

## Contribution à l'étude de la pollution de la zone côtière Saidia/Moulouya (Maroc Nord Oriental)

Yahya BASRAOUI<sup>1</sup>, Mohamed ZEGMOUT<sup>1</sup>, Jamal ELADDOULI<sup>2\*</sup>, Salima DEMNATI<sup>3</sup>, Abdelkader CHAHLAOUI<sup>2</sup> et Abdelhafid CHAFI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'hydrobiologie et Écologie Générale, Faculté des sciences, BP 524-Oujda, Maroc

<sup>2</sup>Faculté des Sciences, Meknès, Maroc

<sup>3</sup>Service Régional de l'Environnement de l'Oriental, Maroc

\* Correspondance, courriel : [eladdoulijamal@yahoo.fr](mailto:eladdoulijamal@yahoo.fr)

### Résumé

La teneur en métaux lourds (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd) de la prairie *Chamelea gallina* et de son compartiment abiotique a été suivie sur un cycle annuel au niveau de l'embouchure de l'oued Moulouya.

La contamination métallique de *Chamelea gallina* par les métaux lourds s'est révélée importante et atteint des niveaux importants au niveau de l'embouchure, soulignant par là l'effet polluant engendré par l'oued Moulouya. Ainsi le zinc, élément prépondérant dans les tissus de ce mollusque, montre des teneurs variants de 54,52 µg/g à 172 µg/g de poids sec.

Les fluctuations saisonnières des teneurs métalliques mises en évidence chez *Chamelea gallina* paraissent liées aux variations des facteurs physico-chimiques du milieu (pH, salinité, température) mais surtout aux processus physiologiques en rapport avec l'activité de reproduction (maturité sexuelle et ponte).

L'étude a révélé la présence de concentrations très importantes de métaux, particulièrement en ce qui concerne le fer et le zinc dans les sédiments et dans l'eau. Les autres métaux ont été détectés à des concentrations non négligeables au niveau des différents compartiments du site étudié.

**Mots-clés :** métaux lourds, *Chamelea gallina*, méditerranée marocaine.

### Abstract

#### Contribution to the pollution study of the coastal zone Saidia/Moulouya (North Eastern of Morocco)

The variation of heavy metal contents (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd) in the shellfish, *Chamelea gallina*, water and sediment was followed on an annual cycle at the level of one station located in the Moulouya river. The metal contamination of the shellfish, *Chamelea gallina*, appeared significant and reached high levels at the mouth underlining the pollution effect generated by Moulouya River. Thus, zinc, which is the dominating element in this species of mollusc, shows amounts variable from 54,52 µg/g to 172 µg/g dry weight.

The seasonal fluctuation of the metal content highlighted at *Chamelea gallina* appears related to the variation of physico-chemical factors of the environment (pH, salinity, temperature), but also to the physiological processes in connection with the activity of reproduction (sexual maturity and laying).

The study of these metals indicates the presence of important concentrations of metals particularly zinc and iron in sediment and in water column. The others metals copper, cadmium and lead were also detected in the three compartments at significant concentrations.

**Keywords :** *heavy metal, moroccan mediterranean, Chamelea gallina.*

## 1. Introduction

Les franges côtières sont généralement fortement urbanisées et industrialisées, par conséquent, soumises à des rejets en métaux lourds d'origine anthropique parfois importants [1]. Les mers et les océans reçoivent aujourd'hui des volumes importants en polluants comme les métaux lourds et les pesticides à partir de multiples sources tels que les rejets industriels et les rejets d'eau usée [2]. Les mers semi-fermées comme la Méditerranée sont d'autant plus sensibles à cet impact que le rapport longueur des côtes sur surface de la mer est grand et que le renouvellement des masses d'eaux est moins rapide [3].

Les sédiments du fond marin sont connus par leur pouvoir d'accumulation de métaux lourds introduits dans les mers et les océans via les affluents directs industriels et urbains, les apports fluviaux et atmosphériques et lessivage des sols [4]. Ils joueraient donc le rôle d'un véritable vecteur de ces métaux aux organismes aquatiques [5]. Chez ces derniers, l'accumulation biologique des métaux lourds peut se faire à partir de trois sources : l'eau, la nourriture et le sédiment. Le transfert des métaux du milieu récepteur aux organismes dépend des concentrations présentes dans ces différentes sources et est influencé par de nombreux facteurs écologiques et physiologiques [6-9].

Sur le littoral Méditerranéen du Maroc oriental, l'oued Moulouya draine dans son passage les eaux de lessivage des bassins riverains où a lieu une importante activité agricole ainsi que les rejets pollués de nombreuses unités industrielles et les rejets domestiques non traités de plusieurs agglomération urbaines qui ne cessent de se développer sur les abords. Tous ces affluents apportent à l'oued Moulouya des polluants de natures diverses, en quantités notables et qui finissent inévitablement dans la Méditerranée. Afin d'évaluer l'impact de cette pollution notamment celle due aux métaux lourds, nous avons étudié la contamination métallique de la praire *Chamelea gallina* (Mollusque bivalve connaissant une large exploitation commerciale au niveau de la région) et celle de son compartiment abiotique (eau et sédiment) au niveau de l'embouchure de la Moulouya.

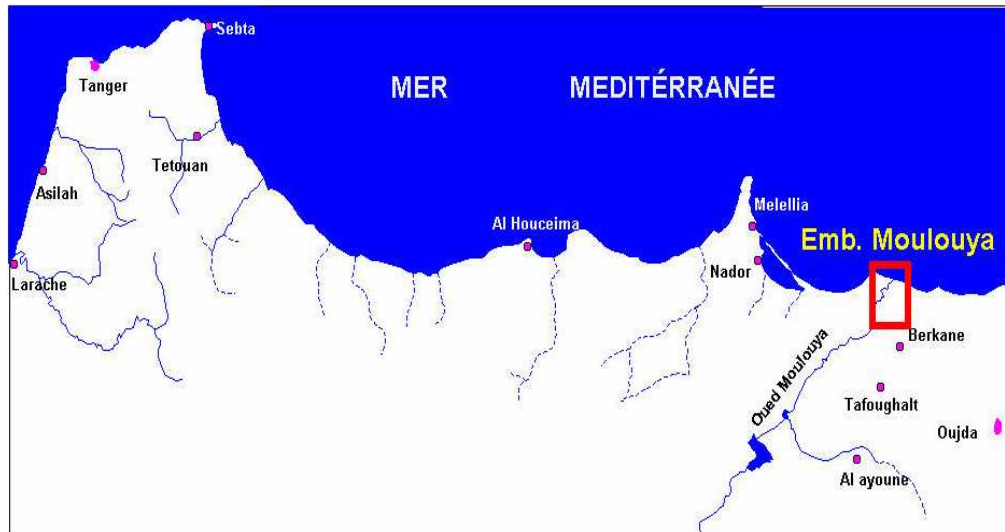
## 2. Matériel et méthodes

L'embouchure de la Moulouya est située sur la côte méditerranéenne Nord-Est du Maroc entre la ville de Saïdia et Ras Kebdana. Elle reçoit les eaux de l'Oued Moulouya qui constitue le plus important cours d'eau du Maroc à venir se jeter dans la Méditerranée marocaine. Il se situe entre 33° et 35°30' de latitude nord et entre 2° et 4°30' de longitude ouest (*Figure 1*).

Les individus sont triés sur le terrain, stockés dans des sachets en plastiques et conservés à 4°C. Afin d'éviter toute contamination par l'environnement ou le matériel de prélèvement, les modalités de prélèvements ont été effectuées selon les précautions décrites dans le manuel d'Aminot [10].

Au laboratoire, les parties molles sont extraites de la coquille et séchées à 80°C jusqu'à poids constant. Elles sont ensuite finement broyées à l'aide d'un mortier en agate afin d'éviter toute contamination externe par les métaux lourds. Une quantité variant entre 0,5g et 1g de poids sec du matériel biologique a été utilisé pour l'analyse des éléments métalliques suivants : cuivre, zinc, fer et cadmium.

La minéralisation est réalisée en deux étapes [11] : une calcination à 550°C pendant 4 heures suivie d'une attaque triacide (acide sulfurique, acide nitrique et acide perchlorique) (Merk suprapure) à température ambiante pendant une nuit, suivie d'une digestion à 60°C pendant 2 heures. Afin d'éviter toute perte métallique, des récipients en porcelaine fermés sont utilisés. On procède ensuite à une filtration sur membrane « Millipore » de 0,45 un de porosité.



**Figure 1 :** Localisation du site de prélèvement des praires dans l'estuaire de la Moulouya

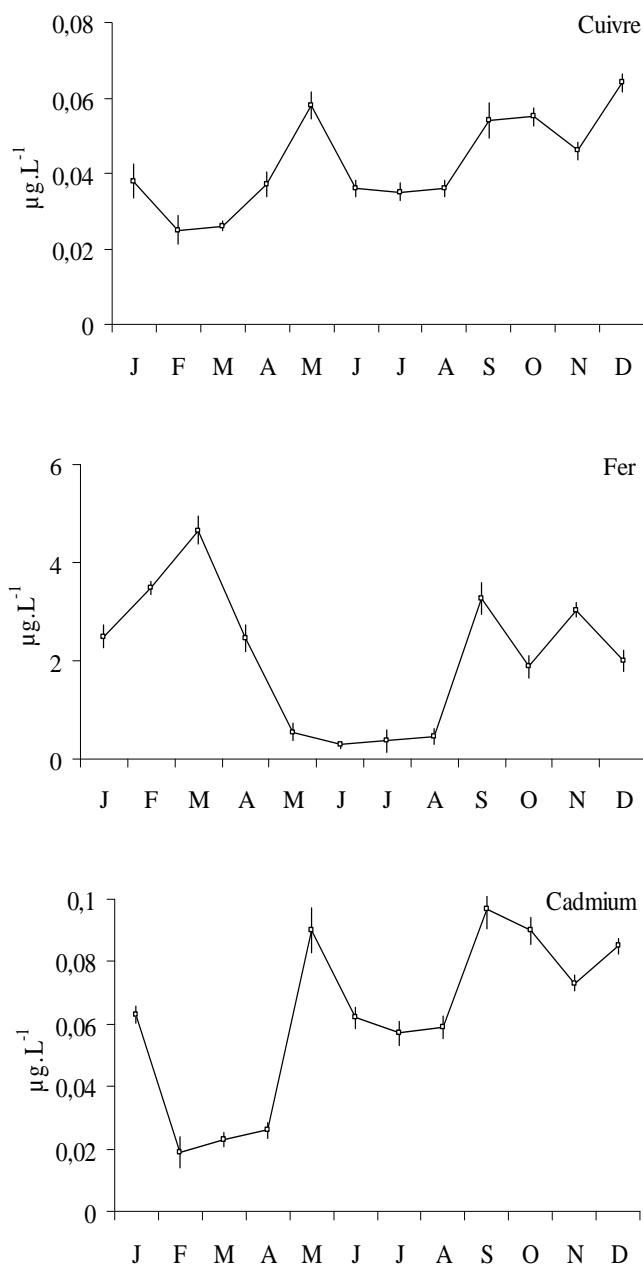
Le filtrat obtenu est complété avec de l'eau distillée jusqu'à un volume de 25 mL, puis stocké dans des piluliers en polypropylène à 4°C jusqu'au moment du dosage.

Les prélèvements de sédiments ont été effectués au même temps que les coquillages. Les échantillons sont séchés dans une étuve pendant 4 heures à 80°C puis tamisés, seule la fraction de diamètre inférieur à 100 µm est retenue. Une quantité de 0,5 de poids sec de sédiments a été utilisée pour l'analyse métallique. La minéralisation est effectuée de la même façon que pour les coquillages [11,12].

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polypropylène préalablement lavés à l'acide puis à l'eau distillée sur verre. Les prélèvements ont été effectués en même temps et dans les mêmes sites que ceux des coquillages à une profondeur de 20cm de la surface. Après filtration sur membrane « Millipore » de 0,45 µm de porosité, 100 mL d'eau sont acidifiés par de l'acide nitrique pur à raison de 5 mL pour 1 litre d'eau puis stockés à 4°C dans des façons en polypropylène jusqu'au moment de l'analyse [10]. Les éléments métalliques étudiés ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (VARIAN 20 AA) à flamme (aire/acétylène) pour le fer et le zinc et à four graphite pour le cadmium et le cuivre. Pour tenir compte de l'effet matrice qui peut induire des erreurs analytiques importantes, des échantillons de référence (SD-M-2/TM : sédiment marin ; NIST SRM 1566 : tissus d'huître) ont été utilisés pour le calibrage des mesures. Ces échantillons de références ont été traités dans les mêmes conditions que nos échantillons. La concentration en métaux lourds variait très légèrement avec le temps tout en restant dans la gamme certifiée pour chaque élément. Les blancs n'ont pas montré de contamination. Les limites de détection inférieures sont de 0,01 mg pour le fer (Fe) ; 0,002 mg pour le fer (Fe) ; 1 x 10-8 mg pour le cuivre (Cu) et 1x 10-9 mg pour le cadmium (Cd) [13].

### 3. Résultats et discussion

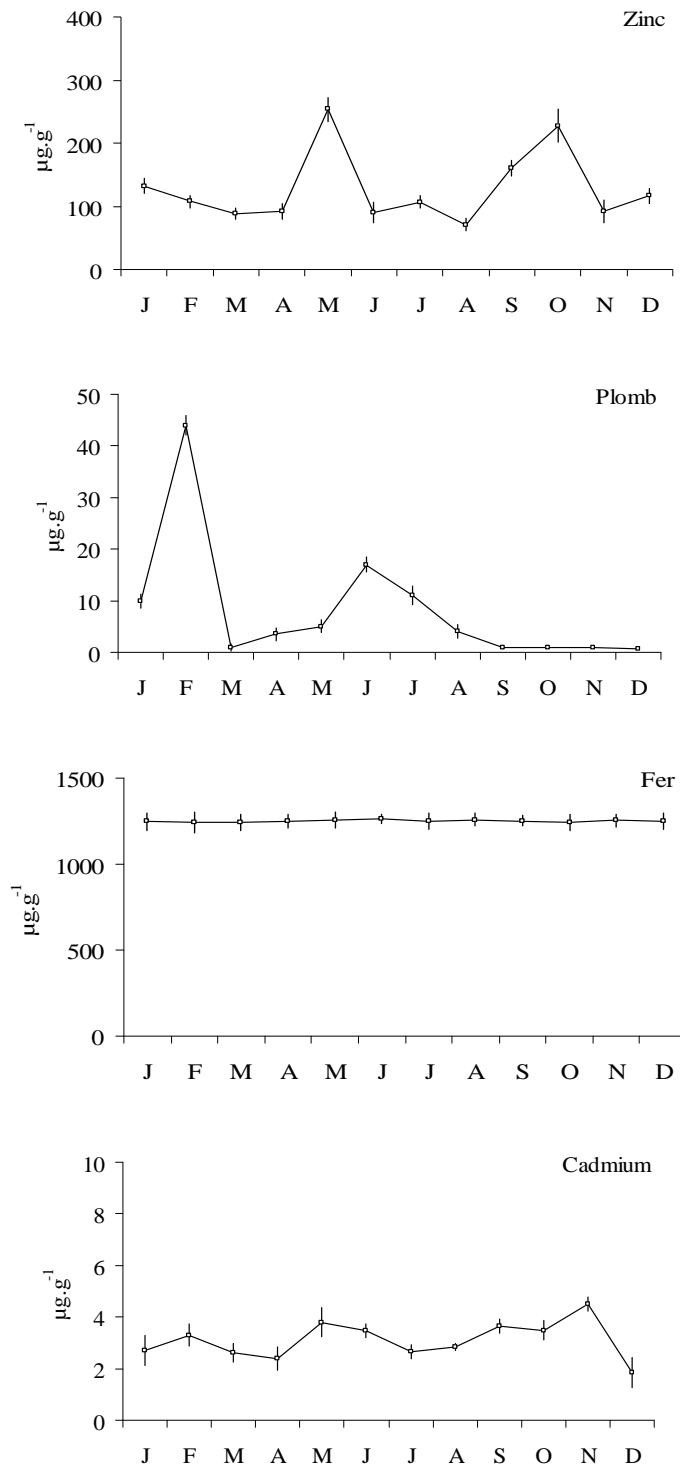
L'analyse des métaux lourds dans les échantillons d'eau a révélé la présence de concentrations élevées en zinc avec deux maximums, l'un observé au mois de février ( $7,15 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) et l'autre au mois de décembre ( $6,11 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (**Figure 2**). En ce qui concerne le fer, deux périodes de fortes concentrations sont observées, l'une en mars avec un pic de  $4,66 \mu\text{g.L}^{-1}$ , l'autre en septembre ( $3,27 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). Entre ces deux périodes, les teneurs restent faibles. Pour le cadmium et le cuivre, les concentrations sont très faibles. Quand au plomb, aucune trace n'a été détectée.

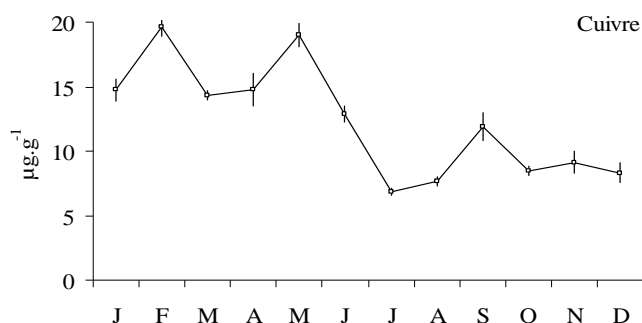


**Figure 2 :** Variation des teneurs métalliques dans l'eau

(Les barres d'erreurs représentent l'écart type de trois répétitions)

Au niveau des sédiments (**Figure 3**), les concentrations en zinc et en fer sont nettement plus élevées que celles dans l'eau. Le fer ne montre pas de grandes variations au cours de l'année. Un plateau se maintient pour cet élément dont la teneur est voisine de  $1250 \mu\text{g.g}^{-1}$  de poids sec. Par contre les valeurs du zinc accusent de grandes variations avec deux pics assez nets, en mai ( $254 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) et en octobre ( $227,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Pour le plomb et le cuivre, leurs modes d'évolution sont comparables. Ils présentent tous les deux des pics, le premier en février ( $44 \mu\text{g.g}^{-1}$  pour le plomb et  $19,66 \mu\text{g.g}^{-1}$  pour le cuivre), et le second en juin ( $27,5 \mu\text{g.g}^{-1}$  pour le plomb) et en mai pour le cuivre ( $17 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Le cadmium présente de très faibles teneurs fluctuant entre  $1,84$  et  $3,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ .





**Figure 3 :** Variation des teneurs métalliques dans le sédiment

(Les barres d'erreurs représentent l'écart type de trois répétitions)

L'ordre de concentration de ces différents éléments est le suivant : fer, zinc, cuivre, plomb, cadmium.

Les résultats de l'évolution des teneurs en métaux lourds chez la praire sont représentés sur la **Figure 4**. L'observation de ces résultats montre que les teneurs les plus élevées sont celles du zinc qui oscillent entre un minimum de  $54,52 \mu\text{g.g}^{-1}$  au mois de juin et  $172 \mu\text{g.g}^{-1}$  au mois de décembre. Pour le fer, on enregistre deux pics, l'un en janvier  $79,9 \mu\text{g.g}^{-1}$  et l'autre en juillet  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Le plomb marque des valeurs non négligeables mais qui sont caractérisées par une certaine constance. Les faibles valeurs sont observées pour le cuivre et le cadmium dont les teneurs varient respectivement entre  $1,11 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $3,32 \mu\text{g.g}^{-1}$  et entre  $0,1 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $3,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

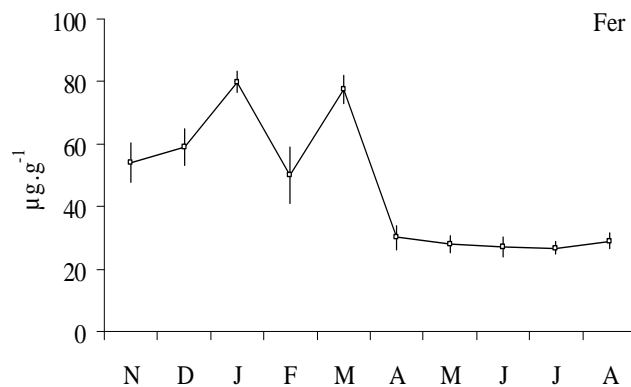
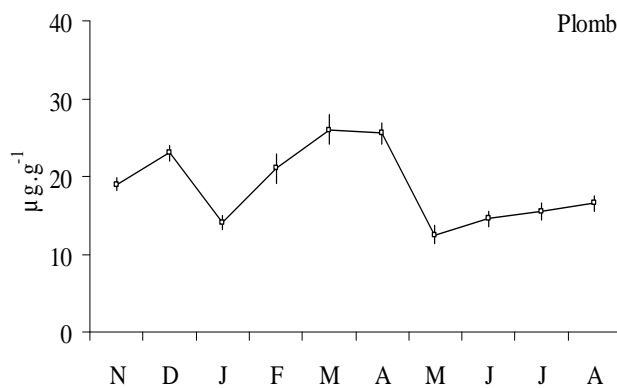
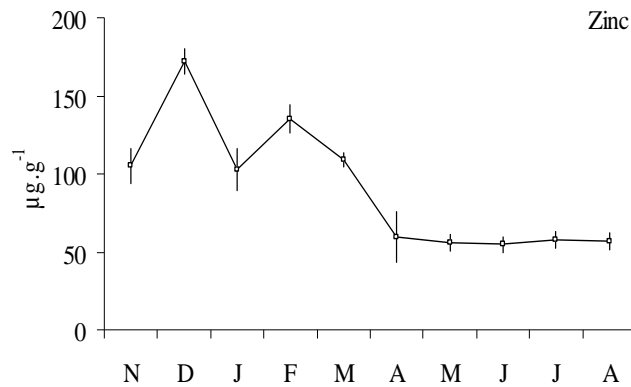
En terme de bioaccumulation, l'ordre décroissant de contamination établit chez la praire dans l'estuaire de la Moulouya est le suivant : zinc, fer, plomb, cuivre, cadmium.

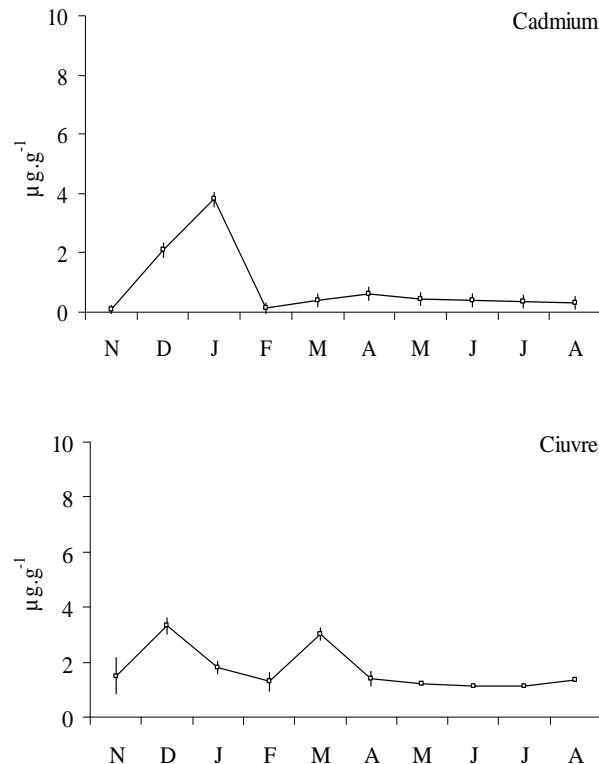
Les teneurs métalliques enregistrées montrent la prépondérance du fer et du zinc par rapport aux autres éléments étudiés. Ces éléments ont des teneurs élevées en octobre et en mars coïncidant avec les maxima pluviométriques de l'année et donc avec les périodes de crues de l'oued Moulouya. Tout le long de cet oued se pratique une activité agricole intense faisant appel à un usage excessif d'engrais phosphatés, de fongicides et d'insecticides qui sont responsables par le biais du phénomène du lessivage d'un apport important de métaux à l'oued [14,15]. De même, la proximité du port de Ras Kebdana à activité de pêche importante situé à 30Km de notre site d'étude peut également contribuer significativement à cette pollution. *Saidani* [16] a rapporté que cette usine d'électrolyse est à l'origine des différents rejets chimiques (acide sulfurique, zinc, cadmium, plomb...) ce qui a entraîné une diminution des populations d'algues, des moules et des oursins le long de la côte de Ghazaouat ainsi que l'apparition de malformations chez le rouget et le mérout. *Boudaoud et Kazi-Taami* ont également rapporté dans la même région des teneurs élevées en métaux chez l'oursin (*Paracentrotus lividus*) [16].

Les teneurs métalliques enregistrées dans l'eau sont plus faibles que celles relevées au niveau des praires et des sédiments. L'étude de corrélation entre ces différents compartiments a montré que la meilleure corrélation est celle qui existe entre les sédiments indiquant par là que la contamination des praires se fait plutôt à partir des sédiments qu'à partir de l'eau. Ceci est en accord avec les travaux de *Cheggour et al.* et *Ruiz et Saiz-Salinas* [17,18] qui ont montré également que les sédiments, en plus de leur pouvoir accumulateur pour de nombreux métaux lourds, jouent également le rôle de vecteur principal de ces métaux aux tissus d'organismes aquatiques. Des observations similaires ont été rapportées par *Chong et Wang* [7]. Ces derniers ont montré que les métaux associés aux sédiments anoxiques peuvent être potentiellement disponibles aux bivalves.

Les variations saisonnières des teneurs métalliques dans les tissus de la praire *Chamelia gallina*, peuvent être expliquées en fonction de leur biodisponibilité et du rôle présumé à ce niveau des paramètres physico-chimiques du milieu (pH, salinité température). Globalement les teneurs des éléments métalliques, chez *Chamelia gallina* ont montré une élévation en octobre et en mars qui va de pair avec le maximum pluviométrique et par conséquent à une baisse de salinité totale.

Des contaminations similaires ont été faites par *Rahhou et al.* (sous presse) [14] chez la civelle *Anguilla Anguilla* dans l'embouchure de la Moulouya au Maroc oriental, par *Cheggour* [11] chez *Scrobucularia plana* au niveau de l'estuaire du Bouregreg (côte atlantique marocaine) et par *Regoli* chez *Mytilus galloprovincialis* de la méditerranée [19].





**Figure 4 :** Variations des teneurs métalliques chez la praire dans l'estuaire de la Moulouya

(Les barres d'erreur représentent l'écart type de trois répétitions)

Toutefois cette relation ne semble être vérifiée, dans notre cas que pour la période « automne début printemps ». Au-delà, elle devient plus complexe, ce qui laisse supposer l'intervention simultanée d'autres facteurs. En effet, plusieurs auteurs ont soulevé l'effet de la température sur l'absorption et l'accumulation des métaux par les mollusques bivalves.

Ainsi, *Ritz et al.* ont trouvé que le taux d'accumulation du Cu, Zn et Pb par *Mytilus edulis* baisse quand la température s'élève [20].

Dans l'embouchure de Moulouya, les niveaux de contamination métallique chez *Chamaelea gallina* sont élevés au mois de février. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par *Bryan et al.* [21] qui font état d'une forte accumulation de Cu, Zn, Ag et Co à la fin de l'hiver, début printemps et en été, chez *Littorina littorea* dans des estuaires anglais.

On pourrait penser d'après ces résultats que les extrêmes thermiques favorisent la bioaccumulation des métaux. Il est également permis de penser que le couple salinité/température soit à l'origine des fluctuations saisonnières de l'accumulation des métaux lourds. Des observations similaires ont été rapportées par *Asso* [22] chez la moule *Perna perna* et *Mytilus galloprovincialis* en Baie d'Alger. D'autres auteurs ont soulevé l'influence du pH sur la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux en agissant sur leur spéciation chimique. En règle générale, cette disponibilité est très importante quand le milieu est alcalin [23].

Les facteurs abiotiques par leur action sur les processus physiologiques liés au métabolisme et surtout à la reproduction (maturité sexuelle, ponte, développement larvaire des œufs) joueraient un rôle important dans la variation saisonnière de la bioaccumulation des métaux. Selon *Mauri et Arando* [24] et *Cheggour et al.* [17], les processus physiologiques liés à la reproduction (gamétogenèse et ponte) semblent être les facteurs



essentiels qui expliquent les variations saisonnières des contaminations des concentrations métalliques chez les mollusques bivalves. Dans l'embouchure de la Moulouya, les variations pondérales d'individus standards de *Chamelia gallina* de 30 mm montre que les périodes de ponte ont lieu en octobre et en mars [25]. Pendant ces périodes, l'émission des œufs s'accompagne d'une chute de teneurs métalliques. Pendant la gamétogenèse, les gonades se développent énormément et peuvent constituer un siège efficace d'accumulation des métaux. Ainsi, des teneurs élevées en métaux lourds ont été notées par *Augier et al.* [26] au niveau des gonades de l'oursin 275 à 795 µg/g de matière sèche). *Metayer et al.* [27] ont observé des fluctuations saisonnières du niveau des métaux lourds (Cu, Zn, Pb et Cd) chez les l'huître *Crassostrea gigas* parallèlement à des changements de poids des tissus liés en grande partie à la maturité sexuelle. Dans l'estuaire d'Arno (Italie), *Mauri & Orlando* [24] ont rapporté chez *Donax trunculus* deux maximum en hiver et en été pour le zinc et le manganèse, en rapport avec la moule *perna perna*, dans la Baie d'Alger, Asso a précisé que les concentrations du Zn, Cu, Pb, Cd et Hg présentaient un maximum automnal et un autre printanier liés au phénomène de gamétogenèse [22]. Ces données viennent corroborer nos propres résultats.

Les branchies ont montré des teneurs métalliques beaucoup plus importantes que celles enregistrées au niveau des autres organes de *Chamelia gallina*. *Sidoumou et al.* [28] ont trouvé des résultats similaires chez *Venus verrucosa* dans les côtes mauritaniennes. Des observations similaires ont été rapportées par *Roméo et al.* chez les bivalves en côte mauritanienne [29].

Certains auteurs ont montré que la concentration métallique des branchies reflète mieux l'importance respective des différents métaux présents dans l'environnement, ce qui fait de ces organes des tissus convenables pour la surveillance de la pollution métallique du milieu marin [30,31].

Dans notre étude, le zinc s'est révélé l'élément le plus abondant dans les branchies de *Chamelia gallina* où il peut atteindre des teneurs de l'ordre de 400 µg/g de matière sèche. Des teneurs importants au niveau des branchies ont été notées par plusieurs auteurs notamment chez des espèces de poissons [28]. En effet, en dehors de toute contamination, les branchies contiennent davantage le zinc qui est impliqué dans les mécanismes respiratoires (Peroxydase, Dismutase, Anhydrase carbonique) [32]. Les mêmes observations peuvent être retenues pour le fer.

Pour le cuivre et le cadmium, les teneurs enregistrées au niveau des branchies sont également supérieures à celles trouvées dans les autres parties molles. *Roméo et al.* suggèrent que, dans le milieu naturel, la présence d'importantes teneurs en métaux dans les branchies permet de considérer ces organes comme des indicateurs intéressants de pollution [31].

## 5. Conclusion

L'étude que nous avons effectuée dans les trois compartiments de l'écosystème marin (eau, sédiment et mollusque bivalve) nous a permis de dégager certains points importants sur le niveau de contamination en métaux lourds du littoral Méditerranéen nord-est du Maroc. Ainsi, Les teneurs relativement élevés du zinc et du fer par rapport aux autres métaux étudiés (Cu, Cd) peuvent provenir d'une utilisation abondante des engrais et des produits phytosanitaires qui sont drainés par lessivage vers l'aval. Par ailleurs la proximité des sites étudiés du port de Ras Kabdana de l'usine d'électrolyse de Ghazaouat peut contribuer à l'augmentation de la concentration de ces métaux.

La variation saisonnière de la concentration en métaux lourds pourrait être particulièrement attribuée aux processus physiologiques, notamment ceux de la reproduction ainsi qu'à la variation de certains facteurs de l'environnement (salinité, température) qui auraient un rôle dans la biodisponibilité de ces métaux lourds.

## Références

- [1] - M. GUILLEMET, Impact des rejets urbains et industriels de la région Toulouse-sud sur l'écosystème aquatique de la Saoune. Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Paul. Sabatier. Toulouse (1988).
- [2] - A. MAAMRI, Impact of human activities on lagoon environments: the case of Nador Lagoon in Morocco. 9<sup>th</sup> International Conference on the Conservation and Management of Lakes. Proceedings, 4 (2001) 46-49.
- [3] - BELLAN et J. M. PERES, La pollution des mers. 3<sup>ème</sup> édition, presses universitaires de France, collection que sais-je ? (1994) 127p.
- [4] - U. FÖRSTNER et G. WITTMANN, Metal pollution in aquatic environment. *Springer*. Berlin (1981) 453 pp.
- [5] - J. PEMPKOWIAK, A. SIKORA et E. BIERNACKA, Speciation of heavy metals in marine sediment vs their bioaccumulation by mussels. *Chemosphere* 39(2) (1999) 313-321.
- [6] - H. ETTAJANI H et L. PIRASTRU, Méthodologie pour prévoir le transfert des métaux lourds dans les chaînes trophiques marines incluant les mollusques filtreurs. Symposium international sur la pollution des eaux marines (SIPEM 91) (1991) 20-22 Nov- Casablanca.
- [7] - K. CHONG et W. WANG, Bioavailability of sediment-bound Cd, Cr and the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Elsevier Science* 1 255 (1) (2000) 75-92.
- [8] - H. ETTAJANI, B. BERTHET, J. C. AMIARD and L. CHEVOLOT, Determination of cadmium partitioning in microalgae and Oysters: contribution to the assessment of tropic transfer. *Rach. Environ. Contam. Toxicol.*, 40(2) (2001) 209-21.
- [9] - W. X. WANG, Comparison of metal uptake rate and absorption efficiency in marine bivalves. *Environ. Toxicol. Chem.* 20 (6) (2001) 1367-1373
- [10] - A. AMINOT, Manuel des analyses chimiques en milieu marin, C.N.E.X.O. Brest (1983) 395pp.
- [11] - M. CHEGGOUR, Bioaccumulation de quelques éléments métalliques (Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe et V) chez un mollusque bivalve, *Scrobicularia plana*, dans l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique marocaine). *Bull. ins.* (1989) 125-133.
- [12] - M. CHEGGOUR, Contribution à l'étude d'un milieu paraliq: l'estuaire de Bou regreg (Côte atlantique marocaine) : conditions écologiques globales ; étude de la contamination métallique. (Thèse de Doct., Rabat, (1988) 337pp.
- [13] - J. RODIER, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 7<sup>ème</sup> édition, (1984) 1365p.
- [14] - I. RAHOU, A. MAAMRI, M. MELHAOUI, A. CHAFI et H. CHERGUI, Accumulation de quelques éléments métalliques (Zn, Cu, Pb, Fe, Cd) chez la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla*) au niveau de l'estuaire de la Moulouya. *Marine Life*, Vol. 11 (1-2) (2001) 33-38.
- [15] - S. DEMNATI, A. CHAFI, B. ATTARASSI, A. MAAMRI, B. HALOUI, M. KHARBOUA, M. RAMDANI, Bioaccumulation des métaux lourds chez l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur la côte Est de la Méditerranée marocaine. *Actes Inst. Agron. Vet.* (Maroc), Vol. 22 (2) (2002) 79-84.
- [16] - K. SAIDANI, Présence de métaux lourds (Fe, Zn, Pb, Cd) chez quelques espèces de poissons et d'algues au niveau du littoral ouest Algérien. Mémoire pour l'obtention du D.E., Univ. Tlemcen, (1994) 80pp.
- [17] - M. CHEGGOUR, H. TEXIER, MOGUEDERT et B. ELKAÏM, Metal exchange in the fauna-sediment system; the case of *Nereis diversicolor* and *Scrobicularia plana* in the Bou Regreg estuary (Morocco). *Hydrobiologia*, 207 (1990) 209-219.
- [18] - J. M. RUIZ et J. I. SAIZ-SALINAS, Extreme variation in the concentration of trace metals in sediments and bivalves from the Bilbao estuary (Spain) caused by the 1989-90 drought. *Mar. Environ. Res.* 49 (4) (2000) 307-17.

- [19] - F. REGOLI, Trace metals and antioxidant enzymes in digestive gland of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 34(1) (1998) 48-63.
- [20] - D. A. RITZ, R. SWAIN et N. G. ELLIOT, Use of the mussel: *Mytilus edulis planulatus* (Lamarck) in monitoring heavy metal levels in seawater. *Aus. J. Mar. Fresh Water Res.*, 33 (1982) 491-506.
- [21] - G. W. BRYAN, W. G. LANGSTON, L. G. HUMMERSTONE, G. R. BURT et Y. B. HO, Assessment of the gastropod *Littorina littorea*, as an indicator of heavy metal contamination in United Kingdom estuaries. *J. Mar. Biol. Ass.*, 63 (1983) 327-345.
- [22] - A. ASSO, Étude des teneurs globales en métaux lourds chez la moule *Perna perna* dans la région d'Alger. Variation de ces teneurs en fonction des paramètres biologiques. VII<sup>ème</sup> journées d'étude des pollutions, Lucerne, C.I.E.S.M. (1984).
- [23] - S. N. LUOMA, Bioavailability of trace metals to aquatic organisms. A review. *The Sci. of the total Environ.*, 28 (1983) 1-22.
- [24] - M. MAURI et E. ORLANDO, Variability of zinc and manganese concentration in relation to sex and season in the bivalve *Donax trunculus*. *Mar. pollut., Bull.*, 14 (9) (1983) 342-346.
- [25] - C. BELBACHIR. Contribution à l'étude de la pollution bactérienne et métallique du littoral méditerranéen du Maroc Oriental (Cas de l'embouchure de la Moulouya). Thèse de Doct. Univ. Mohamed I, (1997) 144pp.
- [26] - H. AUGIER, R. DESMERGER, M. EGEE, E. IMBERT, W. K. PARK, G. RAMANDA et M. SANTIMONE, Étude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrielle- portuaire du golf de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France), à l'aide des bioindicateurs (moule et oursins). *Marine Life*, 4 (2) (1994) 59-67.
- [27] - C. METAYER, J. C. AMIARD, C. AMIARD-TRIQUET et B. BERTHET, Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau d'éléments traces (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les moules et les huîtres de la baie Bourgneuf. *Bull. Soc. Sc. Nat.*, Nlle série, 7(2) (1985) 53-69.
- [28] - Z. SIDOUMOU, M. GNASSIA-BARELLI et M. ROMEO, Cadmium and calcium uptake in the mollusc *Donax rugosus* and effect of calcium channel blocker. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 58(2) (1997) 318-325.
- [29] - M. ROMEO, Z. SIDOUMOU, M. GNASSIA-BARELLI, Heavy metals in various molluscs from the Mauritanian coast. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 65(2) (2000) 269-76.
- [30] - A. BOUDOU, Recherches en écotoxicologie expérimentale sur les processus de bioaccumulation et de transfert des dérivés de mercure dans les systèmes aquatiques continentaux. Thèse de Doct. État, Univ. Bordeaux I, (1982) 299pp.
- [31] - M. ROMEO, M. GNASSIA-BARELLI et M. LAFAURIE, Polluants métalliques et chaînes alimentaires marines. *J. Eur. Hydrol.*, 2 (1995) 227-238.
- [32] - A. HAMZA-CHAFFAI, Étude de la bioaccumulation métallique et de métalloïdines chez les poissons de la côte de Sfax (Golfe Gabès, Tunisie). Thèse de Doct. Univ. Sfax, (1993) 157pp.