

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

Mohamed MERZOUKI, Najat TALIB & Jamila SIF*

Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire d'Etude et d'Analyse Environnementales, Equipe de Physiologie et d'Ecotoxicologie, B.P. 20, 24000 El Jadida, Maroc. * auteur correspondant ; e-mail: sifjamila@yahoo.fr

Résumé. Dans le but d'étudier le pouvoir bio accumulateur du Cu, Cd, Zn et Hg par la glande digestive et le manteau chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et de rechercher une éventuelle corrélation entre cette contamination et le degré de remplissage (indice biométrique) chez cet animal, des moules de classe de taille 3-4 cm ont été prélevées en mai et juin 2004 dans deux sites de la côte d'El Jadida : le site de Hawzia et le site de Jorf-Lasfar. Les stations de ces deux sites ont la particularité d'être situées à différentes distances de rejets urbains et/ou industriels. Les résultats montrent qu'à l'exception du zinc, les teneurs en cadmium, cuivre et mercure présentent une différence significative entre les animaux des deux sites. La répartition tissulaire de ces métaux montre une accumulation préférentielle dans la glande digestive par rapport au manteau de ce bivalve. D'autre part, le degré de remplissage des coquilles, reflété par l'indice de condition, est plus important chez les animaux du site de Hawzia.

Mots clés : *Mytilus galloprovincialis*, métaux lourds, bioaccumulation, glande digestive, manteau, indice de condition.

Condition index and some heavy metal (Cu, Cd, Zn and Hg) content in two organs of the mussel *Mytilus galloprovincialis* from El Jadida coast (Morocco) in May and June 2004.

Abstract. With the objective of comparing the levels of Cu, Cd, Zn and Hg in the digestive gland and the mantle of mussel *Mytilus galloprovincialis* and finding a possible correlation between this contamination and the filling degree (biometric index) in this animal, mussels with a 3 to 4 cm size were sampled in May and June 2004 from two areas: Hawzia and Jorf-Lasfar [Fig. 1]. The sampling sites are located at variable distances from urban and/or industrial effluents. Except for Zn, the results [Tables I & II; Fig. 2] show significant differences in the metal content between the two studied areas. Furthermore, these metals are more accumulated in the digestive gland than the mantle. The condition index is greater in the mussels from Hawzia.

Key words: *Mytilus galloprovincialis*, heavy metals, bio accumulation, digestive gland, mantle, condition index.

INTRODUCTION

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). En raison de son caractère filtreur, sa sédentarité et son pouvoir accumulateur, la moule *Mytilus galloprovincialis* a été utilisée dans les programmes de surveillance de la qualité du milieu marin (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).

Durant ces dernières années, la ville d'El Jadida a connu un développement urbain, agricole, industriel et touristique important, ce qui menace la qualité de son milieu marin. En effet, le littoral d'El Jadida reçoit des rejets aussi bien domestiques qu'industriels sans aucun traitement préalable. Plusieurs travaux scientifiques réalisés dans la région ont partiellement mis à jour cette situation (Kaimoussi 1996, Essedaoui *et al.* 1998). Les moulières sauvages des côtes marocaines en général et des côtes des Doukkala en particulier, sont surexploitées et également commercialisées localement de façon artisanale sans aucun contrôle sanitaire. Le risque d'intoxication est donc bien réel pour le consommateur.

Le présent travail a pour objectif d'évaluer le pouvoir accumulateur de quelques métaux lourds essentiels (Cu, Zn) et toxiques (Cd, Hg) par la glande digestive et le manteau de la moule *Mytilus galloprovincialis*, l'un des bivalves les plus consommés dans la région. D'autre part, le degré de remplissage des coquilles de ce Bivalve en fonction de sa contamination a été évalué.

MATERIEL ET METHODES

Localisation des sites d'étude

Deux sites ont été choisis pour cette étude, au niveau du littoral d'El Jadida (Fig. 1): Hawzia et Jorf Lasfar.

Site de Hawzia

Ce site se trouve à 1 km au nord de la ville d'El Jadida et à 28 km au nord des rejets du complexe phosphatier de Jorf Lasfar. Ce site est caractérisé par la présence d'un rejet mixte industriel (en provenance de la cité industrielle) et urbain. Nous y avons choisi deux stations (H₁ et H₂) :

* H₁ : située à 1 km du centre ville, elle reçoit directement les rejets mixtes et abrite la plus grande et la plus accessible moulière de la ville ;

* H₂ : elle se trouve à environ 500 à 800 m au nord de la station H₁. La moulière y est moins étendue.

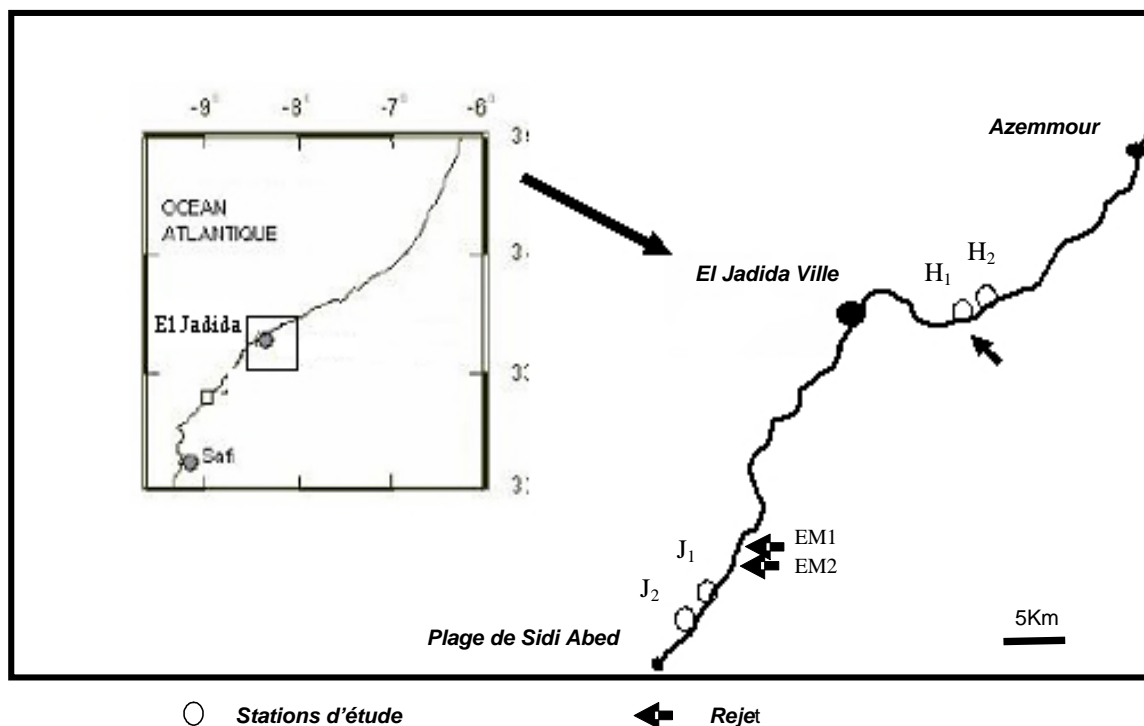


Figure 1. Localisation des stations prospectées (H₁, H₂, J₁ et J₂) de la côte d'El Jadida. EM1 : rejet principal ; EM2 : rejet secondaire.

Site de Jorf-Lasfar

Situé à 25 km au sud de la ville d'El Jadida, ce site est caractérisé par la présence du complexe de traitement des phosphates "Maroc-Phosphore III et IV" dont les rejets sont directement déversés en mer. Deux stations (J₁ et J₂) y ont été choisies à différentes distances des rejets de ce complexe industriel. (Fig. 1) :

* J₁ se trouve à environ 500 m au sud-ouest du rejet secondaire EM2 du complexe phosphatier ; nous y avons trouvé des patelles et une très grande quantité de débris de coquilles de moules, preuve d'une grande mortalité ;

* J₂ est située à 1500 m environ au sud de la station J₁ ; les patelles et autres gastéropodes y sont un peu plus abondants. La moulière y est présente, mais elle est très peu étendue.

Prélèvement et préparation des animaux

Une quarantaine de moules de l'espèce *Mytilus galloprovincialis* ont été prélevées par station aux mois de mai et de juin de l'année 2004. Les prélèvements ont eu lieu à marée basse, dans la zone intertidale dans le médiolittoral inférieur.

Les animaux appartenant à la classe de taille 3-4 cm, ont été conservés dans l'eau de mer et transportés au laboratoire dans des glacières. Dès leur arrivée au laboratoire, les moules ont été brossées, lavées puis soumises aux conditions de purge qui consiste à les mettre dans l'eau de mer oxygénée durant 36 h, afin d'éliminer le contenu de

leur tube digestif et éviter toute interférence avec les métaux à doser dans les tissus des animaux.

Dosage des éléments métalliques

Après la période de purge, les animaux sont décoquillés ; leur glande digestive et leur manteau sont séparés du reste de la chair, pesés, séchés à l'étuve à 70°C pendant 48 h puis broyés pour être minéralisés. La minéralisation consiste en une digestion à froid d'un échantillon de 0,5 g dans 10 ml d'acide nitrique (HNO₃) et 4 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré. La digestion se fait d'abord à froid (quelques heures) puis les tubes contenant les échantillons sont placés dans un bain de sable à une température de 100 à 150°C pendant 15 h (digestion à chaud). Les volumes des minéralisats ainsi obtenus sont ajustés à 20 ml, à l'eau bidistillée. Les métaux (Cd, Cu et Zn) sont alors analysés au spectrophotomètre d'absorption atomique (SpectrAA 250 plus, Varian). Pour l'intercalibration de notre technique d'analyse, des échantillons standard « Dolt-2 » (Broyats secs de foie de chien de mer) ont été utilisés. Les analyses des métaux ont été effectuées au Laboratoire de Biologie Marine de La Rochelle (France).

Pour le mercure, les échantillons des glandes digestives et des manteaux sont broyés également après séchage. La poudre obtenue est conservée à sec puis analysée par Advanced Mercury Analyser (AMA 254, Altec) au Centre Commun d'Analyse (CCA) de La Rochelle en France. Pour l'inter calibration de l'appareil, des échantillons standard « Tort-2 » qui correspond aux broyats secs d'hépatopancréas de homard, ont été utilisés.

Les résultats obtenus sont exprimés en $\mu\text{g/g}$ de poids sec (p.s).

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, sep 85), exprimé par l'équation :

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

$PTSEP = \text{Poids des tissus mous sans l'eau palléale}$

Une quarantaine de moules issues des stations prospectées sont sélectionnées pour avoir des tailles aussi proches que possible (classe 3-4 cm). La même classe de taille utilisée pour le dosage métallique a été respectée. Les animaux sont ensuite lavés à l'eau courante et brossés. Le poids total (coquille + chair), celui de la partie molle seule et celui de la coquille séchée sont notés.

Traitements statistiques

Les résultats sont présentés en moyennes + écart standard. La comparaison des concentrations en métaux dans la glande digestive et le manteau des moules des différentes stations a été effectuée en utilisant le test ANOVA. Le test de Duncan a été également utilisé pour comparer les teneurs d'un même métal dans les différentes stations (comparaison inter-stations).

RESULTATS

Bioaccumulation des métaux

Cadmium

Les concentrations les plus élevées en Cd (Fig. 2A) sont observées au niveau de la glande digestive chez les moules des stations J1 et J2 de Jorf-Lasfar (respectivement $62,629 \mu\text{g/g p.s}$ et $41,077 \mu\text{g/g p.s}$).

Les teneurs les plus faibles ($1,933 \mu\text{g/g p.s.}$) sont notées chez les moules de la station H1 (site de Hawzia) au niveau du manteau.

L'accumulation de ce métal se fait préférentiellement au niveau de la glande digestive par rapport au manteau ($F=59,88$ et $17,53$ respectivement (Tab.II).

Cuivre

Les animaux des stations H₁ et H₂ présentent des teneurs en cuivre plus faibles que celles relevées chez les moules des stations J₁ et J₂. Ces concentrations sont de $0,007$ et $0,0131 \mu\text{g/g p.s}$ au niveau du manteau des animaux des stations H₁ et H₂ respectivement (Fig. 2B). Dans le manteau des moules des stations J₁ et J₂ les teneurs sont de $0,125$ et $3,548 \mu\text{g/g p.s}$.

L'accumulation de Cu est très importante au niveau de la glande digestive par rapport au manteau des animaux. Elle atteint $237,410 \mu\text{g/g p.s}$ contre $3,548 \mu\text{g/g p.s}$ dans la station J₂ (Tab. I).

Tableau I. Concentration (moyenne \pm écart type) du cadmium, cuivre, zinc, et mercure au niveau de la glande digestive (Gd) et du manteau (Mt) de la moule *Mytilus galloprovincialis* issue des différentes stations prospectées (H₁, H₂, J₁ et J₂).

Stations	Organes	Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Hg ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
H1	Mt	1,933 \pm 0,129	0,007 \pm 0,001	139,898 \pm 16,302	0,061 \pm 0,022
	Gd	3,358 \pm 0,112	5,609 \pm 0,816	378,618 \pm 322,152	0,361 \pm 0,283
H2	Mt	2,714 \pm 0,437	0,0131 \pm 0,026	118,233 \pm 6,947	0,074 \pm 0,002
	Gd	4,767 \pm 0,011	5,361 \pm 0,299	246,669 \pm 73,159	0,144 \pm 0,001
J1	Mt	52,121 \pm 4,079	0,125 \pm 0,250	210,859 \pm 32,028	0,436 \pm 0,020
	Gd	62,629 \pm 0,607	206,294 \pm 23,249	248,777 \pm 19,834	1,768 \pm 0,144
J2	Mt	34,013 \pm 0,438	3,548 \pm 1,547	220,814 \pm 27,440	0,365 \pm 0,003
	Gd	41,077 \pm 2,663	237,410 \pm 6,694	292,445 \pm 30,788	1,486 \pm 0,588

Tableau II. Analyse de variance des concentrations en métaux (Cd, Cu, Zn et Hg) dans la glande digestive et le manteau de la moule *Mytilus galloprovincialis*. (* : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; NS : non significatif).

Manteau				Glande digestive			
Cd	Cu	Zn	Hg	Cd	Cu	Zn	Hg
59,88***	4,49 (NS)	1,19 (NS)	52,39***	17,53***	11,82***	0,59 (NS)	7,72**

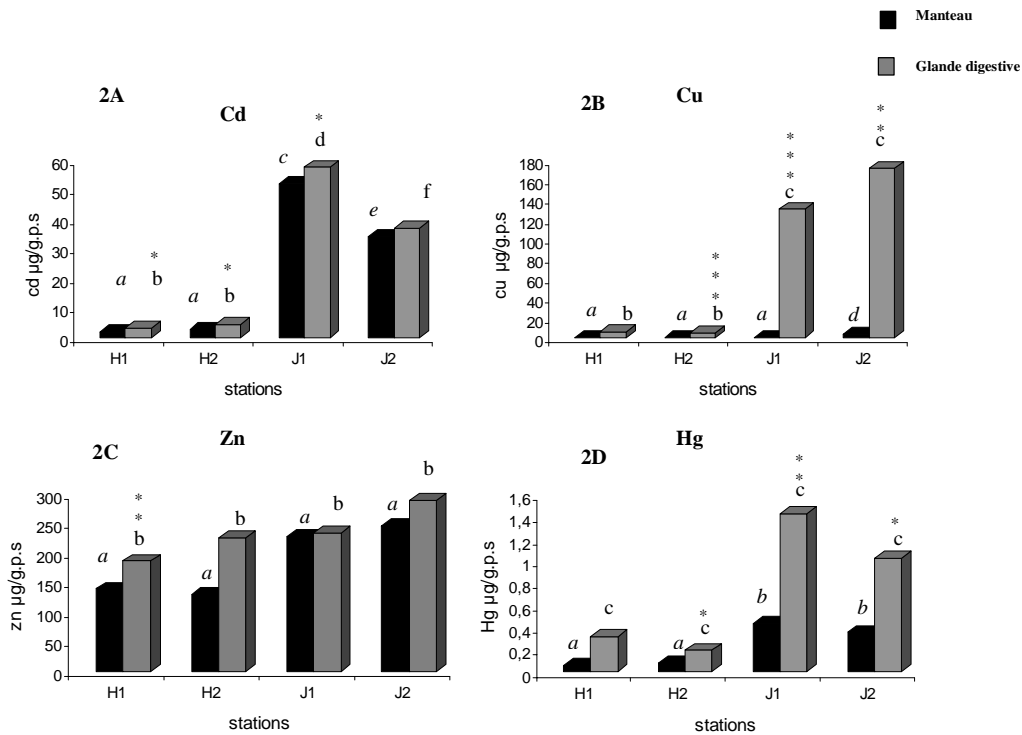


Figure 2. Concentrations en Cd, Cu, Zn et Hg dans la glande digestive et le manteau de la moule *Mytilus galloprovincialis* issue des différentes stations prospectées. Les histogrammes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 95% (même organe selon stations). Analyse de variance entre manteau et glande digestive pour Les moule de la même station est (* : p< 0,05 ; ** : p< 0,01 ; *** : p< 0,001 ; NS : non significatif).

Zinc

Globalement, l'accumulation du Zinc chez les moules des stations étudiées ne montre pas de différences significatives ni selon le site ni selon l'organe (Tab. II), à l'exception des animaux de la station H1 qui présentent des concentrations significativement différentes entre les deux organes.

La teneur la plus élevée est observée dans la glande digestive des animaux de J₂ (292,410 µg/g p.s) et la concentration la plus faible est de 118,233 µg/g p.s (Fig. 2C), notée au niveau du manteau des moules de la station H₂.

Mercur

La concentration maximale du mercure est notée dans la glande digestive des moules des stations J₁ et J₂ avec 1,768 et 1,486 µg/g p.s respectivement (Fig. 2D). Les animaux du site de Hawzia présentent les teneurs les plus faibles, soit 0,061 µg/g p.s dans la station H₁ et 0,074 µg/g p.s dans la station H₂. L'accumulation de ce métal se fait de façon significative au niveau de la glande digestive par rapport au manteau (à p< 0.001).

Indice de condition

Dans la station H₁ (site de Hawzia), Les moules présentent un indice de condition de l'ordre de 19,71 ; c'est la valeur la plus élevée notée au mois de mai (Fig. 3). L'indice de condition le plus faible (9,22) a été noté au mois de juin, chez les animaux issus de la station J₂ (site de Jorf-Lasfar). La différence inter-sites est hautement significative; montrant un remplissage des coquilles en faveur des animaux du site de Hawzia.

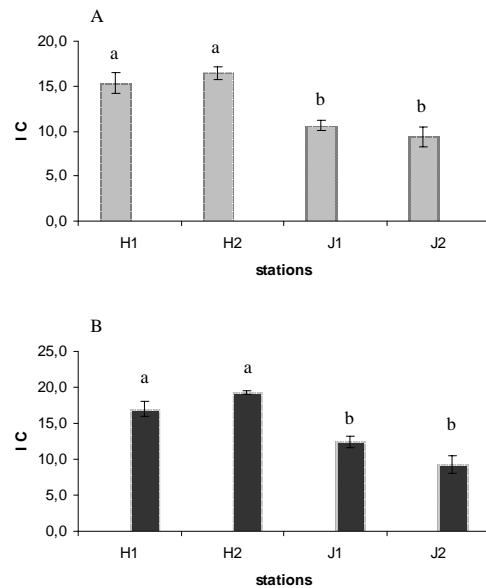


Figure 3. l'indice de condition (IC) mesuré en mai (A) et en juin (B) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* issue des différentes stations prospectées. Les histogrammes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 95%.

DISCUSSION

Le présent travail montre que la moule *Mytilus galloprovincialis* de la région d'El Jadida accumule Cd, Cu, Zn et Hg dans ses tissus. Cette accumulation se fait préférentiellement dans la glande digestive par rapport au manteau. Cet organotropisme confirme bien les données antérieures (Pentreath 1973, Chafai-El Alaoui 1994). Les

animaux du site de Jorf-Lasfar sont les plus contaminés (rejets industriels). Cette bioaccumulation des métaux traces chez *Mytilus galloprovincialis* de la région d'El Jadida connaît une variation saisonnière très nette (Kaimoussi *et al.* 2000, Essedaoui *et al.* 2000) comme il a été signalé par Lee *et al.* (1996), Bei *et al.* (1998), Wright & Mason (1999) et Orban *et al.* (2002). Cette variation est susceptible d'affecter les processus physiologiques de ces bivalves (Essedaoui & Sif 2001, Sif *et al.* 2002).

De la comparaison des teneurs métalliques avec les travaux antérieurs réalisés dans la région et avec les concentrations maximales admissibles chez les mollusques ressort une situation alarmante. En effet, la concentration en cadmium notée dans la glande digestive chez cette même espèce prélevée dans le site de Jorf-Lasfar en 1996/1997 (Essedaoui & Sif 2000, 2001) est d'environ 52 µg/g p.s. contre 62,629 µg/g p.s dans le présent travail (Tab. I).

D'autre part, les concentrations maximales admissibles chez les bivalves, d'après le Réseau National d'Observation (R.N.O. 2004) sont de 1 mg/kg p.f pour le cadmium et 0,5 mg/kg p.f pour le mercure. Les teneurs moyennes selon la même source sont respectivement de 0,32 et 0,03 mg/kg p.f.

Le site de Jorf-Lasfar reste l'un des sites les plus pollués de la région d'El Jadida, comparé au site de Hawzia. Cette pollution métallique est relevée aussi bien au niveau du compartiment sédimentaire (Kaimoussi 1996) qu'au niveau des organismes benthiques tels les Polychètes (Rouhi *et al.* 2007) ou bivalves filtreurs (Cheggour *et al.* 1999, Essedaoui & Sif 2000), mais également chez les macrophytes de la région (Makroum & Moncef 2003). Elle a probablement pour source les phosphogypses issus de la transformation des phosphates par l'acide évacués par le complexe phosphatier de la région (Maroc Phosphore III et IV). D'ailleurs les teneurs métalliques observées sont comparables à celles relevées dans la région de Safi (Idrissi *et al.* 1994), qui abrite elle-même le complexe « Maroc Phosphore I et II ». Cette pollution industrielle reste donc de loin, qualitativement et/ou quantitativement plus nuisible que celle du site de Hawzia.

Pour les métaux essentiels tels le Cu et le Zn, il a été démontré que l'accumulation se fait de deux façons : sous forme dissoute et par ingestion d'aliments, contrairement au cadmium qui est accumulé seulement sous forme dissoute (Wang & Fisher 1996). Ceci pourrait expliquer les fortes teneurs en Zn et en Cu qui ont été observées. De plus, ces deux métaux essentiels sont en partie régulés par les moules suite à leur implication dans de nombreux processus biologiques. Chez l'huître creuse *Crassostrea gigas* de la lagune de Oualidia (Maroc), le zinc paraît plus concentré que le cadmium (Cheggour *et al.* 1999). Cependant, ils peuvent s'avérer nuisibles lorsque leur concentration dépasse un certain seuil, comme il a été montré par Poham & D'Auria, (1982) chez *Mytilus edulis*. Par ailleurs, les teneurs en Cu et en Zn relevées dans le présent travail restent inférieures à celles données par (R.N.O. 1995).

L'indice de condition, indicateur de l'état physiologique des animaux, par sa corrélation avec la concentration en contaminant permet de déterminer un modèle de correction du signal de la pollution obtenu

(Margus 1985, Hariati 1986, Okumus & Stirling 1998, Orban *et al.* 2002, et Cossa & Sanjuan 2002). La variation de poids est due à plusieurs paramètres dont l'état de reproduction et de nutrition, l'utilisation de glycogène et la perte de gamètes pauvres en métaux. Il semble en effet, que les cycles de reproduction dominent la saisonnalité des teneurs métalliques (Cossa 1980; Langston & Spence 1995).

CONCLUSION

Pour les quatre métaux étudiés (Cd, Hg, Cu et Zn), la bioaccumulation se fait préférentiellement dans la glande digestive par rapport au manteau chez la moule *Mytilus galloprovincialis*. Par ailleurs, les moules des stations du site industriel de Jorf-Lasfar sont significativement plus contaminées que celles des stations du site essentiellement urbain de Hawzia. De plus, l'indice de condition étudié révèle que les coquilles des moules issues du site de Jorf-Lasfar ont un degré de remplissage relativement plus faible.

Le site de Jorf-Lasfar est un site pollué. Les concentrations métalliques y sont très élevées, dépassant largement les normes internationales. Ces concentrations métalliques proviennent très probablement du complexe phosphatier de la région, sachant qu'ils sont des sous produits des minerais de phosphate. D'autre part, la consommation incontrôlée et anarchique de ce bivalve peut s'avérer dangereuse pour les populations de la région.

Remerciements

Ce travail a été mené dans le cadre d'un projet du Réseau National des Sciences et Techniques de la Mer (REMÉR) avec un soutien financier (missions et stages) alloué conjointement par le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France au Maroc et par le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique. Nous remercions Pr. A. EL ABIDI de l'Institut National d'Hygiène à Rabat, et le Pr. H. THOMAS-GUYON du Laboratoire de Biologie et Environnement Marin de La Rochelle. Nos remerciements s'adressent également aux évaluateurs anonymes du présent travail.

Références

- Bei F., Catsiki V. & Stroggyloudi E. 1998. Seasonal and spatial variations of Cu, Cr, Ni and Pb concentrations in *Mytilus galloprovincialis* of Saranikos Gulf, Greece. *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée*, 35, 2..
- Chafai-El Alaoui S. 1994. *Etude de quelques aspects de la contamination métallique chez certains Mollusques et poissons marins : Etude environnementale (côte atlantique marocaine) et approche expérimentale*. Thèse de Doctorat, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 155 p.
- Cossa D. 1980. Utilisation de la moule bleue comme indicateur du niveau de pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures dans l'estuaire et le golfe du St Laurent. *Rapport INRS Océanologie. Univ. Quebec*. NSI-43600/00: 74.
- Cossa D & Sanjuan J. 2002. Bioaccumulation du Hg chez *Mytilus galloprovincialis*. Analyse de la covariance entre le facteur de concentration et l'indice de condition selon les caractéristiques physicochimiques et trophiques des milieux, *Ifremer, DEL/PC*, Nantes.

- Cheggour M., Chafik A., Texier H., Bouhallaoui A., Gharbi N., Boumezzough A. & Elattar J. 1999. Bioaccumulation de quelques éléments métalliques chez l'huître *Crassostrea gigas* en élevage dans la lagune de Oualidia (Maroc) : Rôle des facteurs écologiques et biologiques. *Haliotis*, 28, 31-44.
- Essedaoui A., Massé H. et Sif J. 1998. Etude de l'effet du Cadmium sur l'activité de l'estérase, l' α -amylase, la valine arylamidase et la β -galactosidase chez *Mytilus galloprovincialis* de la région de Jorf Lasfar (côte atlantique d'El Jadida, Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 21 (1997-1998), 89-94.
- Essedaoui A. & Sif J. 2000. Variation des activités estérases sous l'effet de la pollution métallique chez *Mytilus galloprovincialis* de la région de Jorf-Lasfar (Maroc). *J. Rech. Océanogr.*, 25, 3/4, 34-42.
- Essedaoui A. & Sif J. 2001. Bioaccumulation des métaux lourds et induction des métalloprotéines au niveau de la glande digestive de *Mytilus galloprovincialis*. *Actes Inst. Agron. Vet.*, Rabat, 21, 1, 17-25.
- Hariati T. 1986. Some notes on condition index analysis of two populations of Bob Creek Mussel (*Mytilus edulis*) grown at Olympia (Washington State) and the other at Winchester (Oregon State), USA. *J. Mar. Fish. Res.* 36, 85-93.
- Idrissi H., Tahiri L., Bernoussi A., Chafik A. & Taleb H. 1994. Evaluation de la salubrité du littoral méditerranéen et atlantique Nord (Saidia-Safi) durant la période 1992-1994. *Trav. Inst. Pêches Maritimes*, Casablanca, 77 p.
- Kaimoussi A. 1996. *Etude de la variabilité de l'accumulation des métaux lourds dans différents compartiments (sédiments, mollusques et algues) du littoral de la région d'El Jadida*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. El Jadida, 147 p.
- Kaimoussi A., Chafik A., Cheggour M., Mouzdahir A & Bakkas S. 2000. Seasonal variations of metal concentrations (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel *Mytilus galloprovincialis* from El Jadida coastline (Morocco). *Mar. Life*, 10, 1-2, 77-85.
- Kaimoussi A., Chafik A., Mozdahir & Bakkas S. 2002. Diagnosis on the state of healthiness, quality of the coast and biological resources: case of the Moroccan Atlantic coast (city of El Jadida). *C. R. Biologies*, 325, 253-260.
- Langston W.J. & Spence S.K. 1995. Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms. *Environ. Sci. Technol.*, 26, 407-467.
- Lee K.M., Kruse H. & Wassermann O. 1996. Seasonal fluctuation of organochlorines in *Mytilus edulis* L. from the South West Baltic Sea. *Chemosphere*, 32, 10, 1883-1895.
- Makroum K. & Moncef M. 2003. Etude de la bioaccumulation du cadmium par certains macrophytes du littoral de la région d'El Jadida (Maroc Atlantique). *Cah. Biol. Mar.*, 44, 49-60.
- Margus D. 1985. Comparative methods for calculation of index of condition in mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lmk.). *Acta Biologica Jugosl.*, 17, 1, 59-67.
- N.A.S. 1980. The International Mussel Watch. National Academy of Sciences, Washington D.C., 248 p.
- Neathery M.W. & Miller W.J. 1975. Metabolism and toxicity of cadmium, mercury and lead in animals. A review. *J. Dairy Sci.*, 58, 1767-1781.
- Okumus I. & Stirling H.P. 1998. Seasonal variations in the meat weight, condition index and biochemical composition of mussels (*Mytilus edulis* L.) in suspended culture in two Scottish area lochs. *Aquaculture*, 159, 3-4, 249-261.
- Orban E., Di Lena G., Nevigato T., Casini I., Marzetti A & Caproni R. 2002. Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. *Food Chemistry*, 77, 57-65.
- Pentreath R.J. 1973. The accumulation from water of ⁶⁵Zn, ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co and ⁵⁹Fe by the mussels *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. UK.*, 53, 127-143.
- Pipe R.K., Coles J.A., Thomas M.E, Fossato V.U. & Pulsford A.L. 1995. Evidence for environmentally derived immunomodulation in mussels from the Venise Lagoon. *Aquat. Toxicol.*, 32, 1, 59-73.
- Poham J.D. & D'Auria J.M.L. 1982. Effects of season and sea water concentrations on trace metal concentrations in ogran of *Mytilus edulis*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 11, 273-282.
- Regoli F. & Orlando E. 1993. *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator of lead pollution : biological variables and cellular responses. *Sci. Total Environment*, 2 (Suppl.), 1283-1292.
- Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (R.N.O.) 1959. Surveillance du milieu marin. Edition 1995, IFREMER et Ministère de l'Environnement, Nantes-Paris, 32 p.
- Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (R.N.O.) 2004, 4ème trimestre. France.
- Rouhi A., Sif J., Ferssiwi A. & Chemaa A. 2007. Bioaccumulation de quelques éléments métalliques par deux espèces d'Annélides Polychètes du littoral de Jorf Lasfar (région d'El Jadida, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, section science de la vie, Rabat, 29, 81-87.
- Sif J., Essedaoui A. & Ferssiwi A. 2002. Concentration du Cu, Zn et Cd au niveau de la glande digestive de *Mytilus galloprovincialis* : rôle des métallothionéines dans la détoxification des métaux lourds. *J. Rech. Océanogr.* 27, 3, 284-287.
- Viarengo A., Canesi L., Mazzucotelli A. & Ponzano E. 1993. Cu, Zn and Cd content in different tissues of the Antarctic scallop *Adamussium colbecki*: role of metallothionein in heavy metal homeostasis and detoxication. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 95, 1/2, 163-168.
- Wang W.X. & Fisher N.S. 1996. Assimilation of trace metal elements and carbon by the mussel *Mytilus edulis*: effects of food composition. *Limnol. Oceanogr.*, 41, 2, 197-207.
- Wright P. & Mason C.F. 1999. Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries, the Orwell and the Stour, in eastern England. *The Science of the Total Environment*, 226, 2-3, 139-156.

Manuscrit reçu le 21 avril 2008

Version modifiée acceptée le 10 juin 2009.