Mar. Life 2001- Vol. 11 (1-2) : 33-38

Bioaccumulation de quelques éléments métalliques (Zn, Cu, Pb, Fe, Cd) chez la civelle d'anguille *(Anguilla anguilla)* au niveau de l'estuaire de la Moulouya (Est du Maroc)

Bioaccumulation of heavy metal (Zn, Cu, Pb, Fe, Cd) in the glass-eel of Anguilla anguilla *in the Moulouya Estuary (East of Morroco)*

Ilyesse Rahhou*, Abdellatif Maamri*, Mohamed Melhaoui*, Hafid Chafi*, Hassan Chergui**

* Laboratoire d'hydrobiologie et écologie générale, Université Mohamed Premier, Faculté des sciences - Oujda, Maroc
** Laboratoire d'hydrobiologie et écologie générale, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des sciences Dhar ElMehraz - Fès, Maroc

Mots clés : *civelle,* Anguilla anguilla, *estuaire, Moulouya, métaux lourds, bioaccumulation.*
Key-words: *glass-eel,* Anguilla anguilla, *estuary, Moulouya, heavy metals, bioaccumulation.*

RÉSUMÉ

*Rahhou I., A. Maamri, M. Melhaoui, H. Chafi, H. Chergui - Bioaccumulation de quelques éléments métalliques (Zn, Cu, Pb, Fe, Cd) chez la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla*) au niveau de l'estuaire de la Moulouya (Est du Maroc).* Mar. Life, **11** *(1-2) : 33-38.*

Les teneurs en métaux lourds (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd) au niveau des sédiments, de l'eau et des organismes marins ont été suivies sur un cycle annuel dans un milieu saumâtre (oued Moulouya). L'étude a révélé la présence de concentrations très importantes de métaux, particulièrement en ce qui concerne le fer et le zinc chez un organisme aquatique Anguilla anguilla, *dans le sédiment et dans l'eau. Les autres métaux étudiés ont également été détectés à des concentrations non négligeables au niveau des différents compartiments du site étudié.*

ABSTRACT

Rahhou I., A. Maamri, M. Melhaoui, H. Chafi, H. Chergui – [Bioaccumulation of heavy metal (Zn, Cu, Pb, Fe, Cd) in the glass-eel of Anguilla anguilla *in the Moulouya Estuary (East of Morroco)].* Mar. Life, **11** *(1-2) : 33-38.*

The variations of trace metals: Zn, Fe, Cu, Pb and Cd were followed in three compartiments of the Moulouya river: sediment, water and a marine organism, Anguilla anguilla. *The study of these metals indicates the presence of important concentrations of metals particularly zinc and iron in Anguilla anguilla, in sediment and in water column. The others metals copper, cadmium and lead were also detected in the three compartiments at significant concentrations.*

INTRODUCTION

Les civelles, au cours de leur cycle vital, passent du milieu marin au milieu dulçaquicole et subissent par la suite de profonds changement dans leur capacité à accumuler ou à éliminer les éléments métalliques (Lemaire, 1990).

De nombreux auteurs se sont intéressés à l'aspect analytique des polluants soit au niveau de l'eau, soit au niveau des sédiments ou des organismes aquatiques (Friant, 1979 ; Genest, Hatch, 1981 ; Legorburu *et al.*, 1988). La détermination du niveau de contamination par les métaux lourds au niveau des compartiments civelles, eau et sédiments de l'estuaire de la Moulouya présente une grande importance, car le transfert des métaux du milieu aux organismes dépend des concentrations présentes dans l'eau et dans le sédiment.

Poisson migrateur à cycle amphihalin (Lecomte-Finiger, 1983), l'anguille transite obligatoirement par les zones margino-littorales (estuaire, embouchure, lagune) lors de deux phases physiologiquement critiques de son développement : migration anadrome de la civelle et migration catadrome des anguilles argentées en début de maturation sexuelle.

Le choix de l'anguille européenne *(Anguilla anguilla* L. 1758) comme espèce test est basée sur plusieurs critères :

- sa grande répartition géographique, puisqu'elle fréquente toutes les eaux continentales et margino-littorales ;
- son grand intérêt économique, puisqu'elle est exploitée à tous les stades de son cycle de vie ;
- sa présence dans les milieux naturels contaminés.

Toutes ces conditions, font de cette espèce un matériel biologique de laboratoire d'un grand intérêt dans les études écotoxicologiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Situation géographique du site étudié

L'estuaire de la Moulouya est situé sur la côte méditerranéenne marocaine, à 30 kilomètres de la ville de Berkane. Il se situe entre 33° et 35°30′ de latitude nord et entre 2° et 4°30′ de longitude ouest (figure 1).

Prélèvement et conservation des échantillons

Civelles

L'anguille européenne est un poisson marin thalassatoque effectuant au cours de son cycle biologique deux migrations dont l'une vers les eaux continentales au cours des stades larvaires et juvéniles (migration anadrome), alors que l'autre correspond à un retour des géniteurs vers les eaux marines (migration catadrome) (Lecomte-Finiger, 1983).

Au cours de la période de pénétration d'*Anguilla anguilla* dans l'estuaire de la Moulouya, des prélèvements mensuels de civelles ont été effectués du début de novembre 1993 jusqu'à avril 1994 (Melhaoui, 1994 ; Rahhou, 1995). Une fois au laboratoire, les civelles ont été pesées et mises dans des sachets de plastique, puis congelées à -25°C jusqu'au moment de l'analyse.

Eau et sédiments

Des échantillons d'eau et de sédiment ont été prélevés et conservés à -4°C jusqu'au moment de l'analyse. L'échantillonnage a été effectué mensuellement de janvier à décembre 1994. Les prélèvements d'eau et de sédiments ont été effectués simultanément aux récoltes des civelles.

Préparation des échantillons pour l'analyse des métaux

Civelles

Avant de procéder à la minéralisation, les civelles sont lavées à jet de pissette avec de l'eau distillée afin d'éliminer les éléments qui risquent de leur être adsorbés. Le matériel biologique est ensuite séché à 80°C puis réduit en poudre dans un mortier en agate pour éviter tout risque de contamination métallique des échantillons. La minéralisation et l'extraction ont été réalisées selon la méthode décrite par Amiard *et al.* (1987). L'échantillon sec est digéré par l'acide nitrique à raison de 1 mL d'acide pour 100 mg de poids sec d'échantillon. Le tout est placé dans une étuve à 90°C pendant 24 heures. Après minéralisation, on procède à une filtration sur membranes microporeuses (0,45 µm). Le filtrat recueilli est complété avec de l'eau distillée jusqu'à un volume de 50 mL qui sera analysé par la suite.

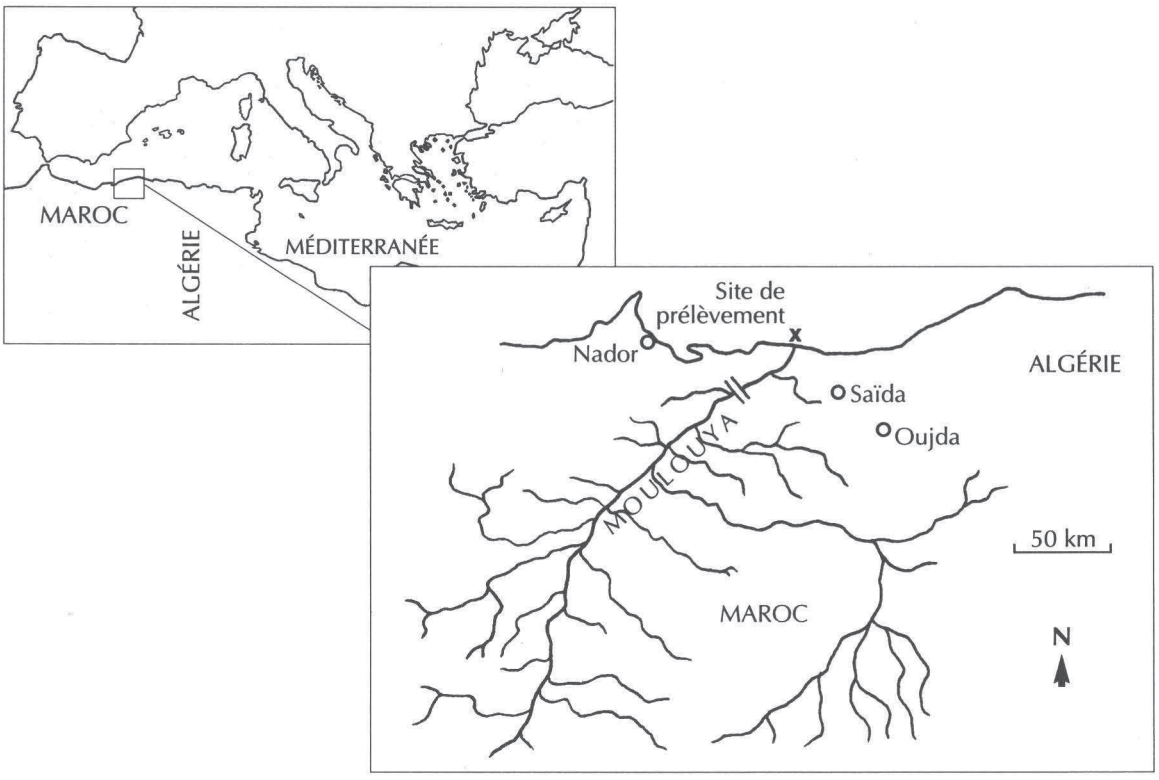

Figure 1 - Localisation du site de prélèvement des civelles dans l'estuaire de la Moulouya. / *Location of sampling sites of glass-eels in the Moulouya Estuary.*

Sédiments

Les échantillons de sédiments sont séchés pendant 48 heures à 80°C, puis tamisés. Seules les particules dont le diamètre est inférieur à 100 µm sont retenues. Le traitement à l'acide nitrique est effectué à raison de 1 gramme d'échantillon sec pour 5 mL d'acide concentré dans des tubes de verre de 40 mL. Le tout est placé dans l'étuve à 90°C pendant 24 heures. Le filtrat obtenu est ramené à un volume de 50 mL avec de l'eau distillée.

Eau

Après filtration sur membranes microporeuses (0,45 µm), les échantillons d'eau sont acidifiés par l'acide nitrique à raison de 5 mL par litre d'eau, puis stockés à 4°C à l'obscurité dans des flacons de verre avant dosage.

Choix et dosage des métaux lourds

Le dosage des métaux lourds (le cadmium, le plomb, le zinc, le fer et le cuivre) a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique (Varian 20 plus). L'étalonnage de l'appareil se fait à l'aide d'une gamme étalon relative à l'élément à doser. La courbe est mémorisée et les résultats sont directement affichés en unités de concentration.

RÉSULTATS

Teneurs métalliques chez les civelles

Les résultats de l'évolution des teneurs en métaux chez la civelle sont représentés sur la figure 2. L'observation de ces résultats montre que les teneurs les plus élevées sont celles du zinc qui oscillent entre un minimum de 59,52 $\mu g.g^{-1}$ au mois d'avril et 172 $\mu g.g^{-1}$ au mois de décembre. Pour le fer, on enregistre deux pics, l'un en janvier (79,9 $\mu g.g^{-1}$) et l'autre en mars (77,4 $\mu g.g^{-1}$). 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 et 3 $\mu g.g^{-1}$ et entre 0,1 et 3,8 $\mu g.g^{-1}$.

À partir de ces résultats, on constate une prépondérance de certains métaux par rapport à d'autres. Ainsi, en terme de bioaccumulation, l'ordre décroissant de contamination établit chez la civelle dans l'estuaire de la Moulouya est le suivant : zinc > fer > plomb > cuivre > cadmium.

Teneurs métalliques dans le sédiment

Les résultats de l'évolution mensuelle des teneurs des métaux dosés dans les sédiments sont présentés dans la figure 3. 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 1 200 $\mu g.g^{-1}$ de poids sec. Par contre les valeurs du zinc accusent de grandes variations avec deux pics assez nets, en mai (244 $\mu g.g^{-1}$) et en octobre (220,5 $\mu g.g^{-1}$).

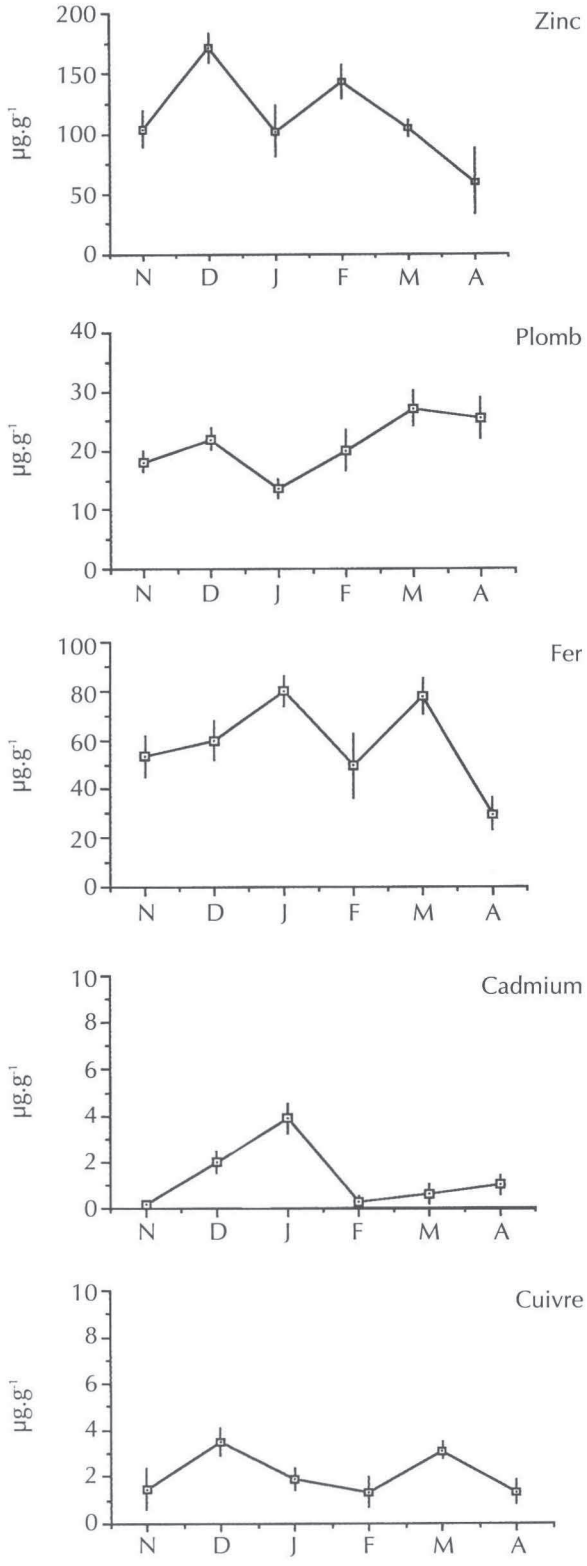

Figure 2 - Variations des teneurs métalliques chez la civelle d'anguille dans l'estuaire de la Moulouya. Les barres d'erreurs représentent l'écart type de trois répétitions. / *Variation of heavy metals in glass-eels in the Moulouya estuary. The error bars represent standard deviation on three replicates.*

Pour le plomb et le cuivre, leurs modes d'évolution sont comparables. Ils présentent tous les deux des pics, le premier en février (39 $\mu g.g^{-1}$ pour le plomb et 17,5 $\mu g.g^{-1}$ pour le cuivre), et le second en mai (27,5 $\mu g.g^{-1}$ pour le plomb et 17 $\mu g.g^{-1}$ pour le cuivre). Le cadmium présente de très faibles teneurs fluctuant entre 1 et 3,75 $\mu g.g^{-1}$.

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

Teneurs métalliques dans l'eau

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 (6,65 $\mu g.L^{-1}$) et l'autre au mois de décembre (5,97 $\mu g.L^{-1}$) (figure 4). En ce qui concerne le fer, deux périodes de fortes concentrations sont observées, l'une en mars avec un pic de 3,95 $\mu g.L^{-1}$, l'autre en septembre (2,7 $\mu g.L^{-1}$). Entre ces deux périodes, les teneurs restent faibles. Pour le cadmium et le cuivre, les concentrations sont très faibles. Quant au plomb, aucune trace n'a été décelée.

DISCUSSION

Variation des teneurs en métaux chez la civelle

Nous avons montré chez la civelle, la présence de concentrations importantes de zinc et de fer. Ces organismes parviennent ainsi à accumuler ces métaux en quantités importantes. Des taux élevés de zinc ont été observés dans les tissus des civelles de l'estuaire de la Gironde, de la Vilaine et de la Loire dont les concentrations variaient entre 40 et 50 $mg.kg^{-1}$ (Metayer *et al.*, 1984).

Dans notre cas, nous ne pouvons avancer aucune hypothèse explicative à propos des teneurs élevées de ces métaux. En effet, les larves d'anguille effectuent une longue migration pendant laquelle, elles parcourent des milliers de kilomètres. Arrivées au voisinage du plateau continental, les civelles demeurent au contact des eaux douces durant une période qui, selon les auteurs varie entre un et trois mois et parfois même davantage. Il se peut donc, que ces civelles aient accumulé ces métaux au cours de leur migration. En plus, il est fort probable que la période d'adaptation aux eaux douces intervienne en grande partie dans l'accumulation de ces métaux. Cette dernière hypothèse est argumentée par le fait que nous avons relevé des concentrations importantes de zinc et de fer au niveau des sédiments et de l'eau. De ce fait, les teneurs élevées de ces métaux dans les civelles témoignent bien de leur présence massive dans ces deux compartiments. Cependant, on ne connaît pas lequel des deux compartiments peut intervenir dans le mode de transfert de ces métaux : est-ce le sédiment ou l'eau, ou les deux à la fois ? La réponse à cette question est à rechercher probablement dans le mode de vie des civelles. Pendant le jour, les mouvements des civelles sont interrompus et elles demeurent enfouies dans les sédiments estuariens. Leur activité ne reprend qu'au coucher du soleil (Lecomte-Finiger, 1983). Ainsi, les teneurs observées de ces métaux chez la civelle dépendent de leur concentration à la fois dans le sédiment et dans l'eau.

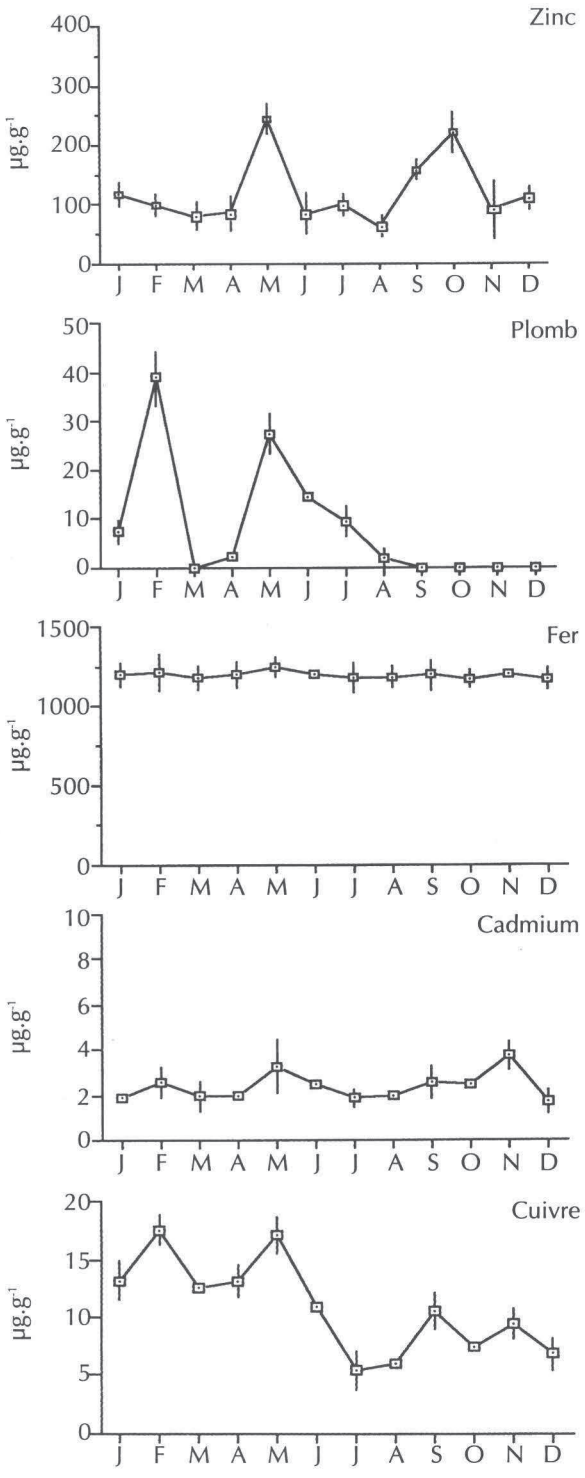

Figure 3 - Variation des teneurs métalliques dans le sédiment. Les barres d'erreurs représentent l'écart type de trois répétitions. / *Variation of heavy metals in the sediments. The error bars represent standard deviation on three replicates.*

Nous avons constaté une certaine variation de la teneur des métaux chez les civelles au cours de leur recrutement. Ces fluctuations sont plus importantes pour le zinc et le fer. Cette constatation a été également faite par Genest et Hatch (1981) selon lesquels, le zinc et le fer interviennent dans la régulation du métabolisme. En outre, les fluctuations des teneurs métalliques observées au cours du recrutement de la civelle sont à relier aux paramètres du milieu environnant. La température (en agissant sur le métabolisme), le pH, la nature du métal, la taille des poissons, les formes chimiques sous lesquelles ces métaux sont présents dans l'eau, les synergies ou antagonistes avec d'autres composés minéraux ou organiques, les transformations biochimiques liées au métabolisme dans les différents organes sont tous des facteurs qui interviennent d'une manière ou d'une autre dans le phénomène de la bioaccumulation de ces métaux dans les organismes aquatiques.

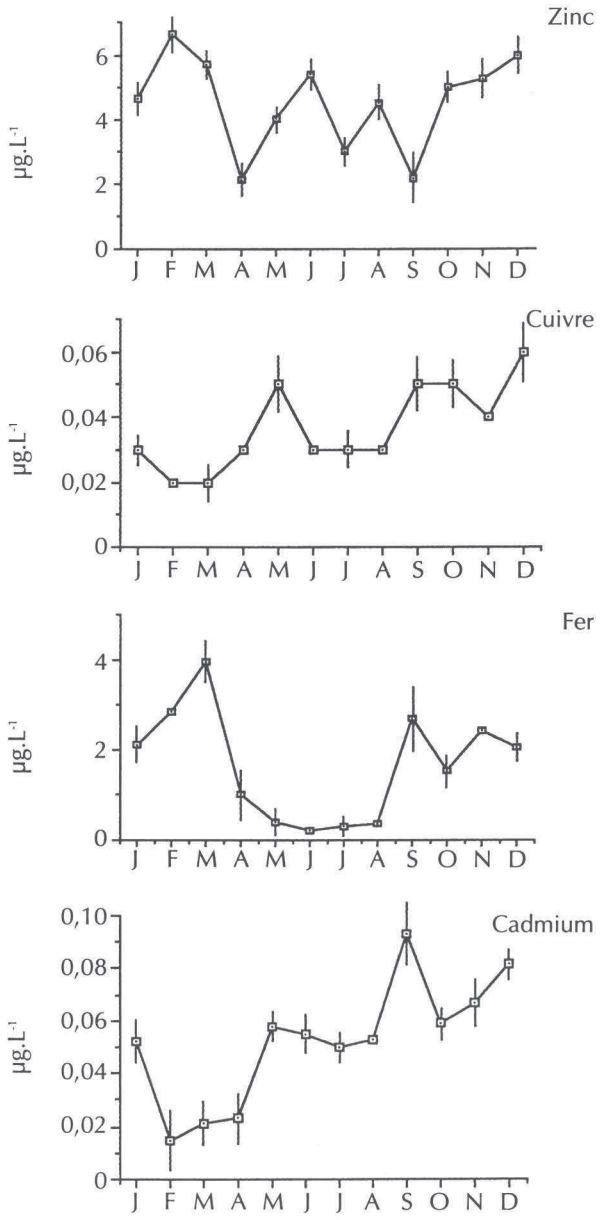

Figure 4 - Variation des teneurs métalliques dans l'eau. Les barres d'erreurs représentent l'écart type de trois répétitions. / *Variation of heavy metals in water. The error bars represent standard deviation on three replicates.*

Le transfert des métaux lourds vers les organismes entraîne deux manifestations majeures : la toxicité directe qui se traduit rapidement par une atteinte pathologique, et une action indirecte, qui est due à la bioaccumulation de ces métaux. Ce dernier effet est à l'origine des fortes concentrations détectées dans nos échantillons.

Variation des teneurs en métaux dans l'eau

L'analyse des résultats concernant les teneurs des métaux dans les échantillons d'eau de l'estuaire de la Moulouya a révélé des concentrations élevées du zinc et du fer. En plus, au cours de la période d'étude, les teneurs de ces métaux ont subi une variation saisonnière avec deux périodes de fortes concentrations (hiver et automne). Pour expliquer ces fortes concentrations, nous avons pensé dans un premier temps à l'existence d'une activité industrielle dont les rejets seraient la cause principale. Or, ce n'est pas le cas car le bassin de la Moulouya se trouve à l'abri de toute activité industrielle menaçante. La seule explication que nous avons donc pu avancer réside dans le fait que dans cette région et tout au long de la Moulouya se pratique une intense activité agricole faisant appel à un usage intensif d'engrais phosphatés, de fongicides et d'insecticides et qui sont responsables d'un apport important de métaux entrant dans la composition de ces substances. C'est le cas du zinc et du fer pour les fongicides, du cadmium qui est un résidu des composés phosphatés et enfin du cuivre qui est utilisé dans la composition des pesticides organo-métalliques. Tous ces métaux parviennent dans le milieu aquatique par lessivage qui est en étroite relation avec le régime pluviométrique. En effet, si on prend l'exemple du zinc et du fer, leurs teneurs semblent suivre les variations saisonnières des précipitations. Les concentrations élevées du zinc sont observées conjointement aux maximums pluviométriques. Ceci peut être expliqué par le fait que les pluies augmenteraient la libération et l'entraînement des pesticides adsorbés et par conséquent leur apport vers les milieux récepteurs.

Variation des teneurs en métaux dans le sédiment

L'analyse des sédiments est intéressante dans le modèle du contrôle de la pollution, car ces sédiments constituent l'un des principaux réservoirs et noyaux de la dynamique de transfert des métaux lourds (Ribeyre, Boudou, 1984). Les résultats de

notre analyse ont en effet montré une abondance du fer (avec une moyenne annuelle de 1195,24 $\mu g.g^{-1}$) et du zinc (avec une moyenne de 121 $\mu g.g^{-1}$). Les autres métaux sont également présents mais en faible quantité (cuivre : 10,83 $\mu g.g^{-1}$; plomb : 8,54 $\mu g.g^{-1}$ et cadmium : 2,36 $\mu g.g^{-1}$). Genest et Hatch (1981), en dosant le fer, le zinc, le cuivre, le plomb et le cadmium dans le sédiment de la baie de Buzzard ont signalé le même ordre de grandeur pour la concentration de ces éléments avec des teneurs élevées du fer (4 990 $\mu g.g^{-1}$). Fadil (1994), en analysant les sédiments de l'oued Boufekrane, a montré une forte contamination de la partie aval par le zinc (205 $\mu g.g^{-1}$), le cuivre (55,8 $\mu g.g^{-1}$) et le plomb (449,8 $\mu g.g^{-1}$). En comparant ces valeurs avec ceux de notre d'étude, il apparaît que les teneurs déterminées dans notre cas sont de faible ampleur et sont proches des valeurs déterminées par Fadil (1994) dans une station non polluée.

Les teneurs du zinc et du fer observées dans le sédiment ne peuvent provenir que de la colonne d'eau. En effet, leur accumulation dans les sédiments est la conséquence de la conjonction entre les capacités d'adsorption, de précipitation et de complexation (Salomons, Förstner, 1984 ; Tenhulscher *et al.*, 1992). Suite à ces différents phénomènes, les sédiments peuvent contenir une forte proportion de ces métaux. De plus, il ne faut pas oublier que les teneurs des métaux présentent des variations qui dépendent en premier lieu de la lithologie de dépôts. Dans le cas présenté ici, la fraction analysée est une fraction fine (< 100 µm) qui, selon les auteurs, est constituée de minéraux tels que les oxydes de fer et de manganèse, ce qui permet d'expliquer les teneurs élevées de fer trouvées dans nos prélèvements de sédiments.

CONCLUSION

L'étude de la variation des teneurs métalliques aux niveaux des civelles, eau et sédiment, nous a permis de dégager certains points importants :

- chez les civelles, de fortes concentrations de zinc et de fer ont été déterminées. Celles-ci sont en rapport avec la forte charge métallique des compartiments eau et sédiment ;
- les fortes concentrations de zinc et de fer, ainsi que la présence des autres métaux au niveau de l'eau pourraient provenir d'une utilisation abondante des pesticides. Le phénomène de lessivage (pluie), entraîne la libération de ces métaux et leur cheminement vers les parties les plus aval du système.

REMERCIEMENTS

Nous remercions très chaleureusement M. A. Bensassi pour l'aide appréciable qu'il nous a fournie lors des analyses par absorption atomique.

BIBLIOGRAPHIE

Amiard J.C., A. Pineau, H.L. Boiteau, C. Metayer, C. Amiard-Triquet, 1987 - Application de la spectrométrie d'absorption atomique Zeeman aux dosages de huit éléments traces (Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Se) dans des matrices biologiques solides. *Wat. Res.*, **21** (6) : 693-697.

Fadil F., 1994 - *Étude de la toxicité des sédiments et des métaux lourds chez* Gammarus gauthieri *(Crustacé, Amphipode). "Optimisation des conditions d'élevage et du test de toxicité".* Thèse Doctorat 3e cycle, Univ. Moulay Ismail, Meknes, 109 pp.

Friant S.L., 1979 - Trace metal concentrations in selected biological, sediment, and water column samples in a Northern New England River. *Wat. Air Soil Pollut.*, **11** : 455-465.

Genest E.P, W.I. Hatch, 1981 - Heavy metals in *Mercenaria mercenaria* and sediments from the New Bedford Harbor. Region of Buzzard's Bay, Massachusetts. *Bull. environ. Contamin. Toxicol.*, **26** : 124-130.

Lecomte-Finiger R., 1983 - *Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille,* Anguilla anguilla *L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du golfe du Lion : Narbonnais et Roussillon.* Thèse Doctorat d'état es-Sciences Nat., Univ. Perpignan, 203 pp.

Legorburu I., L. Canton, E. Milan, A. Casado, 1988 - Trace metal, levels in fish from Urola River (Spain). Anguillidae, Mugilidae and Salmonidae. *Environ. Technol. Lett.*, **9** : 1373-1378.

Lemaire G.S., 1990 - *Étude expérimentale de l'action du cadmium sur les juvéniles (civelles et anguillettes) de l'anguille européenne* Anguilla anguilla *(L. 1758).* Thèse Doctorat, Univ. Perpignan, 175 pp.

Melhaoui M., 1994 - *Écologie des ressources halieutiques des eaux continentales à intérêt économique : Anguillidae, Salmonidae.* Thèse Doctorat d'état es-Sciences Nat., Univ. Mohamed Ier, Oujda, 155 pp.

Metayer C., J.C. Amiard, C. Amiard-Triquet, P. Elie, 1984 - Évolution de la bioaccumulation de quelques éléments traces chez les civelles et les anguilles de trois estuaires de l'Atlantique. *Rev. fr. Sci. Eau,* **3** : 249-258.

Rahhou I., 1995 - *Contribution à l'étude écologique et toxicologique des civelles d'*Anguilla anguilla *L. 1758 de la basse Moulouya.* Thèse Doctorat de 3e cycle, Univ. Mohamed Ier, Oujda, 168 pp.

Ribeyre F., A. Boudou, 1984 - Étude expérimentale des processus de décontamination chez *Salmo gairdneri,* après contamination par voie directe avec deux dérivés du mercure ($HgCl_2$ et CH_3 HgCl) - Analyse des transferts aux niveaux "organisme et organe". *Environ. Pollut. (Ser. A),* **35** (3) : 203-228.

Salomons W., U. Förstner, 1984 - *Metals in the hydrocycle.* Springer-Verlag, Berlin, 349 pp.

Tenhulscher E.M., A.J. Molg, F. Lüers, 1992 - Release of metals from polluted sediments in a Shallow Lake: quantifying resuspension. *Hydrobiologia,* **235/236** : 97-105.

Reçu en octobre 1997 ; accepté en juillet 2000.
Received October 1997; accepted July 2000.