

# Bioaccumulation de quelques éléments métalliques par deux espèces d'Annélides Polychètes du littoral de Jorf Lasfar (région d'El Jadida, Maroc)

Abdelali ROUHI, Jamila SIF\*, Abdesslam FERSSIWI & Abdeljalil CHEMAA

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

**Résumé.** Sept éléments métalliques (Cd, Zn, Cu, Fe, Al, Cr et Mn) ont été analysés chez deux espèces Polychètes *Sabellaria alveolata* et *Arenicola grubii* récoltées près d'un site pollué situé dans la région de Jorf Lasfar. Les espèces sont différentes de par leur mode de vie et de nutrition. *Sabellaria alveolata* est tubicole et filtreur suspensivore, alors que *Arenicola grubii* est dépositivore, inféodée au sédiment. Les prélèvements ont été effectués mensuellement de septembre 2003 à août 2004. Trois paramètres physico-chimiques de l'eau ont également été mesurés (pH, température et salinité). Les résultats obtenus montrent que la bioaccumulation des métaux est fonction de la saison, les concentrations les plus élevées ont été notées au printemps et en été. Elle est également fonction de l'espèce considérée ; Cd, Zn, Cr et à moindre degré Cu sont préférentiellement accumulés par *S. alveolata*. L'espèce *A. grubii* assimile modérément Fe, Al et Mn.

**Mots-clés :** Bioaccumulation, métaux lourds, *Sabellaria alveolata*, *Arenicola grubii*, Jorf Lasfar, Maroc.

**Bioaccumulation of some metallic elements by two species of Annelida Polychaetes from the coastline of Jorf Lasfar (El Jadida, Morocco).**

**Abstract.** Seven metallic elements (Cd, Zn, Cu, Fe, Al, Cr and Mn) were analysed from the tissues two Polychaetes species *Sabellaria alveolata* and *Arenicola grubii* collected from a polluted site located in Jorf Lasfar (Atlantic coast of Morocco). The mode of life and nutrition are different for the two species. *Sabellaria alveolata* is a tubicolous and suspensivorous filtering species, whereas *A. grubii* is depositivorous, and lives in the sediment. Samplings were carried out monthly from September 2003 to August 2004. Three physicochemical parameters of the seawater were also measured (pH, temperature and salinity). The obtained results show that the bioaccumulation of metals depends on the seasons: the highest concentrations were noted in spring and summer. It also depends on the species; Cd, Zn, and to a lesser extent Cu are preferably accumulated by *S. alveolata*. The species *A. grubii* moderately assimilates Fe, Al and Mn.

**Key words:** Bioaccumulation, heavy metals, *Sabellaria alveolata*, *Arenicola grubii*, Jorf Lasfar, Morocco.

## INTRODUCTION

De nombreuses espèces d'Annélides Polychètes ont été largement utilisées pour apprécier le degré de contamination des écosystèmes marins et estuariens. Quarante huit espèces appartenant à vingt familles différentes ont servi de modèle pour estimer les effets des polluants métalliques et/ou organiques (Reish & Gerlinger 1997). *Sabellaria alveolata* et *Arenicola grubii* sont deux Polychètes assez répandues dans le littoral d'El Jadida. La première, espèce tubicole, est un filtreur suspensivore qui, sur une surface de 225 cm<sup>2</sup>, peut filtrer jusqu'à 0,7 l.h<sup>-1</sup> d'eau de mer (Dubois *et al.* 2003). La deuxième est dépositivore, se nourrissant de la matière organique déposée avec le sédiment. Elle occupe des milieux sableux et vaseux.

L'utilisation de deux espèces possédant un mode de nutrition différent permet, d'une part, de déterminer la différence du pouvoir accumulateur d'espèces biologiquement différentes, et d'autre part, d'estimer le degré de contamination de l'eau et du sédiment. La présente étude entre dans le cadre général de la surveillance et du contrôle de l'état de santé de la côte d'El Jadida, qui reçoit des rejets aussi bien industriels qu'urbains (Ferssiwi *et al.* 2004).

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Le site étudié est situé à environ 24 km au sud de la ville d'El Jadida. Il est caractérisé par la présence de

plusieurs unités industrielles dont le complexe phosphatier « Maroc Phosphore III et IV » et la centrale thermique de l'Office national d'électricité (ONE). C'est une zone à grandes potentialités industrielles, du fait de sa grande superficie et de la présence du port de Jorf Lasfar, l'un des plus grands ports d'Afrique. La station d'étude 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 (J, Fig. 1). Elle est caractérisée par un substrat sableux entouré d'une ceinture de blocs rocheux.

### Espèces étudiées

Deux espèces d'Annélides marins ont été choisies en raison de leur mode de nutrition différent :

– *Sabellaria alveolata* est une Sabellariidae de 2 à 5 cm de longueur, qui vit dans un tube formé de grains de sable agglomérés par un ciment. Ce dernier est constitué d'une composante protéique en grains sphériques élaborée par les sécrétions d'un bouclier glandulaire ventral parathoracique, et d'une composante minérale constituée essentiellement de calcium, phosphore et magnésium (Gruet *et al.* 1987). Les tubes accolés aux rochers constituent des récifs qui peuvent s'étaler sur plusieurs hectares. Ces animaux sont communément appelés « hermelles ». Pendant la montée des marées, chaque animal capte les microparticules d'eau de mer, en utilisant le panache filamentaire de la zone buccale (Johanson 1927). La période de ponte chez cette espèce débute dès la première année de sa vie et se prolonge jusqu'à sa mort.

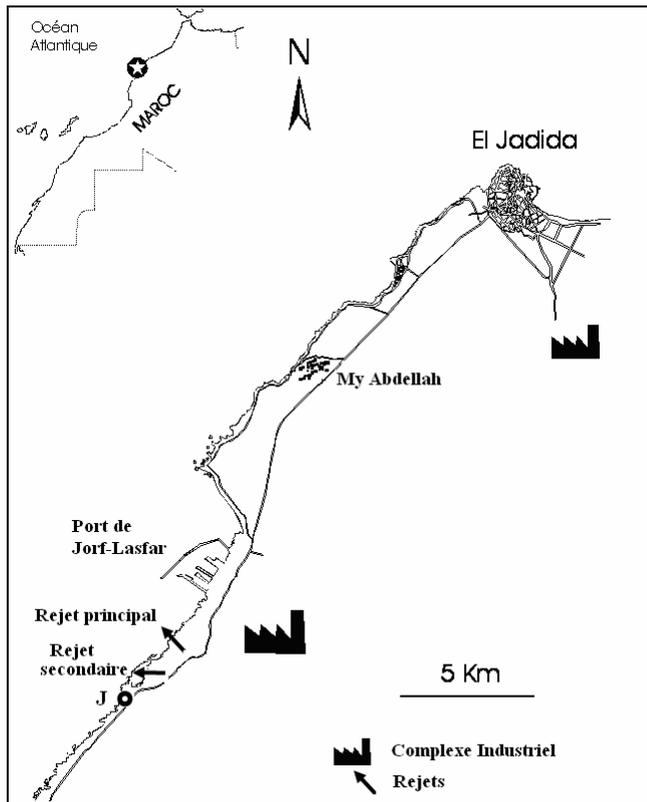


Figure 1. Site de prélèvement (station J) des échantillons localisé dans la région de Jorf-Lasfar (El Jadida, Maroc)

Deux périodes de ponte ont pu être mises en évidence : mars-avril et juin-juillet (Gruet 1985).

– *Arenicola grubii* est une espèce qui se trouve généralement sur les estrans sableux ou vaseux. Elle est caractérisée par un *prostomium* qui peut sortir une trompe molle. Elle creuse à l'aide de cette dernière une galerie en L dans laquelle elle vit. Pour les espèces du genre *Arenicola*, le sédiment est à la fois un substrat (fraction minérale) et un aliment (fraction organique) (Longbottom 1968). La digestion est principalement extracellulaire et catalysée par l'émission d'enzymes dans la lumière du tube digestif (Jeuniaux 1969). La couleur laiteuse des cavités coelomiques est caractéristique des gamètes et est fréquemment apparente entre juin et octobre (Newell 1949).

### 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 des deux espèces *S. alveolata* et *A. grubii* ont été collectés dans la zone intertidale pendant les marées de vives-eaux. Au laboratoire, les Polychètes ont été placées dans l'eau de mer filtrée et oxygénée pour une période de purge de 24 heures, ce qui a permis d'éliminer le contenu de leur tube digestif. Tous les individus de *S. alveolata* ont été extraits avec précaution de leurs tubes sableux avant d'être rincés à l'eau distillée. Ils ont été ensuite conservés au congélateur ( $-25^{\circ}$ ). Le pH et la température ont été mesurés directement sur le

terrain à l'aide d'un pH-mètre/thermomètre portable (WTW, modèle 521) ; la mesure de la salinité a été faite au laboratoire à l'aide d'un salinomètre/conductimètre (WTW, modèle inolab).

### Dosage des métaux

Les animaux ont été mis à sécher à l'étuve à  $70^{\circ}\text{C}$  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 %). La digestion s'est fait 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  $140^{\circ}\text{C}$ . Les minéralisats ainsi obtenus ont été filtrés, ajustés à 100 ml à l'eau bidistillée puis conservés à  $4^{\circ}\text{C}$  jusqu'à l'analyse.

Sept éléments métalliques ont été mesurés : le cadmium, le zinc, le cuivre, le fer, l'aluminium, le chrome et le manganèse. 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  $\mu\text{g/g}$  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 sommation des mesures de trois échantillons. La différence entre les concentrations d'une part en fonction de l'espèce et d'autre part par rapport à la date de prélèvement a été évaluée en utilisant l'analyse de variance (ANOVA), qui fournit la variance à travers le paramètre  $F$  de Fisher (rapport carrés moyens groupes / carrés moyens erreurs) et par 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. Les statistiques descriptives comme l'analyse en composantes principales (ACP) basée sur le calcul du coefficient de Spearman a été utilisée afin de montrer l'importance de chacun des facteurs étudiés.

## RESULTATS

### Paramètres physico-chimiques

Durant la période d'étude, la température de l'eau de la station de prélèvement a varié de  $15$  à  $19,8^{\circ}\text{C}$  (Tab. I). Le pH montre des valeurs entre 7,49 et 8,85. Durant toute la période d'étude, les valeurs sont restées supérieures à 7. Pour la salinité, les mesures obtenues sont inférieures à 36 (entre 34,8 en septembre et octobre et 36 en avril).

### Bioaccumulation des métaux lourds

La figure 2 représente les concentrations moyennes annuelles des métaux étudiés dans les deux espèces de Polychètes *Arenicola grubii* et *Sabellaria alveolata*.

Tableau I. Paramètres physico-chimiques de l'eau de la station étudiée.

	Température (°C)	pH	Salinité
Moyenne	17,85±1,71	7,99±0,44	35,34±0,40
Max	19,80	8,85	36,00
Min	15,00	7,49	34,80

**Cadmium**

Les concentrations de Cd dans les tissus de *S. alveolata* et *A. grubii* sont significativement différentes ( $F = 193,12$  ;  $p = 0,000$ ). Les valeurs moyennes annuelles sont respectivement  $38,44 \pm 8,83$  et  $10,29 \pm 7,18$   $\mu\text{g/g}$  de poids sec, ce qui montre une importante accumulation par *S. alveolata* pendant toute l'année. Les teneurs de ce métal en fonction des mois sont significativement différentes pour *A. grubii* ( $F = 2,15$  ;  $p = 0,024$ ) alors qu'elles ne le sont pas chez *S. alveolata*.

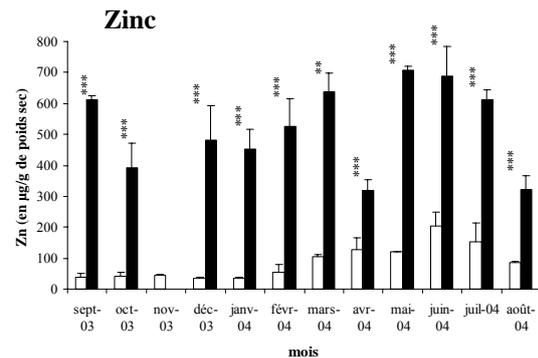
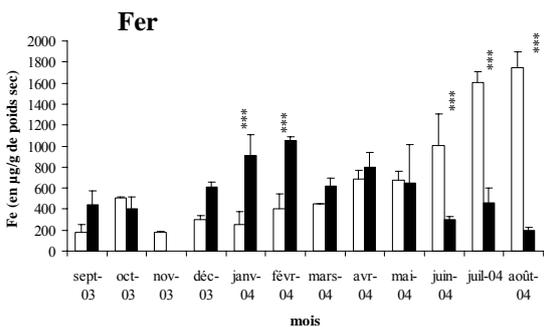
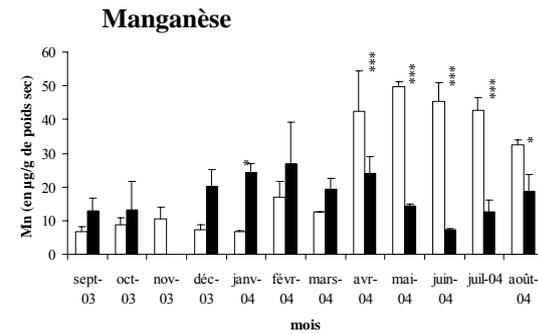
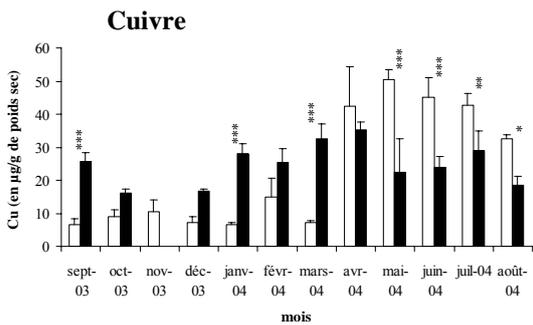
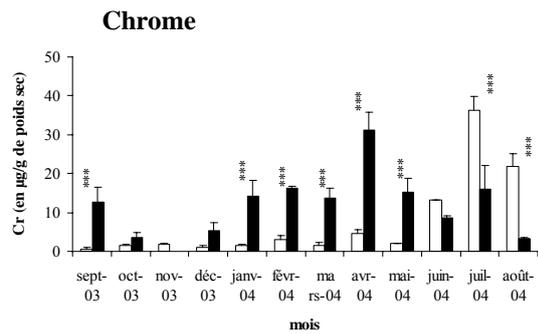
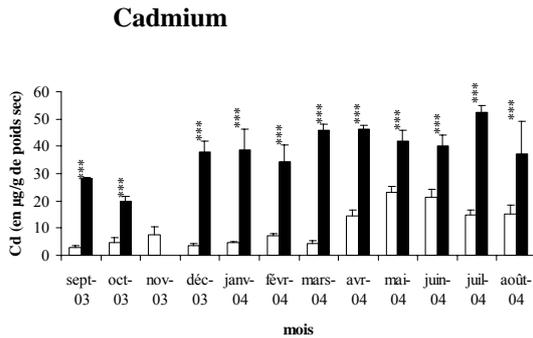
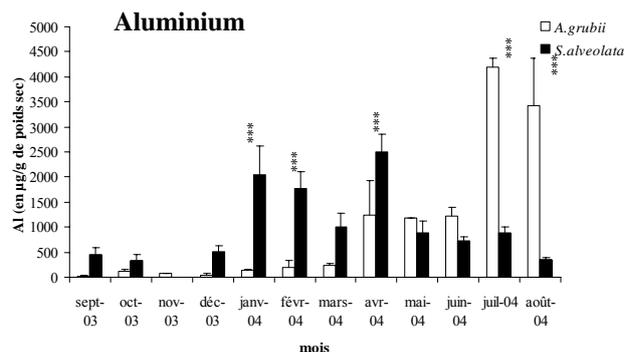


Figure 2. Concentrations métalliques (moyenne  $\pm$  écart-type) chez deux espèces Polychètes *Arenicola grubii* (barres blanches) et *Sabellaria alveolata* (barres noires) issues de la station de Jorf-Lasfar. (\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$ )



### Chrome

Les concentrations mensuelles du chrome chez *S. alveolata* et *A. grubii* sont significativement différentes ( $F = 5,27$  ;  $p = 0,024$ ) avec respectivement  $12,73 \pm 7,85$  et  $7,40 \pm 11,12$   $\mu\text{g/g}$  de poids sec comme valeurs moyennes annuelles. Une différence significative en fonction des mois a été notée chez les deux Polychètes (respectivement  $F = 3,40$  à  $p = 0,001$  et  $F = 3,42$  à  $p = 0,001$ ). La valeur maximale a été enregistrée pendant les mois d'avril pour *S. alveolata* ( $31,11 \pm 4,70$ ) et en juillet pour *A. grubii* ( $36,32 \pm 3,61$ ).

### Zinc

Les concentrations en Zn montrent une différence significative entre les deux espèces ( $F = 285,41$  ;  $p = 0,000$ ). La concentration moyenne annuelle est six fois plus importante chez *S. alveolata* que *A. grubii* (respectivement  $522,39 \pm 140,26$   $\mu\text{g/g}$  et  $86,97 \pm 55,27$   $\mu\text{g/g}$ ). Les teneurs moyennes en zinc varient aussi en fonction des mois d'une façon très significative chez *S. alveolata* par rapport à *A. grubii* (soit respectivement :  $F = 73,25$  ;  $p = 0,000$  et  $F = 27,71$  ;  $p = 0,000$ ).

### Cuivre

La bioaccumulation du cuivre est différente chez les deux espèces. La concentration de cet élément est élevée de septembre à avril chez *S. alveolata*. A partir de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'été, les concentrations de cet élément deviennent de plus en plus élevées dans les tissus de *A. grubii*. Une variation très significative en fonction des mois a été également remarquée pour les deux espèces ( $F = 4,25$  à  $p = 0,000$  et  $F = 49,31$  à  $p = 0,000$  respectivement pour *A. grubii* et *S. alveolata*).

### Manganèse

Les valeurs moyennes annuelles sont respectivement de  $23,51 \pm 17,44$  et  $17,6 \pm 6,01$   $\mu\text{g/g}$  de poids sec chez *S. alveolata* et *A. grubii*. A l'exception de la période étalée sur les mois d'avril à août où les concentrations en Mn chez *A. grubii* sont supérieures à celles mesurées dans les spécimens de *S. alveolata*, aucune différence significative n'a été enregistrée le reste de l'année pour ce métal.

### Fer

Chez les deux espèces étudiées, le fer évolue de façon comparable durant la période d'étude. Aucune différence significative de l'accumulation métallique n'a été relevée entre les deux espèces. En revanche, ce métal montre une grande différence significative en fonction du temps pour les deux espèces ( $F = 3,42$  ;  $p = 0,000$ ) et ( $F = 35,46$  ;  $p = 0,000$ ).

### Aluminium

Les variations mensuelles des teneurs en aluminium chez *S. alveolata* sont très significatives ( $F = 17,94$  ;  $p = 0,000$ ). Elle détermine une période de fortes valeurs s'étalant sur tout l'hiver et le début du printemps. Le maximum d'accumulation est noté en avril avec un pic

important ( $2496,68 \pm 365$ ). Pour *A. grubii*, une variation significative a été observée au cours de l'année ( $F = 6,51$  ;  $p = 0,000$ ). Les concentrations les plus élevées sont notées en juillet ( $4187,30$   $\mu\text{g/g}$ ) et août ( $3419,53$   $\mu\text{g/g}$ ).

### Analyse en composantes principales (ACP)

Les résultats exposés dans le tableau II sont issus d'une ACP, comportant sept variables (métaux) et onze modalités (valeurs mensuelles moyennes). Les deux premiers axes présentent respectivement 69 % et 21 % de l'information, soit un total de 90 % de la variabilité totale. L'axe factoriel F2 permet de distinguer la bioaccumulation métallique des deux espèces *Sabellaria alveolata* (axe Y<sup>+</sup>) et *Arenicola grubii* (axe Y<sup>-</sup>)(Fig. 3). Cette discrimination semble être due surtout au type du métal : soit Cd, Zn et Cr du côté des ordonnées positives et Cu, Fe, Mn et Al du côté des ordonnées négatives. C'est une séparation montrant l'opposition du groupe des métaux typiquement urbains à ceux à dominance continentale.

L'effet de saison peut également être visualisé sur l'axe des abscisses. En effet, le côté négatif (X<sup>-</sup>) permet de séparer les individus de *A. grubii* qui accumulent les métaux en hiver et en automne. L'axe (X<sup>+</sup>) regroupe les individus accumulant les métaux au printemps et en été, ce qui n'est pas le cas pour l'espèce *S. alveolata*. En général, le comportement des deux espèces vis-à-vis de la bioaccumulation des métaux étudiés n'est pas le même. En effet, Cd, Zn et Cr et à moindre degré Cu sont les éléments les plus accumulés par *S. alveolata* que par *A. grubii*. Par contre, Fe, Mn et Al sont plus accumulés par *A. grubii*. L'espèce *S. alveolata* est indifférente à l'effet de saison sur la bioaccumulation des éléments métalliques ; cependant, *A. grubii* en est influencée.

## DISCUSSION

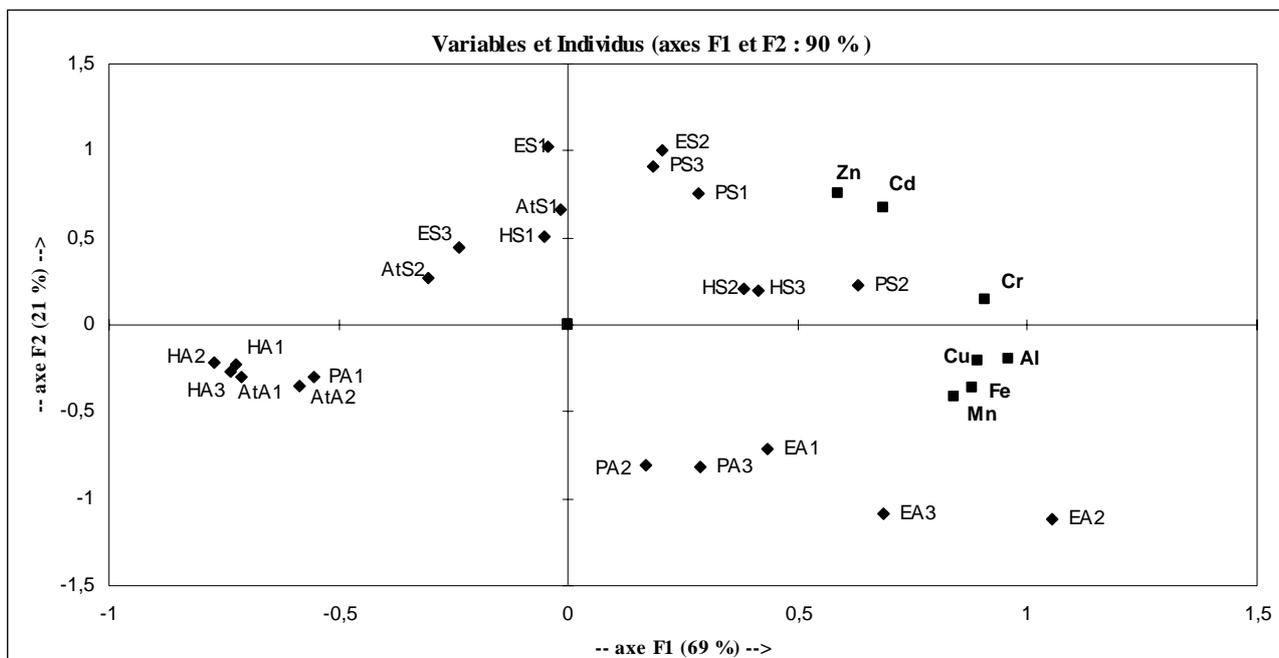
La bioaccumulation des métaux analysés paraît différente chez *S. alveolata* et *A. grubii*. Chez la première, ce sont Cd, Zn, Cr et Cu qui sont accumulés en quantité importante, alors que la deuxième assimile de préférence Fe, Al et Mn. Cette différence d'assimilation va de pair avec la nature des métaux. Ceux typiquement urbains sont plus accumulés par *S. alveolata* et ceux à dominance continentale, le sont par *A. grubii*.

Depuis la mise en place du complexe « Maroc Phosphore III et IV » dans la région de Jorf Lasfar en 1986, plusieurs travaux de recherche menés dans le cadre de surveillance de la qualité du milieu marin et/ou l'état de santé des animaux qui y vivent, ont montré l'importance des métaux lourds évacués en parallèle avec le phosphogypse. Ces métaux toxiques sont détectés aussi bien dans le sédiment que dans les tissus de certains animaux et algues (Kaimoussi 1996, 2001, Essadaoui *et al.* 1998, 2001, Cheggour *et al.* 1999, Kaimoussi *et al.* 2001, Sif *et al.* 2003).

Une fois dans l'environnement aquatique, les métaux se répartissent entre les différents compartiments (eau, matière en suspension, sédiment et biota). La part de chacun de ces compartiments dépend de plusieurs paramètres, entre autres, les facteurs physico-chimiques et hydrodynamiques

Tableau II. Taux de participation de chaque axe factoriel dans l'établissement des plans de projection.  $F_n$  représentent les axes factoriels de l'ACP

Axes factoriels	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
Valeur propre	4,84	1,44	0,33	0,19	0,11	0,06	0,04
% variance	69,14	20,51	4,73	2,69	1,51	0,84	0,58
% cumulé	69,14	89,65	94,38	97,07	98,58	99,42	100

Figure 3. Représentation en composantes principales (ACP) des individus en fonction des variables (métaux) chez les deux espèces de Polychètes *Sabellaria alveolata* et *Arenicola grubii*. (A : *Arenicola grubii* ; S : *Sabellaria alveolata* ; At : Automne ; H : Hiver ; P : Printemps et E : Été)

qui règnent dans le milieu ainsi que de la nature du métal et sa concentration. Le site de Jorf Lasfar est considéré parmi les zones caractérisées par une activité intense d'upwelling (Agoumi & Orbi 1992) et des mouvements hydrodynamiques importants. Ceci influence sans doute la répartition des éléments métalliques entre le sédiment et la colonne d'eau, ce qui laisse penser que la plus grande partie des traces métalliques se trouve dans la phase particulaire. En plus des paramètres externes, la biodisponibilité des métaux est liée à l'organisme considéré et son stade de développement (Lebourg *et al.* 1996). Par exemple, le mode de nutrition détermine la fraction métallique ciblée et par conséquent sa biodisponibilité. Grâce à son appareil buccal tentaculaire, *S. alveolata* accumule la matière en suspension dans l'eau chargée en métaux facilement adsorbés ou complexés, ce qui explique en partie les grandes concentrations en cadmium, zinc et chrome dans les tissus de cet animal en comparaison avec celles enregistrées chez *A. grubii*. Ces trois éléments, en particulier Cd, proviennent majoritairement des rejets liquides-solides riches en phosphogypses déversés dans l'eau de mer par le complexe phosphatier (Cheggour *et al.* 1999).

Les métaux adsorbés aux sédiments peuvent être assimilés par les déposivores pendant le transit digestif. Par

les mouvements de la trompe, *A. grubii* collecte et ingère des particules des sédiments environnants et la microfaune associée (Newell 1949). Dans les conditions normales, cette espèce 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 où les phénomènes d'anaérobiose sont très fréquents suite à une augmentation de la température. Pour le manganèse, les concentrations notées sont très élevées chez *A. grubii* ( $23,51 \pm 17,44 \mu\text{g/g p.s.}$ ). Cet élément est considéré comme un excellent traceur des apports continentaux aux écosystèmes aquatiques (Glasby 1984, Zourarah *et al.* 2002). D'autre part, sur le littoral d'El Jadida, cette espèce occupe des endroits abrités, riches en matière organique dans la partie supérieure de la zone de balancement des marées, zone humide et moins immergée pendant un cycle de marée et donc la plus influencée par les apports continentaux. Par ailleurs, les blocs d'hermelles s'étalent en récifs dans la partie inférieure de la zone infralittorale. Ce n'est que pendant les vives-eaux qu'ils se découvrent de l'eau. *S. alveolata* semblerait donc moins touchée par les métaux d'origine continentale.

Kermack (1959) a montré que *A. grubii* peut absorber plus du tiers de son poids d'eau par l'intestin à chaque transit digestif conduisant à un très haut niveau de dilution (Fabre-Teste 1980). Une augmentation des besoins alimentaires des animaux implique sans doute une augmentation alternative du taux de prise et d'accumulation des métaux. En raison de son mode de vie et de sa propre physiologie, *A. grubii* se trouve plus directement exposée au risque de contamination par les métaux lourds dissous ou liés au sédiment. L'existence probable du phénomène de détoxification permet d'éliminer les métaux les plus toxiques comme Cd, Zn, Cr et Cu. Cette régulation peut expliquer leurs faibles concentrations chez *A. grubii* par rapport à *S. alveolata* (Fabre-Teste 1980).

Les processus physiologiques, particulièrement ceux liés à la reproduction, sont à prendre en compte au moins en partie pour expliquer les variations saisonnières des concentrations en métal (Bryan *et al.* 1980, Phillips 1980, Amiard *et al.* 1986, Cossa 1989). Dans le présent cas, les concentrations les plus importantes ont été enregistrées pendant le printemps et l'été, surtout chez *A. grubii*. Des observations sur le terrain pendant cette période montrent que les individus de *A. grubii* sont gorgés de cellules sexuelles. En revanche, *S. alveolata* se reproduit spontanément durant toute l'année dès la première année de sa vie (Gruet 1985), ce qui explique les faibles variations des concentrations chez cette espèce.

## CONCLUSION

Au cours de la présente étude, les teneurs en Cd, Zn, Cu, Fe, Al, Cr et Mn ont été évalués chez deux espèces d'Annélides Polychètes *Sabellaria alveolata* et *Arenicola*

*grubii*; espèces différentes de part leur mode nutritionnel, respectivement suspensivore et détritivore.

La variation saisonnière de l'accumulation des métaux a été notée chez les deux espèces et montre des concentrations significativement élevées au printemps et en été. Cette situation est vraisemblablement liée à l'activité physiologique des animaux sans toutefois négliger certains facteurs environnementaux.

La comparaison de l'accumulation des métaux permet de constater que la biologie des espèces est un facteur qui détermine la nature et la concentration de l'élément bio accumulé. Le Polychète *S. alveolata* concentre préférentiellement Cd et Zn, Cr et à moindre degré Cu; ces métaux, d'origine anthropique sont donc les polluants majeurs, en suspension dans l'eau de la station d'étude. De ce fait, *Sabellaria alveolata* s'avère une espèce bioindicatrice de la pollution métallique. L'espèce *A. grubii* assimile modérément Fe, Al et Mn, métaux à dominance continentale.

## Remerciements

Ce travail a été fait dans le cadre d'un projet REMER (Réseau National des Sciences et Techniques de la Mer) avec un soutien financier (missions et stages) alloué conjointement par le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'ambassade de France au Maroc et par le Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique.

Nous remercions Dr. Chantal Salen-Picard du Centre d'Océanologie de Marseille (COM) et Pr. Patrick Gillet de l'Institut de Biologie et d'Ecologie Appliquée (UCO) d'Angers. Nos remerciements s'adressent également aux évaluateurs anonymes du présent travail.

## Références

- Agoumi A. & Orbi A. 1992. Evolution météorologique et upwelling le long de la côte atlantique marocaine. *Hydroécol. Appl.*, 2, 4, 149-158.
- Amiard J.C., Amiard-Triquet C., Berthet B. & Me'tayer C. 1986. Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, lead, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. I: field study. *Mar. Biol.*, 90, 425-431.
- Bryan G.W., Langston W.J. & Hummerstone L.G. 1980. The use of biological indicators of heavy metal contamination in estuaries. *Marine Biological Association of the UK*, Occasional Publication 1, 73.
- Cheggour M., Langston 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 coastline (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.
- Dubois S., Barillé L. & Retière C. 2003. Efficiency of particle retention and clearance rate in the Polychaete *Sabellaria alveolata* L. *C. R. Biologies*, 346, 413-421.
- 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' $\alpha$ -amylase chez *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Life*, 8, 1-2, 51-61.
- Fabre-Teste L.J.-M. 1980. *Métaux lourds dans l'écosystème littoral marin: Cuivre, Fer, Zinc et manganèse chez Arenicola marina L. (Annélide Polychète) et dans les sédiments de la rade de Brest*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Marseille II, 160 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.
- Gruet, Y. 1985. Ecology of sabellarian reefs built by the Annelida Polychaeta *Sabellaria alveolata* (Linne). *J. Rech. Oceanogr.*, 10, 32-35.
- Gruet Y., Vovelle J & Grasset M. 1987. Composante biominérale du ciment du tube chez *Sabellaria alveolata*, Annélide Polychète. *Canad. J. Zool.*, 65, 4, 837-842.
- Jeuniaux C. 1969. Nutrition and digestion. In: Florkin M. & Sheer B.T. (eds) – *Chemical Zoology*, vol. 4, ch. 2, Academic Press, New-York, 69-91.
- Johanson K.E. 1927. Beitrage zur Kenntnis der Polychaeten Familien Hermellidae, Sabellidae and Serpulidae. *Zoologica Bidrag Frin Uppsala*, 11, 184 p.

- 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<sup>ème</sup> 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, 337-341.
- Kermack D.M. 1959. The anatomy and physiology of the gut of the polychaete *Arenicola marina* L. *Proc. Zool. Soc. London*, 125, 347-381.
- Lebourg A., Sterckeman T., Ciesielski H & Proix N. 1996. Intérêt de différents réactifs d'extraction chimique pour l'évaluation de la biodisponibilité des métaux en traces du sol. *Agronomie*, 16, 201-215.
- Longbottom M.R., 1968. *Nutrition factors affecting the distribution of Arenicola marina*. Ph. D. Thesis, Univ. London, 171p.
- Newell G.E. 1949. The later larval life of *Arenicola marina* L. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 28, 635-639.
- 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. New York, 426-570.
- Reish D.J & Gerlinger T.V. 1997. A review of the toxicological studies with polychaetous annelids. *Bull. Mar. Sci.*, 60, 584-607.
- Sif J., Essedaoui A & Ferssiwi A. 2003. 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.
- Zourarah B., Carruesco C., Labraimi M., Rebouillon P. & Bakkas 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 27 octobre 2006

Version modifiée acceptée le 4 mai 2007