

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Biologiques



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques
spécialité : Biodiversité et Environnement

Biosurveillance des ETM dans quelques stations du littorale de la région centre d'Algérie en utilisant un bioindicateur, la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819)

Réalisé par :

M^r : BOUKRI Khelifa

M^{lle} : REZZELI Sonia

Présenté devant les jurys :

M^{me} SAHMOUN F.	Maitre assistante A (UMMTO)	Présidente
M^{me} SADOUDI DJ.	Professeur (UMMTO)	Promotrice
M^r ZARROUKI M.	Maitre assistant B (ESSMAL)	Co-promoteur
M^{lle} ALI AHMED S.	Maitre assistante A(UMMTO)	Examinatrice

2018/2019

Aucun travail ne s'accomplit dans la solitude. En début de ce travail, nous voulons remercier tous ceux qui ont aidé, concouru à sa réalisation.

Nos plus vifs remerciements vont à **Mme SADOUDI-ALI AHMED D.** professeur au département des sciences de la nature et de la vie à l'UMMTO, pour avoir accepté d'encadrer ce mémoire, ainsi que pour son orientation, ses judicieux conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de notre travail.

Nos profonds remerciements vont également à notre Co-encadreur **Mr ZARROUKI M** de l'Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral, qui nous a acceptés dans son laboratoire et nous a intégrés au sein de son équipe. Ses conseils avisés nous ont été précieux pour la rédaction du présent manuscrit. Nous le remercions également pour son soutien matériel qui nous a permis de réaliser les différentes analyses de nos échantillons.

Nos remerciements sont également exprimés aux membres du jury : **Mme SAHMOUN F.** la présidente et **Mlle ALI AHMED S.** l'examinatrice pour avoir accepté de juger notre travail.

Nos sincères sentiments vont également à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents

Sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifices. En témoignage de ma reconnaissance pour leur inéluctable patience, leur sacrifice et leur soutien au cours de mes longues études. Toutes les dédicaces du monde ne sauraient exprimer mon profond amour et ma vive gratitude. Que Dieu leur donne santé et longue vie.

*A ma chère et unique sœur **Natia***

*A mes deux frères **Nassim** et **Sofiane***

*A ma très chère amie **Samira** et sa famille*

A tous ceux qui me sont chers je dédie ce modeste travail.

SONIA

Dédicace

A mes chers parents

A ma femme.

A mes frères et à ma sœur

A tout mes amis

A mes collègues

Et tous qui me sont chers pour leur soutien et amour

Boukri Khelifa

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations.

Introduction générale 1

I. Généralités

1. Généralités sur la pollution	3
1.1. Définition de la pollution marine	3
1.2. Types de pollution	3
1.2.1. Pollution physique	3
1.2.2. Pollution microbiologique	3
1.2.3. Pollution chimique	4
2. Généralités sur les éléments traces métalliques	4
2.1. Définition des ETM	4
2.2. Processus physiologique de bioaccumulation des métaux lourds	4
2.3. Sources des métaux lourds dans l'environnement	5
2.3.1. Origine naturelle	5
2.3.2. Origine anthropique.....	6
2.4. Situation générale des métaux lourds en Méditerranée.....	6
3. Présentation de la matière vivante.....	6
3.1. Généralité sur la moule (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	7
3.1.1. Systématique	7
3.1.2. Morphologie	7
3.1.3. Physiologie	8
4. Choix des moules comme bio-indicateur	11

III. Présentation de la zone d'étude.

1. Choix et localisation des stations de prélèvement	12
2. Présentation des zones d'étude	13
2.1. Présentation de la zone Bou-Ismaïl	13
2.1.1. Site d'échantillonnage (la ferme aquacole de Berard)	13
2.1.2. Aspects environnementaux	13
2.2. Présentation de la baie d'Alger	14
2.2.1. Site d'échantillonnage (bateau cassé)	14
2.2.2. Aspects environnementaux	14
2.3. Présentation de la baie de Zemmouri	15
2.3.1. Aspects climatique et hydrodynamique	16
2.3.2. Site d'échantillonnage (Boudouaou El Bahri)	16
2.3.3. Aspects environnementaux	17
2.4. Présentation de la zone Orca marine	17
2.4.1. Aspects chimique et hydrodynamique	17
2.4.2. Aspects environnementaux	17
2.5. Présentation de la zone Sidi Khaled Tizirt	18
2.5.1. Aspect climatique	18
2.5.2. Aspects environnementaux	19

III. Matériel et Méthodes.

1. Travaux sur le terrain	20
2. Travaux au laboratoire	21
2.1. Présentation et conditionnement de matériels	21
2.2. Dissection et dé-coquillage	21
2.2.1. Nettoyage des moules	21

2.2.2. Mesures biométriques	21
2.2.3. Pesée des moules	22
2.3. Lyophilisation	22
2.4. Broyage	23
2.5. Minéralisation	23
2.5.1. Minéralisation à blanc	24
2.5.2. Minéralisation des échantillons	24
2.6. Analyse par la SSA	24
2.6.1. Principe de la SSA	25
2.6.2. Equipement de la SSA	26
2.6.3. Mode de calcul	26
3. Indice de condition (IC)	27
4. Analyse statistique	27

IV. Résultats et Discussion.

I. Résultats	29
I.1. Paramètres biométriques	29
I.2. Indice de condition	30
I.3. Teneurs en métaux traces	31
I.3.1. Zinc	31
I.3.2. Manganèse	32
I.3.3. Fer	32
I.3.4. Cadmium	33
I.3.5. Plomb	34
I.3.6. Cuivre	35
III. Discussion	36
III. 1. Evaluation du niveau de contamination des moules des sites étudiés par les métaux lourds traces métalliques	37

III.1.1. Niveau de pollution par le Zinc dans le littoral algérien	37
III.1.1.1. Baie de Zemmouri	37
III.1.1.2. Baie d'Alger	38
III.1.1.3. Baie de Bou-Ismaïl	38
III.1.1.4. Tigzirt	38
III.1.2. Niveau de pollution par le Cadmium dans les stations étudiées	39
III.1.2.1. Baie de Zemmouri	39
III.1.2.2. Baie d'Alger	39
III.1.2.3. Baie de Bou-Ismaïl	39
III.1.3. Niveau de pollution par le Plomb dans les stations étudiées	40
III.1.4. Niveau de pollution par le Cuivre dans les stations étudiées	40
III.2. Etude rétrospective	41
III.2.1. Evolution des teneurs des métaux traces dans les stations au cours des dernières années	41
III.2.1.1. Zinc	41
III.2.1.2. Manganèse	42
III.2.1.3. Fer	43
III.2.1.4. Cadmium	43
Conclusion	44
Références bibliographiques.	
Annexe.	
Résumé.	

Figure 1 : Voies d'accumulation d'un métal dans le milieu marin	5
Figure 2 : <i>Mytilus galloprovincialis</i>	7
Figure 3 : Morphologie externe d'une moule " vu du côté droit "	8
Figure 4 : Répartition géographique de la moule <i>M. galloprovincialis</i> dans le monde.....	10
Figure 5 : Localisation des stations de prélèvement	12
Figure 6 : Localisation de la ferme Berard dans la baie de Bou-Ismaïl	13
Figure 7 : Carte de la baie de Zemmouri	15
Figure 8 : Point de prélèvement au niveau de Boudouaou El Bahri	16
Figure 9 : Zone de Sidi Khlaled Tizirt	18
Figure 10 : Nettoyage des moules	21
Figure 11 : Méthode de mesure de la moule par le pied coulisse	22
Figure 12 : Lyophilisateur	23
Figure 13 : Schéma représentant les composants de SAA	26
Figure 14 : Comparaison inter-sites des tailles moyennes dans les différentes stations d'études	30
Figure 15 : Variation spatiale (inter-site) de l'IC chez la moule <i>M. galloprovincialis</i>	30
Figure 16 : Concentrations du Zinc en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'étude	31
Figure 17 : Concentrations du Mn en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'étude	32
Figure 18 : Les concentrations du Fe en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'étude	33
Figure 19 : Les concentrations du Cd en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'étude	34
Figure 20 : Les concentrations du Pb en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'étude	35
Figure 21 : Les concentrations du Cu en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'étude	35
Figure 22 : Bioaccumulation du zinc par la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i> dans quelques stations sur le littoral algérien	39
Figure 23 : Bioaccumulation du cadmium par la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i> dans quelques stations sur le littoral algérien	39

Figure 24 : Bioaccumulation du Plomb par la moule *Mytilus galloprovincialis* dans quelques stations sur le littoral algérien 40

Figure 25 : Bioaccumulation du cuivre par la moule *Mytilus galloprovincialis* dans quelques stations sur le littoral algérien 41

Figure 26 : Evolution de concentration de Zinc dans les différentes stations d'étude de 2013 jusqu'à 2019 42

Figure 27 : Evolution de concentration de Manganèse dans les différentes stations d'étude de 2016 jusqu'à 2019 42

Figure 28 : Evolution de concentration de Fer dans les différentes stations d'étude de 2016 jusqu'à 2019 43

Figure 29: Evolution de concentration de Cadmium dans les différentes stations d'étude entre 2016 et 2019 43

Tableau I : Cycle de reproduction chez la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i>	9
Tableau II : Localisation des stations de prélèvement	12
Tableau III : Différents paramètres statistiques des stations	33

AIEA : Agence Internationale de l'Énergie Atomique

AFNOR : Association Française de Normalisation

ANOVA : Analysis Of Variance (Analyse de la Variance)

BPC : Biphényles PolyChlorés

°C : degré Celsius

Cd : Cadmium

cm : centimètre

cm³ : centimètre cube

Co : Cobalt

Cu : Cuivre

DDT : dichloro-diphényle-trichloro-éthane

DTQD : Déchets Toxiques en Quantité Dispersées

E : Est

EDL : Electrodeless Discharge Lamp

ETM : Éléments Traces Métalliques

Fe : Fer

g : gramme

GESAMP : Group of expert on the scientific aspects of marine Environmental protection

h : heure

Hg : Mercure

HNO₃ : Acide nitrique

km : kilomètre

l : litre

m : mètre

M. : *Mytilus*

m³ : mètre cube

MES : Matières en suspension

µm : micromètre

µg : microgramme

mm : millimètre

Mn : Manganèse

MW : Mégawat

N : Nord

ng : nanogramme

NO₂ : Dioxyde d'azote

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONAB : Office National des Aliments de Bétails

ONM : Office National de Météorologie

Pb : Plomb

PME : Petites et Moyenne Entreprises

PMI : Protection Maternelle et Infantile

PS : Poids Sec

s : seconde

SAA : Spectrophotométrie d'absorption Atomique

Zn : Zinc



Introduction générale

Introduction générale

La totalité des écosystèmes de la planète est désormais affectée d'une façon ou d'une autre, par le développement des sociétés humaines et les rejets agricoles, urbains et industriels qui peuvent mener à de hauts niveaux de pollution dans les écosystèmes marins côtiers. En effet, des centaines de polluants sont déversés chaque jour dans l'environnement. Parmi ceux-ci, les ETM sont considérés comme des polluants graves pour l'environnement aquatique à cause de leur persistance et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques (**Smolders et al., 2003**).

Selon leur effet sur le biotope dans les écosystèmes marins, les ETM peuvent être classés en deux grandes catégories. La première regroupe les éléments considérés comme des oligoéléments (Fe, Mn, Co, Cu, Zn...) qui sont essentiels aux métabolismes des organismes marins mais lorsqu'ils sont apportés en excès et concentrés le long de la chaîne alimentaire, ils deviendraient toxiques. La deuxième catégorie englobe des éléments métalliques non essentiels (Hg, Pb, Cd...). Ces éléments représentent une menace pour l'équilibre des écosystèmes et pour la santé humaine (**BENNACER et BOUBEGTITENE, 2016**).

Afin de connaître et de suivre l'évolution de la contamination chimique des différents matrices (eau, sédiments et biotes) du milieu aquatique par ces ETM, de nombreux programmes de recherches et de surveillance de l'environnement marin côtier ont été mis en œuvre. L'une des méthodes appliquées par ces programmes de recherche et la surveillance est l'utilisation des indicateurs biologiques, indispensables et adéquats pour l'évaluation de la qualité du milieu marin.

Ainsi dans le présent travail nous nous sommes focalisés sur la biosurveillance de l'environnement marin côtier polluées par les ETM chez une espèce de moule (*Mytilus galloprovincialis*) dans quelques stations du littoral algérien.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres qui sont :

- le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique qui se compose de trois principaux volets. Le premier comporte des généralités sur la pollution d'une manière générale (définition, types de pollution etc.). Le deuxième concerne la pollution par les métaux lourds en abordant sa définition, ses sources etc. Le dernier consiste en la présentation de la matière vivante notamment le choix de l'espèce utilisée (*Mytilus galloprovincialis*), sa biologie et sa répartition.

- Le deuxième chapitre présente la partie expérimentale du mémoire en présentant les zones d'étude ainsi que leurs environnements, et en décrivant le matériel et les méthodes spécifiques utilisées dans chaque manipulation effectuée au laboratoire.
- Le troisième chapitre fait référence aux résultats obtenus, leur discussion et leur interprétation.

Le mémoire est terminé par une conclusion générale et quelques perspectives.



Généralités

1. Généralité sur la pollution marine

1.1. Définition de la pollution marine

La pollution marine a été définie lors de la convention de MONTEGO-BAY 1982 des nations unies sur le droit de la mer, comme étant : «l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances, ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui entraîne ou qui est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins, avec pour conséquence, un appauvrissement de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles pour les activités maritimes, et notamment la pêche, le tourisme et les loisirs ainsi que les autres utilisations de la mer, une altération de la qualité des eaux du point de vue de leur utilisation, et une réduction de la valeur d'agrément du milieu marin» (DAVID, 2014).

1.2. Types de pollution

Il existe deux principaux critères utilisés pour classer les polluants en milieu marin : selon la nature des polluants (chimique, physique et microbiologique) (HALILOU et LAIB, 2018).

1.2.1. Pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau, ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires, les nappes pétrolières et les radiations ionisantes. Les apports des eaux chaudes diminuent la solubilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse. la solubilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse (HALILOU et LAIB, 2018).

1.2.2. Pollution microbiologique

Cette pollution est une forme de pollution organique, parmi ses agents causals, nous citons : les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus. Ils sont apportés par les eaux usées directement rejetées en mer. Les proliférations non pathogènes de micro algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctoniques est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates (HALILOU et LAIB, 2018).

1.2.3. Pollution chimique

La pollution chimique regroupe l'ensemble des éléments toxiques dus à la présence des composés chimiques organiques ou inorganiques qui peuvent avoir diverses origines : industrielle, agricole, domestique et urbaine. Leur toxicité peut être directe si elle est limitée dans le temps, ne s'accumule pas dans les tissus des êtres vivants et affecte directement leur croissance, leur reproduction et leur comportement ou être chronique dans ce cas les produits toxiques sont non-dégradables, s'accumulent dans les tissus des organismes marins et constituent une menace sur la santé humaine. Parmi les substances toxiques bioaccumulables on peut citer :

- Les métaux traces : mercure, plomb, cadmium, etc.
- Les organométalliques : éthylmercure, phénolmercure, etc.
- Les organochlorés : DDT, pesticides, etc. (**BOUDOU, 2004**)

2. Généralités sur les éléments traces métalliques

2.1. Définition des ETM

Les ETM sont définis comme étant des éléments de la table périodique dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 , d'où, l'appellation de « métaux lourds » ou encore les éléments présents dans l'environnement à une quantité inférieure à 0,1% et qui sont, le plus souvent, toxiques pour les organismes vivants. Ils peuvent prendre des formes organiques ou inorganiques diverses, par les processus de spéciation chimique, c'est-à-dire qu'un même métal peut changer de forme chimique selon le milieu où il se trouve (**RAMADE, 2002**).

Dans le milieu marin, les ETM se trouvent souvent dissous dans l'eau de mer et à l'état de trace. Ces derniers subissent plusieurs processus dont la spéciation, l'assimilation par les organismes, d'où vient la notion de toxicité. Cette dernière dépend de plusieurs facteurs dont la concentration du métal dans l'organisme et sa biodisponibilité et sa forme chimique. Tous les ETM peuvent être nocifs ; certains sont toxiques à partir d'une certaine concentration dans l'organisme, d'autre le sont par leur simple présence dans ce dernier (**BONNET, 2000**).

2.2. Processus physiologique de bioaccumulation des ETM

La bioaccumulation est le processus d'assimilation et de concentration des métaux lourds dans l'organisme (figure 1).

La bioconcentration est 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. Ce processus d'accumulation s'exprime par un ratio entre la concentration du contaminant étudié dans le

milieu et sa concentration dans l'organisme et ce ratio est dit « facteur de bioconcentration (FBC) ». La bioamplification ou la biomagnification est le processus par lequel le prédateur concentre une substance (ou un élément) à un niveau supérieur à celui, où il se trouve dans la proie. Les degrés d'assimilation et de rétention des substances varient entre les différents genres et espèces et dépendent des propriétés biochimiques de chaque substance (BOWEN, 1966 in CASAS, 2005).

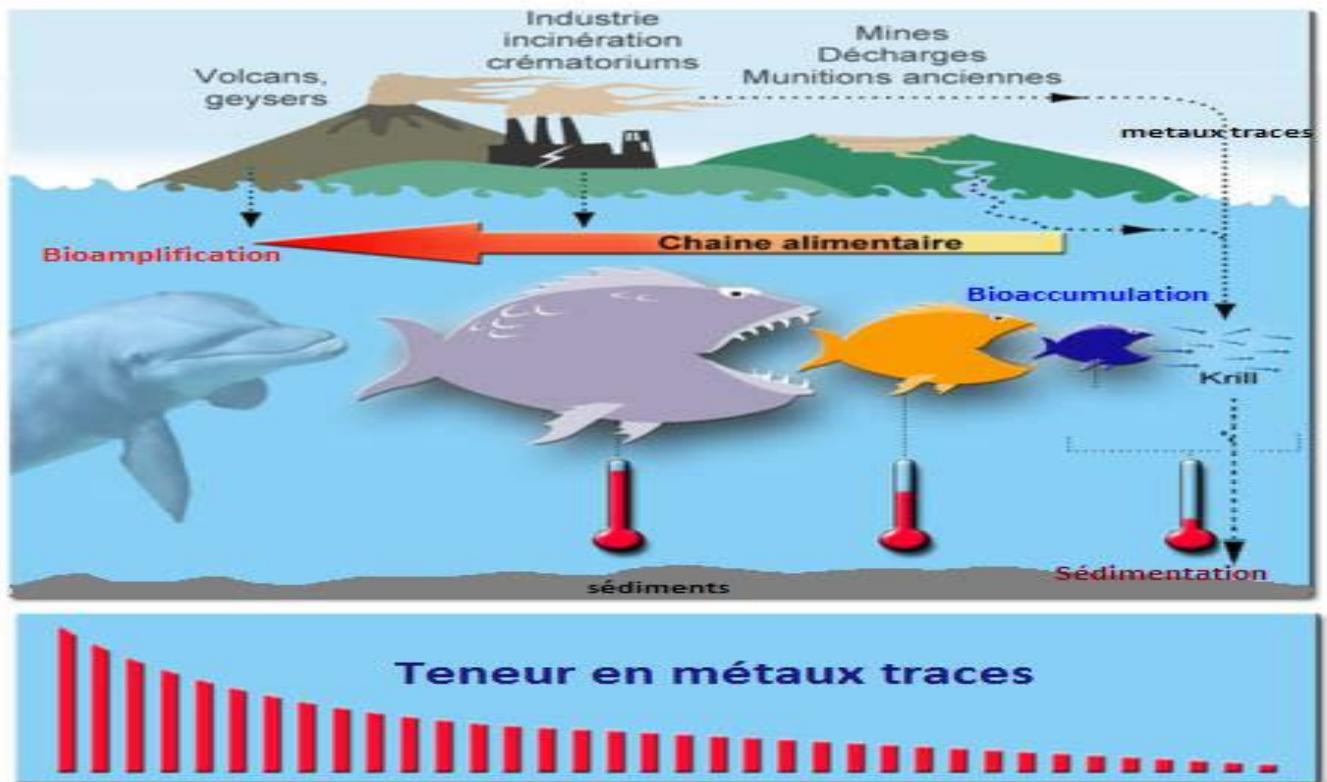


Figure 1 : Voies d'accumulations d'un métal dans le milieu marin (AUGIER et al., 2014).

2.3. Sources des ETM dans l'environnement

Les ETM sont présents dans tous les compartiments de l'environnement et ont donc une multitude d'origines (annexe n°1). Selon KHALFANI et KERAGHEL (2011), on peut citer deux principales origines, concernant la présence de ces composés dans le milieu marin.

2.3.1. Origine naturelle

Les métaux sont naturellement présents dans le sol et les roches, et donc ils peuvent se retrouver dans le milieu marin, par l'effet des pluies et du lessivage. D'autre part, le volcanisme sous-marin provoque des rejets non négligeables de métaux dans l'environnement marin. Ils peuvent aussi provenir de la dégradation de la matière organique (animale, végétale ou fossile) (ANDJOUH et BOUKLI, 2016).

2.3.2. Origine anthropique

Les métaux peuvent provenir des rejets urbains et industriels. En effet, l'exploitation de ces éléments dans la métallurgie, le traitement et l'enrichissement des gisements miniers d'une part, et les activités portuaires dont la réparation navale ou encore la navigation maritime, les accidents en mer d'autre part, constituent des sources de contamination des mers par les métaux.

Les sources anthropogènes responsables de l'augmentation des flux de métaux sont la pétrochimie, l'énergie fossile, les centrales électriques, le trafic routier et les déchets urbains (**ANDJOUH et BOUKLI, 2016**).

2.4. Situation générale des ETM en Méditerranée

Dans la vingtaine de pays riverains de la Méditerranée, sont hébergés près de 400 millions d'habitants, dont 100 millions de résidents sur la zone côtière, recevant 120 millions de visiteurs par an. En conséquence, au lessivage naturel des sols et à l'érosion éolienne, s'ajoutent les apports (ou rejets) liés aux activités industrielles, agricoles et urbaines du bassin versant. De plus, les apports atmosphériques, inclus dans la circulation atmosphérique, peuvent venir de régions extérieures au bassin versant: Europe du Nord et régions sahariennes (**CASAS, 2005**).

Les premières mesures fiables d'éléments traces, réalisées en 1983, ont montré des profils verticaux très différents en Méditerranée de ceux mesurés dans les océans Atlantique et Pacifique (**TISSOUKAI et OUATMANI, 2013**). Dans ces deux océans, pour le zinc et le cadmium, par exemple, les profils verticaux s'apparentaient à ceux des éléments nutritifs, à savoir de très faibles concentrations en surface et une augmentation progressive en profondeur. En Méditerranée, ces métaux traces sont plus concentrés dans les couches supérieures que dans les couches inférieures où ils restent en quantité relativement stable.

Ces profils particuliers en Méditerranée ont été interprétés par un état non stationnaire, les apports superficiels étant plus forts que le transfert vertical par l'activité biologique et les mouvements hydrologiques (**CASAS, 2005**).

3. Présentation de la matière vivante

Mytillus galloprovincialis est un bivalve largement reconnu comme bioindicateur de pollution par les métaux. La teneur en métaux dépend étroitement de leur biodisponibilité et de leur mode de pénétration. Cette espèce concentre les métaux présents dans l'eau de mer aussi bien à partir de la phase dissoute (branchies) que particulaire (via l'incorporation de nourriture).

3.1. Généralités sur l'espèce de moule (*Mytilus galloprovincialis*)

Mytilus galloprovincialis est un bivalve largement reconnu comme bioindicateur de pollution par les ETM. La teneur en ETM dépend étroitement de leur biodisponibilité et de leur mode de pénétration. Cette espèce concentre les ETM présents dans l'eau de mer aussi bien à partir de la phase dissoute (branchies) que particulaire (via l'incorporation de nourriture). (BANNI *et al.*, 2014)

3.1.1. Systématique

Règne : Animal

Embranchement : Mollusque

Classe : Bivalves

Sous class : Ptériomorphe

Ordre : Mytilidés

Genre : *Mytilus*

Espèce : *Mytilus galloprovincialis*

3.1.2. Morphologie

La moule *M.galloprovincialis* (figure 2) présente une coquille allongée très variable, de contour grossièrement triangulaire. L'extrémité antérieure de la coquille est renflée et pointue, le bord ventral est comprimé et arrondi, les crochets terminaux, assez aigus et incurvés (Petite taille du muscle adducteur antérieur) (GUENDOUI, 2015).



Figure 2 : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).

La zone postéro-dorsale tend à former une expansion aplatie qui rend le bord ligamentaire assez saillant. Le bord antérieur est très réduit, à aspect de lunule. La sculpture externe est formée de marques d'accroissement.

Le **péριοstracum** est lisse et très adhérent. La bande calcifiée infra ligamentaire est ponctuée et la charnière avec quelques dentelons sous le crochet.

La **coloration** est, en général, noire violacée extérieurement, avec l'intérieur gris bleuté à violacé, plus ou moins teinté de blanchâtre et irisé de reflets nacrés vers la cavité umbonale.

La **taille** maximum peut atteindre 15 cm et plus ; en général, la taille mesure entre 5 à 8 cm (GUENDOUZI, 2015).

La figure 3, ci-dessous, représente la morphologie externe d'une moule.

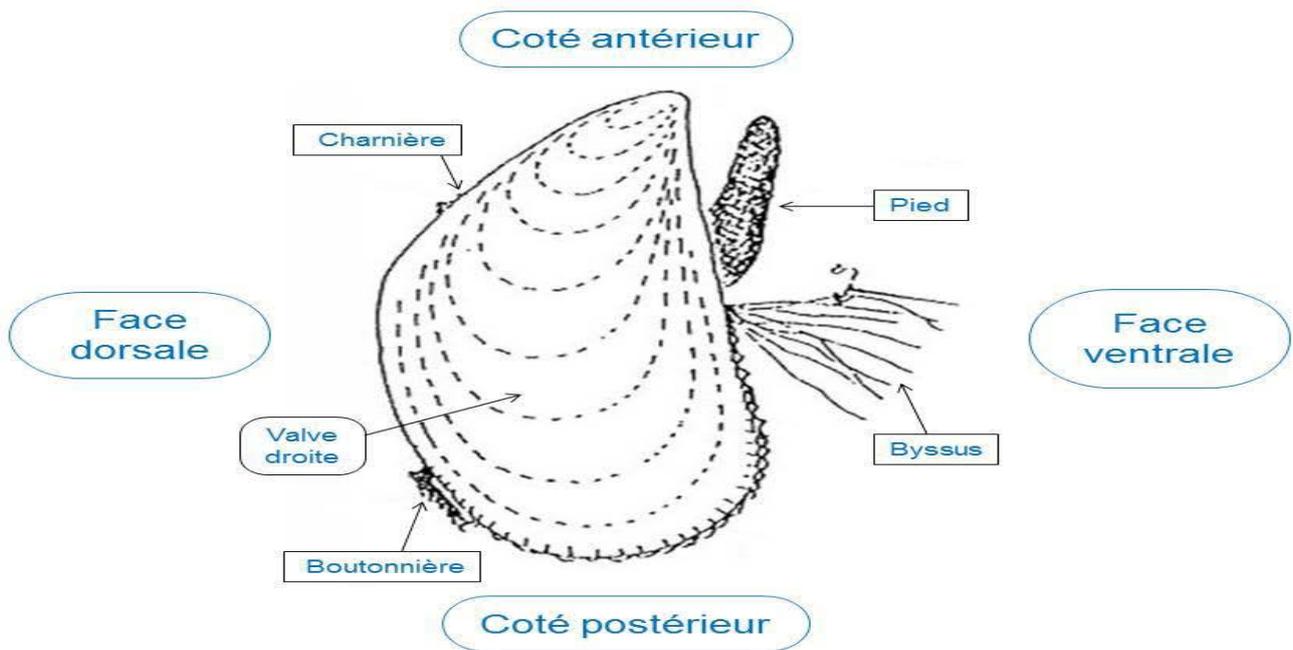


Figure3 : Morphologie externe d'une moule "vue du côté droit" (HIS et CANTIN, 1995)

3.1.3. Physiologie

➤ Nutrition

La moule *M. galloprovincialis* est un consommateur microphage omnivore, filtreur et non sélectif. Elle se nourrit de phytobenthos (diatomées), de phytoplancton et de débris organiques. Les moules se nourrissent par filtration à travers leurs branchies et récupèrent les particules alimentaires supérieures à 2-5 μm . Etant donné leur fixation, ce sont des collecteurs passifs et leur nutrition est conditionnée par la circulation d'eau qui véhicule les particules alimentaires. Le taux de pompage est très élevé chez ces mollusques (environ de 50 à 70 l/24 h). Lorsque l'eau véhicule des particules alimentaires, celles-ci, après passage sur le filtre branchial, sont guidées vers la région antérieure de l'animal et canalisées vers la bouche par le jeu des palpes labiaux (KANTIN et PERGENT-MARTINI, 2007).

➤ Respiration

La respiration se fait par l'intermédiaire des branchies chez les mollusques vivant dans les eaux douces ou salées. Pour les Lamellibranches, les branchies se présentent sous la forme de deux lames placées de chaque côté du corps ; en arrière se trouve deux tubes nommés siphons, dont l'un est destiné à amener aux branchies l'eau nécessaires à la respiration et l'autre à rejeter le liquide aspiré. Lorsque la moule est dans l'air, sa coquille reste en permanence fermée mais lorsqu'elle est dans l'eau, sa coquille reste en permanence entrouverte. Dans l'eau, les moules respirent avec deux paires de branchies qui portent de très nombreux cils. Les battements permanents de ces cils créent constamment un courant d'eau à l'intérieur de la coquille. Ainsi, les branchies peuvent absorber le dioxygène contenu dans l'eau (KANTIN et PERGENT-MARTINI, 2007).

➤ Reproduction

La moule *M.galloprovincialis* est une espèce gonochorique (à sexes séparés).

Au printemps, lorsque l'eau a atteint une température suffisante, c'est le moment pour les moules de se reproduire (les lobes du manteau sont oranges chez la femelle et blanchâtres chez le mâle). La fécondation est externe. Les moules des deux sexes produisent respectivement des millions d'ovules et de spermatozoïdes qui sont déversés dans l'eau et dérivent avec le courant. Là où ils se rencontrent, ils forment un embryon qui devient après une larve. Et après quelques jours, la formation de la coquille débute (elle durera environ un mois). Les petits des moules s'attachent les unes aux autres et à leur substrat par le byssus. A chaque pente, une bonne quantité de naissain se perd, en raison des mauvaises conditions climatiques ou parce qu'il sert de nourriture à la faune marine .Ou encore, parce qu'il n'a pas trouvé d'endroit adapté pour s'y accrocher (tableau I) (GUENDOZI, 2015).

Tableau I : Cycle de reproduction chez la moule *M.galloprovincias*.

Cycles de reproduction	
Stade	Phase
Sade 0	Le stade de repos
Stade 1	La gaméto-genèse
Stade 2	Les gamètes sont visibles
Stade 3a	Les gamètes sont mures
Stade 3b	Début de ponte

➤ **Ecologie**

a. Habitat

C'est une espèce rencontrée sur des fonds très variés, des substrats durs (rocheux ou graveleux), ou bien meubles (sableux, vaseux). L'espèce est fixée par son byssus sur des fonds très variés des étages médiolittoral et infralittoral. Dans les zones de marées, la moule peut coloniser et couvrir de vastes espaces (bancs de moules). Elles pénètrent largement dans les eaux saumâtres des lagunes côtières (GUENDOUZI, 2015).

b. Adaptation aux facteurs écologiques

Le corps de *M. galloprovincialis* est protégé par une coquille. Elle s'accroche à d'autres moules et se fixe sur un substrat ; de la sorte, l'impact des vagues se fait moins ressentir.

Lorsque le niveau de l'eau descend, la moule retient l'eau en fermant ses valves. Elle est protégée contre le dessèchement, l'air, la lumière et la prédation.

Quand l'oxygène vient à manquer dans l'eau ainsi retenue, la moule passe à un mode de respiration anaérobie. Elle résiste à de nombreux facteurs abiotiques (température, salinité) ; ce qui permet de la retrouver dans la zone la plus élevée de l'estran (GUENDOUZI, 2015).

c. Distribution et géographique

M. galloprovincialis est une espèce des zones à distribution géographique méditerranéenne. L'aire de répartition de cette espèce n'est pas strictement méditerranéenne. Elle s'étend sur la Mer Noire, l'Adriatique et la côte Atlantique, depuis la baie d'Agadir jusqu'aux Iles britanniques et englobe aussi l'Afrique du Sud, la Nouvelle-Zélande et la Californie comme le montre la figure 4 ci-dessous (BHABY et al., 2011).

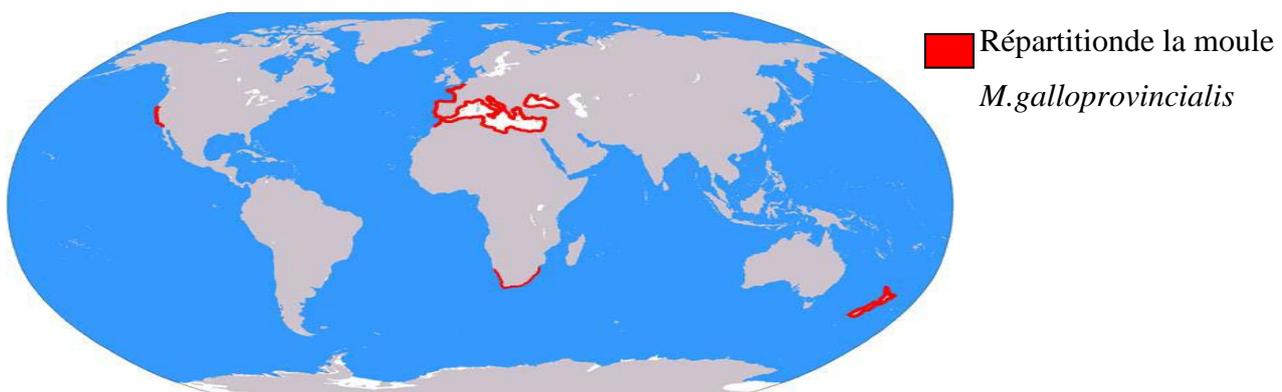


Figure 4 : Répartition géographique de la moule *M. galloprovincialis* dans le monde

(GUENDOUZI, 2015).

4. Choix des moules comme bio indicateur

Dans le cadre de suivi de l'évolution de la qualité des eaux marines, les démarches physico-chimiques sont primordiales car elles informent sur la présence, la nature et la quantité des contaminants. Comme les organismes aquatiques sont en constante interaction physique, chimique et biologique avec leur écosystème, l'étude et l'évaluation d'une contamination quel que soit sa source se base donc sur le choix d'organismes bio indicateurs, qui indiquent non seulement des changements environnementaux, mais fournit également des informations au sujet de l'intensité d'exposition à certaines substances par des réponses "mesurables", physiologiques, biochimiques ou comportementales (PICHAUD, 2005).

Les informations peuvent ainsi être déduites de leur contenu en composés ou éléments particuliers, de leur structure cellulaire ou morphologique, de modifications métaboliques ou biochimiques, d'études comportementales ou de la structure des populations (MORIN, 2007).

En tant que filtreurs et en raison de leurs caractéristiques, les mollusques et plus particulièrement les bivalves, sont réputés d'être les bons indicateurs les plus fréquemment utilisés dans les programmes d'évaluation de la qualité de l'environnement (BELANGER, 2009). Selon STELLIO (2005), on distingue parmi les caractéristiques des moules :

- ✓ **Capacité de bioaccumulation**

La moule *M. galloprovincialis* accumule des métaux avec un facteur de concentration de 103 à 105.

- ✓ **Caractère intégrateur d'une espèce**

La moule *M. galloprovincialis* a une espérance de vie relativement grande.

- ✓ **Critère de représentativité**

La moule *M. galloprovincialis* est sessile et subit des déplacements mineurs au cours de sa vie.

Elle s'étend sur une large aire de distribution. Elle est résistante au stress pour être présente et permettre la surveillance des milieux les plus pollués, et elle est euryhaline.

- ✓ **Faisabilité de la bio-surveillance**

Elle a une taille suffisante et elle est en abondance (la collecte et le traitement des échantillons doit être facile).

- ✓ Leur consommation par l'homme, donc vecteur de contamination, facilite la collectées et la possibilité de les transplanter.



Matériel et Méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

1. Choix et localisation des stations de prélèvement

Puisque ce mémoire s'inscrit dans l'optique de la biosurveillance du littoral algérien, les localisations géographiques des stations sont proches de celles qui ont été étudiées durant les années précédentes (la baie d'Alger, la baie de Bou-Ismaïl et la baie de Zemmouri et Ain taya). Cette année un cinquième site a été rajouté qui est la ferme aquacole Saradouni de Tigzirt.

Le tableau II ci-dessous présente les coordonnées géographiques des sites de prélèvement.

Tableau II : Localisation des stations de prélèvement

Site d'étude	Site d'échantillonnage	Station (cordonnées géographiques)
Baie de Bou-Ismaïl	Ferme Bérard	36°36'44.04''N et 2°37'25.21'' E
Baie d'Alger	Bateau Cassé	36°46'0 ''N et 3°13'0''E
Baie de Zemmouri	Boudouaou El Bahri	36°46'23.88''N et °24'12.58''E
Ain Taya	Orca marine	36°47'30'' N et 3°13'0''E
Tigzirt	Ferme Saradouni Sidi Khaled	36°54'11.96''N et 4°09'53.41''E

La figure 5 illustre les sites de prélèvement.



Figure 5: Localisation des stations de prélèvement.

2. Présentation des zones d'études

2.1. Présentation de la zone Bou-Ismaïl

La baie de Bou-Ismaïl se situe dans la partie Ouest du littoral algérois. Elle est délimitée à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua et elle s'étend jusqu'au cap Caxine dans la baie d'El Djamilia, où elle est interrompue par la presqu'île de Sidi Fredj à l'Est (HALILOU et LAIB, 2018).

2.1.1. Site d'échantillonnage (La ferme aquacole de Berard) (figure 6)

La localité de Berard dispose d'une ferme conchylicole et piscicole qui a pour objectif l'élevage des moules *Mytilus galloprovincialis* et les huitres *Grassostrea gigas*.

Actuellement, il n'y a que l'élevage des moules. La ferme possède 8 filières, un grand hangar, c'est une possession de 1800 m² sur terre et 15 hectares de pisciculture. En 2015, la ferme a réalisé l'extension pour l'élevage piscicole en cages flottantes (HALILOU et LAIB, 2018).



Figure 6 : Localisation de la ferme Berard dans la baie Bou-Ismaïl

2.1.2. Aspects environnementaux

La baie de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole. Elle est soumise principalement à une pollution domestique et agricole. Les rejets d'eaux usées domestiques issues des agglomérations et des complexes touristiques sont très importants, surtout en période estivale.

L'Oued Mazafran est un vecteur important de la pollution de cette zone car il draine vers la mer tous les rejets issus des zones urbaines, industrielles et agricoles se trouvant dans le secteur ouest de la plaine de la Mitidja. A ces sources de pollutions potentielles, il convient d'ajouter les rejets de l'ensemble des unités industrielles de la zone côtière de la baie de Bou-Ismaïl.

Parmi les sources de pollution les plus importantes nous citons :

- ❖ Les eaux usées des tanneries du moulin. qui se déversent dans l'oued de Beni Azza pour verser dans la baie à travers l'oued Makhoulf ;
- ❖ Base centrale logistique de Beni Mered (rejet de cyanure, nickel et cuivre) ;
- ❖ Les ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Bouharoun, Khemisti, Tipaza, Sidi Fredj, El Djamila ;
- ❖ Les rejets de l' **GESAMP** d'Attabla (ONAB) ;
- ❖ Les rejets d'unité de tissage ;
- ❖ Les rejets d'une unité de transformation de plastique.

2.2. Présentation de la baie d'Alger

La baie d'Alger occupe la partie centrale de la côte algérienne. Elle est délimitée géographiquement par :

- Nord : la mer Méditerranée ;
- Est : le cap Matifou (3°18'' Est) ;
- Sud : le bassin Metidja et la ville d'Alger ;
- Ouest : la pointe Pescade 'Rais Hamidou' (3° 00'' Est).

2.2.1. Site d'échantillonnage (Bateau cassée qui se situe à Bordj El Kifan)

Bordj El Kifan est située à environ 15 km à Est d'Alger, sur la rive orientale de la baie d'Alger. En plus de la ville même, elle englobe les zones urbanisées de Ben Mrad, Dergana et Ben Zerga.

Le Bateau Cassé possède un climat méditerranéen chaud avec un été sec (Csa) selon la classification de Köppen-Geiger. La température moyenne du Bateau Cassé est de 17.5°C et les précipitations sont en moyenne de 645.2 mm.

2.2.2. Aspects environnementaux

- ❖ La baie d'Alger est soumise aux perturbations anthropiques de différentes origines causées par une population humaine de plus de 4,3 millions d'habitants qui vivent dans la métropole d'Alger. En outre, près de 1000 entreprises exercent dans différents domaines et se partagent cette baie : métallurgie, construction, pétrochimie, production pharmaceutique, industries mécaniques, électriques et électroniques, alimentation, production de papier... etc. (**PAC, 2005**) ;
- ❖ Deux oueds se jettent dans la baie d'Alger, l'oued El Hamiz et l'oued El Harrach. Ce dernier draine les eaux usées domestiques et industrielles surtout de la ville d'Alger qui ne sont traitées qu'à 8% et sont déversées directement dans la baie (**PAC, 2005**). Selon le Dr MITSUO YOSHIDA, conseiller supérieur à l'Agence de coopération internationale japonaise (JICA), la mauvaise qualité

de l'eau de l'oued El Harrach dépasse de 400 fois les normes établies par l'organisation mondiale de la santé (OMS) (APPL, 2010) ;

- ❖ La station de dessalement de l'eau de mer d'El-Hamma (Alger) présente un danger sur l'écosystème marin dans la baie. Des activités intensives de dessalement d'eau de mer provoquent le développement de saumures qui entraînent la destruction de précieuses régions côtières (LOUNIS et BELHADJAISSA, 2005) ;
- ❖ Les apports des émissaires urbains situés dans le secteur de Hussein-Dey ont eux aussi une forte influence sur la qualité du milieu marin de la baie (APPL, 2010) ;
- ❖ En 2004, la baignade a été interdite au niveau de 46 plages dans la baie. L'écosystème marin a été gravement touché par la pollution, et une diminution de la biodiversité de 14 % pour les espèces de grand intérêt écologique a été signalée (PAC, 2005) ;
- ❖ À partir de ces données on peut conclure que la baie d'Alger est un milieu pollué ou du moins perturbé (GRIMES, 2005).

2.3. Présentation de la baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri se situe à une soixantaine de km à l'Est d'Alger. C'est une baie ouverte d'environ 40 Km.

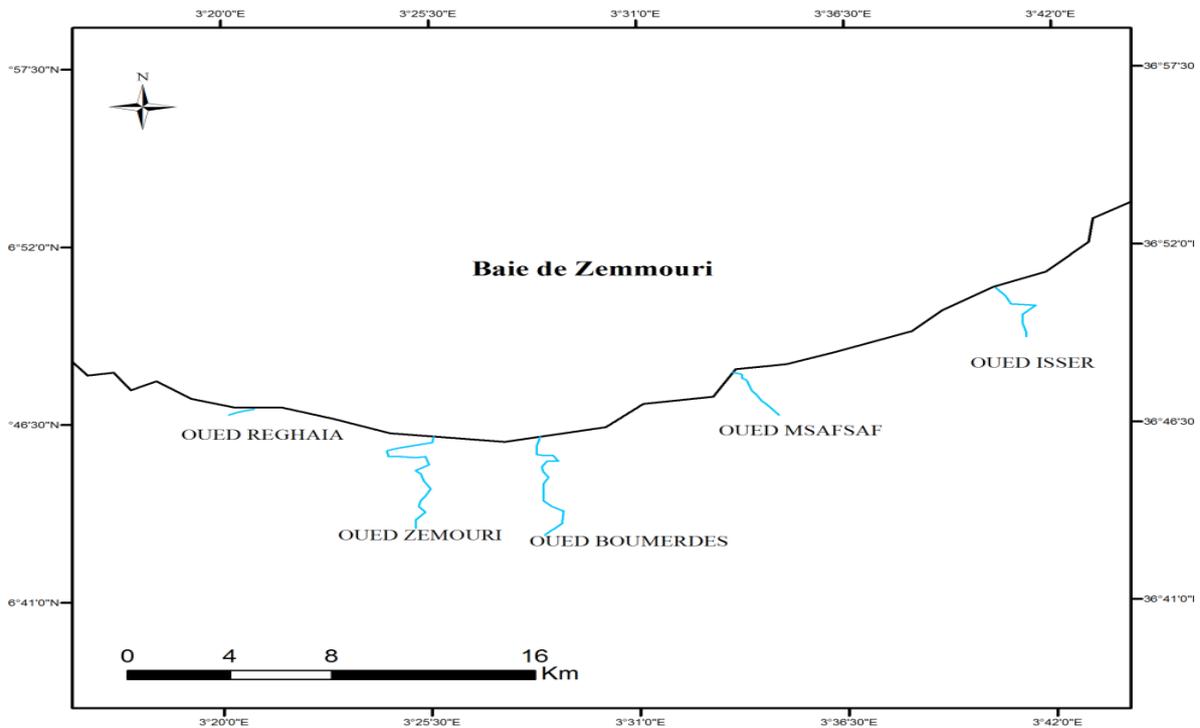


Figure 7 : Carte de la baie de Zemmouri.

2.3.1. Aspect climatique et hydrodynamique

La baie de Zemmouri est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré : il est relativement froid et humide en hiver et chaud en été.

❖ Vents

Les vents d'Est sont les plus fréquents, avoisinant les 29%. Leur vitesse est faible à modérée, comprise entre 3 et 9 m/s. La direction Nord-est représente 17.5% des vents annuels. Ils sont également faibles à modérés (3 à 8 m/s) (OTMANI, 2014).

❖ Houle

Nous constatons des houles globalement concordantes avec le régime des vents. L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est la plus fréquente, néanmoins le secteur Ouest prédomine par les fortes houles. Pour le secteur Nord et Nord-ouest, les fréquences d'apparition sont faibles. Les houles de tempêtes proviennent essentiellement du secteur Ouest (OTMANI, 2014).

2.3.2. Sites d'échantillonnage (Boudouaou El Bahri)

Boudouaou El Bahri est une commune de la wilaya de Boumerdès, située à 5 Km au Nord de Boudouaou, à 7 km à l'Ouest de Boumerdès et à environ 35 km à l'Est d'Alger (MOUMENE, 2017). Les prélèvements ont été effectués au niveau d'une plage où des espèces de moules étaient sur des roches naturelles comme le montre la figure 8.



Figure 8 : Point de prélèvement au niveau de Boudouaou El Bahri.

2.3.3. Aspects environnementaux

La pollution de la baie est causée par tous rejets domestiques ou industriels provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu (HALILOU et LAIB, 2018).

2.4. Présentation de la zone Orca marine

2.4.1. Aspect chimique et hydrodynamique

Orca marine est une entreprise d'élevage des moules et des huitres à Ain Taya Est d'Alger. La ville d'Aïn Taya bénéficie d'un climat tempéré chaud. L'hiver à Aïn Taya se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. Aïn Taya affiche une température annuelle moyenne de 18,0 °C. Il tombe en moyenne 708 mm de pluie par an. La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 120 mm. La température moyenne au court de l'année varie de 14,5 °C. Le mois le plus chaud de l'année est celui d'Aout avec une température moyenne de 26,0 °C. Le mois Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 11,5 °C à cette période.

2.4.2. Aspects environnementaux

Des eaux usées sont régulièrement déversées sur la mer Méditerranée via les plages de la commune d'Aïn Taya, se propageant à celles de Kadous et Corso à l'Ouest ou celle des Canadiennes à l'Est.

- Cette partie du littoral algérois subit continuellement la pollution chimique. Le déversement des eaux non traitées et infectées, pratiqué depuis plusieurs années selon des habitants des communes de Reghaïa et Aïn Taya, s'intensifie chaque été, provoquant même un changement inquiétant sur la couleur de la mer, qui devient grise ou pourpre.
- Selon ces derniers, les eaux usées proviennent du lac de Reghaïa, adjacent à la zone industrielle de la commune. et aussi, des déchets ménagers et industriels y sont déversés par les usines et stations d'épurations installées dans ce domaine.
- Face à l'insuffisance de ce "réservoir", le lac a été relié à la place de Kadous par un "circuit aménagé" dans la forêt de la même commune, pour déverser des eaux non traitées sur la Méditerranée.

2.5. Présentation de la zone Sidi Khaled de Tizirt (Ferme aquacole Saradouni)

Le site de Sidi Khaled est localisé dans la commune d'Iflissen, daïra de Tizirt wilaya de Tizi Ouzou.

La figure 9 ci-dessous montre la zone de prélèvement au niveau de Sidi Khaled de Tizirt.



Figure 9 : Zone Sidi Khaled Tizirt.

2.5.1. Aspect climatique

Le climat de la zone est tempéré méditerranéen assez frais et pluvieux en hiver, chaud et sec en été. Il est caractérisé par des précipitations moyennes de 140 mm pour la période hivernale allant de mois de Janvier au mois de Février. Les observations de ces dernières années (1985 à 2000) montrent que le climat de la région est variable avec une certaine tendance à la sécheresse (C.N.R.D.P.A., 2012).

- **Température**

La température moyenne annuelle est de 24.5 °C, les températures sont douces à chaudes en été avec un maxima de 36°C et un minima en hiver de 3°C ; cette dernière peut descendre jusqu'à -5°C sur les hauteurs (C.N.R.D.P.A., 2012).

- **Vents**

Les vents sont générateurs de vagues et de courant superficiels. Leur impact croît avec leur vitesse. Lorsque l'action du vent est continue, elle génère la houle

Les résultats des observations ont été effectuées au large des côtes algériennes (données de l'U.S .Naval Weather Service 1973-1975) sont apportés sous la forme de rose des vents pour chaque trimestre et pour toute l'année.

Les roses trimestrielles montrent que pendant l'hiver (de mois d'Octobre au mois de Mars) les vents de secteur ouest à Nord-ouest sont dominants. Une grande partie de ces vents présentent une vitesse supérieure à 16 nœuds.

La rose annuelle des vents montre que les vents de secteur ouest sont appréciables par leur force et leur fréquence. Les vents du secteur est (Nord Est et Sud Est) sont dominants dès la fin de l'hiver et pendant la durée du printemps.

La fréquence des vents Nord (19.4 %) est supérieure à celle enregistrée au large (6.8 %). Une partie des vents Nord ressentis sur la cote est liée aux effets de brise de vents.

Les mois de Juillet et d'Août sont en général les mois les plus calmes de l'année. Le Sirocco souffle sur cette région en été, son impact est marqué par son pouvoir desséchant. Il souffle en moyenne dix jours par an réparti entre Juin, Juillet et Août. Les vents dominants prennent des directions Ouest à 27.5% et Nord à 26.6 % (C.N.R.D.P.A., 2012).

• Houles

Les houles d'Ouest et du Nord-est sont les plus fréquemment observées. Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance du secteur Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une prédominance du secteur Ouest.

- Le secteur Nord à une répartition assez régulière durant l'année.
- L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est est la plus fréquente.

Néanmoins pour les fortes houles, le secteur Ouest prédomine .Les houles de tempête proviennent essentiellement du secteur Ouest (C.N.R.D.P.A., 2012).

2.5.2. Aspects environnementaux

En l'absence d'études détaillées, il est difficile d'évaluer avec exactitude le degré et l'intensité de la pollution chimique et biologique des eaux superficielles et souterraines, néanmoins les différentes substances polluantes sont issues :

- Des rejets urbains constitués des eaux usées et des déchets solides qui sont acheminées vers la mer sans aucun traitement ;
- De l'utilisation accrue et non mesurée des fertilisants et des produits phytosanitaires par l'agriculture qui contamine le milieu marin par lessivage des sols et infiltration dans les eaux superficielles ;
- De l'assèchement des oueds et Chaàbat qui provoque la décantation et la stagnation des apports solides qui entraînent les nuisances (odeurs nauséabondes, moustiques) et permettent la prolifération des maladies à transmissions hydriques ;
- Des vidanges des bateaux ;

L'installation d'un établissement conchylicole serait à cet égard bénéfique, car il briserait l'isolement du site et éliminerait le phénomène de décharge sauvage (C.N.R.D.P.A., 2012).

II. Matériel et méthodes

1. Travaux sur le terrain

Cette étape a été effectuée avant la sortie sur le terrain pour assurer la disponibilité de tout le matériel nécessaire pour réaliser le prélèvement et la récolte des échantillons. Il était indispensable de ramener :

- Une Glacière ;
- Les sachets en polyéthylènes (sacs de congélation) ;
- L'étiquette ;
- Feutre indélébile ;
- Une barque.

❖ Echantillonnage

- Une quantité des moules a été collectée dans chaque station pendant la période printanière et estivale où les échantillons sont traités séparément ;
- Pour chaque point, 50 individus prélevés ;
- Nettoyer chaque individu des moules avec un couteau en assurant l'élimination complète des épiphytes fixés sur la coquille (algues, les autres mollusques, les déchets existants ...) ;
- Par la suite les échantillons ont été conservés dans des sacs de congélation plastique étiquetés (date, lieu de prélèvement), transportés au laboratoire dans une glacière (au frais) ;
- On note les coordonnées géographiques de chaque station lors du prélèvement ;
- Les échantillons sont conservés au réfrigérateur (4°C) en attendant la dissection.

Des mesures de précautions ont été prises pour éviter la contamination des échantillons sur le lieu de prélèvement et pendant le transport et le délai entre le prélèvement et la dissection doit être le plus court possible et les chocs thermiques doivent être évités entre le prélèvement et la fin de l'épuration. Les détails et les photos des étapes de préparation du matériel et l'échantillonnage sont présentés dans l'annexe n°2.

2. Travaux au laboratoire

2.1. Préparation et conditionnement du matériel

Selon le protocole décrit par l'A.I.E.A. (1997), le matériel utilisé au laboratoire a été bien nettoyé, conditionné et stocké avec toutes précautions nécessaires pour éviter la contamination en assurant la succession des étapes suivantes (CHIFFOLEAU, 2003).

- ✓ Lavage au détergent commercial ;
- ✓ Rinçage à l'eau de robinet ;
- ✓ Rinçage à l'eau bi-distillée ;
- ✓ Rinçage à l'eau acidulée (HCl 10 %) ;
- ✓ Rinçage à l'eau bi-distillée puis séchage à l'étuve à 70 °C pendant 24 h.

2.2. Dissection et dé-coquillage

Les trois opérations ont été réalisées dans le laboratoire de l'école des sciences de la mer et d'aménagement (ESSMAL).

2.2.1. Nettoyage des moules

- ✓ une fois récupérées du congélateur, on laisse les moules se décongeler ;
- ✓ mettre les moules nettoyées dans un autre bac en attendant l'étape des mesures biométriques comme le montre la figure 10 suivante.



Figure 10: Nettoyage des moules.

2.2.2. Mesures biométriques

Pour réaliser cette étape on a utilisé le pied à coulisse de 0.01 mm de précision afin de mesurer la longueur, la largeur de chaque individu (figure 11).



Figure 11: Méthode de mesure de la moule par le pied coulisse.

2.2.3. Pesée des moules

Les phases suivantes sont effectuées séparément pour chaque station en assurant le nettoyage et le conditionnement du matériel selon le protocole suivant :

- ✓ À l'aide d'une balance de précision (figure 12), on pèse le poids complet (sans décoquiller les moules) de chaque individu pour chaque station et on le note dans un tableau ;
- ✓ Une fois terminé, on décoquille la moule à l'aide d'un scalpel en acier inoxydable et une pince (bien nettoyés) et on garde la chair dans la coquille pour éviter toute sorte de contamination venant de l'environnement ambiant ;
- ✓ On suit individuellement et séparément ces étapes et on procède à peser les différents poids de la chair ;
- ✓ On pèse un pot stérile et vide en plastique sans son couvercle puis on tare la balance.
- ✓ Ensuite, on ajoute la première chair et on note son poids et on tare avant d'ajouter la chair 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 ;
- ✓ Le pot sera étiqueté (le nom de la station, la date, le numéro du pot), et conservé au congélateur jusqu'à l'étape suivante (la lyophilisation).

2.3. Lyophilisation

La lyophilisation consiste à extraire l'eau contenue dans les substances organiques ou minérales par interaction des techniques du vide et du froid (figure 13).



Figure 12 : Lyophilisateur.

Le produit, préalablement congelé à basse température, est placé dans une enceinte sous vide. L'abaissement de la pression en delà du point d'équilibre (point triple) sur la courbe de tension de vapeur de l'eau entraîne une sublimation de la glace, c'est-à-dire que l'eau à l'état de glace s'élimine sous forme de vapeur sans passer par l'état liquide. Les échantillons congelés sont immédiatement déshydratés dans le lyophilisateur à $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ et sous vide (1 à 10bar) pendant 48 h par un lyophilisateur **modèle Christ BETTA 1-8** (figure 14) (AKLI, 2016).

Cette opération a été réalisée dans le laboratoire de recherche de l'ENSSMAL à de Sidi Fredj.

2.4. Broyage

- ❖ A l'aide d'un broyeur électrique pourvu d'une lame inoxydable, les échantillons lyophilisés ont été broyés pour procéder à leur minéralisation ;
- ❖ On pèse les échantillons avant le broyage (après lyophilisation) et après le broyage ;
- ❖ Entre station et station, il faut assurer que toute trace de poudre de la chaire précédente a été bien éliminée et le broyeur est bien nettoyé ;
- ❖ Chaque échantillon broyé et homogénéisé a été conservé dans des piluliers étiquetés munis d'un couvercle bien serré afin d'éviter toute sorte de contamination jusqu'au moment de la minéralisation.

2.5. Minéralisation

La minéralisation ou l'extraction du métal total contenu dans l'échantillon, c'est une étape primordiale pour la détermination d'éléments traces. Elle permet de détruire la matière organique et libérer les métaux incorporés pour obtenir des solutions contenant la teneur totale des éléments présents dans la prise d'essai. Cette méthode précède l'analyse des métaux lourds.

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

La minéralisation a été effectuée par attaque acide à chaud et sous pression. Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire (AKLI, 2016).

2.5.1. Minéralisation à blanc

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc.

- ❖ On met dans chaque godet 4 ml d'acide nitrique (HNO_3) concentré à 68 % ;
- ❖ On ferme hermétiquement les godets avec des bouchons à vis et on chauffe sur une plaque chauffante à 120 ° C pendant 2h30mn ;
- ❖ On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement ;
- ❖ On ouvre les godets et on verse les 4ml d'acide nitrique, et on rince à l'eau bi-distillée et on sèche dans l'étuve (annexe n° 2).

2.5.2. Minéralisation des échantillons

Selon AKLI (2016), la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon.

- ❖ On pèse environ 0.5 g de moule lyophilisé et broyé. On y ajoute 5 ml de HNO_3 puis on ferme hermétiquement les godets ;
- ❖ On laisse les échantillons à température ambiante une nuit, afin d'éviter un début de réaction trop brusque (minéralisation à froid), puis on les met sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min. On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on transfère les échantillons dans les tubes en polypropylène de 50 ml ;
- ❖ On rince les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau distillée ;
- ❖ La solution obtenue doit être agitée. Elle est ensuite conservée au réfrigérateur à +4 °C jusqu'au moment du dosage afin d'éviter toute perte et contamination (AIEA, 2001).

Pour chaque série, on réserve un godet comme un témoin.

2.6. Analyse par la SAA (lecture des concentrations)

La méthode de dosage utilisée est la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA).

La spectrométrie d'absorption atomique SAA constitue un outil privilégié d'analyse d'échantillons liquides obtenus après extraction spécifique à partir des matières solides (analyse des roches, sédiment, sol ou biote), Cette méthode utilise l'absorption d'énergie lors de l'excitation des atomes (HAMMADACHE, 2016).

2.6.1. Principe de la SAA

La spectrométrie 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 présentent 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 (HAMMADACHE, 2016).

Le principe de fonctionnement de l'appareil est schématisé sur la figure 15.

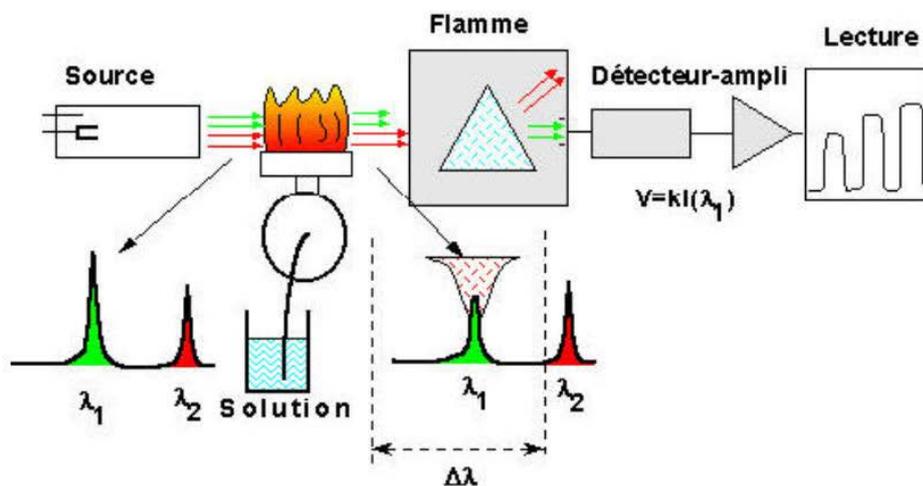


Figure 13: Schéma représentant les composants de SAA.

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 loi empirique de Beer- Lambert-Bouguer.

$$\text{Log } I_0/I = K \times L \times C$$

Où

I₀: Intensité de la radiation incidente ;

I: Intensité de la radiation après la traversée de la flamme ou cellule de quartz ;

K: Constante caractéristique de l'échantillon ;

L: Longueur du chemin optique ;

C: Concentration dans la solution de l'élément considéré.

2.6.2. Equipement de la SAA

A. Système d'introduction de l'échantillon

Nébuliseur pneumatique aspire l'échantillon et le fragmente en fines gouttelettes. L'aérosol formé arrive dans une chambre de nébulisation qui élimine les gouttelettes les plus grosses

B. Atomiseur

Il est constitué d'un brûleur à fente qui est alimenté par un mélange air/acétylène ou air/protoxyde d'azote (N_2O) et qui sert à la production d'une flamme laminaire en modifiant les débits de gaz. Il est possible d'obtenir une flamme réductrice ou oxydante selon les besoins d'analyses (TISSOUKAI et OUATMANI, 2013).

C. Source de rayonnement spécifique de l'élément à doser

Lampe à cathode creuse : remplie d'argon sous faible pression et comporte 2 électrodes.

La cathode est constituée de l'élément à doser ou d'un alliage (utilisable pour plus d'un élément)

Mise sous tension de la lampe : ionisation des atomes d'argon qui vont venir percuter la cathode provoquant l'excitation des atomes de celle-ci et émettent un rayonnement intense dirigé vers la flamme qu'il traverse longitudinalement (excitation des atomes de l'échantillon.)

Lampes EDL : Ampoule en quartz contenant un sel métallique soumise à un champ électromagnétique induit par une bobine d'induction qui Permet de diminuer la largeur des raies et augmente l'intensité (TISSOUKAI et OUATMANI, 2013).

D. Système optique

Il permet de focaliser le faisceau et de sélectionner les longueurs d'onde grâce à un réseau.

Un photomultiplicateur : permet de transformer l'énergie lumineuse en courant électrique

Les éléments métalliques à concentrations relativement faibles sont analysés à l'aide d'un four à graphite (Cd, Pb... etc.). C'est un four en graphite de revêtement pyrolytique interne. Le modèle utilisé est de type «HGA 500 » de Perkin Elmer (TISSOUKAI ET OUATMANI, 2013).

2.6.3. 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 (DRIF, 2012) :

$$\text{Cps} = \text{Cc} \text{ Ps} * \text{V}$$

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).

3. Indice de condition (IC)

L'indice de condition (IC) est un indice biométrique indicateur du cycle de reproduction, de l'état physiologique de la moule et de l'état des écosystèmes (FILGUEIRA *et al.*, 2014).

Dans cette optique, et parmi les nombreuses formules proposées par (MAZURIÉ et BESSE., 2003) nous avons choisi l'indice d'AFNOR qui est calculé pendant la période d'étude par la formule :

$$\text{CI} = \text{poids de la chaire} / \text{poids total} * 100$$

Sur l'ensemble de la population de *M. galloprovincialis* (n=250), durant les deux saisons de suivi : « de printemps, 2019 jusqu'à l'Eté, 2019 » et sur les cinq sites d'étude.

4. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA. L'analyse de la variance à un seul critère de classification après la vérification de la normalité des données permet de tester l'homogénéité des teneurs en métaux lourds des échantillons classés en fonction des stations. L'appréciation est observée en fonction de la valeur de p. si $p \geq 0,05$: il n'existe pas de différences significatives (NS) si $p \leq 0,05^*$ il existe des différences significatives. Si $p \leq 0,01^{**}$ il existe des différences hautement significatives, si $p \leq 0,001^{***}$ il existe des différences très hautement significatives.



Résultats et Discussion

6I. Résultats

I.1. Paramètres biométriques

Les calculs de la moyenne des longueurs (taille), épaisseurs, largeurs et poids totaux et poids de la chair des différentes espèces récoltées de chaque site a été effectué à l'aide du logiciel Excel. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau III et illustrés sur la figure 16.

Tableau III : Différents paramètres biométriques des stations

		Les paramètres biométriques				
		Épaisseur moyenne (mm)	Longueur moyenne (mm)	Largeur moyenne (mm)	Poids total (g)	Poids de la chair (g)
Station	Tigzirt	31	60.6	30.2	19.06	10.78
	Berard	30.5	63.04	33.78	19.87	9.56
	Orca marine	30.17	84.80	51.99	18.3	7.75
	Boudouaou	16.20	49.14	20.05	16.6	7
	Bateau cassé	20.17	54.5	29.6	18.02	6.78

La comparaison intersites de la taille moyenne des moules révèle que les moules récoltées au niveau de la ferme Orca marine présentent la taille maximale de l'ordre de **84.80 mm**. Les deux stations des deux fermes aquacoles (Tigzirt, Berard) et la station du bateau cassé ainsi que celle de Boudouaou hébergent des moules de tailles relativement importantes qui varient entre **49.14 et 54.5 mm**.

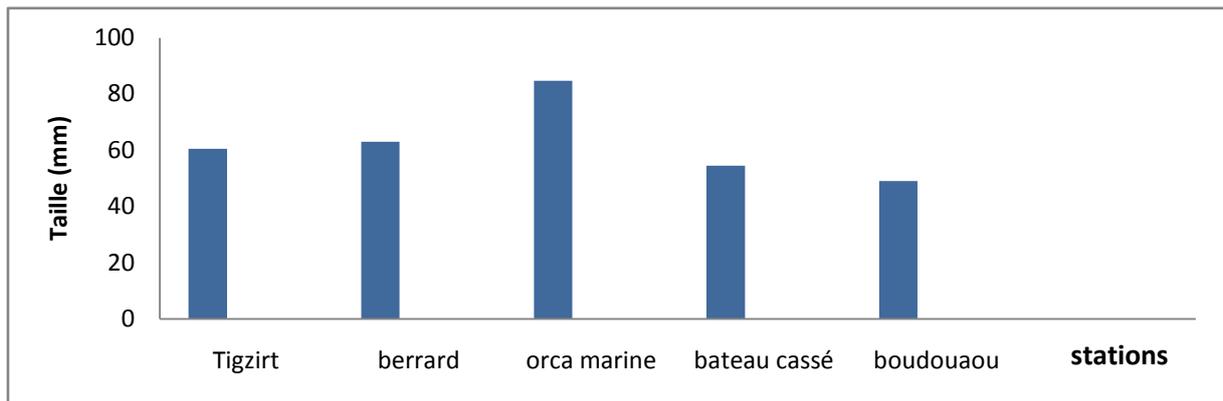


Figure 14 : Comparaison intersites des tailles moyennes dans les différentes stations d'étude.

Les moules prélevées au niveau de la ferme Orca marine possède la taille la plus importante. Ceci est dû principalement aux conditions d'élevage assez favorables, le facteur âge des moules peut être aussi déterminant de cette différence. En effet, les deux stations Boudouaou et Bateau cassé les prélèvements sont faites au niveau des moulières naturelles soumises aux impacts anthropiques et surtout à la prédation humaine. Donc, les stations où on a enregistré des moules avec des tailles relativement importantes sont des stations protégées (le cas des stations d'Orca marine, Berard et Tizirt).

I. 2. Indice de condition

L'indice de condition des moules du site de Tizirt atteint la valeur la plus élevée (56 %) comparée à celles mesurées dans les moules de Berard, Orca marine, Boudouaou et Bateau cassé, soit respectivement 48.11 %, 42.34 %, 42 % et 37.62 % (figure 17).

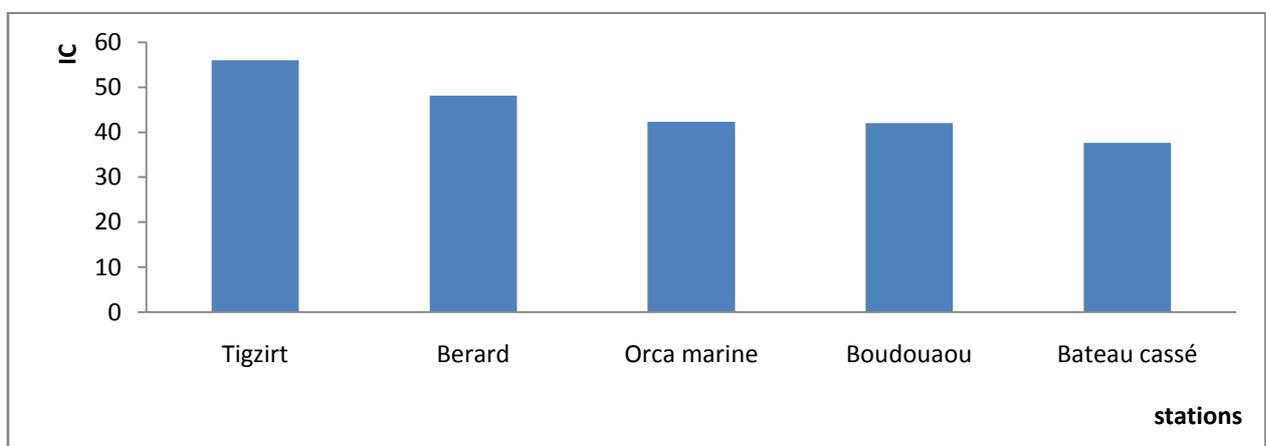


Figure 15 : Variation spatiale (inter-sites) de l'IC chez la moule *M. galloprovincialis*.

Sur l'ensemble de la population de *M. galloprovincialis* (n = 250), et dans les cinq sites (Tigzirt, Berard, Orca marine, Boudouaou et Bateau Cassé), les variations de l'IC sont statistiquement non significatives ($p=0.085$, $p > 0,05$).

I.3. Teneurs en métaux traces

L'analyse des métaux par spectrométrie d'absorption atomique à flamme a été appliquée pour les éléments traces suivants : le Zinc, le Cuivre, le Plomb, le Manganèse, le Fer et le Cadmium (annexe n° 3) présente les concentrations de ces métaux dans chaque échantillon.

Les figures ci-dessous représentent les concentrations des métaux étudiés dans les différents sites d'études (Tigzirt, Berard, Orca marine, Boudouaou et Bateau Cassé) pour l'espèce étudiée *Mytilus galloprovincialis*.

I.3.1. Zinc

Les concentrations mentionnées sur la figure 16 varient entre la valeur minimale de **1.17 µg/g** et la valeur maximale de **290.3 µg/g** du poids sec. Ces résultats sont relevés respectivement dans la ferme Saradoni Tigzirt et celle de la station Bateau cassée. En ce qui concerne les stations Boudouaou El Bahri, la ferme Orca marine et Berard des teneurs relativement élevées ont été détectées, elles sont supérieures à **220 µg/g** du poids sec de la chaire.

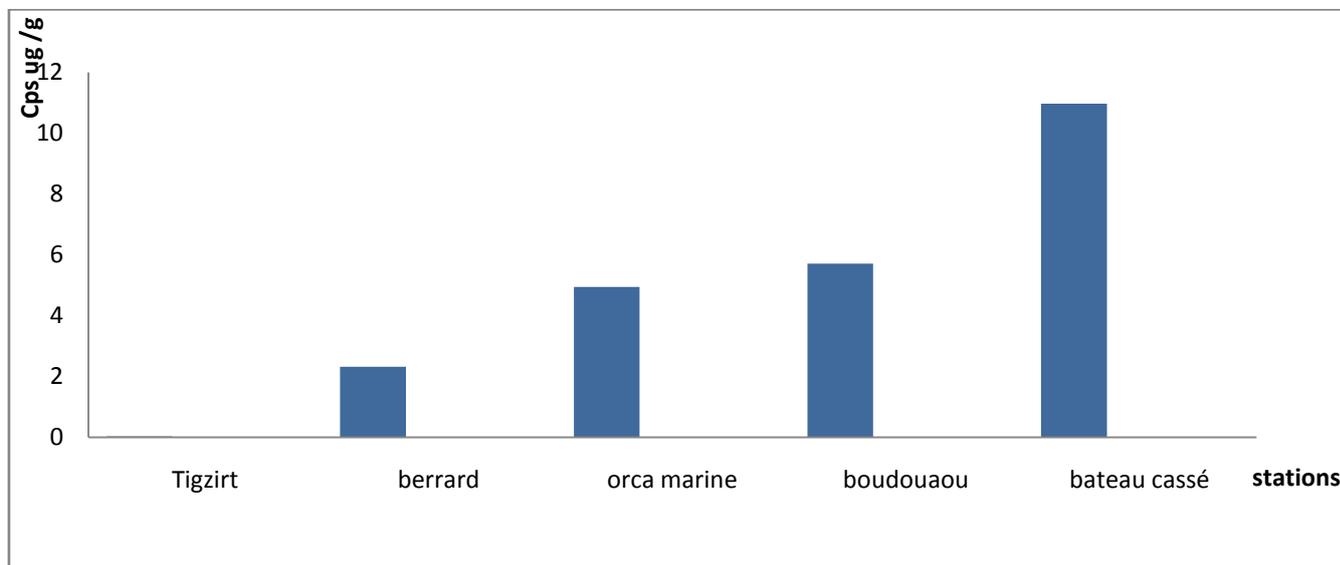


Figure 16 : Concentrations du Zinc en (µg/g) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* dans les différentes stations d'étude.

L'ANOVA a révélé l'existence d'une différence très hautement significative entre les stations ($p= 0,000053$), Le test Newman et Keuls a donné deux groupes homogènes (la station Tigzirt forme un groupe et les autres stations appartiennent à un autre groupe (tableaux 1a, 1b en annexe n° 3).

I.3.2. Manganèse

Les teneurs du manganèse relevées dans les sites étudiés montrent des fluctuations de concentration limitée par les deux valeurs suivantes (figure 17) :

- Une valeur minimale de **0,86 µg/g** observée dans la ferme Saradouni dans la daïra de Tizirt.
- Une valeur maximale de **7.69 µg/g** enregistrée dans la station de Bateau cassé située dans la baie d'Alger.

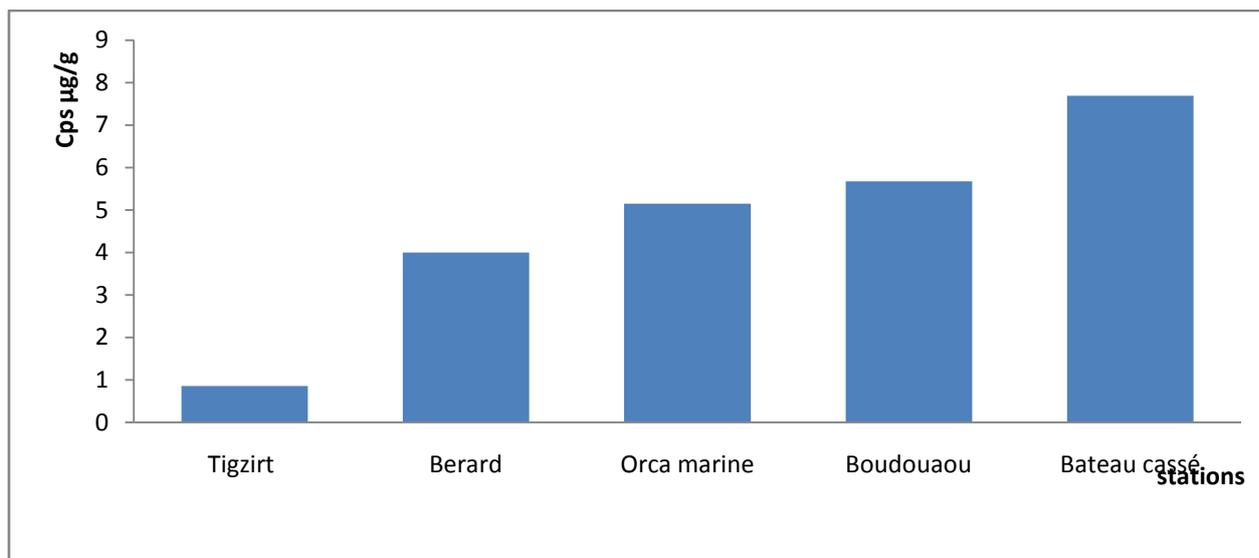


Figure 17 : Concentrations du Mn en µg/g chez la moule *Mytilus galloprovincialis* dans les différentes stations d'étude.

Cependant, des teneurs élevées ont été notées dans les stations de : Boudouaou, Orca marine et Bateau cassé, alors que des teneurs relativement faibles ont été remarquées au niveau de la station Saradouni Tizirt.

L'analyse de la variance révèle, en ce qui concerne les teneurs en manganèse, l'existence d'une différence très hautement significative entre les stations ($P= 0,000053$) ; Le test Newman et Keuls a donné quatre groupes homogènes (les stations Orca marine et Boudouaou) appartiennent au même groupe et les autres stations chacune est classée dans un groupe différent de l'autre (tableaux 2a, 2b et en annexe n° 3).

I.3.3. Fer

C'est au niveau de la baie d'Alger (bateau cassé) que nous avons enregistrées la teneur la plus élevées en Fe estimée à **725,4 µg/g PS**, tandis que la valeur minimale a été obtenue dans la ferme Saradouni Tizirt **50,31 µg/g PS**.

Des teneurs élevées ont été notées dans les autres stations (Orca marine, Berrard et Boudouaou) avec des valeurs qui fluctuent entre 525 µg/g et 650.42 µg/g. (Figure 20).

Le teste d’ANOVA révèle l’existence d’une différence très hautement significative entre les stations (P= 0,000001) ; et le test de Newman et keuls a montré l’hétérogénéité de la teneur en Fer entre les stations étudiées et chaque station appartient à un groupe différant d’un autre (tableau 3a et 3b en annexe n° 2)

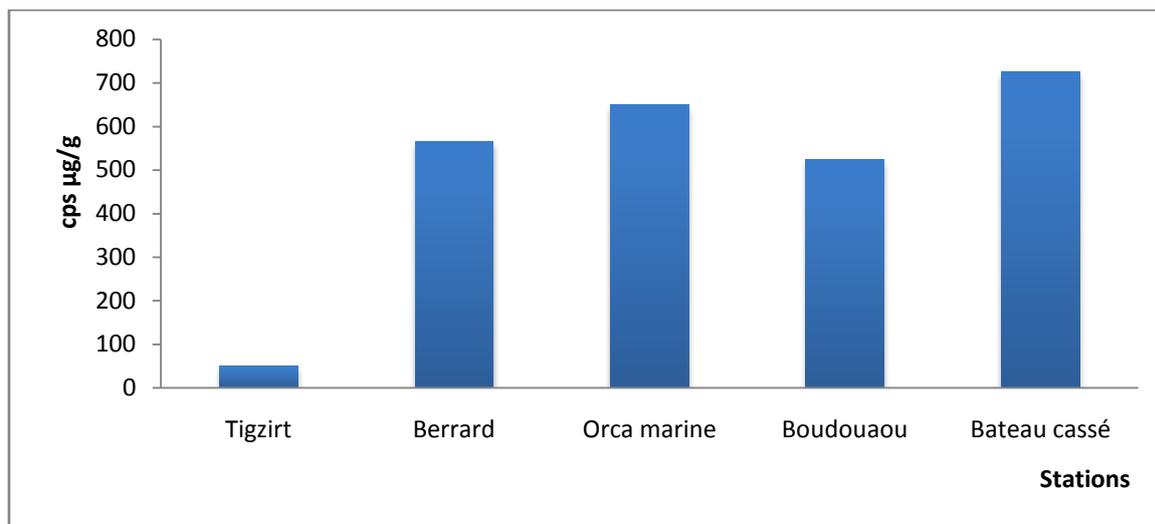


Figure 18: Les concentrations du Fe en (µg/g) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* dans les différentes stations d’étude.

1.3.4. Cadmium

Comme le Cadmium se présente dans la nature avec des teneurs faibles, surtout dans la matrices biologique, l’analyse de ce dernier a été effectuée à l’aide du four graphite. Parmi les stations analysées, la valeur maximale (**0,95 µg/g** du poids sec) a été observée dans le site de Bateau cassé suivit directement par la station de Boudouaou qui montre aussi une valeur relativement importante (**0,585 µg/g** du poids sec). Cependant, la concentration la plus faible est enregistrée au niveau de la ferme Tizirt avec une valeur de **0,011 µg/g** (Figure 21).

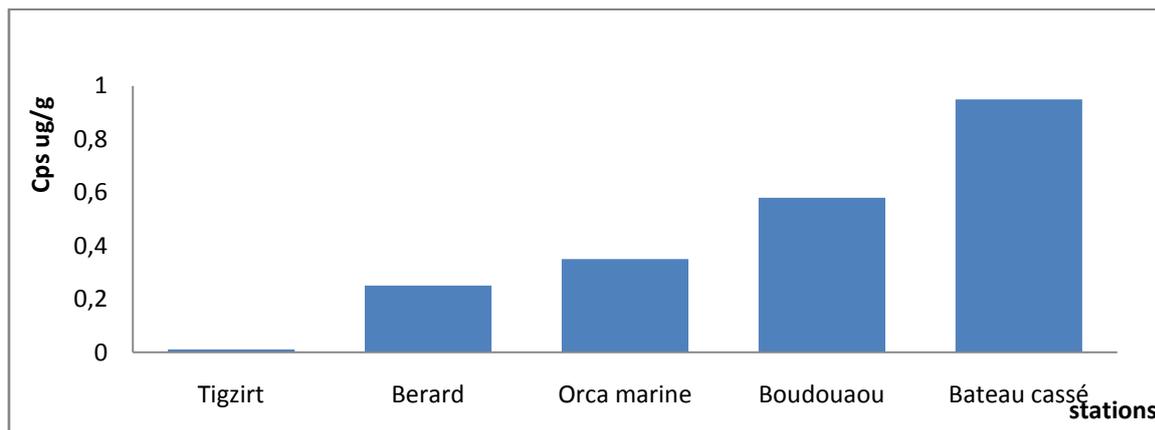


Figure 19: Les concentrations du Cd en ($\mu\text{g} / \text{g}$) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* dans les différentes stations d'étude.

Le test d'ANOVA a un facteur fait apparaître l'existence d'une différence significative entre les tenures en Cd dans les stations étudiées ($p = 0,000195$) ; le teste de Newman et Keuls a donné un groupe homogène entre la de station de Berard et Orca marine (tableaux 5a et 5b en annexe n° 3).

1.3.5. Plomb

La concentration de ce métal au niveau de la station Tigzirt est en dessous de la limite de détection de la SAA utilisée dans nos analyses. Cependant, des teneurs faibles ont été notées dans les stations suivantes Berard ($0,07\mu\text{g} / \text{g}$), Orca marine ($0,095\mu\text{g} / \text{g}$), Boudouaou ($0,4\mu\text{g} / \text{g}$) et Bateau cassé ($0.55\mu\text{g} / \text{g}$). L'analyse de la variance révèle l'absence d'une différence significative quant à la teneur en Pb entre les stations (tableau 6 en annexe n° 3 et la figure 22).

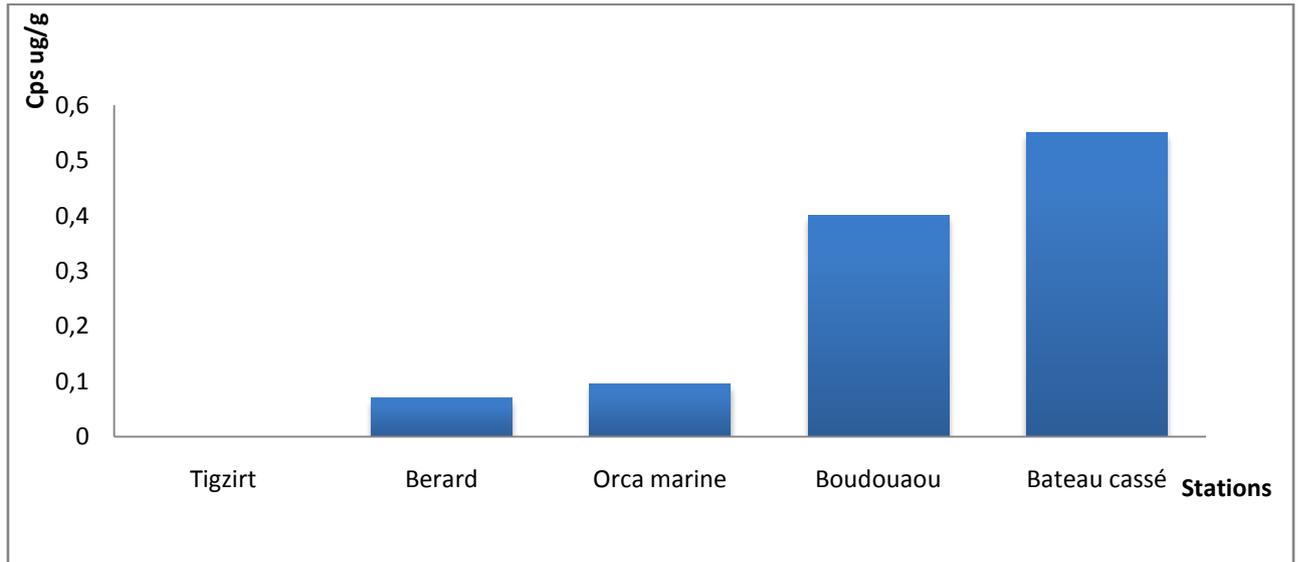


Figure 20 : Concentrations du Pb en ($\mu\text{g/g}$) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* dans les différentes stations d'étude.

I.3.6. Cuivre

La figure 21 montre que la station appartenant à la baie d'Alger (bateau cassé) marque des teneurs maximum représentés par une valeur de **11,23 ($\mu\text{g/g}$)**, tandis que la valeur minimale a été obtenue dans la ferme Saradouni Tizirt (**0,03 ($\mu\text{g/g}$)**).

L'analyse statistiques, concernant les teneurs en Cuivre, montrent l'existence d'une différence très hautement significative d'une station à une autre ($p=0,000206$). et que les stations Orca marine et Boudouaou sont homogènes selon le test Newman Keuls (tableau 7a et 7b en annexe n° 3).

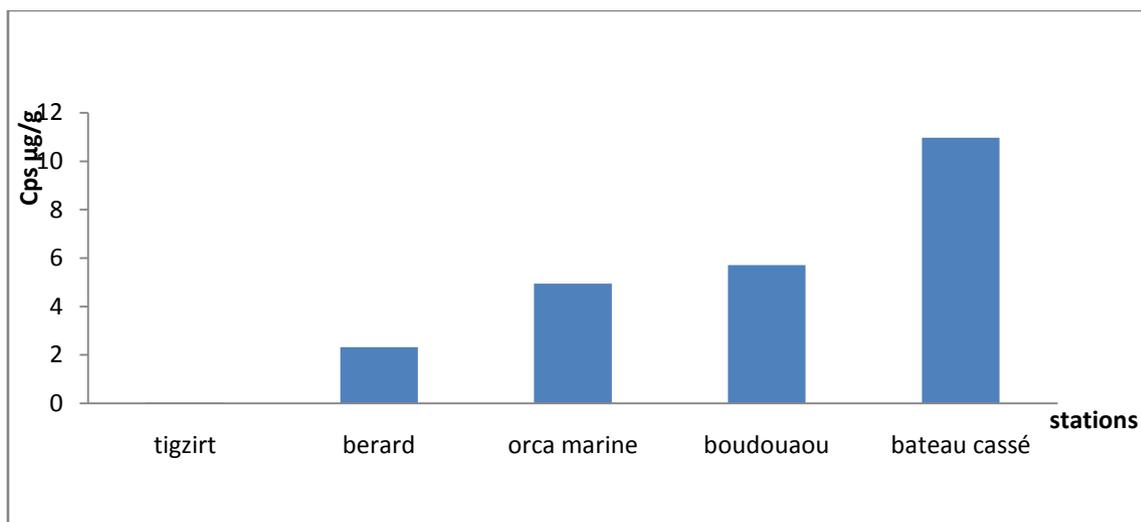


Figure 21 : Concentrations du Cu en ($\mu\text{g/g}$) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* dans les différentes stations d'étude.

II. Discussion

Les résultats des dosages réalisés à partir de la chair des moules prélevées de divers points du littoral algérien font apparaître que les teneurs en métaux lourds présentent une distribution variable aussi bien en fonction du site qu'en fonction de l'indice de condition.

L'analyse des teneurs du **zinc** dans la chair des moules récoltées montre que les stations Berard, Boudouaou El Bahri et Orca marine présentent des teneurs relativement élevées, elles sont supérieures à 220 µg/g du poids sec de la chair avec un maximum 290,3 µg/g. Ces fortes teneurs en Zn dans ces stations liées aux activités anthropiques comme l'usure de peintures antisalissure des coques des bateaux situées au niveau des ports et les différents rejets déversés par oued El Harrach et oued El Hamiz dans le cas de la baie d'Alger, et des oueds Mazafran et Nador dans le cas de la baie de Bou-Ismaïl ainsi que les oueds Zemmouri et Reghaïa dans le cas de la baie de Zemmouri. Pour la station de Tizirt mes teneurs très faibles qui peuvent être liées à l'absence des sources de pollution par ce métal dans la région. Il est à noter que les concentrations en zinc sont plus élevées que celles signalées par **DRIF (2012)** dans le Golf d'Annaba ; **ROUANE-HACENE (2013)** dans les côtes d'Oran et de Mostaganem (Algérie) ; **ANACLETO et al., (2014)** dans les côtes Ouest de Portugal et **RICHIR Et GOBERT (2014)** au niveau de Diane pond, (La Corse).

On ce qui concerne le **manganèse** des valeurs relativement faibles ont été détectées dans l'ensemble des stations par rapport à les autres ETM étudiées varie entre 0,86 µg/g dans la station de Tizirt et 7,65 µg/g dans la station de la baie d'Alger.

Les rejets et les oueds ont certainement contribué à la teneur du Mn dans les échantillons prélevés. ces résultats sont au-dessus de celles enregistrées par à El Kala, (Algérie) et dans la Côte espagnole de l'Atlantique Nord.

Pour le **Fer**, des teneurs élevées ont été notées dans toutes les stations sauf Tizirt avec des valeurs importantes qui peuvent atteindre jusqu'à **725,4 µg/g** du poids sec au niveau de la station de bateau cassé à la baie d'Alger.

Ces fortes teneurs en Fe décelées dans nos échantillons s'expliquent principalement par la charge polluante charriée par les principaux rejets anthropogéniques côtiers de l'agglomération d'Alger correspondant aux émissaires des eaux usées sans aucun traitement préalable. De plus, cette position du port reste aussi sous l'influence directe du trafic maritime qui pourrait être à l'origine de ce type de pollution. Ce constat conduit à incriminer les peintures anti-salissures (peintures antifouling) qui couvrent les coques des embarcations, et

qui par le phénomène de la lixiviation des couches de ces peintures entraînerait la libération de différents métaux toxiques dans l'eau.

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. Nos résultats concordent avec celle trouvées par **SOUALILI *et al.* (2008)** à Alger plage,

Tamenfoust et Sidi Fredj (Alger, Algérie) ; **ROUANE-HACENE (2013)** à Ain Defla (Oran, Algérie) et Hadjaj (Mostaganem, Algérie).

Tandis qu'elles sont plus élevées par rapport aux teneurs signalées par **(BENGUEDDARAHAL, 2012)** dans les côtes de Beni Saf (Ain Témouchent, Algérie) et Ghazaouet (Tlemcen, Algérie).

En méditerranée française des teneurs en cadmium relativement élevées (2,8 fois la médiane nationale française) sont relevées dans le secteur d'Ajaccio; mais des niveaux encore plus élevés (5,82 mg/kg PS). Ces teneurs en dépassant le seuil de 5 mg/kg de poids sec fixé par le règlement CCE [10] n° 466-2001 ont été à l'origine de l'interdiction de commercialisation des mollusques (**WARNAU *et al.*, 2006**).

Le teneur maximale en plomb est relevé à l'Est à proximité de l'embouchure de oued El Hamiz et les et oued El Harache autres rejets (industriels et urbains) ; des niveaux assez élevés sont rapportés en méditerranée française, ou des valeurs extrêmes sont rapportées dans la rade de Toulon (5,4 mg/kg p.s.) et à un degré moindre à Marseille (**R.N.O, 2006**).

III.1 Evaluation du niveau de contamination des moules des sites étudiés par les éléments traces métalliques

La détermination des niveaux de qualité des différentes stations étudiées est basée sur les normes Algériennes fixant la teneur maximale en ETM dans les bivalves et la Grille de qualité proposée par **Mersch (1993)** (l'annexe n° 5) ainsi que la Grille de contamination réalisée dans le cadre RINBIO2000 (l'annexe n° 6), pour interpréter les concentrations des différents métaux (µg/g de poids sec) observées dans les moules. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures ci-dessous.

III.1.1. Niveau de pollution par le Zinc dans le littoral Algérien

La figure 24 représente le niveau de contamination par le zinc dans le littoral Algérien basée sur la grille de qualité proposée par **MERSCH ,1993**.

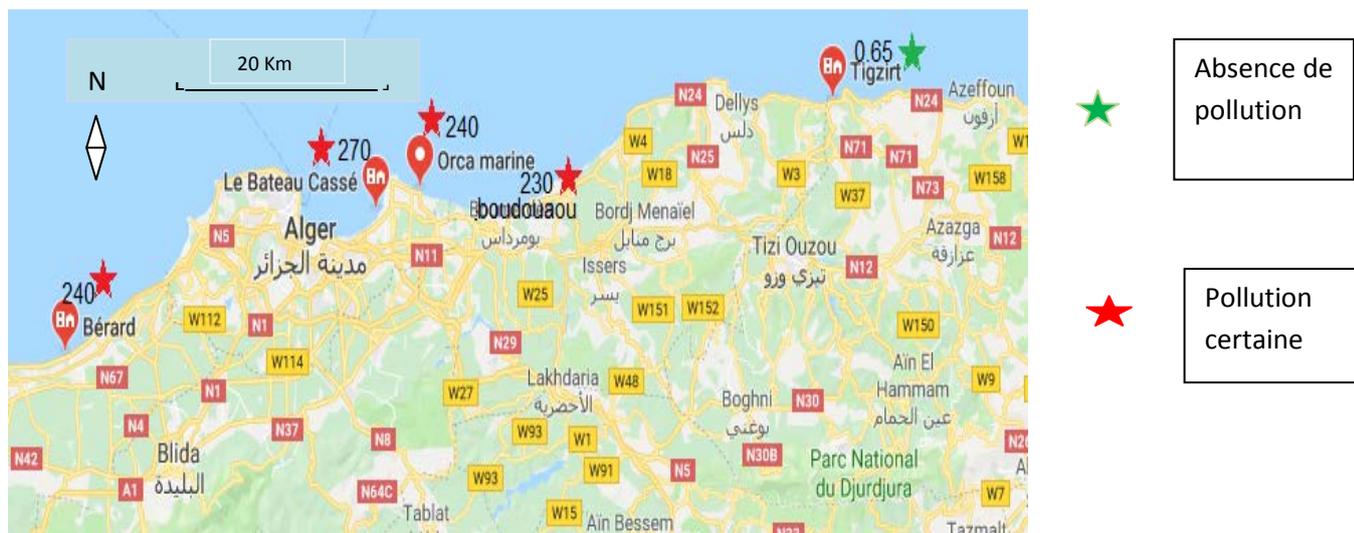


Figure 22 : Bioaccumulation du zinc par la moule *Mytilus galloprovincialis* dans quelques stations du littoral algérien.

III.1.1.1 Baie de Zemmouri

Les teneurs élevées du Zn relevées dans la baie de Zemmouri indiquent une pollution certaine liée aux activités industrielles utilisant le Zn dans leurs processus (peintures...) et leurs rejets dans les cours d'eau qui se déversent dans la baie.

III.1.1.2. Baie d'Alger

La teneur élevée constatée dans la station bateau cassé qui appartient à la baie d'Alger, indiquent une utilisation abusive de ce métal dans les différentes activités, sachant que le zinc représente un métal inclus dans les peintures antisalissure des bateaux existant dans le port d'Alger sans oublier le versement des deux cours d'eau oued el Harrach et oued El Hamiz.

III.1.1.3. Baie de Bou-Ismaïl

La ferme conchylicole de Bérard de Bou Ismaïl indique une existence certaine d'une source de pollution par le Zn acheminée par les différents cours d'eau comme oued Mazafran, oueds Beni-Messous et Nador ...

III.1.1.4. Tizirt

La ferme conchylicole de Saradouni indique une absence de pollution par ce métal vue que Tizirt est une zone touristique caractérisée par une faible activité qui utilise ce métal.

II.1.2. Niveau de pollution par le Cadmium dans les stations étudiées

La figure 25 représente le niveau de contamination par le cadmium dans le littoral Algérien basée sur la grille de qualité proposée par MERSCH ,1993.



Figure 23 : Bioaccumulation du cadmium par la moule *Mytilus galloprovincialis* dans quelques stations sur le littoral algérien.

III.1.2.1. Baie de Zemmouri

La faible concentration de cadmium dans cette zone représente une absence de pollution par ce métal ce qui indique une rareté de son utilisation dans les différentes activités (urbaines, industrielles ou agricoles).

III.1.2.2. Baie d’Alger

La baie d’Alger montre aussi des valeurs faibles de Cadmium, elles sont inférieures à 1 µg/g du poids sec de moules.

III.1.2.3. Baie de Bou-Ismaïl

La ferme de Berard qui est située dans la baie de Bou-Ismaïl indique l'existence certaine d'une source de pollution par le Zn acheminée par les différents cours d'eau comme l'oued Mazafran, l'oued Beni-Messous et Nador.

III.1.3. Niveau de pollution par le plomb dans stations étudiées

La figure 26 représente le niveau de contamination par le plomb dans le littoral Algérien basée sur la Grille de contamination réalisée dans le cadre RINBIO2000.

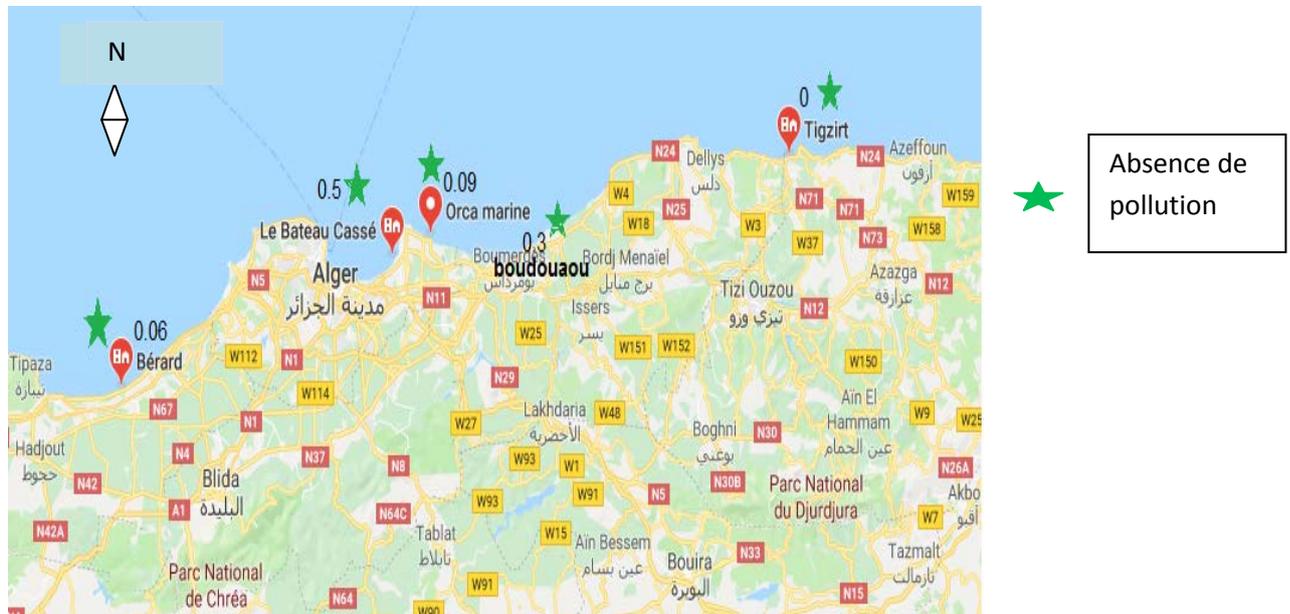


Figure 24: Bioaccumulation du Plomb par la moule *Mytilus galloprovincialis* dans quelques stations sur le littoral algérien. (Googl maps, 2019).

La teneur maximale en plomb est relevée dans la station bateau cassé $0,55 \mu\text{g/g}$ à proximité de l’embouchure de oued el Harrach et les autres rejets industriels et urbain .La teneur minimale est notée à la station de Tizirt loin de toute rejets industriels mais les niveaux de teneurs en plomb relevée dans la présente étude reste inférieur aux normes algériennes ($\leq 3,6\mu\text{g/g}$) (RINBIO, 2003).

III.1.4. Niveau de pollution par le cuivre dans les stations étudiées

La figure 27 représente le niveau de contamination par le cuivre dans le littoral Algérien basée sur la Grille de contamination réalisée dans le cadre RINBIO2000.



Figure 25 : Bioaccumulation du cuivre par la moule *Mytilus galloprovincialis* dans quelques stations sur le littoral algérien.

Si on compare nos résultats avec les classes de qualités de RINBIO de 2003 (**KANTIN et PERGANT-MARTINI, 2007**) on conclut que la concentration moyenne de cuivre dans la Chaire des moules de Tizirt et Berard est située dans la gamme de référence (< 4,44 µg/g PS).

Et les stations Boudouaou et Orca marine son situé dans la gamme de sécurité entre 4,44 et 6,92 µg/g P.S Par contre, les teneurs de ce métal dans la chaire de la moule de bateau cassé ont des valeurs anormales (supérieur a 9.40 µg/g et inférieur a 11,86 µg/g P.S) ; donc ces valeurs témoignent d’une pollution certaine.

III.2. Etude rétrospective

III.2.1. Evolution des teneurs des métaux traces dans les stations étudiés au cours des dernières années

Dans le cadre de la biosurveillance des ETM et en se basant sur les études antérieures, nous avons tenté de comparer les teneurs obtenues à différentes périodes pour essayer de déterminer leur évolution temporelle. Les résultats obtenus sont présentés dans le diagramme de la figure 28.

II.2.1.1. Zinc

Pour l’ensemble des sites (port d’Alger, Zemmouri et Bou-Ismaïl), une augmentation très visible a été constatée, ce qui explique le pouvoir bio-accumulateur des moules étudiés et l’accentuation du phénomène de la pollution (avec toutes ses formes) dans les zones étudiées par ce métal.

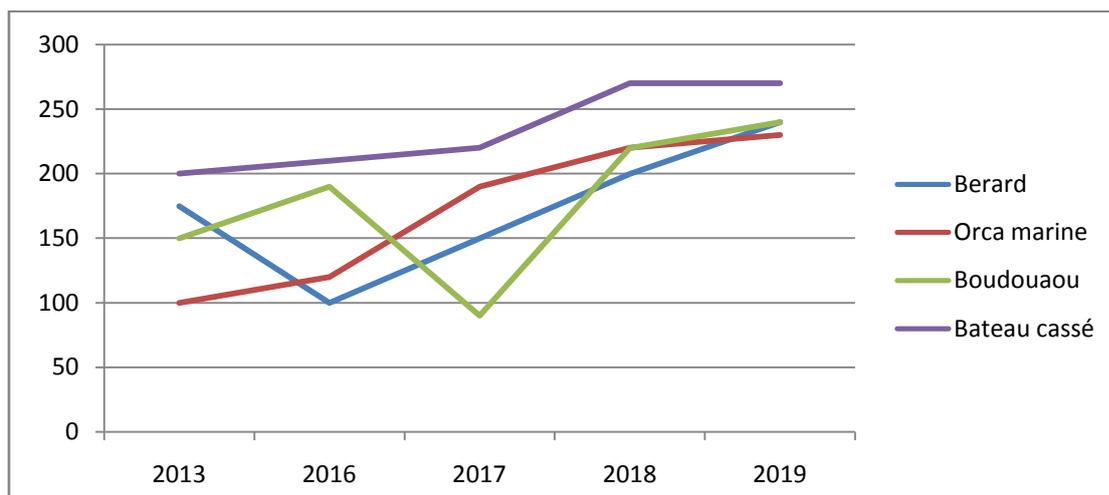


Figure 26 : Evolution des concentrations du Zinc dans les différentes stations d'étude de 2013 jusqu'à 2019.

III.2.1.2. Manganèse

Contrairement au zinc, le manganèse présente un déclin important pour l'ensemble des zones étudiées à travers les années précédentes jusqu'à **2019** pour marquer des valeurs inférieures à **5 ug/g** de PS. Sauf le cas de la baie d'Alger la teneur a augmenté de 3.26 ug/g en 2018 vers 7.59 ug/g ce qui explique l'augmentation de la source de pollution de ce métal par apport à l'année passée.

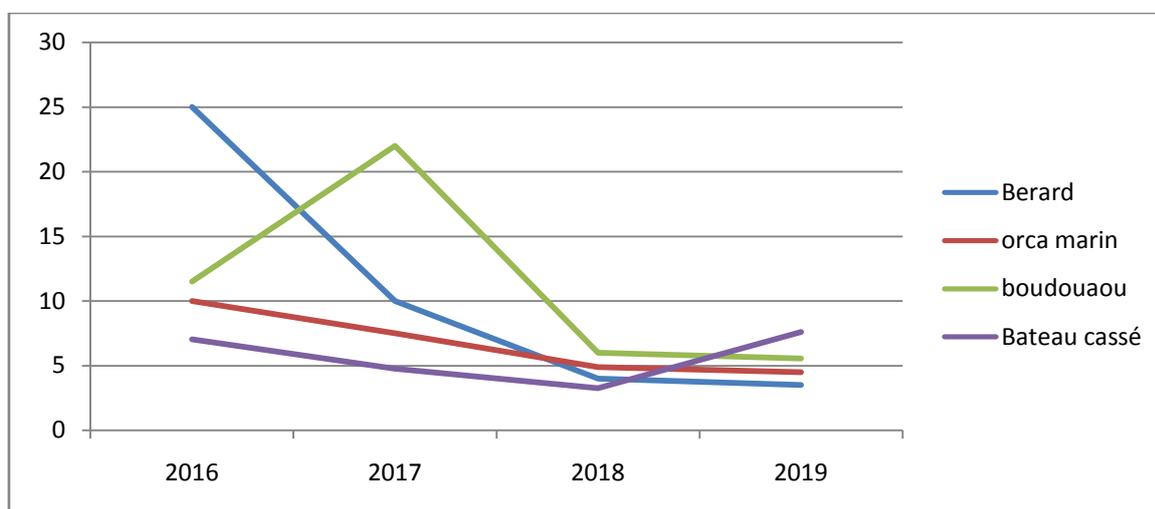


Figure 27 : Evolution de concentration de Manganèse dans les différentes stations d'étude de 2016 jusqu'à 2019.

III.2.1.3. Le Fer

Les teneurs en fer du présent travail ont été comparées à celles des l'année **2016 et 2018**. Pour l'ensemble des stations une augmentation importante est constatée. Les valeurs enregistrées dans cette étude présentent les valeurs les plus élevées en les comparants à celles des années antérieures.

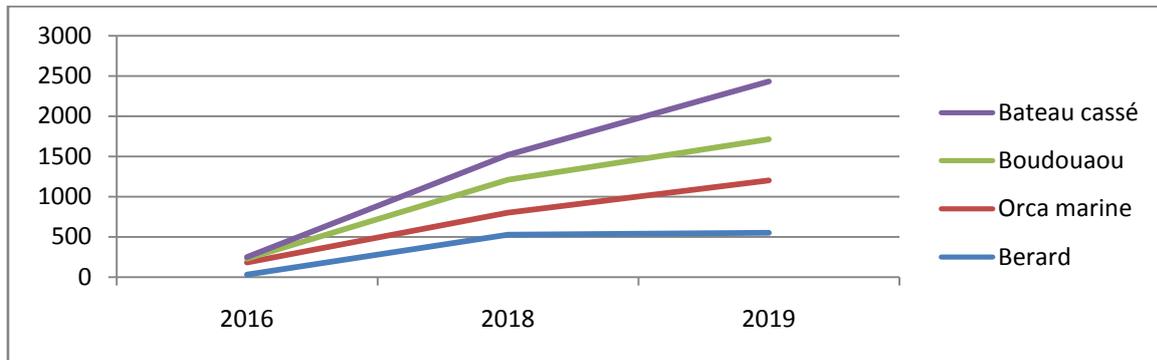


Figure 28: Evolution de concentration de Fer dans les différentes stations d'étude de 2016 jusqu'à 2019.

III.2.1.4. Cadmium

Les teneurs de ce métal toxique présentent une diminution importante de l'année 2016 vers année 2018, mais en 2019 on observe une nette augmentation de presque le double. D'une manière générale, le Cd se manifeste avec des concentrations assez faible (<1 µg/g dans toutes les stations) et ne présente pas de risque de pollution.

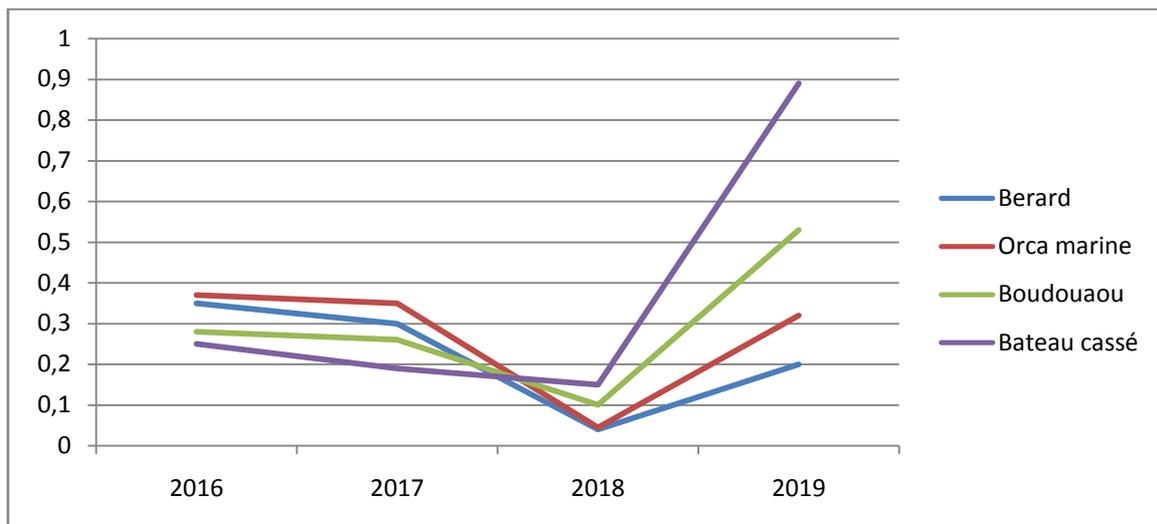
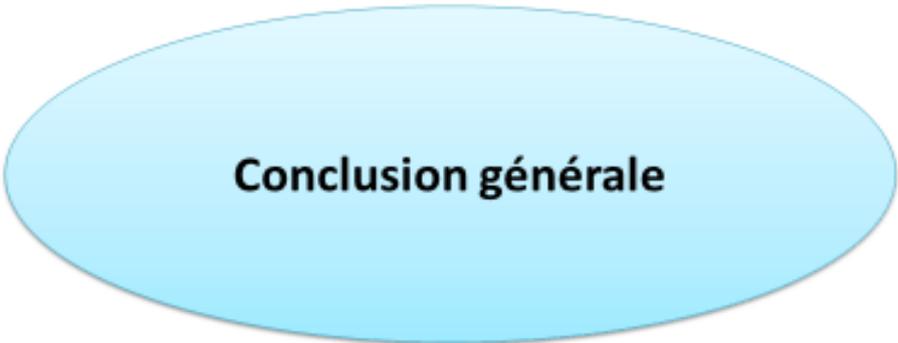


Figure 29 : Evolution de concentration de Cadmium dans les différentes stations d'étude entre 2016 et 2019.



Conclusion générale

Conclusion

Les résultats de la présente étude démontrent l'importance des apports anthropiques dans la contamination du littoral par les métaux lourds du fait que les fortes teneurs en ETM observées sont relevées dans la chair de moules peuplant les stations reliées à des villes de forte agglomération et connues par des activités industrielles ; c'est le cas de Ain Taya et la baie de Bou-Ismaïl ainsi que la baie Zemouri. Les très fortes teneurs en ETM sont observées à la station bateau cassé qui se trouve dans la baie d'Alger plus à l'Est du port et à proximité des rejets industriels, urbains et domestiques que la baie reçoit.

Ces fortes teneurs dans la chair de nos échantillons s'expliquent principalement par ces principaux rejets anthropogéniques du littoral de la ville d'Alger, correspondant aux émissaires des eaux usées de par les charges polluantes charriées par les oueds (El Harrache et El Hamiz), sans aucun traitement préalable. Ces charges polluantes sont aussi sous l'influence de l'activité portuaire d'une part, d'un axe routier important d'autre part.

Quant aux basses teneurs relevées dans la station de Tigzirt, elles s'expliqueraient par l'éloignement de ce site des grandes sources de contamination, mais aussi par l'hydrodynamisme et la courantologie auxquels est soumise cette zone.

En effet, six métaux ont été évalués dans les échantillons représentant les cinq stations étudiées.

L'analyse des teneurs du **zinc** dans la chaire totale de la moule montre que les stations (bateau cassé, boudouaou, el bahri, Orca marine et la ferme Berard) présentent des teneurs relativement élevées, elles sont supérieures à 220 µg/g du poids sec de la chaire.

On ce qui concerne le **manganèse** des valeurs relativement importantes ont été détectées dans l'ensemble des stations par rapport à l'étude rétrospective.

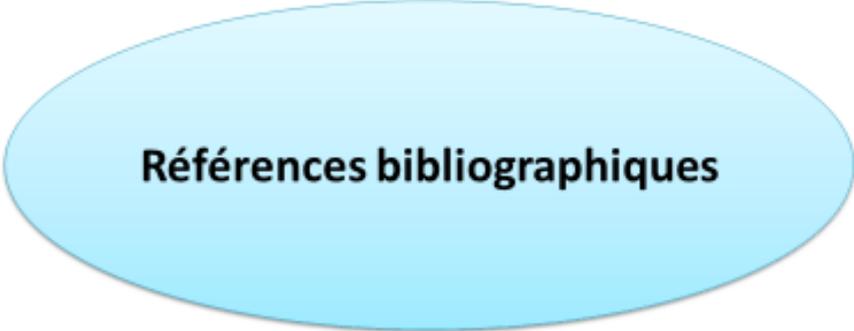
Pour le **Fer**, des teneurs élevées ont été notées dans les stations suivantes (Bateau cassée, Boudouaou, Orca marine et Berard) avec des valeurs importantes qui peuvent atteindre jusqu'à **725,4** µg/g du poids sec. Les valeurs enregistrées dans cette étude présentent les valeurs les plus élevées en les comparant à celles des années antérieures.

L'analyse du **cadmium et de plomb** révèle que ses teneurs sont inférieures à 1 µg/g dans toutes les stations, ce qui signifie l'absence de pollution par ces métaux.

Pour le **cuivre**, des teneurs élevées ont été notées dans les stations suivantes (Bateau cassée, Boudouaou, Orca marine) avec des valeurs importantes qui peuvent atteindre jusqu'à **11,23**µg/g du poids sec.

PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

- Poursuivre ce type d'études au niveau de nos côtes en multipliant le nombre de stations durant les différentes périodes ;
- Réalisation des dosages d'autres métaux toxiques et surtout de l'écosystème aquatiques ;
- Faire une étude de santé chez les riverains du littoral algérien qui consomment quotidiennement les fruits de mer, contaminé par les métaux étudié ;
- Mettre sur pied, des organes de contrôle et de surveillance régulière de la qualité des effluents industriels et domestiques, et les équiper en utilisant des moyens adéquats.
- Créer des stations d'épuration dans les villes côtières surtout dans les zones qui côtoient les cours d'eaux ;
- Inciter les usines à la création des stations d'épuration pour curer leurs effluents et les inclure dans le cahier de charges des nouvelles usines voulant s'implanter dans ces zones, l'installation de station d'épuration comme une obligation d'une extrême importance. Pour aller au-delà de l'application du principe pollueur-payeur et surtout faire obligation à toute usine voulant s'implanter dans le littoral algérien de respecter les normes environnementales ;
- Appliquer la réglementation en vigueur en matière de dégradation de l'environnement ;
- Inciter les agriculteurs à choisir des produits efficaces et moins persistants. et allez vers l'utilisation des engrais bio qui contiennent moins de produits métalliques (cuivres et cadmium....).



Références bibliographiques

AIEA, 2001. Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples. Environ. Pollut 17 : 269-285.

AKLI S., 2016. Contribution à l'étude de la contamination de la saupe *Sarpa salpa* et de la Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire de Master, université M'Hamed BOUGARA –Boumerdes. 33 p.

ALILICHE S. et REDJAH I., 2016. Etude préliminaire du régime alimentaire de la Saupe, *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) de la région centre algérienne. Mémoire de Master. Université M'Hamed BOUGARA - Boumerdes. 30 p.

ANACLETO P. ; MAULVAULT A.L. ; NUNES M.L. ; CARVALHO M.L. ; ROSA R. et MARQUES A., 2014. Effects of depuration on metal levels and health status of bivalve molluscs. Food Control 47: 493-501.

ANDJOUH M. et BOUKLI H. M. S. E., 2016. Etude de la biosorption des éléments traces métalliques (Pb^{2+} , Cd^{2+} et Zn^{2+}) sur une biomasse marine. Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL. 62 p.

AUGIER H. ; RAMONDA J. et SANTIMONE M., 2014. Teneurs en métaux lourds des oursins comestibles *Paracentrotus lividus* (Lamarck) prélevés dans quatre secteurs tests du littoral de Marseille (Méditerranée, France). Vie Mar 10, 226-239.

BANNI, M ; ATTIG, H ; SFORZINI, S ; OLIVERI, C ; MIGNONE, F ; BOUSSETTA, H et VIARENGO, A. (2014). Transcriptomic responses to heat stress and nickel in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquatic Toxicology* 148, 104–112.

BELABED B. D. ; DJABOURABI A. et BENSOUILAH M., 2008. Teneurs en Plomb, Cadmium, Mercure et Zinc relevées dans la chair de la moule *Perna perna*, dans le littoral d'Annaba. Université Badji Mokhtar, Annaba. Synthèse 180,12-22.

BELANGER D., 2009. Utilisation de la faune macro-benthique comme bio-indicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Essai présenté au département de biologie en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale (maîtrise en biologie incluant un

cheminement de type cours en écologie internationale). Université de Sherbrooke. Québec, Canada,88p.

BENNACER S. et BOUBEGTITENE M., 2016. Utilisation du Merlu du golfe de Bejaïa dans l'évaluation de la pollution par quelques Métaux lourds (Fe, Cu, Cd, Pb). Mémoire de Master. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa. 34 p.

BHABY S. ; BELHSEN O.K. et ERRHIF A., 2014. *Mytilus galloprovincialis*; Reproduction Activity and Mantle Structure in a Zone Located in the Northwest of the Atlantic Ocean (Imessouane, Morocco). J. Mar. Biol. Oceanogr, 3 :1.

BONNET C., 2000. Développement de bio essai sur sédiments et application de l'étude, en laboratoire, de la toxicité de sédiments contaminés. Thèse de doctorat écotoxicité. université de Metz ,France. 326 p.

BOUDOU A., 2004. Mécanismes de bioaccumulation des métaux traces chez les organismes aquatiques. Thèse de doctorat, Université Bordeaux,France. 336p.

BOULKRAH H., 2008. Etude comparative de l'absorption des ions plomb sur différents absorbants. Thèse de doctorat, université de 20 Aout 1955 Skikda. 356 p.

BENGUEDDA-RAHAL, W. (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse doctorat. Université de Tlemcen. 109 p.

BRUNRT J. F., 2006. Synthèse bibliographique sur l'élimination de manganèse des eaux d'origine minière. Mémoire de master. Université Bordeaux,France. 55 p.

CASAS S., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat,université du sud Toulon var, France 301 p.

CHIFFOLEAU J. F. ; AUGER D. ; BOUTIER B. ; ROZUEL E. et TRUQUET I., 2003. Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Méthodes d'analyses en milieu marin. Mémoire de magister . Ifremer, Plouzané, France: 36p.

C.N.R.D.P.A, 2012. (Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche de l'Aquaculture). Etude d'impact sur l'environnement pour la réalisation d'une ferme de production de moules. Tigzirt.44p

DAVID G., 2014. La pollution marine. Woessner Raymond. Mers et Océans, atlante, ISBN . Ifremer.31p

DRIF F., 2012. Distribution des métaux traces chez les bivalves (mollusques) dans le golfe d'Annaba (nord-est Algérien). Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar, Annaba.

121 p.

FILGUEIRA, R ; GUYONDET, T ; COMEAU, L.A et GRANT, J. (2014). Physiological indices as indicators of ecosystem status in shellfish aquaculture sites. *Ecological Indicators* 39 (2014) 134– 143.

GAAMOUNE S., 2010. Le rôle des biofilms d'algues dans les traitements biologiques des eaux. Mémoire de magister. Université Farhat Abbas –Setif. 73 p.

GUENDOUI Y., 2011. Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à Posidonie dans la baie d'Alger. Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et aménagement du littoral. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état en science de la mer. 63 p.

GUENDOUI Y., 2015. Etude de la qualité de l'eau de mer de la région littorale de Mostaganem à travers deux bioindicateurs *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) et *Paracentrotus lividus* (Lmk). Mémoire de magister en science de la mer. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. 71 p.

HALILOU N. et LAIB M., 2018. Bio surveillance des métaux traces chez deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) et *Perna perna* (Linnaeus 1758)) dans le littoral algérois. Mémoire d'ingénieur d'état en science de la mer. École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral. 51 p.

HAMMADACHE, 2016. Evaluation du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante (*Phragmites australis*) dans le bassin versant d'Oued Nil de la région de Jijel. Université M'Hamed Bougara Boumerdes. 48 p.

HIS, E et CANTIN, C. (1995). Biologie et physiologie des coquillages. *R. INT. DEL/95.06/ARCACHON.152p*

KANTIN R. et PERGENT-MARTINI C. (2007). Monitoring de la qualité des eaux et de l'environnement marin - Rapport final – Région Corse. Programme INTERREG IIIA Sardaigne / Corse/ Toscane, MONIQUA N°MCD IIIA-03/08, Convention Ifremer PAC - Equipe Ecosystèmes Littoraux & Collectivité Territoriale de Corse MCD IIIA-03/08, Ifremer publ., La Seyne : 1-222.

KHALFANI D. et KERGHÉL M., 2011. Etude de la valorisation d'une biomasse marine, *Posidonia oceanica*, en tant que biosorbant des ions métalliques Pb_2^+ , Cu_2^+ , Ni_2^+ , Zn_2^+ et Cd_2^+ . Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL. 68 p.

LOUNIS B et BELHADJAÏSSA A., 2005. Pollution signature of water quality using remote sensing data, Global developments in Environmental Earth observations from Space 6-11 JUBNE .Poto, Portugal.189p.

MAZURIÉ, J et BESSE, T. (2003). Mise au point d'un protocole standard utilisant la cuisson au four à micro-ondes pour la mesure d'un indice de condition de moules. *IFREMER. DRV/RA. Laboratoire Conchylicole de Bretagne. Station de la Trinité-sur-Mer. 14p.*

MIR S., 2016. Etude de contamination du Plomb et du Zinc dans les céréales cultivées (blé dur) dans la région de Sebdou (Tlemcen). Mémoire de master. Université de Tlemcen. 31 p.

MORIN S., 2007. Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Bordeaux , France.303p.

MOUMENE I., 2017. Bioaccumulation des métaux traces chez les moules de la côte algéroise, mémoire d'ingénieur d'état en science de la mer. Ecole Nationales Supérieures des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 52p.

NAKIB, L. (2010). Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique. Mémoire de Magister. Université MENTOURI de Constantine. 103p

OTMANI H., 2014. Impact des infrastructures maritimes sur le littoral: Cas du port de Cap Djinet. Ecole Nationales Supérieures des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littora, Algérie.107p.

PICHAUD N. 2005. Effets biologiques d'une exposition par les hydrocarbures aromatiques polycycliques sur une espèce bioindicatrice, *Mya Arenaria*. Québec.102p.

RAMADE F., 2000. Dictionnaire Encyclopidique des pollutions. France: Edisience international.702p.

RAMADE, 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2e éd. Paris : Dunod, 1075 p.

RICHIR, J et GOBERT, S., 2014. The effect of size, weight, body compartment, sex and reproductive status on the bioaccumulation of 19 trace elements in rope-grown *Mytilus galloprovincialis*. Ecological Indicators 33 47p.

RNO, 2006. Surveillance du Milieu Marin. Travaux du RNO. Edition 2006. Ifremer et Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. 51 p.

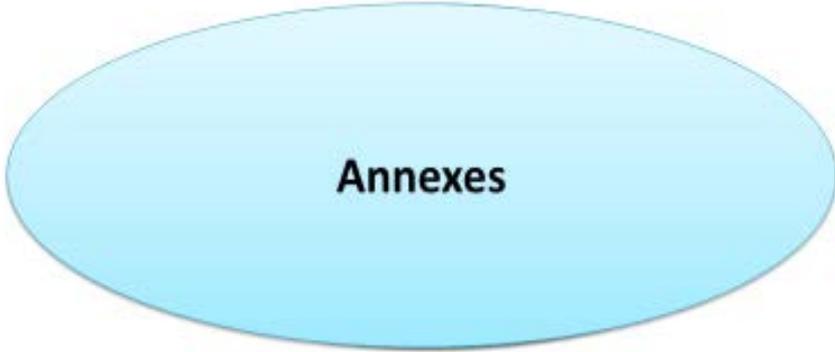
ROUANE-HACENE O., 2013. Biosurveillance de la qualité des eaux du littoral occidental algérien, par le suivi des indice biologique, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement. Université d'Oran. 226 p.

STELLIO C., 2005. Modelisation de la bioaccumulation des metaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus Galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Universite du Sud TOULON VAR. Thèse de doctorat. 269 p.

SOUALILI, D.L. (2008). Les populations naturelles d'oursins : un outil évaluateur de l'état de santé de la baie d'Alger. Thèse. Doct. Océan. Univ. U.S.T.H.B.147p.

TISSOUKAI et OUATMANI, 2013. Dosage de quelques métaux lourds dans les régions de haute vulnérabilité du Golfe de Béjaia. Mémoire de Master. Université Abderrahmane Mira de Béjaia. 51 p.

WARNAU, M ; DUTRIEUX, S ; LEDENT, G ; RODRIGUEZ Y BAENA, A.M et DÚBOIS, P., 2006. Heavy metals in sea cucumber *Holothuria Tubulosa* (Echinodermata) from the Mediterranean *Posidonia oceanica* ecosystem: body compartment, seasonal, geographical and bathymetric variations. *Environmental bioindicators* 1, 268-285.



Annexes

Annexe n° 1

**Tableau : Utilité des métaux lourds et leurs effets sur la santé et l'environnement
(GAAMOUNE, 2010) ; MIR, 2016 et BRUNET, 2006).**

Elément	Source	Utilisation	Toxicité sur la santé	Toxicité sur l'environnement
Pb	-Incinération des déchets ; -Poussière volcanique ; -Combustion des carburants automobiles ; -Se trouve à l'état de trace.	- Imprimerie ; - Peintures ; - Carburants automobiles ; - Métallurgie ; -Batteries électriques.	- Saturnisme -Problèmes rénaux et au niveau du système nerveux central ; - Cancérigène.	-Effet sur la reproduction des poissons ; - Anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.
Cd	-Eruptions volcaniques ; -Combustions de charbon et pétroles ; -Irradiation pour l'analyse du plomb ; - Accumulateurs alcalins : alliages.	-Raffinage des métaux non ferreux ; - Combustion du carbone et produits pétroliers ; - Incinérateurs d'ordures ménagères ; -Fabrication des accumulateurs électriques.	-Cancérigène -Atteintes de la fonction rénale - Atteintes du foie et des reins - Entérites avec des vomissements, diarrhée ; -Déformation osseuse (maladie d'itai-itai).	-Perturbation de la photosynthèse chez les plants quand il présent dans le sol ; -Perturbation du système nerveux et la nécrose des gonades mâles chez les poissons ; -Anomalies dans le développement embryonnaire chez les mollusques ; -Atteinte du potentiel reproducteur des poissons.
Cu	-Présent naturellement dans l'écorce terrestre ; - Activités agricoles ; - Eruptions volcaniques - Incinération des ordures ménagères	-Canalisations d'eau; - Industrie : électrotechnique, production des alliages -Bon conducteur de chaleur et d'électricité ;	-Gastro-entérites ; -Cirrhose du foie ; - Scléroses ; - Diarrhées ; - Nausées ; -Irritations intestinales.	-Altération des branchies des poissons ; - Retard dans la ponte des poissons ; -Diminution de l'activité photosynthétique.

		- Peintures.		
Fr	-Activité industrielles ; -Transformation des minerais ; -Industriel sidérurgique ; -Conservation alimentaire.	- Fabrication des engrais ; -Industrie technologique ; -Utilisation dans la métallurgie ; - Décapages.	- Anémie ; -Troubles inflammatoires ou infections et pertes de sang ; -Perte de la vision ; -Toxicité systématique avec choc.	- Colmatage des branchies des poissons ; - coloration rouge , goût métallique et odeur de poisson pourris.
Zn	-Le transport par le vent à partir du sol ; -Les éruptions volcaniques -Les feux de forêts -Emission d'aérosols marins -Epanchage agricole -activités urbaines -Sources minières industrielle	- protection du fer Par la galvanisation - Est l'un des deux composants essentiels au fonctionnement de la pile électrique - Est utilisé pur ou bien pour réaliser divers alliages -Il est aussi utilisé en agriculture, comme apport d'oligo-élément, essentiellement en zone de sols fortement calcaires.	- Une carence du zinc provoque ; * Une perte d'appétit, diminution de sensation du goût et d'odeur ; * Les blessures cicatrisent lentement ; - Un excès du zinc provoque : * Irritation de la peau * Crampes d'estomac ; * Des vomissements, des nausées, de l'anémie. - Très haut niveau du zinc peut endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines et provoquer de l'artérioclose.	-Le zinc interrompre l'activité du sol, car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre. La décomposition de la matière organique peut être sérieusement ralentie de ce fait ; - Un excès de la concentration du zinc dans les eaux provenant des boues ainsi des eaux usées non traitées provoque une augmentation d'acidité.
Mn	- Erosion des sols ; - Incendies de forêt ; - Embrun marin ; - Les émissions de poussières volcaniques ; - Des sources anthropiques directes existent depuis la révolution industrielle dans les secteurs des	-Utilisée pour les préparations des alliages ferreux et non-ferreux ; -Utilisée comme un micronutriment Des cultures végétales après le fer ;	-Agit au niveau du système respiratoire et du cerveau ; - Un syndrome provoqué par le manganèse a des symptômes tels que la schizophrénie, l'ennui, la faiblesse musculaire, des maux de tête et l'insomnie	- Des concentrations toxiques en manganèse dans le sol peuvent provoquer un grossissement des parois cellulaires, un étiolement des feuilles, et des points marron sur les feuilles. -Un empoisonnement sévère au manganèse provoque le développement de tumeurs.

	<p>mines et de l'industrie métallurgique ;</p> <p>- On trouve une quantité significative dans les eaux usées, les boues d'épuration.</p>	<p>-C'est un oligoélément qui interfère avec le microbiote du sol et qui est impliqué dans l'activation des enzymes.</p>	<p>- Intolérance au glucose ;</p> <p>- Coagulation du sang ;</p> <p>- Problèmes de peau ;</p> <p>- Augmentation du niveau de cholestérol ;</p> <p>corpulence;</p> <p>- Problèmes au niveau du squelette ;</p> <p>- Changement de la couleur des cheveux ;</p> <p>-Symptômes neurologiques.</p>	
--	--	--	--	--

Annexe n°2 :

Les sorties sur terrain

Echantillonnage



Broyage



Minéralisation des échantillons



Préparations des échantillons pour la SAA



Annexe n° 3 : Traitement statistique.

➤ Zinc (Zn)

Tableau 1a : Test d'ANOVA à un facteur (station).

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. Origine	450691,7	1	450691,7	677,7866	0,000002
Station	113559,3	4	28389,8	42,6949	0,000468
Erreur	3324,7	5	664,9		

Tableau 1b : Test de Newman keuls.

	Station	Zn Moyenne	1	2
1	S1	1,1750		****
3	S3	245,0000	****	
2	S2	260,0000	****	
4	S4	265,0000	****	
5	S5	290,3000	****	

Tableau 1c : Test d'ANOVA (Indice de condition).

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p-value
ord. origine	0,35344	1	0,35344	14,54486	0,0856
Station	0,27566	4	0,068915	2,83601	0,085
Erreur	0,1215	5	0,0243		

➤ Manganèse (Mn)

Tableau 2a : Test d'ANOVA à un facteur (station).

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. Origine	218,7433	1	218,7433	1801,691	0,000000
Station	50,7318	4	12,6829	104,464	0,000053
Erreur	0,6071	5	0,1214		

Tableau 2b : Test de Newman keuls.

	Station	Mn Moyenne	1	2	3	4
1	S1	0,860000		****		
2	S2	4,000000			****	
3	S3	5,150000	****			
4	S4	5,680000	****			
5	S5	7,695000				****

➤ Fer(Fe)

Tableau 3a : Test d'ANOVA à un facteur

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. Origine	2534931	1	2534931	11424,90	0,000000
Station	561208	4	140302	632,34	0,000001
Erreur	1109	5	222		

Tableau 3b : Test de Newman keuls

	Station	Fe Moyenne	1	2	3	4
1	S1	50,3150	****			
4	S4	525,0000		****		
2	S2	566,2700			****	
3	S3	650,4200				****
5	S5	725,4000				

➤ Cadmium (Cd)

Tableau 5a : Test d'ANOVA à un facteur (station).

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. origine	1,851581	1	1,851581	447,2310	0,000004
Station	1,015184	4	0,253796	61,3019	0,000195
Erreur	0,020700	5	0,004140		

Tableau 5b : Test de Newman keuls.

	Station	Cd Moyenne	1	2	3	4
1	S1	0,011500		****		
2	S2	0,250000	****			
3	S3	0,355000	****			
4	S4	0,585000			****	
5	S5	0,950000				****

➤ **Plomb (Pb)****Tableau 6** : Test d'ANOVA à un facteur (station).

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p-value
ord. Origine	0,353440	1	0,353440	14,54486	0,012452
Station	0,275660	4	0,068915	2,83601	0,141584
Erreur	0,121500	5	0,024300		

➤ **Cuivre (Cu)****Tableau 7a** : Test d'ANOVA à un facteur.

	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. Origine	271,4410	1	271,4410	480,7839	0,000004
Station	135,3213	4	33,8303	59,9212	0,000206
Erreur	2,8229	5	0,5646		

Tableau 7b : Test de Newman keuls

	Station	Cu Moyenne	1	2	3	4
1	S1	0,03000		****		
2	S2	3,32000			****	
3	S3	5,28000	****			
4	S4	6,18500	****			
5	S5	11,23500				****

Annexe n° 4

Grille de qualité proposée pour interpréter les concentrations métalliques ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) observées dans les moules (mersch,1993)

	Classe de qualité (1, 2, 3, 4)			
	1° Absence de pollution	2° situation intermédiaire	3° Pollution certaine	4° Pollution importante
Cd	≤ 110	110-220	220-400	> 400
Zn	≤ 1	1-2.5	2.5-8	> 8

Annexe 5

Limites supérieures des classes de qualité calculées (en $\mu\text{g.g}^{-1}$ ps) de RINBIO 2000 (KANTIN et PERGENT-MARTINI, 2007).

		Pb	CU
Gamme de référence	0	1.3	4.8
Gamme de sécurité	1	2.1	6.5
Valeurs normales	2	2.8	8.3
Valeurs anormales	3	3.6	10
Valeurs extrêmes	4	> 3.6	> 10

Annexe 6

Limites supérieures de teneur en métaux lourds dans les bivalves (en mg/kg) (**BELABED, DJABOURABI et BENSOUILAH, 2008**)

Pb mg/kg	Cd mg/kg
5	5

Résumé

Ce travail vise à évaluer la qualité des eaux côtières du littoral méditerranéen occidental algérien, en utilisant la bioindication basée sur l'estimation des teneurs en métaux traces (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*. Notre échantillonnage a été effectué dans cinq sites (baie d'Alger, baie de Zemmouri, baie de Bousmail et le site de Ain Taya) ces stations situées dans le littoral algérois à proximité de rejets de type urbain, industriel, agricole, et d'une cinquième station localisée dans la daïra de Tizirt wilaya de Tizi-Ouzou loin de tout rejet. L'échantillonnage des moules est réalisé en période printanière et estivale.

Les résultats de l'étude de la distribution spatiale des ETM dosés montrent l'existence de différences significatives à très significatives entre les stations, selon l'importance des apports en contaminants métalliques des divers rejets. Il a été noté, en effet, que c'est dans la chair des moules prélevées à proximité des sources de contaminants que les tenures sont plus importantes notamment au niveau de la station bateau cassé, Orca marine et Boudouaou.

Mots clés :

Pollution, Bioindication, Moule, ETM, Littoral, Algérie.

Summary

This work aims to evaluate the quality of coastal waters of the western Mediterranean coast of Algeria, using bioindication based on the estimation of trace metal levels (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) in the mussel *Mytilus galloprovincialis*.

Our sampling was carried out in five sites (Algiers Bay, Zemmouri Bay, Bousmail Bay and the Ain Taya site), these stations located in the Algerian littoral close to urban, industrial, agricultural, and industrial discharges. a fifth station located in the Tizirt wilaya of Tizi-Ouzou daïra far from any rejection. Mussel sampling is done in spring and summer.

The results of the study of the spatial distribution of the measured MTEs show the existence of significant to very significant differences between the stations, according to the importance of the contributions in metallic contaminants of the various discharges. It has been noted that it is in the flesh of the mussels taken near sources of contaminants that the tenures are more important especially at the broken boat station, Orca marine and Boudouaou.

Key words:

Pollution, Bioindication, mussels, ETM, Littoral, Alegria.