

Evaluation de la pollution métallique du littoral de la ville d'El Jadida (Maroc) : utilisation de l'annélide *Arenicola grubii* comme indicateur biologique

Abdelali ROUHI, Jamila SIF & Abdeljalil CHEMAA

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

Résumé. Cette étude a permis de présenter un diagnostic sur l'état de santé du littoral de la ville d'El Jadida par l'analyse de la concentration de quatre métaux traces (Cd, Cu, Zn et Cr) chez l'Annélide Polychète *Arenicola grubii*. Des prélèvements mensuels ont été effectués de septembre 2003 à août 2004. Trois paramètres physico-chimiques ont été mesurés : le pH, la température et la salinité. Les résultats ont montré une variation spatio-temporelle de la bioaccumulation. Le site de Jorf- Lasfar montre les valeurs les plus importantes. La variation saisonnière de l'accumulation des métaux traces a été aussi relevée : les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la période sèche.

Mots clés : pollution, métaux lourds, *Arenicola grubii*, littoral d'El Jadida, Maroc.

The evaluation of metal pollution on the littoral zone of El Jadida (Morocco): the use of the Annelid *Arenicola grubii* as a biological indicator.

Abstract. In this study, we present a diagnosis concerning the state of healthiness of the littoral of the El Jadida by the analysis of four heavy metals (Cd, Cu, Zn and Cr) found in the Polychaete *Arenicola grubii*. Monthly samplings were carried out from September 2003 to August 2004. Three physico-chemical parameters of seawater were also measured : pH, temperature and salinity. The obtained results show that there is a variation in space and time of the bioaccumulation. The site of Jorf Lasfar marks the most important values. Also this variation depends on seasons : the highest values are observed during the dry season.

Key words: pollution, heavy metals, *Arenicola grubii*, littoral of El Jadida, Morocco.

INTRODUCTION

Le Maroc possède un vaste territoire maritime qui s'étend sur 3446 km, abritant 13 régions côtières avec 145 plages déclarées zones de baignade (moyenne des étendues de plages varie de 0,5 à 10 km). Ces zones côtières constituent des espaces complexes assujettis à une pression démographique (Nakhlis & Ghazi 2008), économique et écologique accrue. De ce fait, la zone littorale souffre de nombreux problèmes qui menacent gravement les ressources naturelles, en l'absence de lois de protection.

La province d'El Jadida possède un littoral montrant des formations côtières diverses (estuaire, lagunes, plages, baies, sites portuaires) ; cependant, l'essor économique (industries, installations touristiques, activités agricoles...) et la croissance démographique que la région a connus depuis plus d'une décennie menacent la préservation des espaces côtiers et marins et les ressources vivantes et non vivantes.

Dans cette région, le site de Jorf-Lasfar est la zone la plus visée dans l'avenir pour les grandes industries dans les différents domaines. Actuellement, le complexe phosphatier constitue le leader de ces activités à côté de la centrale thermique et bien d'autres projets récemment installées. Aussi bien dans le site de Jorf-Lasfar que dans celui d'El Jadida, plusieurs effluents qui débouchent et se déversent dans l'eau de mer sans aucun traitement préalable.

La connaissance du niveau de contamination du compartiment physique d'un écosystème reste insuffisante pour juger de l'état de sa salubrité ; en effet, les micropolluants dilués dans l'eau de mer, difficiles à détecter, ou ceux qui sont instantanément échangeables entre la colonne d'eau et le sédiment, peuvent se retrouver en une concentration 1000 fois supérieure à celle dans les animaux qui y vivent, d'où la nécessité d'utiliser des espèces bioaccumulatrices comme indicateurs biologiques de contamination (Ramade 1992).

Nombreux sont les chercheurs qui ont utilisé les espèces bioaccumulatrices, dont les Annélides Polychètes, pour évaluer la contamination par les métaux lourds dans des écosystèmes marins et estuariens (Ferssiwi *et al.* 2004, Rouhi *et al.* 2007). Il est reconnu que surtout les sédentaires, peuvent remplir le rôle d'espèces sentinelles pour évaluer la pollution des milieux côtiers et des populations qui y vivent (Lechapt *et al.* 1993, Lagadic *et al.* 1997).

Dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'environnement du littoral d'El Jadida entamée par notre laboratoire, nous avons dosé quatre éléments métalliques : Cd (métal non essentiel), Zn, Cu et Cr (métaux essentiels) chez le polychète *Arenicola grubii*.

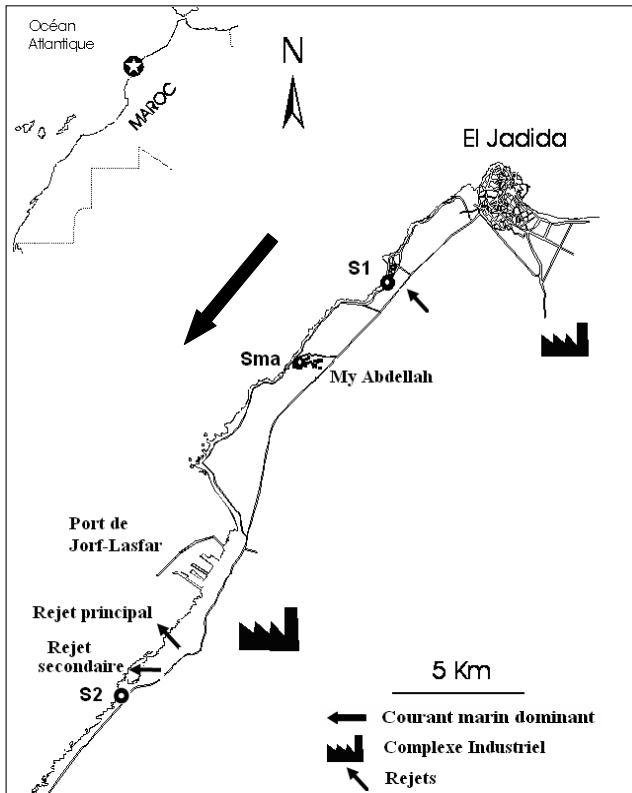


Figure 1. Localisation géographique des sites prospectés.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

Deux stations sont prospectées sur le littoral de la ville d'El Jadida (Fig. 1) :

La station S1 est située à proximité du récent rejet urbain "Essaâda", à environ 2 km de la ville (sur la route secondaire de Sidi Bouzid). Ce rejet a été installé en 2001/2002.

La station 2, située à environ 24 km au sud de la ville, est caractérisée par la présence de plusieurs unités industrielles dont un complexe phosphatier et une centrale thermique. C'est une zone industrielle de grande superficie abritant le port de Jorf Lasfar, l'un des plus grands d'Afrique. Cette station se trouve à environ 1 km au sud du rejet principal de l'unité industrielle des phosphates et à environ 500 m de son rejet secondaire.

La station Sma, qui est considérée comme une station de "référence" dans le présent travail, se trouve dans la commune de Moulay Abdellah à 12 km au sud de S1. Elle est plus ou moins propre en comparaison avec les stations étudiées (Ferssiwi 2007).

Matériel biologique

Le matériel biologique choisi pour cette étude est constitué de l'Annélide Polychète *Arenicola grubii*. Le choix de cet animal est basé sur le fait qu'il soit intimement

lié au sédiment et par conséquent pourra refléter le degré de pollution métallique des stations étudiées.

Systematique

Embranchement : Annélides
 Classe : Polychètes
 Ordre : Scolecida (anciennement classé parmi l'ordre de Capitellida)
 Famille : Arenicolidae (Johnson)
 Genre : *Arenicola* Lamarck
 Espèce : *Arenicola grubii* Claparède, 1868

Biologie

Arenicola grubii est un animal dépositore ; il se nourrit d'éléments associés aux particules de diamètre inférieur à 80 µm. La digestion des protéines est la plus observée (Hylleberg 1975). La digestion chez l'Arénicole est de type extracellulaire ; elle se fait par un système enzymatique sécrété par les poches oesophagiennes dans la lumière du tube digestif (Jeuniaux 1969). Les substances ainsi digérées sont absorbées par endocytose à travers les cellules épithéliales de l'intestin. *A. grubii* ne présente pas d'appareil reproducteur. Les sexes sont séparés et les gonades sont peu différenciées. Avant la période de ponte, les animaux de l'Arénicole libèrent des spermatogonies ou des ovogonies immatures dans la cavité coelomique où ils poursuivent leur croissance jusqu'au moment de la ponte de quelques heures (Howie 1961).

Ecologie

Les adultes de l'arénicole vivent protégés dans des galeries sinueuses creusées dans le sable vaseux, dans de la vase noire, parmi les cailloux et dans les creux des rochers. Ces animaux jouent un rôle écologique capital au niveau l'écosystème marin : ils contribuent à la minéralisation de la matière organique, participent dans l'homogénéisation des sédiments, et contribuent à l'oxygénation du sédiment par le passage de l'eau à travers leurs tubes grâce aux mouvements de leurs corps, ce qui favorise le développement des microorganismes (Hylleberg 1975).

Echantillonnage

Des campagnes mensuelles de prélèvement d'eau de mer et de matériel biologique ont été réalisées de septembre 2003 à août 2004. Des échantillons de l'espèce *A. grubii* ont été collectés dans la zone intertidale pendant les marées basses de vives-eaux. Au laboratoire, les Polychètes ont été placés dans l'eau de mer filtrée et oxygénée pour une période de purge de 24 heures, ce qui permet d'éliminer le contenu de leur tube digestif. Les individus ont ensuite été rincés à l'eau distillée et conservés au congélateur (-25°). Lors de l'échantillonnage, trois paramètres physico-chimiques de l'eau ont été mesurés : la température, le pH et

la salinité. Les mesures de la température et du pH ont été effectuées *in situ* à l’aide d’un thermomètre-pHmètre de terrain (marque 521-W.T.W). Pour les mesures de la salinité, des échantillons ont été transportés au laboratoire dans des flacons en verre dans une glacière. Les dosages ont été effectués à l’aide d’un salinomètre-conductimètre (marque W.T.W, modèle inolab).

Dosage des métaux

Les animaux décongelés ont été mis à sécher à l’étuve à 70°C pendant 48 heures. La matière sèche ainsi obtenue a été pesée puis broyée. Une quantité d’environ 0,1 à 0,3 g de poudre de chaque échantillon a été mise dans des fioles jaugées en présence d’acide nitrique (65 %) pendant 1 heure à température ambiante. Les fioles ont été ensuite chauffées dans un bain de sable pendant 12 heures à une température d’environ 140°C. Les minéralisats ainsi obtenus ont été filtrés, ajustés à 100 ml à l’eau bidistillée puis conservés à 4°C jusqu’à l’analyse.

Quatre éléments métalliques ont été mesurés : le cadmium, le zinc, le cuivre et le chrome. Les mesures des teneurs en métaux ont été effectuées par spectrométrie d’émission atomique couplée à un plasma induit (ICP Atom. Scan 16). Deux types d’échantillons standard ont été

utilisés pour la stabilité du système ainsi que pour son intercalibration. Ce sont les mono-éléments qualité ICP (D1-H) et les standards de contrôle de qualité (D1-QC). Les résultats sont exprimés en µg/g de poids sec.

Traitements statistiques

Les concentrations des métaux dans les animaux sont exprimées en moyenne (\pm écart type). La moyenne mensuelle est obtenue par la somme des mesures de trois échantillons. La différence entre les concentrations d’une part en fonction de la station et d’autre part selon la date de prélèvement a été évaluée en utilisant l’analyse de variance (ANOVA), à travers le paramètre *F* de Fisher (rapport carrés moyens groupes / carrés moyens erreurs) et le degré de signification *p* (probabilité d’être hors l’intervalle de confiance). Les moyennes des concentrations ont été comparées entre elles en utilisant le test de Newman-Keuls.

RESULTATS

Variation spatiotemporelle

Les résultats relatifs aux tests statistiques sont représentés dans le tableau I.

Effets	ETMs	Cd		Zn		Cu		Cr	
	Stations	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Effet temps	S _{ma}	15,48	0,000	59,79	0,000	14,40	0,000	9,01	0,000
	S ₁	16,75	0,000	29,18	0,000	28,98	0,000	17,98	0,000
	S ₂	38,28	0,000	12,71	0,000	45,06	0,000	168,38	0,000
Effet saison	S _{ma}	4,03	0,016	19,57	0,000	6,97	0,001	1,92	0,147
	S ₁	7,63	0,001	13,81	0,000	32,82	0,000	11,06	0,000
	S ₂	14,34	0,000	21,34	0,000	18,34	0,000	38,17	0,000
Effet station	S _{ma} -S ₁ -S ₂	53,06	0,000	2,38	0,097	19,25	0,000	11,59	0,000

Cadmium

Les résultats relatifs à la concentration du cadmium dans les animaux entiers de l’espèce *Arenicola grubii* sont représentés dans la figure 2.

L’analyse de variance (Anova) nous a permis de constater des différences significatives et hautement significatives respectivement en fonction de la période de prélèvement ($F = 2,30$; $p = 0,0155$) et des stations ($F = 53,06$; $p = 0,0000$). La comparaison des concentrations moyennes annuelles montre que les animaux de la station S2 (Jorf-Lasfar) sont les plus contaminés ($10,54 \pm 7,17$ ppm), suivis par ceux de la station S1 ($1,39 \pm 1,01$ ppm) puis ceux de la station Sma ($0,76 \pm 0,78$ ppm) localisée entre les deux stations précédentes.

Des variations significatives des concentrations du cadmium en fonction des mois sont observées aussi bien chez les vers de S2 que chez ceux de S1 et Sma (Fig. 2). En effet, les valeurs maximales ont été enregistrées pendant les mois de mai, juin et juillet dans les stations Sma et S1 et pendant les mois d’avril, mai, juin et juillet dans S2.

Les concentrations mesurées chez les vers prélevés dans Sma, S1 et S2 en mai, soit $2,69 \pm 0,78$ ppm ; $3,43 \pm 0,46$ ppm et $23,15 \pm 2,03$ ppm respectivement, sont significativement supérieures à celles des autres mois de l’année, à l’exception des animaux prélevés en mai et juin dans la station S2 (qui ne sont pas statistiquement différents). Chez les Polychètes des stations S1 et S2, les taux les plus faibles sont enregistrés en septembre, avec $0,22 \pm 0,09$ ppm et $2,81 \pm 0,81$ ppm respectivement. Cette contamination par Cd

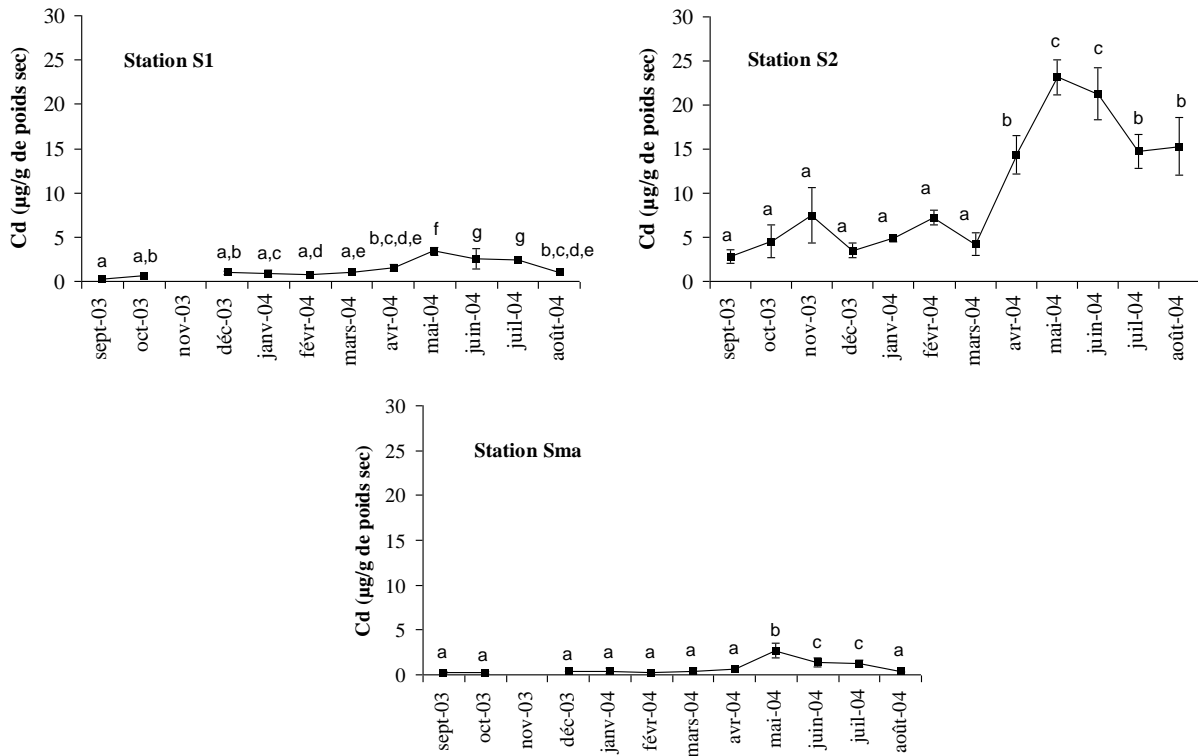


Figure 2. Variations temporelles des teneurs en cadmium chez le Polychète *A. grubii* des trois stations prospectées. Pour chaque station, les mois de prélèvement avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 95%.

n'a pas dépassé pas $0,25 \pm 0,1$ ppm en février dans la station Sma. L'analyse de variance complétée par le test Newman-Keuls montre que la station S2 (Jorf-Lasfar) a enregistré les valeurs les plus élevées en cadmium sur l'ensemble des mois d'étude ; cependant, aucune différence significative n'a été notée entre les vers de S1 et ceux de Sma (Fig. 2).

Zinc

L'analyse de variance complétée par le test de Newman-Keuls montre qu'il n'y a pas de variation significative en fonction de la station de prélèvement. Cependant, cette variation est plus significative en fonction de la date de prélèvement ($F = 28,12$; $p = 0,0000$).

A l'exception des mois d'octobre, mars et juin où les concentrations de Zn dans les animaux de la station S2 ont été significativement supérieures à celles de la station S1 (Fig. 3), toutes les mesures effectuées sur les vers de l'ensemble des stations ne sont pas statistiquement différentes. A partir du mois de mars pour les animaux de Sma et S1 et du mois de février pour ceux de S2, nous assistons à une augmentation graduelle des concentrations en Zn. L'évolution temporelle (Fig. 3) est marquée de plus par des niveaux de concentration plus élevés en juin dans Sma ($122,69 \pm 12,96$ ppm) et dans S2 ($203,25 \pm 45,59$ ppm) et en avril ($126,03 \pm 21,11$ ppm) dans S1. Les teneurs les plus faibles ont été enregistrées en septembre dans les vers de Sma ($18,16 \pm 7,84$ ppm), en octobre à S1 ($26,61 \pm 1,42$ ppm) et en décembre à S2 ($34,26 \pm 4,47$ ppm).

Sur l'ensemble des trois stations (statistiquement indifférentes une à une) une variation très significative a été relevée ($F = 45,24$; $p = 0,0000$) en fonction de la saison. En effet, les valeurs élevées ont été enregistrées au cours de la période printanière et estivale, avec respectivement 98,16 ppm et 117,80 ppm, alors que les valeurs les plus faibles ont été observées en automne et en hiver, avec respectivement 35,91 ppm et 36,34 ppm. Cependant, le profil de variation saisonnière est en général comparable dans les trois stations d'étude (Sma, S1 et S2).

Cuivre

L'analyse de variance (Anova) complété par le test Newman-Keuls montre une variation très significative de ces concentrations selon la station ($F = 19,25$; $p = 0,0000$) et la date de prélèvement ($F = 4,97$; $p = 0,0000$).

Les concentrations moyennes annuelles en Cu montrent que les taux les plus élevés sont notés dans les vers de la station S2 (Jorf-Lasfar), soit $24,08 \pm 17,89$ ppm (Fig. 4). Les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans ceux prélevés dans S1 ($5,86 \pm 3,88$ ppm). Pour les animaux de la station Sma, ces concentrations présentent une valeur intermédiaire, soit $11,94 \pm 7,26$ ppm.

La variation temporelle (Fig. 4) est caractérisée chez les animaux de la station S2 par des concentrations élevées en avril, mai, juin et juillet. Les teneurs en cuivre chez les vers prélevés à S1 sont élevées en mars et avril. Pour la station Sma ce sont les animaux prélevés aux mois d'avril, mai et

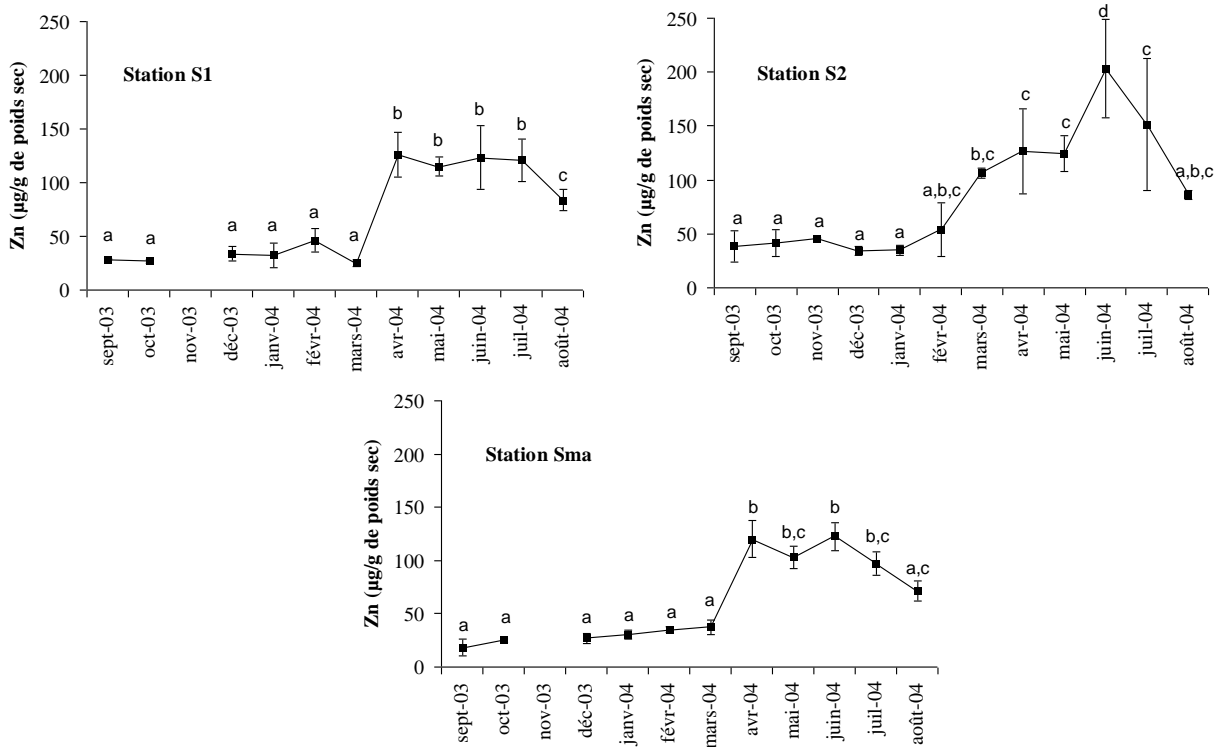


Figure 3. Variations temporelles des teneurs en zinc chez la Polychète *A. grubii* issue des trois stations prospectées. Pour chaque station, les mois de prélèvement avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 95%.

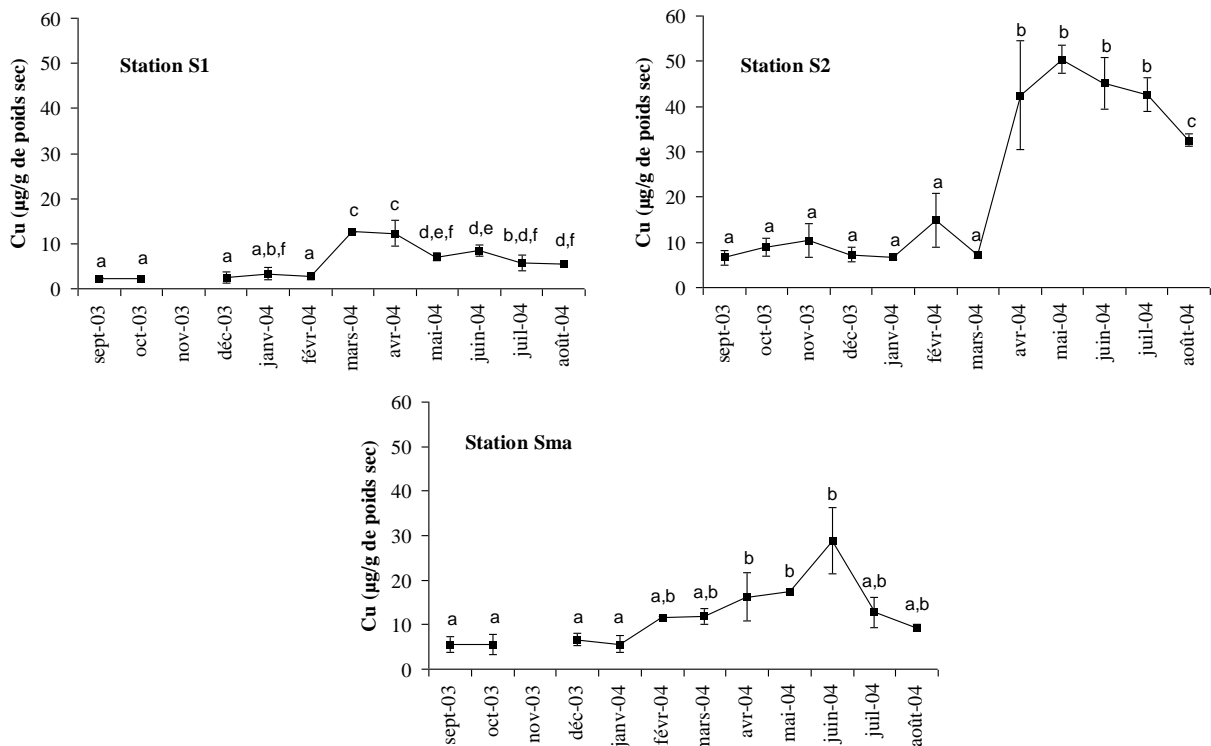


Figure 4. Variations temporelles des teneurs en cuivre (µg/g de poids sec) chez la Polychète *A. grubii* issue des trois stations prospectées. Pour chaque station, les mois de prélèvement avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 95%.

juin qui montrent les valeurs les plus élevées. En général, une variation très nette en fonction de la saison a été observée pour les trois stations prises individuellement ($0,0000 \leq p \leq 0,0011$) ou confondues ($F = 12,23$; $p =$

$0,0000$). En effet, les taux d'accumulation les plus élevés ont été enregistrés pendant le printemps et l'été, soit 19,71 ppmet 21,3 ppm respectivement.

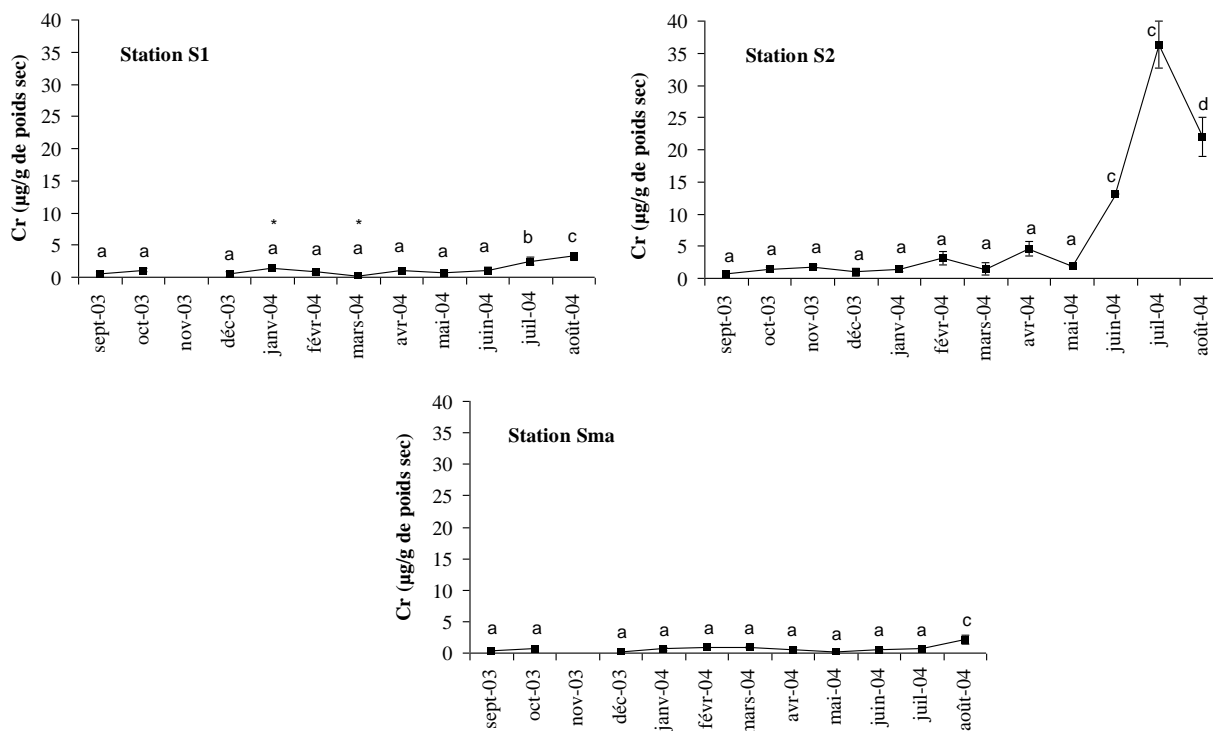


Figure 5. Variations temporelles des teneurs en chrome ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) chez le Polychète *A. grubii* prélevé des trois stations prospectées. Pour chaque station, les mois de prélèvement avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 95%

La variation spatiale (Fig. 4) du cuivre dans *A. grubii* montre que les animaux de la station S2 montrent les taux les plus élevés (statistiquement) en comparaison avec les stations Sma et S1 pendant la période étalée entre avril et août (printemps et été). Ces teneurs vont de $32,56 \pm 1,29$ ppm à $50,43 \pm 3,07$ ppm enregistrés en août et mai respectivement. Au niveau de la station S1, *A. grubii* a montré les teneurs les plus faibles durant toute la période d'étude, à l'exception des mois de janvier et mars. En septembre, décembre et février les concentrations en Cu dans Sma et S2 ne sont pas statistiquement différentes. En considérant l'ensemble des mois échantillonnés, seuls les vers prélevés à S2 en mars ont montré des teneurs en Cu inférieures aux autres stations.

Chrome

L'analyse de variance (Anova) montre une variation hautement significative des concentrations en chrome selon la station de prélèvement ($F = 11,59$; $p = 0,0000$) et de la date de prélèvement ($F = 3,6$; $p = 0,0003$). L'effet station est marqué par le niveau le plus haut ($10,29$ ppm, soit $0,0007 \leq p \leq 0,0017$) enregistré chez les organismes de la station S2. Les taux intermédiaires sont enregistrés dans les vers des stations S1 et Sma respectivement $1,39$ et $0,76$ $\mu\text{g/g}$ de poids sec.

Le suivi de l'évolution temporelle de la concentration du Cr chez *A. grubii* (Fig. 5) montre une variation au niveau des trois stations, avec un profil légèrement semblable. En effet, des teneurs élevées en Cr ont été enregistrées chez les

animaux de S1 en juillet et août, soit respectivement $2,52 \pm 0,66$ ppm et $3,24 \pm 0,55$ ppm.

Chez les organismes de S2, les valeurs maximales ont été notées en juin, juillet et août avec des concentrations allant de $13,1 \pm 0,1$ ppm à $36,32 \pm 3,61$ ppm. Pour les vers de Sma, c'est au mois d'août qu'a été noté le taux le plus élevé en Cr, avec $2,1 \pm 0,75$ ppm. Cependant, une certaine stabilisation du niveau du Cr a été notée pour le reste des mois pour chacune des trois stations d'étude (Fig. 5).

Un effet saisonnier est encore observé en tenant compte de l'ensemble des mesures (toutes stations confondues) ($F = 10,43$; $p = 0,0000$). Seule la station Sma ne montre aucun effet saisonnier, contrairement aux stations S1 ($F = 11,06$; $p = 0,0001$) et S2 ($F = 38,17$; $p = 0,0000$). Le taux d'accumulation le plus important a été noté en été avec, $23,79$ ppm et $2,27$ ppm respectivement dans les vers de S2 et S1.

En ce qui concerne la variation spatiale, les animaux prélevés au niveau de la station S2 ont présenté les concentrations les plus élevées en février et au cours de toute la période allant du mois avril au mois d'août. Ces teneurs varient entre $0,14 \pm 0,1$ ppm en mai à Sma et $36,32 \pm 3,61$ ppm en juillet à S2. Pendant cette même période, les concentrations en Cr dans les animaux des stations Sma et S1 ne sont pas statistiquement différentes à l'exception du mois de mai où la valeur enregistrée dans S1 est significativement supérieure à Sma. Ces concentrations restent statistiquement invariables pendant l'intervalle de temps compris entre septembre et janvier. La seule fois

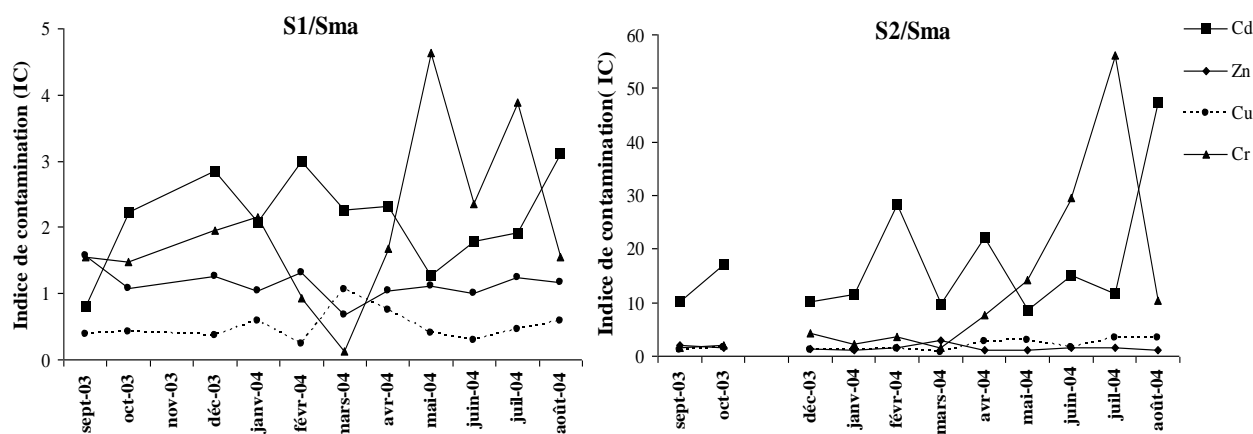


Figure 6. Variation mensuelle d'Indice de contamination (IC) des deux stations S1 et S2 par rapport à la station Sma (station de référence) pour les quatre métaux traces étudiés.

pendant laquelle S1 présente la valeur minimale correspond au mois de mars.

Indice de contamination

Afin d'estimer à quel niveau les deux stations S1 et S2 sont polluées en comparaison avec la station de référence Sma, nous avons calculé l'indice de contamination (IC) qui est défini par le rapport (Fabre-Test 1980):

$$IC = \frac{\text{Teneur en métal } X \text{ dans les animaux de la station polluée}}{\text{Teneur en métal } X \text{ dans les animaux de la station de référence}}$$

L'évolution temporelle des indices de contamination pour les deux stations étudiées S2 et S1 (stations polluées) par rapport à la station Sma (station de référence) pour les quatre éléments métalliques est représentée dans la figure 6.

En ce qui concerne la station S1, le chrome et le cadmium sont les deux éléments les plus accumulés dans les organismes de l'espèce étudiée ; leurs teneurs excèdent parfois 4 et 3 fois (respectivement pour Cr et Cd) la station de référence Sma. En revanche, Cu et Zn restent les éléments les moins accumulés. L'indice IC est inférieur à 1 dans la période allant de septembre à février pour Cu et de mars à août pour Zn, ce qui laisse penser que pour ces éléments métalliques et pendant cette période, les vers sont plus contaminés dans la station Sma.

De même, pour les animaux de la station S2, Cr et Cd sont les éléments les plus fortement assimilés avec des valeurs d'IC qui dépassent 56 et 47 respectivement. La variation d'IC pour Cu et Zn ont présenté un profil presque stable durant tous les mois d'étude ($1,05 < IC_{Zn} < 2,85$ et $1,09 < IC_{Cu} < 3,48$).

DISCUSSION

Chez le Polychète *A. grubii*, la bioaccumulation des quatre métaux traces (Cd, Zn, Cu et Cr) analysés dans les

trois stations Sma (station de référence), S1 et S2 a montré une variation très nette en fonction de la date de prélèvement et de la station, à l'exception de Zn, pour lequel les vers des trois stations ne sont pas statistiquement différentes.

Compte tenu des concentrations moyennes annuelles, le degré de contamination des animaux est dans l'ordre suivant : $S2 > S1 > Sma$ pour les quatre métaux étudiés. Cependant, la comparaison deux à deux (comparaisons post-hoc de moyennes) des stations montre une indifférence dans l'accumulation de Cd entre Sma et S1.

Pour expliquer le degré de contamination des vers dans les trois stations prospectées, nous nous sommes référés aux dosages des éléments métalliques effectués par notre groupe de recherche (Ferssiwi 2007) sur les sédiments superficiels des mêmes stations de prélèvement (Tab. II). Ces travaux ont montré que les moyennes annuelles les plus élevées des trois métaux Cd, Zn et Cu sont enregistrées dans les trois stations S2, S1 et Sma, respectivement. À cet effet, nous pourrions donc expliquer la contamination métallique des arénicoles des trois stations par le degré de pollution des sédiments dans lesquels ces Polychètes sont installés. Cependant, les métaux adsorbés aux sédiments peuvent être assimilés par les dépositivores au cours du transit digestif. Par les mouvements de la trompe, *A. grubii* collecte et ingère des particules des sédiments environnants et la microfaune associée (Newell 2001). Cette relation de contamination animaux-sédiment est également confirmée par les travaux menés sur d'autres Polychètes (Fabre-Test 1980, Banta *et al.* 1999, Berthet *et al.* 2003, Ferssiwi *et al.* 2004). La variation spatiale dépend donc de la source des métaux. En effet, les rejets de phosphogypses par le complexe phosphatier pourrait être à l'origine de la concentration élevée des éléments traces métalliques dans les stations de Jorf-Lasfar, affectant ainsi aussi bien le sédiment, les tissus d'animaux et des algues (Kaimoussi 1996, Essadaoui *et al.* 1998, 2001, Essadaoui 2000, Cheggour *et al.* 1999, Kaimoussi *et al.* 2001, Sif *et al.*

Tableau II. Teneurs métalliques (Cd, Zn et Cu) au niveau de la fraction granulométrique fine (<63 µm) du sédiment superficiel des stations étudiées (Ferssiwi 2007).

	Cd	Zn	Cu
Sma	0,11 ± 0,04 (0,07 - 0,18)	17,09 ± 14,23 (10,07-42,53)	13,13 ± 7,96 (7,81-27,07)
S1	0,23 ± 0,11 (0,15 - 0,43)	21,85 ± 4,12 (18,61-28,27)	6,98 ± 1 (5,95-8,54)
S2	0,86 ± 0,36 (0,46 - 1,33)	40,77 ± 12,10 (30,07-60,69)	13,43 ± 2,87 (10,22-17,06)

2002, Makroum & Moncef 2003, Ferssiwi 2007). De plus, il est possible que la montée des eaux froides riches en éléments traces par l'upwelling contribue à cette augmentation (Bruland & Frank 1983).

La variation saisonnière de l'accumulation des métaux traces par le Polychète étudié a été mise en évidence. En effet, des concentrations élevées en Cd ont été enregistrées au printemps pour les vers de S1 et Sma et au printemps et en été pour ceux de S2. De même, pour Zn et Cu, les valeurs sont maximales en été, faibles et constantes pour les autres mois. Chez *Sabellarea alveolata* (Rouhi *et al.* 2008), cette variation saisonnière paraît moins prononcée. Cette situation est comparable à celle du Polychète *Perinereis cultrifera* issu des mêmes stations (Ferssiwi 2007). L'effet de la saison sur l'accumulation des métaux traces par les animaux marins a été largement discuté par plusieurs auteurs chez le genre *Mytilus* (Amiard 1998, Phillips 1980, Cossa 1989, Essedaoui *et al.* 2001, Sif *et al.* 2002) et chez les Polychètes (Bazairi 1999, Berthet *et al.* 2003, Ait Alla *et al.* 2006, Sif *et al.* 2005, Ferssiwi 2007). Selon ces auteurs, cette variation est due, en plus des facteurs écologiques, aux changements physiologiques liés à la croissance et au cycle de reproduction. En effet, les individus de petite taille accumulent plus de métaux que les grands, ce qui serait lié au métabolisme moins intense chez les adultes. D'autre part, au cours de la maturité sexuelle, la présence de gamètes dans le liquide coelomique de l'animal augmente son pouvoir fixateur de métaux, les gonades devenant un lieu temporaire de stockage des métaux. Dans le présent cas, les concentrations les plus importantes ont été enregistrées pendant le printemps et l'été. Des observations sur le terrain pendant cette période montrent que les individus de *A. grubii* sont gorgés de cellules sexuelles. Certains auteurs (Borchardt 1985) ont au contraire noté de faibles concentrations en métaux au printemps et en été, qu'ils ont imputé à l'effet de dilution suite à l'augmentation du poids global de l'animal.

Dans les conditions normales, *A. grubii* peut accumuler certains métaux qui interviennent dans la structure de ses pigments respiratoires. Les chromoprotéines par exemple sont des protéines colorées portant un atome de fer ou de cuivre, d'où leur assimilation préférentielle par cette espèce en quantité importante, surtout à la fin du printemps et pendant l'été, quand les phénomènes d'anaérobiose sont très fréquents suite à une augmentation de la température. Les fortes teneurs en Mn ont été notées chez *A. grubii*

(23,51±17,44 µg/g p.s ; Rouhi *et al.* 2008). Cet élément est considéré comme un excellent traceur des apports continentaux des écosystèmes aquatiques (Glasby 1984, Zourarah *et al.* 2002). De plus, sur le littoral d'El Jadida, cette espèce occupe des endroits abrités, riches en matière organique et généralement situés dans la partie supérieure de la zone de balancement des marées. Il s'agit d'une zone humide et moins immergée pendant un cycle de marée et donc la plus influencée par les apports continentaux (Rouhi *et al.* 2007).

CONCLUSION

L'évaluation de la bioaccumulation des quatre métaux (cadmium, cuivre, zinc et chrome) chez le Polychète *Arenicola grubii* inféodé au sédiment de la zone littorale des trois sites étudiés S1, S2 et Sma nous a permis de montrer que cette bioaccumulation est variable aussi bien selon la station en question que selon le métal considéré. En effet, la bioaccumulation de Cd, Cu et Cr est particulièrement importante chez les animaux issus du site de Jorf-Lasafar (S2). Par contre, cette différence est moins évidente entre la station S1 de Saâda et la station Sma de référence pour Zn. L'origine de cette contamination étant très probablement les phospho-gypses rejetés du complexe phosphatier et qui sont riches en métaux et plus particulièrement le cadmium.

Une variation saisonnière de l'accumulation des métaux a été aussi notée chez les individus de cette espèce et montre des concentrations significativement élevées au printemps et en été surtout pour le cadmium et le zinc. Cette variation est éventuellement due en plus des facteurs écologiques, aux changements physiologiques liés à la croissance et au cycle de reproduction.

Références

- Ait Alla A., Gillet P., Deutsch B., Bergayou H. & Moukrim A. 2006. Response of *Nereis diversicolor* (Polychaeta, Nereidae) populations to reduced wastewater discharge in the polluted estuary of Oued Souss, Bay of Agadir, Morocco. *Estuar. Coastal and Shelf Sci.*, 70, 633-642.

- Amiard J.-C., Geffard A. & Amiard-Triquet C. 1998. La métallothionéine chez la moule *Mytilus edulis* comme biomarqueur de pollution métallique : variabilité entre sites, saisons et organes. *J. Rech. Océanogr.*, 23, 25-30.
- Banta G., Holmer M., Jensen M.H. & Kristensen E. 1999. Effects of two polychaete worms, *Nereis diversicolor* and *Arenicola marina*, on aerobic and anaerobic decomposition in sandy marine sediment. *Aquatic Microbial Ecol.*, 19, 189-204.
- Bazairi H. 1999. *La faune macrobenthique de la lagune de Moulay Bousselham : structures des peuplements et successions spatiotemporelles*. Thèse, Univ. Mohammed-V-Agdal, Fac. Sci. Rabat.
- Berthet B., Mouneyrac C., Amiard J.-C., Amiard-Triquet C., Berthelot Y., Le Hen A., Mastain O., Rainbow P.S. & Smith B. 2003. Accumulation and soluble binding of Cd, Cu and Zinc in the Polychaete *Hediste diversicolor* from coastal sites with different trace metal bioavailabilities. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 45, 4, 468-478.
- Borchardt T. 1985. Relationship between carbon and cadmium uptake in *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 85, 233-244.
- Bruland K.W. & Frank R.P. 1983. Mn, Ni, Zn and Cd in the western North Atlantic. In: Wong C.S, Boyle E. Bruland K.W., Burton J.D. & Goldberg E.D. (eds) - *Trace metals in sea water*. Plenum. Press, New York and London, pp. 395-414.
- Cheggour M., Langstan W.J., Chafik A., Texier H., Idrissi H. & Boumezzough A. 1999. Phosphate industry discharges and their impact on metal contamination and intertidal macrobenthos : Jorf-Lasfar and Safi couastline (Morocco). *Toxicol. Environ. Chem.*, 70, 159-179.
- Cossa D. 1989. A review of the use of *Mytilus* spp as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. *Oceanol. Acta*, 12, 417-432.
- Essadaoui A. 2000. *Bioaccumulation des métaux lourds chez Mytilus galloprovincialis (Lamarck) : Etude des variations des activités enzymatiques et des modifications structurales au niveau de la glande digestive*. Thèse de Doctorat, Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. d'El Jadida, nb pages.
- Essadaoui A., Kerambrun P., Alliot E. & Sif J. 2001. Impact de la pollution métallique sur l'activité des hydrolases au niveau de la glande digestive du mollusque *Mytilus galloprovincialis* de la région de Jorf-Lasfar (Maroc). *Mar. Life*, 11, 1-2, 21-31.
- Essadaoui A., Sif J. & Kerambrun P. 1998. Effet du cadmium sur l'activité de l' α -amylase chez *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Life.*, 8, 1-2, 51-61.
- Fabre-Test L.J.-M. 1980. *Métaux lourds dans l'écosystème littoral marin : Cuivre, Fer, Zinc et manganèse chez Arenicola marina L. (Annélide Polychète) dans les sédiments de la rade de Brest*. Thèse de 3^e cycle, Univ. d'Aix-Marseille II, 160 p.
- Ferssiwi A. 2007. *Accumulation du cadmium, cuivre et zinc dans le sédiment et chez quatre espèces d'Annélides Polychètes du littoral d'el Jadida (côte atlantique marocaine) : Implication des protéines type métallothionéines*. Thèse de Doctorat, Univ. Chouaib Doukkali. Fac. Sci. El Jadida, 214 p.
- Ferssiwi A., Sif J., El Hamri H., Rouhi A. & Amiard J.-C. 2004. Contamination par le cadmium de l'Annélide Polychète *Hediste diversicolor* dans la région d'El Jadida (Maroc) : implication des protéines type métallothionéines. *J. Rech. Océanogr.*, 29, 3-4, 59-64.
- Glasby G.P. 1984. Manganese in the marine environment. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 22, 169-194.
- Hylleberg J. 1975. Selective feeding by *Abarenicola pacifica* with notes on *Abarenicola vagabunda* and a concept of gardening in lug worms. *Ophelia*, 14, 113-137.
- Jeuniaux C. 1969. Nutrition and digestion. In : Florkin M. & Sheer B.T. (eds) - *Chemical Zoology*, vol. 4, ch. 2, Academic Press, New-York, pp. 69-91.
- 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^e cycle, Univ. Chouaib-Doukkali, Fac. Sci. El Jadida, 147 p.
- Kaimoussi A., Chafik A., Mouzdahir A. & Bakkas S. 2001. The impact of industrial pollution on the Jorf-Lasfar coastal zone (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel as an indicator of metal contamination. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 333, 6, 337-341.
- Lagadic L., Caquet T. & Amiard J.C. 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. In : Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C. & Ramade F. (eds) - *Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux*. Masson, Paris, pp. 1-9.
- Lechapt J.P., Bellan G. & Retière C. 1993. Evaluation of the degree of organic pollution in a megatidal environment using an annelid pollution index. *Ann. Inst. Océanogr.*, 69, 2, 225-237.
- Makroum K. & Moncef M. 2003. Etude de la bioaccumulation du cadmium par certains macrophytes du littoral de la région d'El Jadida (Maroc Atlantique). *Cah. Biol. Mar.*, 44, 49-60.
- Nakhli S. & Ghazi A. 2008. Quels outils pour un développement durable des zones côtières marocaines. *Actes Coll. Intern. Pluridiscipl. « Le littoral : subir, dire, agir »*, Ille, France, 16-18 janvier 2008.
- Newell C.R. 2001. The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of the mussel *Mytilus edulis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 262, 1, 91-111.
- Phillips D.J.H. 1980. Toxicity and accumulation of cadmium in marine and estuarine biota. In: Nriagu J.O. (Ed.) - *Cadmium in the Environment*. Part 1, Ecological Cycling. J. Wiley, New York., pp. 426-570.
- Ramade F. 1992. *Précis d'écotoxicologie*. Masson, Collection d'Ecologie n° 22, nb pages.
- Rouhi A., Sif J., Ferssiwi A. & Chemaa A. 2007. Bioaccumulation de quelques éléments métalliques par deux espèces d'Annélides Polychètes du littoral de Jorf Lasfar (Région d'El Jadida, Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, sect. Sci. Vie, 29, 81-87.
- Rouhi A., Sif J., Gillet P. & Deutch B. 2008. Reproduction and population dynamics of *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) of the Atlantic coast, El Jadida, Morocco. *Cah. Biol.*, 49, 151- 160.
- Sif J., Essadaoui A. & Ferssiwi A. 2002. Concentration du Cu, Zn et Cd au niveau de la glande digestive de *Mytilus galloprovincialis* : rôle des métallothionéines dans la détoxification des métaux lourds. *J. Rech. Océanogr.*, 27, 3, 284-287.
- Sif J., Ferssiwi A., Talib N., Rouhi A. & Merzouki M. 2005. Etude et suivi des éléments-traces au niveau de la lagune de Oualidia. *Rapp. Sci. Progr. Lagmar*, Maroc., 1, 63-66.
- Zourarah B., Carruesco C., Labraimi M., Rebouillon P. & Bekkas S. 2002. Pollution métallique des sédiments fins de l'estuaire de l'Oum Er Rbia : impact des rejets anthropiques. *Afr. Geosci. Rev.*, 9, 2, 143-156.

Manuscrit reçu le 18 février 2012

Version modifiée acceptée le 31 juillet 2012