

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 البحر و تهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER**

Sujet :

*Les métaux traces dans deux bivalves *M. galloprovincialis* et *P. perna* du littoral algérois : Etat et analyse rétrospective*

Présenté par :

- **SRAOUI Abd el Malek**

Soutenu le 20/10/2012 devant le jury suivant :

Mr SEMROUD. R	Professeur (ENSSMAL)	Président
Mr BOULAHIDID. M	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
Mr INAL. A	Attaché de recherche (CNRDPA)	Co-promoteur
Mme BENTCHIKOU. L	Maître assistant (ENSSMAL)	Examinatrice
Mme GHALMI. R	Maître assistant (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2011/2012

Remerciements

A cet effet, nous remercions Monsieur **BOULAHDIQ .M**, d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions et aussi Monsieur **INAL. A**

Nous tenons à remercier Monsieur **SEMROUD. R** , d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions Madame **BENTCHIKOU. L** , pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Nous remercions Madame **GHALMI.R**, d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.

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

Nous n'omettrons d'exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **Boudjfal. Y**

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

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

Liste des acronymes

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

ETM : Eléments Traces Métalliques.

F.A.O : Food and Agriculture Organisation

LRC : Laboratoire Régional Centre.

M.A.T.E : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MO : Matière organique.

O.M.S : Organisation mondiale de la santé.

O.N.E.D.D : l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.

P.A.C : Plan d'Aménagement Côtier.

P.A.M : Plan d'Action pour la Méditerranée.

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

SOMMAIRE

Table des matières :

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.La pollution marine.....	2
1.1.Les différents types de pollution.....	2
2.Aperçu général sur les métaux traces.....	2
2.1.Définition et classification des ETM.....	2
2.2.Origine.....	3
2.3.Cycle biogéochimique des ETM dans le milieu marin.....	3
2.4.Spéciation et biodisponibilité des ETM.....	4
2.5.La bioaccumulation des ETM.....	5
2.5.1.Processus physiologique de bioaccumulation des ETM.....	5
2.5.1.1.Assimilation des ETM.....	5
2.5.1.2.Excrétion des métaux.....	5
2.5.1.3.Mécanisme de stockage des ETM.....	6
2.5.1.4 Mécanisme de détoxification.....	6
2.5.2.Les facteurs influençant sur la bioaccumulation des ETM.....	6
2.6.Espèces indicatrices de la pollution marine.....	7
2.6.1.Choix des moules comme bioindicateurs de la contamination métallique.....	7

Chapitre II : Synthèse des travaux

1.Aperçu général sur les travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral Algérois par les métaux traces :.....	8
2.Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissant.....	9
2.1.Aso, 1982 :.....	9
2.2.Boutouchent, 1988 :.....	10
2.3.Abdelouahab, 1998 :.....	11
2.4.Meguelliati et Sraoui 2012 :.....	12
3.Evaluation du Niveau de la pollution :.....	13

Chapitre III : Analyse et Interprétations des données acquises

1. Traitement et analyse des données acquises :.....	14
1.2.Les teneurs des métaux traces dans la moule <i>M. galloprovincialis</i> et <i>P. perna</i> :.....	15
1.2.1.Le zinc :.....	15

1.2.2.Le cuivre	15
1.2.3.Le plomb.....	16
1.2.4.Le manganèse	16
1.2.5. Le mercure	17
1.2.6.Le cadmium	17
1.2.7.Le cobalet	18
2.Corrélation inter métaux dans les moules du littoral algérois :	19
Conclusion générale :.....	20
Références bibliographiques	21
Annexes.....	24
Liste des acronymes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Origines des métaux traces dans le milieu marin.	3
Tableau 2 : les travaux réalisés sur la bioaccumulation des métaux traces dans les moules du littoral algérois selon un ordre chronologique croissant	9
Tableau 3 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces dans la moule <i>Perna perna</i> de la région d'Alger. (Asso, 1982)	10
Tableau 4 : les valeurs extrêmes des teneurs en métaux traces dans la moule <i>Perna perna</i> de la région d'Alger. (Boutouchent, 1988)	11
Tableau 5 : les valeurs extrêmes des teneurs en métaux traces dans la moule <i>M. galloprovincialis</i> et <i>Perna perna</i> de la région d'Alger. (Abdelouahab, 1998).....	11
Tableau 6 : les valeurs moyennes des teneurs ($\mu\text{g/g p.s}$) en métaux traces dans la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i> de la baie d'Alger et de la baie de la Bou-Imail (Meguellati et Sraoui, 2012)	12
Tableau 7 : Grille de qualité pour interpréter les concentrations métalliques (en $\mu\text{g/g}$) observées chez les moules (Mersch, 1993).....	13
Tableau 8 : tableau récapitulatif des teneurs ($\mu\text{g/g p.s}$) en métaux traces dans les moules du littoral algérois.....	14
Tableau 9 : Corrélacion inter métaux dans les deux espèces de moules, <i>Mytilus galloprovincialis</i> et <i>Perna perna</i> dans le littoral algérois.....	19

Liste des figures

Figure 1 : classification de la pollution marine (Galaf et Ghannam, 2003).....	2
Figure 2 : Représentation schématique du cycle biogéochimique des éléments traces dans des environnements marins (Butcher et al, 1992).	4
Figure 3 : localisation des travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral Algérois par les métaux traces	8
Figure 4 : Evolution de la concentration en zinc dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	15
Figure 5 : Evolution de la concentration en cuivre dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	15
Figure 6 : Evolution de la concentration en plomb dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	16
Figure 7 : Evolution de la concentration en manganèse dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).	16
Figure 8 : Evolution de la concentration en mercure dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	17
Figure 9 : Evolution de la concentration en cadmium dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	17
Figure 10 : Evolution de la concentration en cobalt dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	18
Figure 11 : Evolution de la concentration en arsenic dans la moule <i>Perna perna</i> (A) et <i>M. galloprovincialis</i> (B).....	18
Figure 12 : Corrélation significative entre le Cobalt et Arsenic dans les deux espèces de moules, <i>Mytilus galloprovincialis</i> et <i>Perna perna</i>	19

La pollution de l'environnement marin par les métaux traces est un des problèmes majeurs auxquels doit faire face la société actuelle. Ces éléments entrent dans les systèmes aquatiques par des sources ponctuelles et diffuses, sous formes particulières, dissoutes et colloïdales. Elles tendent à se concentrer dans la chaîne trophique aquatique.

La concentration et l'accumulation des métaux divalents chez les organismes aquatiques sont des processus assez complexes. Les degrés d'assimilation et de rétention des métaux traces varient entre les différents genres et espèces (Eisler, 1981) et dépendent des propriétés biochimiques de chaque élément (Bowen, 1966).

Le principe des « bioindicateurs quantitatifs » basé sur le fait que les organismes marins concentrent les contaminants, en particulier les métaux divalents, en relation avec les concentrations présentes dans le milieu (Goldberg, 1975; Philips, 1977; Goldberg *et al.*, 1978; Phillips, 1980; Philips et Segar, 1986), est donc d'un intérêt considérable pour la compréhension des phénomènes écotoxicologiques et l'interprétation de la bioaccumulation et des transferts à travers les chaînes trophiques.

L'objet de ce travail est l'évaluation des tendances temporelles de l'évolution de la bioaccumulation des métaux traces chez les moules, dont le réseau trophique est relativement simple, afin de pouvoir l'utiliser dans différentes zones où les paramètres du milieu sont connus. Ainsi, les objectifs de ce mémoire sont :

- Chercher la différence dans la bioaccumulation des métaux traces entre deux espèces de moules *P. perna* et *M. galloprovincialis* pour cerner l'affinité de chaque espèce par rapport aux métaux.
- mettre en évidence les tendances d'évolution spatiotemporelles des concentrations de chaque métal dans les deux espèces de moules.

Synthèse
bibliographique

1. La pollution marine

La pollution marine résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans, en conséquence de l'activité humaine. Elle comprend la pollution de l'eau, des biotes et celle des sédiments, plus généralement toutes les atteintes aux écosystèmes marins causées par les rejets de substances nuisibles par leurs natures ou leurs quantités. Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « pollution marine », parmi lesquelles, on note la définition adoptée par la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO comme étant : « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement de substances ou d'énergie dans l'environnement marin pouvant entraîner des effets délétères , tels que dommages aux ressources biologiques, dangers pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes , y compris la pêche, détérioration des qualités de l'eau de mer pour son utilisation, et réduction des possibilités dans le domaine des loisirs ».

1.1. Les différents types de pollution

Il existe deux principaux critères utilisés pour classer les polluants en milieu marin (Galaf et Ghannam, 2003) (figure1).

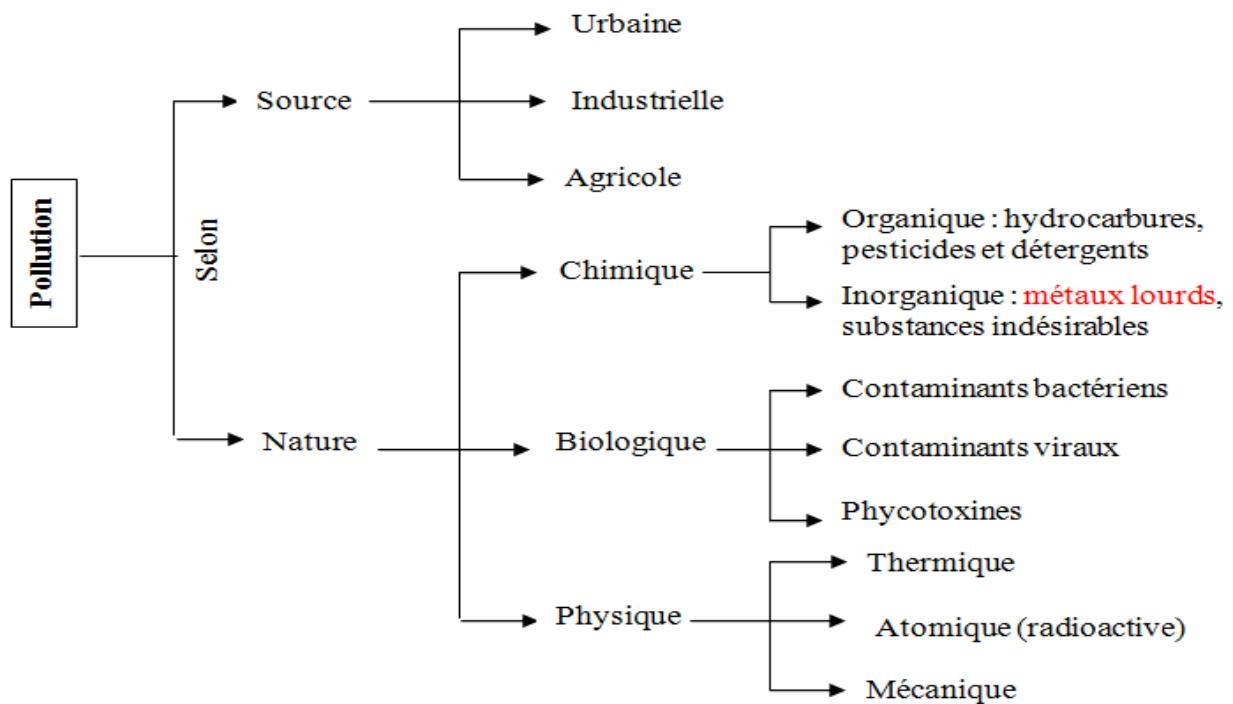


Figure 1 : classification de la pollution marine (Galaf et Ghannam, 2003).

La contamination du milieu marin par les métaux demeure un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant. Ils sont présents dans tous ses compartiments (eau, sédiment, faune et flore) (Langstone, 1999).

2. Aperçu général sur les métaux traces

2.1. Définition et classification des éléments traces métalliques

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

On parle généralement de « métaux lourds » pour les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisées par une densité supérieure à 5g /cm³ (Alloway et al, 1995).

D'autre part le terme « métaux traces » est aussi souvent utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans les eaux et les solides (Ramade, 2000).

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

- Certains éléments métalliques, comme Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn, sont essentiels pour les organismes : ce sont les oligo-éléments (la liste des oligo-éléments a été fixée par l'OMS (Who, 2003) : au total 21 éléments sont reconnus comme tels, dont 14 métaux), indispensables en quantités minimales, l'augmentation de leur concentration dans l'environnement peut aboutir à des phénomènes de toxicité.
- D'autres éléments ne sont pas nécessaires pour les organismes et présentent des effets toxiques dès les faibles teneurs (de l'ordre du µg/l) : ce sont principalement le plomb, le mercure et le cadmium (Sigg et al, 2001).

2.2. Origine

Les ETM naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires (Devallois, 2009). Les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribué à l'augmentation des concentrations de métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtière (Kaiser, 2004).

Tableau 1 : Origines des métaux traces dans le milieu marin.

Origine naturelle	Origine anthropique
<ul style="list-style-type: none"> - L'érosion et le lessivage des sols par les eaux des pluies et les fleuves ; - Transport par voie atmosphérique ; - Les activités sismiques et volcaniques. 	<ul style="list-style-type: none"> - l'emploi des produits dans l'agriculture (pesticides) ; - Des rejets domestiques ; - des déversements industriels.

2.3. Cycle biogéochimique des ETM dans le milieu marin

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

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

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

Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes :

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

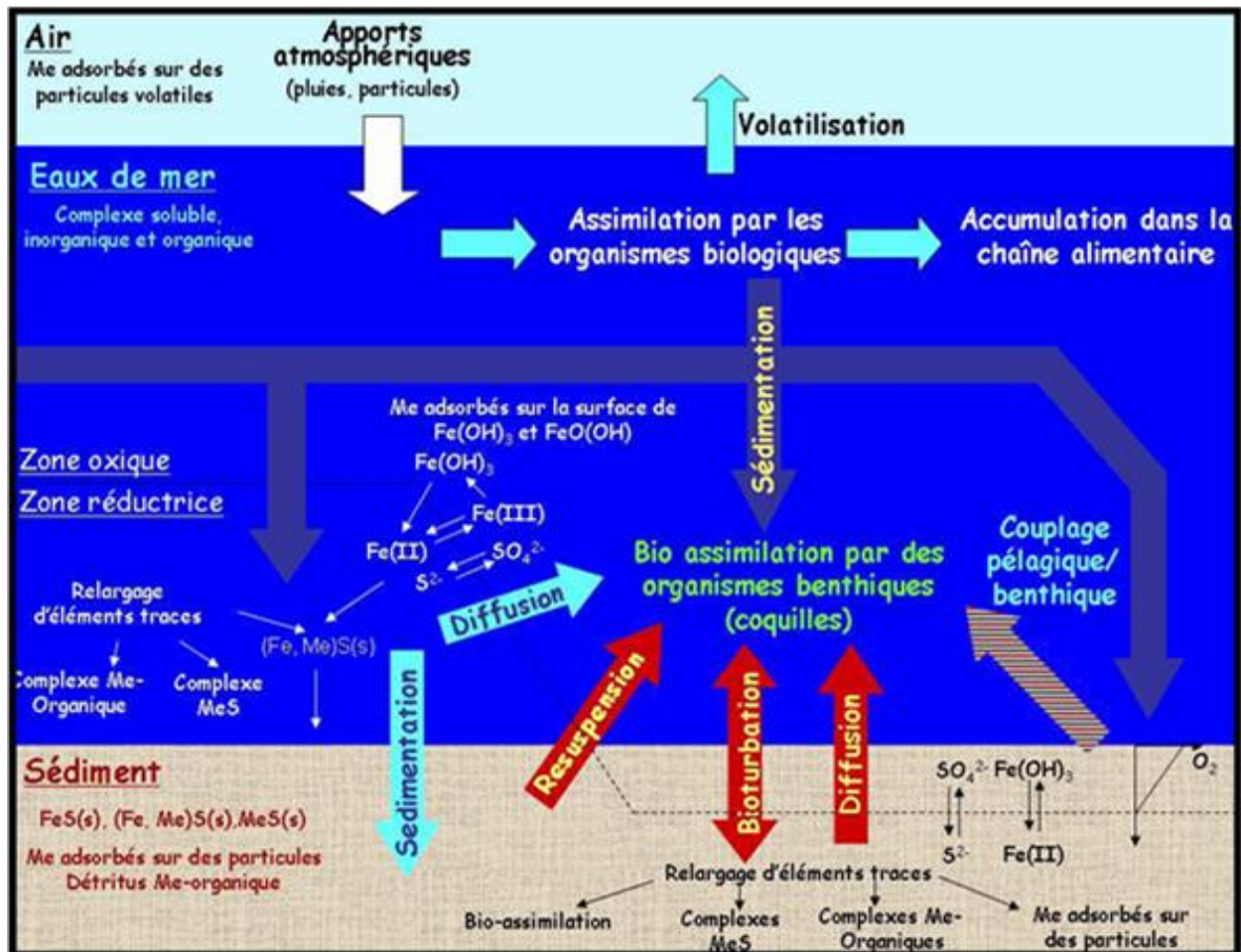


Figure 2: Représentation schématique du cycle biogéochimique des éléments traces dans des environnements marins (Butcher *et al.*, 1992).

2.4. Spéciation et biodisponibilité des ETM

Le métal se trouve sous des formes physico-chimiques très diverses. L'ensemble des réactions de complexation entre un produit chimique et la totalité des ligands présents dans le milieu correspond au processus de spéciation. C'est la résultante d'équilibres complexes entre tous ces éléments reflétant la complexité chimique de ces milieux (Bourg, 1979; Turner, 1995). La spéciation du métal contrôle sa toxicité et son assimilation par les organismes marins, et affecte donc sa biodisponibilité (Jansen *et al.*, 2002). La connaissance des différentes formes chimiques du métal est nécessaire pour comprendre le processus de bioaccumulation. En effet, celle-ci va dépendre des propriétés biochimiques du contaminant et des mécanismes d'accumulation possibles pour chaque élément (Gobas, 1993).

Dans tout modèle de capture de contaminants, une des plus importantes variables est la concentration du contaminant qui peut être absorbée par l'organisme. Cette fraction ne représente qu'une partie seulement du total présent dans le milieu et est communément appelée fraction biodisponible.

Le terme « biodisponible » se réfère à la « fraction de produit chimique présent dans le milieu environnemental qui est disponible pour être accumulée par les organismes ; L'environnement peut inclure l'eau, les sédiments, les particules en suspension et la nourriture » (Rand *et al.*, 1995 ; Gourlay, 2004). Il faut donc connaître l'abondance de chaque forme et les lois qui régissent leurs transformations en milieu naturel pour prévoir leur assimilation dans le vivant.

Les formes dissoutes libres et ioniques des ETM sont généralement considérées comme les formes les plus facilement disponibles pour les organismes vivants (Garnier, 2004).

Bien entendu, les propriétés du milieu environnant seront déterminantes dans la complexation des métaux tels que le pH (Campbell et Stokes, 1985), la salinité (Gilles et Pequeux, 1983; Mantel et Farmer, 1983; Blust *et al.*, 1992), la température et les teneurs en matière particulaire (Skei, 1992; Skei *et al.*, 1996; Sunda et Huntsman, 1998).

La biodisponibilité des contaminants chimiques est largement déterminée par l'interaction du contaminant avec la matière organique particulaire dans l'eau, ce qui résulte en la formation d'agrégats ou de complexes trop larges pour passer à travers les barrières biologiques.

2.5. La bioaccumulation des ETM

Les ETM présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins. Ceux-ci sont capables d'en éliminer une certaine partie via l'excrétion et la métabolisation mais, au-delà d'une certaine quantité, les métaux s'accumulent dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présenter des dangers pour la santé humaine (Liehr *et al.*, 2005). Ceci peut même aller jusqu'à la disparition de certaines espèces intolérantes causant ainsi de profonds bouleversements dans la diversité et la structure des communautés biologiques (Boening, 1999).

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

- La bioconcentration est le transfert direct des substances à partir du milieu ambiant (eau, sédiments, etc.) vers les tissus et les organes (D'Adamo *et al.*, 2008; Markert *et al.*, 2003).
- La bioamplification est le résultat du transfert des contaminants le long des différents niveaux de la chaîne alimentaire (D'Adamo *et al.*, 2008; Kaiser, 2001).

2.5.1. Processus physiologique de bioaccumulation des ETM

2.5.1.1. Assimilation des ETM

L'assimilation des métaux peut avoir lieu par la voie alimentaire à travers le tractus digestif lors des prises de nourritures des organismes aquatiques (Jennings, 1979 cité par Hardivillier, 2005). Cette voie est particulièrement importante dans le cas des métaux associés à des particules non dissoutes.

L'assimilation des métaux par cette voie peut exister sur l'ensemble des surfaces perméables du corps des organismes aquatiques en particulier à des sites de haute perméabilité telles que les branchies.

2.5.1.2 Excrétion des métaux

Selon Casas (2005), les mollusques bivalves éliminent les métaux par plusieurs voies :

- Par voie urinaire. Les cellules rénales jouent également un rôle important dans l'excrétion des métaux. Chez les mollusques bivalves, le rein a la capacité d'excréter des granules riches en métaux.

- par la défécation : La défécation est une autre voie d'excrétion qui permet de supprimer les métaux contenus dans le tractus digestif.

A cela s'ajoute d'autres voies qui ont un caractère plus ou moins épisodique : par synthèse du byssus ou de la coquille ou par les gamètes lors de la ponte (Cossas et Lassus, 1989).

2.5.1.3 Mécanisme de stockage des ETM

Les mollusques accumulent principalement dans deux organes : le rein et l'hépatopancréas. Ces derniers sont des sites d'accumulation de phosphates de Ca, Sr et Mg ou de protéines dont les métallothionéines pour lesquelles les éléments des groupes IB et IIB ont beaucoup d'affinité (Casas, 2005).

2.5.1.4 Mécanisme de détoxification

Les mollusques bivalves sont connus pour survivre dans des milieux fortement contaminés par les métaux lourds (Phillips, 1990 cité par Bouilly, 2004), cela s'explique par le fait qu'il y a développement de mécanisme qui leur permettent de lutter contre cette contamination métallique, le plus connu est la liaison de ces métaux avec des protéines « les métallothionéines », ce mécanisme a été démontré chez plusieurs espèces de bivalves dont les moules (*Mytilus galloprovincialis*).

Il existe d'autres types de réponses tel que :

- La mobilisation d'autres ligands cytosolubles (Cosson *et al.*, 1991 cité par Bouilly, 2004) et
- la séquestration des métaux dans les lysosomes ou granules (Brown, 1982 cité par Bouilly, 2004).

2.5.2. Les facteurs influençant sur la bioaccumulation des ETM

Trois groupes de facteurs (les caractéristiques physico-chimiques du milieu, les propriétés chimiques du contaminant et les caractéristiques biologiques de l'espèce), intimement liés, vont intervenir dans les interactions entre les composés métalliques et les barrières biologiques (Casas, 2005).

Ces facteurs vont donc agir d'une part sur les transferts de contaminants du milieu extérieur vers l'organisme et inversement (taux de filtration, d'ingestion et d'excrétion) (Cossa *et al.*, 1980; Cossa et Rondeau, 1985; Cain et Luoma, 1986; Rainbow *et al.*, 1990; Stronkhorst, 1992; Langston et Spence, 1995; Mikac *et al.*, 1996; Morono *et al.*, 2001).

2.6. Espèces indicatrices de la pollution marine

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

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

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

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

2.6.1. Choix des moules comme bioindicatrices de la contamination métallique

Les moules, *Mytilus galoprovincialis* et *Perna perna* sont des bivalves marins utilisés en tant qu'espèces indicatrices de la contamination des eaux pour les métaux, en effet, ces bivalves présentent des caractéristiques qui ont font de bons bioindicateurs en raison de :

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

Les caractéristiques principales de chaque espèce (biologie, écologie, reproduction, ...etc.) sont résumés dans les annexes.

*Synthèse des
travaux*

1. Aperçu général sur les travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral Algérois par les métaux traces :

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.

Des travaux de recherche sur la bioaccumulation des métaux traces dans les moules ont été réalisés sous différents thèmes, pour le suivi de la qualité du milieu marin dans le littoral algérois.

L'ensemble des travaux qui portent sur la bioaccumulation des métaux traces dans les biotes du littoral Algérois ont utilisés les deux espèces de moules *Perna perna* et *Mytilus galloprovincialis*. Donc les travaux synthétisés ne concernent que les teneurs des métaux traces dans ces deux espèces.

Ces études couvrent presque la totalité du littoral Algérois allant du mont Chenoua à l'Ouest (36° 37' Nord et 02°25' Est) jusqu'au Cap Djinet à l'Est (36° 53' Nord et 3° 45' Est), correspond à trois baies Bou-Ismaïl, Alger et Zemmouri.

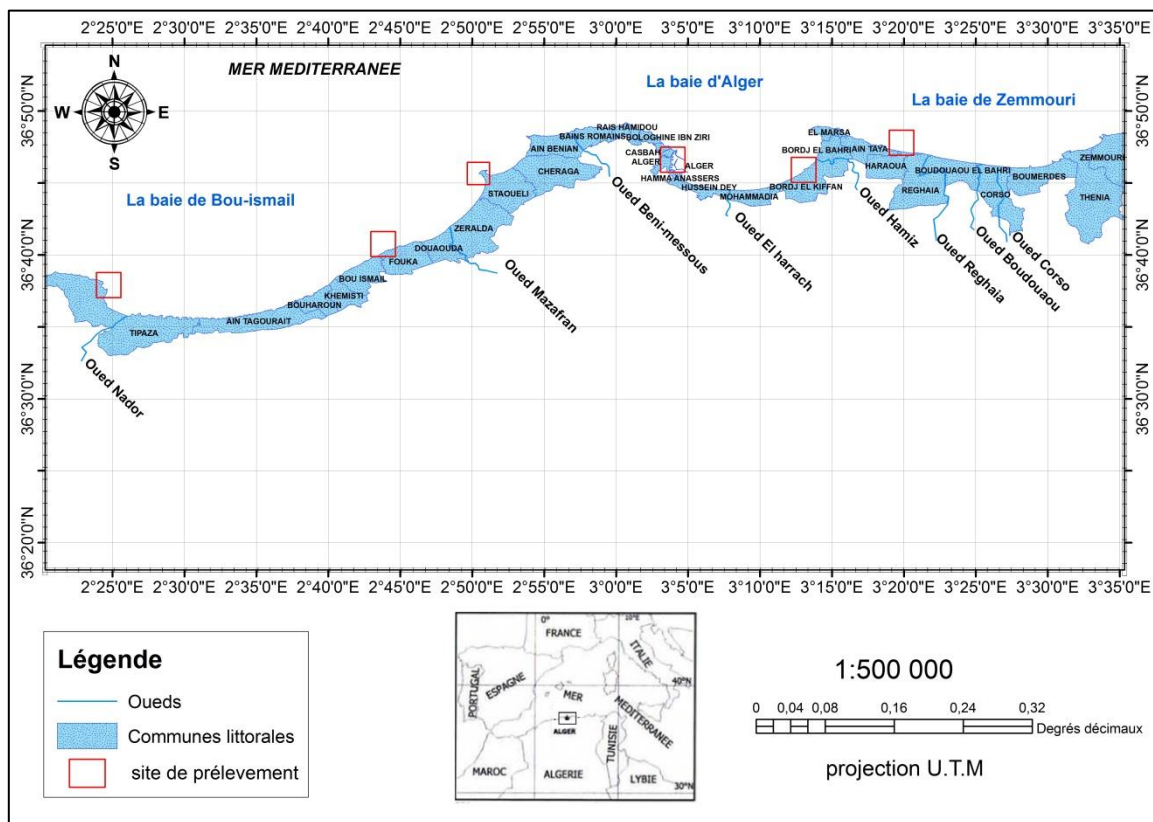


Figure 3 : localisation des travaux réalisés sur la contamination des moules du littoral Algérois par les métaux traces (Sraoui, 2012)

Le site, la référence et les métaux analysés dans chaque étude sont résumés dans le tableau ci-dessus.

Tableau 2 : les travaux réalisés sur la bioaccumulation des métaux traces dans les moules du littoral algérois selon un ordre chronologique croissant

La zone d'étude	Référence	Année	Les métaux traces recherchés
La région d'Alger	Asso	1982	Pd, Cu, Mn, Zn, Hg, Cd.
La région d'Alger	Boutouchent	1988	Pb, Cu, Cd, et Zn
La région d'Alger	Abdelouahab	1998	Pb, Cu, Mn, Hg, Cd, As, Zn, Co, Cr.
La baie d'Alger et de la baie de Bou-ismail	Meguellati et Sraoui	2012	Pb, Cu, Mn, et Zn.

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

2.1. Asso, 1982 :

Le thème porte sur contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* de la région d'Alger, qui est un thème du programme Med – Pol, engendré par la convention de Barcelone en 1976 pour la protection de la méditerranée, sous l'égide du programme des Nations – Unis pour l'environnement. Il permet de maîtriser les différents paramètres et techniques d'analyses pour six métaux : (Pd, Cu, Mn, Zn, Hg, Cd), le choix de ses métaux est dicté par leur toxicité potentielle ou reconnue.

L'espèce retenue est la moule *Perna perna*, conformément au choix du programme des nations-unies, et en raison des caractéristiques physiologique-filtration, sédentarité-de cet organisme.

Des séries d'intercalibration sur un matériel biologique standard permettant de définir les coefficients de variation pour chacun des métaux. Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Pd, Cu, Mn, Zn, Hg, Cd) dans la moule dans trois stations, ils sont résumés dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 3 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces dans la moule *Perna perna* de la région d'Alger. (Asso, 1982)

		Zn (µg/g)	Hg (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	Cu(µg/g)	Mn (µg/g)
Port d'Alger	Min	110	0,13	0,236	2 ,20	5,2	13,6
	Max	356,4	2,16	3,35	27,7	20,2	13,6
	Moy	183,5	0,315	0,92	3,58	12,34	9,2
Ilots Sandja	Min	66	0,142	0,58	1,9	9,2	6,5
	Max	287	0,30	2,12	20,8	12	13,6
	Moy	174	0,226	1,26	3,07	10,96	7,4
Chenoua	Min	73	0,072	1,58	1,4	3,95	6,2
	Max	160	0,32	0,308	6,1	17,3	22,9
	Moy	133,76	0,241	0,88	3,86	13,17	8,3

Ces deux stations, avec leurs propres fluctuations, sont représentatives de zones non polluées ; elles sont concernées sans doute par des masses d'eau comparables, entraînées par courant atlantique.

Ce transfert important des eaux le long des côtes algériennes a un double effet. Il dilue les polluants, ce qui explique les faibles teneurs. Seules les zones enclavées, comme port d'Alger subissent une pollution cumulative. Mais en contrepartie, ce courant rapide à certaines périodes de l'année peut entraîner sur longues distances les polluants émis par une zone forte pollution, contaminant au passage des zones ne recevant pas pollution locale. C'est ce que nous constatons au Chenoua, zone pour laquelle nous avons été amenés à expliquer la présence du mercure, par exemple, à partir des zones industrialisées d'Arzew. C'est aussi le cas de Sandja, plus proche d'Alger, et baignés par les eaux qui ont séjourné dans la baie avant d'être reprise par le courant.(Asso, 1982)

2.2. Boutouchent, 1988 :

Le travail porte sur contribution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds (Pb, Cu, Cd, et Zn) chez deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* et mise en évidence de l'auto-épuration dans l'intérêt d'une mytiliculture en mer ouverte, ce travail permet de comprendre la méthode d'analyse utilisée dans les programme Med – Pol est la spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA).

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (dans la moule *Perna perna* de la région d'Alger dans trois stations, qui sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme des valeurs extrêmes.

A l'intérieur du port il ya une plus grande accumulation en Zn, il ya aussi une grande accumulation en Pb mais on ne peut pas confirmer à cause du nombre très réduit de prélèvement à des dates espacées, pour la station de Chenoua reste comme une station de référence pour la côte algéroise. (Boutouchent, 1988).

Tableau 4 : les valeurs extrêmes des teneurs en métaux traces dans la moule *Perna perna* de la région d'Alger. (Boutouchent, 1988)

		Zn (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cu (µg/g)
Port d'Alger	Min	204,2	14,30	0,89	6,04
	Max	225	19,84	0,79	7,03
	Moy	220	15,57	0,57	6,66
Îlots Sandja	Min	120,5	5,46	0,63	5,09
	Max	128	8,72	0,74	5,18
	Moy	123,37	6,76	0,66	5,26
Chenoua	Min	93,3	5,46	0,29	5,45
	Max	138	8,77	0,78	5,59
	Moy	120,03	6,61	0,57	5,51

2.3. Abdelouahab, 1998 :

Cette étude a permis la détermination des métaux lourds dans la chair de *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* de quatre sites de la région d'Alger : port d'Alger, Bordj-El-kiffan, îlots Sandja, Chenoua. les métaux ont été dosés dans la chair des moules par spectrophotométrie d'adsorption atomique, le protocole expérimental a été vérifié par l'emploi des échantillons de l'AIEA traités statistiquement par la méthode des couples. Cette méthode s'avère sensible, rapide et donc efficace pour un travail routine. Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (dans la moule *Perna perna* de la région d'Alger, sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme des valeurs moyennes.

Tableau 5 : les valeurs extrêmes des teneurs en métaux traces dans la moule *M. galloprovincialis* et *Perna perna* de la région d'Alger.

Espèce	site	Zn µg/g	Pb µg/g	Mn µg/g	Hg µg/g	Cd µg/g	Co µg/g	As µg/g	Cr µg/g
<i>M. galloprovincialis</i>	Port d'Alger	172,87	6,1	6,45	0,28	0,36	1,01	6,45	2,06
	Bordj-El-kiffan	187,23	4,83	17,26	0,47	0,49	1,17	9,99	1,66
<i>P. perna</i>	Port d'Alger	130,44	4,71	9,37	0,29	0,67	0,79	6,47	4,31
	Bordj-El-kiffan	150,23	6,18	26,46	0,31	0,43	1,83	7,64	1,3
	Îlots de Sandja	117,32	4,08	26,81	0,51	0,48	1,36	9,83	0,07
	Chenoua	138,6	2,68	10,1	0,28	0,56	0,93	9,06	0,72

Nous remarquons une dilution des teneurs des métaux de part et d'autre part dans le port d'Alger à l'exception du Cobalt pour *M. galloprovincialis*, du manganèse et du chrome pour *P. perna*. cela

peut être interprété par l'existence d'une source à l'extérieur du port d'Alger et par l'hydrodynamisme des eaux de la côte algéroise, de type cyclonique avec un «Upewilling » situé au centre de la baie (Boulahdid et *al*, 1995), ce qui entraînerait la remontée des métaux .

Les moules du port d'Alger sont plus concentrées en Cd, Zn, Pb, et Cr. Bordj-El- kiffan sont plus concentrées en Mn, Co et en As (avec *P.perna*), Sandja sont plus concentrées en Hg, As. On peut classer les sites non portuaires de la région d'Alger dans le sens décroissant comme suit : Bordj-El-kiffan > Sandja > Chenoua. (Abdelouahab, 1998).

2.4. Meguellati et Sraoui 2012 :

Le travail porte sur les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.

- Il s'inscrit dans le cadre du suivi de l'évolution de la pollution par les métaux traces dans les sédiments et les moules au niveau des baies d'Alger et de Bou-Ismaïl.

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

- Le protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P. / I.A.E.A (1985 a et b, 1986a et b, 1998). Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

- Les résultats obtenus de l'analyse chimique des métaux traces par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) Pour les absorbances négatives données par l'appareil (SAA) dans le cas du cadmium, le système flamme n'est pas adéquat pour l'analyse de ce métal.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Mn) des moules de la baie d'Alger et de la baie de la Bou-Imail sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes. (Meguellati et Sraoui 2012).

Tableau 6 : les valeurs moyennes des teneurs ($\mu\text{g/g p.s}$) en métaux traces dans la moule *Mytilus galloprovincialis* de la baie d'Alger et de la baie de la Bou-Imail (Meguellati et Sraoui, 2012).

		Zinc	Cuivre	Plomb	Manganèse
La baie d'Alger	Port d'Alger	163	6	15,3	13
	Bordj-El Kiffan	202	6	13,1	13
	Moy	182,5	6	14,2	13
La baie de Bou-Imail	Fouka	279	9	10,8	15
	îlot de Sidi Fredj	262	6	13,05	15
	Moy	270,5	7,5	13,05	15

Les teneurs mesurées à Bordj-El Kiffan sont supérieures à celles de l'Espadon pour le zinc et le contraire pour le plomb, alors qu'il y'a le même résultat pour le Cu et le Mn. Ceci peut s'expliquer par la différence d'hydrodynamisme entre les deux sites. A l'Espadon (l'extérieur du port) semble être influencée par le passage du courant atlantique, permettant le renouvellement de ses eaux, ceci peut être interprété par l'existence d'une autre source de ces éléments.

Les teneurs mesurées à Fouka sont supérieures à celles de sidi fredj. Cela signifie que Fouka est plus polluée (la zone est proche d'un rejet des eaux usées) alors que l'îlot de Sidi Fredj subit un fort hydrodynamisme qui permet le renouvellement permanent de ses eaux.

3. Evaluation du Niveau de la pollution :

Tableau 11 : 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

*Analyse et
Interprétations des
données acquises*

1. Traitement et analyse des données acquises :

Tableau 7 : tableau récapitulatif des teneurs moyennes ($\mu\text{g/g p.s}$) en métaux traces dans les moules du littoral algérois

Espèce	Référence	site	Zn	Cu	Pb	Mn	Hg	Cd	Co	As	Cr	
<i>M. galloprovincialis</i>	(Abdeloua-hab, 1998)	Port d'Alger	172,87	-	6,1	6,45	0,28	0,36	1,01	6,45	2,06	
		Bordj-El-kiffan	187,23	-	4,83	17,26	0,47	0,49	1,17	9,99	1,66	
	(Meguellati et Sraoui 2012)	Port d'Alger	163	6	15,3	13	-	-	-	-	-	-
		Bordj-El-kiffan	202	6	13,1	13	-	-	-	-	-	-
		Sidi fredj	262	6	10,8	15	-	-	-	-	-	-
	Fouka marine	279	9	15,3	15	-	-	-	-	-	-	
<i>P. perna</i>	(Asso, 1982)	Port d'Alger	189,2	14,9	8,9	13,6	0,59	0,56	-	-	-	
		Ilôts de Sandja	252,6	9,7	11,91	7,5	0,27	1,93	-	-	-	
		Chenoua	150	10,4	2,6	10,9	0,17	0,91	-	-	-	
	(Boutouchent, 1988)	Port d'Alger	220	0,66	15,57	-	-	0,57	-	-	-	
		Ilôts de sandja	123,37	5,26	6,76	-	-	0,66	-	-	-	
		Chenoua	120,03	5,51	6,61	-	-	0,57	-	-	-	
	(Abdeloua-hab, 1998)	Port d'Alger	130,44	-	4,71	9,37	0,29	0,67	0,79	6,47	4,31	
		Bordj-El-kiffan	150,23	-	6,18	26,46	0,31	0,43	1,83	7,64	1,3	
		Ilôts de Sandja	117,32	-	4,08	26,81	0,51	0,48	1,36	9,83	0,07	
Chenoua		138,6	-	2,68	10,1	0,28	0,56	0,93	9,06	0,72		

Remarque : les teneurs des métaux traces de (Asso, 1982), sont faite a partir de calculer la concentration moyenne entre trois paramètres (la taille, le sexe, la saison).

1.2. Les teneurs des métaux traces dans la moule *M. galloprovincialis* et *P. perna* :

1.2.1. Le zinc :

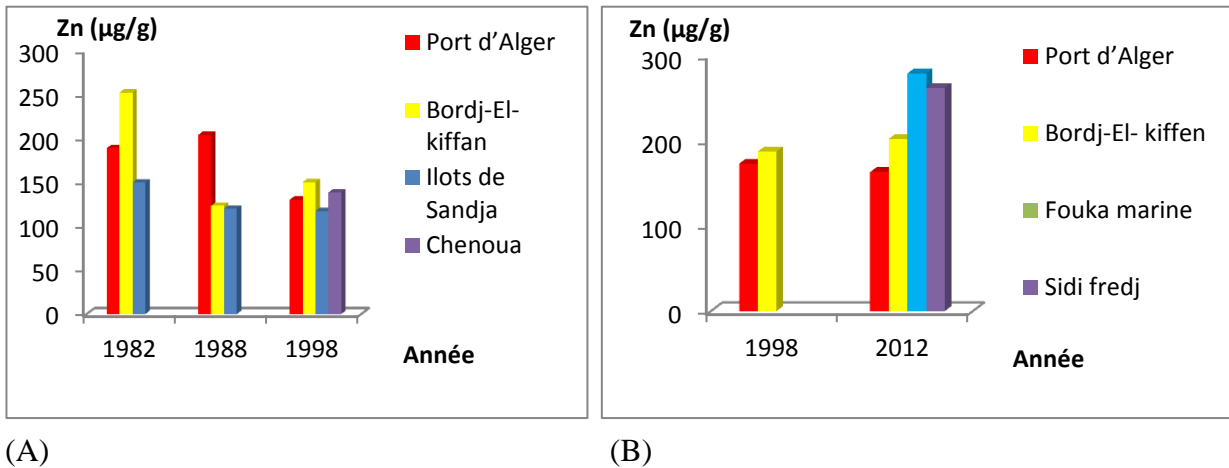


Figure 4 : Evolution de la concentration en zinc dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

Les teneurs en Zn dans les moules de Bordj El Kiffan sont les plus importantes, ce métal proviendrait en particulier, des industries suivantes (Collectif, 1993) :

- De la CELPAP de l'Oued Smar ;
- De la SNIC de Rouiba et de Reghaia ;
- De la fabrique des câbles électriques de l'Oued Smar et de Rouiba. Cette distribution a été également observée par (Abdelouahab, 1998), mais avec des teneurs faibles. Les teneurs en Zn sont plus importantes dans les moules de Fouka que

celles de l'îlot de Sidi Fredj, ces éléments proviendraient essentiellement (Collectif, 1993 ; Boudjellal et al, 1995) de l'importante activité agricole de cette zone.

1.2.2. Le cuivre :

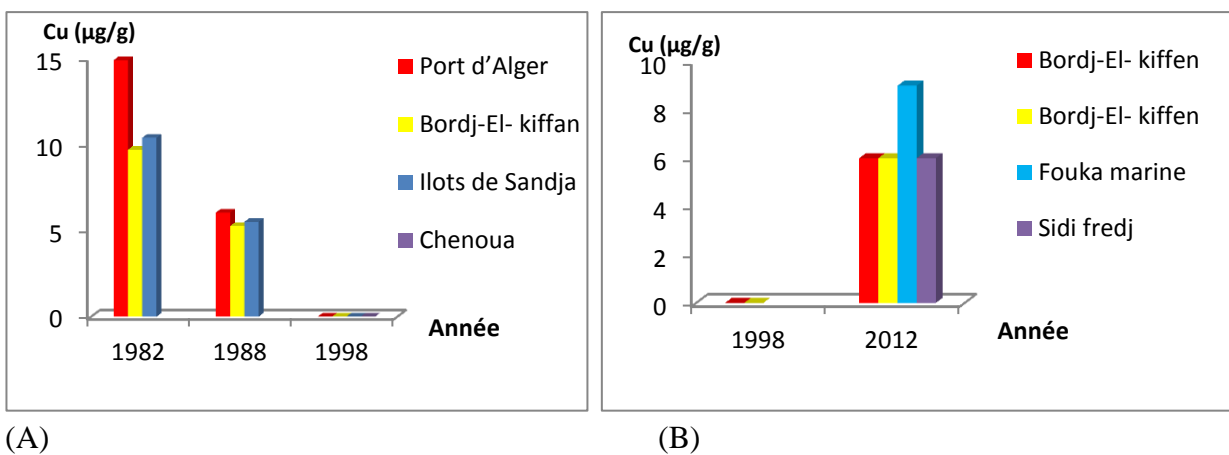


Figure 5 : Evolution de la concentration en cuivre dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

La valeur moyenne des concentrations en cuivre pour les deux espèces récoltés dans le port d'Alger et de Bordj-El-kiffan est de 6 µg/g p.s. Le cuivre serait issu, essentiellement, des industries suivantes (Collectif, 1993) :

- De métallurgie ; Des fonderies d'El Harrach et de Baraki ;
- Des chaudronneries d'Hussein-Day.

1.2.3. Le plomb :

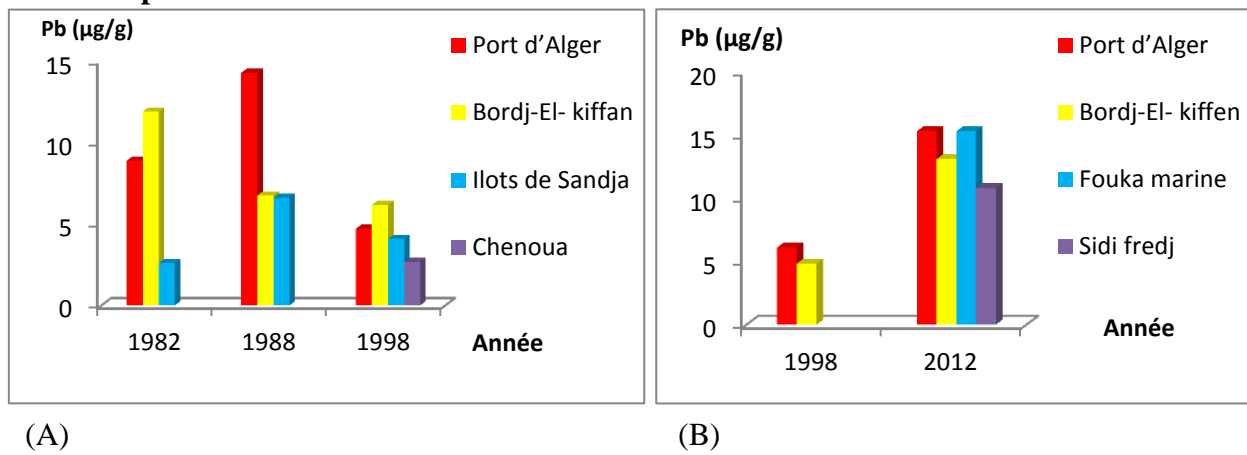


Figure 6 : Evolution de la concentration en plomb dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

La teneur en plomb est plus importante dans les moules du port d'Alger et Bordj-El-kiffan, cela suggère l'origine atmosphérique du Pb. Ce métal serait issu non seulement des effluents industriels de la région d'Alger, mais il proviendrait également de la combustion des essences du parc automobile de la ville d'Alger.

En effet, 60 du Pb contenu dans les aérosols au dessus du Nord Est de la méditerrané sont issus des véhicules (Remondabi et al, 1992). De plus Guien et al (1991) estiment que 80 du Pb dans les eaux du golf de Lion ont une origine atmosphérique.

Ce métal serait issu, en partie, des industries installées dans cette région, comme celle (Collectif, 1993) :

- De papier de l'Oued Smar ;
- Des peintures d'El-Harrach ;
- Des tanneries et mégisseries de Rouiba et Reghaia. A cet effet, un problème lié à l'environnement causé par le Pb issu de ces entreprises a été rapporté dans la littérature (Melah et al, 1995b).

1.2.4. Le manganèse :

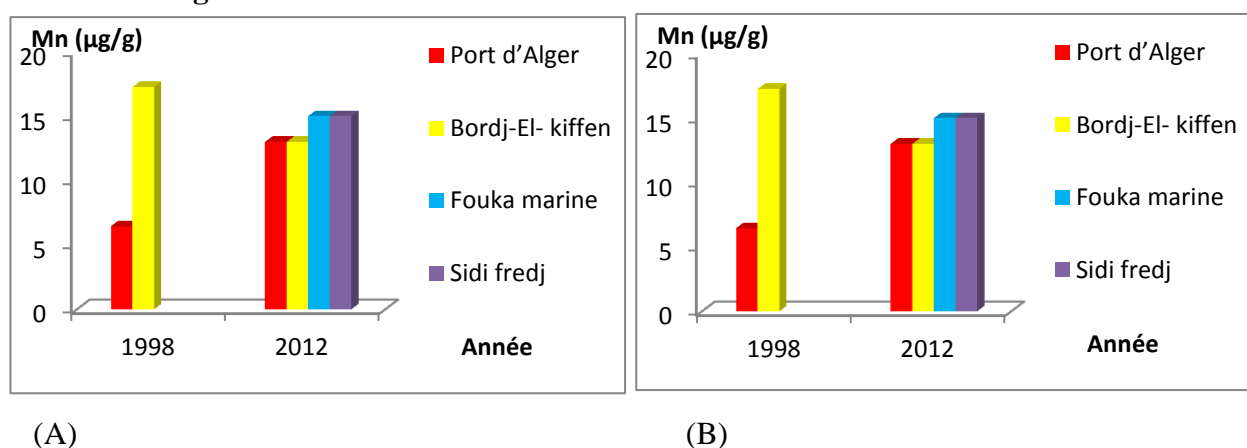


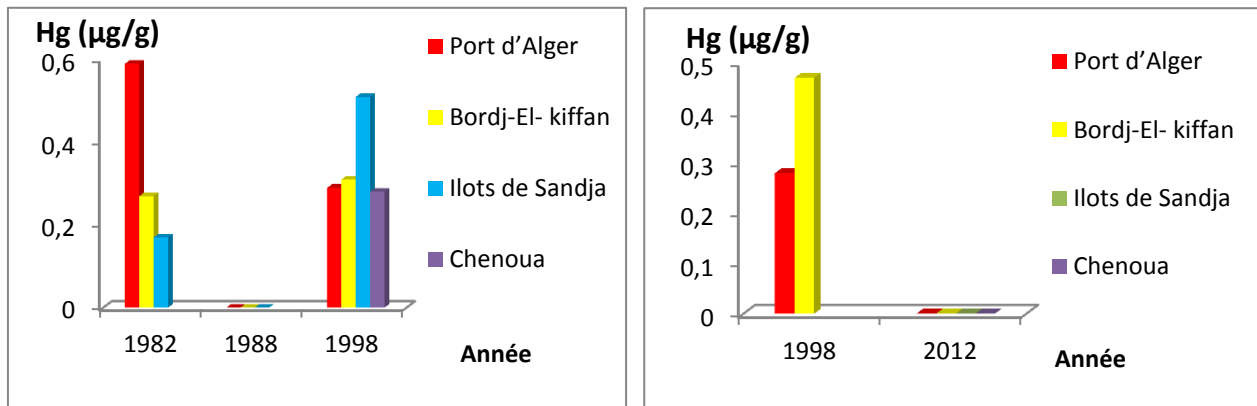
Figure 7 : Evolution de la concentration en manganèse dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

Les moules de Bordj EL Kiffan sont plus concentrés en Mn, ce métal proviendrait, en partie, des industries suivantes (Collectif, 1993) :

- Industries agro-alimentaires d'El-Harrach ;
- Industries de peintures d'El-Harrach ;
- Fabrique d'allumettes et de câbles électriques de Bordj EL Kiffan. Les teneurs en Mn sont plus importantes dans les moules de Fouka que celles de l'îlot de Sidi Fredj, ces éléments proviendraient essentiellement (Collectif, 1993 ; Boudjellal et al, 1995) de :

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

1.2.5. Le mercure :



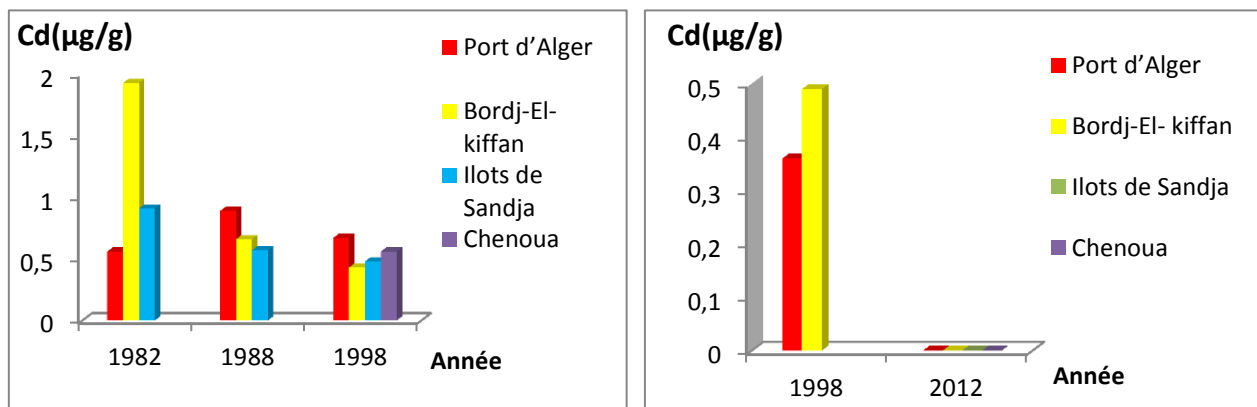
(A)

(B)

Figure 8 : Evolution de la concentration en mercure dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

Les moules de îlot de Sandja et de Bordj EL Kiffan et du port d'Alger à l'échelle de temps, sont plus concentrés en Hg, ce métal proviendrait, en partie, des industries, concernant îlot de Sandja le mercure du port entraîné par l'hydraulodynamisme.

1.2.6. Le cadmium :



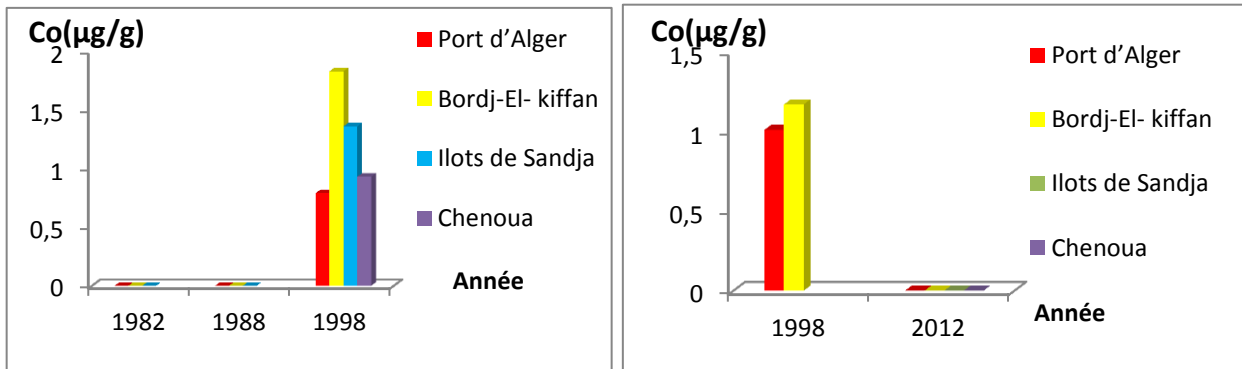
(A)

(B)

Figure 9 : Evolution de la concentration en cadmium dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

Les moules du port d'Alger et de Bordj EL Kiffan sont plus concentrés en Cd, ce métal proviendrait, en partie, principalement en électricité (accumulateurs), en électronique, en métallurgie (traitement des surfaces par cadmiage) et dans l'industrie des matières plastiques (stabilisateur de polymères) de la zone industrielle de Oued Smar.

1.2.7. Le cobalet :



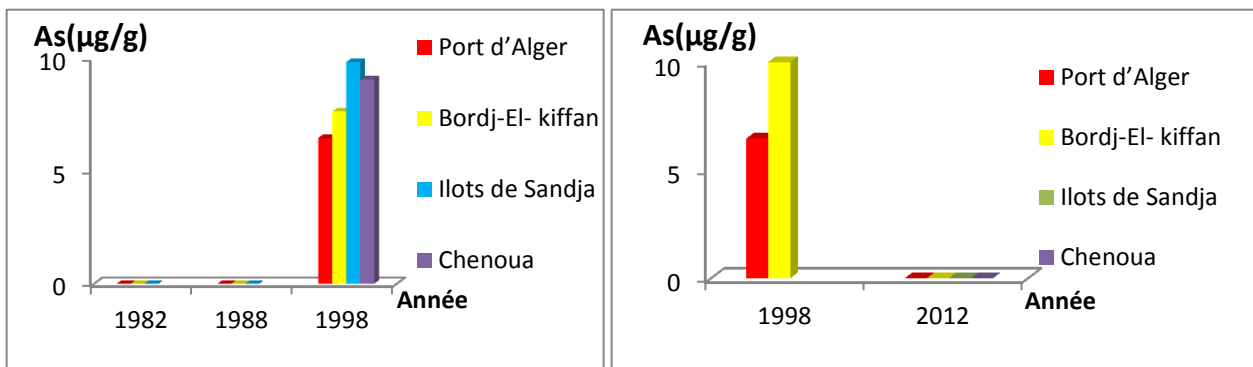
(A)

(B)

Figure 10 : Evolution de la concentration en cobalet dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

Les moules de îlot de Sandja et de Bordj EL Kiffan et du port d'Alger sont plus concentrés en Co, dans les deux espèces *P. perna*, *M. galloprovincialis*.

1.2.8. L'arsenic :



(A)

(B)

Figure 11 : Evolution de la concentration en arsenic dans la moule *P. perna* (A) et *M. galloprovincialis* (B).

Les moules de îlot de Sandja et de Bordj EL Kiffan et du port d'Alger sont plus concentrés en As, dans les deux espèces *P. perna*, *M. galloprovincialis*

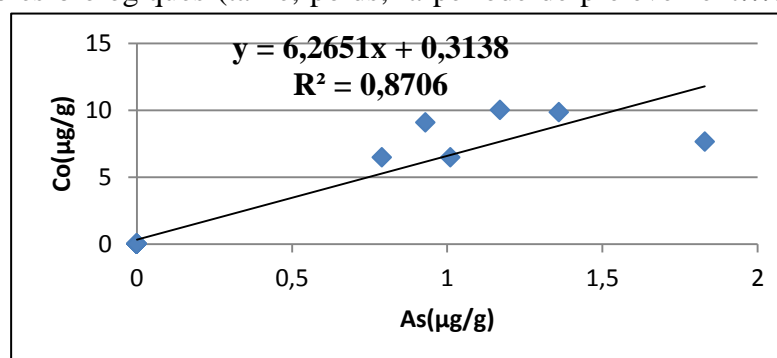
On peut conclure que, la moule *M. galloprovincialis* bioaccumule mieux les éléments traces métalliques que la moule *P. perna*

2. Corrélation inter métaux dans les moules du littoral algérois :

Tableau 8 : Corrélation inter métaux dans les deux espèces de moules, *M. galloprovincialis* et *P. perna* dans le littoral algérois.

Type de corrélation	r	Conclusion
Zn-Cu	0,461	Corrélation non significative
Zn-Pb	0,693	Corrélation non significative
Zn-Mn	0,046	Corrélation non significative
Zn-Hg	0,240	Corrélation non significative
Zn-Cd	0,024	Corrélation non significative
Zn-Co	0,409	Corrélation non significative
Zn-As	0,427	Corrélation non significative
Cu-Pb	0,472	Corrélation non significative
Cu-Mn	0,249	Corrélation non significative
Cu-Hg	0,170	Corrélation non significative
Cu-Cd	0,199	Corrélation non significative
Cu-Co	0,802	Corrélation non significative
Cu-As	0,833	Corrélation non significative
Pb-Mn	0,0224	Corrélation non significative
Pb-Hg	0,3015	Corrélation non significative
Pb-Cd	0,0378	Corrélation non significative
Pb-Co	0,3413	Corrélation non significative
Pb-As	0,4288	Corrélation non significative
Mn-Hg	0,2598	Corrélation non significative
Mn-Cd	0,1097	Corrélation non significative
Mn-Co	0,3781	Corrélation non significative
Mn-As	0,2643	Corrélation non significative
Hg-Cd	0,0658	Corrélation non significative
Hg-Co	0,3657	Corrélation non significative
Hg-As	0,4221	Corrélation non significative
Cd-Co	0,0058	Corrélation non significative
Cd-As	0,003	Corrélation non significative
Co-As	0,933	Corrélation significative

Une seule corrélation significative entre le couple Co-As est révélé (Tableau), ce qui implique que les moules des deux baies bioaccumulent ces deux éléments métalliques de la même façon. L'absence d'une corrélation entre les autres couples de métaux ne peut s'expliquer que par la différence des variables biologiques (taille, poids, la période de prélèvement...etc.) des moules du littoral algérois.

**Figure 12** : Corrélation significative entre le Cobalt et Arsenic dans les deux espèces de moules, *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*

Conclusion générale

La présente étude, rentre dans le cadre de suivi l'évolution et d'évaluer l'état de pollution du littoral algérois par les métaux traces. Cependant, cette recherche bibliographique constitue une base de données sur le maximum de travaux réalisés sur la contamination des moules de la région d'Alger par les métaux traces.

Il était donc urgent d'apporter des éléments permettant d'apprécier le niveau actuel de la pollution afin de suivre dans l'avenir l'évolution de la qualité des eaux littorales et de mettre en œuvre, dès maintenant, les mesures suffisantes pour limiter la destruction du milieu marin.

Enfin, cette étude montre également que *M. galloprovincialis*, semble d'avoir plus d'affinité pour le Zn, en revanche, *P. perna* à plus d'affinité pour Mn, cette différence de l'affinité des espèces vis-à-vis des métaux va modifier la stratégie d'utilisation, des bioindicateurs. Les auteurs préconisent l'utilisation de plusieurs espèces pour l'étude de pollution par site.

Concernant l'étude des teneurs en fonction des sites, et comparées aux teneurs des métaux des zones industrialisées du bassin méditerranéen et à la valeur admise dans les produits de la mer, donc, les moules du littoral algérois sont :

- Celles des régions classée comme polluées exceptés pour le Mn, et Co à Sandja- et le As à Bordj el kiffan, Sandja, et Chenoua.

Références bibliographiques :

Abdelouahab, N., 1998. Détermination de la teneur de quelques métaux lourds dans deux espèces de moules dans la régions d'Alger. *Mémoire de Magister en océanographie biologique, option : Molysmologie, ISMAL, 29-31p + annexes.*

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

Bélangier, D., 2009. Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. *Grade de maître en écologie internationale. Université de sherbrooke ,Canada, 15-31p.*

Boutouchent, T., 1988. Contrubution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds (Pb, Cu, Cd, et Zn) chez deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* et mise en évidence de l'auto-épuration dans l'interet d'une mytiliculture en mer ouverte. *Mémoire de technicien superieur en aquaculture.institut de technologie des pêches et de l'aquaculture, 44-75p.*

Billon, G., Magnier, A., Lourino-Cabana, B., Baeyens, W., Fischer, J.C., et Ouddane, B., 2010. Mise en place d'un suivi en continu d'éléments traces métalliques dans la colonne d'eau du canal de la Deûle.*Université de Lille 1, 1-36p.*

Boudjellal, Y., Frehat, N., Djillali, M., Azzouz, M., 1995.Heavy metals the superficial sediments of Bouismail bay. Laboratory of chemistry and marine pollution, ISMAL. *Rapp. Com. Int. Mer. Méd.34, 134p.*

Bourg, A., 1979. "Spéciation chimique des métaux traces dans les systèmes aquatiques." *J. Franc. Hydrologie 10 (3): 159-164.*

Bowen, H. J. M., 1966. "Trace elements in biochemistry." *Academic Press, Londres: 241.*

Campbell, P. G. C., . Stokes, P. M., 1985. "Acidification and toxicity of metals to aquatic biota." *Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 2034.*

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.*

Collectif, 1993. Etude de protection contre la pollution des ports et du littoral algériens-détermination de l'origine de la des ports et radesportuaire et au voisinage des principales plages algériennes. *Rapports partiels n° 1, 2, 3, 4. l'institut pour la qualité des eaux du Danemark en association avec le laboratoire d'études maritimes d'Algérie ; Dorsch consult d'Allemagne et l'institut danois d'hydraulique.*

Corvi, C., Zimmerli, P., Ortelli, D., Khim-Heang, S., Becker Van Slooten, K., 2005. Métaux et micropolluants organiques dans les eaux, les moules et les poissons du Léman. *Rapp. Comm.int prot.eaux léman contre pollut, compagne 2004*, 55-78p.

Cossa, D., Rondeau, J.C., 1985. Seasonal geographical and size induced variability in mercury content of *Mytilus edulis* in an estuarine environment: a reassessment of mercury pollution level in the estuary and golf of St Laurent. *Marine biology*, 88, 43-49

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.

Eisler, R., 1981. Trace metal concentration in marine organisms. Oxford, Pergamon Press.

Jansen, S., R. Blust et H. P. VanLeeuwen (2002). "Metal speciation dynamics and bioavailability: Zn(II) and Cd(II) uptake by mussel (*Mytilus edulis*) and carp (*Cyprinus carpio*). A flux-based model for experimental metal uptake data demonstrates the role of labile complexes." *Environ. Sci. Technol.* **36**(10): 2164-2170.

Ferreira, D., 2009. Caractérisation de la biodisponibilité du cuivre dans les écosystèmes aquatiques par échantillonnage passif (DGT : Diffusion Gradient in Thin films), bio-indication (bryophytes aquatiques), et modélisation (BLM : Biotic Ligand Model). *Thèse de doctorat en Sciences et Techniques Université Paul Cezanne Aix-Marseille III*, 16p.

Geffard, O., 2001. Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants étudiés. *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, France*, 9-26p.

Gilles, R., Pequeux, A., 1983. Interactions of chemical and osmotic regulation with the environment. The biology of Crustacea, Environmental adaptations. D. E. Bliss, F. J. Vernberg et W.B. Vernberg. *New York, Academic Press.* 8: 109-177.

Goldberg, E. D., 1975. "The Mussel Watch." *Mar. Pollut. Bull.* 6: 111-113.

Ifremer., 2002. Evaluation de la contamination chimique basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules. *Guide méthodologique réseau intégrateurs biologique Édition 2002.*

Lesven, L., 2008. Devenir des éléments traces métalliques au sein du sédiment, un compartiment clé de l'environnement aquatique. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, France*, 23-29p

Langstone, w.J., Bebianno,M.J. and Minjiang,Z.,1999. A comparaison of metal binding proteins and cadmiun metabolsm in the marine molluscs *Littorina littoria* (Gastéropoda), *Mytilus edulis* and *macoma balthica* (Bivalvia), *Mar.EnvIRON.Res.*, 28,195-200.

Moustaid, K., Nasser, B., Baudrimont, I., Anane, R., El Idrissi, M., Bouzidi, A., Creppy, E., 2005. Évaluation comparée de la toxicité des moules (*Mytilus galloprovincialis*) de deux sites du littoral atlantique marocain sur des souris, *Centre de recherche biologiques* 328, 281–289p.

Meguellati, A., 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, Option: Environnement, ENSSMAL.*

Nakhelé, K., 2003. Le mercure, le cadmium, le plomb dans les eaux littorales libanaises : apports et suivi au moyen bioindicateurs quantitatifs (éponges, bivalves, gastéropodes). *Thèse de Doctorat en interactions toxiques dans écosystèmes, Université de Paris 7.*

Phillips, D. J. H., 1976. "The Common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper II. Relationship of Metals in the mussel to those discharged by industry." *Mar. Biol* 38: 71-80.

Phillips, D. J. H., 1980. Quantitative aquatic biological indicators: their use to monitor trace metal and organochlorine pollution, *Applied Science Publishers, London.*

Ramade, F.,1992. Précis d'écotoxicologie. *Paris.*

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.*

Turner, D. R.,1995. Problems in trace metals speciation modeling. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. A. Tessier et D. R. Turner, Wiley. 3: 150-196

Viarengo, A., G. Mancinelli, M. Pertica, R. Fabri et M. Orunesa., 1993. "Effects of heavy metals on the Ca²⁺ ATPase activity present in gill cellule plasma membrane of mussels (*Mytilus galloprovincialis*)." *Comp. Biochem. Physiol* 106C: 655-660.

Biologie de la moule « *Mytilus galloprovincialis* »

1. Systématique

La classification de la moule *Mytilus galloprovincialis* est la suivante :

Règne : Animal

Embranchement : Mollusques

Classe : bivalves (pélicypodes).

Sous classe : Ptériomorphes

Ordre : Mytiloidés

Famille : Mytilidés

Genre : *Mytilus*

Espèce : *galloprovincialis* (Lamarck 1819).

2. Anatomie

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

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

3. Nutrition

Consommateur microphage, la moule se nourrit de phytoplanctons (algues microscopiques végétales), et de particules en suspension. Elle utilise son appareil branchial comme un filtre, en effet le courant d'eau inhalant passe à travers les branchies qui joue le rôle de tamis et qui comporte des sillons garnis de cellules muqueuses qui agglomèrent les particules en suspension dans l'eau ; les microparticules consommables sont alors transportées jusqu'à la bouche puis atteignent ensuite l'estomac ou elles sont broyées, entourées de mucus et pénètrent dans la glande digestive (hépatopancréas). Les particules non consommables sont alors rejetées à l'extérieur en forme de pseudofécès (Daguzan, 1992).

4. Respiration

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

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

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

5. Reproduction

Chez la moule les sexes sont séparés ; au moment de la reproduction les lobes du manteau sont orange chez la femelle et blanchâtre chez le male. La fécondation est externe, la moule femelle rejette ses œufs dans la cavité palléale ou ils sont fécondés par les spermatozoïdes, les œufs fécondés, au nombre de 500 000 environ donnent des larves trochophores univalves puis des larves véligères bivalves ciliées. Ces larves planctoniques tombent ensuite sur le fond et se métamorphosent en des jeunes moules.

Biologie de la moule « *Perna perna* »

1. Systématique

La classification de la moule *Perna perna* est la suivante :

Règne: Animal

Embranchement: Mollusques

Sous Embranchement: Conchifères

Classe: Bivalvia

Ordre: Mytiloïda

Famille: Mytilidae

Genre: *Perna* (Linnaeus , L., 1758)

Nom Latin: *Perna perna*

2. Description

Perna perna est un organisme filtreur, bioindicateur de la qualité bactériologique des eaux du littoral, moule de forme allongée et de couleur noire violacée, la couleur du manteau permet de distinguer les deux sexes, elle est blanchâtre chez les mâles et rosé saumon à orange chez les femelles. En méditerranée sa taille peut atteindre plus de 90mm.

3. Nutrition

Absorbent le phytoplancton ne retenant que les protozoaires, les microbes et les diatomées.

4. Reproduction

C'est une espèce gonochorique avec émission de gamètes entre avril et juin.

5. Habitat

On la rencontre sur les fonds de l'étage infralittoral entre 3 et 5 m, elle se fixe par son byssus aussi bien sur des supports rocheux que sableux ou encore vaseux, elle est largement rencontrée dans les eaux saumâtres des lagunes côtières, c'est une espèce caractérisée par une forte tolérance vis-à-vis des conditions du milieu, ainsi elles supportent des températures de 13°C en hiver et entre 27 et 28°C en été et des salinités comprise entre 7 et 40 ‰