

Impact des rejets industriels sur l'environnement : cas de l'accumulation du chrome dans les différents compartiments aquatiques le long du littoral Casablanca – Mohammadia

Fatima Zohra Bouthir,^{1*} Salah Souabi,² Abdelghani Chafik,¹
Samir Benbrahim¹ et Mustapha Sifeddine¹

¹Institut National de Recherche Halieutique, 2 Rue Tiznit, Casablanca, Maroc

²Faculté des Sciences et Techniques de Mohammadia, Maroc

En absence de normes de rejet, les rejets industriels au Maroc sont rejetés dans le milieu naturel, en particulier marin, sans aucun traitement préalable. Aussi, l'objectif du présent travail est d'étudier l'impact des rejets industriels riches en chrome au niveau des différents compartiments aquatiques (mollusques, poissons, algues et sédiments) le long de huit stations de prélèvements sur le littoral entre Casablanca et Mohammadia, durant une période de cinq années (été 1998 – printemps 2002); en plus, cette étude vise à évaluer l'espèce la plus bioindicatrice de pollution par le Cr. Les teneurs en Cr les plus élevées accumulées par les moules ont été détectées le long de l'Oued El Malleh (S2) et au niveau du site S6 de Oukacha (respectivement 18,7 et 14,4 mg/kg poids sec), soient deux secteurs recevant la majorité des eaux usées des unités industrielles de Mohammadia et de Ain Sebâa. Ces résultats sont cohérents avec les fortes concentrations en Cr (300 mg/ kg poids sec) détectées dans les sédiments prélevés aux stations S2 et S6. Ce dernier site a montré également des teneurs assez élevées de l'ordre de 9,70 et 25,90 mg/ kg poids sec respectivement pour l'*Ulva lactuca* et la *Corallina officinalis*. Les résultats d'accumulation du Cr chez deux espèces de poissons, le mulot *Mugil cephalus* et le sar *Diplodus sargus*, ont montré des teneurs plus élevées chez le mulot que chez le sar. L'étude comparative des concentrations en Cr entre les différents compartiments biologiques étudiés montre que la moule *M. galloprovincialis* est un excellent bioindicateur de pollution par le Cr, révélant des concentrations plus élevées que les autres espèces d'algues et de poissons.

Mots clés : pollution par le chrome, *Mytilus galloprovincialis*, poissons, algues, sédiments, littoral Casablanca – Mohammadia

In Morocco, in the absence of wastewater standards, industrial wastewaters are discharged without any preliminary treatment into the natural environment, particularly the marine environment. The objective of the present work was to study the impact of industrial wastewater discharge with high chromium (Cr) content regarding the bioaccumulation of this metal by molluscs, fish, algae and sediments. Eight stations were chosen for sampling over a five-year period (Summer 1998 to Winter 2002) in the littoral area between Casablanca and Mohammadia. The highest Cr contents accumulated by the molluscs were detected along the Oued El Malleh (S2) and Oukacha (S6) sites (18.7 and 14.4 mg/kg dry weight, respectively). This situation is attributed to high discharges of industrial wastewater from Mohammadia and Ain Sebâa. High Cr concentrations (300 mg/ kg dry weight) were detected in the sediments at these two sites. At site S6, the two algae species studied showed high Cr contents: 9.70 and 25.90 mg/ kg dry weight in *Ulva lactuca* and *Corallina officinalis*, respectively. The results of the Cr accumulation in two fish species, the mule *Mugil cephalus* and the sar *Diplodus sargus*, showed a higher content in the mule. Also, the comparative study of Cr accumulation between the various biological compartments shows that the mollusc *Mytilus galloprovincialis* is an excellent bioindicator of pollution by Cr, showing the highest concentrations when compared to other species of algae and fish.

Key words: chromium pollution, *Mytilus galloprovincialis*, algae, fish, sediments, Casablanca – Mohammadia coast

Introduction

L'industrie chimique marocaine est l'une des fonctions motrices et dynamiques de tout le tissu socio-économique. Le pôle Casablanca - Mohammadia, constitue la capitale économique et concentre à lui seul près

de la moitié des industries, lesquelles sont des sources de divers polluants. On y retrouve les deux tiers du textile et de la tannerie, l'industrie de l'électronique et de l'électricité, l'industrie pétrolière et pharmaceutique, en plus de l'industrie de l'agro-alimentaire et du papier (Direction de l'Aménagement du Territoire 2000). Cependant, le réseau d'assainissement des villes Casablanca - Mohammadia est unitaire, il repose sur le principe du

* Auteur-ressource; fzbouthir@yahoo.fr

« tout à l'égout » et se déverse directement vers la mer, à l'exception des seuls rejets C1 près de l'estuaire de l'Oued El Malleh et du rejet C7 (Figure 1) au centre de Casablanca utilisant un traitement grossier par dégrillage, soit un volume d'eaux usées de 280 millions de m³ par an (D'Elbée 2001). Cette situation mène à la détérioration de l'environnement spécialement en raison des rejets de micropolluants toxiques, à savoir les métaux lourds et plus particulièrement le chrome, comme c'est le cas pour les industries métallurgiques, des teintures de textile, de tannage, de l'impression de peau et des colorants en opération dans cette région.

Conscients de ce problème, les pouvoirs publics marocains et la communauté scientifique nationale s'intéressent de plus en plus aux études environnementales, en vue d'évaluer les risques et de protéger notre écosystème côtier. Ainsi, plusieurs études se sont penchées sur l'étude du degré de contamination des côtes marocaines par les principaux métaux toxiques, mais l'état de contamination par le chrome reste peu étudiée (El Hamri 1996; Jayed et al. 2002).

L'intérêt porté à la contamination du milieu marin par le chrome, métal non essentiel, réside dans sa capaci-

été d'accumulation dans les êtres vivants, puisque, à l'instar des autres métaux toxiques, il n'a pas de rôle biologique connu, et ne fait pratiquement pas l'objet de réactions de dégradation chimique ou biologique connues; en plus, ce métal est nocif. Les chromates peuvent, en tant qu'oxydants forts, provoquer des brûlures et des ulcères de la peau et des muqueuses ainsi que des irritations des voies respiratoires supérieures (Barceloux 1999). L'absorption peut provoquer des lésions du foie, des reins et du système digestif (Lauwerys 1999). Les composés du Cr se révèlent cancérigènes dans les tests sur l'animal. La dose létale chez l'homme est de 0,5 g; il est toxique pour les poissons à partir de 52 mg/l, et pour les algues, à partir de 5 mg/l (Ifremer 2006), dépendamment du pH du sol et du potentiel rédox (Mukherjee 1998). Le chrome est principalement utilisé dans l'industrie des tanneries, des huileries, et dans les alliages avec le fer, le nickel ou le cobalt.

La présente étude se propose de déterminer le degré de contamination par le chrome au niveau des principaux composants du système aquatique, à savoir les moules, les algues, les poissons et les sédiments, le long du littoral Casablanca-Mohammadia.

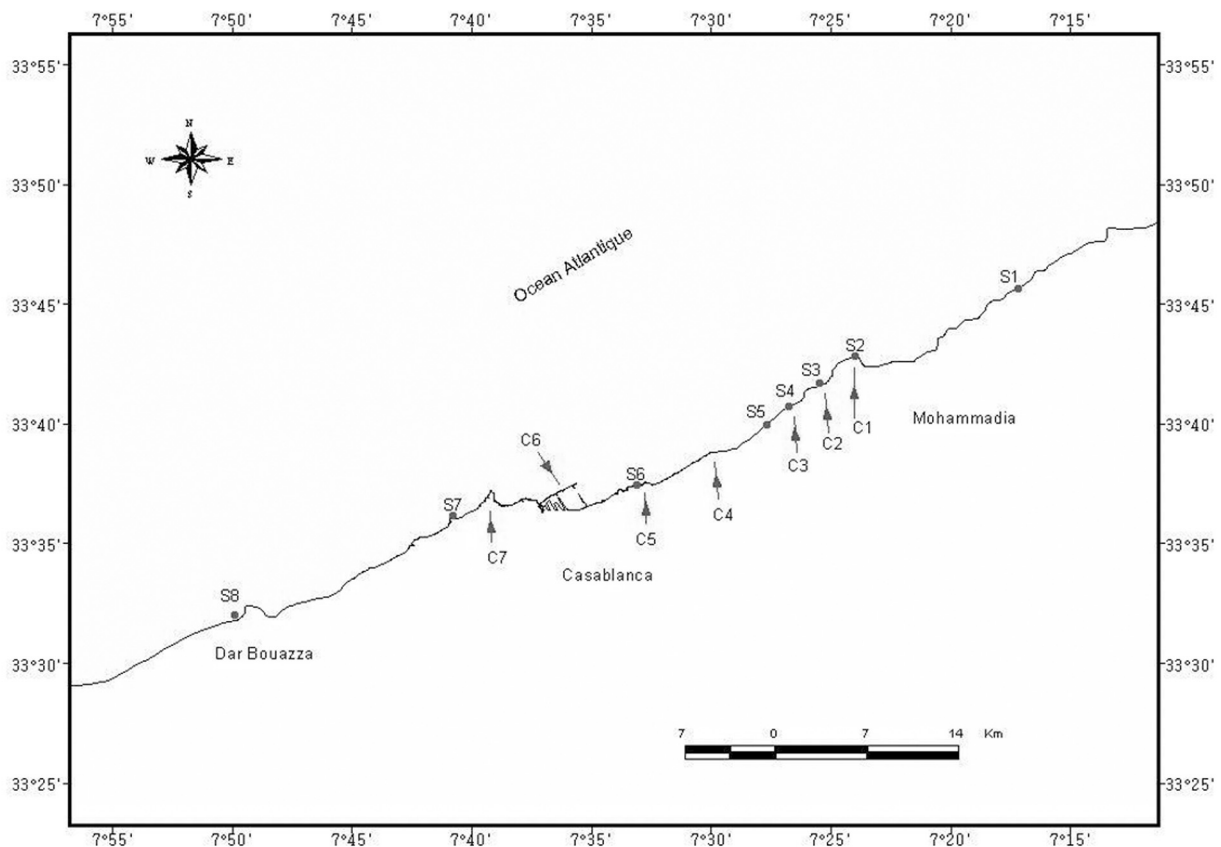


Figure 1. Localisation des points de rejets (C) et des sites d'étude (S) dans la zone littorale Casablanca - Mohammadia (Maroc).

Matériel et Méthodes

Stations de prélèvements

Cette étude environnementale a été réalisée sur huit sites littoraux entre Mohammadia et Casablanca, choisis à proximité des principaux points de rejets des effluents domestiques et industriels, et présentant des gisements de mollusques et d'algues plus importants (Figure 1).

L'échantillonnage a été effectué à marée basse, saisonnièrement de l'été 1998 au printemps 2002 (soit 16 campagnes de prélèvements), au niveau des différents sites suivants :

- 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 l'Oued El Malleh, et du point de rejet C1 (recevant la majorité des eaux usées domestiques et des industries textiles de Mohammadia);
- S3 : situé au voisinage immédiat du point de rejet C2 d'une raffinerie de pétrole, satisfaisant les besoins du marché interne marocain en produits pétroliers et dont les rejets sont constitués principalement de produits organiques;
- S4 : situé à proximité du point de rejet C3 des industries de pétrochimie et de textile dont les principaux produits sont le chlore, la soude, l'eau de Javel, le polychlorure de vinyle (PVC) ainsi que ses dérivés; les rejets solides sont constitués principalement de boues argileuses provenant de l'épuration du sel gemme utilisé pour l'électrolyse;
- S5 : situé sur la plage de Paloma, zone balnéaire;
- S6 : situé sur un platier rocheux, à proximité de la zone industrielle de Aïn Sebâa et son point de rejet C5 (au Nord du port de Casablanca), et du collecteur C4 de Sidi Bernoussi drainant la majorité des rejets industriels de la préfecture de Zenata - Sidi Bernoussi et recevant les eaux usées domestiques des nouveaux quartiers de Bernoussi et d'un amalgame d'industries (plus de 400 unités industrielles), notamment les industries minérales comme les industries sidérurgiques, chimiques et de traitement de surface, ainsi que l'agro-alimentaire et le textile; il est à noter que durant la caractérisation du rejet C5, on a enregistré une teneur moyenne de l'ordre de 1903 µg/l en Cr (Bouthir et al. 2003);
- S7 : situé à proximité de la plage de Sidi Abderhmane, à caractère balnéaire et touristique (au voisinage de l'émissaire C7 d'El Hank recevant essentiellement les effluents urbains et des industries de textile de la zone industrielle nord de Sidi Maârouf);
- S8 : situé au niveau de la station balnéaire Dar-Bouâzza, à 25 km au sud de Casablanca, éloignée de toute activité industrielle.

Préparation et analyse des échantillons

Les échantillons de moules *Mytilus galloprovincialis* sont prélevées à la main au niveau de l'étage médio-littoral inférieur. Environ quarante individus adultes (taille moyenne entre 3 et 5 cm), sont récoltés et triés sur place, puis stockés dans des flacons en polyéthylène, 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, puis lyophilisées pendant 3 à 4 jours jusqu'à poids constant, broyées et conservées dans des flacons hermétiquement bouchés.

Nous avons procédé à l'évaluation des teneurs en Cr chez deux espèces de poissons ayant un régime alimentaire différent, à savoir le mullet *Mugil cephalus* et le sar *Diplodus sargus* fraîchement pêchés à la canne au niveau littoral près de l'embouchure de l'Oued El Malleh (station S2). Le choix de ces espèces est basé sur leur abondance dans la région, leur importance économique d'une part, et sur les différences dans leurs régimes alimentaires et leurs modes de vie d'autre part.

Au niveau des mêmes stations d'échantillonnage des moules, nous avons prélevé deux espèces d'algues, l'*Ulva lactuca* et la *Corallina officinalis*, très répandues au niveau de la zone d'étude à côté de la *M. galloprovincialis*. Après prélèvement, les échantillons sont lavés à l'eau de mer et débarrassés des débris et épiphytes collés à leur thalle, puis placés dans des flacons en plastique contenant de l'eau du lieu de prélèvement. Au laboratoire, ils sont rincés abondamment à l'eau distillée, puis conservés à -20°C en vue d'être lyophilisés.

Les échantillons de sédiments superficiels sont prélevés à marée basse, à l'aide d'une spatule en plastique, et placés au congélateur dans des sachets en plastique en vue de leur séchage à l'étuve (à température de 80°C). La fraction fine est séparée ensuite par tamisage sur un tamis d'ouverture de maille inférieure à 63 µm.

Pour le dosage du Cr, la minéralisation de la matière biologique est effectuée, selon la méthode validée par l'AIEA pour des échantillons biologiques (Azemard et al. 2003), sur une prise d'essai de 0,2 g, par attaque avec 4 ml d'acide nitrique suprapur (Merck), à température ambiante pendant au moins 1 heure, puis au four à micro-onde 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 fraction fine des sédiments (0,25 g) est minéralisée par attaque de 1 ml d'eau régale (HNO₃: HCl, 1:3 v/v) et 6 ml d'acide fluorhydrique, suivant le même programme du four à micro-onde. Après refroidissement, le minéralisat est additionné à 2,7 g d'acide borique et complété à 50 mL avec de l'eau Milli-Q (Azemard et al. 2003). Le dosage du Cr est réalisé par la méthode électrothermique à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorp-

tion atomique Perkin Elmer 3100, muni d'un four graphite (HGA-600) et avec correction au deutérium.

Chaque série d'analyses est validée par le dosage sur un échantillon certifié (SRM 2976) provenant de l'AIEA, avec une moyenne certifiée de $0,50 \pm 0,16$ mg/kg poids sec, contre une moyenne trouvée au cours de nos analyses de $0,49 \pm 0,16$ mg/kg poids sec. La limite de détection de la méthode est $0,053$ mg/kg poids sec.

Résultats

Accumulation du chrome chez la moule *M. galloprovincialis*

Les variations spatiales des teneurs moyennes en chrome sont très fluctuantes (Tableau 1). Les sites S2 et S6 présentent les moyennes les plus élevées, avec des maximums respectifs de 18,71 et 14,41 mg/kg poids sec. Les plus faibles valeurs sont enregistrées au niveau de S1 et S8 avec des moyennes respectives de l'ordre de 6,40 et 6,69 mg/kg poids sec, ces deux derniers sites représentant les extrémités nord et sud de la zone d'étude.

Accumulation du chrome au niveau des algues

À l'instar des moules, les teneurs moyennes en Cr les plus élevées au niveau des deux espèces d'algues, *U. lactuca* et *C. officinalis*, sont enregistrées dans les échantillons prélevés au site S6, à savoir 9,70 et 25,90 mg/kg poids sec respectivement (Tableau 1). Il est à rappeler que cette station est située à proximité des eaux usées

urbaines et industrielles en provenance du grand collecteur C6 de Aïn Sebâa.

Accumulation du chrome chez les poissons

Les teneurs en Cr chez les deux espèces de poissons varient énormément suivant l'espèce et l'organe analysés (Tableau 2). Alors que les concentrations en Cr dans le muscle dépassent rarement 2,50 mg/kg poids sec, elles atteignent couramment entre 26 et 27,63 mg/kg poids sec dans la masse viscérale (foie, rein, gonades et viscères) chez le mullet. L'ordre d'accumulation du Cr dans les organes étudiés est le suivant : masse viscérale > branchies > muscles. Cet ordre est beaucoup plus accentué au niveau du mullet, révélant ainsi une différence notable entre les deux espèces de poissons *M. cephalus* et *D. sargus*.

Concentration en chrome dans les sédiments

Les moyennes pluriannuelles des teneurs en Cr enregistrées sur la fraction fine (< 63 μ m) des sédiments du littoral Casablanca – Mohammadia sont rapportées dans le Tableau 1. Les résultats traduisent une nette contamination des sédiments de toute la zone d'étude, plus particulièrement au niveau des sites S2 et S6 pour lesquels les teneurs moyennes dépassent 300 mg/kg poids sec.

Discussion

Les teneurs moyennes en Cr dans les moules sont assez élevées, comparées à la médiane française enregistrée

TABLEAU 1. Moyennes pluriannuelles (1998–2002) des teneurs en Cr dans les différents compartiments du littoral Casablanca – Mohammadia (mg/kg poids sec) affectées de l'écart type, entre parenthèses : Minima et maxima pour toute la période d'étude

Sites	<i>M. galloprovincialis</i>	<i>U. lactuca</i>	<i>C. officinalis</i>	Sédiments (<63 μ m)
S1	6,4 \pm 2,99 (1,88 – 11,14)	2,35 \pm 1,56 (0,55 – 5,15)	5,25 \pm 3,73 (2,65 – 16,60)	99,58 \pm 51,50 (53,60 – 155,24)
S2	18,71 \pm 11,35 (8,82 – 47,19)	5,12 \pm 4,68 (0,17 – 14,90)	9,71 \pm 7,40 (2,34 – 25,50)	382,43 \pm 140,46 (221,26 – 562,81)
S3	9,77 \pm 4,34 (4,41, 17,89)	3,02 \pm 1,93 (0,27 – 6,90)	6,64 \pm 3,36 (3,66 – 15,20)	190,82 \pm 44,94 (138,77 – 244,53)
S4	11,22 \pm 5,1 (3,62 – 20,56)	6,88 \pm 4,43 (1,92 – 14,31)	11,20 \pm 4,77 (4,84 – 18,60)	282 \pm 82,90 (171,14 – 357,42)
S5	8,38 \pm 3,97 (1,63 – 16,53)	3,76 \pm 2,72 (0,86 – 9,09)	7,56 \pm 3,96 (3,09 – 17,30)	209,04 \pm 46,34 (169,79 – 260,14)
S6	14,41 \pm 7,33 (5,38 – 29,68)	9,70 \pm 5,91 (4,42 – 20,20)	25,90 \pm 21,51 (3,13 – 81,50)	336,62 \pm 122,03 (206,05 – 447,78)
S7	11,46 \pm 10,42 (3,35 – 32,57)	8,65 \pm 10,00 (2,99 – 37,70)	13,40 \pm 14,70 (3,19 – 51,70)	280,24 \pm 129,46 (127,59 – 385,99)
S8	6,69 \pm 2,46 (2 – 10,22)	5,01 \pm 4,00 (2,41 – 14,80)	9,64 \pm 9,11 (2,44 – 34,80)	— ^a

^a— : non analysés suite à la non disponibilité de la fraction fine <63 μ m.

TABLEAU 2. Teneurs du chrome (en mg/kg poids sec) chez deux espèces de poissons *M. cephalus* et *D. sargus* pêchés à la canne le long de l'embouchure de l'Oued El Malleh (Moyen \pm écart type muni des minima et maxima pour la période d'étude)

Organes	Chrome	
	<i>M. cephalus</i>	<i>D. sargus</i>
Muscle	2,48 \pm 0,28 (2,21, 2,76)	1,84 \pm 0,11 (1,77, 1,97)
Branchie	3,59 \pm 0,78 (2,72, 4,22)	2,56 \pm 0,11 (2,44, 2,65)
Masse viscérale	26,74 \pm 0,81 (26,08, 27,63)	3,74 \pm 1,93 (2,04, 5,84)

par le RNO en 2002–2004 qui varie entre 0,45 et 2,35 mg/kg poids sec (Lampert 2006) et aux valeurs rapportées pour d'autres aires, notamment des teneurs entre 0,09 et 1,13 mg/kg poids sec pour la côte méditerranéenne marocaine (Tableau 3). Par ailleurs, les résultats de la présente étude mettent en cause les sites à proximité des points de rejets des industries de textile, de tannerie et de métallurgie, compte tenu des moyennes de 1903 $\mu\text{g/l}$ mesurées lors de la caractérisation des effluents à proximité de S2 et S6 (Bouthir et al. 2003). Néanmoins et bien qu'inférieures, les teneurs en Cr enregistrées dans les autres sites sont assez significatives, ce qui confirme l'ampleur des apports en polluants causés par ces rejets ainsi que la propagation d'un tel métal dans la zone d'étude.

La tendance inter-annuelle des concentrations moyennes en Cr est représentée dans la Figure 2. L'examen de ces variations permet d'observer des hausses d'une année à l'autre pour la plupart des sites étudiés. L'analyse de variance (test F, ANOVA), effectuée en fonction des facteurs spatio-temporels et inter-annuels, montre une différence très significative ($p < 0,01$) dans les teneurs en Cr chez la moule du littoral casablançais (Tableau 4).

En ce qui concerne les deux espèces d'algues, on enregistre également des teneurs assez élevées par rapport à celle rapportée par Szefer et al. (1998) chez l'*U. lactuca* de la côte mexicaine, soit une moyenne de $3,22 \pm 1,67$ mg/kg poids sec. Par ailleurs, la comparaison des concentrations moyennes (tous points confondus), montre que l'accumulation du Cr se fait préférentiellement au niveau de *C. officinalis* (Tableau 4). Cette différence peut être attribuée aux procédés d'accumulation des métaux (forme disponible), la taille des organismes, leur écologie et morphologie réciproques, notamment les polymères (polysaccharides) constituant les algues et qui sont les substrats de fixation des métaux (Benbrahim et al. 1998; Zeroual 2003), la période d'immersion et d'exposition des algues (Sunda 1998) et la dynamique des blooms phytoplanctoniques (Riisgard et Hansen 1990). Par ailleurs, l'analyse de variance (test F, ANOVA) quant à l'interaction entre les facteurs espèce et emplacement du site montre une différence significative ($p < 0,05$) dans les teneurs en Cr (Tableau 4). Ainsi, les facteurs emplacement du site et espèce sont en étroite corrélation et chaque facteur est en interdépendance de l'autre dans le processus d'accumulation du Cr chez les algues.

Les teneurs en Cr dans les muscles de poisson rapportées dans cette étude (1,84 et 2,48 mg/kg poids sec) concordent avec celles de Jayed et al. (2002) et El Hraiki et al. (1992) qui ont trouvé des teneurs de l'ordre de 2 à 3 mg/kg poids sec chez la sardine *Sardina pichardus* dans la région de Casablanca. Par contre, Kwon et Lee (2001), ont enregistré des teneurs en Cr de l'ordre de 0,08 mg/kg poids sec chez *M. cephalus* dans la baie de Masson en Corée.

Quant aux teneurs de Cr décelées dans les poissons étudiés, l'élévation de la teneur au niveau de la masse viscérale démontre l'importance de l'alimentation dans le transfert des métaux chez les poissons. On a aussi constaté une différence significative lorsque les teneurs en Cr mesurées dans la majorité des organes sont comparées deux à deux, spécialement pour le mullet (Tableau 5). Les résultats de ces comparaisons concordent avec ceux de l'étude organotrope effectuée sur la moule de la

TABLEAU 3. Teneurs en Cr (mg/kg poids sec) chez les moules de différentes régions du monde

Localité	Cr	Référence
Littoral Casablanca – Mohammadia	6,40 – 18,71	Présente étude ^a
Mer Méditerranée : Marocaine Ouest	0,09 – 1,13	El Hamri (1996) ^b
Médiane côte française 2002–2004	0,45 – 2,35	Lampert (2006) ^a
Pacifique (Mexique)	0,49 – 4,08	Munoz-Barbosa et al. (2000) ^c
Pacifique (Hong Kong)	0,82 – 4,89	Wong et al. (2000) ^d

^a *M. galloprovincialis*.

^b *Perna perna*.

^c *M. californianus*.

^d *Perna viridis*.

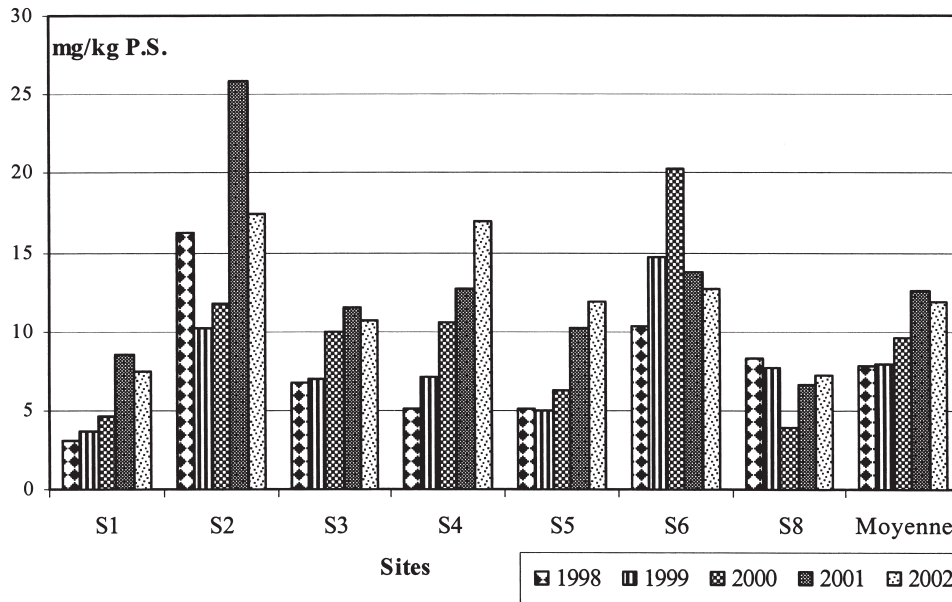


Figure 2. Variation interannuelle des teneurs moyennes en chrome chez la moule du littoral Casablanca – Mohammadia (été 1998–printemps 2002).

même station (Bouthir et al. 2004) ainsi qu’avec ceux d’autres travaux avancés rapportés par plusieurs auteurs (UNEP/FAO/WHO 1987; Cheggour 1999). En outre, la comparaison interspécifique des poissons nous conduit à constater que le mullet accumule dans la majorité des cas plus de chrome que le sar, ce qui peut éventuellement être en relation avec la bio-écologie de chaque espèce

(Achraf et Jaffar 1991), et plus particulièrement leur niveau trophique à travers leur régime alimentaire et leur mode de vie (Roméo 1987). En effet, le *D. sargus* est une espèce grégaire qui habite les eaux de profondeur 50 à 100 m, vivant près des rochers et se nourrissant principalement de zoobenthos et de zooplancton (Bonaca et Lipej 2005), alors que le *M. cephalus* habite les eaux peu

TABLEAU 4. Analyse de variance (test F, ANOVA) chez la moule *M. galloprovincialis* et les algues *U. Lactuca* et *C. Officinalis*

Métal	Effet spatial chez <i>M. galloprovincialis</i>	Effet saisonnier chez <i>M. galloprovincialis</i>	Effet interannuel chez <i>M. galloprovincialis</i>	Effet inter-spécifique : <i>U.lac./C.off</i>	Interaction : Espèce d’algues/site
Cr	4,84 (**)	19,84 (***)	7,03 (**)	3,66 (**)	2,06 (*)

* : Significatif (p < 0,05).

** : Hautement significatif (p < 0,01).

*** : Très hautement significatif (p < 0,001).

TABLEAU 5. Analyse de variance (test F) de l’effet organotropique déterminé pour le Cr chez les deux espèces de poissons, le mullet *Mugil cephalus* et le sar *Diplodus sargus*

F	Globalité des organes	Muscle / Viscères	Muscle / Branchies	Branchies / Viscères
Mulet	1272,45 (***)	2457,3 (***)	5,44 (NS)	1287,69 (***)
Sar	2,20 (NS)	2,88 NS	64,78 (**)	1,12 (NS)

NS : Non significatif (p > 0,05).

* : Significatif (p < 0,05).

** : Hautement significatif (p < 0,01).

*** : Très hautement significatif (p < 0,001).

profondes à fond riche en végétaux et se nourrit principalement de plancton relativement concentré en métaux traces (Gras et Mondain 1978). De plus, le mulet fréquente la sortie des égouts et absorbe fréquemment la vase pour en extraire les particules alimentaires, ce qui favoriserait la possibilité de sa contamination (Amiard-Triquet et al. 1993).

L'analyse comparative des concentrations moyennes en Cr au niveau de la moule avec celles de deux espèces d'algues et de poissons montre que l'importance de l'accumulation du Cr se fait suivant l'ordre suivant : *M. galloprovincialis* > *C. officinalis* > *U. lactuca* > *M. cephalus* > *D. sargus*. Ces résultats sont confirmés par d'autres travaux rapportant que les mollusques bivalves sont de bons indicateurs de pollution marine (Szefer et al. 1998). Aussi, le Cr décelé au niveau des espèces de poissons est souvent plus de dix fois moindre que chez les mollusques, ce qui démontre que la chaîne alimentaire ne joue pas toujours le rôle d'amplificateur des teneurs en métaux. Ces différences dans l'ordre de sensibilité et d'accumulation des métaux entre les organismes biologiques peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, parmi lesquels on peut citer la différence dans les procédés d'accumulation des métaux (forme disponible), la taille des organismes, leur écologie et biologie réciproques.

Concernant les concentrations en Cr dans les sédiments fins de la zone d'étude, leurs teneurs moyennes révèlent des valeurs assez élevées par rapport à celles rapportées dans la littérature pour d'autres régions (Tableau 6). Par ailleurs, si on se reporte à un rapport de l'Ifremer faisant mention que le seuil sans effet (Threshold Effect Level) dans les sédiments marins est estimé à 52,3 mg/kg poids sec (Ifremer 2006), on peut conclure à une réelle contamination par le Cr des sites étudiés. Cependant, en absence de « bruit de fond » (teneur naturelle) métallique

sans apport anthropique, plusieurs auteurs ont proposé le calcul de l'indice de contamination I_c afin d'établir le degré de contamination d'un site par comparaison au niveau global de pollution dans l'ensemble de la région (Chafik et al. 2001; Kaimoussi et al. 2002), selon la formule : $I_c S_x (\text{métal } y) = S_x / M$; avec S_x = teneur moyenne du métal y à la station x (en mg/kg poids sec); M = teneur moyenne de y dans toutes les stations (en mg/kg poids sec). Les résultats présentés dans le Tableau 6 révèlent des indices de contamination par le Cr très distincts. En effet, le site S1 enregistre l'indice le plus faible, témoignant ainsi d'un faible degré de contamination au nord de la zone d'étude. A l'opposé, les sites S2 et S6 affichent les plus forts indices pour ce métal, ce qui va de pair avec les résultats de l'étude spatiale de la contamination par le Cr chez les organismes biologiques, avec un gradient de pollution proche à celui de la moule et respectant le classement décroissant suivant : $S2 > S6 > S4 \approx S7 > S5 > S3 > S1$.

Conclusion

Les résultats rapportés dans ce travail, fondé sur l'utilisation de bioindicateurs biologiques (moules, algues, poissons) et sédimentologique, permettent une évaluation de l'état de contamination par le chrome du littoral Casablanca – Mohammadia et une quantification de l'impact des apports anthropiques en Cr dans le milieu marin. Ces apports se manifestent surtout au niveau de S2 et S6, constat justifié par les teneurs en Cr enregistrées lors de la caractérisation des effluents à proximité de ces sites et mettant en cause les pratiques d'assainissement qui reposent uniquement sur le rejet à la mer d'effluents non traités.

L'étude comparative de l'accumulation du chrome entre les principaux compartiments biologiques du sys-

TABLEAU 6. Gamme de concentrations du chrome dans les sédiments de divers écosystèmes marocains et internationaux en mg/kg de poids sec

Localisation	Cr	Références
Mohammadia – Casablanca	53,60 – 562,81	Présente étude
Azemour	15 – 58,22	Lemsioui (2002)
Sebou	179,3	Azzaoui (1999)
Lag. Nador	46 – 92,7	Inani (1995) dans Sarf (1999)
Étang de Thau France	24,2 – 62,3	Pena et Picot (1991) dans Sarf (1999)
Mer Adriatique	3,7 – 273	Donazolo et al. (1984) dans Sarf (1999)

TABLEAU 6. Indices de contamination en chrome I_c des sédiments fins de la zone d'étude^a

Chrome	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
I_c	0,39	<u>1,50</u>	0,75	1,11	0,82	<u>1,32</u>	1,10

^aAvec : $[I_c S_x (\text{métal } y) = S_x / M]$

S_x = Teneur moyenne du métal y à la station x (en mg/kg poids sec);

M = Teneur moyenne de y dans toutes les stations (en mg/kg poids sec).

tème aquatique étudié montre que la moule *M. galloprovincialis* accumule plus de Cr que les espèces d'algues et de poissons étudiés, d'où son efficacité dans la surveillance des contaminants chimiques. De plus, les résultats de l'étude montrent que la chaîne alimentaire ne joue pas toujours le rôle d'amplificateur des teneurs en métaux. Par ailleurs, la comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature révèle que les teneurs enregistrées le long de la zone d'étude sont nettement supérieures à celles d'autres régions du monde.

La comparaison interspécifique des deux espèces de poissons révèle que le mullet accumule plus de chrome que le sar. Ces différences entre espèces peuvent être éventuellement en relation avec la bio-écologie de chaque espèce et plus particulièrement avec leur régime alimentaire et leur mode de vie. Par ailleurs, l'étude de l'organotropisme a montré que la masse viscérale (foie, rein, gonades et viscères) implique les principaux organes d'accumulation du chrome, confirmant ainsi l'importance de l'alimentation dans la bioaccumulation des métaux.

Références

- Achraf M, Jaffar M. 1991. Simple and multiple trace metal concentrations correlations for some commercial fish from the Arabian Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 22(2):89-91.
- Amiard-Triquet C, Jeantet A, Berthet B. 1993. Metal transfer in food chains: bioaccumulation and toxicity. *Acta Biologica Hungaria* 44:387-409.
- Azemard S, Wyse E, De Mora SJ. 2003. Laboratory procedure book. Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples. IAEA Marine Environment Laboratory. 44 p.
- Azzaoui S. 1999. Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou, géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Thèse de doctorat, Univ. Ibn Tofail. 134 p.
- Barceloux DG. 1999. Chromium. *Clin. Toxicol.* 37(2): 173-194.
- Benbrahim S, Taha S, Cabon J, Dorange G. 1998. Elimination des cations métalliques divalents : complexation par l'alginate de sodium et ultrafiltration. *Rev. Sci. Eau* 4:497-516.
- Bonaca MO, Lipej L. 2005. Factors affecting habitat occupancy of fish assemblage in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Mar. Ecol.* 26:42-53.
- Bouthir FZ, Chafik A, Souabi S, Benbrahim S. 2004. Qualité physico-chimique des eaux côtières du littoral de la Wilaya du grand Casablanca (océan Atlantique marocain) utilisation de la moule *Mytilus galloprovincialis* comme indicateur de la contamination métallique. *J. Mar. Life* 14(1-2):59-70.
- Bouthir FZ, Chafik A, Souabi S, Benbrahim S, El Mardhy H. 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.* III:139-147.
- Chafik A, Cheggour M, Cossa D, Benbrahim S, Sifeddine M. 2001. Quality of Moroccan Atlantic coastal water monitoring and mussel watching. *Aquat. Liv. Res.* 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. État, Université Cadi Ayyad, Marrakech Morocco. 315 p.
- D'Elbée B. 2001. Évaluation des effluents résiduels industriels du Grand Casablanca. DESS Dynamique des Écosystèmes Aquatiques Université de Pau – Pays de l'Adour France. 20 p.
- Direction de l'Aménagement du Territoire. 2000. Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Environnement, de l'urbanisme et de l'habitat : Région grand Casablanca, rencontre nationale sur l'aménagement du territoire.
- Donazzolo R. 1981. Heavy metals contamination in surface sediments from the Golf of Venice. *Mar. Pollut. Bull.* 12:417-425.
- 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 d'université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès Morocco. 136 p.
- El Hraiki A, Kessabi M, Sabhi Y, Bernard P, Buhler DR. 1992. Contamination par le Cd, Cr, Hg et Pb des produits de la pêche marocaine prélevés en mer Méditerranée. *Rev. Méd. Vét.* 143(1):49-56.
- Gras G, Mondain J. 1978. Teneur en mercure de quelques espèces de poissons pêchés sur les côtes du Sénégal. *Rev. Inter. Océanogr. Méd. Tomes* 101-102:83-88.
- Ifremer. 2006. Glossaire. Available on-line at: <http://www.ifremer.fr/envlit/glossaire/index.php>. [Accessed: November 21, 2006].
- Inani I. 1995. Dynamique sédimentaire et état de pollution dans la lagune de Nador, Rabat. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Rabat. 186 p.
- Jayed M, Chafik A, Benbrahim S, Vale C. 2002. Évaluation du degré de la contamination de la sardine par les composés organochlorés et les métaux lourds. Communication en Journée National des Sciences de la mer, Rabat Morocco.
- Kaimoussi A, Chafik A, Mouzdahir A, 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. Séances Soc. Biol.* 325:253-260.
- Kwon YT, Lee CW. 2001. Ecological risk assessment of sediment in wastewater discharging area by means of metal speciation. *Microchem. J.* 70:255-264.
- Lampert L. 2006. Suivi de la contamination métallique et organique de lots de moules (*Mytilus edulis*) implantés

- au port de Goury et à l'anse des Moulinets (Manche). Travaux du réseau National de la qualité du milieu marin, édition Ifremer Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral. 42 p.
- Lauwerys RR.** 1999. Chrome, p. 188–198. *Dans* Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson Eds.
- Lemsioui A.** 2002. La zone littorale Azemour - Casablanca-Mohammedia : Étude Hydrogéochimique et anthropisation. Thèse de Doctorat, Option Océanographie et environnement, Fac de Rabat, Univ. Med V Rabat. 140 p.
- Mukherjee AB.** 1998. Chromium in the environment of Finland. *Sci. Tot. Environ.* **217**:9–19.
- Munoz-Barbosa A, Guetiérrez-Galindo EA, Flores-Munoz G.** 2000. *Mytilus californianus* as an indicator of heavy metals on the northwest coast of Baja California, Mexico. *Mar. Environ. Res.* **49**:123–144.
- Pena G, Picot B.** 1991. Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne : l'Étang de Thau. *Oceanol. Acta* **2**:74–91.
- Riisgard H, Hansen S.** 1990. Biomagnification of mercury in a marine grazing food-chain: algal cell *Phaeodactylum tricorinitum*, mussels *Mytilus edulis* and flounders *Platichthys flesus* studied by means of a stepwise-reduction-CVAA method. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **62**:259–270.
- Roméo M.** 1987. Trace metal in fish roe from the Mauritania coast. *Mar. Pollut. Bull.* **18**:507–508.
- Sarf F.** 1999. Dynamique sédimentaire et état de pollution dans la lagune de Oualidia. Thèse d'études supérieures, Univ. Mohammed V. 121 p.
- Sunda WJ.** 1998. Trace metal interaction with marine phytoplankton. *Biol. Oceanogr.* **6**:411–442.
- Szefer P, Geldon J, Anis A, Osuna FP, Ruiz Fernandes AC, Galvan SR.** 1998. Distribution and association of trace metals in soft tissue and byssus of *Mytella Strigata* and other benthic organisms from Mazatlan Harbour, Mangrove lagoon of the northwest coast of Mexico. *Environ. Int.* **24**(3):359–374.
- UNEP/FAO/WHO.** 1987. Évaluation de l'état de salubrité de la mer Méditerranée par le mercure et les composés mercuriels et mesures proposées. 160 p.
- Wong CKC, Cheung RYH, Wong MH.** 2000. Heavy metals concentrations in green-lipped mussels collected from Tolo Harbour and markets in Hong Kong and Shenzhen. *Environ. Pollut.* **109**:165–171.
- Zeroual Y.** 2003. Utilisation de bactéries et d'algues marines pour le traitement des eaux chargées en métaux lourds. Thèse National en Sciences biologiques, Univ Hassan II, Casablanca Morocco. 142 p.

Reçu : le 14 novembre 2005; accepté : le 16 novembre 2006.