

Qualité physico-chimique des eaux côtières du littoral de la Wilaya du grand Casablanca (océan Atlantique marocain) utilisant la moule *Mytilus galloprovincialis* comme indicateur de la contamination métallique

Quality of Wilaya du grand Casablanca coastal waters (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel *Mytilus galloprovincialis* as an indicator of metal contamination

Fatima Zohra Bouthir*¹, Abdelghani Chafik*, Samir Benbrahim*, Salah Souabi**, Hakim El Merdhy**, Ali Messoudi**, Mustapha Sifeddine*

* Institut National de Recherche Halieutique, 2 rue Tiznit, Casablanca, Maroc.

** Faculté des Sciences et Techniques de Mohammadia, Maroc.

1. Correspondant : fzbouthir@yahoo.fr

Résumé

Bouthir F.Z., A. Chafik, S. Benbrahim, S. Souabi, H. El Merdhy, A. Messoudi, M. Sifeddine, 2004 – Qualité physico-chimique des eaux côtières du littoral de la Wilaya du grand Casablanca (océan Atlantique marocain) utilisant la moule *Mytilus galloprovincialis* comme indicateur de la contamination métallique. *Mar. Life*, 14 (1-2) : 59-70.

Cette étude a permis d'élaborer un diagnostic sur l'état de contamination du littoral du grand Casablanca. Au moyen de prélèvements réguliers étalés sur quatre ans, l'étude a permis d'évaluer l'état de la qualité du milieu par la mesure des paramètres chimiques dans les eaux usées et marines au niveau de sept principaux points de rejets et de huit stations côtières, et une évaluation de la bioaccumulation des métaux traces (Cd, Cr, Cu, Pb et Hg) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*.

L'analyse des eaux usées révèle une charge polluante intense, notamment en matières organiques, matières en suspension, éléments nutritifs (orthophosphates, azote ammoniacal, azote Kjeldahl), sels (sulfates, chlorures) et métaux toxiques (spécialement en Cr). Par ailleurs, l'étude physico-chimique des eaux marines littorales révèle une oxygénation modérée du milieu et des teneurs élevées en matières azotées et en orthophosphates, ce qui témoigne de l'influence des apports d'eaux usées urbaines et industrielles.

Les teneurs en métaux traces mesurées dans la chair de moule *M. galloprovincialis* montrent des variations significatives selon les stations et les saisons de prélèvement. Le site à proximité de l'embouchure de Oued El Mellah accuse les teneurs moyennes les plus fortes en Cr (18.71 µg.g⁻¹ p.s.), suivi de Oukacha (quartier industriel) avec une moyenne de 14.41 µg.g⁻¹ p.s., en accord avec les teneurs en Cr enregistrées au niveau du point de rejet C5 à proximité de cette station. Cette dernière présente aussi des teneurs élevées en Pb (11.64 µg.g⁻¹ p.s.). La station à proximité de l'émissaire d'une usine d'électrolyse et de pétrochimie présente les plus fortes concentrations en mercure, avec une valeur moyenne de 1.53 µg.g⁻¹ p.s. La comparaison de nos résultats aux valeurs limites fixées par la Commission des Communautés Européennes, montre que les moules du littoral casablançais sont sur le seuil critique de contamination métallique.

Les variations saisonnières enregistrent l'existence d'un maximum hivernal, en étroite relation avec le cycle physiologique des moules. La variation interannuelle, testée par analyse de variance (ANOVA), ne montre aucune différence significative au niveau de la majorité des métaux et des sites étudiés, à l'exception de Oukacha.

MOTS CLÉS :

qualité de l'eau, bioindicateur, métaux traces, suivi, littoral Casablanca- Mohammadia.

Abstract

Bouthir F.Z., A. Chafik, S. Benbrahim, S. Souabi, H. El Merdhy, A. Messoudi, M. Sifeddine, 2004 – [Quality of Wilaya du grand Casablanca coastal waters (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel *Mytilus galloprovincialis* as an indicator of metal contamination]. *Mar. Life*, 14 (1-2): 59-70.

In this study, we elaborate a diagnosis concerning the healthiness of two coastal cities in Morocco, Casablanca and Mohammadia, by using the physico-chemical characterization of marine and wastewater at seven collectors and eight coastal stations, and by an evaluation of the bioaccumulation of trace metals (Cd, Cr, Cu, Pb & Hg) in the mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*.

The characterization of the collectors reveals an intense polluting load, especially in organic matter, suspended material, nutrients (orthophosphates, nitrogen ammoniacal and Kjeldahl), salts (sulphates, chlorides) and toxics metals (Cr specially). Moreover, the physico-chemical characteristics of seawater reveals a moderate oxygenation in the area, and an elevation in the nitrogen matter and orthophosphates, indicating the effects of urban and industrial discharges of wastewater.

Trace metal concentrations in mussels depend on stations and sampling period. Site in the approximate of the estuary Oued El Mellah had the highest mean concentrations of chromium (18.71 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight), followed by those collected at the industrial zone Oukacha (14.41 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight). This last site presents also the highest concentration of Pb (11.64 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight). Mussels in the site near the factory of petrochemical industry present the highest values of Hg concentrations. The comparison of our results to the limits values of the European Commission, show that the mussels in the Casablanca coast are near of the critical threshold of metallic contamination.

Seasonal variations in trace metals concentrations showed a winter maxima, and coincids with a seasonal physiological cycle of the animals. The interannuel effects was tested by the results of an analysis of variance (ANOVA), which doesn't show significant difference for all metals and the sites studied, except Oukacha site.

KEY-WORDS :

water quality, bioindicator, trace elements, monitoring, Casablanca- Mohammadia littoral.

1 – Introduction

La situation géographique de la Wilaya du grand Casablanca (Casa- Mohammadia) sur la bordure océanique marocaine, sa concentration démographique (plus de 21,65% de la population marocaine) (Sbaï, 2001), et l'importance de ces deux ports, font de cette région une zone favorable au développement économique et le premier pôle industriel du pays (plus de 4000 établissements industriels sont recensés entre ces deux villes) (Anonyme, 2000). Parallèlement à ce développement, elle représente la zone littorale marocaine la plus menacée par une pollution d'ordre anthropique. Le déversement direct d'eaux usées dans le milieu marin, sans aucun traitement préalable dans la plupart des cas, constitue l'un des problèmes majeurs au niveau de la Wilaya et suscite beaucoup d'inquiétude quant à l'impact de ces rejets sur l'écosystème récepteur. Parmi les polluants les plus toxiques se trouvent les métaux lourds. Leur capacité à être assimilés et concentrés par des organismes marins représente une menace tant pour le milieu aquatique que pour l'homme (Prudente *et al.*, 1997). De plus, certains éléments tels le Hg, Cd, Pb et Cr ne possèdent aucun rôle biologique connu et sont toxiques même à faible concentration (Amiard *et al.*, 1986 ; Joiris *et al.*, 2000).

L'objectif de cette étude, effectuée dans le cadre d'un programme de surveillance de la qualité et de la salubrité du milieu marin littoral marocain, est de contribuer à la constitution d'une base de données relatives à la pollution chimique des zones côtières. Elle se propose d'évaluer qualitativement la charge polluante émanant des effluents de la Wilaya de Casablanca, ainsi que la qualité des eaux marines par la détermination des paramètres physico-chimiques. Elle permettra également de déterminer le degré de la contamination métallique de la moule *Mytilus galloprovincialis* prise comme organisme sentinelle et bioindicateur de cette pollution (Cossa, Lassus, 1989 ; Say *et al.*, 1990 ; Lauenstein, Dolvin, 1992 ; Hare *et al.*, 1994 ; Hall *et al.*, 1995 ; Herut *et al.*, 1996 ; Brown *et al.*, 1997 ; Chafik *et al.*, 2001), et de suivre les variations interannuelles de cette contamination.

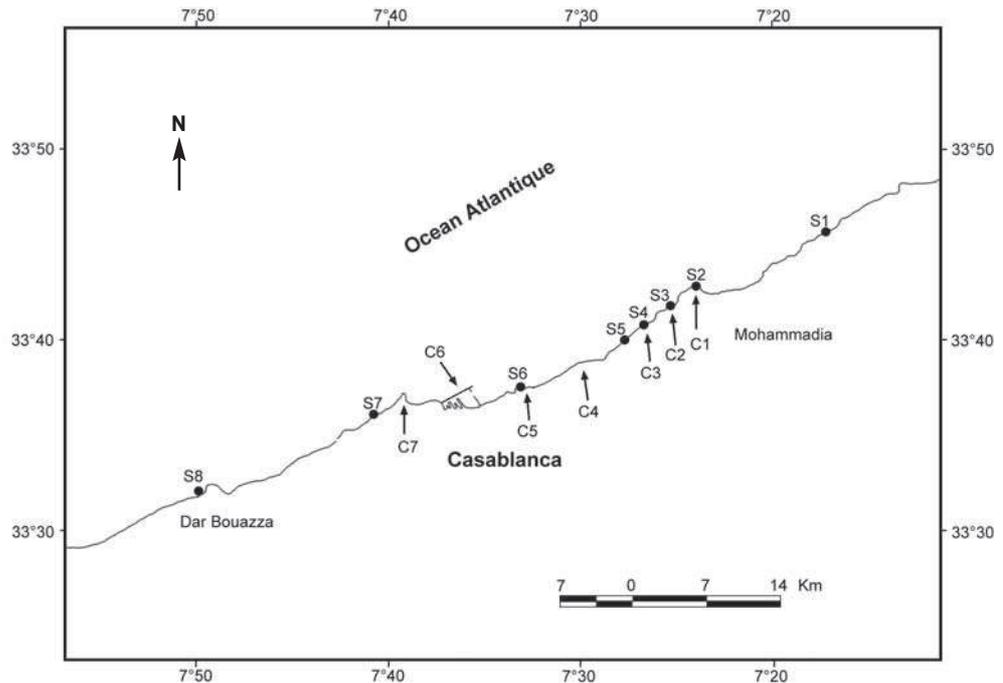
2 – Matériel et méthodes

2.1 – Stations de prélèvements

Huit stations d'échantillonnage sont choisies entre Casablanca et Mohammadia. Leur choix est basé, outre sur la présence des moules, sur leur situation par rapport aux principaux points de rejets urbains et industriels (**figure 1**) :

Figure 1

Localisation des sites d'études (S), et des points de rejets (C) sur la zone côtière Casablanca-Mohammadia (Maroc) / Location of the studies stations (S), and collectors (C) in the coastal zone of Casablanca-Mohammadia (Morocco).



S1 : Site de Mansouria situé sur la côte nord (à 8 km de Mohammadia, à proximité des zones balnéaires et agricoles) ;

S2 : Situé près de l'embouchure de l'estuaire de Oued El Mellah, et du point de rejet C1 (recevant la majorité des eaux usées domestiques et des petites industries de Mohammadia) ;

S3 : Situé au voisinage immédiat du point de rejet C2 d'une raffinerie de pétrole ;

S4 : Situé à proximité du point de rejet C3 d'une usine d'électrolyse et de pétrochimie ;

S5 : Situé sur une zone balnéaire (plage de Paloma) ;

S6 : Situé sur un platier rocheux (Oukacha), à proximité de la zone industrielle de Aïn Sebâa et du point de rejet C5 (au nord du port de Casablanca) ;

S7 : Situé à proximité d'une zone balnéaire et touristique (la plage de Sidi Abderhmane) (reçoit les rejets à faible débit du lac Sindibad en provenance de l'Oued Bouskoura qui connaît une grande eutrophisation) ;

S8 : Situé au niveau de Dar-Bouazza, à 25 km au sud de Casablanca.

Les points de rejets en plus de C1, C2, C3 et C5, ayant fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique sont :

C4 : Collecteur de Sidi Bernoussi qui draine la majorité des rejets industriels de la préfecture de Zenata - Sidi Bernoussi ;

C6 : Collecteur de la jetée des phosphates du port de Casablanca recevant un important rejet urbain intense et des effluents des industries chimiques) ;

C7 : Collecteur d'El Hank (reçoit essentiellement des

effluents urbains et issus des industries de textile, métallurgie, chimie et parachimie).

2.2 – Echantillonnage

L'échantillonnage est effectué saisonnièrement de l'été 1998 jusqu'au printemps 2002, voire même mensuellement à partir de 2001, et ceci pour avoir plus de précision sur les différents facteurs régissant l'accumulation des métaux au sein de *Mytilus galloprovincialis* (soit 23 campagnes de prélèvements).

Les échantillons d'eaux usées sont prélevés à la sortie des points de rejets, ceux de l'eau de mer sont prélevés à marée basse. Les échantillons d'eaux sont stockés séparément dans des flacons en polyéthylène, préalablement lavés et rincés à l'eau distillée puis à l'eau du point de prélèvement, ils sont ensuite transportés dans des glacières en vue de leur stockage au réfrigérateur à +4°C jusqu'à analyse.

Les échantillons de moules sont collectés à la main au niveau de l'étage médiolittoral inférieur. Environ quarante individus adultes (taille moyenne entre 3 et 5 cm), sont récoltés et triés sur place, nettoyés puis stockés dans des flacons en polyéthylène, préalablement lavés, et contenant de l'eau du lieu de prélèvement. Après une période de purge allant jusqu'à 36 heures, les parties molles sont séparées des coquilles. Elles sont lavées à l'eau distillée puis égouttées. Ensuite elles sont finement homogénéisées à l'aide d'un broyeur à couteau inox puis lyophilisées

pendant 3 à 4 jours jusqu'à poids constant, broyées et conservées dans des flacons hermétiquement bouchés.

2.3- Analyse des échantillons

La caractérisation des effluents liquides est obtenue par la détermination des paramètres physico-chimiques (turbidité, température, pH, oxygène dissous, demande chimique en oxygène, matières en suspension, éléments nutritifs (orthophosphates, azote ammoniacal, azote Kjeldahl, nitrites, nitrates), sels (sulfates, chlorures) et métaux (Cd, Cu, Cr et Pb) suivant les méthodes AFNOR (1994).

La qualité des eaux marines est évaluée par la détermination des paramètres physico-chimiques (température, pH, salinité, oxygène dissous, matières en suspension et éléments nutritifs (orthophosphates, nitrites, nitrates)) selon les méthodes décrites par Aminot et Chaussepied (1983).

Le dosage du Cd, Cu, Cr et Pb, est effectué après minéralisation des échantillons prélevés suivant la méthode de Cossa et Bourget (1980), sur une prise d'essai de 0,2 g de lyophilisat, par attaque avec 4 mL d'acide nitrique suprapur (Merck), à température ambiante pendant au moins 1 heure puis au four à micro-ondes pendant 5 minutes à 80% suivi de 2,20 minutes à 100%. Après refroidissement, le minéralisat est complété à 50 mL avec de l'eau de haute pureté (Milli-Q).

La minéralisation du Hg est effectuée par attaque nitrique (Merck spécial Hg) sur une prise d'essai de 0,25 g en présence de 0,045 g de pentoxyde de vanadium, poursuite dans les mêmes conditions de temps et de chauffage que celles décrites pour les autres métaux, puis ajout de 1 mL d'une solution de $K_2Cr_2O_7$ (10% masse / volume) avant dilution à 50 mL avec de l'eau Milli-Q.

Le dosage des éléments métalliques (Cd, Cu, Cr et Pb) est réalisé par la méthode électrothermique à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer 3100, muni d'un four graphite (HGA-600) et correction Zeeman. Le mercure est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique par la technique des vapeurs froides (FIMS.100 Perkin Elmer).

Chaque série d'analyse est testée par le dosage d'échantillon certifié (SRM 2 976 ou DORM-2) provenant de l'AIEA. Les résultats sont exprimés en ppm de p.s. ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de poids sec) (**tableau I**).

L'analyse de variance (ANOVA) est effectuée par le logiciel Statistica (version 6.0) pour comparer les teneurs moyennes des métaux selon les sites, les saisons et les variations interannuelles. Le calcul des corrélations entre les métaux et les paramètres physico-chimiques est réalisé à l'aide du programme BIOMEKO (Biométrie Ecologique) (Snedecor, Cochran, 1989).

3 – Résultats

3.1 – Paramètres hydrologiques

La caractérisation physico-chimiques des principaux rejets de la Wilaya du Grand Casablanca, révèle une charge polluante intense (**tableau II**). En effet, les résultats des paramètres analysés nous montrent qu'ils dépassent les valeurs admises dans le cas des eaux usées déversées dans le milieu naturel. La majorité des effluents, et plus spécialement C4 et C5 accusent des valeurs plus élevées en matière organique, en matière en suspension, en éléments nutritifs (orthophosphates, azote ammoniacal, azote Kjeldahl) et en sels (sulfates, chlorures), comparées aux résultats obtenus avec les autres collecteurs. Ajouter à cela, les teneurs en métaux (Cr, Cu, Cd et Pb) enregistrées au niveau de C5 qui ont atteint respectivement des moyennes de $1903 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $219,4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $1,7 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ et $77,9 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ et la présence du Cd au niveau de C6 et C1. Par ailleurs, l'application de l'analyse en composante principale à ces résultats dans l'étude effectuée par Bouthir *et al.* (2003), la carte factorielle et le cercle de corrélation nous ont permis de grouper les effluents : (C2, C3) à origine industrielle, les collecteurs (C1, C6, C7) ont plutôt des tendances domestiques, le troisième groupe (C4, C5) est à caractère mixte plus nuisible.

L'étude physico-chimique des eaux marines littorales révèle une oxygénation modérée du milieu (**tableau III**), qui a pour origine les taux élevés de matières organiques rejetées. Toutefois, les valeurs observées ne sont pas critiques. Les valeurs du pH oscillent entre 6 et 8,5, en revanche leurs moyennes enregistrées restent en majorité celles spécifiques au milieu marin. Les valeurs de la salinité demeurent relativement stables, à l'exception des sites S7 et S2. De plus, l'étude spatiale des éléments nutritifs montre que les sites S2 et S7 présentent une forte charge en matières azotées et en orthophosphates. Les valeurs en nitrates enregistrées au niveau de S7 retrouvent leur explication par l'intense

Tableau I

Moyennes et écarts types pour les valeurs mesurées et les valeurs certifiées, n = 6 / Average and standards deviations for obtained and certified values, n=6.

Echantillon certifié	Cd (SRM 2976)	Cr (SRM 2976)	Cu (SRM 2976)	Pb (SRM 2976)	Hg (DORM-2)
Valeur trouvée (ppm de p.s.)	0.72 ± 0.12	0.49 ± 0.16	3.17 ± 0.74	1.12 ± 0.33	4.59 ± 0.69
Valeur certifiée (ppm de p.s.)	0.82 ± 0.16	0.50 ± 0.16	4.02 ± 0.33	1.19 ± 0.15	4.64 ± 0.26

Tableau II

Qualité physico-chimique moyenne des rejets de la Wilaya du grand Casablanca (février - juillet 1999) (moyenne ± écart type, minima et maxima entre parenthèses) / Average physico-chemical quality of the waste waters of the Wilaya of Casablanca coast (February - July 1999).

Paramètres	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Turb (NTU)	540.1 ± 345 (290-786)	137.5 ± 51 (99-176)	221.75 ± 33 (200-249)	442.5 ± 174 (321-564)	568 ± 165 (451-568)	304.5 ± 29 (279-320)	501.5 ± 38 (475-528)
T °C	21.4 ± 1.7 (20.2-22.6)	23.35 ± 1.5 (22.1-24.6)	25.65 ± 1.2 (24.8-26.5)	23.8 ± 1.7 (22.6-25)	29.15 ± 1.7 (28.1-30.3)	25.13 ± 0.9 (24.5-26)	24.4 ± 1.6 (23.3-25.5)
pH	7.3 ± 0.6 (6.8-7.3)	8.78 ± 0.3 (8.5-8.8)	10.93 ± 1.2 (10.1-11.6)	6.75 ± 0.66 (6.1-6.8)	6.84 ± 1.61 (5.6-6.9)	7.18 ± 0.32 (7-7.2)	7.41 ± 0.4 (7.2-7.7)
O ₂ (mg.L ⁻¹)	1.73 ± 1.5 (0.68-2.77)	2.7 ± 1.13 (1.9-3.5)	3.05 ± 0.49 (2.7-3.4)	1.2 ± 1.7 (0-2.5)	1.8 ± 1.6 (0.6-3)	1.8 ± 0.4 (1.3-1.9)	2.38 ± 1.62 (1.2-3.5)
PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹)	97.87 ± 19 (83-112.2)	2.83 ± 1.3 (1.9-3.7)	4.69 ± 0.95 (3.8-5.5)	125.14 ± 12 (112-132)	165.8 ± 50 (131-201.5)	252.48 ± 24 (233-271)	22.03 ± 4.2 (18.3-25.2)
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0.11 ± 0.05 (0.06-0.15)	0.02 ± 0.01 (0.01-0.02)	0.04 ± 0.01 (0.02-0.04)	0.03 ± 0.04 (0-0.06)	0.05 ± 0.07 (0-0.12)	0.3 ± 0.44 (0-0.81)	0.01 ± 0.01 (0-0.03)
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0.29 ± 0.09 (0.22-0.36)	0.78 ± 0.31 (0.52-1.02)	1.48 ± 1.21 (0.63-2.35)	0.26 ± 0.21 (0.05-0.49)	0.26 ± 0.13 (0.12-0.37)	1.95 ± 2.81 (0-4.2)	0.09 ± 0.08 (0.05-0.16)
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	26.75 ± 3.7 (23.2-29.4)	19.1 ± 2.56 (16.8-21.3)	15.6 ± 4.13 (11.8-19.4)	54.3 ± 12.3 (45.1-63.5)	39.95 ± 3.9 (36.2-42.9)	26.8 ± 4.7 (22.8-31)	46.6 ± 4.28 (41.2-50.1)
NTK (mg.L ⁻¹)	34.95 ± 2.1 (33.5-36.5)	38.75 ± 5.6 (34.8-42.8)	33.7 ± 3.54 (30.5-36.4)	66.1 ± 13.2 (57.1-75.2)	56.8 ± 38.6 (29.4-84.5)	37.4 ± 2.64 (34.4-40)	61.5 ± 2.48 (58.4-63.2)
DCO (mg.L ⁻¹)	1202 ± 283 (972-1431)	608.8 ± 234 (413-760)	1424 ± 333 (1121-1631)	2459 ± 398 (2077-2741)	2180 ± 167 (2060-2306)	1874 ± 161 (1748-1993)	633.9 ± 141 (594-693)
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	3000 ± 275 (2746-3174)	2594 ± 680 (2112-3075)	3190 ± 1267 (2293-4085)	2182 ± 402 (1908-2406)	1718 ± 487 (1370-2065)	1500 ± 431 (1218-1782)	939 ± 138 (814-1078)
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	723.2 ± 107 (640-804.6)	1263 ± 353 (1013-1513)	265 ± 167 (177-352)	1962 ± 255 (1781-2142)	3151 ± 1433 (2132-4168)	2119 ± 1430 (1100-3140)	462.7 ± 162 (347-594)
MES (mg.L ⁻¹)	491.4 ± 296 (281-702)	164.7 ± 119 (50.6-278.7)	127.2 ± 72.8 (87.5-164.8)	809.7 ± 215.9 (652-963.2)	988.4 ± 231 (820-1157)	851 ± 633.3 (401-1304)	665.6 ± 198 (495-832)
Cu (µg.L ⁻¹)		12.35 ± 17 (2.1-53.66)	6.87 ± 5.49 (0-13.62)	39.26 ± 32.2 (8.82-104.9)	219.4 ± 541 (6.92-1555)	26.32 ± 25 (5.7-84.28)	9.62 ± 7.25 (1.37-22)
Cd (µg.L ⁻¹)		1.71 ± 1.24 (0-4.17)	0.77 ± 0.51 (0-1.52)	0.72 ± 0.49 (0.36-2.04)	1.70 ± 2.12 (0-6.67)	1.99 ± 2.40 (0-7.20)	0.30 ± 0.16 (0.05-0.46)
Cr (µg.L ⁻¹)		36.5 ± 30.3 (0-86)	39.2 ± 30.4 (0-87.8)	100.5 ± 83.2 (27.3-348.2)	1903 ± 1784 (101-4812)	104.9 ± 55.1 (44.4-222.5)	150 ± 113 (79.1-395.6)
Pb (µg.L ⁻¹)		10.3 ± 6.22 (5.04-28.8)	30.03 ± 42.51 (0-127.7)	28.28 ± 17.53 (10.63-64.34)	77.9 ± 158.4 (6.9-469)	8.38 ± 5.79 (0.44-17.25)	5.03 ± 3.13 (1.38-9.20)

Valeurs calculées à partir de six prélèvements en février et juillet 1999 (à 9 h, 12 h et 17 h).

Turb : Turbidité ; O₂ : Oxygène dissous ; PO₄³⁻ : Orthophosphates ; NTK : Azote Kjeldhal ;

DCO : Demande chimique en oxygène ; MES : Matières en suspension.

Tableau III

Moyennes interannuelles des paramètres hydrologiques le long du littoral de la Wilaya du grand Casablanca (Moyenne ± écart type, minima et maxima entre parenthèse) / Interannual means for hydrological parameters at marine stations along the Wilaya of Casablanca coast (Means ± standards deviations and ranges).

Site	T (°C)	pH	S	O ₂ (mg.L ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (µg.L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (µg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (µg.L ⁻¹)	MES (mg.L ⁻¹)
S1	18.8 ± 3.1 (13-24)	8.1 ± 0.2 (7.5-8.5)	35.6 ± 0.8 (34-37)	4.8 ± 1.0 (3.3-6.6)	32 ± 33 (8-128)	12 ± 8.8 (2-30)	195 ± 169 (10-675)	14.8 ± 22.6 (3-103)
S2	19.7 ± 3.4 (14-27)	7.9 ± 0.6 (6.4-8.4)	33.9 ± 1.7 (29.8-36)	4.5 ± 0.5 (3.2-5.7)	81 ± 79 (9-263)	79 ± 52 (11-244)	948 ± 1002 (103-846)	20.0 ± 12.8 (3-46)
S3	19.5 ± 3.6 (14-28)	7.9 ± 0.5 (6.0-8.4)	35.1 ± 1.2 (32-36.6)	4.6 ± 0.6 (3.2-5.5)	44 ± 45 (7-155)	25 ± 15 (5-65)	232 ± 158 (14-493)	14.9 ± 10.2 (1.8-37.8)
S4	19.4 ± 3.0 (15-26)	8.1 ± 0.4 (6.8-8.5)	35.3 ± 1.4 (31-38)	4.7 ± 0.7 (3.4-5.8)	47 ± 33 (8-116)	21 ± 15 (1-59)	268 ± 117 (87-530)	32 ± 35 (4-139)
S5	19.6 ± 2.2 (14.6-22)	8.1 ± 0.2 (7.6-8.5)	35.3 ± 0.9 (33-37)	4.9 ± 0.6 (3.9-6.3)	37 ± 26 (62-100)	16 ± 12 (4-44)	422 ± 767 (64-3692)	14.8 ± 13.2 (1-58)
S6	18.5 ± 1.9 (15.8-22)	7.8 ± 0.2 (7.4-8.1)	35.2 ± 1.2 (33.4-36)	4.3 ± 0.7 (2.7-5.4)	75 ± 80 (8-309)	38 ± 27 (72-102)	347 ± 170 (98-602)	31 ± 29 (7-112)
S7	19.7 ± 2.4 (16.2-24)	8.2 ± 0.4 (7.2-8.6)	30.9 ± 4.2 (23-35.5)	5.3 ± 0.7 (4.5-6.3)	96.8 ± 95.9 (8-305)	216 ± 171 (41-659)	2058 ± 1722 (202-5355)	30 ± 25 (2.2-80.0)
S8	18.9 ± 1.9 (17-23)	7.9 ± 0.6 (6.4-8.3)	35.4 ± 1.1 (33.8-36)	4.8 ± 0.6 (4.1-5.7)	30 ± 30 (4-97)	22 ± 18 (4.6-71.2)	362 ± 262 (43-825)	34.8 ± 20.0 (9.1-81.8)

Valeurs calculées à partir de 22 déterminations de l'été 1998 à l'hiver 2002.

T : Température ; S : Salinité ; O₂ : Oxygène dissous ; PO₄³⁻ : Orthophosphates ; NO₂⁻ : Nitrites ; NO₃⁻ : Nitrates ; MES : Matières en suspension.

eutrophisation que connaît le lac Sindibad qui se déverse à proximité de cette station. Cependant, les teneurs des différents paramètres redeviennent normales en s'éloignant des points de rejets au niveau des sites faiblement anthropisés S1, S5 et S8 du fait du brassage permanent des eaux côtières, dû essentiellement aux agents hydrodynamiques assurant le mélange des eaux de surface avec celles du fond et du large, et favorisant ainsi une dispersion de la charge polluante.

3.2 – Teneurs métalliques chez la moule *M. galloprovincialis*

Les teneurs métalliques moyennes sont résumées dans le **tableau IV**.

Les teneurs moyennes en Cd sont en général faibles, à l'exception d'une hausse enregistrées au niveau de S7 et S8 avec des moyennes respectives de 1,21 et 0,98 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de poids sec (p.s.) et des maximums de 2,24 et 3,64 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s. Les teneurs en Cu accusent des valeurs relativement élevées au niveau de S2, S4 et S6 avec des moyennes de l'ordre de 25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s. Le Cr est accumulé à des teneurs élevées atteignant jusqu'à des valeurs de 47 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s., surtout au niveau des sites S2, S4, S6 et S7. Les teneurs en Pb accusent des moyennes atteignant jusqu'à 11,64 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s. au niveau de S6. Concernant le Hg, les variations des teneurs moyennes sont caractérisées par un pic bien individualisé au niveau de S4, avec une moyenne de 1,53 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s. et un maximum de 7,73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s., alors qu'au niveau des autres stations ils sont relativement faibles.

4 – Discussion

La caractérisation physico-chimique des différents points de rejets, le long de l'axe Mohammadia – Casablanca, a permis d'apprécier la qualité des eaux rejetées vers l'espace littoral soumis à une forte anthropisation. Toutefois, les eaux marines retrouvent leur état normal à quelques kilomètres seulement des effluents. Les variations spatiales des paramètres physico-chimiques mesurés, rendent bien compte de cet état, puisque les stations marines faiblement anthropisées accusent des valeurs qui ne sont pas critiques du fait du brassage permanent des eaux côtières.

Chez *M. galloprovincialis*, les niveaux de contamination métallique indiquent que la majorité des métaux présentent une différence significative entre les

diverses stations étudiées. Constat confirmé par l'analyse des variances (ANOVA) (**tableau V**) qui montre des coefficients significatifs à hautement significatifs, sauf dans le cas du cuivre. En effet, d'après Claisse (1992), les moules régulent très fortement leur contenu en Cu, ceux trouvés dans la présente étude sont en moyenne compris entre 8,72 et 25,95 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s., ils sont en grande partie supérieurs à la valeur moyenne du cuivre chez les bivalves qui est de 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s. (Bryan, 1976).

La présence du Cd chez les moules de Sidi Abderhmane (S7) et de Dar Bouâzza (S8) est due aux rejets des petites industries métallurgiques, chimiques et parachimiques au niveau des points de rejet C5 et C6 (**tableau II**). Sous l'effet des courants littoraux, cette pollution se déplace vers le sud. Elle peut être associée aux apports des terrains agricoles aux alentours des deux sites, où sont utilisés des engrais phosphatés riches en Cd, comme ils peuvent être contaminés par leur voisinage de la région du Jorf Lasfar à 120 km de S8 au sud de Casablanca. En effet, d'après une étude menée par Kaimoussi *et al.* (2002), cette région accuse des valeurs entre 4,5 et 18,2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s. en Cd. Néanmoins, les concentrations en cadmium les plus faibles rencontrées dans les moules du littoral casablançais peuvent être considérées comme représentative du bruit de fond naturel comparées à d'autres régions plus industrialisées.

Les teneurs moyennes en Cr dans les moules sont élevées comparées à d'autres aires comme le littoral français avec une moyenne de $1,7 \pm 1,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s (RNO, 1994), ce qui est en bonne corrélation avec les résultats de la caractérisation effectuée sur le point de rejet C5. Ces valeurs rendent bien compte de l'ampleur de la pollution causée par les rejets des industries du textile, de la tannerie et de la métallurgie, effluents déversés directement dans le milieu marin.

Les teneurs en plomb marquent un pic bien individualisé au niveau du site de Oukacha (S6), attribuable aux rejets des industries de la région de Aïn Sebâa, sans négliger pour autant le rôle du trafic routier dans les apports en Pb.

La présence du Hg au niveau de S4 peut être mise en relation avec l'utilisation des cathodes de Hg pour la fabrication du chlore et de la soude, tandis qu'au niveau des autres sites, les teneurs restent inférieures aux valeurs limites tolérables dans les produits de la mer (0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de poids frais) (CEE, 2001), avec dans notre cas : $R(\text{poids sec} / \text{poids frais}) = 5$.

Afin de mieux comparer les niveaux de pollution métallique suivant les différents sites du littoral entre Casablanca et Mohammadia, nous avons calculé

Tableau IV

Teneurs métalliques moyennes ($\mu\text{g.g}^{-1}$ p.s.) chez *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la Wilaya de Casablanca (Moyenne \pm écart type, minima et maxima entre parenthèses). / Means metals contents (ppm dry weight) in *Mytilus galloprovincialis* along the Wilaya of Casablanca coast.

Site	n	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg
S1	23	0.46 \pm 0.29 (0.02-1.29)	6.40 \pm 2.99 (1.88-11.14)	17.21 \pm 8.59 (5.14-32.21)	3.02 \pm 3.85 (1.16-16.73)	0.26 \pm 0.21 (0.02-0.85)
S2	22	0.55 \pm 0.50 (0.14-2.06)	18.71 \pm 11.35 (8.82-47.19)	25.95 \pm 19.49 (6.69-66.76)	3.89 \pm 1.46 (1.88-6.13)	0.29 \pm 0.19 (0.10-0.81)
S3	23	0.35 \pm 0.19 (0.06-0.81)	9.77 \pm 4.34 (4.41-17.89)	17.59 \pm 13.49 (5.85-52.71)	2.57 \pm 2.19 (0.52-8.02)	0.26 \pm 0.18 (0.04-0.68)
S4	23	0.34 \pm 0.18 (0.09-0.65)	11.22 \pm 5.1 (3.62-20.56)	25.4 \pm 18.48 (7.01-71.18)	4.58 \pm 4.22 (0.91-15.65)	1.53 \pm 1.57 (0.50-7.73)
S5	18	0.45 \pm 0.27 (0.04-0.81)	8.38 \pm 3.97 (1.63-16.53)	8.72 \pm 2.87 (3.58-12.17)	2.82 \pm 1.48 (1.03-5.42)	0.31 \pm 0.22 (0.04-0.92)
S6	22	0.44 \pm 0.17 (0.12-0.85)	14.41 \pm 7.33 (5.38-29.68)	25.47 \pm 39.89 (7.49-156)	11.64 \pm 6.07 (4.21-28.8)	0.28 \pm 0.20 (0.05-0.85)
S7	11	1.21 \pm 0.52 (0.68-2.24)	11.46 \pm 10.42 (3.35-32.57)	-	-	0.38 \pm 0.30 (0.06-0.83)
S8	22	0.98 \pm 0.74 (0.29-3.64)	6.69 \pm 2.46 (2.00-10.22)	15.08 \pm 15.15 (6.67-64.15)	2.79 \pm 1.70 (1.06-6.62)	0.21 \pm 0.15 (0.05-0.64)

Tableau V

Résultats de l'analyse de variances (Test F, ANOVA) des concentrations métalliques (p.s.) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la Wilaya de Casablanca. / F values for the analysis of variance (ANOVA) on metal concentrations (d.w.) in the mussel *Mytilus galloprovincialis* along the Wilaya of Casablanca coast.

Coefficient	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg
Facteur site	16.06 ***	0.77 NS	4.84 **	6.74 **	6.39 ***
Facteur saison	18.85 ***	7.41 *	19.84 ***	12.64 **	50.16 ***
Facteur année	0.99 NS	3.59 NS	7.03 **	0.46 NS	0.56 NS

* : Significatif (p < 0.05); ** : Très significatif (p < 0.01); *** : Hautement significatif (p < 0.001); NS : Non significatif.

Tableau VI

Indices de contamination métallique (I_c) de la moule *Mytilus galloprovincialis* le long du littoral de la Wilaya du grand Casablanca. / Metal contamination indices for the mussel *Mytilus galloprovincialis* along the Wilaya of Casablanca coast.

Ic	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	ΣI_c
S1	0.84	0.60	0.85	0.67	0.56	3.52
S2	<u>1.00</u>	<u>1.75</u>	<u>1.28</u>	0.84	0.64	<u>5.51</u>
S3	0.63	0.91	0.87	0.56	0.57	3.54
S4	0.63	<u>1.05</u>	<u>1.26</u>	<u>1.00</u>	<u>3.38</u>	<u>7.32</u>
S5	0.83	0.78	0.43	0.61	0.69	3.34
S6	0.81	<u>1.34</u>	<u>1.26</u>	<u>2.52</u>	0.62	<u>6.55</u>
S7	<u>2.22</u>	<u>1.07</u>	-	-	0.83	4.12 *
S8	<u>1.79</u>	0.62	0.74	0.68	0.45	4.28

* : cette valeur est exempte des teneurs en Cu et en Pb.

l'indice de contamination métallique I_c des moules selon la formule : $I_c S_x$ (métal γ) = S_x / M ; avec S_x = Teneur moyenne du métal γ à la station x (en ppm p.s.); M = Teneur moyenne de γ dans toutes les stations (en ppm p.s.). Cet indice a été adapté, par plusieurs auteurs (Chafik *et al.*, 2001; Kaimoussi *et al.*, 2002), pour s'affranchir de l'absence de normes ou de standards environnementaux. Il a ainsi permis de comparer le degré de pollution des différentes stations par rapport à une moyenne régionale.

Les résultats obtenus (**tableau VI**) donnent le gradient décroissant de contamination pour tous les métaux combinés : $S_4 > S_6 > S_2 > S_8 > S_3 > S_1 > S_5$ (à l'exception de S7 par défaut de données sur le Cu et le Pb). La comparaison de nos résultats aux valeurs

limites fixées par la Commission des Communautés Européennes qui sont de $1 \mu\text{g.g}^{-1}$ pour le Cd; $0.5 \mu\text{g.g}^{-1}$ pour le Hg et $1.5 \mu\text{g.g}^{-1}$ pour le Pb (exprimées en poids frais) (CEE, 2001 et 2002) montre que les moules du littoral casablançais sont au seuil critique de contamination métallique, spécialement pour le Pb et le Hg.

Vue la situation de la zone d'étude sur l'axe côtier le plus industrialisé du Royaume, différents facteurs peuvent entrer en jeu. Les teneurs métalliques obtenues concordent avec d'autres études effectuées sur d'autres régions du Royaume et à travers le monde (**tableau VII**). Ces résultats sont confirmés par les investigations bionomiques sur le littoral de Casablanca - Mohammadia qui montrent une chute significative des paramètres écobiologiques (diversité, densité,

Localité	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Référence
Littoral Casablanca - Mohammadia	0.34-1.21	6.40-18.71	8.72-25.95	2.57-11.64	0.21-1.53	Présente étude ^a
Larache-Casa : Maroc	0.4-1.9	-	6.6-14.4	-	-	Chafik <i>et al.</i> (2001) ^a
Rabat, Maroc	0.13-1.5	-	2.4-12.2	-	-	Chafai (1994) ^a
El Jadida, Maroc	0.8-18.2	-	4.6-225	-	-	Kaimoussi (2002) ^a
Mer Méditerranée : Ouest Maroc	0.01-0.25	0.09-1.13	4.65-19.39	0.52-0.94	0.08-1.28	El Hamri, (1996) ^b
Baie d'Alger, Algérie	0.54-1.80	-	10.8-15.7	-	-	Abbada (1996) ^a
Portugal (côte sud)	1.3-3.1	-	4.8-7.0	-	-	Bebianno, Machado (1997) ^a
La Rochelle (France)	0.36-0.64	-	5.9-8.9	-	-	Radenac <i>et al.</i> (1997) ^c
Mer Méditerranée : France	0.09-36.20	-	2.3-52.2	0.10-83.20	-	RNO (1998) ^a
Atlantique Nord : France	0.20-13.00	0.10-4.20	0.9-33.9	0.15-13.7	0.03-0.70	RNO (1994) ^a
Victoria - Derwent, Australia	2-4	-	7-14	2-15	-	Manga (1980) ^c
Côte atlantique américaine	0.8-6.2	-	4.3-35.0	< 0.2-15.6	-	Goldberg <i>et al.</i> (1983) ^c
Pacifique (Hong Kong)	0.1-1.4	-	8.5-278	-	0.13	Philips (1985) ^d

(a) *Mytilus galloprovincialis*; (b) *Perna perna*; (c) *Mytilus edulis*; (d) *Perna viridis*.

	T	pH	Sal	O2	PO4	NO2	NO3	MES
Cd	-0.21	0.36	-0.70	0.56	0.26	0.75	0.73	-0.45
Cr	0.32	-0.43	-0.35	-0.53	0.90	0.35	0.35	0.11
Cu	-0.01	-0.74	0.59	-0.84	0.10	-0.58	-0.60	0.16
Pb	-0.55	-0.82	0.46	-0.81	0.20	-0.39	-0.48	0.40
Hg	-0.24	0.09	0.07	0.08	-0.04	-0.11	-0.10	0.21

Tableau VII

Teneurs métalliques ($\mu\text{g.g}^{-1}$ p.s.) chez les moules de différentes régions du monde. / *Range of metals concentrations (ppm dry weight) in mussels from different localities in the world.*

Tableau VIII

Matrice de corrélation entre les paramètres hydrologiques et les métaux. / *Correlation matrix between hydrological parameters and metals.*

Tableau IX

Matrice de corrélation entre les métaux étudiées. / *Correlation matrix between studies metals.*

	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg
Cd	1				
Cr	-0.11	1			
Cu	0.69	0.46	1		
Pb	0.47	0.39	0.68	1	
Hg	-0.28	0.07	0.31	0.05	1

richesse...) du macrobenthos intertidal à proximité des effluents, dénotant leur caractère polluant (Cheggour, 1999; Chafik *et al.*, 2001).

De nombreuses études ont mis en évidence l'influence des saisons sur l'accumulation métallique chez la moule (Cossa, Rondeau, 1985; Amiard *et al.*, 1986; Bayne *et al.*, 1989; Cossa *et al.*, 1990; Cain, Luoma, 1990; Stronkhorst, 1992; Langston, Spence, 1995; Mikac *et al.*, 1996). Dans notre étude, l'analyse des variances (ANOVA) (**tableau V**) montre des coefficients significatifs à hautement significatifs pour tous les métaux, traduisant un rythme saisonnier de la bioaccumulation métallique. Ainsi, les concentrations de la majorité des métaux augmentent nettement en fin hiver - début printemps et décroissent en fin été et en automne, en accord avec les travaux de la plupart des auteurs qui reconnaissent l'existence d'un maximum hivernal et d'un minimum estival chez diverses espèces de mollusques filtreurs : *Mytilus edulis*, *Crassostrea gigas*, *Crassostrea virginica*, *Mytilus californianus*, *Mytilus galloprovincialis*, *Cerastoderma edulis* et *Donax trunculus* (Sidoumou *et al.*, 1992; Cheggour, 1999; Chafik *et al.*, 2001; Kaimoussi *et al.*, 2002). Ces fluctuations saisonnières des teneurs métalliques peuvent être la conséquence d'une combinaison de facteurs directement corrélés au poids (maturité et cycles sexuels, abondance de nourriture, conditions climatiques environnementales) (Laurier, 2001; Dartige *et al.*, à paraître) mais aussi d'autres, indépendants, tels que la modification du cycle biogéochimique et de la biodisponibilité des métaux (Reinfeldt, Fisher, 1991; Lawson, Mason, 1998).

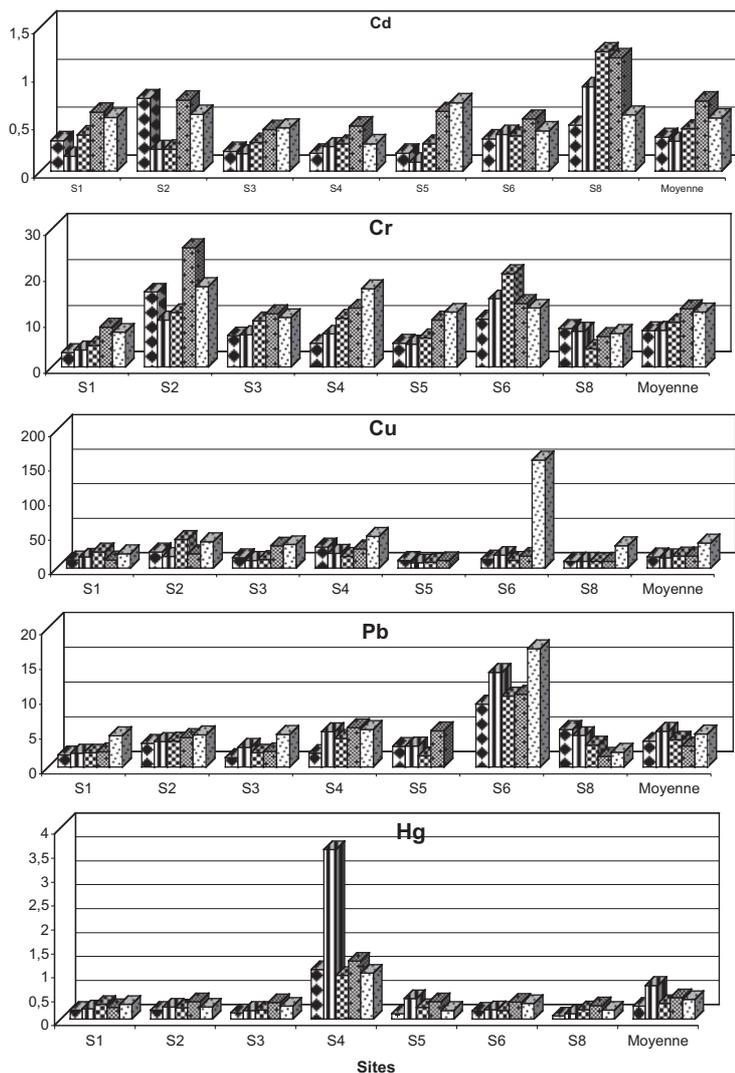
Les variations saisonnières des teneurs métalliques sont confirmées par la matrice de corrélation des métaux étudiés en fonction des paramètres du milieu, en utilisant les données globales sur l'ensemble des sites prospectés (**tableau VIII**). En effet, on enregistre des corrélations négatives entre la température et la majorité des métaux étudiés, notamment le Cd, le Pb et le Hg.

Les variations saisonnières des teneurs métalliques sont confirmées par la matrice de corrélation des métaux étudiés en fonction des paramètres du milieu, en utilisant les données globales sur l'ensemble des sites prospectés (**tableau VIII**). En effet, on enregistre des corrélations négatives entre la température et la majorité des métaux étudiés, notamment le Cd, le Pb et le Hg.

Figure 2

Variation interannuelle des teneurs métalliques moyennes chez la moule du littoral de Casablanca - Mohammadia (exprimées en ppm p.s.) / Interannual variation for metals contents means in the mussel along Casablanca - Mohammadia coast.

■ 1998 ■ 1999 ■ 2000
 ■ 2001 ■ 2002



La corrélation positive entre la salinité et le couple Cu et Pb, peut suggérer une action favorable de la salinité dans la bioaccumulation de ces deux métaux, comme elle peut induire une origine marine de ces éléments.

La corrélation négative du pH avec le Cu, Pb et Cr montre qu'une baisse du pH peut augmenter la solubilité de ces métaux et, par suite, leur accumulation par les moules. Pour les éléments nutritifs, on observe des corrélations positives des matières azotées et phosphorés avec le Cd et le Cr, indiquant leurs origines similaires. Il est à noter que l'aptitude du Cd à rester dans la colonne d'eau sous forme dissoute (Bryan, Langston, 1992) explique sa corrélation négative avec les MES.

L'examen de la matrice de corrélation (**tableau IX**) montre que la majorité des coefficients sont significativement positifs, suggérant un comportement et une origine similaires des métaux, spécialement entre Pb, Cr, Cu et Cd. Par ailleurs et en raison de la nature complexe des effluents (mélange de micropolluants),

il n'est pas aisé de conclure à une synergie entre les métaux. Toutefois leurs interactions peuvent influencer la prise des éléments métalliques par les moules.

Les tendances interannuelles des concentrations métalliques moyennes sont représentées en **figure 2**. L'examen de ces variations ne fait pas apparaître de tendances au niveau de la majorité des métaux, à l'exception du Cr qui accuse des hausses d'une année à l'autre sur la plupart des sites. L'analyse de variance ne montre pas de différence significative dans la concentration de la majorité des métaux, à l'exception du Cr qui enregistre une différence significative à $p < 0,05$ avec un coefficient F de 7,03. On note que la même remarque est enregistrée sur des données de cinq ans de surveillance du littoral français, dans lesquelles très peu de résultats étaient significatifs comparés à d'autres données du même littoral étalées sur vingt ans (RNO, 2000). Résultat qui confirme le besoin de pérennité dans un programme de surveillance.

On note, par ailleurs que la station S6 du quartier industriel de Oukacha marque des tendances croissantes (**figure 2**), ceci montre une réelle croissance de la contamination de ce site.

5 – Conclusion

L'analyse des eaux usées révèle une charge polluante intense en matière organique, éléments azotés et chrome, qui se répercute sur la qualité physico-chimique des eaux marines par une diminution des taux d'oxygène dissous et une teneur élevée en matières azotées et en orthophosphates, ceci est lié à l'enrichissement des eaux côtières en détritiques variés, anthropogéniques pour la plupart, qui provoquent une diminution du pH au niveau des stations les plus fortement anthropisées.

Par ailleurs, l'analyse des concentrations métalliques dans les tissus de la moule méditerranéenne *Mytilus galloprovincialis*, prise comme bioindicateur de pollution le long du littoral de la Wilaya du grand Casablanca, révèle une nette contamination, spécialement par le Hg, le Cr et le Pb dans les stations les plus industrialisées (S2, S4 et S6).

Les indices de contamination métallique des moules (Ic) permettent d'établir le gradient de pollution décroissant suivant : S4 > S6 > S2 > S8 > S3 > S1 > S5.

A la lumière de nos résultats chez les mollusques bivalves étudiés, il n'est pas exclu que d'autres maillons de la chaîne tropho-dynamique du littoral casablançais soient contaminés (crustacés, poissons, algues...). Aussi, il est impératif d'établir une adéquation entre le développement socio-économique et la sauvegarde de l'environnement marin et de procéder à des traitements d'épuration des eaux usées avant leur rejet dans le milieu marin.

On note que les tendances interannuelles donnent peu de résultats significatifs, en raison de la durée trop limitée de l'étude.

Bibliographie

- Abbada, B.Y.M.**, 1996 - *Cinétique, croissance, production et composition biochimique de deux bivalves mytilidés, Perna perna (L) et Mytilus galloprovincialis (Lmk) du littoral algérois*. Thèse de doctorat. Muséum national d'histoire naturelle, Paris.
- AFNOR**, 1994 - *Essais Physico-chimiques. Méthodes générales d'analyses et réactifs. Tome 2*, 760 pp.
- Amiard J.C., C. Amiard-Triquet, B. Berthet, C. Metayer**, 1986 - Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, lead, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. 1. Field study. *Mar. Biol.*, **90** : 425-431.
- Aminot A., M. Chaussepied**, 1983 - *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. CNEXO, Brest, 395 pp.
- Anonyme**, 2000 - *Région Grand Casablanca, débat national sur l'aménagement du territoire*. Direction de l'aménagement du territoire, Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat.
- Bayne B.L., A.J.S. Hawkins, E. Navarro, I.P. Iglesias**, 1989 - Effects of seston concentration on feeding, digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, **55** : 47-54.
- Bebianno M.J., M. Machado**, 1997 - Concentrations of metals and metallothioneines in *Mytilus galloprovincialis* along the South Coast of Portugal. *Mar. Pollut. Bull.*, **34** (8) : 666-671.
- Bouthir F.Z., A. Chafik, S. Souabi, S. Benbrahim, H. El Mardhy** (2003) - Étude de la pollution générée par les eaux usées urbaines et industrielles de la Wilaya du Grand Casablanca (Ville du Maroc), *J. catalytic Mat. Environ.*, vol. II, 139-147.
- Brown M.T., W.M. Hodgkinson, C.L. Hurt**, 1997 - Spatial and temporal variations in the copper and zinc concentrations of two green seaweeds from Otago Harbour, New Zealand. *Mar. environ. Res.*, **47** : 175-184.
- 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., W.J. Langston**, 1992 - Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries : a review. *Environ. Pollut.*, **76** : 89-131.
- Cain D.J., S.N. Luoma**, 1990 - Influence of seasonal growth, age, and environmental exposure on Cu and Ag in a bivalve indicator, *Macoma balthica* in San Francisco Bay. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, **60** : 45-55.

- CEE, 2001 - Règlement (CE) N° 466/2001 de la Commission du 8 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *J. o. Commun. europ.*, **L 77/1**, 13 pp.
- CEE, 2002 - Règlement (CE) N° 221/2002 de la Commission du 6 février 2002 modifiant le règlement (CE) N° 466/2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *J. o. Commun. europ.*, **L 37/4**, 3 pp.
- Chafai A.S., 1994 - *Étude de quelques aspects de la contamination métallique chez certains mollusques et poissons marins*. Thèse des sciences physiques, Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 155 pp.
- Chafik A., M. Cheggour, D. Cossa, S. Benbrahim, M. Sifeddine, 2001 - Quality of Moroccan Atlantic coastal water monitoring and mussel watching. *Aquat. Living Resour.*, **14** : 239-249.
- Cheggour M., 1999 - *Évaluation de la contamination métallique sur la côte atlantique marocaine et son environnement paralytique entre Larache et Safi - Étude de mollusques bivalves et leur biotope sédimentaire*. Thèse de Doct. Etat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 315 pp.
- Claïsse D., 1992 - Accumulation des métaux lourds et polluants organiques par les coquillages. In : *Coquillages et santé publique du risque à la prévention*. Ed. École nationale de santé publique, pp : 99-111.
- Cossa D., E. Bourget, 1980 - Trace element in *Mytilus edulis* L. from the estuary and gulf of St Lawrence, Canada: Lead and Cadmium concentrations. *Environ. Pollut., Ser. A*, **23** : 1-8.
- Cossa D., J.C. Rondeau, 1985 - Seasonal, geographical and size-induced variability in mercury content of *Mytilus edulis* in an estuarine environment: a re-assessment of mercury pollution level in the estuary and gulf of St Lawrence. *Mar. Biol.*, **88** : 43-49.
- Cossa D., P. Lassus, 1989 - Le cadmium en milieu marin. *Rapp. scient. tech. IFREMER*, **16**, 112 pp.
- Cossa D., Y. Thibaud, M. Romeo, M. Gnassia-Barelli, 1990 - Le mercure en milieu marin : biogéochimie et écotoxicologie. *Rapp. scient. tech. IFREMER*, **19**, 129 pp.
- Dartige A.Y., C.R. Joiris, H. Tounkara, M. Roméo (à paraître) - Seasonal variations of total mercury concentration in the mussel *Perna perna* from the Lévrier bay, Mauritania *J. mar. Syst.*
- El Hamri H., 1996 - *Étude de la contamination par les métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Cr, Hg) des mollusques marins prélevés sur la côte méditerranéenne Marocaine Ouest*. Thèse Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, 136 pp.
- 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.
- Hall L.W.Jr., M.C. Ziegenfus, R.D. Anderson, B.L. Lewis, 1995 - The effect of salinity on the acute toxicity of total and free cadmium to a Chesapeake Bay copepod and fish. *Mar. Pollut. Bull.*, **30** : 376-384.
- Hare L., R. Carignan, M.A. Huerta-Diaz, 1994 - A field study of metal toxicity and accumulation by benthic invertebrates; implications for the non-symbiotic anemone *Anemonia viridis* and the non-symbiotic anemone *Actinia equina*. *J. mar. biol. Ass. UK.*, **70** : 789-802.
- Herut B., H. Hornung, N. Kress, Y. Cohen, 1996 - Environmental relaxation in response to reduced contamination input: The case of mercury pollution in Haifa Bay, Israel. *Mar. Pollut. Bull.*, **32** : 366-373.
- Joiris C.R., L. Holsbeek, F.A. Otchere, 2000 - Mercury in the bivalves *Crassostrea tulipa* and *Perna perna* from Ghana. *Mar. Pollut. Bull.*, **40** : 457-460.
- Kaimoussi A., 2002 - *Etat de la pollution métallique au niveau du littoral de la région d'El Jadida : Étude comparative entre l'année 94/95 et l'année 98/99*. Thèse de doctorat d'Etat ès sciences physiques. Université Chouaib Doukkali El Jadida, 180 pp.
- Kaimoussi A., A. Chafik, A. Mouzdahir, S. Bakkas, 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. Séanc. Soc. Biol.*, **325** : 253-260.
- Langston W.J., S.K. Spence, 1995 - Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms. In : *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems*. A. Tessier, D.R. Turner (eds), IUPAC, J. Wiley & Sons Ltd (Publishers), pp : 407-478.
- Lauenstein G.C., S.S. Dolvin, 1992 - Mollusk monitoring of United States coastal and estuarine environments. *Analysis*, **20** : 23-26.
- Laurier F., 2001 - *Cycle du mercure en estuaire, Baie de Seine et pays de Caux : Spéciation chimique et biodisponibilité*. Thèse de doctorat ès sciences de l'université de Paris 7, Spécialité Océanographie chimique, 177 pp.
- Lawson N.M., R.P. Masson, 1998 - Accumulation of mercury in estuarine food chains. *Biochemistry*, **40** : 235-247.
- Manga N., 1980 - Trace metals in the common mussel *Mytilus edulis* from Belfast Lough. *Ir. Nat. J.*, **20** : 160-163.

Mikac N., Z. Kwokal, D. Martincic, M. Branica, 1996 - Uptake of mercury species by transplanted mussels *Mytilus galloprovincialis* under estuarine conditions (Krka river estuary). *Sci. total Environment*, **184** (3) : 173-182.

Philips D.J.H., 1985- Organochlorines and trace metals in green-lipped mussels *Perna viridis* from Hong Kong waters: a test of indicator ability. *Mar. Ecol.-Progr. Ser.*, **21** : 251-258.

Prudente M., E.Y. Kim, S. Tanabe, R. Tatsukawa, 1997 - Metal levels in some commercial fish species from Manila Bay, the Philippines. *Mar. Pollut. Bull.*, **34** (8) : 671-674.

Radenac G., P. Miramand, J. Tardy, 1997 - Search for impact of a dredged material disposal site on growth and metal contamination of *Mytilus edulis* in Charente-Maritime (France). *Mar. Pollut. Bull.*, **34** (9) : 721-729.

Reinfelder J.R., N.S. Fisher, 1991 - The assimilation of elements ingested by marine copepods. *Science (Wash.)*, **251** : 794-796.

RNO, 1994 - *Surveillance du milieu marin*. Travaux du réseau National de la qualité du milieu marin, édition IFREMER, 32 pp.

RNO, 1998 - *Surveillance du milieu marin*, Travaux du réseau National de la qualité du milieu marin, édition IFREMER, 52 pp.

RNO, 2000 - *Surveillance du milieu marin*, Travaux du réseau National de la qualité du milieu marin, édition IFREMER, 32 pp.

Say P.J., I.G. Burrows, B.A. Whitton, 1990 - *Enteromorpha* as a monitor of heavy metals in estuaries. *Hydrobiologia*, **195** : 119-126.

Sbaï L., 2001 - *Le droit de l'environnement marin et côtier marocain. Dichotomie entre l'état du milieu et une législation obsolète*. ISBN 9981-889-28-8, Rabat, Maroc, 146 pp.

Sidoumou Z., M. Roméo, M. Gnassia-Barelli, P. Nguyen, R. Caruba, 1992 - Détermination de la qualité des eaux du littoral Mauritanien par la mesure des métaux traces chez les mollusques *Donax rugosus* et *Venus verrucosa*. *Hydroécol. Appl.* **2** : 33-41.

Snedecor G.W., W.G. Cochran, 1989 - *Statistical methods*. 8th edition, Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa (U.S.A.), 503 pp.

Stronkhorst J., 1992 - Trends in pollutants in the blue mussel *Mytilus edulis* and flounder *Platichthys flesus* from two Dutch estuaries, 1985-1990. *Mar. Pollut. Bull.*, **24** (5) : 250-258.

Reçu en octobre 2003 ; accepté en mars 2004.
Received October 2003; accepted March 2004.