.

Tableau 17: Tableau récapitulatif des taux de suivi de la biosurveillance par les métaux dans les moules *Perna perna* du littoral algérois.

| Espèce | Année | Site | Zn | Cd | Cu | Mn | Cr | Fe | Ni | Co | Pb | |
|-----------------|--------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| <i>P. perna</i> | Rebhi 2013 | Zeralda | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Kerboub 2014 | Fouka Marine | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Zeralda | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | Bateau-cassé | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Sercouf | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Boudouaou el Bahri | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Figuier | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Bouadi 2016 | Zeralda | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | Boudouaou el Bahri | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | Figuier | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

1 : surveillance faite avec un résultat. 0 : surveillance non réalisée et pas de résultat.

Le taux de suivi est assez faible de l'ordre de 26 %.

A. Evaluation de niveau de pollution

Un métal est considéré comme contaminant quand sa concentration dans le milieu naturel dépassera un certain seuil. Plusieurs méthodes sont élaborées et proposées pour la classification des états de pollution des milieux étudiés en fonction des normes appliquées. Ainsi, ci-dessous, il y a la classification proposée par Mersh (1993) qui permet de classer les milieux naturels en quatre classes ou état de pollution. Ce tableau sera utilisé dans les discussions des états des pollutions par les métaux en traces.

Tableau 18: Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en $\mu\text{g/g}$) observées chez les moules (Mersch, 1993).

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

B. Les teneurs des métaux traces dans les moules *M. galloprovincialis* et *P. perna*

Le Zinc

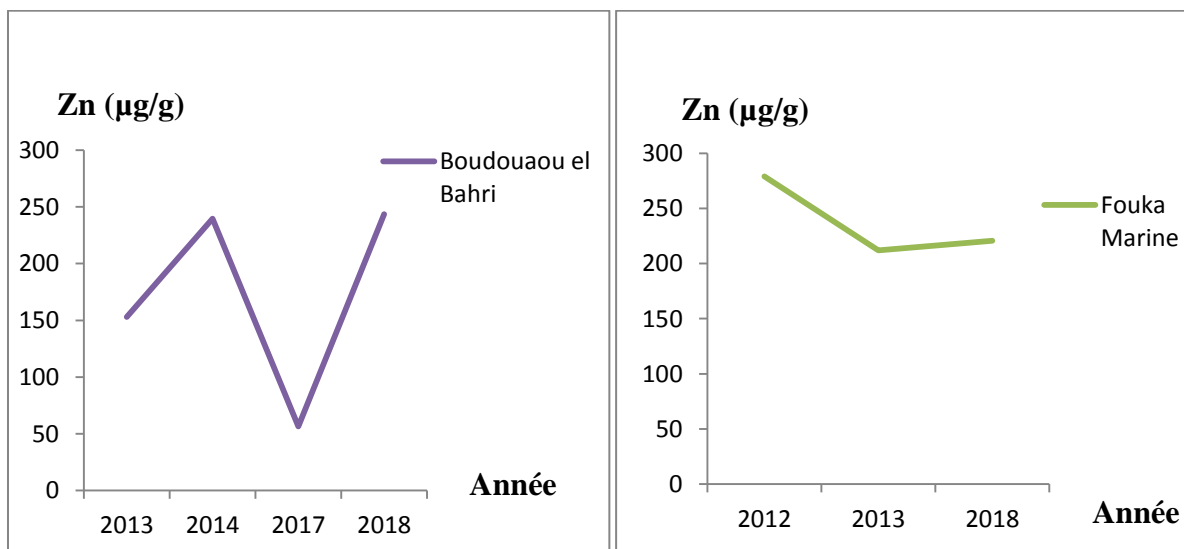
Les teneurs en Zinc dans les moules varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 56,43 $\mu\text{g/g}$ en 2017 et un maximum de 350,89 $\mu\text{g/g}$ en 2013.

Cette distribution temporelle qui est variée d'une année à une autre semble liée également à plusieurs facteurs : la méthode de traitement utilisée pour chaque travail, la période de prélèvement, pollution accidentel, contamination des échantillons et surtout le point de positionnement.

Les teneurs de Zn le plus importantes chez l'espèce *M. galloprovincialis* (**Figure 12**) se retrouvent dans le Port d'Alger dans les années 2013 et 2016, et dans Fouka marine dans les années 2012, 2018 et même dans l'année 2013, et pour l'année 2014 la station Boudouaou El Bahri représente une teneur de Zn très élevés. Par contre chez l'espèce *P. perna* (**Figure13**), les teneurs en Zinc les plus élevées se trouvent dans les sites de Boudouaou en 2014 et 2016 et Zeralda en 2013.

L'accumulation importante du Zinc dans les moules dans le port d'Alger due essentiellement aux activités maritimes qui consistent au chargement et au déchargement d'essences et d'autres produits chimiques ainsi que du séjour à quai des navires (corrosion et dissolution des peintures marines antifouling) (**Moumene, 2017**).

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



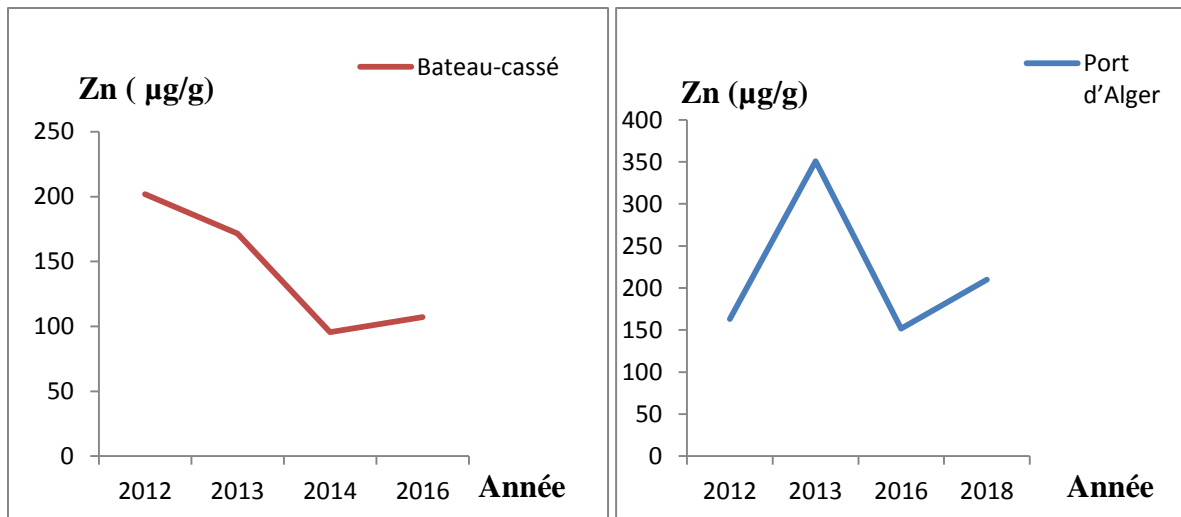


Figure 12: Les tendances d'évolution de la concentration du Zinc dans la moule *M. galloprovincialis* en fonction du temps et de l'espace dans les stations Fouka Marine, Bateau Cassé, Port d'Alger et Boudouaou el Bahri.

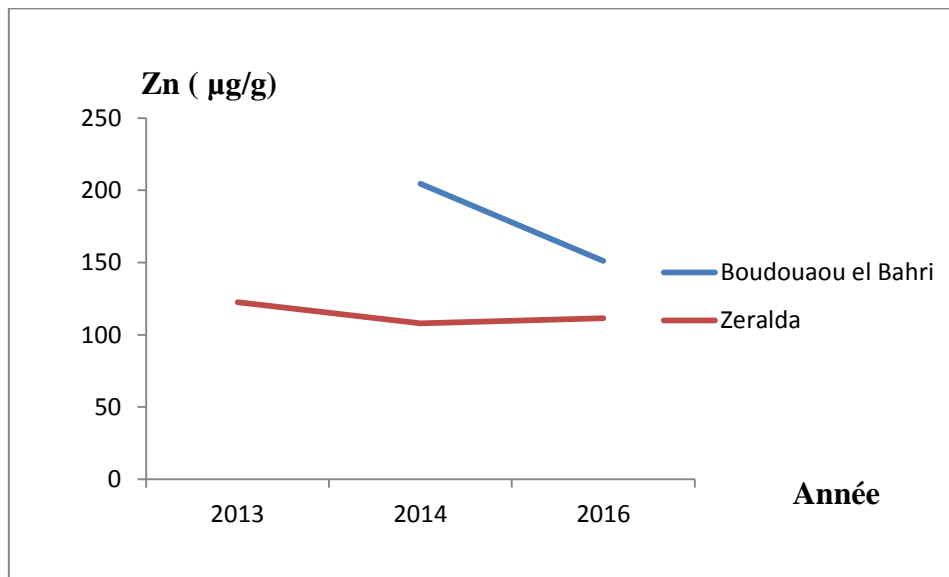


Figure 13: Les tendances d'évolution de la concentration du Zinc dans la moule *P. perna* en fonction du temps et de l'espace dans les stations de Zeralda et Boudouaou el Bahri.

Le cuivre

Les teneurs en Cuivre dans les moules varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 2,17 µg/g en 2013 et un maximum de 91,39 µg/g en 2016.

Les courbes montrent qu'il y a une augmentation des teneurs en cuivre au cours des années donc une augmentation de pollution par ce métal. Et cela due aux développements des activités urbaines et industriels.

Les teneurs en cuivre dans les moules (**figure 14**) sont plus importantes dans le port d'Alger dans les années 2013 et 2016 et dans le site de Fouka marine dans les années 2012 et 2017

chez l'espèce *M. galloprovincialis*. Par contre pour *P. perna* (figure15), les teneurs les plus élevés se trouvent dans le site de Zeralda.

L'accumulation importante du Cuivre dans les moules des sites Fouka Marine, Zeralda peut être due aux lessivages des terres agricoles (étant donné que les engrais et les biocides sont fréquemment à base de cuivre) et les apports terrigènes du oued Mazafran. Tandis qu'au niveau du port d'Alger cette pollution peut être d'origine de l'utilisation de matière active pour les peintures antisalissures marines, de plus, le port est une zone presque fermée où l'échange d'eau de mer est lent.

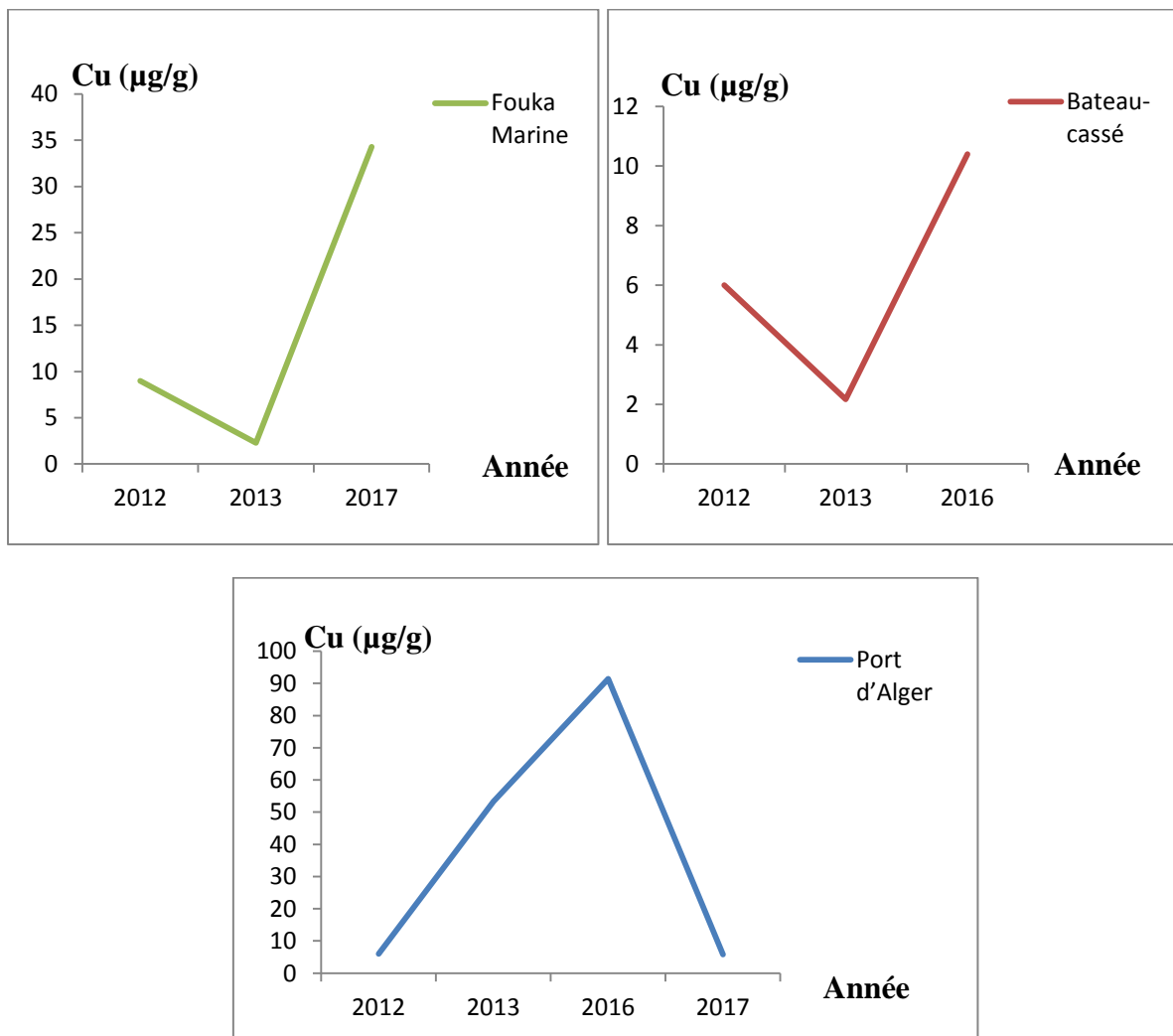


Figure 14 : Les tendances d'évolution de la concentration du Cuivre dans la moule *M. galloprovincialis* en fonction du temps et de l'espace dans les stations Fouka Marine, Bateau Cassé et Port d'Alger.

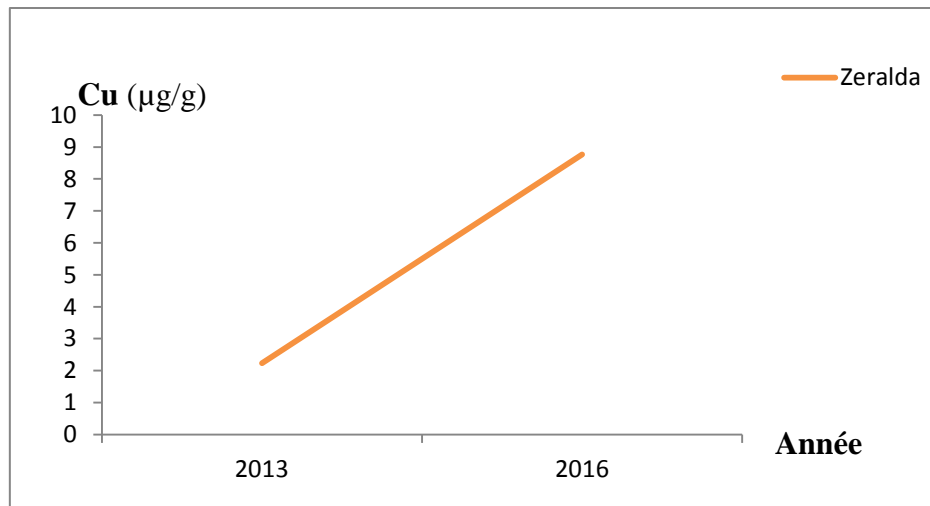


Figure 15: La tendance d'évolution de la concentration du Cuivre dans la moule *P. perna* en fonction du temps et de l'espace dans la station de Zeralda.

Le manganèse

Les teneurs en Manganèse dans les moules (**Figure16**) varient entre un minimum de 0,41 µg/g en 2018 à Fouka Marine et un maximum de 61,52 µg/g en 2013 Boudouaou El Bahri pour *M. galloprovincialis* alors que pour *P. perna* (**Figure17**) varient de 40,5 µg/g en 2013 à 24,27 µg/g en 2016.

Il y a une augmentation de concentration de ce métal entre les années 2012 et 2013 à Fouka marine, Bateau-Cassé et Port d'Alger puis diminue au cours des années dans les différents sites de prélèvement où l'année de 2013 enregistre de forte concentration de manganèse pour tous les sites mentionnés et notamment dans Boudouaou El Bahri. Cette anomalie en 2013 peut être probablement dû aux :

- Rejets domestiques ou industriels provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu dans la baie de Zemmouri (**Halilou et Laib, 2018**) ;
- Rejets urbains, industriels et portuaires de l'agglomération algéroise et des communes environnantes dans le Port d'Alger (**Moumene, 2017**).

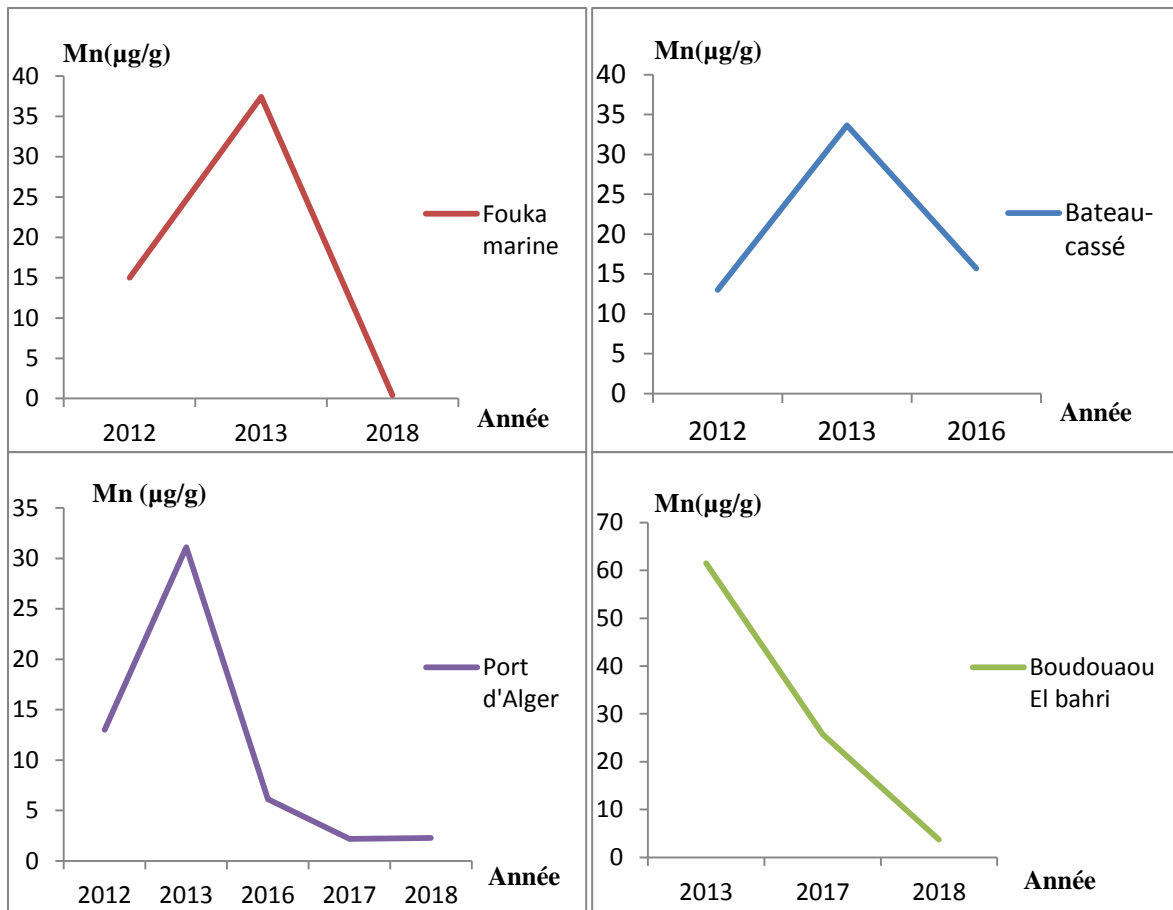


Figure 16 : Les tendances d'évolution de la concentration du Manganèse dans la moule *M. galloprovincialis* en fonction du temps et de l'espace dans les stations Fouka Marine, Bateau Cassé, Port d'Alger et Boudouaou El Bahri.

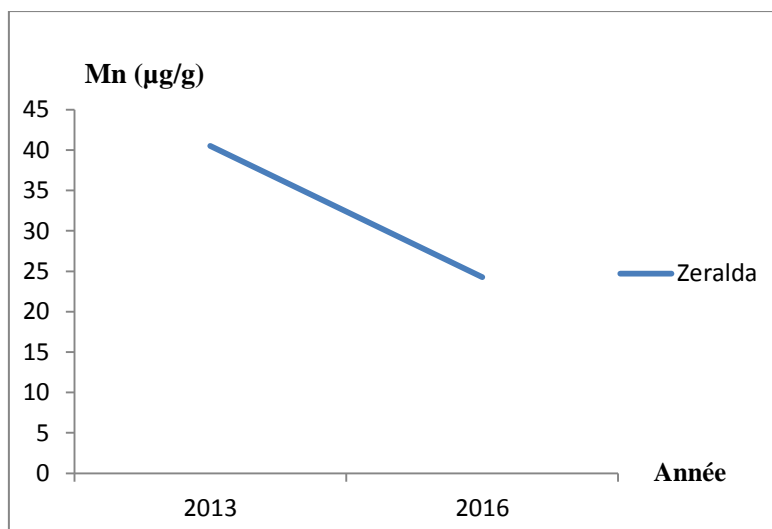


Figure 17 : La tendance d'évolution de la concentration du Manganèse dans la moule *P. Perna* en fonction du temps et de l'espace dans la station de Zeralda.

C. Corrélation inter métaux dans les moules du littoral algérois

Dans le but de connaître les relations de dépendance entre les différents métaux étudiés dans les moules de la zone d'étude, des corrélations inter métaux ont été effectuées.

Tableau 19: Intervalle critique du coefficient de corrélation (r).

| Valeur de (r) | $1 > r > 0.5$ | $0.5 > r > -0.5$ | $-1 < r < -0.5$ |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Signification | Corrélation positive significative | Corrélation non significative | Corrélation négative significative |

Les résultats exposés dans le tableau (20) montrent qu'il y a deux corrélations significatives entre les couples Mn-Cr et Fe-Ni ($r \approx 0.7$), ce qui peut signifier que ces métaux se bioaccumulent dans la moule d'une façon similaire. Alors que les corrélations non significatives entre les autres couples des métaux signifient que ces éléments se bioaccumulent indépendamment les uns par rapport aux autres. Cela ne peut s'expliquer que par la différence des variables biologiques (taille, poids, la période de prélèvement... etc.) des moules du littoral algérois (Sraoui, 2012).

Tableau 20: Corrélation des métaux en traces dans les moules *M. galloprovincialis* et *P. perna* dans le littoral algérois.

| | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cd | 1 | 0,031 | 0,083 | 0,077 | 0,063 | 0,118 | 0,109 | 0,122 | 0,272 |
| Co | | 1 | 0,063 | 0,063 | 0,063 | 0,118 | 0,094 | 0,054 | 0,288 |
| Cr | | | 1 | 0,134 | 0,130 | 0,710 | 0,204 | 0,122 | 0,376 |
| Cu | | | | 1 | 0,164 | 0,063 | 0,308 | 0,003 | 0,100 |
| Fe | | | | | 1 | 0,118 | 0,732 | 0,118 | 0,094 |
| Mn | | | | | | 1 | 0,031 | 0,070 | 0,319 |
| Ni | | | | | | | 1 | 0,176 | 0,202 |
| Pb | | | | | | | | 1 | 0,262 |
| Zn | | | | | | | | | 1 |

IV.3.2.2. La qualité bactériologique des moules

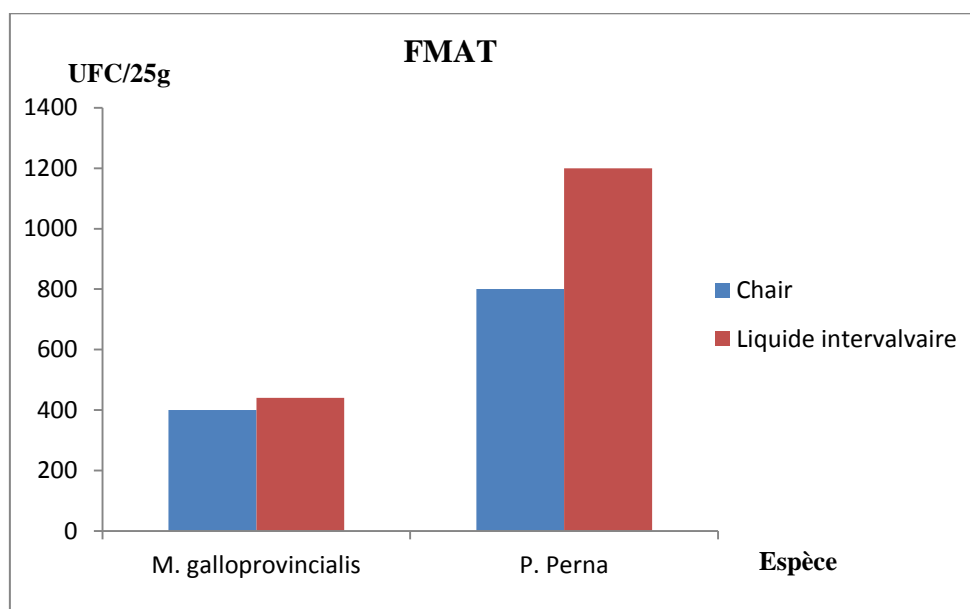
Les résultats obtenus (Tableau 21) de l'analyse bactériologiques des deux espèces : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linnaeus, 1758) montrent l'absence totale des germes pathogènes et des charges faibles en flore totale et coliformes totaux. Cependant, ces dernières ne dépassent pas le seuil au-dessous duquel le produit est considéré comme étant de bonne qualité.

Chez *Perna perna* (Figure 18), la charge en flore totale et coliformes totaux est plus élevée par rapport *Mytilus galloprovincialis*. Cette différence peut être probablement due au milieu où elle vit l'espèce *Perna perna* qui peut être trop chargée en microbes.

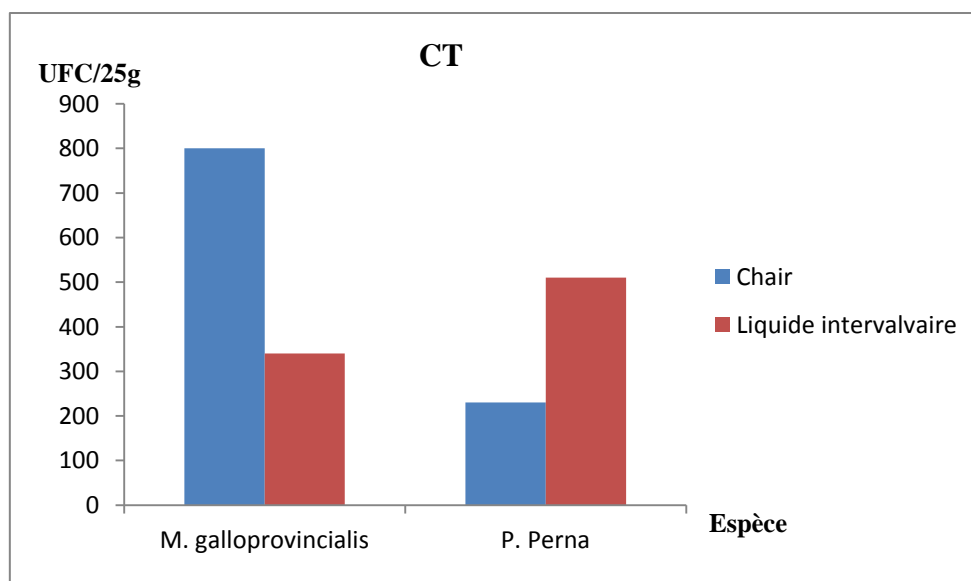
En comparant les résultats obtenus, la charge en flore totale et coliformes totaux dans les moules est plus élevée par rapport à celle de l'eau de mer, donc les moules sont des indicateurs de contamination fécale.

Tableau 21 : Représentation des résultats d'analyse bactériologique des moules de la côte Algéroise (Kerboub, 2014).

| | Espèce | Matrice | FMAT | CT | <i>E.Coli</i> | Salmonelle | Staphylocoques | <i>P.aeruginosa</i> |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------|------|---------------|------------|----------------|---------------------|
| Boudouaou El Bahri | <i>M. galloprovincialis</i> | Chair | 400 | 800 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Liquide intervalvaire | 440 | 340 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | <i>P. Perna</i> | Chair | 800 | 230 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Liquide intervalvaire | 1200 | 510 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ORCA Marine | <i>M. galloprovincialis</i> | Chair | 1440 | 1400 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Liquide intervalvaire | 840 | 1200 | 0 | 0 | 0 | 0 |



(A)



(B)

Figure 18: Les résultats microbiologiques de la FMAT (A) et les CT(B) Chez les moules *M. galloprovincialis* et *P. perna* dans la chair et le liquide intervalvaire à Boudouaou El Bahri.

IV.3.2.3. La composition biochimiques des moules

Pour les deux espèces *M. galloprovincialis* et *Perna perna*, les teneurs en lipides varient entre 4,06 et 39,36 % avec une moyenne de 15,11 % alors que les protéines sont comprises entre 0,88 et 21,32 % avec une moyenne de 11,9 %. Cependant, la moyenne des glucides est de 0,33 % et varient entre minimum de 0,033 et un maximum de 0,059 %.

Pour l'évolution des paramètres biochimique, on constate que les teneurs en lipides augmentent (**Figure19**) de 4,06% en 2014 à 39,36% en 2017 donc une richesse des moules de 2017 en lipides par rapport à 2014.

Tableau 22:Tableau récapitulatif des teneurs moyennes (%) en protéines, lipides et glucides.

| Espèce | Référence | Site | Lipides | Protéines | Glucides |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|---------|-----------|----------|
| <i>M. galloprovincialis</i> | Kerboub 2014 | Fouka marine | 4,06 | - | 0,05 |
| | | Figuier | - | 21,32 | - |
| | Moumene 2017 | Fouka marine | 39,36 | - | - |
| | | Zeralda | - | 7,36 | - |
| | | Sercouf | 11,05 | - | - |
| | Boudouaou el Bahri | - | 0,88 | - | |
| <i>p. perna</i> | Kerboub 2014 | Boudouaou el Bahri | 5,96 | - | - |
| | | Figuier | - | 18,03 | 0,03 |

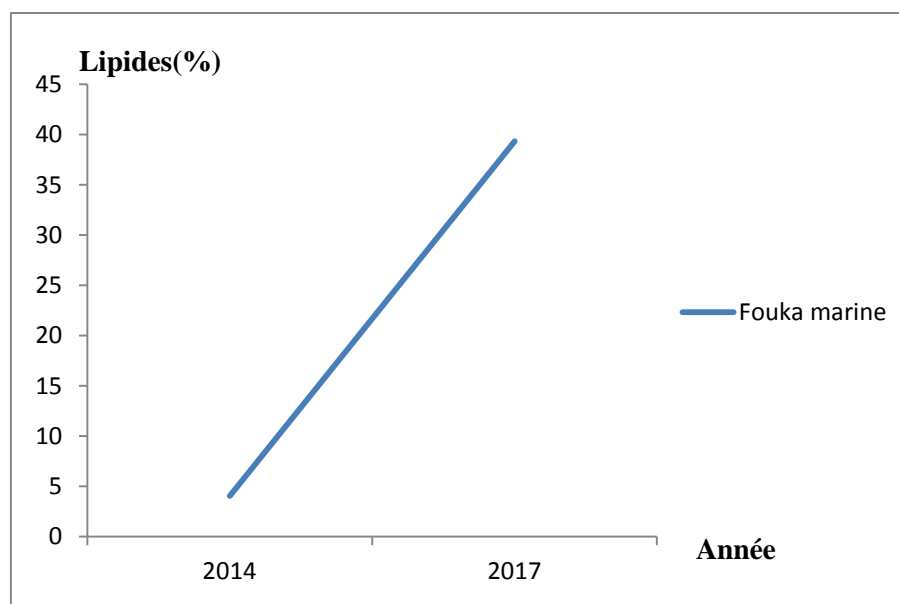


Figure 19: La tendance d'évolution des lipides de la moule *M. galloprovincialis* en fonction du temps et de l'espace dans la station de Fouka Marine.

IV.3.3. Comparaison des teneurs moyennes des métaux traces du littoral algérois avec d'autres sites de la côte algérienne et Méditerranéenne

Les concentrations en métaux traces dans les moules des différentes régions sont représentées dans le tableau ci-dessous. Ce dernier montre que les valeurs de la côte algéroise sont proches de celles trouvées dans d'autres côtes sauf pour le port d'Oran qui a des concentrations élevées, ce qui peut être expliqué par une forte pollution dans cette zone portuaire.

Tableau 23: Comparaison des teneurs moyennes des métaux traces de la baie de Bou-Ismaïl, baie d'Alger et baie de Zemmouri avec d'autres sites de la côte algérienne et Méditerranéenne.

| Zone d'étude | Travaux effectués | Sites d'étude | Zn | Cu | Mn |
|----------------|-------------------|------------------|---------------|-------------|-----------|
| Côte Algéroise | 2013 | Bou-Ismaïl | 202 | 2,26 | 36,12 |
| | | Baie d'Alger | 171-350,89 | 2,17-53,34 | 33,65 |
| | | Baie de Zemmouri | 167,41 | 2,26 | 44,31 |
| | 2014 | Bou-Ismaïl | 221,30-107,90 | - | - |
| | | Baie d'Alger | - | - | - |
| | | Baie de Zemmouri | 239,52-133,93 | - | - |
| | 2016 | Bou-Ismaïl | 111,22 | 7,59 | 15,09 |
| | | Baie d'Alger | 107,2-151,77 | 10,04-91,39 | 6,12-15,7 |
| | | Baie de Zemmouri | 137,9 | 8,12 | 9,78 |
| | 2017 | Bou-Ismaïl | 218,236 | 19,82 | 10,42 |
| | | Baie d'Alger | 152,81 | 11,15 | 2,79 |
| | | Baie de Zemmouri | 111,27 | 8,43 | 10,68 |

| | | | | | |
|-------------------------------|------|------------------------------|--------|-------|------|
| | 2018 | Bou-Ismaïl | 223,57 | - | 1,37 |
| | | Baie d'Alger | 209,80 | - | 2,29 |
| | | Baie de Zemmouri | 246,01 | - | 3,10 |
| Côte Algérienne | 1998 | El Kala | 60,06 | 4,66 | - |
| | 2012 | Port d'Oran | 385,53 | 19,72 | - |
| | 2013 | Port de Béjaïa | 7,2 | - | - |
| Côtes Méditerranéennes | 2014 | Manzel Abdelrahman (Tunisie) | 53,96 | 3,70 | - |
| | 2005 | région marocaine | 225 | - | - |

Conclusion

Conclusion

Le travail consiste à réaliser une étude rétrospective sur le suivi de l'évolution de l'état de pollution du littoral algérois par les métaux traces. Cependant, cette recherche bibliographique constitue une base de données sur le maximum de travaux réalisés sur la contamination des moules dans la région d'Alger par les métaux traces.

Après les résultats obtenus, un diagnostic de l'état de pollution est établi pour chaque site étudié. L'évolution de l'état de pollution par les métaux traces depuis l'année 2012 jusqu'à l'année 2018 n'est pas marquée de façon croissante, il varie d'une année à une autre. Cette variation peut être due à plusieurs facteurs, comme la variation de la période de prélèvement (estival ou printanière) à un autre.

Concernant l'étude des tailles, les résultats démontrent que la taille des moules variait en fonction de la bonne qualité de l'environnement marin.

Enfin, cette étude montre également que *M. galloprovincialis*, semble avoir plus d'affinité pour l'accumulation du Zn. En revanche, *P. perna* a plus d'affinité pour Mn. Cette différence dans l'affinité des espèces vis-à-vis des métaux va modifier la stratégie d'utilisation des bioindicateurs. Donc l'utilisation de plusieurs espèces pour l'étude de la pollution par site est recommandée.

La comparaison des teneurs en métaux traces dans les moules du bassin algérois avec d'autres zones en Algérie et dans le bassin méditerranéen révèle une pollution certaine par le Zn le long de la rive sud de la méditerranéen.

Perspectives

Au terme de cette étude, il semble nécessaire de :

- Continuer le suivi des moules pendant plusieurs années afin d'établir une stratégie pour résoudre et limiter le problème de la pollution incontrôlée dans la côte algéroise.
- Elargir le suivi des moules pour l'ensemble du bassin Algérien et à longue période (Implanter un réseau de biosurveillance à l'échelle nationale).
- Elargir l'utilisation des plusieurs bioindicateurs par site et utiliser l'ensemble des métaux traces pour l'étude de la pollution.
- Rechercher les origines de la contamination et la mise en œuvre des moyens pour réduire la pollution des zones contaminées.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

AFNOR (1992). Qualité écologiques des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique globale normalisé (IBGN). Document non publié. France : AFNOR.

AL SID CHIKH., S. (2009). Baie de Bou-Ismaïl et d'el Djamilia : Paramètres Océanographiques, gestion littorale et imagerie bathymétrique. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 98 p.

ALZIEU., C. MICHEL., P. CHIFFOLEAU., J-F. BOUTIER., B et ABARNOU., A. (1999). Dragages et environnement marin : état des connaissances[en ligne]. Rapport. Plouzané : Ifremer. [Consulté le : 23 mars 2020]. Disponible sur le web : <https://archimer.ifremer.fr/doc/1999/rapport-1040.pdf>.

AMIARD., J-C. (2011). Les risques chimiques environnementaux, méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. 2° Ed.France: Lavoisier. 65 p.

AMIARD., J-C. (1990). Défense et illustration de l'écotoxicologie. Journal de Recherche Océanographique[en ligne]. Volume 15, fascicules 3-4, [Consulté le 15 avril 2020], 92-95 p. Disponible sur le web : https://www.researchgate.net/publication/314290609_Defense_et_illustration_de_l'ecotoxicologie.

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. France : Université d'Aix-Marseille II, 149 p.

BEAUMONT., A. (2008). Genetic studies of laboratory reared mussels, *Mytilus edulis*: heterozygote deficiencies, heterozygosity and growth. 273-285 p.

BELABED., B. (2010). La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Source de contamination des écosystèmes aquatiques » [en ligne]. Thèse de doctorat. Biologie et physiologie des organismes marins. Annaba : Université Badji Mokhtar. [Consulté le 15 mars 2020]. Disponible sur le web : <https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/07/BELABED-BOURHANE-EDDINE.pdf>.

BELADJINE., S. GUERFI., H. (2015). Evaluation des teneurs en métaux lourds dans l'environnement marin du littoral Algérois chez *Patella sp* et les moules. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 91 p.

BELIAEFF., B. BOUVET., G. FERNANDEZ., G-M. DAVID., C et LAUGIER., T. (2011). Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie [en ligne]. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. [Consulté le 13 mai 2020]. Disponible sur le web : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00050/16163/13647.pdf>.

BELKASSA., R. HOUMA., F. CIORTAN., R et MEZOUAR., K. (2008). Protection Works Of The Sea Coast In Algeria.

BESSE., J-P. GEFFARD., O et COQUERY., M. (2012). Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the water framework directive. *Trend Anal* [en ligne]. *Chem*, 36[Consulté le 23 février 2020], 113-127 p. Disponible sur le web : https://www.researchgate.net/publication/256999038_Relevance_and_applicability_of_active_biomonitoring_in_continental_waters_under_the_Water_Framework_Directive.

- BINEY., C. AMUZU., A-T. CALAMANI., D. KABA., N. MBOME., I-L. NAVEVE., H et SAAD., M-A-H. (1994).** Review of heavy metals in the African aquatic environment. Ecotoxicol environ [en ligne], 28(2) [Consulté le : 28 février 2020], 134-159 p. Disponible sur le web : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7525211/>.
- BLIEFERT., C. PERRAUD., R. (2001).** Chimie de l'environnement Air, eau, Sol, Déchets. 2° Ed. France: De Boeck. 477 p.
- BOUADI., C-D. (2016).** Etude des métaux traces chez les moules de la côte algéroise (*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*). Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 76 p.
- BOUDJELAL., Y. (1995).** Heavy metals the superficial sediments of Bou-Ismaïl bay. Report of Laboratory of chemistry and marine pollution. Alger: ISMAL.
- BOUDOU., A. (2004).** Les Journées contamination décontamination des mollusques bivalves.
- BOUFASSA. (2015).** Plages : la pollution gagne du terrain. Article dans le journal de courrier.
- BOULAHIDID., M. EDDALIA., N. BOUDJELLAL., B et AZZOUZ., M (2003).** Les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physico-chimiques et environnementaux. Annales de l'Institut National Agronomique – El Harrach-Vol.24, N°1 et 2, 39-54 p.
- BOULAHIDID., M. BRINIS., A. BRAHMIA., A. BOUDJELLAL., B et EDDALIA., N. (2007).** Hydrological and environmental aspects of waters of the Bou Ismaïl bay between the continental influence and the open sea waters. EGU Vienna 2007, 14-18 April, Geophysical Research Abstracts, Vol.9, 05623 p.
- BOUTIBA., Z. (2004).** Quid de l'environnement marin. Oran : Dar El Gharb. 273 p.
- BOUTIBA., Z. TALEB., M-Z. (2007).** La moule *Mytilus galloprovincialis* : Bioindicateur de pollution marine – Cas du port d'Oran[en ligne]. Sciences & Technologie, C – N°25 [Consulté le : 3 mars 2020], 59-64 p. Disponible sur le web : <http://revue.umc.edu.dz/index.php/c/article/view/391/499>.
- BROWN., B-F. (1971).** Les matériaux et la corrosion en milieu marin. In : Matériaux et Techniques[en ligne], 22-27 p. [Consulté le : 2 mai 2020]. Disponible sur le web : <https://www.mattech-journal.org/articles/mattech/abs/1971/01/mattech19715901p22/mattech19715901p22.html>.
- CASAS., S. (2005).** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen[en ligne]. Océanologie biologique, Environnement marin. France : Université du Sud Toulon. [Consulté le 14 avril 2020]. Disponible sur le web : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00009551>.
- CASAS., S. (2007).** Modélisation de la bioaccumulation des contaminants organiques (PCB, DDT et HAP) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen [en ligne]. Rapport. Paris : Ifremer. [Consulté le 14 avril 2020]. Disponible sur le web : <http://docplayer.fr/22379367-Modelisation-de-la-bioaccumulation-des-contaminants-organiques-pcb-ddt-et-hap-chez-la-moule-mytilus-galloprovincialis-en-milieu-mediterraneen.html>.
- CHARLOU., J-C. JOANNY., M. (1983).** Dosage du mercure et d'autres métaux dans les sédiments marins par absorption atomique ; Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Aminot et Chaussepied. Brest : CNEXO, p 102.

Références Bibliographiques

- CHIFFOLEAU., J-F. (1992).** La Pb dans les poissons et les mollusques marins : Aspect analytique du Plomb dans l'environnement. Paris : Lavoisier, tec et doc. 308 p.
- CLAISSE., D. (2007).** Surveillance chimique : Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse des contaminants chimiques. France : Ifremer, 22 p.
- COULIBALY., A-S. MONDE., S. WOGNIN., V-A et AKA., K. (2009).** Analyse des éléments traces métalliques (ETM) dans les baies estuariennes d'Abidjan en Côte d'Ivoire. In : Afrique Sciences 05(3) [en ligne], 77-96 p. [Consulté le 26 avril 2020]. Disponible sur le web : <http://www.afriquescience.info/document.php?id=1661>.
- DAMOUCHE., R. (2017).** Processus mis en jeu dans l'évolution morpho-dynamique de la Baie de Zemmouri (Modélisation et observations hydrodynamiques et sédimentaires). Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 132 p.
- DE KOCK., W-C. KRAMER., K-J-M. (1994).** Active Biomonitoring (ABM) by translocation of Bivalves mollusks. In: Kramer, K.J.M. (Ed.), Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries [en ligne], 51-84 p. [Consulté le 15 avril 2020]. Disponible sur le web: <https://www.researchgate.net/publication/230312727>.
- DEUDERO., S. BOX., A. MARCH., D. VALENCIA., J-M et CALVO., M. (2007).** Organic compounds temporal trends at some invertebrate species from the Balearics, Western Mediterranean [en ligne]. Chemosphere 68(9), [Consulté le 22 mars 2020], 1650-1659 p. Disponible sur le web : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653507004584?via%3Dihub>.
- DEVALLOIS., V. (2009).** Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux [en ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de l'Environnement. France : Université de Provence. [Consulté le 25 avril 2020]. Disponible sur le web : https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Formation_recherche/Theses/Theses-soutenues/DEI/Documents/2009-these-Devallois.pdf.
- ESSEIN., J-P. 2009.** Distribution, Seasonal Variations and Ecotoxicological Significance of Heavy Metals in Sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp. In: Water Air Soil Pollution [en ligne], 91–105 p. [Consulté le 2 mars 2020]. Disponible sur le web : <https://www.researchgate.net/publication/226805069>.
- F.A.O (2006).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture [en ligne]. Rome Italie : Département de la pêche et de l'aquaculture de la FAO 2006. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible sur le web : <http://www.fao.org>.
- FERRANI., A. CHEHAIMA., L. (1998).** Contribution à l'élaboration des données de bases de la baie de Zemmouri et l'étude du site de Palm Beach (baie de Bou Ismail). Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ISMAL, 133 p.
- GAUJOUS., D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2^e éd. France : Technique et documentation. 220 p.
- GHALI., S. (2008).** Etude de la carbonisation d'un précurseur végétal, Les noyaux d'olives : Utilisation dans le traitement des eaux [en ligne]. Mémoire de Magister. Pollution chimique et environnement. Skikda : Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur. [Consulté le 30 avril 2020]. Disponible sur le web : http://www.univ-skikda.dz/doc_site/recherchePG/theses_memoires/fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environnement/ghali.pdf.

Références Bibliographiques

- GOSLING. (1992).** Developments in aquaculture and fisheries science. the mussel *Mytilus*: Ecology, Physiology, Genetics and Culture. Amsterdam-London-New York-Tokyo: Elsevier, 589 p.
- GOUFFI., H. GUETTAF., D. (2017).** Etude de la croissance de *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) à Ain Tagourait, Tipaza. Mémoire d'ingénieur. Aquaculture. Alger: ENSSMAL, 63 p.
- GOUIDOU., O. TOUZI., W. (2016).** Mise en place d'une base de données sédimentologiques dans le domaine côtier de la grande baie de Zemmouri (Etablissement de la carte morpho-sédimentaire). Mémoire de fin d'étude. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 117 p.
- HALILOU., N. LAIB., M. (2018).** Biosurveillance des métaux traces chez deux espèces de moules dans le littoral algérois, Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 81 p.
- HAOUCHINE., M. (1995).** Ecologie et biologie de la reproduction de la moule (LMK) au sein d'un système lagunaire saumâtre lac El Melaah. Thèse magister. Ecologie marine. Alger : USTHB, 105 p.
- KANKOU., M. (2004).** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – Etude en laboratoire du comportement de deux pesticides [en ligne]. Thèse de Doctorat. Chimie et Microbiologie de l'Eau. France : Université de Limoges. [Consulté le 25 avril 2020]. Disponible sur le web : <http://aurora.unilim.fr/theses/nxfile/default/08d0c2ab-7a48-4a3a-8a16-a300dc8bb110/blobholder:0/2004LIMO0018.pdf>.
- KASSAR., A. (2011).** Suivi de la chlorophylle et du phytoplancton dans les zones côtières algéroises : Apport des mesures satellitaires à leur modélisation. Mémoire de magister. Environnement. Alger : ENSSMAL, 232 p.
- KERBOUB., L. (2014).** Biochimie des moules de la région Algéroise. Mémoire de Master. Environnement. Alger : ENSSMAL, 45 p.
- KERBOUB., L. (2014).** Biosurveillance des eaux côtières de la région Algéroise par les moules : métaux traces et qualité bactériologique. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 77 p.
- KHEDIMI., F. ABDERRAHMANI., K. (2008).** Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de télédétection, Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 78 p.
- LABARTHE., T. (2007).** Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche comme *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires [en ligne]. Thèse de doctorat. Océanologie, Biologie et Environnement marin. France : Université La Rochelle. [Consulté le 2 mai 2020]. Disponible sur le web : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00339245/document>.
- Laboratoire des Etudes Maritimes (1989).** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger. Document non publié. Alger : LEM.

Références Bibliographiques

Laboratoire des Etudes Maritimes (2006). Etude d'impact de l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger. Document non publié. Alger : LEM.

LACAZE., J-C. (1996). La pollution des mers. France : Dominos Flammarion.128 p.

LAFABRIE., C. (2007). Utilisation de *Posidonia oceanica* (L.) : Delile comme bioindicateur de la contamination métallique [en ligne]. Thèse de Doctorat. Ecologie marine. France : Université de Corse. [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible sur le web : <https://archimer.ifremer.fr/doc/2007/these-3082.pdf>.

LAMPREA., K. (2009). Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains [en ligne]. Thèse de Doctorat. Ingénierie de l'environnement. France : Ecole Centrale de Nantes(ECN). [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible sur le web : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01002809>.

LEROY., J-B. (1999). La pollution des mers. 4^e éd. France : Le point des connaissances actuelles. 128 p.

LEWIS., J-R. SEED., R. (1969).Morphological variations in *Mytilus* from S.W.England in relation to the occurrence of *M. galloprovincialis* (Lmk). 231-253 p.

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

MADI., F. (2009).Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines (Cas : la baie d'Alger). Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 105 p.

MAHEO., R. BRIGITTE. (1977). Les coquillages, Ouest France : Rennes, 32 p.

MAUCHE., S. (1987). Mécanisme hydro-sédimentaire en baie d'Alger. Approche sédimentologique, Thèse de doctorat océanologique. Géochimie et traitement statistique. Université de Perpignan, 213 p.

MARKERT., B-A. BREURE., A-M. et SECHMEISTER., H-G. (2003). Bioindicators and Biomonitors : Principles, Concepts and Applications. Trace Metals and others Contaminants in the Environment [en ligne]. Elsevier. [Consulté le 27 février 2020]. Disponible sur le web : <https://www.elsevier.com/books/bioindicators-and-biomonitors/markert/978-0-08-044177-1>.

MARTEIL., L. (1976). La conchyliculture française ; Biologie de l'huître et de la moule, Mécanismes de bioaccumulation des métaux-traces chez les organismes aquatiques [en ligne]. Livret des résumés, [Consulté le 22 février 2020], Ifremer – Nantes, 1-18 p. Disponible sur le web : <http://envlit.ifremer.fr/content/download/27435/222456/file/resumescontamindecontamin2.pdf>.

MEGUELLATI., A. SRAOUI., A. (2012). Les métaux traces dans les sédiments et les biotes dans le milieu marin dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 64 p.

Références Bibliographiques

- MERKERT., B. (2007).** Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. Third International Symposium – Federation of European Societies on Trace Elements and Minerals (FESTEM) [en ligne], Vol, 21(1), [Consulté le : 27 mars 2020] ,77-82 p. Disponible sur le web : https://www.researchgate.net/publication/5807336_Definitions_and_principles_for_bioindication_and_biomonitoring_of_trace_metals_in_the_environment.
- MERSCH., J. (1993).** Modalités d'utilisation de la moule Zèbre en tant qu'indicateur biologique de la contamination des écosystèmes d'eau douce par les métaux lourds [en ligne]. Thèse de Doctorat. Toxicologie de l'Environnement. France : Université de Metz. [Consulté le 27 juin 2020]. Disponible sur le web : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01775469/document>.
- MIGUEL., S-A. (2008).** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Mill uni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique [en ligne]. Thèse de Doctorat. Sciences de la Terre et Environnement. France : Université Paul Sabatier - Toulouse III. [Consulté le 22 août 2020]. Disponible sur le web : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00277431>.
- MILLOT., C. TAUPIER., L-I et MENZOHR., M. (1987).**The circulation of the lavantine intermediate water in the Algerian basin. Journal of geophysical research. 8265-8276 p.
- MIQUEL., G. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé [en ligne]. Rapport.France :Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. [Consulté le 21 mai 2020]. Disponible sur le web : https://www.senat.fr/rap/100-261/100-261_mono.html.
- MOULFI EI HOUARI., L. AMBROISE., D et MATHIEU., R. (1999).**Distribution des foraminifères benthiques actuels sur la marge continentale Algéroise (baie de Bou Ismail). Revue de micropaléontologie. Vol 42, N°4, 315-327 p.
- MOUMENE., I. (2017).** Bioaccumulation des métaux traces chez les moules de la côte algéroise. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 71 p.
- O. N. M (2010).** Le climat en Algérie (mise à jour du 21 Avril 2010). Office National de la Météorologie, Alger : ONM.
- OTMANI., H. (2014).**Impact des infrastructures maritimes sur le littoral: Cas du port de Cap Djinet. Aménagement du littoral. Alger : ENNSMAL, 107 p.
- P.A.C. (2006).** Programme d'aménagement côtier (zone côtière algéroise). Rapport du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement [en ligne]. Alger. [Consulté le 10 avril 2020]. Disponible sur le web: <http://iczmplatform.org/storage/documents/1gSRSsefP9VCjOQQbD6AVcmb1dKF0ChBE6mKiJ56.pdf>.
- RAMADE., F. (1992).** Précis d'écotoxicologie. Paris : Mosson. 304 p.
- RAMADE., F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. France: Ediscience International. 690 p.

Références Bibliographiques

- REBHL, S. (2013).** Les métaux traces dans les deux espèces de moules *Mytillus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linne, 1758) du littoral algérois. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 34 p.
- RODIER, J. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Paris : 8^{ème} Ed. Dunod, 1383 p.
- SAHNOUN, Z. (2009).** Etude préliminaire des indices physiologiques (Indice de Réplétion, Indice Gonadique) et dosage des métaux lourds chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) pêché sur le littoral mostaganémois [en ligne]. Thèse de Magister. Biologie et Pollution Marines. Oran : Faculté des sciences. [Consulté le 15 juin 2020]. Disponible sur le web : <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH2936.pdf>.
- SERICANO, J-L. WADE, T-L. JACKSON, T-J. BROOKS, J-M et TRIPP, P-W. (1995).** Trace Organic contamination in the Americas-an overview of the US National Status & trends and the international mussel watch programmes. In : Marine Pollution Bulletin[en ligne], 214-225 p. [Consulté le 10 juin 2020]. Disponible sur le web : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0025326X9500197U>.
- SHAFEE, M. (1999).** Pêche des bivalves sur la côte méditerranéenne marocaine: catalogue d'espèces exploitées et d'engins utilisés [en ligne].Maroc. [Consulté le 15 avril 2020]. Disponible sur le web : www.albacharia.ma.
- SRAOUI, A. (2012).** Les métaux traces dans deux bivalves *M. galloprovincialis* et *P. perna* du littoral algérois : Etat et analyse rétrospective. Mémoire de Master. Environnement. Alger : ENSSMAL, 25 p.
- TAOUDIAT, S. (2009).**Hydrologie et sels nutritifs dans les eaux de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ISMAL, 69 p.
- VAISSEIERE, R. FREDJ, G. (1963).** Contribution à l'étude de la faune benthique de plateau continental de l'Algérie. Bull. Inst. Oceanog. Monaco. 60(1272). 83 p.
- ZEGHDOUDI, E. (1994).**Contribution à l'étude de l'exploitation de trachurus trachurus (LINNE, 1758) dans la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur. Halieutique. Alger : ENSSMAL, 83 p.

Annexes

Annexe N°1:

Point de prélèvement



Figure 20: Point de prélèvement des moules au niveau de Port d'Alger.

Annexe N°2 :

Les mesures biométriques

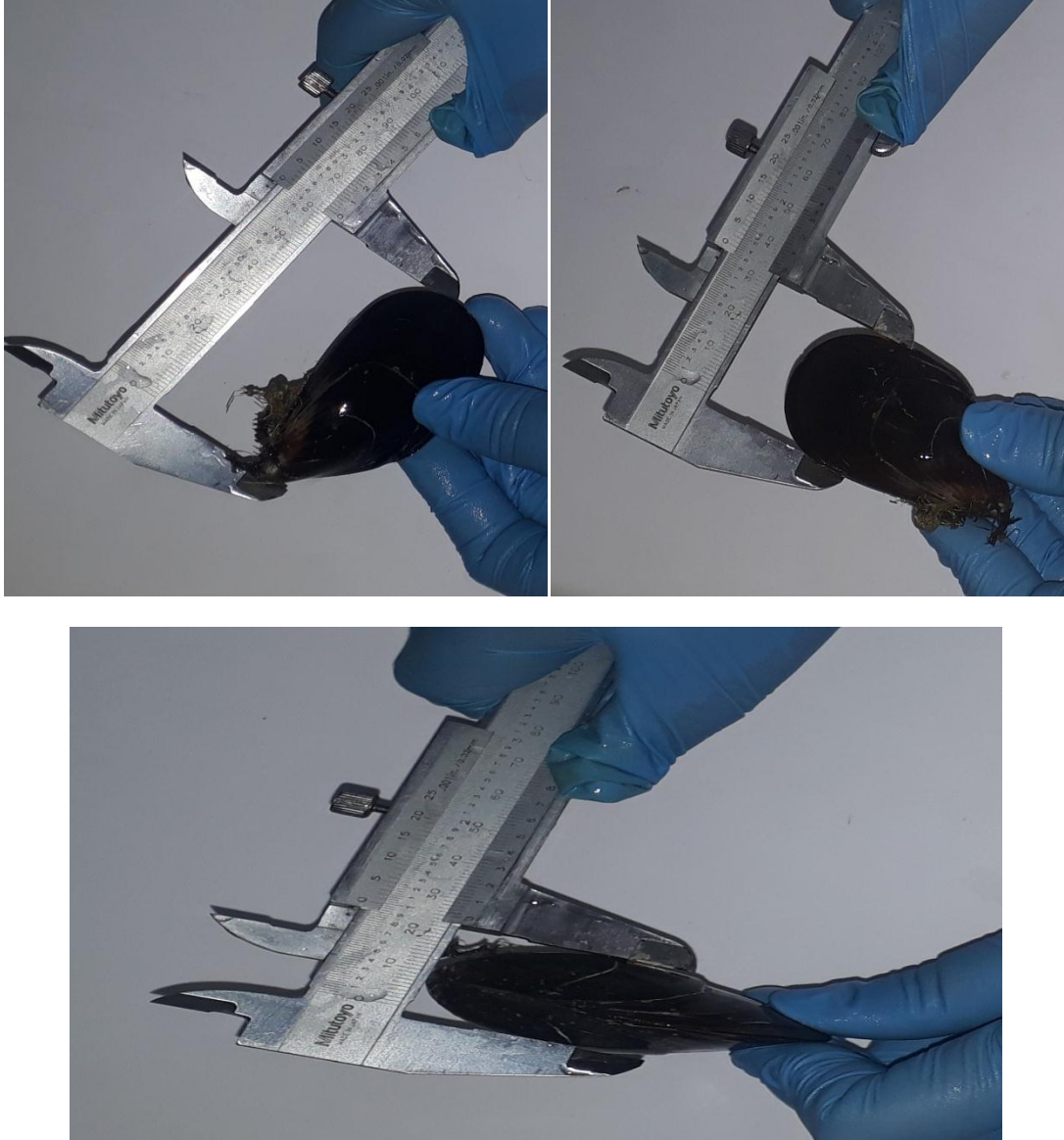


Figure 21: Les mesures des paramètres biométriques à l'aide d'un pied à coulisse.

Annexe N°3 :

La pesée des moules



Figure 22: La pesée des moules au laboratoire.

Annexe N°4 :

Indice de condition

A. Indice de Lawrence et Scott

Cet indice est mesuré par une méthode simple à mettre en œuvre mais il faut éviter que la moule perde de l'eau intercellulaire en le pesant rapidement après sa sortie de l'eau.

Il est calculé par la formule ci-dessous :

Un indice de 80 correspond à un produit maigre, de qualité médiocre alors que l'optimum est atteint pour un indice supérieur à 120. Une valeur moyenne de 106 caractérise le littoral français (Besse et al, 2012).

$$ICLS = \frac{1000 * \text{poids de chair sèche}}{\text{poids entier} - \text{poids de coquille}}$$

B. Indice de Walne et Mann

Cet indice est celui qui est le moins soumis aux aléas de perte d'eau intervallaire (pas de poids entier ou dénominateur).

Celui-ci est plus précis (élimine le biais de la perte en eau) mais plus long à obtenir du fait du séchage. Il renvoie une valeur moyenne de 182 (selon une étude concernant le littoral français) (**BESSE et al, 2010**).

$$ICWM = \frac{1000 * \text{poids de chair sèche}}{\text{poids de coquille sèche}}$$

Annexe N°5:

Principe de SAA

La Spectrométrie d'Absorption Atomique SAA constitue un outil privilégié d'analyse d'échantillons liquides (**AFNOR, 1992**) obtenus après extraction spécifique à partir des matières solides (analyse des roches, sédiment, sol, biote), Cette méthode utilise l'absorption d'énergie lors de l'excitation des atomes.

A. Principe de la SAA

- La SAA consiste à vaporiser l'échantillon liquide à l'aide d'une flamme dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant des longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché. En traversant la flamme, les ondes lumineuses, dont les longueurs d'ondes correspondent à l'élément dosé sont absorbées par les ions existées présentes dans la flamme.
- Lorsque les atomes d'un élément ont été détectés, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de lumière d'une fréquence F bien définie et propre à cet élément dispersé dans une flamme possédant la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence F. il en résulte une absorption du rayonnement incident lié à la concentration de l'élément considéré.
- Cette absorption est mesurée à l'aide d'un prisme dispersif et d'une cellule photoélectrique : elle est directement proportionnelle à la concentration de l'élément qui est déterminé par l'application de la de la loi empirique de Beer-Lambert-Bouguer :

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

$$\text{Log } I_0 / I = k.e.C = DO = \text{Abs}$$

I₀ = Rayon émis

I = Rayon transmis

K = Coefficient d'absorption atomique

e = épaisseur de la tranche

C = concentration de l'élément (y)

DO = Densité optique

Abs = Absorbance.

B. 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 :

1. La source lumineuse;
2. Le collimateur (photomultiplicateur);
3. Le brûleur atomiseur;
4. Le monochromateur ou disperser;
5. L'amplificateur;
6. Le détecteur;
7. L'afficheur ou enregistreur des données (intégrateur ou pc).

C. 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 :

$$Y = a \cdot X + b$$

Avec :

Y : absorbance du métal

X : concentration du métal

a : pente de la droite

b : ordonnée à l'origine.

D. Mode de calcul

La concentration de chaque métal est déterminée à partir de l'équation de la droite d'étalonnage, cette dernière est établie par régression linéaire. Connaissant la densité optique du métal (calculée par le programme), la concentration du métal dans l'organisme est calculée selon la formule suivante (Asso, 1982) :

$$Cps = Cc/Ps * V$$

Où

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

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

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

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

Résumé

Le présent travail vise à évaluer le degré de contamination de l'écosystème marin du littoral algérois par la biosurveillance en utilisant les deux espèces des moules *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* comme bioindicateurs de la pollution. Trois zones de prélèvement ont été choisies : baie de Bou Ismail, baie d'Alger et baie de Zemmouri. L'objectif principale est de décrire l'état de la pollution de ces zones, estimer son évolution dans le temps et la comparer à d'autres zones en Algérie et dans le bassin méditerranéen, et donc d'apprécier la qualité des eaux du milieu marin.

Les résultats obtenus pour le Zn montrent une pollution certaine dans presque toute la zone d'étude. De leur côté, les teneurs de Cu reflètent l'existence d'une pollution importante dans la baie d'Alger, moindre dans la baie de Bou Ismail et quasiment absente dans la baie de Zemmouri.

Mots clés : Métaux traces, les moules, biosurveillance, pollution marine.

Abstract

The present work aims to assess the degree of contamination of the marine ecosystem of the Algiers coastline through biomonitoring using the two species of mussels *Mytilus galloprovincialis* and *Perna perna* as a bioindicator of pollution. Three sampling areas were chosen: Bou Ismail Bay, Algiers Bay and Zemmouri Bay. The main objective is to describe the state of pollution in these areas, estimate its evolution over time and compare it with other areas in Algeria and in the Mediterranean Sea, and thus to assess the quality of the water in this marine environment.

The results obtained for Zn show definite pollution in almost over all the study area. On their side, the Cu grades reflect the existence of significant pollution in the Bay of Algiers, moderate in the bay of Bou-Ismaïl and nearly absent in the bay of Zemmouri.

Keywords: Trace metals, mussels, biomonitoring, and marine pollution.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم درجة تلوث النظام البيئي البحري لساحل الجزائر العاصمة من خلال المراقبة الحيوية باستخدام نوعي بلح البحر *Mytilus galloprovincialis* و *Perna perna* كمؤشر بيولوجي للتلوث. تم اختيار ثلاث مناطق لأخذ العينات: خليج بواسماعيل، خليج الجزائر وخليج الزموري. الهدف الرئيسي هو وصف حالة التلوث في هذه المناطق وتقدير تطورها بمرور الوقت ومقارنتها بمناطق أخرى في الجزائر وفي حوض البحر الأبيض المتوسط، وبالتالي تقييم جودة المياه في البيئة البحرية.

أظهرت النتائج المتحصل عليها من الزنك وجود تلوث معين في منطقة الدراسة. بدورها مستويات تركيز النحاس تعكس وجود تلوث معتبر في خليج الجزائر و تلوث معتدل في خليج بواسماعيل و غائب في خليج الزموري.

الكلمات المفتاحية: المعادن النزرة، بلح البحر، الرصد الحيوي، التلوث البحري.