

Variations saisonnières des concentrations en métaux (Cd, Cu, Zn, Fe et Mn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la région d'El Jadida (Maroc)

*Seasonal variations of metal concentrations (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn)
in mussel Mytilus galloprovincialis from El Jadida coastline (Morocco)*

Aziz Kaimoussi*, Abdelghani Chafik**, Mohamed Cheggour***, Abdelkrim Mouzdahir*, Salem Bakkas*

* Laboratoire de chimie organique et bioorganique, Département de chimie, Faculté des sciences, BP 20 - 24000 El Jadida, Maroc

** URD de l'Étude des polluants chimiques, Institut national de recherche halieutique (I.N.R.H),
2, rue de Tiznit - 04 Casablanca, Maroc

*** Département de biologie, Unité d'écologie, École normale supérieure, B.P. 2400 - Marrakech, Maroc

Mots clés : concentration, variation saisonnière, littoral atlantique, métaux, moule.

Key-words: concentration, seasonal variations, Atlantic littoral, metals, mussel.

RÉSUMÉ

Kaimoussi A., A. Chafik, M. Cheggour, A. Mouzdahir, S. Bakkas - Variations saisonnières des concentrations en métaux (Cd, Cu, Zn, Fe et Mn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la région d'El Jadida (Maroc). Mar. Life, **10** (1 2) : 77-85.

Le présent travail porte sur l'étude des fluctuations des niveaux de concentration de cinq métaux chez la moule *Mytilus galloprovincialis* durant plus d'un cycle annuel (été 1994 - automne 1995). À cet effet, des prélèvements mensuels ont été effectués au niveau de trois stations de la ville d'El Jadida et quatre stations de la zone de Jorf Lasfar qui abrite un grand complexe industriel de traitement de phosphates. Les variations mensuelles des concentrations métalliques chez la moule d'El Jadida montrent pour certains métaux un rythme saisonnier, avec deux périodes essentielles de fortes concentrations à savoir, fin hiver – début printemps et fin été – début automne. Par contre, ces variations ne permettent pas de dégager facilement une influence saisonnière nette au niveau de la zone littorale de Jorf Lasfar, comparativement à celle d'El Jadida. Ceci peut être lié à l'intensité des effluents industriels assurant un flux polluant important pendant toute l'année. Néanmoins, dans une station située à quelques kilomètres, au nord des rejets de Jorf Lasfar, nous retrouvons, pour certains métaux, les deux pics automnal et printannier. À l'exception du Cd et du Cu qui présentent des concentrations préoccupantes dans la zone de Jorf Lasfar, les métaux étudiés dans la moule présentent en général des valeurs plus faibles que celles provenant d'autres aires géographiques.

ABSTRACT

Kaimoussi A., A. Chafik, M. Cheggour, A. Mouzdahir, S. Bakkas - [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.

The seasonal fluctuations in concentrations of five metals in tissues of the mussel *Mytilus galloprovincialis* were studied on a monthly basis during a period of over a year (summer 1994 - autumn 1995). The study was carried out at seven locations along the coastline from El Jadida city to South Jorf Lasfar. The monthly variations in metal concentrations in the mussel at the El Jadida sites showed for certain metals a seasonal pattern, with two main periods of strong concentrations at the end of winter-beginning of spring, and end of summer-beginning of autumn. The monthly variations in metal content in the mussel at Jorf Lasfar do not show a clear seasonal pattern, probably due to the intensity of the industrial sewage which is responsible for a strong flow of pollutants throughout the year. Nevertheless, in a station situated to the North of the sewage outfall near Jorf Lasfar, we find for certain metals the two peaks in autumn and spring. Except for the levels of Cd and Zn at Jorf Lasfar, the mussel at El Jadida exhibited generally lower concentrations compared to those of similar species from other geographical areas.

INTRODUCTION

Les zones côtières comptent parmi les zones les plus exposées aux différents types de pollution, entre autres métalliques, qu'il s'agisse d'apports directs dus à l'industrialisation et à l'urbanisation souvent importantes dans ces zones, ou d'apports indirects par les rivières et par voie atmosphérique (Bryan, 1984). Aussi, les êtres vivants qui peuplent ces milieux sont généralement exposés à des risques de contamination multiélémentaires.

L'objectif de cette étude qui s'inscrit, dans le cadre d'un programme de surveillance de la qualité et de la salubrité du milieu marin littoral marocain, est de contribuer à constituer une base de données relative à la pollution chimique des zones côtières marocaines, en étudiant les variations spatio-temporelles des concentrations en métaux chez la moule *Mytilus galloprovincialis* choisie comme bioindicateur de la pollution le long du littoral atlantique marocain compris entre la ville d'El Jadida et la localité de Sidi Abed.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les moules ont été prélevées au niveau de sept stations choisies sur le littoral entre El Jadida et Sidi Abed en passant par Jorf Lasfar (environ 35 km, voir figure 1). Le choix des stations est basé, outre la

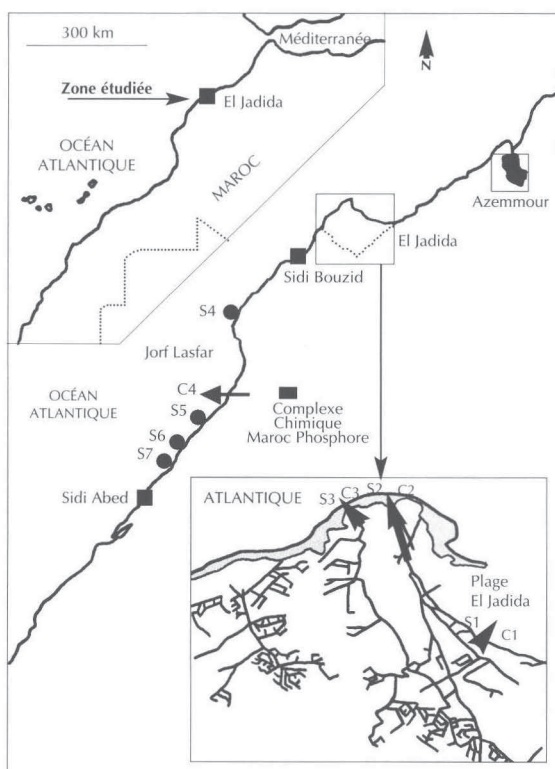


Figure 1 – Localisation des sites de prélèvement des moules dans la région d'El Jadida (Maroc). / Localisation of sampling sites of mussels in the region of El Jadida (Morocco).

présence des moules, sur leur proximité des effluents dans le but d'évaluer leur flux polluant et leur impact sur le milieu marin récepteur.

La description et la nature des émissaires d'eaux usées sont résumées comme suit :

- C1 : Collecteur d'évacuation des eaux pluviales ;
- C2 : Collecteur recevant un mélange d'eaux usées domestiques et industrielles ;
- C3 : Collecteur recevant un mélange d'eaux usées domestiques et médicales ;
- C4 : Émissaire principal "solide-liquide" (phosphogypse) du complexe chimique de Jorf Lasfar.

Stations de prélèvement

El Jadida

- S1 : Station située à proximité du collecteur C1 ;
- S2 : Station située à proximité du collecteur C2 ;
- S3 : Station située à proximité du collecteur C3.

Jorf Lasfar

- S4 : Station située au niveau de l'ancien port de Jorf Lasfar ;
- S5 : Station située à 1 km au sud du collecteur C4 ;
- S6 : Station située à 2,5 km au sud du collecteur C4 ;
- S7 : Station située à 5 km au sud du collecteur C4.

Prélèvement et préparation des échantillons

Les moules (environ 30 mm de taille) sont prélevées à la main sur les rochers du médio-littoral inférieur. Elles sont ensuite stockées dans l'eau du lieu de prélèvement.

Une période de dégorgement (36 heures) a été imposée aux animaux afin que les teneurs en métaux du contenu digestif ne viennent interférer avec les métaux présents dans les tissus de l'animal. Les parties molles sont séparées des coquilles, lavées à jet de pissette contenant de l'eau distillée. Elles sont égouttées puis séchées à l'étuve à 70°C pendant 48 heures. Les échantillons sont ensuite finement broyés à l'aide d'un couteau inox inerte (Moulinex) pour obtenir un homogénat.

Minéralisation des tissus

Des fractions aliquotes de 1 g de poids sec, sont soumises à une attaque par un mélange d'acides (HNO_3 , H_2SO_4 , H_2O_2) (Thibaud, 1983) dans des bombes en Téflon ayant séjourné trois jours dans HNO_3 , dilué avant rinçage final à l'eau bidistillée et séchage à l'étuve. Les minéralisats sont par la suite filtrés, dilués à l'eau bidistillée, puis stockés dans des flacons à 4°C jusqu'à l'analyse.

Réactifs

HNO_3 , H_2SO_4 , H_2O_2 (suprapur, Merck)

Instruments

Le dosage de cinq éléments métalliques : Cd, Cu, Zn, Fe et Mn est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer 3100 ; Flamme air-acétylène) équipé d'un four à graphite (Perkin Elmer HGA-600/700).

Performances analytiques

Limites de détection (L.D)

Les limites de détection ont été calculées comme trois fois l'écart type sur la mesure du blanc rapportée au poids de la prise d'essai moyenne. Elles sont exprimées comme suit (en $\mu\text{g.g}^{-1}$, p.s) : pour le cadmium, L.D = 0,004 ; pour le zinc, L.D = 4 ; pour le cuivre, L.D = 0,13.

Précision

Notre méthode d'analyse a été testée par des dosages sur un échantillon certifié provenant de l'Agence internationale à l'énergie atomique de Monaco (A.I.E.A., Réf. MA-A-2/TM). Pour le cadmium : valeur certifiée = $0,066 \pm 0,012$; valeur obtenue = $0,06 \pm 0,005$. Pour le cuivre : valeur certifiée = $4 \pm 0,33$; valeur obtenue = $3,9 \pm 0,06$. Pour le zinc : valeur certifiée = $33 \pm 1,0$; valeur obtenue = $32 \pm 0,5$. (valeurs en $\mu\text{g.g}^{-1}$, p.s).

Traitement statistique

Le traitement statistique des données est réalisé à l'aide du programme BIOMEKO (Biométrie écologique) principalement pour le calcul des corrélations entre les métaux analysés. Le coefficient de corrélation permet de mesurer le degré de liaison entre deux variables (Snedecor, Cochran, 1989) et permet de dégager les tendances générales dans leurs variations mutuelles sans pour autant conduire à une relation de causalité entre elles (Daget, 1979). Le test de Student (Statworks 1.2) est réalisé pour comparer les teneurs métalliques dans les tissus des moules selon les stations et les saisons.

RÉSULTATS

Teneurs globales moyennes

Les moyennes des teneurs métalliques, calculées sur 15 prélèvements par station sont présentées dans le tableau I.

Cadmium

Les concentrations en Cd sont faibles pour l'ensemble des stations étudiées de la ville d'El Jadida avec des valeurs souvent inférieures à $1 \mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec. Des valeurs nettement plus importantes sont rencontrées à Jorf Lasfar, principalement à proximité du complexe chimique de traitement des phosphates (S5-S6), avec des maxima atteignant $19,3 \mu\text{g.g}^{-1}$ au niveau de la station S6.

Cuivre

Les valeurs obtenues dans le cas des stations de la ville d'El Jadida sont voisines de $10 \mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec qui est la valeur moyenne de Cu des bivalves d'après Bryan (1976). Comme pour le Cd, une hausse des concentrations a lieu au niveau de la zone de Jorf Lasfar avec des valeurs préoccupantes atteignant $331 \mu\text{g.g}^{-1}$ (S6). La station S4 présente des

valeurs qui dépassent celles trouvées dans les stations de la ville d'El Jadida.

Zinc

Le zinc présente des concentrations comparables dans les moules quelle que soit la station de prélèvement.

Manganèse

Les concentrations en Mn dans les tissus des moules prélevées dans les différentes stations sont semblables. Ces concentrations sont dans la gamme des concentrations habituellement rencontrées dans les moules.

Fer

À l'exception de la zone de Jorf Lasfar (S4 et S7), où ce métal présente un pic, les autres stations présentent des concentrations comparables.

Il est à noter que les métaux d'origine typiquement urbaine ou/et industrielle (Cu-Cd-Zn) sont positivement corrélés (tableau II), dénotant leur origine commune et leurs variations similaires chez la moule. La corrélation négative entre Cd et Mn traduit une opposition entre ces deux métaux et soutient l'idée selon laquelle Mn est essentiellement continental, alors que Cd est quasi exclusivement d'origine industrielle. Fe et Mn sont fortement corrélés, suggérant un comportement similaire de leurs oxydes dans les mêmes conditions en accord avec de nombreuses études dans des milieux aquatiques marocains (Chafik *et al.*, 1996).

Variations saisonnières

Les variations saisonnières enregistrées sont rassemblées dans la figure 2.

Le Cu présente un premier pic en été suivi d'une baisse durant l'automne, avant de marquer un deuxième pic fin d'hiver-début printemps, pour les différentes stations d'étude. Les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans la zone de Jorf Lasfar.

Le Zn présente des variations similaires à celles de Cu, avec les deux pics (été et fin hiver-début printemps) pour toutes les stations d'études.

Les valeurs de Mn accusent de grandes fluctuations durant toute la période de notre étude, avec une importante hausse durant la période : fin d'hiver-début printemps. L'évolution mensuelle des teneurs en Cd présente des fluctuations pour les trois stations de la ville d'El Jadida. Dans le cas de la zone de Jorf Lasfar, les concentrations de ce métal nettement plus importantes, présentent deux pics en été et en hiver.

Le Fe enregistre des fluctuations de l'hiver à l'été avec un pic en juin ($789 \mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec) au niveau de S1. Par contre, les teneurs restent faibles durant les autres périodes. Au niveau de la zone de Jorf Lasfar, ce métal montre deux pics printanier et estival, en dehors desquels, cet élément garde des teneurs faibles et peu fluctuantes.

Tableau I - Teneurs en métaux ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec) des moules *Mytilus galloprovincialis* récoltées dans la région d'El Jadida (concentrations minimales, maximales et moyennes. / Content ($\mu\text{g.g}^{-1}$ dry weight) in mussels *Mytilus galloprovincialis* sampled in the region of El Jadida (minimum, maximum and mean concentrations).

		Cd	Cu	Zn	Fe	Mn
El	S1	<L.D-2,30 (1,38)	5,32-13,40 (7,36)	148-482 (258)	117-789 (353)	5,10-17,60 (10,46)
	S2	<L.D-2,50 (1,45)	4,40-10,70 (7,76)	160-461 (299)	165-557 (288)	4,9-17,6 (8,40)
Jadida	S3	<L.D-2,00 (0,99)	5,36-14,70 (8,51)	170-535 (312)	141-486 (294)	5,95-13,95 (8,81)
Jorf	S4	1,00-6,25 (3,21)	6,62-50,95 (17)	181-342 (249)	100-1198 (432)	5,20-18,75 (11,04)
	S5	4,00-19,00 (10,02)	23,95-185 (90)	98-456 (163)	129-584,8 (275)	4,10-8,70 (6,32)
Lasfar	S6	3,50-19,30 (9,14)	56-331 (143)	127-530 (230)	135-535,5 (334)	6,45-19,45 (7,68)
	S7	3,00-15,70 (7,88)	60-266,5 (133)	141-438 (217)	160-1310 (459)	6,40-12,35 (8,50)

Les variations mensuelles des teneurs métalliques chez *Mytilus galloprovincialis* de la zone de Jorf Lasfar ne permettent pas de dégager facilement une influence saisonnière nette comparativement à celles d'El Jadida (surtout pour les stations S5 et S6). Ceci peut être lié à l'intensité des effluents industriels qui se déversent sur le littoral de Jorf Lasfar et assurent un flux important de polluants pendant la majeure partie de l'année. Nous retrouvons, pour certains métaux, quoique peu individualisés, les deux pics saisonniers dans les stations S4 et S7.

Les résultats du test t de Student (tableau III) montrent que les variations saisonnières, notamment celles relatives aux teneurs automnales et printanières sont significatives pour tous les métaux. Toutefois, il faut noter que les coefficients t de Student sont très significatifs dans le cas de Zn et Fe, juste significatifs pour Cu, Cd et Mn.

Tableau II - Matrice de corrélations entre les métaux analysés chez *Mytilus galloprovincialis* du littoral El Jadida-Jorf Lasfar. Valeurs soulignées : significatives ($p < 0,05$) ; non soulignées : très significatives ($p < 0,01$). / Matrix of correlations between metals analysed in *Mytilus galloprovincialis* from the coast El Jadida-Jorf Lasfar. Values underlined: significant ($p < 0,05$); not underlined: very significant ($p < 0,01$).

	Cu	Cd	Zn	Mn	Fe
Cu	X				
Cd	0,58	X			
Zn	0,64	0,55	X		
Mn	<u>0,35</u>	- 0,57		X	
Fe	<u>0,44</u>		<u>0,43</u>	0,70	X

DISCUSSION

Les teneurs relevées en Cd chez *Mytilus galloprovincialis* prélevée au niveau de la zone de Jorf Lasfar sont importantes. Il en est de même dans la région de Safi où se déversent les émissaires du complexe Maroc Phosphore I et II (Idrissi *et al.*, 1994). Les valeurs cadmiques enregistrées dans ces sites, dépassent de loin les moyennes observées chez les moules de différentes régions, incluant plus de 600 stations à travers le monde et qui varient de 0,6 à 3,3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec, avec un minimum de 0,1 et un maximum de 15 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec (Cossa, Lassus, 1989). Ceci est à relier à l'implantation dans la zone de Jorf Lasfar de l'usine Maroc Phosphore III et IV (traitement des phosphates). C'est également une région agricole de grande importance caractérisée par l'utilisation abusive des engrais chimiques et des pesticides riches en métaux (Kaimoussi, 1996).

L'activité de traitement des phosphates implantés au niveau de ces sites serait donc à l'origine des concentrations importantes observées en Cd. En effet, la transformation des phosphates en acide phosphorique donne lieu à des sous-produits appelés phosphogypses, constitués de sulfate de calcium et quelques impuretés dont le Cd. Dans ces phosphogypses les teneurs en Cd sont de l'ordre de plusieurs $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Cossa, Lassus, 1989). Par ailleurs, les teneurs en Cd des phosphates naturels varient largement selon le gisement et même à l'intérieur de celui-ci. Selon ces mêmes auteurs, le comité du marché commun de l'industrie des engrais donne une concentration en Cd allant jusqu'à 75 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dans les gisements marocains de phosphates.

Les teneurs métalliques sont comparables au niveau des stations d'El Jadida (les différences de

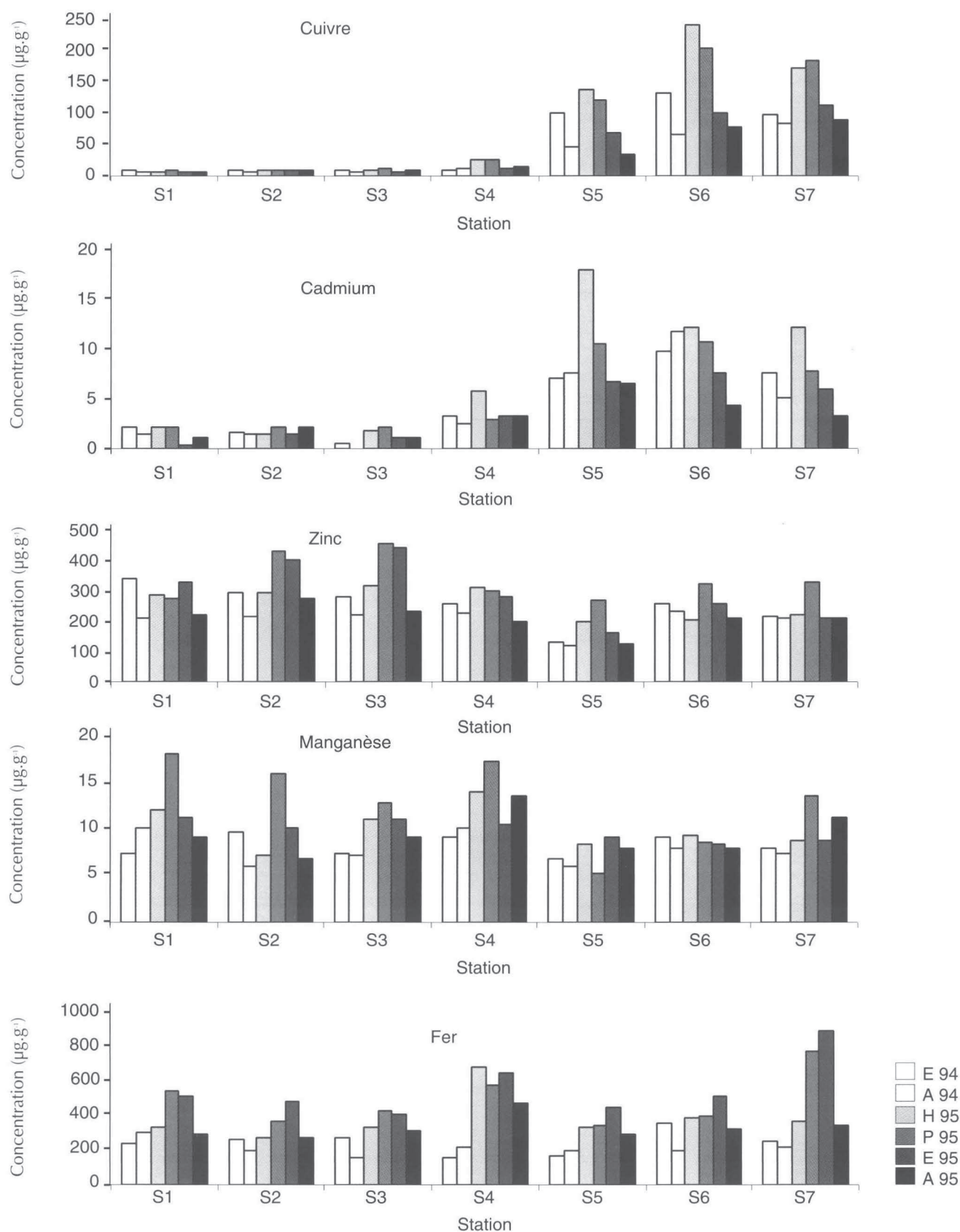


Figure 2 – Variations saisonnières des teneurs métalliques moyennes (été 94 – automne 95) en $\mu\text{g.g}^{-1}$ (p.s) chez *Mytilus galloprovincialis* prélevée le long du littoral d'El Jadida (Maroc) (A : automne ; H : Hiver ; P : Printemps ; E : Été). / Seasonal variations of the average metal content (Summer 94 – Autumn 95) ($\mu\text{g.g}^{-1}$ dry weight) in *Mytilus galloprovincialis* from El Jadida coastline (Morocco) (A: Autumn; H: Winter; P: Spring; E: Summer).

concentration observées entre les stations S1, S2 et S3 ne sont pas statistiquement significativement différentes (tableau IV). Il en est de même à Jorf Lasfar, surtout dans le cas de Cu et Cd, les autres métaux présentent plutôt des variations peu significatives.

À l'exception du Fe, tous les métaux montrent des différences très significatives entre les stations d'El Jadida, d'une part, et celles de Jorf Lasfar, d'autre part. Ce résultat confirme l'aspect principalement urbain des effluents d'El Jadida, exclusivement industriels et enrichis en métaux au niveau de Jorf Lasfar. La station S4 peut être considérée comme une station intermédiaire entre ces deux sites littoraux.

Les niveaux relativement élevés en Cd dans les moules sont donc associés aux rejets, dans le voisinage, d'effluents phosphogypsifères (Chafik *et al.*, 1996). Il est très probable que cette pollution chimique intense particulièrement par le Cd et le Cu entraîne un dérèglement des processus physiologiques

chez les moules et de là, une perturbation de leur cycle biologique. Sur le terrain, Chafik *et al.*, (1996) ont observé des déformations nettes sur les coquilles, qu'ils ont liées aux fortes teneurs en Cu et en Cd. Ceci concorde avec les travaux de certains auteurs ayant étudié expérimentalement l'effet du Cd sur des mollusques. Ainsi, Sunila (1986) observe, au niveau des branchies de *Mytilus edulis* un gonflement des cellules endothéliales et une dilatation des veines branchiales. Yevich et Yevich (1985) rapportent des dégénérescences du diverticule digestif, du tractus reproducteur et des reins chez *Placopecten magellanicus*.

De nombreux travaux ont montré que les processus physiologiques liés à la reproduction, expliquent l'essentiel des variations saisonnières des concentrations métalliques dans les tissus des mollusques (Bryan *et al.*, 1980 ; Cossa, 1989).

Les phases du cycle de reproduction exercent une influence sur la bioaccumulation des métaux. Pendant la gamétogénèse les gonades se développent énormément et peuvent constituer un piège efficace pour l'incorporation des métaux dans l'organisme. Ceci est en rapport avec le fait que l'énergie cellulaire est essentiellement utilisée dans la production des gamètes. En revanche, les pontes qui correspondent à l'émission des œufs, s'accompagneraient d'une chute des teneurs métalliques, parallèlement à une baisse du poids de l'animal.

Nos résultats relatifs aux concentrations métalliques mensuelles, semblent suivre, à quelques variations près, le cycle de reproduction de la moule *Mytilus galloprovincialis*. En général, tous les éléments analysés à l'exception du Cd, montrent deux périodes essentielles de fortes concentrations : fin hiver – début printemps et fin été – début automne, conjointement aux processus de gamétogénèses qui ont lieu pendant cette période. L'automne étant une période de repos sexuel, les variations observées durant cette saison sont faibles.

À l'exception de Boalch *et al.*, (1981) qui n'observent pas d'effet saisonnier, la plupart des auteurs reconnaissent l'existence d'un minimum

Tableau III - Résultats du test de Student réalisé avec les teneurs métalliques selon les saisons chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral El Jadida-Jorf Lasfar. * : test significatif ($p < 0,05$) ; ** : très significatif ($p < 0,01$) ; *** : hautement significatif ($p < 0,001$) ; NS : non significatif. A : automne ; H : hiver ; P : printemps ; E : été. / Results of the Student test carried out with the metal content according to the seasons in the mussels *Mytilus galloprovincialis* from the coast El Jadida - Jorf Lasfar. * : test significant ($p < 0.05$); ** : very significant ($p < 0.01$); *** : highly significant ($p < 0.001$); NS: not significant. A: Autumn; H: Winter; P: Spring; E: Summer.

	Cu	Cd	Zn	Mn	Fe
A / H	NS	NS	2,33*	NS	3,18**
A / P	2,41*	1,95*	4,29**	2,77*	4,57**
A / E	NS	NS	2,24*	2,53*	5,34***
H / P	NS	NS	2,30*	NS	NS
H / E	NS	NS	NS	NS	NS
P / E	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau IV - Résultats du test de Student avec les teneurs métalliques selon les stations chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral El Jadida-Jorf Lasfar. * : test significatif ($p < 0,05$) ; ** : très significatif ($p < 0,01$) ; *** : hautement significatif ($p < 0,001$) ; NS : non significatif. / Results of the Student test with the metal content according to stations for the mussel *Mytilus galloprovincialis* from the coast El Jadida-Jorf Lasfar. * : test significant ($p < 0.05$); ** : very significant ($p < 0.01$); *** : highly significant ($p < 0.001$); NS: not significant.

	Cu	Cd	Zn	Mn	Fe
Stations El Jadida (S1-S2-S3)	NS	NS	NS	NS	NS
(S1-S2-S3)/S4	2,97**	4,09***	NS	NS	NS
Stations Jorf Lasfar (S5-S6-S7)	NS	NS	1,97*	2,15*	1,89*
(S5-S6-S7)/S4	5,96***	4,13***	NS	NS	NS
El Jadida / Jorf Lasfar	6,61***	6,26***	2,88**	2,87**	NS

estival et d'un maximum hivernal des concentrations métalliques chez la moule (Majori *et al.*, 1978 ; N.A.S., 1980 ; Goldberg *et al.*, 1983 ; Popham, d'Auria, 1983 ; Asso, 1984 ; Metayer *et al.*, 1985 ; Coimbra *et al.*, 1991 ; Swaileh, 1996 ; Cheggour, 1999).

Les faibles fluctuations des concentrations en zinc rencontrées en fonction du lieu mais aussi en fonction de la période de l'année laisseraient penser que ce métal est régulé (Berthet, 1986 ; Roméo *et al.*, 1993). Toutefois, nous relevons toujours, pour le Zn (figure 2), les deux pics de l'été et de fin hiver-début printemps, pour toutes les stations d'études. Il en est de même pour le Fe et le Cd. En plus des variations saisonnières, les fluctuations des teneurs métalliques au cours de l'année peuvent être donc imputées à d'autres facteurs tels que :

- la disponibilité de la nourriture (peut conduire à une intensification du métabolisme et à une augmentation du taux d'excrétion (Bryan, 1983) ;
- l'apport des métaux par les précipitations ;
- l'augmentation du taux de prise dû à un changement de l'état physiologique des animaux.

Ceci explique le fait que les variations des concentrations métalliques ne calquent pas exactement le cycle de reproduction. Bryan (1983) précise qu'une grande disponibilité de la nourriture peut conduire à une intensification du métabolisme et une augmentation du taux d'excrétion.

L'hypothèse d'une dilution des métaux au sein de l'organisme, liée à l'augmentation saisonnière du poids, était étayée par les données de plusieurs auteurs (Bryan, 1973 ; Philips, 1976 ; Majori *et al.*, 1978 ; Boyden, Philips, 1981 ; Ritz *et al.*, 1982 ; Farrington *et al.*, 1983). Les études menées sur des populations contrôlées de *Mytilus edulis* et de *Crassostrea gigas* avec des prélèvements fréquents pendant plus de deux cycles annuels permettent de confirmer statistiquement la validité de cette hypothèse (Metayer *et al.*, 1985).

La comparaison de nos données avec celles fournies par la littérature, pour les mêmes espèces ou des espèces voisines prélevées dans des zones polluées ou non, montre que nos résultats sont voisins de ceux obtenus par d'autres auteurs, à l'exception des teneurs en Cd et en Cu relevées chez les moules de Jorf Lasfar. Ces teneurs exceptionnelles sont quasi exclusivement dues aux rejets phosphogypsifères provenant du complexe chimique de traitement des phosphates implanté dans le site. Les concentrations relevées dans les moules provenant du littoral d'El Jadida sont intermédiaires entre les valeurs limites de la littérature, bien que dans de nombreux cas, ces concentrations présentent des valeurs plus faibles que celles relevées dans d'autres aires géographiques (Boutier, 1982 ; Ward, 1990 ; Coimbra *et al.*, 1991 ; Giordano *et al.*, 1991 ; Lobel *et al.*, 1991 ; Augier *et al.*, 1994 ; Richardson *et al.*,

1994 ; U.N.E.P., 1994 ; Manly *et al.*, 1996 ; Swaileh, 1996 ; Bebianno, Machado, 1997 ; Haynes *et al.*, 1997).

CONCLUSION

L'étude et le suivi des concentrations chez la moule de cinq métaux lourds (Cd, Cu, Zn, Fe et Mn) sur une période d'un an et demi ont permis de vérifier l'existence des variations de la concentration des métaux en fonction du site de prélèvement, de la saison et de comparer le niveau de ces polluants avec d'autres régions du globe.

La contamination de la moule est fortement liée à la présence d'émissaires susceptibles de rejeter des métaux le long du littoral d'El Jadida. Les plus fortes teneurs en Cd et en Cu ont été relevées dans la région de Jorf Lasfar. Ces teneurs sont attribuées aux effluents "solide-liquide" émanant du complexe chimique Maroc Phosphore III et IV et qui se déversent sur le littoral de cette région.

Les variations saisonnières mises en évidence, paraissent corrélées aux facteurs écophysiologiques liés à l'activité de reproduction, en rapport avec le changement du poids des tissus de l'animal.

La comparaison de nos résultats avec ceux fournis par la littérature montre qu'à l'exception des teneurs en Cd et en Cu relativement élevées dans la région de Jorf Lasfar, les concentrations observées dans les moules, notamment le long du littoral d'El Jadida sont intermédiaires entre les valeurs limites de la littérature.

BIBLIOGRAPHIE

- Asso A., 1984 – Étude des teneurs globales en métaux lourds chez la moule *Perna perna* (L.) dans la région d'Alger. Variations de ces teneurs en fonction de quelques paramètres biologiques. In : 7^{èmes} Journées d'études sur les pollutions marines en Méditerranée. 11-13 octobre 1984, à Lucerne, pp : 411-415.
- Augier H., R. Desmerger, M. Égéa, E. Imbert, W.K. Park, G. Ramonda, M. Santimone, 1994 – Étude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrialo-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France), à l'aide de bio-indicateurs (moules et oursins). *Mar. Life*, **4** (2) : 59-67.
- Bebianno M.J., M. Machado, 1997 – Concentrations of metals and metallothioneins in *Mytilus galloprovincialis* along the south coast of Portugal. *Mar. Pollut. Bull.*, **34** (8) : 666-671.
- Berthet B., 1986 – Études in situ et expérimentales du devenir de quelques éléments métalliques (Cd, Pb, Cu et Zn) dans un écosystème marin de zone conchylicole. Thèse, Doc. État, Sci. Biol., Univ. Rennes I, 220 pp.
- Boalch R., S. Chan, D. Taylor, 1981 – Seasonal variation in the trace metal content of *Mytilus edulis*. *Mar. Pollut. Bull.*, **12** (8) : 276-280.
- Boutier B., 1982 – Synthèse des résultats (RNO) de la surveillance des micropolluants dans la matière vivante en 1979. *Bull. R.N.O.*, **17** : 115-174.

- Boyden C.R., D.J.H. Philips, 1981 – Seasonal and inherent variability of trace elements in oysters and their implications for indicator studies. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, **5** (1) : 29-40.
- Bryan G.W., 1973 – The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* (L.) and *Chlamys opercularis* (L.). *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **53** : 145-166.
- Bryan G.W., 1976 – Heavy metal contamination in the sea. In : *Marine Pollution*. R. Johnston (ed.), Acad. Press., London, pp : 186-302.
- Bryan G.W., 1983 – Brown seaweed, *Fucus vesiculosus*, and the gastropod, *Littorina littoralis*, as indicators of trace metal availability in estuaries. *Sci. total Environment*, **28** : 91-104.
- Bryan G.W., 1984 – Pollution due to heavy metals and their compounds. In : *Marine Ecology*. O. Kinne (ed.), John Wiley and Sons Ltd, London, pp : 1289-1431.
- Bryan G.W., W.J. Langston, L.G. Hummerstone, 1980 – The use of biological indicators of heavy metal contamination in estuaries. *Mar. Biol. Ass. U.K., Occ. Publ.*, **1** : 73 pp.
- Chafik A., M. Cheggour, A. Kaimoussi, 1996 – Étude préliminaire de l'impact des activités de traitement et de transformation des phosphates sur le milieu marin : cas de Jorf Lasfar. Trav. Doc. INRH, **94**, 18 pp.
- Cheggour M., 1999 – Évaluation de la contamination métallique sur la côte marocaine et son environnement paralytique entre Larache et Safi – Étude de mollusques bivalves et leur biotope sédimentaire. Thèse d'état, Univ. Cadi, Ayyad, Marrakech, 335 pp.
- Coimbra J., S. Carraca, A. Ferreira, 1991 – Metals in *Mytilus edulis* from the northern Coast of Portugal. *Mar. Pollut. Bull.*, **22** (5) : 249-253.
- Cossa D., 1989 – A review of the use of *Mytilus spp.* as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. *Oceanologica Acta*, **12** (4) : 417-432.
- Cossa D., P. Lassus, 1989 – Le cadmium en milieu marin. *Biogéochimie et écotoxicologie* Rapp. scient. tech., IFREMER, **16**, 110 pp.
- Daget J., 1979 – Les modèles mathématiques en écologie. Masson, Paris, 172 pp.
- Farrington J.W., E.D. Goldberg, R.W. Riseborough, J.H. Martin, V.T. Bowen, 1983 – U.S. Mussel Watch, 1976-1978 : An overview of the trace metals, DDE, PCB, Hydrocarbon and artificial radionuclide data. *Environ. Sci. Technol.*, **17** : 490-496.
- Giordano R., P. Arata, L.S. Ciaralli Rinaldi, M. Giani, A.M. Cicero, S. Costantini, 1991 – Heavy metals in mussels and fish from Italian coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.*, **22** (1) : 10-14.
- Goldberg E.D., M. Koide, V. Hodge, A.R. Flegal, J. Martin, 1983 – U.S. Mussel Watch: 1977-1978 results on trace metals and radionuclides. *Estuar. coast. Shelf Sci.*, **16** : 69-93.
- Haynes D., J. Leeder, P. Rayment, 1997 – A comparison of the bivalve species *Donax deltoides* and *Mytilus edulis* as monitors of metal exposure from effluent discharges along the ninety mile beach, Victoria, Australia. *Mar. Pollut. Bull.*, **34** (5) : 326-331.
- Idrissi H., L. Tahiri, A. Bernoussi, A. Chafik, H. Taleb, 1994 – Évaluation de la salubrité du littoral Méditerranée et Atlantique Nord (Saida-Safi) durant la période (1992-1994). Trav. Doc. INRH, **77**, 77 pp.
- Kaimoussi A., 1996 – Étude de la variabilité de l'accumulation des métaux lourds dans les différents compartiments (sédiments, mollusques et algues) du littoral de la région d'El Jadida. Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Ch. Doukkali, El Jadida, Maroc, 147 pp.
- Lobel P.B., C.D. Bajdik, S.P. Belhode, S.E. Jackson, H.P. Longerich, 1991. Improved protocol for collecting mussel watch specimens taking into account sex, condition, shell shape and chronological age. *Archs environ. Contamin. Toxicol.*, **21** : 409-414.
- Majori L., G. Nedoclan, G.B. Modonutti, F. Daris, 1978 – Study of the seasonal variations of some trace elements in the tissues of *Mytilus galloprovincialis* taken in the gulf of Trieste. *Revue int. Océanogr. méd.*, **39** : 37-50.
- Manly R., S.P. Blundell, F.W. Fifield, P.J. McCabe, 1996 – Trace metals concentrations in *Mytilus edulis* L. from the laguna san rafael, southern chile. *Mar. Pollut. Bull.*, **32** (5) : 444-448.
- Metayer C., J.C. Amiard, C. Amiard-Triquet, B. Berthet, 1985 – Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau d'éléments traces (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les moules et les huîtres de la baie de Bourgneuf. *Bull. Soc. Sci. nat. Ouest Fr.*, **7** (2) : 53-69.
- N.A.S., 1980 – The international Mussel Watch. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 248 pp.
- Philips D.J.H., 1976 – The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. Effects of environmental variables on uptake of metals. *Mar. Biol.*, **38** : 59-69.
- Popham J.D., J.M. d'Auria, 1983 – Combined effect of sody size, season and location on trace element levels in Mussels (*Mytilus edulis*). *Archs environ. Contamin. Toxicol.*, **12** : 1-14.
- Richardson R.J., J.S. Garnham, J.G. Fabris, 1994 – Trace metal concentrations in mussels (*Mytilus edulis planulatus* L.) transplanted into southern Australian waters. *Mar. Pollut. Bull.*, **28** (6) : 392-396.
- Ritz D.A., R. Swain, N.G. Elliott, 1982 – Use of the mussel *Mytilus edulis planulatus* (Lamarck) in monitoring heavy metal levels in seawater. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **33** : 491-506.
- Romeo M., M. Gnassia-Barelli, Z. Sidoumou, Ph. Nguyen, 1993 – Variations spatio-temporelles des concentrations en métaux traces chez le mollusque *Donax rugosus* de la côte mauritanienne. *Bull. ecol. Soc. Am.*, **24** (2-4) : 83-86.
- Snedecor G.W., W.G. Cochran, 1989 – *Statistical methods. 8th edition*, Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A., 503 pp.
- Sunila I., 1986 – Chronic histopathological effects of short term copper and cadmium exposure on the gill of the mussel *Mytilus edulis*. *J. Invert. Pathol.*, **47** (2) : 125-142.
- Swaileh K.M., 1996 – Seasonal variations in the concentrations of Cu, Cd, Pb and Zn in *arctica islandica* L. (Mollusca : Bivalvia) from Kiel Bay, western Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, **32** (8-9) : 631-635.
- Thibaud Y., 1983 – Dosage de métaux (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd) dans les organismes marins par absorption atomique. CNEXO Publ., pp : 263-273.
- U.N.E.P., 1994 – Final reports on research projects dealing with the effects of pollutants on marine organisms and communities. *MAP tech. Rep. Ser.*, **80** : 25-38.

- Ward R.E., 1990 – Metal concentrations and digestive gland lysosomal stability in mussels from Halifax Inlet, Canada. *Mar. Pollut. Bull.*, **21** (5) : 237-240.
- Yevich C.A., P.P. Yevich, 1985 – Histopathological effects of cadmium and copper on the sea scallop *Placopecten magellanicus*. In : *Marine pollution and physiology: recent advances*. F.J. Vernberg, F.P. Thurberg, A. Calabrese, W.B. Vernberg (eds), Proceedings of a symposium, 1-3 November 1983, at Mystic, CT, USA, Belle W. Baruch Libr. Mar. Sci., **13**, pp : 187-198.

Reçu en mars 2000 ; accepté en décembre 2000.
Received March 2000; accepted December 2000.