

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحرو تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en
sciences de la mer
Option : Environnement

Sujet :

Les métaux traces dans deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (Linne, 1758) du littoral algérois.

Représenté par :

➤ **REBHI Sara**

Soutenu le 18/09/2013 devant le jury suivant :

M ^{me} BACHARI-HOUMA. F	Professeur (ENSSMAL)	Présidente
Mr BOULAHDID. M	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
Mr INAL. A	Chercheur permanent(CNRDPA)	Co-promoteur
M ^{me} BENTCHIKOU.L	Maître assistant (ENSSMAL)	Examinatrice
Mr BACHOUCHE. S	Chercheur permanent(CNRDPA)	Examineur

Promotion 2013



Dédicace

A ma grande mère qu'est une mère pour moi.

A mes très chers parents.

A mes frères et mes sœurs.

A mon mari.

A mes belles sœurs et mes beaux frères.

A mes oncles et mes tantes.

A tous mes amis.

Je dédie ce modeste travail.

Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à tous ceux qui par leur aide, leurs conseils, leur compétence et leur intérêt ont contribué à la réalisation de ce mémoire

Que soient particulièrement remerciés les membres de jury :

Monsieur le Professeur **BOULAHIDID.M** pour avoir accepté d'encadrer ce travail et pour sa confiance et aussi monsieur **INAL.A** pour sa disponibilité, ses encouragements et ses conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Madame **BACHARI-Houma.F**, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

C'est avec un grand plaisir que je remercie Madame **BENTCHIKOU.L** d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.

Je remercie monsieur **BACHOUCHE.S**, pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

J'exprime aussi ma profonde reconnaissance au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL et de la station de recherche de Sidi Fredj.

Je suis reconnaissant à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation et à toute personne qui m'a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici un petit fruit de leurs sueurs.

Ce travail n'aurait jamais été réalisé sans l'encouragement, le soutien et l'aide de ma famille tout au long de mes études.



Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
1. Définition de la pollution	3
1.1. La pollution par les métaux traces	3
2. Aperçu générale sur les métaux traces	3
2.1. Définition des ETM	3
2.2. La classification des ETM	4
2.2.1. Les métaux traces essentiels	4
2.2.2. Les métaux traces non essentiels	4
2.3. Origine des ETM	4
2.4. La spéciation des ETM	6
2.5. Cycle biogéochimique des ETM	6
2.6. La biodisponibilité et toxicité des ETM	7
2.7. Présentation des ETM étudiés	8
2.7.1. Eléments essentiels (oligo-éléments)	8
2.7.1.1. Le Chrome (Cr)	8
2.7.1.2. Le zinc (Zn)	8
2.7.1.3. Le cuivre (Cu)	8
2.7.1.4. Le Manganèse (Mn)	9
2.8. Les effets de quelques métaux sur les organismes marins	9
2.9. La bioaccumulation des ETM	10
2.9.1. Le choix de la moule comme bio indicatrice de la contamination métallique	10
2.9.1.1. Biologie de la moule	11
2.9.1.2. Effets des facteurs environnementaux sur l'accumulation des métaux par les mollusques	11
Chapitre II: Matériels et méthodes	
1. Stations d'étude	15
1.1. Localisation des stations d'étude	15
1.1.1. Moulière de Fouka marine	15
1.1.2. Moulière de Zerlda	16
1.1.3. Moulière du bateau cassé (Bordj El Kiffan)	16
1.1.4. Moulière de Boudouaou El Bahri	17
1.2. Prélèvement des moules	18
2. Travaux effectués au laboratoire	18
2.1. Nettoyage des instruments	18
2.2. Traitement des moules	18
2.2.1. Calcul de l'indice de condition	18
2.2.2. La détermination des ETM	19

2.2.2.1 Lyophilisation	19
2.2.2.2 Broyage	20
2.2.2.3. Homogénéisation	20
2.3 Extraction des métaux lourds	21
2.3.1. Principe de la digestion ou de la minéralisation	21
2.3.2. Le protocole expérimental	21
2.3.2.1. Minéralisation à blanc	21
2.3.2.2. Minéralisation des moules pour la détermination des ETM	21
2.4. Analyse des métaux traces	22
2.4.1. Principe de la Spectrophotométrie d’Absorption Atomique	23
2.4.1.1. Appareillage	24
2.4.1.2. Etalonnage de l’appareil	24
2.4.2. Calcul des concentrations des métaux	25
2.4.3. Evaluation du Niveau de la pollution	25

Chapitre III :

Résultats et discussions

1. Paramètres biologiques	26
1.1 Taille moyenne	26
1. 2. Indice de condition	26
2. Les teneurs en métaux traces	27
2.1. Evaluation de la teneur en zinc	28
2. Evaluation de la teneur en cuivre	28
2.3. Evaluation de la teneur en manganèse	29
2.3. Evaluation de la teneur en chrome	29
3. Applications statistiques :	30
3.1. Analyses binaires	30
3.1.1. Corrélation inter métaux dans les moules	31
3.1.2. Corrélation métaux traces - taille moyenne des moules	31
3.1.3. Corrélation métaux traces -indice de condition (<i>M.galloprovincialis</i>)	32
4. Evaluation de la contamination des moules du littoral algérois par les métaux traces	32
5. Comparaison des teneurs en métaux traces des moules	33
Conclusion	35
Références bibliographiques	
Annexes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Liste des figures

Figure 1: Représentation schématique du cycle biogéochimique des éléments traces dans des environnements marins (adapté de (Butcher et <i>al</i> , 1992) in Inal, 2011).	7
Figure2 : Carte de positionnement des stations de prélèvement des moules dans le littoral algérois	15
Figure3: Moulière de Fouka marine.	15
Figure4 : Moulière de Zérlda	16
Figure5 : Emissaire d'un rejet à proximité de la moulière de Zérlda.	16
Figure6 : Moulière du bateau cassé sur rochers naturels	17
Figure7 : Moulière du bateau cassé sur rochers artificiels	17
Figure8 : Moulière sur rochers naturels.	17
Figure9: Moulière sur rochers artificiels.	17
Figure10 : matériel de dissection	19
Figure11 : la balance.	19
Figure12: lyophilisateur de modèle CHRIST .	20
Figure13 : mortier en porcelaine	20
Figure14 : les piluliers	20
Figure15 : les godets en téflon sur la plaque chauffante.	21
Figure16 : balance de précision	22
Figure 17 : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique Perkin Elmer® AAnalyst 700	23
Figure18 : l'indice de condition chez deux espèces de moules <i>M. galloprovincialis</i> et <i>P. perna</i>	27
Figure 19 : les teneurs en zinc dans la moules <i>M.galloprovincialis</i> et la moule <i>P.perna</i> du littoral algérois	28
Figure 20 : les teneurs en cuivre dans les moules du littoral algérois.	28
Figure21 : les teneurs en manganèse dans les deux espèces des moules du littoral algérois	29
Figure 22 : les teneurs en chrome dans les deux espèces des moules du littoral algérois.	30

Liste des tableaux

Tableau 1 : origine des métaux traces dans le milieu marin.	5
Tableau 2 : résumé des différentes sources et voies d'introduction des métaux lourds	5
Tableau 3 : origine anthropique, voie de propagation, comportement et toxicité du cuivre (Banaru et Perez, 2009)	8
Tableau 4 : influence des facteurs du milieu et des facteurs biotiques sur l'accumulation des métaux par les mollusques. (Abdelouahab, 1998, modifié)	11
Tableau 5 : Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en µg/g) observées chez les moules (Mersch, 1993).	25
Tableau 6 : la taille moyenne des moules du littoral algérois	26
Tableau 7 : Corrélacion inter métaux dans les moules (n=8).	31
Tableau 8 : Corrélacion entre la taille moyenne des moules et la concentration des métaux	31
Tableau 9 : Corrélacion entre l'indice de condition et les teneurs en métaux	32
Tableau 10 : Evaluation de la contamination dans les moules de la baie de Bou-Ismaïl.	32
Tableau 11 : Evaluation de la contamination dans les moules de la baie d'Alger.	32
Tableau 12 : Evaluation de la contamination dans les moules du port d'Alger	33
Tableau 13 : Evaluation de la contamination dans les moules de la baie de Zemmouri	33
Tableau 14 : Comparaison des teneurs moyennes en métaux lourds dans les moules de la baie d'Alger, de Bou-Ismaïl et de Zemmouri avec celles d'autres sites de la côte algérienne et Européenne.	33



Introduction

La zone côtière algéroise est un espace fragile et très sollicité. Elle est exposée à des énormes risques: la pression démographique, la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme et à une exploitation intensive des ressources marines. Parmi les polluants déversés dans cette zone et représentant une sérieuse menace pour les organismes vivants, figurent les métaux traces.

Ainsi ces métaux sont souvent solubles dans la colonne d'eau ou liés aux particules du sédiment et peuvent s'accumuler dans les organismes vivants à des concentrations supérieures à celles présentes dans l'eau (Ramade, 1995 ; Van Der Oost et al, 2003).

En raison de la solubilité des métaux lourds, l'analyse de l'échantillon d'eau de mer ne peut pas être considérée comme un moyen fiable pour déterminer le degré de pollution métallique du milieu marin (Phillips, 1977).

Toutefois l'étude de la bioaccumulation des métaux traces au niveau des organismes qui y sont exposés constitue un moyen important pour l'évaluation de la pollution métallique (Lagadic *et al*, 1997). Ces dernières années les gastéropodes sont de plus en plus utilisés comme espèces bio indicatrices de la pollution marine (Amiard *et al*, 199 in Belhaouari *et al*, 2011).

La moule *Mytilus galloprovincialis* a été utilisée dans les programmes de surveillance de la qualité du milieu marin en raison de son caractère filtreur, sa sédentarité et son pouvoir accumulateur (Viarengo et al. 1993, Pipe et al. 1995).

Parmi ces programmes, le « Mussel Watch » préconise l'utilisation de moules, huîtres et palourdes comme espèces sentinelles de la pollution métallique (N.A.S. 1980, Regoli & Orlando 1993, Langston & Spence 1995 in Merzouki *et al*, 2009).

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

Le présent travail s'inscrit dans le cadre du suivi l'évolution de la pollution par les métaux traces dans deux espèces de moule *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* au niveau de la baies d'Alger, la Bou-Ismaïl et la baie de Zemmouri et de rechercher une éventuelle

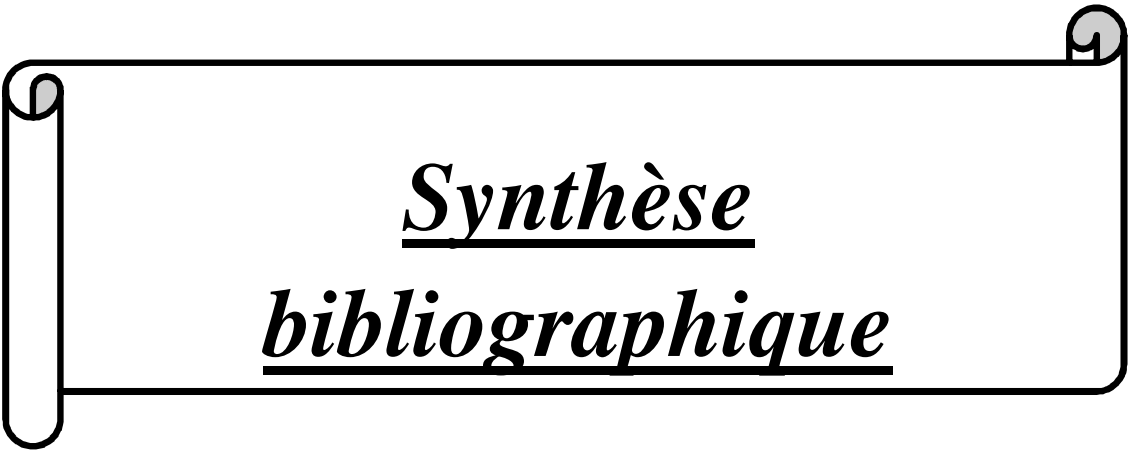
corrélation entre cette contamination et le degré de remplissage (indice de condition) chez ces espèces.

Les métaux recherchés dans cette étude sont le zinc (**Zn**), le cuivre (**Cu**), le manganèse (**Mn**), et le chrome (**Cr**).

Ce travail a pour objectifs :

- De déterminer les concentrations en métaux traces dans les moules du genre *Mytilus galloprovincialis* et du genre *Perna perna*.
- D'estimer l'état de la pollution par les métaux traces dans les différents sites.
- De montrer s'il existe une corrélation entre la bioaccumulation de la pollution métallique et l'indice de condition des espèces.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres ; dont le premier fait l'objet d'une description générale des métaux traces dans le milieu marin ; les bio indicateurs de la contamination métallique et l'espèce ciblée dans cette étude. Le second chapitre présente les sites d'étude et la méthodologie d'analyse utilisée, suivi par le troisième chapitre consacré à la présentation des résultats obtenus, leur analyse et leur discussion. Enfin, la conclusion générale clôture ce mémoire.



Synthèse
bibliographique

1. la pollution marine :

La pollution marine est malheureusement aujourd'hui un fait solidement établi qui concerne l'ensemble des mers et des océans du globe. Ainsi admet-on à l'échelon mondial une définition commune de la pollution : « la pollution est l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, des substances ou d'énergie dans l'environnement marin, ayant par conséquence des effets néfastes, tel que nuisances pour les ressources vivantes, risques pour la santé humaine, entrave aux activités maritimes, altération de la qualité de l'eau de mer et réduction des possibilités dans le domaine de loisir. » (Lacaze , 1996)

1.1. La pollution par les métaux traces :

C'est une pollution sournoise car, à l'inverse des déchets plastiques ou des hydrocarbures, on ne la remarque pas et ses effets sur les organismes ou l'environnement sont plutôt tardifs. Bien que les métaux lourds existent à l'état naturel dans l'eau de mer, les minéraux ou les composés volcaniques, c'est l'homme avec ses activités qui est responsable de la libération d'une importante quantité de ces éléments dans l'environnement. Le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium entrent ainsi dans la chaîne alimentaire.

2. Aperçu générale sur les métaux traces :

2.1. Définition des ETM :

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

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. Cependant, la classification en métaux lourds est souvent discutée car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement « lourds » (par exemple le zinc), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas des métaux (c'est le cas de l'arsenic qui est un métalloïde¹).

Ce terme générique désigne donc indistinctement des métaux et métalloïdes réputés toxiques. Pour ces différentes raisons, l'appellation « éléments traces métalliques » -ETM- ou par extension « éléments traces » est préférable à celle de métaux lourds (Rollin et Quiot, 2006).

1 Un métalloïde est un élément qui combine certaines caractéristiques du métal et d'autres caractéristiques opposées, l'absence de conductivité électrique par exemple. L'arsenic est un métalloïde.

D'après Casas ,2005 L'appellation « éléments en traces métalliques » (ETM) est communément utilisée pour désigner les éléments métalliques naturels, caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g.cm^{-3} .

2.2. La classification des ETM :

Les métaux traces peuvent être classés selon leur caractère essentiel pour les organismes vivants en deux groupes :

2.2.1. Les métaux traces essentiels :

Ils sont aussi appelés « *oligo-éléments* » et sont au nombre de 11, le fer (Fe), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), l'étain (Sn), le manganèse (Mn), le molybdène (Mb), le nickel (Ni), le Sélénium (Se), le vanadium (V) et le zinc (Zn).

Ils sont considérés comme indispensables pour les organismes vivants. *Pequegnat et al ,1969* on calculé qu'il faut tout au plus 2.7 ppm en poids sec de zinc pour satisfaire les besoins des enzymes contenus dans la partie molle des organismes marins (*Asso., 1982*).Mais peuvent devenir toxiques dès qu'ils dépassent un certain seuil.

2.2.2. Les métaux traces non essentiels :

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

2.3. Origine des ETM :

Les éléments métalliques sont présents dans tous les compartiments de l'environnement et sont issus, d'une part, de l'héritage du fond géologique, et, d'autre part, du cumul des apports anthropiques. Les métaux naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires. Les apports anthropiques sont liés aux pratiques agricoles, aux activités industrielles ou encore aux activités urbaines liées au développement des villes et des réseaux routiers tendant à modifier la concentration de certains de ces éléments aussi bien dans l'atmosphère que dans l'eau et dans les sols. Certains métaux sont même entièrement d'origine humaine, comme le plutonium (Pu) ou l'américium (Am). (*Devallois ,2009*).

Tableau 1 : origine des métaux traces dans le milieu marin (Meguellati et Sraoui, 2012) .

Origine naturelle	Origine anthropique
-L'érosion et le lessivage des sols par les eaux de pluies et les fleuves ; -Transport par voix atmosphérique ; -Les activités sismiques et volcaniques.	-L'emploi des produits dans l'agriculture (pesticide) ; -Des rejets domestiques ; -Des déversements industriels.

Tableau 2 : résumé des différentes sources et voies d'introduction des métaux lourds (Andral, 2001).

Métaux	Utilisations	Sources
Pb	Carburant (antidétonant), fabrication d'accumulateurs	Véhicules motorisés, industries électriques
Cd	Batteries, peintures, traitement de surface des aciers, décoration des porcelaines, antiseptiques.	Activités métallurgiques Incinération des déchets Caoutchouterie Emaillerie
Cu	Peintures antisalissure, traitement des bois, produits phytosanitaires, réseaux de distribution d'eau	Zones portuaires, Agriculture. Industries électriques et chimiques
Hg	Fabrication de chlore, catalyseurs, pigments, fongicides, piles	Incinération des déchets, combustion de charbon Industries chimiques, Agricultures
Zn	Peintures antisalissure Produits pharmaceutiques et phytosanitaires Piles Réseaux d'évacuation des eaux pluviales, etc.	Erosion des sols, végétation et volcanisme. Métallurgie et chimie. Zones portuaires, agriculture. Combustion des bois et des charbons, incinération des déchets
Cr	Traitement des bois Technologie des matériaux réfractaires	Industrie chimique Métallurgie
Ni	Combustibles fossiles . Production de métaux non ferreux	Activité volcanique. Erosion éolienne. Métallurgie
As	Pesticides Traitement des bois Préparations phytosanitaires Industrie du verre	Sols Combustion du charbon Agriculture

2.4. La spéciation des ETM

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

La spéciation d'un élément dépend de sa concentration et de la chimie de la solution (pH, Eh, complexant, minéraux, etc.). La toxicité d'un polluant vis-à-vis des organismes vivants peut fortement dépendre de sa spéciation (Devallois, 2009).

2.5. Cycle biogéochimique des ETM :

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

Les ETM sont devenues à la mer par différentes apports (Figure 1) (éoliennes, ruissellements, industrielles, volcaniques) qui y sont transférés se présentent dans la colonne d'eau et le sédiment sous deux formes :

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

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

- Une première consisterait en un piégeage des polluants métalliques par les particules en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physicochimiques du milieu marin et cela par : précipitation, absorption et adsorption et sédimentation.
- Une deuxième étape inverse à la première consisterait à un relargage de ces polluants par désorption, diffusion ou propagation dans le milieu marin, décomposition des matières organiques, dissolution et parfois même par une redistribution par l'activité des organismes marins (bioturbation).

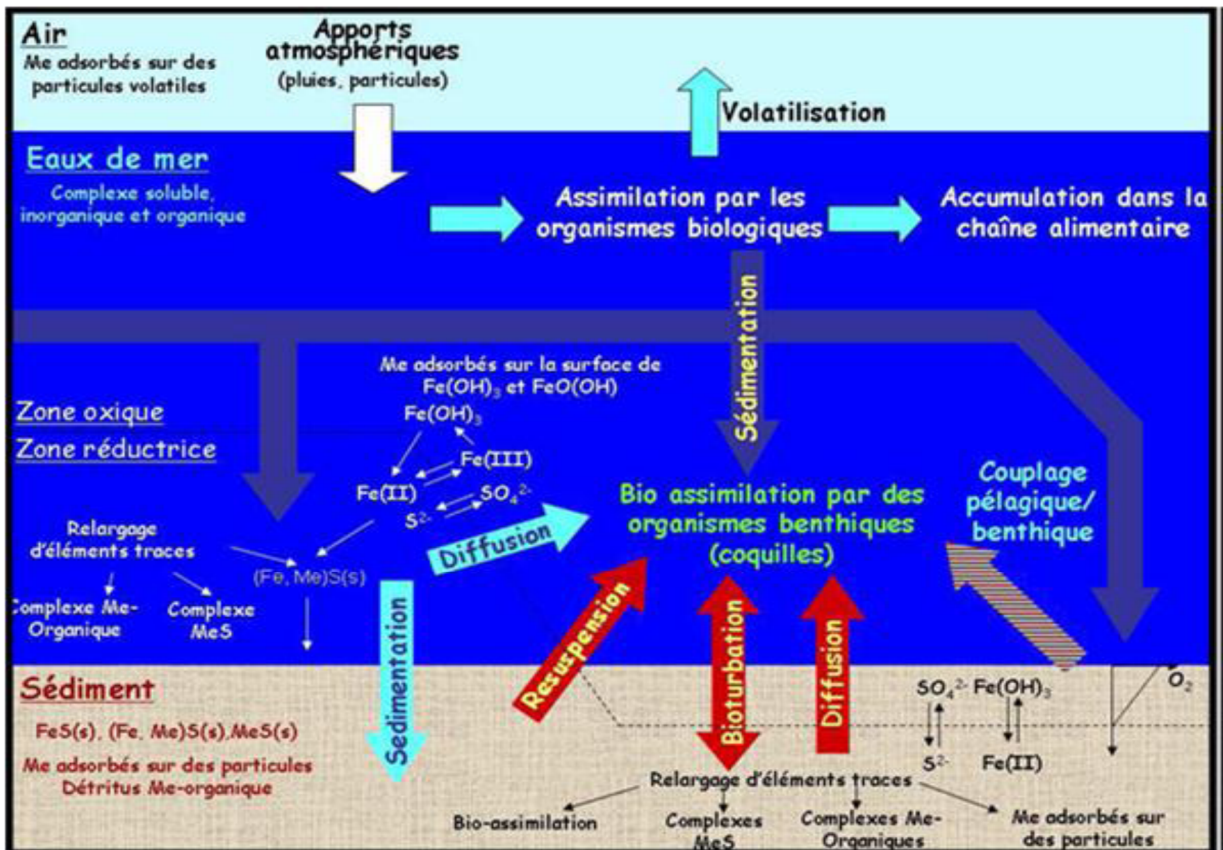


Figure 1: Représentation schématique du cycle biogéochimique des éléments traces dans des environnements marins (Butcher et *al*, 1992 in Inal, 2011).

2.6. La biodisponibilité et toxicité des ETM :

La biodisponibilité désigne « la fraction de produit chimique présent dans le milieu environnemental qui est disponible pour être accumulée par les organismes » Une fraction significative de polluant chimique introduit dans le milieu pourra être transférée dans le compartiment biologique et ainsi circuler dans les réseaux trophiques.

La biodisponibilité est l'aptitude d'un élément chimique à être assimilé par un être vivant. Elle dépend de la spéciation de cet élément. Les métaux traces sont considérés comme des contaminants bioaccumulables par les organismes aquatiques.

Les formes ioniques solubles des métaux traces sont généralement considérées comme les plus toxiques (Pétre, 2008)

2.7. Présentation des ETM étudiés :

2.7.1. Eléments essentiels (oligo-éléments)

2.7.1.1. Le Chrome (Cr)

La majeure partie du chrome parvenant à l’océan, provient des fleuves, essentiellement particulaire et insoluble (Chester et Murphy, 1990). Les teneurs en chrome dans les sédiments marins, sont de l’ordre de 60 à 100 µg/g, sont similaire à celle de la croûte terrestre, ce qui reflète le caractère litho génique de cet élément. Le chrome est peu concentré par les organismes vivants, les teneurs sont en générale de l’ordre de µg/g dans le plancton comme chez les invertébrés et les poissons (Chiffouleau, 1994).

2.7.1.2. Le zinc (Zn) :

Le Zinc est un élément essentiel pour certaines activités enzymatiques. Apporté en excès dans l’environnement, il peut néanmoins causer quelques troubles. Il est généralement considéré comme un marqueur de l’influence urbaine, et peut être notamment apporté dans le milieu marin à la suite de phénomènes de corrosion des conduites des systèmes de distribution et de collecte des eaux domestiques (Förstner & Wittmann, 1979 in Banaru et Perez, 2009)

2.7.1.3. Le cuivre (Cu) :

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

Tableau 3 : origine anthropique, voie de propagation, comportement et toxicité du cuivre (Banaru et Perez, 2009)

Le cuivre (Cu)	
Origine anthropique	Très variable !!! Quelques exemples Équipements électriques, catalyseur chimique. Biocide (peintures antisalissures, « bouillie bordelaise » et produits d'entretien pour piscines).
Voie de propagation	Effluent urbain Lessivage des terres agricoles
Comportement & Toxicité	Majoritairement adsorbé sur du matériel particulaire. Bioaccumulation et amplification Concentrations +++ dans crustacés, céphalopodes, gastéropodes Un élément très toxiques (après Hg et Ag), mais n’ayant jamais causé de mortalité humaine.

2.7.1.4. Le Manganèse (Mn)

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

2.8. Les effets de quelques métaux sur les organismes marins :

Zinc : Le zinc induit la formation de composés insolubles au niveau des muqueuses recouvrant les branchies des mollusques et des poissons, perturbant la fonction respiratoire. Il affecte également la mue des crustacés. Le plus inquiétant est que le zinc est désormais reconnu comme un cancérigène lent, mais puissant (Augier, 2008 in Pétré, 2008).

Plomb : Chez certains bivalves, le plomb inhibe l'enfouissement et place donc le mollusque dans des conditions précaires de protection vis-à-vis des prédateurs (Mac Greer, 1979).

Le plomb retarde, voire inhibe, le développement embryonnaire de la moule et augmente le pourcentage de larves anormales (Brenko *et al.* 1977 in Pétré, 2008).

Cuivre : le cuivre peut bloquer la photosynthèse à partir de 1 µg/g chez certaines espèces de phytoplancton marin. Les animaux sont diversement sensibles à la contamination par le cuivre, le crustacé *nauplius elminus* tolère 10 µg/g tandis que l'oursin *arbacia* est tué à 0,3 µg/g (Augier, 2008 in Pétré, 2008).

Cadmium : Les poissons d'eau douce absorbent le cadmium par voie branchiale, alors que les poissons marins l'absorbent par voie intestinale. Avec des concentrations non létales, la pollution chronique des poissons se traduit par la perturbation du système nerveux, la nécrose des gonades mâles au-delà d'un taux de 25 µg/g et la nécrose des lamelles branchiales (Augier, 2008 in Pétré, 2008).

Le risque lié à la contamination est multiple : un risque pour la santé humaine en cas de consommation de mollusques marins contaminés, un risque économique en cas d'interdiction de la commercialisation de ces animaux et une image négative de la région polluée.

2.9. La bioaccumulation des ETM :

Les métaux lourds sont des micropolluants qui peuvent affecter la salubrité du milieu marin, puisqu'ils ne subissent pas de dégradation biologique ou chimique.

Ils peuvent de ce fait s'accumuler dans les différents maillons des chaînes trophiques à des concentrations toxiques dans les organismes marins (Neathery & Miller 1975 *in* Merzouki et al, 2009).

Selon Devallois la bioaccumulation est définie comme : « *la Capacité des organismes à absorber et concentrer des substances chimiques dans tout ou une partie de leur organisme. Elle se produit quand les organismes emmagasinent des composants chimiques plus rapidement qu'ils ne peuvent les décomposer ou les excréter* ».

La bioaccumulation est le phénomène qui conduit à la concentration d'une substance, qu'elle soit toxique ou non, dans un organisme (Lacaze, 1996).

Selon Asso, 1982 « *la bioaccumulation* » est un terme plus général qui implique l'accumulation d'un toxique par tous les processus, il regroupe donc la biomagification* à laquelle viennent s'ajouter les phénomènes de contamination direct du mollusque.

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

2.9.1. Le choix de la moule comme bio indicatrice de la contamination métallique :

Le terme « *bio indicateur* » désigne un organisme ou un ensemble d'organismes qui, par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques, permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées.

Les mollusques, notamment les moules, peuvent accumuler dans leurs tissus de grandes quantités de métaux (Zn, Cu, Cd, Hg, etc.) (Phillips, 1976 ; Viarengo et al., 1987 ; Ribera et al., 1989 ; Pavicic et al., 1992) cité par Essedaoui et Sif, 2001.

La moule *Mytilus galloprovincialis* a été utilisée dans les programmes de surveillance de la qualité du milieu marin en raison de son caractère filtreur, sa sédentarité et son pouvoir accumulateur (Viarengo et al. 1993, Pipe et al. 1995).

Parmi ces programmes, le « Mussel Watch » préconise l'utilisation de moules, huîtres et palourdes comme espèces sentinelles de la pollution métallique (N.A.S. 1980, Regoli & Orlando 1993, Langston & Spence 1995 in Merzouki et al, 2009).

D'après Casas, 2005 ces bivalves présentent des caractéristiques qui en font de bons bio indicateurs en raison de:

- leur large répartition géographique allant des régions tempérées aux régions subarctiques ;
- leur mode de vie sessile et euryhalin ;
- leur faculté d'accumuler des métaux présents dans l'environnement dans un facteur de concentration de l'ordre de 10^3 à 10^5 par rapport à l'eau environnante ;
- la stabilité de leur population ;
- leur tolérance à différents stress ;
- la possibilité de les transplanter ;
- leur consommation par l'homme donc vecteur de contamination.

2.9.1.1. Biologie de la moule :

La systématique, l'anatomie, la nutrition, la respiration et la reproduction sont représentées dans l'annexe I.

2.9.1.2. Effets des facteurs environnementaux sur l'accumulation des métaux par les mollusques

On distingue deux types de facteurs susceptibles de modifier l'accumulation des métaux par les mollusques : les facteurs du milieu et les facteurs biotiques.

Tableau 4 : influence des facteurs du milieu et des facteurs biotiques sur l'accumulation des métaux par les mollusques. (Abdelouahab, 1998)

Les facteurs du milieu	Effets sur l'accumulation des métaux par les mollusques
la température	La teneur en métal dans les mollusques s'élève avec la température. Ex : pour l'Hg : la moule <i>M.galloprovincialis</i> accumule le Hg davantage à 28°C qu'aux températures de l'eau de 8°C ou 13°C (Fowler et al, 1978)
La salinité	L'accumulation des métaux varier en sens inverse de la salinité du milieu. Ex : Jackin et al (1977) notent l'augmentation de la teneur en Cd dans la moule <i>M.edulis</i> quand la salinité baisse de 30 à 20 psu.

pH	Le pH influence l'accumulation des métaux par les organismes marins, Robert et al (1986) rapportent l'accumulation du Cd en fonction du pH de l'eau dans la chair de clam <i>Crabucula fluminea</i> . A PH=7.8 la teneur en Cd est de 112.8 µg/g ps et à pH=5 la teneur diminue jusqu'à 95.3 µg/g ps ces auteurs expliquent ce résultat par le fait que le pH acide stresse le clam qui diminue sa filtration, la qu'elle s'arrête à pH=4.5.
La position tidale	Les moules vivant aux étages supérieurs (à des profondeurs inférieurs à 3 m) présentent de plus forte concentration en métaux par rapport à celles des étages inférieurs (Phillips, 1976)
MES	Les MES constituent le support de certains métaux comme le Hg, le Cd et le Pb. En effet la concentration des MES joue un rôle dans la filtration de l'eau par les moules. Quand la concentration de ces particules dans l'eau est de l'ordre de 1.4 mg/l de matière sèche la filtration décline à la suite du colmatage des branchies des moules, elle entraîne ainsi une prise moins importante des métaux.
La forme chimique du métal	L'accumulation des métaux par les moules dépend beaucoup de la formation de ces éléments, en effet, les formes organiques de Hg sont accumulées deux fois plus que les formes inorganiques car elles sont liposolubles (Bouquegneau et al 1985, Legal 1988).
La distance à la source de pollution	Plus un organisme se trouve à proximité de la source de pollution plus il accumule les éléments car l'assimilation est proportionnel à la concentration des éléments dans l'eau (Cossa, 1989).
Les facteurs biologiques	Effets sur l'accumulation des métaux par les mollusques
La croissance	La croissance est une étape de la vie d'un animal au cours de laquelle celui-ci vise à augmenter sa taille, son poids et son aptitude à se reproduire. Cela entraîne une demande énergétique importante, fournie par l'alimentation, pour couvrir besoins. Cette accélération du métabolisme entraîne celle de la nutrition, ce qui est susceptible de modifier les teneurs en métaux dans les

	organismes suspensivores.
reproduction	Au changement du taux de filtration et de poids de l'animal) s'opèrent influençant l'accumulation des métaux par le moule. Chez <i>M.edulis</i> , Gabbot et Bayne (1973); notent une augmentation de la vitesse de filtration de l'eau donc de l'accumulation des aliments à la fin de l'hiver correspondant au début de la maturation pour cette moule.

3. Localisation des moulières naturelles dans le littoral algérois

3.1 La baie de Bou-Ismaïl :

Il existe sur un certains nombres de rochers de la côte de la baie de BouIsmaïl des moulières dont l'importance ne constitue pas un gisement à intérêt Mytilicole, il s'agit des moulières du secteur du Vivier constituées par l'espèce *Mytilus minimus*, celles du secteur de Fouka marine avec l'espèce *Mytilus galloprovincialis*. Ces deux moulières semblent se situer en zone salubre. Les moulières des plages de Zeralda sont fixées sur des épis et semblent être relativement importantes, elles sont toutefois situées en zone insalubre. L'espèce caractéristique est *Perna perna*.

Un nombre assez important des moules ont envahi les signaux de la station de dessalement de Fouka marine, elles peuvent constituer un gisement naturel en voie d'extension.

3.2 La baie d'Alger :

L'unique moulière répertoriée dans la baie d'Alger est situées entre Bateau cassé et Fort-de-l'Eau, donc en zone insalubre. Elle est formée essentiellement par les espèces *Mytilus galloporovincialis* et *Perna perna*.

Les quais du port d'Alger abritent aussi des gisements à *Mytilus galloporovincialis*, se sont généralement des moules de grande taille.

3.3 La baie de Zemmouri :

Dans le secteur de Surcouf, on signale les gisements de *Mytilus galloprovincialis* situés en zone insalubre. Ces gisements sont de moindres importances.

Sur les rochers de Boudouaou El Bahri, il y avait autrefois des moulières fortes intéressantes qui ont été en partie détruites. Les prospections récentes avaient signalé toutefois des

peuplements à *Perna perna* et des peuplements à *Mytilus Galloprovincialis* sur les affleurements rocheux.

Les gisements naturels sont très peu connus et très peu exploités dans le secteur de Figuier. Ils se répartissent sur une vaste étendue, sont situés en zone salubre et ils sont formés principalement de la moule d'Afrique *Perna perna*.

Les moulières des rochers artificiels de la centrale électrique de cap Djinnat sont moins importantes du point de vue étendu, elles sont situées en zone salubre et constituées exclusivement de *Perna perna*.



Matériels et méthodes

1. Stations d'étude:

Les sites d'étude sont au nombre de sept (07) : trois dans la baie de Bou-Ismaïl, deux dans la baie d'Alger et deux dans la baie de Zemmouri.

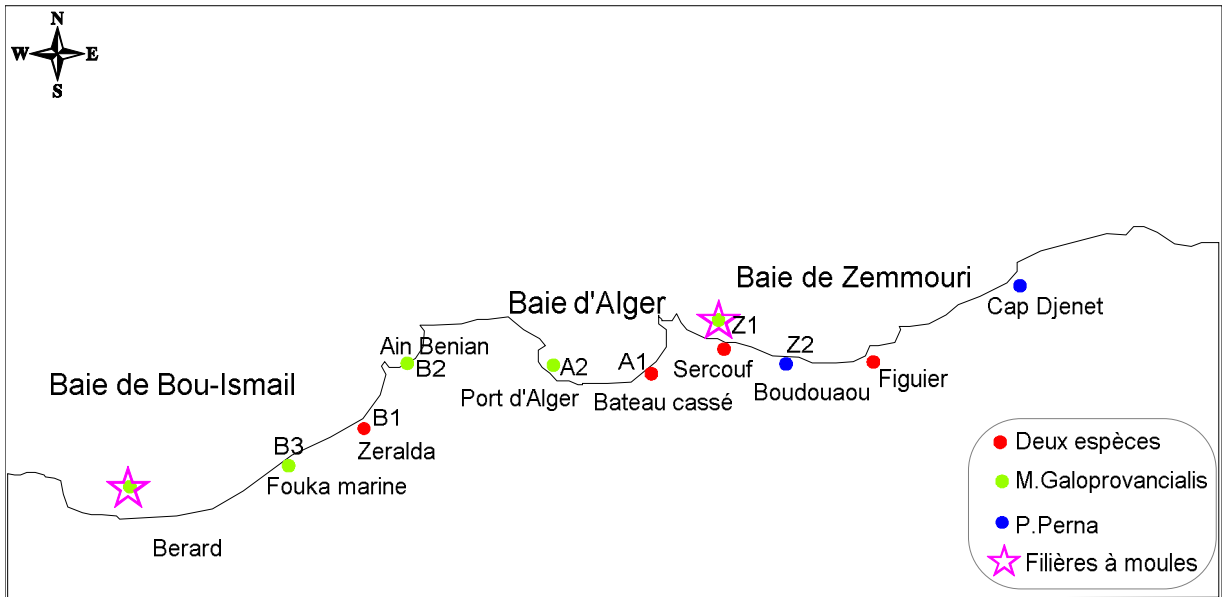


Figure2 : Carte de positionnement des stations de prélèvement des moules dans le littoral algérois.

1.1 Localisation des stations d'étude :

1.1.1. Moulière de Fouka marine

Positionnement : 36.675786°N, 2.746578° E



Figure3: Moulière de Fouka marine.

1.1.2. Moulière de Zerlda

Positionnement : 36.726045°N, 2.832201°E



Figure4 : Moulière de Zérlda.



Figure5 : Emissaire d'un rejet à proximité de la moulière de Zérlda.

1.1.3. Moulière du bateau cassé (Bordj El Kiffan)

Positionnement :

Rochers naturels : 36.766380°N, 3.217516°E

Rochers artificiels : 36.770869°N, 3.225458°E.



Figure6 : Moulière du bateau cassé sur rochers naturels



Figure7 : Moulière du bateau cassé sur rochers artificiels

1.1.4. Moulière de Boudouaou El Bahri

Positionnement :

(Station 1 : Rocher naturel) : 36.772576°N, 3.407233°E

(Station 2 : Rocher artificiel) : 36.771902°N, 3.411423°E



Figure8 : Moulière sur rochers naturels.

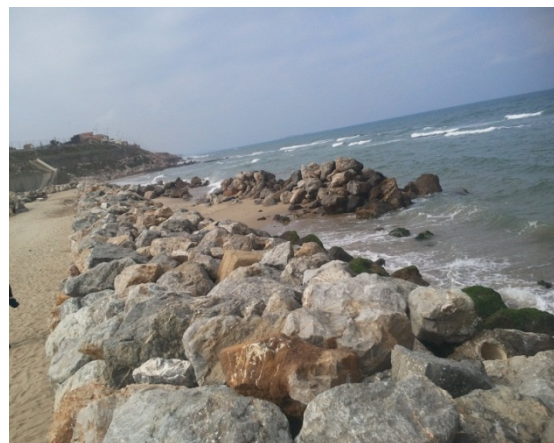


Figure9: Moulière sur rochers artificiels.

1.2. Prélèvement des moules :

Toutes les moules proviennent de moulière naturelles, ces moules ont été arrachés de leurs substrat par section de leurs byssus à l'aide d'un couteau à lame en inox à l'exception des moules de la station de Surcouf qui proviennent d'une filière à moules. Elles sont entreposées dans des sachets en plastique comportant une étiquette sur laquelle ont été notées les observations (date, lieu de prélèvement, l'espèce).ces moules sont transportées au laboratoire dans une glacière, elles sont mises au congélateur en attendant le traitement et le dosage.

2. Travaux effectués au laboratoire

2.1. Nettoyage des instruments :

Tout matériel de prélèvement utilisé sur le terrain ou en laboratoire doit être maintenu en bon état de fonctionnement et de propreté .il doit être manipulé et stocké avec les précautions nécessaires pour éviter la contamination (Chiffolleau et *al*, 2003).

En outre, afin d'éviter les contaminations, tout instrument et verrerie utilisés sont minutieusement nettoyés et conditionnés selon le protocole suivant (A.I.E.A., 1997).

- ✓ 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.

2.2 Traitement des moules :

En premier lieu dès leurs sortie du congélateur les moules sont débarrassées de leurs byssus et des salissures collées à leur coquilles.

2.2.1 Calcul de l'indice de condition :

L'indice de condition (IC) est un indice biométrique qui est couramment utilisé en conchyliculture pour rendre compte du degré de remplissage des coquilles des animaux. Parmi les nombreuses formules proposées, nous avons choisi l'indice AFNOR (NF V 45056), exprimé par l'équation :

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

PTSEP = Poids des tissus mous sans l'eau palléale

Pour calculer l'indice de condition on a suivi ces étapes :

- En premier lieu on a préparé une fiche pour chaque station sur la quelle on note le nom de la station, l'espèce et un tableau qui représente la taille, le poids total, le poids de la chair et l'indice de condition pour les 30 individus. (annexe 02)
- Une trentaine de moules issues des stations prospectées sont sélectionnées pour avoir des tailles aussi proches que possible.
- Puis on a mesuré la taille de chaque individu à l'aide d'un pied à coulisse.
- on a met la moule sur la balance pour avoir le poids total.
- on a récupéré la chair de chaque individu (moule) : on a commencé par la section des muscles adducteurs, puis j'ai séparé les valves et les partie molles sont détachées à l'aide d'un scalpel et récupérées dans des boites de pétrie pour la pesé puis les mettre au congélateur (-18°C) dont le but d'être lyophilisé pour la détermination des ETM.



Figure10 : matériel de dissection



Figure11 : la balance.

2.2.2. La détermination des ETM :

2.2.2.1 Lyophilisation :

Après une bonne congélation, on procède à la lyophilisation, les conditions nécessaire à son bon déroulement, la température est de -50°C à -60°C à une pression de 10⁻¹bar durant 48 heures.

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



Figure12: lyophilisateur de modèle **CHRIST**.

2.2.2.2 Broyage :

La chair des moules lyophilisée est broyée à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Cette dernière est récupérée dans des piluliers en verre comportant une étiquette sur laquelle ont été notées les observations (lieu de prélèvement, l'espèce...) et stockée dans un endroit sec (dessiccateur en présence de gel de silice).



Figure13 : mortier en porcelaine



Figure14 : les piluliers.

2.2.2.3. Homogénéisation :

Pour une répartition uniforme des éléments métalliques dans la matière sèche des moules et de prélever ainsi une quantité représentative de l'échantillon, l'homogénéisation se fait avant minéralisation par agitation manuelle ou par un agitateur électrique pendant quelques minutes.

2.3 Extraction des métaux lourds :

2.3.1. Principe de la digestion ou de la minéralisation :

C'est une digestion par voie humide et par attaque à l'acide nitrique, à chaud et sous pression, c'est la plus efficace, car son pourcentage de récupération de métaux traces est important (Pinta, 1979 *in* Boutouchent, 1988).

2.3.2. Le protocole expérimental :

Le protocole décrit est celui adopté par I.A.E.A.

2.3.2.1. Minéralisation à blanc :

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc. On met dans chaque godet à téflon 4 ml d'acide nitrique 69%. On ferme hermétiquement les godets, puis on réchauffe sur une plaque chauffante à 120 °C pendant 2h30min.

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

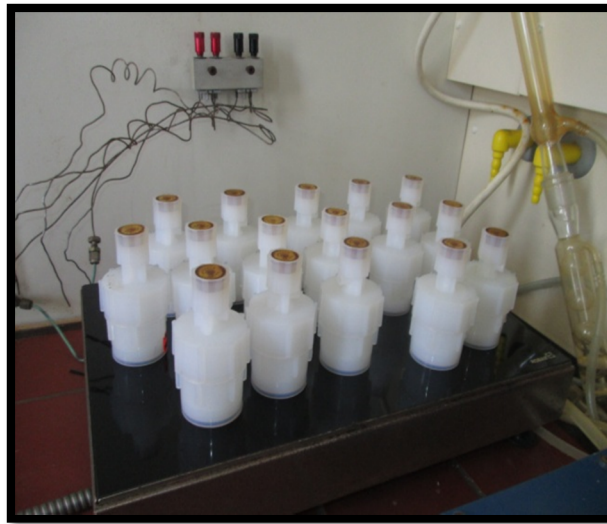


Figure15 : les godets en téflon sur la plaque chauffante.

2.3.2.2. Minéralisation des moules pour la détermination des ETM :

La minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un tube en téflon. A l'aide d'une balance de précision on pèse environ 0,5 g de matière sèche de moule.

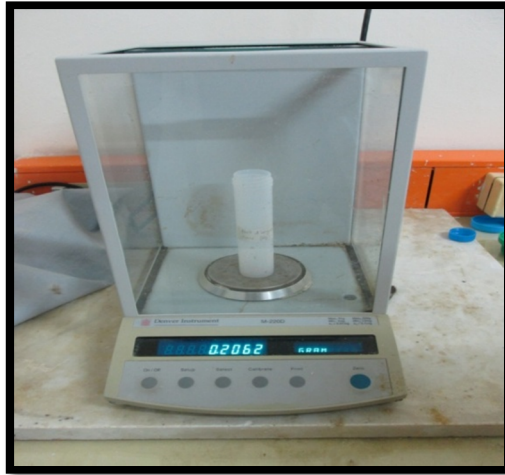


Figure16 : balance de précision.

On y ajoute 6 ml d'acide nitrique (HNO_3) concentré à 68 % puis on ferme hermétiquement les godets.

On laisse les échantillons à température ambiante une nuit puis on les met sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min.

On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on transfère les minéralisâtes dans des tubes en polypropylène de 50 ml. On rince les godets avec l'eau bi-distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages dans les tubes en polypropylène. On ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bi-distillée.

La solution obtenue doit être agitée, ensuite conservée au réfrigérateur à $+4^\circ\text{C}$ jusqu'au moment du dosage. A chaque série de 7 échantillons nous intégrons un blanc (6 ml d'acide nitrique).

2.4. Analyse des métaux traces :

Ils existent plusieurs méthodes permettant l'analyse des métaux traces dans différentes matrice de milieu marin et qui se résument en :

- ✓ La fluorescence X.
- ✓ L'activation neutronique.
- ✓ La polarographie.
- ✓ La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA).

La Spectrophotométrie d'absorption atomique est la méthode la plus couramment utilisés dans les travaux de recherche en environnement et la plus avantageuse (spécifique, sélective, reproductible et rapide d'exécution).



Figure 17 : Spectrophotométrie d’Absorption Atomique Perkin Elmer® AAAnalyst 700.

2.4.1. Principe de la Spectrophotométrie d’Absorption Atomique :

La spectrophotométrie d’absorption atomique est une technique d’analyse quantitative, fondée sur le phénomène d’absorption de radiations lumineuses par des atomes libres. Elle est largement appliquée (Forstner et Salomons, 1980), simple et très documentée (AIEA, 2001), bien adaptée (Boust, 1981) et recommandée pour l’analyse des métaux lourds (Asso, 1982 in Taieb errahmani, 2009).

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

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

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

I : Energie lumineuse transmise.

I_0 : Energie lumineuse émise.

K : Constante égal ou coefficient d’absorption moléculaire.

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

C : Concentration du métal dosé.

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

$$D'où \quad A = DO = \log I_0/I = \epsilon.L.C$$

2.4.1.1. Appareillage :

L'appareil utilisé est un Perkin Elmer® AAnalyst 700 (Figure) constitué d'un générateur de photons destiné à fournir un flux de photons d'intensité constante dans le temps et de fréquence bien définie correspondant à l'élément à doser, Il est équipé d'un générateur d'hydrures, d'un four à graphite et un système par flamme avec injecteur automatique (AS 800 Perkin Elmer) piloté par le logiciel Winlab 32 pour absorption atomique qui permet de très hautes performances d'analyse.

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

- la source lumineuse ;
- le collimateur (photomultiplicateur) ;
- le brûleur atomiseur ;
- le monochromateur ou disperser ;
- l'amplificateur ;
- le détecteur ;
- l'afficheur ou enregistreur des données (intégrateur ou pc).

2.4.1.2. Etalonnage de l'appareil :

Pour chaque métal on prépare une série d'étalon à partir d'une solution de métal à doser de concentration fixe (ex .1g/l).

$$Y = aX + b$$

Y : absorbance du métal

a : pente de la droite

X : concentration du métal

b : ordonnée à l'origine.

2.4.2. Calcul des concentrations des métaux:

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

La concentration du métal dans l'organisme est calculée selon la formule suivante :

$$[C]_{\text{Finale}} = \frac{[C]_x - [C]_b \times V}{P}$$

[C]_{Finale} : Concentration finale en µg/g

[C]_x : Concentration en µg/l

[C]_b : Concentration du blanc en µg/l

V : volume de dilution en ml

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

2.4.3. Evaluation du Niveau de la pollution :

Tableau 5 : Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en µg/g) observées chez les moules (Mersch, 1993).

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



Résultats & discussion

1. Paramètres biologiques

1.1 Taille moyenne :

La plus grande taille moyenne est celle de la moule *M.galloprovincialis* de Sercouf, il s'agit des moules d'élevage, elles ont une taille très homogène ($\sigma=4\%$), les tailles moyennes de *M.galloprovincialis* dans les autres sites (moulières naturelles) sont assez petites, mais elles sont homogènes ($\sigma<10\%$).

De fait de son intérêt commerciale et aussi dans l'approvisionnement des filières d'élevage, sa récolte se fait de façon intensive, expliquant les petites tailles rencontrées dans les gisements naturels

La *P.perna* dans les deux moulières naturelles a des tailles moyennes importantes, cette espèce n'est pas concernée ni par la commercialisation ni par la conchyliculture.

Tableau 6: la taille moyenne des moules du littoral algérois

Site	Espèce	Taille moyenne	Ecart type	(Ecart/taille moy)*100 (σ)
B1 (Zéralda)	<i>M.galloprovincialis</i>	32.25	2.38	07.3
	<i>P.perna</i>	48.21	3.82	07.9
B2 (Ain benian)	<i>M.galloprovincialis</i>	29.33	2.21	07.5
B3 (Fouka marine)	<i>M.galloprovincialis</i>	24.53	1.67	06.8
A1 (Bateau cassé)	<i>M.galloprovincialis</i>	35.41	1.87	05.3
Z1 (Surcouf)	<i>M.galloprovincialis</i>	61.11	2.86	04
Z2 (Boudouaou)	<i>P.perna</i>	49.58	4.78	09.6

1. 2. Indice de condition :

Pour l'espèce *Mytilus galloprovincialis*, les moules de la station Z1 (Surcouf) présentent un indice de condition de l'ordre de 38.077, c'est la valeur la plus élevée (Fig. 18).

L'indice de condition le plus faible (20,32) chez les moules issus de la station B1 (site de Zéralda). La différence inter-sites est hautement significative; montrant un remplissage des coquilles en faveur des moules du site de sercouf car il s'agit des moules d'élevage.

Pour l'espèce *Perna perna* les moules de la station Z2 (Boudouaou) présentent un indice de condition élevée (27.19) par rapport les moules de la station B1(Zéralda).

L'indice de condition moyen chez les deux espèces *perna perna* et *Mytillus galloprovincialis* ne montre pas une différence significative.

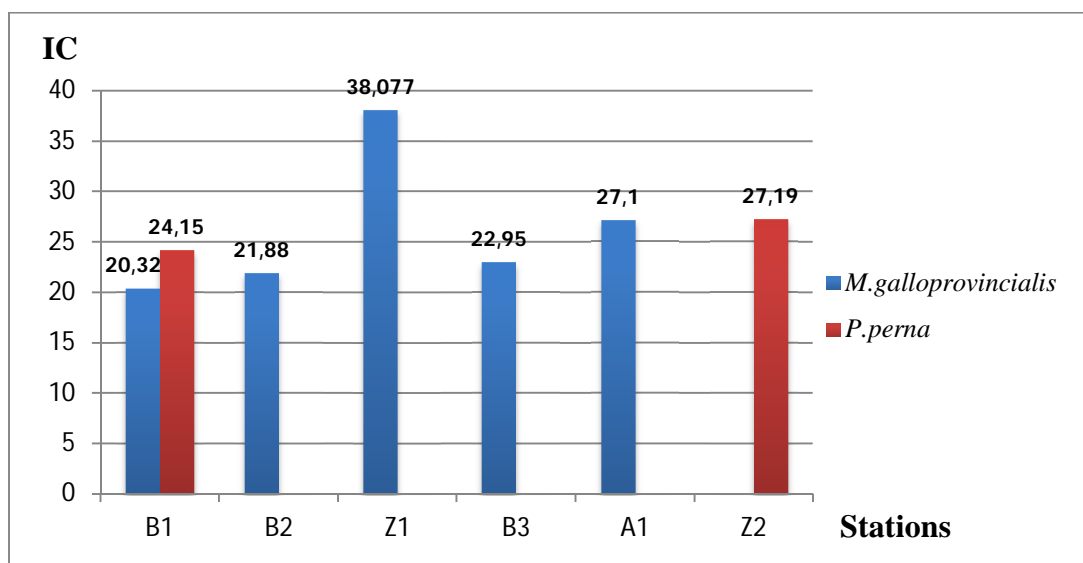


Figure18 : l'indice de condition chez deux espèces de moules *M. galloprovincialis* et *P. perna*

2. Les teneurs en métaux traces :

Les résultats des teneurs en métaux traces (Mn, Cu, et Zn) dans les moules *M. galloprovincialis* et *P. perna* du littoral algérois montrent que les moules du port d'Alger (*Mytilus galloprovincialis*) bioaccumulent des concentrations élevées en zinc et cuivre, les différentes activités dans le port contribuent de façon directe à cette pollution, parmi y, on peut citer la réparation des navires, le carénage et le trafic pétrolier. Ainsi, le déversement des eaux usées et urbaines via le port d'Alger accentue ce phénomène de pollution.

Les deux autres métaux traces (chrome et manganèse) se bioaccumulent d'une façon similaire par les moules (*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*) des différents sites étudiés.

2.1. Evaluation de la teneur en zinc :

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en zinc dans les deux espèces de moules des sites d'étude.

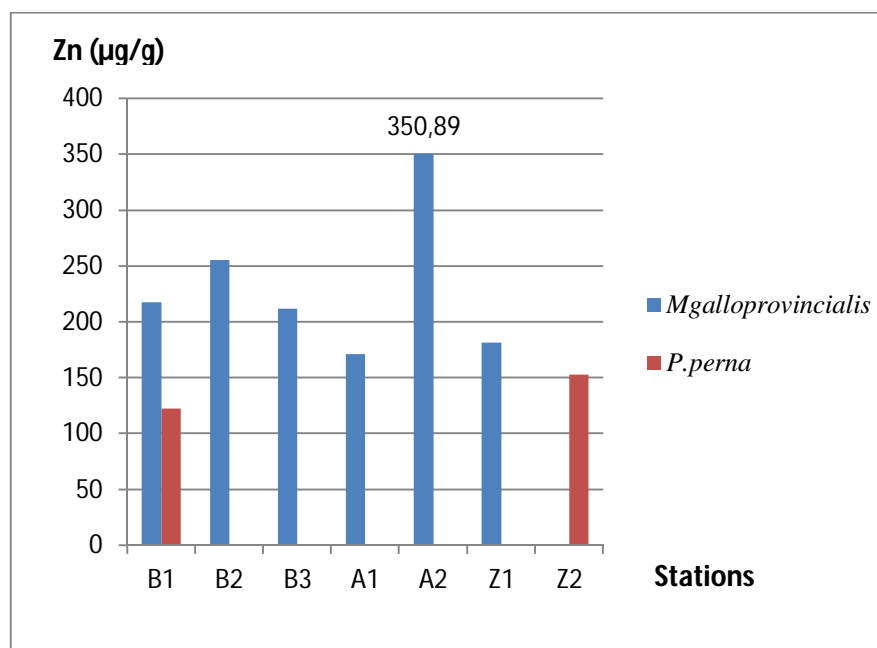


Figure 19 : les teneurs en zinc dans les moules *M.galloprovincialis* et *P.perna* du littoral algérois.

Les teneurs en zinc dans les moules du littoral algérois (Figure 19), montrent que la moule *M.galloprovincialis* du port d'Alger bioaccumule des concentrations élevées en ce métal, l'affinité de cette espèce au zinc a été déjà décrite dans des études ultérieures (Abdelouaheb, 1998 et Meguellati et Sraoui, 2012).

Ainsi, les teneurs mesurées dans le site de Zeralda (B1) montrent que la moule *M.galloprovincialis* semble accumuler plus du zinc que *P.perna*.

Les moules des autres sites bioaccumulent aussi des concentrations assez importantes en zinc. Ces concentrations varient entre un minimum de 152,9µg/g chez la moule *P.perna* dans le site de Zeralda et un maximum de 255,82µg/g chez la moule *M.galloprovincialis* dans le site d'Ain Benian.

2.2. Evaluation de la teneur en cuivre :

Le graphe ci-dessous représente les teneurs en cuivre dans les deux espèces des moules des sites d'étude.

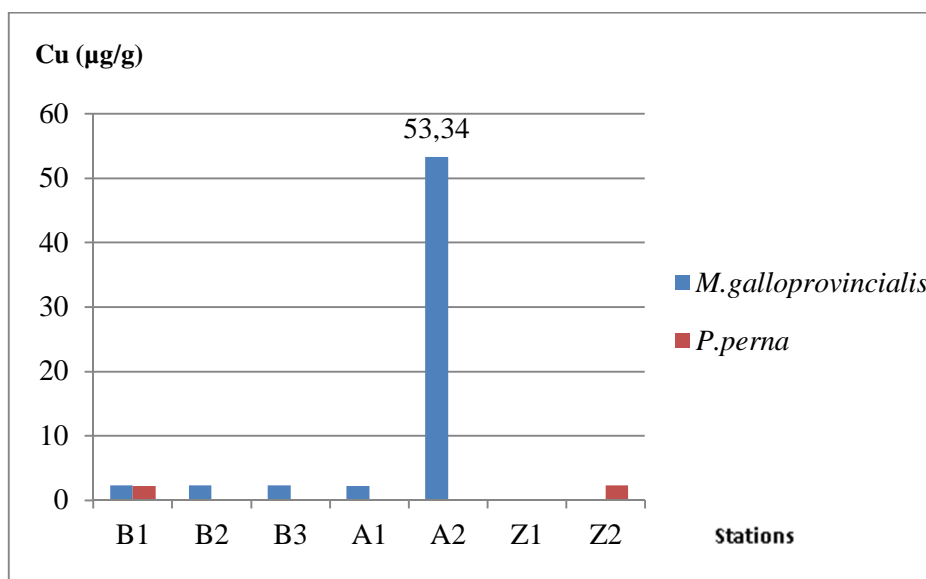


Figure 20 : les teneurs en cuivre dans les moules du littoral algérois.

Les teneurs en cuivre dans les deux espèces de moules du littoral algérois (Figure 20) sont faibles dans tous les sites à l'exception des moules du port d'Alger qui bioaccumulent des concentrations importantes en cuivre (53.34µg/g).

Les deux espèces *M.galloprovincialis* et *P.perna* dans le site de Zéralda bioaccumulent des teneurs assez similaires en cuivre.

La biodisponibilité de ce métal semblerait être régie par d'autres processus que la physiologie de l'espèce.

2.3. Evaluation de la teneur en manganèse :

Les teneurs les plus élevés en manganèse (Figure21) se trouvent dans la moule *P.perna* du Boudouaou (Z2) et du Zéralda (B1), ces teneurs sont importants par rapport à ceux bioaccumulés par la moule *M.galloprovincialis*.

Ces résultats montrent que la moule *P.perna* semblerait être bioaccumule plus de manganèse que *M.galloprovincialis*.

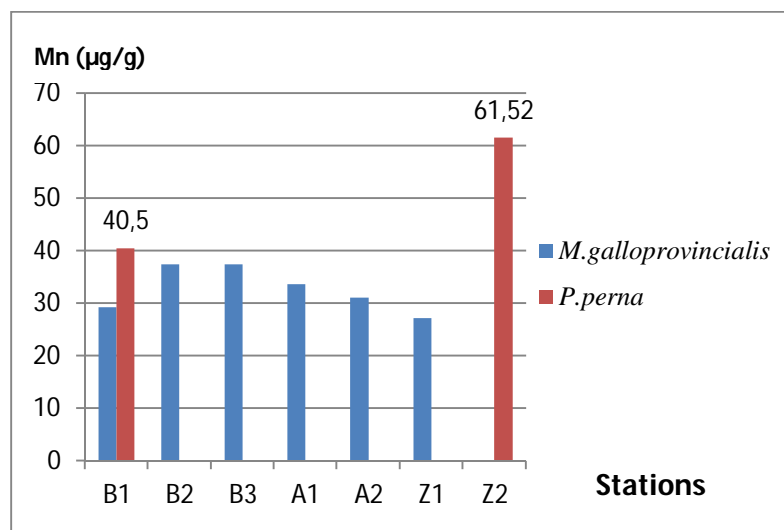


Figure 21 : les teneurs en manganèse dans les deux espèces des moules du littoral algérois.

2.3. Evaluation de la teneur en chrome :

Les teneurs en chrome dans les deux espèces de moules du littoral algérois (Figure 22), montrent que les teneurs les plus élevées se trouvent dans les moules des stations B1 (Zéralda), B2 (Ain benian), A1 (Bateau cassé) et A2 (port d'Alger), avec des concentrations de l'ordre de 8 µg/g.

Les moules des autres sites bioaccumulent des teneurs assez faibles en chrome.

Comme dans le cas du cuivre, les deux espèces bioaccumulent des teneurs assez similaires en chrome.

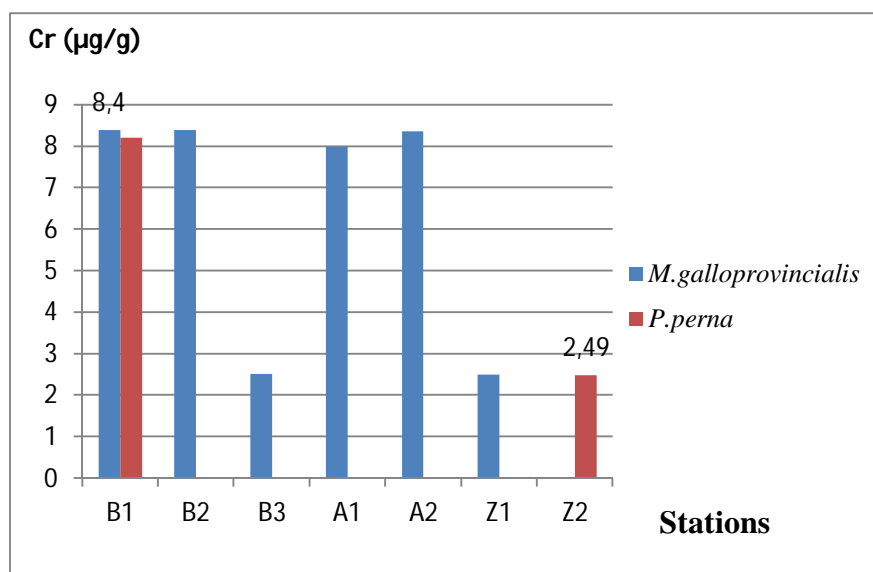


Figure 22 : les teneurs en chrome dans les deux espèces des moules du littoral algérois.

3- Applications statistiques :

3-1- Analyse binaire :

Dans le but de pouvoir expliquer les relations que les métaux peuvent avoir les uns par rapport aux autres dans les moules, des corrélations entre les métaux sont réalisées, Pour cela, à partir de n couples de variable (éléments métalliques) une droite de régression linéaire de la forme $Y = aX + b$ est obtenue par la méthode des moindres carrés.

Les coefficients de corrélation (r) calculés, compris dans l'intervalle [-1, 1], permettent de vérifier l'existence ou non d'une relation (ou corrélation) entre les deux éléments considérées, Cependant, au préalable, ces coefficients sont validés au moyen d'un test statistique, le test du coefficient de corrélation (r) qui s'exprime comme suit (Schwartz, 1969) :

$$|t| = |r| \sqrt{(n-2) / (1-r^2)}.$$

Où :

r : Coefficient de corrélation

n : Effectif des variables

|t| : Valeur calculée comparée à |t| de la table de Student pour un degré de liberté (ddl) égale à n-2 avec, pour cette étude, une précision de 95% ($\alpha = 5\%$).

Toutefois, seul le taux de risque $\alpha = 5\%$ est considéré, car en statistique, en général, une erreur de 5% peut raisonnablement affirmer l'existence de différences entre deux populations (Guitton, 1967 ; Kamoun, 1977).

Si $|t_c| > |t_t|$, la corrélation entre les deux variables est significative.

Si $|t_c| < |t_t|$, la corrélation entre les deux variables n'est pas significative.

3.1.1. Corrélation inter métaux dans les moules:

Les résultats obtenus sur huit échantillons (Tableau 7) révèlent pour les quatre métaux analysés une seule corrélation significative entre le cuivre et le zinc, ce coefficient de corrélation important ($r = 0,8$) signifie que ces deux éléments se bioaccumulent dans la moule d'une façon similaire.

Les corrélations non significatives constatées entre tous les autres couples de métaux laisseraient apparaître que ces éléments se bioaccumulent indépendamment les uns par rapport aux autres.

Tableau 7 : Corrélations inter métaux dans les moules (n=8).

corrélation	r ²	r	t calculé	t student	conclusion
Cu-Mn	0,095	0.308	0.793	2.306	Corrélations non significative
Cu-Zn	0,656	0.809	3.37	2.306	Corrélations significative
Cu-Cr	0,074	0.272	0.692	2.306	Corrélations non significative
Mn-Zn	0,163	0.403	1.078	2.306	Corrélations non significative
Mn-Cr	0,137	0.370	0.975	2.306	Corrélations non significative
Zn-Cr	0,107	0.327	0.84	2.306	Corrélations non significative

3.1.2. Corrélations métaux traces - taille moyenne des moules:

Les corrélations taille moyenne-métaux traces (tableau 8) montrent qu'il existe une seule corrélation significative entre la taille moyenne des moules et la concentration en zinc (r=0.64), donc la bioaccumulation du zinc chez la moule varie proportionnellement avec la taille moyenne.

Pour les autres métaux, leur bioaccumulations ne dépendent pas de la taille moyenne des moules.

Tableau 8 : Corrélations entre la taille moyenne des moules et la concentration en métaux.

	Zn	Cu	Cr	Mn
Taille moyenne	0.64	0.31	0.36	0.13

3.1.3. Corrélations métaux traces -indice de condition (*M.galloprovincialis*):

Les corrélations teneurs en métaux traces-indice de condition chez la moule *M.galloprovincialis* (tableau 9), montrent que tous les éléments métalliques analysés ont une corrélation significative positive avec l'indice de condition, la plus élevée est celui du cuivre avec (r=0.86). Cela signifie que la bioaccumulation des métaux traces analysés chez l'espèce *M.galloprovincialis* varie proportionnellement avec son degré de remplissage.

Tableau 9 : Corrélations entre l'indice de condition et les teneurs en métaux.

	Zn	Cu	Cr	Mn
Indice de condition	0.65	0.86	0.59	0.58

4. Evaluation de la contamination des moules du littoral algérois par les métaux traces :

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

Tableau 10 : Evaluation de la contamination dans les moules de la baie de Bou-Ismaïl.

Métaux	Min-Max (µg/g)	Moyenne (n=4)	Interprétation
Zn	(255.82 - 122.56)	202	Situation intermédiaire
Cu	(2.23 - 2.82)	2,26	Absence de pollution
Cr	(2.51 - 8.4)	6,88	Pollution certaine
Mn	(29.18 - 40.5)	36,12	-

Tableau 11 : Evaluation de la contamination dans les moules de la baie d'Alger.

Métaux	Concentration (µg/g)	Interprétation
Zn	171.52	Situation intermédiaire
Cu	2.17	Absence de pollution
Cr	8	Pollution certaine
Mn	33.65	-

Tableau 12 : Evaluation de la contamination dans les moules du port d'Alger.

Métaux	Concentration (µg/g)	Interprétation
Zn	350.89	Pollution certaine
Cu	53.34	Pollution certaine
Cr	8.37	Pollution certaine
Mn	31.11	-

Tableau 13 : Evaluation de la contamination dans les moules de la baie de Zemmouri.

Métaux	Moyenne (n=2)	Interprétation
Zn	167.41	Situation intermédiaire
Cu	2.26	Absence de pollution
Cr	2.49	Situation intermédiaire
Mn	44.31	-

5. Comparaison des teneurs en métaux traces des moules:

Les concentrations en métaux traces dans les deux espèces de moules du littoral algérois sont comparées à celles des moules à savoir, la région d'Alger (Asso, 1982 ; Abdelouahab, 1998, Meguellati et Sraoui, 2012), la région française (Casas, 2005) et la région marocaine (Tahiri et al, 2005).

Tableau 14: Comparaison des teneurs moyennes en métaux lourds dans les moules de la baie d'Alger, de Bou-Ismaïl et de Zemmouri avec celles d'autres sites de la côte algérienne et Européenne.

Sites d'étude	Métaux			
	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Mn (µg/g)
Région d'Alger (Bateau cassé)	171.52	2.17	8.37	31.11
Port d'Alger (Présente étude)	350.89	53.34	8	33.65
Baie de Bou-ismail (Ain Benian, Zeralda et Fouka) (Présente étude)	202	2.26	6.88	36.12
Baie de Zemmouri (Boudouaou et Sercouf) (Présente étude)	167.41	2.26	2.49	44.31
Baie d'Alger (Meguellati et Sraoui, 2012)	163-202 182.5-27.57	13.1-15.3 14.2-1.55	-	13
Baie de bouismail (Meguellati et Sraoui, 2012)	262-279 270-12	6-9 7.5-2.12	-	15
Région d'Alger (Asso, 1982)	200	13.1		
Région d'Alger (Abdelouahab, 1998)	25.04-187.23	0.37-7.31	-	-
Région française (Casas, 2005)	28-283	2-17.3	-	-
Région marocaine (Tahiri et al, 2005)	225	8.77	-	-



Conclusion

Les travaux réalisés au cours de cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les moules *M.galloprovincialis* de Sercouf, présentent des tailles assez grandes parmi les moules étudiées, il s'agit des moules d'élevage.

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

- L'indice de condition la plus élevée est celle de la moule *M.galloprovincialis* de Sercouf (moules d'élevage), on ce qui concerne les moulières naturelles, la différence des valeurs de l'indice de condition entre les deux espèces est faible, en effet, le remplissage des coquilles des deux espèces est presque identique.

-Les teneurs en métaux traces dans les deux espèces de moules des différents sites d'étude montrent que :

Les concentrations de zinc les plus élevées se trouvent dans les moules du port d'Alger, les moules des autres sites présentent aussi des concentrations assez importantes. Ainsi que pour le cuivre, les teneurs la plus élevés sont ceux des moules du port d'Alger, les moules des autres sites présentent des teneurs faibles. Par ailleurs, le manganèse semblerait être bioaccumulé par la moule *P.perna* beaucoup plus que par la moule *M.galloprovincialis*.

Tandis que les teneurs en chrome les plus élevées se manifestent dans les moules des sites de Zéralda, Ain benian, Bateau cassé et port d'Alger, les moules des autres sites bioaccumulent des teneurs plus ou moins faibles en chrome.

-Le zinc est le seule métal qui a une corrélation significative positive avec la taille moyenne des moules, sa bioaccumulation est proportionnelle à la taille des moules. Les autres métaux sembleraient être bioaccumulés indépendamment de la taille des moules.

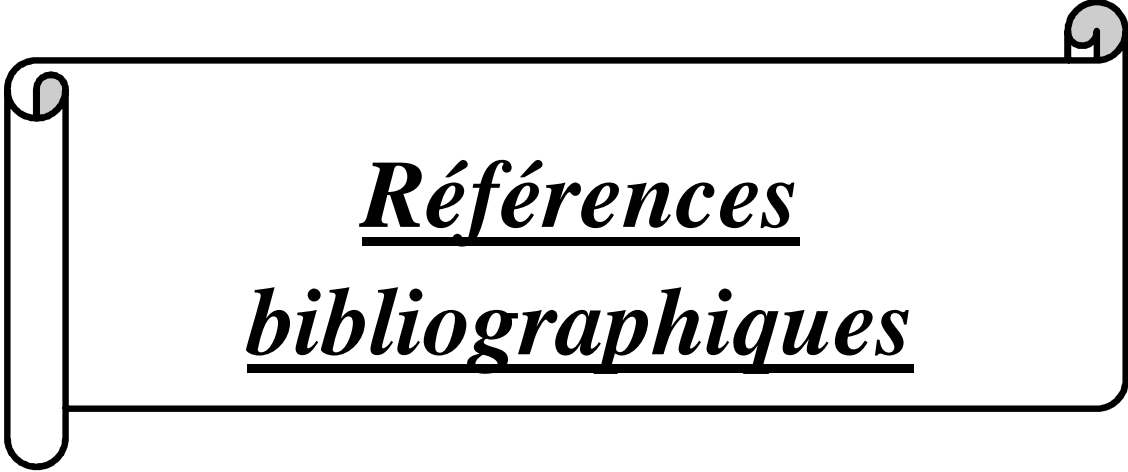
-la corrélation inter-métaux montre que les moules bioaccumulent les deux métaux cuivre et zinc d'une façon similaire. Les autres métaux se bioaccumulent indépendamment les uns par rapport aux autres.

La bioaccumulation des quatre métaux analysés (zinc, cuivre, chrome et manganèse) par la moule *M.galloprovincialis* est proportionnelle à son degré de remplissage (indice de condition).

D'après les valeurs –seuil de (Mersch, 1993) qui sont retenus en tant que valeurs de références pour l'évaluation de degré de contamination des moules du littoral algérois en métaux traces, il existe une contamination intermédiaire par le zinc, certaine par le chrome et absence d'une contamination par le cuivre pour les moules des baies d'Alger et de Bou-Ismaïl.

Une contamination certaine des moules du port d'Alger par les trois métaux zinc, cuivre et chrome, et absence d'une contamination des moules de la baie de Zemmouri par le cuivre, avec une contamination intermédiaire par le zinc et le chrome.

Cette étude montre aussi que *M. galloprovincialis* semble avoir plus d'affinité pour le zinc, ce qui va modifier la stratégie d'utilisation des bioindicateurs. Donc l'utilisation de plusieurs espèces pour l'étude de pollution par site est recommandée.



Références
bibliographiques

Références bibliographiques

Abdelouahab, N., 1998. Détermination de la teneur de quelques métaux lourds dans deux espèces de moules dans la région d'Alger. *Mémoire de Magister en océanographie biologiques, option : Molysmologie, ISMAL, 85p + annexes.*

Andral, B., 2001. Les guides méthodologiques du RLM. Evaluation de la contamination chimique et radiologique du sédiment, *Ifremer, Édition 2001*

Alzieu, C., Michel, P., Chiffolleau, J.F., Boutier, B. et Abarnou, A., 1999. Dragage et environnement marin. État des connaissances. *IFREMER, 209p.*

Asso, A., 1982. Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule *Perna* (L), dans la région d'Alger. *Mémoire de Magister en Océanologie Biologique, Université d'Aix-Marseille II, 21-32p.*

Belhaouari, B., Rouane-hacene, O., Bouhadiba, S., Boutiba, Z., 2011. Utilisation d'un Gastéropode marin *Osilinus turbinatus* en biosurveillance marine : application aux métaux lourds du littoral algérien occidental. *J. Sci. Hal. Aquat., 3:89-96*

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 en océanologie biologique, environnement marin. Université du Sud Toulon Var, 74p.*

Chiffolleau, J-F., 1994. Le chrome en milieu marin. *Rapports scientifiques et techniques de l'IFREMER, N°08, 49p.*

Cossa, D et al, 1993. Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie, Editions Ifremer, France. 3: 75p.

Cossa, D., Elbaz-Poulichet, F., Gnassia-Barelli, M. et Romeo, M., 1993. Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie, Editions Ifremer, France. 3: 75p

Références bibliographiques

Devallois, V., 2009. Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux. *Thèse de doctorat Université de Provence, 10-237p+ annexes.*

Dojlido J.R. et Best G.A., 1993. Chemistry of water and water pollution. First edition. Ellis Horwood, England, 108p.

Essedaoui, A., Sif, J., 2001. Bio-accumulation des métaux lourds et induction des métalloprotéines au niveau de la glande digestive de *Mytilus galloprovincialis*. Act edition, rabat 25p Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc) 2001, Vol. 21 (1)

Inal, A., 2011. Les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl. Surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques. *Mémoire de Magister en Sciences de la Mer, Option: Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et Littoral, ENSSMAL, 44-56p.*

Lacaze, J.C., 1996. la pollution des mers. Edition Flammarion. 118p

Meguelliati, A et Sraoui, A., 2012. *Les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et de la baie Bou-Ismaïl* Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer .Spécialité: ENVIRONNEMENT, 64+annexe

Merzouki, M., Talib, N., & Sif, J., 2009. Indice de condition et teneurs de quelques métaux (Cu, Cd, Zn et Hg) dans les organes de la moule *Mytilus galloprovincialis* de la côte d'El Jadida (Maroc) en mai et juin 2004. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 31, 21-26.

Pétre, M., 2008. Étude de la spéciation des métaux traces dissous en Seine, relation avec le pH et la matière organique dissoute, mémoire de Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie Parcours Hydrologie-Hydrogéologie. Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris & École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts 49p

Références bibliographiques

Tahiri, L., Bennasser, L., Idrissi, L., Fekhaoui, M., El Abidi, A., Mouradi, A., 2005.

Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc), *Volume 40*, p111–119

Taieb errahmani, D., 2009. Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer. Option : Environnement, 79+annexe

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners on the right. The text is centered within this border.

ANNEXE 1

**Systematique, répartition et biologie des
moules**

Systématique, répartition et biologie des moules :

Deux espèces de moules ont été choisies dans cette étude: *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Perna perna* (LINNE ,1758).

1. Systématique :

La systématique des moules a été tirée de Vidal, 2011

Embranchement	Mollusques	
Classe	Bivalves	
Ordre	Mytiloidés	
Famille	Mytilidés	
Genre	Mytilus	Perna
Espèce	<i>M.galloprovincialis</i>	<i>P.perna</i>

1.1. Comparaison entre le genre Perna et le genre Mytilus :

1.1.1 Le genre Perna :

- Absence de muscle adducteur antérieur ;
- Deux dents cardinales ;
- Intérieur des valves nacré, blanc-rosé ;
- Périocetracum brun-fauve , orné de chevrons de belle couleur vert émeraude.

1.1.2 Le genre Mytilus :

- Muscle adducteur antérieur présent ;
- Charnière fermée par trois ou quatre petites dents ;
- Insertion des muscles rétracteurs du pied et du byssus adjacentes entre elles et à celles de l'adducteur postérieur ;
- Le périocetracum est violacé ;
- L'intérieur des valves gris-bleuâtre. (Asso, 1982)

2. La répartition géographique :

2.1. Répartition de *M.galloprovincialis* :

Rencontre en méditerranée, adriatique, mer noire, cote atlantique du Maroc, du Portugal, de la France du s.w du Royaume-Uni et de la manche occidentale.

Sur le littoral d'Afrique du nord, cette moule est toujours rare sauf dans les zones portuaires et l'on peut se demander si elle n'a pas introduite par les bateaux (elle est présent à Oran, Alger

bizerte_LUBET ,1973) cet auteur ne l'a jamais rencontré au sud-est du cap bon en Tunisie (Asso, 1982)

Sur le littoral Algérien, *Mytilus galloprovincialis* cohabite avec l'espèce *Perna perna* attachée sur le même support (Boukroufa, 1987 in Bouziani et Hocini, 2011).

2.2 Répartition de *P.perna* :

Perna se rencontre en Atlantique tropical et subtropical (Maroc, Mauritanie, Sénégal).

Cayre (1978) l'étude sur les cotes de la république populaire du Congo.

On peut la rencontrer aussi sur les cotes d'Amérique du sud, des Antilles à l'argentine.

Sa pénétration en méditerranée est limitée au cotes africaines de la région occidentale, ainsi qu'aux cotes espagnoles jusqu'à Malaga (Asso, 1982).

3. La biologie de la moule :

3.1. L'anatomie :

C'est un Mollusque (corps mou non segmenté) Lamellibranche (à branchies lamelleuses) ou Pélécy-podes (pied en forme de hache) à masse viscérale (masse des viscères) aplatie transversalement, enveloppée par le manteau formé de deux grands lobes qui entourent le corps et qui ont sécrété la coquille calcaire bivalve. Les valves articulées et unies dans la région antéro-dorsale par la charnière qui abrite le ligament élastique (bourrelet de chonchyoline) sont fortement appliquées l'une contre l'autre par la contraction de deux muscles adducteurs dorsaux; le ligament élastique étiré lorsque la coquille est fermée se relâche grâce à son élasticité et fait alors entrebâiller ventralement les deux valves. La masse viscérale molle montre en avant une fente transversale, la bouche entourée de quatre palpes labiaux puis en arrière, le pied, la glande du byssus et la bosse de Polichinelle qui contient les gonades. La tête est réduite, d'où le nom d'Acéphale. Les deux lobes du manteau, libres ventralement et soudés dorsalement sauf au niveau de la boutonnière, délimite une cavité contenant les branchies en lamelles filamenteuses.

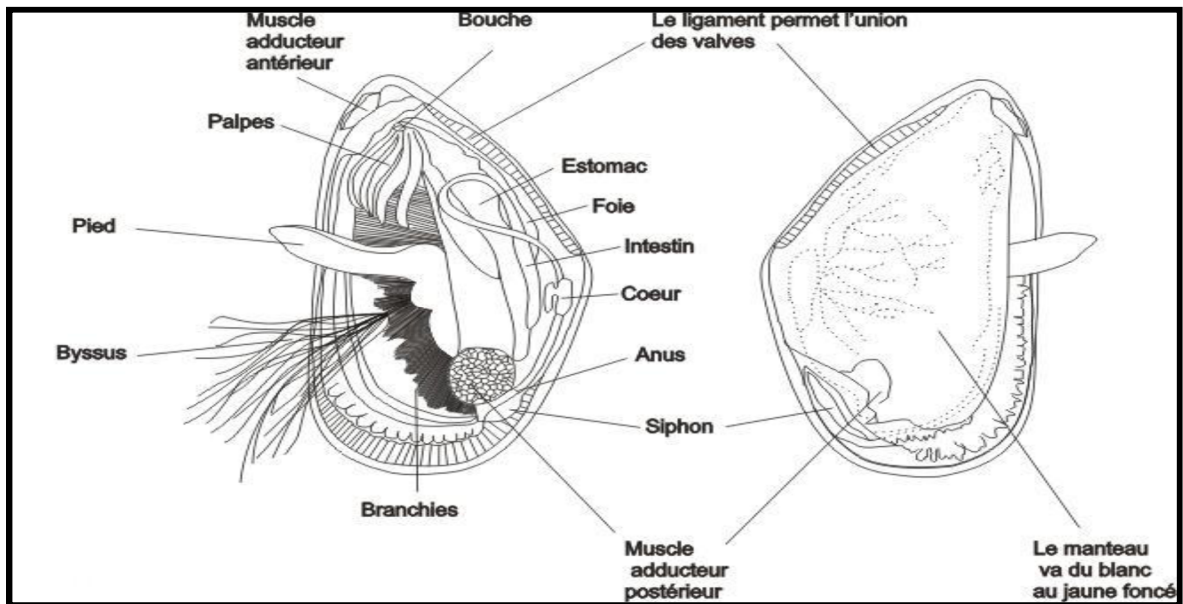


Figure 1 : anatomie interne de la moule (Marteil, 1976 in Boughachiche et Siabdallah, 2011)

3.2. Nutrition :

Consommateur microphage omnivore, elle utilise son appareil branchial comme un filtre. En effet, le courant d'eau inhalant passe à travers la branchie qui joue le rôle de tamis et qui comporte des sillons garnis de cellules muqueuses qui agglomèrent les particules en suspension dans l'eau; les microparticules consommables sont alors transportées jusqu'à la bouche puis atteignent ensuite l'estomac où elles sont broyées, entourées de mucus et pénètrent dans la glande digestive (hépatopancréas), alors que les particules non consommables sont rejetées à l'extérieur (pseudofécès).

Suspensivore, la moule filtre jusqu'à 100 litres d'eau par jour ; elle est capable d'opérer un tri concernant la nature et la taille des particules qui pénètrent dans la cavité palléale dont le diamètre est compris entre 3 et 13 micromètres. Elle se nourrit de diatomées et de débris organiques. (Bouziani et Hocini, 2011).

3.3. Le système respiratoire :

Les branchies sont au nombre de deux. Reliées à la masse viscérale par l'intermédiaire de l'axe branchial, chacune est constituée de deux rangées de filaments aplatis. Ces derniers ont une double fonction; la respiration et l'alimentation, respectivement, le ravitaillement en oxygène dissous et en plancton qu'il soit végétal ou animal. Toutefois, le manteau participe aussi à la respiration grâce à un échange direct de gaz avec l'eau de l'environnement (Marteil, 1976 in Boughachiche et Siabdallah, 2011).

3.4. Reproduction:

Les moules sont gonochoriques à sexes séparés et présentent plus d'un cycle de reproduction annuel. Le cycle de développement de la moule passe par deux phases : phase planctonique ; où les larves sont capables de nager, sans que la coquille ne soit formée. Et une phase sédentaire ; la larve, arrivée au moment de sa métamorphose et ayant trouvé un support convenable pour se fixer (Marteil, 1976 in Boughachiche et Siabdallah, 2011).

La température au-dessus de 15 C est l'élément moteur du déclenchement de l'activité sexuelle, cette « excitation thermique » provoque l'expulsion des produits génitaux dans le milieu marin (Vidal, 2011).



ANNEXE 2

L'indice de condition

Fiche n : 01**Station** : Bateau cassé**Espèce** : *Mytilus galloprovincialis*

n°	Taille (mm)	poids total(g)	poids de chair(g)	indice de condition
1	39	4,19	1,22	29,11
2	40	5,61	1,28	22,81
3	37	5,65	1,3	23,00
4	38	4,82	1,19	24,68
5	36	3,28	0,87	26,52
6	36	3,63	0,88	24,24
7	39	5,2	1,14	21,92
8	40	5,15	1,44	27,96
9	38	3,51	0,93	26,49
10	35	3,53	0,95	26,91
11	37	3,07	0,78	25,40
12	36	3,4	0,98	28,82
13	35	3,11	0,82	26,36
14	34,5	3,22	1,05	32,60
15	36	3,26	0,91	27,91
16	34,5	3,03	0,72	23,76
17	36	3,89	0,93	23,90
18	33	2,83	0,76	26,85
19	34,5	3,85	0,88	22,85
20	32	3,08	0,74	24,02
21	34	2,91	0,72	24,74
22	32	2,99	0,73	24,41
23	34,5	2,83	0,8	28,26
24	33	2,64	0,77	29,16
25	34,5	2,99	0,83	27,75
26	35	3,17	1,75	55,20
27	33,5	2,71	0,71	26,19
28	36	2,81	0,94	33,45
29	30,5	2,34	0,55	23,50
30	33	3,49	0,85	24,35
MOY				27,10

Fiche n : 02**Station :** Surcouf**Espèce :** *Mytilus galloprovincialis*

n°	Taille (mm)	poids total(g)	poids de chair(g)	indice de condition
1	62	13,35	4,35	32,58
2	61,5	11,46	5,33	46,5
3	62,5	11,51	4,15	36,05
4	60	11,26	5,18	46
5	62,5	11,87	6,21	52,31
6	60	11,71	4,31	36,8
7	63	14,14	5,63	39,81
8	61,5	9,48	3,19	33,64
9	60	11,7	4,63	39,57
10	63	11,25	4,54	40,35
11	62	9,4	4	42,55
12	67	10,94	4,31	39,39
13	61	10,59	4,04	38,14
14	62	14,37	5,17	35,97
15	68	12,76	5,03	39,42
16	62	8,76	3,09	35,27
17	60	9,69	3,4	35,08
18	64	11,62	4,57	39,32
19	67	14,74	4,84	32,83
20	68,5	13,98	4,56	32,61
21	61,5	11,44	4,17	36,45
22	64	12,22	4,24	34,69
23	58	8,88	3,22	36,26
24	55,5	7,81	3,12	39,94
25	58	8,35	3,29	39,4
26	57	8,73	3,24	37,11
27	57	8,22	2,24	27,25
28	54,5	7,63	2,78	36,43
29	52,5	6,69	2,5	37,36
30	58	7,91	3,42	43,23
MOY				38,077

Fiche n : 03**Station** : Boudouaou**Espèce** : *Perna perna*

n°	Taille(mm)	poids total(g)	poids de chair(g)	indice de condition
1	53,5	8,94	2,63	29,41
2	49,5	7,5	2,42	32,26
3	48,5	6,97	1,98	28,4
4	52	9,83	2,39	24,31
5	46,5	7,33	2	27,28
6	51,5	9,53	2,52	26,44
7	58,5	12,62	3,08	24,4
8	53	10,17	2,38	23,4
9	45	8,59	2,02	23,51
10	53	8,25	2,45	29,69
11	51	8,9	2,78	31,23
12	55,5	9,24	2,81	30,41
13	53	10,16	2,38	23,42
14	52	8,89	2,24	25,19
15	56	8,89	2,33	26,2
16	58	10,29	2,89	28,08
17	52,5	11,04	3,5	31,7
18	57	11,45	2,6	22,7
19	48	8,23	3,52	42,77
20	46	7,31	1,75	23,93
21	45	6,66	1,74	26,12
22	41,5	5,02	1,01	20,11
23	45	7,2	1,04	22,77
24	42,5	5,37	1,47	27,37
25	45,5	5,93	1,41	23,77
26	42,5	4,19	0,81	19,33
27	40,5	5,8	1,28	22,06
28	41	4,87	2,4	49,28
29	45	5,88	1,41	23,97
30	59	11,03	2,91	26,38
MOY				27,19

Fiche n : 04**Station** : Zéralda**Espèce** : *Perna perna*

n	Taille (mm)	poids total(g)	poids de la chair (g)	indice de condition
1	58	12,67	3,03	23,91
2	53	8,52	1,95	22,88
3	56,5	12,97	9,94	76,63
4	54,5	9,38	1,83	19,5
5	50	7,39	1,66	22,46
6	54	8,73	1,96	22,45
7	51	7,05	1,51	21,41
8	52,5	8,09	1,81	22,37
9	51,5	8,7	1,93	22,18
10	54	9,36	1,85	19,76
11	50,5	6,43	1,6	24,88
12	50,5	7,08	1,76	24,85
13	47	6,07	1,49	24,54
14	47	6,38	1,52	23,82
15	46	6,63	1,39	20,96
16	48	6,21	1,34	21,57
17	44	5,52	1,18	21,37
18	45	7,23	1,54	21,3
19	48	9,07	1,86	20,5
20	45,5	5,54	1,41	25,45
21	44	6,05	1,27	20,99
22	43	5,48	1,24	22,62
23	43	5,88	1,21	20,57
24	44,5	4,64	1,08	23,27
25	45	5,3	1,31	24,71
26	44	7,1	1,4	19,71
27	43	5	1,12	22,4
28	44	5,09	1,03	20,23
29	44	5,64	1,35	23,93
30	45,5	6,72	1,58	23,51
MOY				24,15

Fiche n : 05**Station :** Fouka marine**Espèce :** *Mytilus galloprovincialis*

n	Taille (mm)	poids total(g)	poids de la chair (g)	indice de condition
1	23,5	1,04	0,23	22,11
2	28	1,42	0,46	32,39
3	28,5	1,4	0,31	22,14
4	27	1,69	0,35	20,71
5	29	2,66	0,45	16,91
6	24	1,15	0,25	21,73
7	28	2,45	0,5	20,4
8	26,5	1,71	0,39	22,8
9	25,5	1,29	0,32	24,8
10	26	1,35	0,37	27,4
11	24	2,09	0,31	14,83
12	24,5	0,93	0,23	24,73
13	25	1,11	0,27	24,32
14	26	1,06	0,29	27,35
15	25	1,09	0,23	27,35
16	23	0,81	0,17	20,98
17	24,5	1,11	0,24	21,62
18	22,5	0,88	0,27	36,68
19	24	0,84	0,22	26,19
20	22,5	0,8	0,16	20
21	22,5	0,85	0,25	29,41
22	22,5	0,81	0,21	0,25
23	22,5	0,73	0,19	26,02
24	23	1,42	0,24	16,9
25	23	0,8	0,17	21,25
26	22	0,78	0,22	30,13
27	21,5	0,73	0,22	30,13
28	24	1,3	0,17	13,07
29	25	0,87	0,18	20,68
30	23	0,71	0,18	25,35
MOY				22,95

Fiche n : 06**Station :** Ain benian**Espèce :** *Mytilus galloprovincialis*

n	Taille (mm)	poids total(g)	poids de la chair (g)	indice de condition
1	33,5	2,44	0,52	21,31
2	30	2,34	0,52	22,22
3	29	1,72	0,35	20,34
4	29	1,46	0,38	26,02
5	29	1,83	0,38	20,76
6	39,5	1,93	0,56	29,01
7	33	2,2	0,54	24,54
8	31	2,82	0,6	21,27
9	31,5	2,36	0,52	22,03
10	35,5	2,87	0,58	20,2
11	28,5	1,85	0,44	23,78
12	27,5	1,58	0,36	22,78
13	27	1,59	0,33	20,75
14	30	2,41	0,46	12,87
15	28	1,89	0,46	24,33
16	28,5	1,52	0,39	25,65
17	32	1,96	0,47	23,97
18	30,5	2,2	0,5	22,72
19	27,5	1,49	0,29	16,46
20	28,5	1,52	0,39	25,65
21	26	1,74	0,33	18,95
22	28	1,48	0,42	28,37
23	26	1,6	0,3	18,75
24	26,5	1,33	0,31	23,3
25	28,5	1,96	0,38	19,38
26	25,5	1,21	0,22	18,18
27	29	1,92	0,39	20,31
28	27	1,53	0,3	19,6
29	26	1,19	0,25	21
30	28,5	1,64	0,36	21,95
MOY				21,88

Fiche n : 07**Station :** Zéralda**Espèce :** *Mytilus galloprovincialis*

n	Taille (mm)	poids total(g)	poids de la chair (g)	indice de condition
1	35	3,9	0,73	18,71
2	37,5	4,08	0,99	24,26
3	37,5	4,71	1,02	21,65
4	38,5	4,57	0,86	18,81
5	35	3,52	0,67	19,03
6	33	4,46	1,05	23,54
7	32	2,51	0,57	22,7
8	36	4,99	0,92	18,43
9	33	3,8	0,62	16,31
10	33,5	3,02	0,5	16,55
11	33	2,92	0,7	23,97
12	32	2,93	0,64	21,84
13	31,5	2,25	0,59	26,22
14	32	2,98	0,62	20,8
15	30	2,63	0,48	18,25
16	34	3,2	0,67	20,93
17	30	1,61	0,22	13,66
18	31	2,73	0,5	18,31
19	30	2,2	0,42	19,09
20	31	2,46	0,49	19,91
21	31	2,43	0,3	12,34
22	31	2,34	0,5	21,36
23	35	3,43	0,67	19,53
24	34	2,84	0,66	23,23
25	29	2,78	0,88	31,65
26	28	1,86	0,36	19,35
27	30,5	1,76	0,46	26,13
28	29	2,38	0,4	16,8
29	27	2,41	0,36	14,93
30	27,5	1,92	0,41	21,35
MOY				20,32



ANNEXE 3:
Courbes d'étalonnages

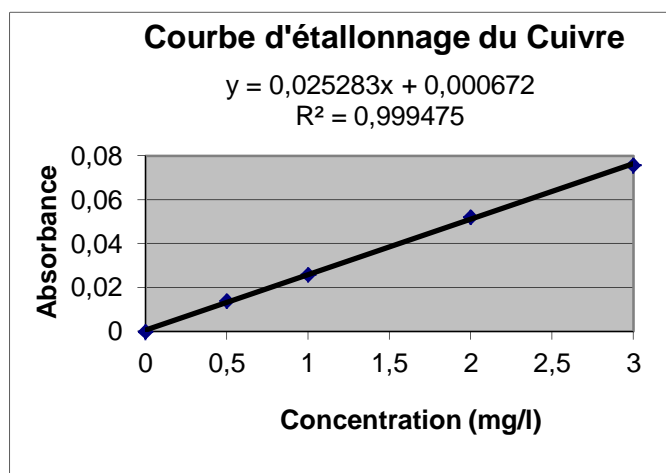
Tableau 1 : Gammes- étalons des métaux traces analysés dans les moules.

N° STD	Absorbance	Concentra. mgCu/l
<i>Blanc</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>STD1</i>	<i>0,0139</i>	<i>0,5</i>
<i>STD3</i>	<i>0,0258</i>	<i>1</i>
<i>STD4</i>	<i>0,0521</i>	<i>2</i>
<i>STD5</i>	<i>0,0759</i>	<i>3</i>

N° STD	Absorbance	Concentra. mgMn/l
<i>Blanc</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>STD1</i>	<i>0,0264</i>	<i>0,5</i>
<i>STD2</i>	<i>0,0469</i>	<i>1</i>
<i>STD3</i>	<i>0,0874</i>	<i>2</i>
<i>STD4</i>	<i>0,1353</i>	<i>3</i>
<i>STD5</i>	<i>0,2486</i>	<i>5</i>

N° STD	Absorbance	Concentra. mgZn/l
<i>Blanc</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>STD1</i>	<i>0,0307</i>	<i>0,3</i>
<i>STD2</i>	<i>0,0468</i>	<i>0,5</i>
<i>STD3</i>	<i>0,0974</i>	<i>1</i>
<i>STD4</i>	<i>0,1936</i>	<i>2</i>
<i>STD5</i>	<i>0,475</i>	<i>5</i>

N° STD	Absorbance	Concentra. mgCr/l
<i>Blanc</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>STD1</i>	<i>0,0086</i>	<i>0,5</i>
<i>STD2</i>	<i>0,0174</i>	<i>1</i>
<i>STD3</i>	<i>0,0356</i>	<i>2</i>
<i>STD4</i>	<i>0,0499</i>	<i>3</i>
<i>STD5</i>	<i>0,0851</i>	<i>5</i>



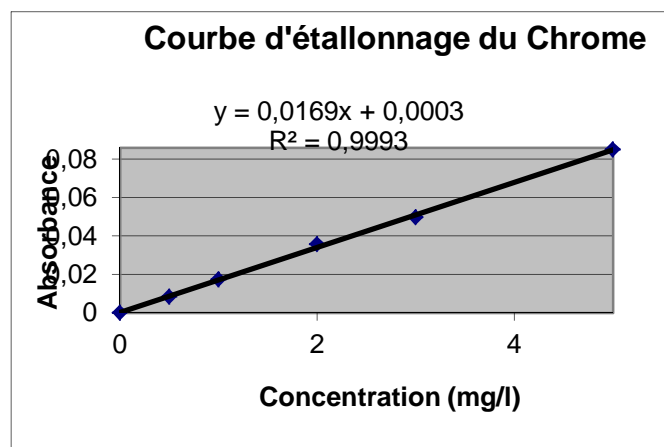
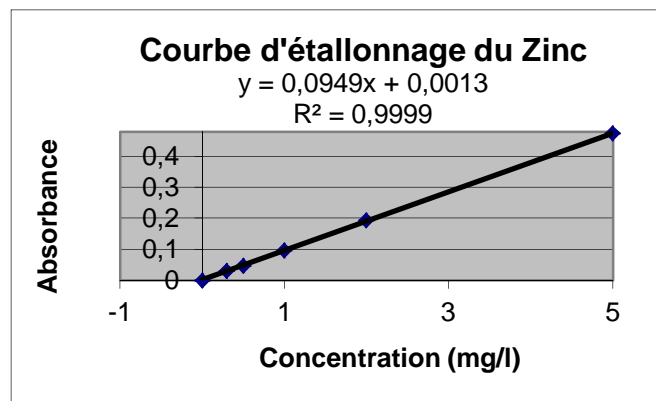
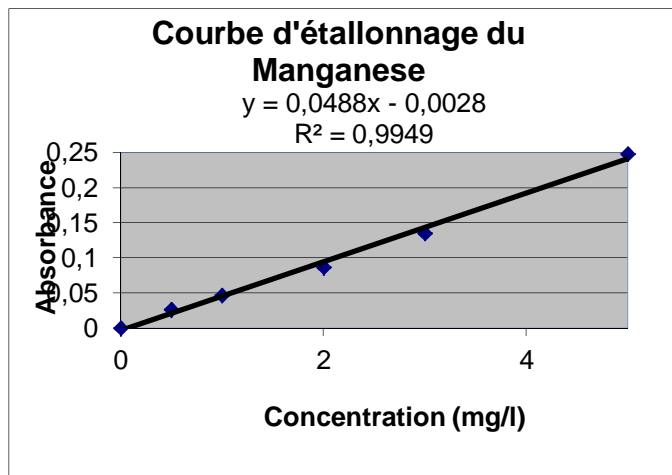


Figure 1 : Droites d'étalonnage des métaux traces analysés dans les moules.