



## Niveau de contamination par les éléments traces métalliques cadmium, cobalt, cuivre et zinc de deux cyprinidés et des sédiments du barrage Koudiet Medouar (Batna, Algérie)

Smatti-Hamza Imane<sup>\*1,2</sup>, Afri-Mehennaoui Fatima-Zohra<sup>1</sup>, Keddari Dounia<sup>1</sup> et Mehennaoui Smail<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Biologie et Environnement, Université Frères Mentouri Constantine1, Algérie.

<sup>2</sup>Laboratoire ESPA, Université Hadj Lakhdar, Batna1, Algérie.

\*Auteur correspondant Email: [smail.mehennaoui@univ-batna.dz](mailto:smail.mehennaoui@univ-batna.dz), [imane.hamza@umc.edu.dz](mailto:imane.hamza@umc.edu.dz), [mehennaoui.afri.fatima.zohra@umc.edu.dz](mailto:mehennaoui.afri.fatima.zohra@umc.edu.dz), [dounia.keddari@umc.edu.dz](mailto:dounia.keddari@umc.edu.dz)

Original submitted in on 9<sup>th</sup> October 2019. Published online at [www.m.elewa.org/journals/](http://www.m.elewa.org/journals/) on 30<sup>th</sup> November 2019  
<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v143i1.1>

### RÉSUMÉ

**Objectif :** Les éléments traces métalliques retiennent l'attention des scientifiques et gestionnaires du fait de leur persistance dans l'environnement et le danger qu'ils présentent pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Cette étude porte sur l'évaluation du niveau de contamination par les éléments traces métalliques (cadmium, cobalt, cuivre et zinc) des sédiments et des poissons (*Hypophthalmichthys molitrix* et *Cyprinus carpio*) du barrage Koudiet Medouar, situé à 35 km à l'est de Batna. Elle vise à caractériser la variation spatio-temporelle de la contamination, par les éléments traces métalliques (ETM), de deux espèces de cyprinidés utilisées comme bioindicateurs, présentes dans le barrage.

**Méthodologie et Résultats :** Cinq stations de prélèvement ont été choisies sur le pourtour du barrage afin de déterminer les paramètres physico-chimiques de l'eau et des sédiments, ainsi que le niveau de contamination des sédiments de surface et des organes, branchies, foie et muscle, des cyprinidés par le cadmium, le cobalt, le cuivre, et le zinc. Les résultats ont été analysés par les méthodes d'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le modèle linéaire global (MLG). Les sédiments se révèlent légèrement pollués par le cadmium, et les concentrations du zinc dans les deux espèces de poissons excèdent les valeurs standards internationales.

**Mots clés :** eau douce, Cyprinidés, barrage, sédiments, éléments traces métalliques.

**Level of contamination by metallic trace elements cadmium, cobalt, copper and zinc from two cyprinids and sediments from the Koudiet Medouar dam (Batna, Algeria)**

### ABSTRACT

**Objective:** Heavy metals are a danger for aquatic ecosystems and human health. This study focused on the assessment of heavy metal pollution in the Koudiet Medouar dam, located 35 km east of Batna, using a multi-compartment approach (water-sediment-biota). The aim of the study is to describe the spatiotemporal variation of trace metal contamination (TM) of two cyprinid fish species used as bioindicator,

*Hypophthalmichthys molitrix* and *Cyprinus carpio* living in the dam, in relationship with the sediment contamination.

**Methodology and results:** Five stations around the dam were sampled to determine the physicochemical parameters of water and sediments, and the contamination of surface sediments and cyprinids organs, gills, liver and muscular by cadmium, cobalt, copper and zinc. The sediments were classified as lightly polluted by cadmium however the zinc concentrations in both species exceeded the international standards values.

**Keywords:** freshwater, Cyprinids, dam, sediments, trace metal.

## INTRODUCTION

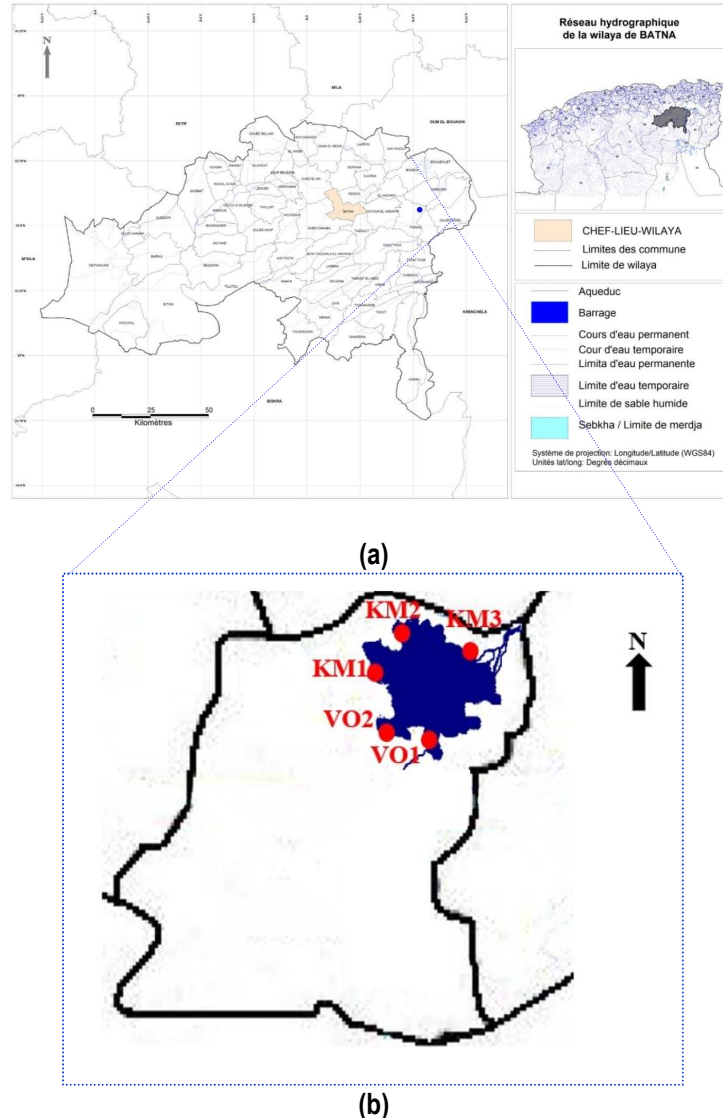
Les activités humaines telles que l'industrialisation, l'urbanisation, l'agriculture, etc., sont la source d'une production de résidus à l'origine de plusieurs types de pollutions dont la dispersion dans l'environnement suscite un grand intérêt de la communauté scientifique mondiale. Parmi ces impuretés, les métaux lourds, présents dans la croûte terrestre, sont libérés par l'altération et l'érosion des roches (Elder, 1988). A l'échelle de la planète, les émissions anthropiques de la plupart des métaux lourds dépassent les flux naturels dans l'environnement (Ramade, 2007). Dans les écosystèmes aquatiques, ils sont transférés au biote dont les poissons, puis aux animaux piscivores et, en bout de chaîne, à l'homme (Chen et al, 2000). Ainsi les ETM peuvent affecter les organismes directement en s'accumulant dans leurs corps ou indirectement par transfert via la chaîne alimentaire (Barnabas et al, 2014). La place des poissons comme importante composante du régime alimentaire humain, engendre des préoccupations relatives aux risques sur la santé (Foxal et al, 2000). Selon (Bonzon et al, 1992), la pêche dans les eaux intérieures constitue une source non négligeable de nourriture. A cette fin, l'appréciation du niveau de contamination des écosystèmes aquatiques par les ETM peut être évaluée dans l'eau, mais surtout dans les sédiments (Martin et Whitfield, 1983 ; Vernet et al, 1989 ; Afri-Mehennaoui et al, 2009 ; Sahli et al, 2014 ; Bhaskar et al, 2016 ; Djeddi et al, 2018 et Keddari et al, 2019) qui constituent un puits à polluants et le transfert vers les organismes aquatiques vivants aussi bien végétaux qu'animaux (Ghrefat et Yusuf, 2006). Les ETM ne sont pas biodégradables et la plupart d'entre eux a

des effets toxiques sur les différents organismes (Macfarlane et Burchett, 2000 ; Storelli et al, 2005). Ils s'accumulent dans la chair des poissons qui peuvent être consommés par l'homme (De Mora et Sheikholeslami, 2002 ; Yilmaz, 2009 ; Rohasliney et al, 2014 ; Makedonski et al, 2015 ; Nadzifah et al, 2017 ; Merhaby, 2018 et Diop et al, 2019). Compte tenu de cette importance, nous avons ciblé notre travail sur le barrage Koudiet Medouar (Batna) qui a été érigé pour renforcer l'activité agricole dans les hauts plateaux de l'Est algérien, la production d'eau potable pour Batna et les villes voisines ainsi que le développement du programme d'aquaculture (Afri-Mehennaoui et Mehennaoui, 2005). Dans ce contexte nous avons évalué le niveau de contamination des sédiments et des organes (muscle, foie et branchies) de deux espèces de poissons (*Hypophthalmichthys molitrix* et *Cyprinus carpio*) peuplant le barrage Koudiet Medouar par quatre métaux (cadmium, cobalt, cuivre et zinc). L'origine de ces métaux dans le barrage est avant tout naturelle, accentuée par les activités anthropiques au sein du bassin versant. Si les oligoéléments, cuivre, zinc et cobalt ont un rôle physiologique connu chez les organismes vivants, le cadmium par contre est exclusivement toxique. Il est important de souligner que le barrage Koudiet Medouar, relativement jeune, constitue une incontournable réserve d'eau douce dans la région de Batna. Il n'a jamais fait l'objet d'étude publiée relative au niveau de la contamination métallique des sédiments et de la faune ichthyenne d'où l'intérêt de la présente investigation, vue l'importance économique et écologique que représente ce barrage pour Batna et sa région.

## MATÉRIEL ET METHODES

**Zone d'étude :** A l'Est de l'Algérie, le barrage Koudiet Medouar, érigé sur l'oued Rebaa, appartient au bassin versant des « Hauts Plateaux Constantinois (07-04) ».

Administrativement, il est localisé à 35 km à l'Est de la wilaya de Batna et à 7 km au Nord-Est de la ville historique de Timgad (figure 1).



**Figure 1.** (a) Carte de la wilaya de Batna (Arour, 2015).

(b) Localisation des stations de prélèvement sur le pourtour du barrage Koudiet Medouar (Timgad).

Mis à l'eau en 2003, le barrage a une capacité globale de 74 millions m<sup>3</sup> (ANRH, 2015) et draine une superficie de 590 km<sup>2</sup>. A l'Est, les collines de grès de Koudiet Medouar constituent son appui droit (ANB, 2003). Ce réservoir fait partie du grand système de transfert de Béni Haroun et a pour objectifs d'assurer les besoins en eau potable et industrielle des villes de Batna, Khenchela et Ain Touta ainsi que l'irrigation de plus 15700 ha de terres agricoles dans les plaines de

Batna, Chemora, Ain Touta et El Kantara. L'aquaculture y a débuté en 2004 par un ensemencement avec des alevins provenant de Hongrie puis en 2008 il a été enrichi avec des alevins produits à Sétif en Algérie. Les sites de prélèvement sur les berges du barrage sont sélectionnés en fonction de la fréquentation des lieux par les habitants locaux et leurs animaux. L'eau, les sédiments et les poissons du lac sont échantillonnés sur cinq stations à huit reprises saisonnières entre 2012

et 2014. Les paramètres physico-chimiques de l'eau, température, oxygène dissous, pH et conductivité électrique, sont mesurés *in situ* alors que ceux des sédiments et des poissons sont effectués au laboratoire. Les paramètres, pH, conductivité et matière organique par oxydation, des sédiments sont déterminés sur la fraction inférieure à 2 mm. La fraction inférieure à 63 µm est appréciée, car l'affinité des sédiments fins pour les polluants métalliques est connue, et elle sert à la l'extraction des ETM.

**Prélèvements et traitement des sédiments :** Les sédiments fins fraîchement déposés sont échantillonnés, en raclant la surface (<5 cm) à l'aide d'une cuillère en inox, près des berges et des endroits où le courant est faible à nul. Près de 500 g sont récupérés dans des pots en polyéthylène préalablement décontaminés après un séjour de 48h dans de l'HNO<sub>3</sub> à 10% puis dans de l'eau déminéralisée. Les sédiments sont séchés à 105°C, puis broyés et tamisés à 2 mm et 63 µm et conservés dans des sacs en papier kraft. Le pH des sédiments est mesuré dans le surnageant d'un mélange de sédiments et eau distillée selon un rapport 1/2,5 (AFNOR NF T 90-008, Avril 1953) en utilisant un pH mètre (modèle pH-LF-Messgeräte). La conductivité électrique (CE) est déterminée dans le surnageant d'un rapport 1/5 de sédiment dans de l'eau distillée par un conductimètre (modèle WTW model LF191 conductimeter) (AFNOR NF ISO X 31-113, 1986). La teneur en matières organiques (Morg) a été déterminée par la méthode d'oxydation sulfochromique (NF ISO 14235. 1998). La séparation des fractions péliques (limon, argile) des fractions grossières (sable, gravier) est obtenue par le passage de l'échantillon sur un tamis de 63 µm selon la méthode décrite par Rodier *et al.*, (2009). Les teneurs en ETM, cadmium, cobalt, cuivre et zinc, des sédiments ont été déterminées dans la fraction argilo-limoneuse (< 63µm), la plus réactive telle que décrite par Stone *et al.*, (1996).

**Prélèvements et traitement de l'eau :** Les paramètres physiques de l'eau sont mesurés *in situ*. La

température, exprimée en °C, est relevée à l'aide d'un thermomètre à sonde de terrain modèle (Eirelec LTD L.E.D digital thermometer Pi-PTC). Le pH est mesuré avec un pH mètre électrométrique (modèle pH- / LF-Messgeräte), (AFNOR NF T 90-008. Avril, 1953). La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain (WTW model LF 191 conductimeter), les résultats sont exprimés en µS.cm<sup>-1</sup> à 20 °C, (AFNOR NF T 90-031. Février, 1973). La concentration en oxygène dissous est déterminée par un oxymètre à sonde (modèle HI 9146, dissolved Oxygen Meter).

**Prélèvements et traitement des poissons :** Les poissons sont pêchés au filet ou nasse et transportés dans une glacière à 4°C. Au laboratoire, après les mesures biométriques de la taille et du poids, les poissons sont disséqués et les organes frais, les branchies, le foie et un morceau du muscle sont séchés à l'étuve à 80°C jusqu'à poids constant et conservés.

**Extraction (des sédiments et poissons) et dosage des ETM :** L'extraction des ETM est effectuée par digestion à l'eau régale (Chiffolleau *et al.*, 2003). La méthode à reflux est utilisée pour la minéralisation diacide des échantillons de sédiments et de poissons dans un mélange de deux acides forts : l'acide nitrique HNO<sub>3</sub> (63 %) et l'acide chlorhydrique HCl (37 %) dans les proportions 1V/3V (AFNOR NF X31-151, 1993). Le dosage des ETM est effectué par Spectrométrie d'Absorption Atomique à flamme de type Shimadzu 6800.

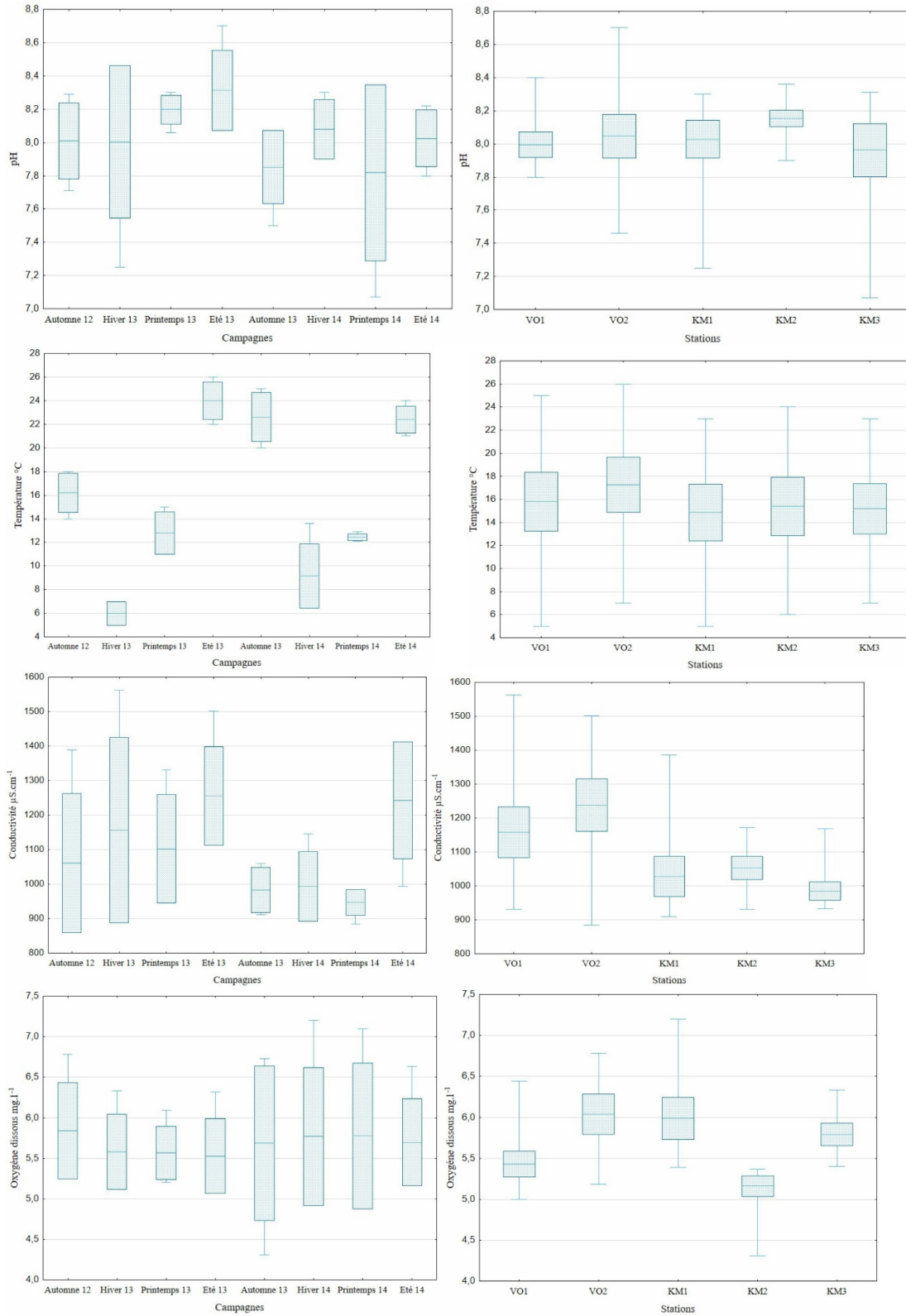
**Analyse statistique :** Afin de faire ressortir les éventuelles relations qui pourraient exister entre les paramètres physico-chimiques du milieu et les teneurs en ETM, des corrélations et des régressions linéaires multiples (MLG) ont été établies. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été mise en œuvre afin de déceler et d'établir des relations entre les stations d'une part et d'autre part entre les différents paramètres mesurés et analysés, moyennant le logiciel Statistica version 10.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

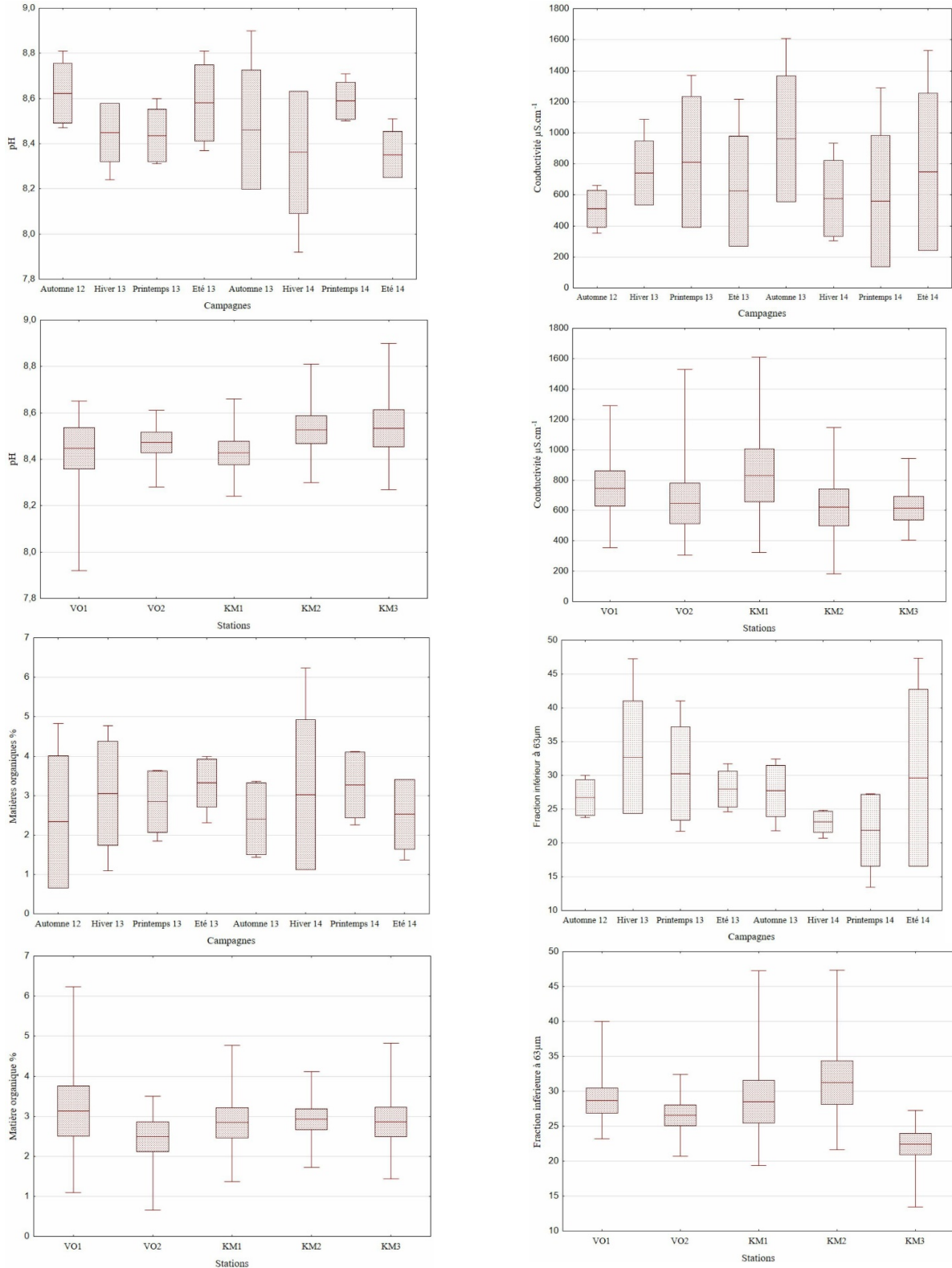
### Paramètres physico chimiques

**Eau :** Les variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques de l'eau du barrage Koudiet Medouar des huit campagnes et des cinq stations sont

illustrées par la figure 2. L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Koudiet Medouar repose sur la base des critères du SEQ-Eau (2003).



**Figure 2 :** Boîtes à moustaches montrant les variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques de l'eau du barrage Koudiet Medouar.



**Figure 3 :** Boîtes à moustaches montrant les variations saisonnières et spatiales des paramètres physico-chimiques des sédiments du barrage Koudiet Medouar.

La température de l'eau avec une moyenne de  $15,7 \pm 6,2$  °C, fluctue entre 5 °C, enregistrée en hiver 2013 aux stations VO1 et KM1 et 26 °C relevée en été 2013 au point VO2. Elle est saisonnière et reste viable pour les poissons. Le pH faiblement alcalin révèle une très bonne qualité avec une moyenne de  $8,03 \pm 0,3$  compatible avec la survie des organismes. La conductivité, généralement élevée, révèle néanmoins une eau de très bonne qualité ; elle est variable dans l'espace et dans le temps, avec une moyenne de  $1092 \pm 182$   $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  traduisant une minéralisation élevée. La teneur en oxygène dissous, facteur vital pour la survie des poissons, révèle une aptitude plutôt bonne avec une moyenne de  $5,7 \pm 0,6$   $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ; elle varie de 4,3 à 7,2  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (KM2 et KM1) respectivement en août 2013 et hiver 2014.

**Sédiments :** Les variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des sédiments du barrage Koudiet Medouar des huit campagnes et des cinq stations sont illustrées par la figure 3. Le pH des sédiments oscille entre 7,9 et 8,9 aux stations VO1 et KM3 et respectivement aux campagnes hiver 2014 et automne 2013, avec une moyenne de  $8,48 \pm 0,2$ . Légèrement alcalin, le pH traduit la nature des sédiments formés sur un substrat carbonaté et argilo-marneux du bassin versant. L'augmentation du pH favorise les groupements carboxyles de la matière organique, hydroxyde des oxydes et des minéraux argileux (Gould, 1978 ; Godfrin, 1990 ; Stone, 1996). La conductivité des sédiments fluctue entre 180 à 1610  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sous l'effet des apports du ruissellement. La moyenne enregistrée, 692  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , est deux fois plus élevée que celle relevée par Djeddi et al, (2018) pour le barrage Béni-Haroun. Ces valeurs reflètent, ainsi, une forte minéralisation due certainement aux effluents urbains ainsi qu'à la présence d'affleurements de sols relativement salés dans la région ; elle est remarquable à la station KM1 en automne 2013 avec une valeur de 1609  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Les teneurs en matières organiques évaluées par oxydation sulfochromique montrent que les sédiments du barrage peuvent être considérés

comme fortement chargés en matière organique notamment ceux prélevés dans les stations à proximité des rejets urbains, cas de la station VO1 avec 6,3 %. Meybeck (1998) qualifie la proportion de 10 % comme étant une très forte concentration en matière organique dans les sédiments. En effet, des fluctuations observées au niveau des stations entre la période de crue et la période d'étiage sont peut-être dues au lessivage important des sols par les eaux de pluies et par le retour des eaux d'irrigation des bourgades avoisinant le barrage, riches en substances organiques. Les taux de la fraction sédimentaire inférieure à 63  $\mu\text{m}$  au niveau du barrage Koudiet Medouar fluctuent entre 13,45% pour la station KM3 à 47,34 % pour la station KM1 et KM2. Selon la classification d'Ibouily (COPRAMEX, 2010), la station KM3 est de type « sables moyennement envasés » alors que la station KM1 et KM2 est de type « sédiment très envasé à dominance de sable ». On note un enrichissement en matière organique et en particules fines qui vont jouer un rôle primordial dans la fixation des éléments traces métalliques (ETM). Le modèle linéaire global (MLG) des paramètres physico-chimiques de l'eau et des sédiments (tableau 1), révèle une importante variation spatiale de la conductivité électrique, l'oxygène dissous et la température de l'eau alors que les autres paramètres (pH eau et sédiment, conductivité des sédiments, fraction < 63 $\mu\text{m}$ , matière organique) ne montrent aucune différence entre sites. En revanche, pour la variation saisonnière des paramètres étudiés, les MLG indiquent des différences très hautement significatives pour la température et hautement significatives pour la conductivité électrique de l'eau. En ce qui concerne l'effet de l'interaction « sites  $\times$  saisons », aucune différence significative n'a été constatée. Les MLG ont confirmé l'hétérogénéité des paramètres des sédiments dans tous les sites et la période d'étude, sauf pour le taux de la fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$  qui affiche une différence significative entre les stations.

**Tableau 1 :** Variations spatiales et saisonnières des paramètres physico-chimiques de l'eau et des sédiments du barrage Koudiet Medouar testées via le Modèle Linéaire Global (MLG).

Variables	SCE	ddl	F	P	Sig	SCE	ddl	F	P	Sig
	Température					pH de l'eau				
Campagnes	1587,7	7	102,01	0,000	***	0,94	7	1,40	0,24	ns
Stations	28,06	4	3,15	0,02	*	0,17	4	0,44	0,77	ns
Campagnes* Stations	62,25	28	0,99	0,52	ns	2,69	28	0,98	0,52	ns
Résiduels	9859,6	1				2584,05	1			

Variables	SCE	ddl	F	P	Sig	SCE	ddl	F	P	Sig
	Conductivité de l'eau					Oxygène dissous				
Campagnes	487084	7	4,17	0,002	**	0,44	7	0,17	0,98	ns
Stations	341755	4	5,12	0,003	**	4,54	4	3,20	0,02	*
Campagnes* Stations	467070	28	0,99	0,60	ns	9,93	28	0,94	0,71	ns
Résiduels	47757546	1				1290,8	1			

Variables	SCE	ddl	F	P	Sig	SCE	ddl	F	P	Sig
	pH des sédiments					Conductivité des sédiments				
Campagnes	0,38	7	1,74	0,13	ns	799761	7	0,84	0,56	ns
Stations	0,07	4	0,57	0,86	ns	281201	4	0,51	0,72	ns
Campagnes* Stations	0,87	28	0,99	0,53	ns	3804601	28	0,98	0,68	ns
Résiduels	2877,7	1				19150408	1			

Variables	SCE	ddl	F	P	Sig	SCE	56ddl	F	P	Sig
	Matière organique					Fraction < 63µm				
Campagnes	5,13	7	0,46	0,85	ns	452,97	7	1,73	0,14	ns
Stations	1,71	4	0,27	0,89	ns	342,71	4	3,02	0,04	*
Campagnes* Stations	44,04	28	0,98	0,66	ns	1044,5	28	0,99	0,56	ns
Résiduels	324,3	1				30249,4	1			

(SCE: somme des carrées des écarts, ddl : degrés de liberté, F : F-statistiques, P : valeur de probabilité, Sig.: signification statistique.) \*\*\* P < 0,001. \*\* P < 0,01. \* P < 0,05. ns P>0,05.

### Niveau de contamination par les ETM

**Sédiments :** Les concentrations des ETM des sédiments (tableau 2) affichent des fluctuations saisonnières irrégulières. Elles oscillent entre 0,01 et 2,5 mg.kg<sup>-1</sup>ms pour le cadmium, 0,2 et 32,8 mg.kg<sup>-1</sup>ms pour le cobalt, 4,2 et 45 mg.kg<sup>-1</sup>ms pour le cuivre et entre 33,1 et 183,4 mg.kg<sup>-1</sup>ms pour le zinc. C'est au printemps 2013 qu'a été enregistrée la concentration maximale en cadmium (2,5 mg.kg<sup>-1</sup>ms), bien supérieure aux teneurs naturelles de 1 mg.kg<sup>-1</sup>ms (AEAP, 1990) et 0,2 mg.kg<sup>-1</sup>ms (ABRMC, 1991). Ces résultats avoisinent ceux du lac Fouarat au Maroc (Ben Bouih et al, 2005). Les teneurs du cobalt fluctuent de 0,2 mg.kg<sup>-1</sup>ms à 32,8 mg.kg<sup>-1</sup>ms respectivement au printemps 2013 et l'été 2014, avec une moyenne des huit campagnes de 17±6,8 mg.kg<sup>-1</sup>ms. Pour l'instant au niveau international, le cobalt dans les sédiments est

plus rarement déterminé que les autres métaux. Les teneurs du cuivre sont à 72% inférieures à 31 mg.kg<sup>-1</sup>ms et rendent compte d'une bonne qualité selon SEQ-Eau (2003) en revanche cette moyenne reflète une contamination faible selon AEAP (1990) et ABRMC (1991) et restent néanmoins supérieures aux valeurs proposées par ces deux valeurs guides, qui sont respectivement 15mg.kg<sup>-1</sup>ms et 26 mg.kg<sup>-1</sup>ms, non susceptible a priori d'entraîner des nuisances. Pour le zinc, les teneurs traduisent des sédiments de bonne qualité selon SEQ-Eau (2003) car seules 13% dépassent 120 mg.kg<sup>-1</sup>ms, alors que 55% des valeurs dépassent la teneur naturelle proposée par AEAP (1990). Le niveau du zinc est comparable aux teneurs rapportées pour la lagune de Ghar El Melh en Tunisie (Azzaoui, 1993) et pour les lacs du delta du Nil (Saad et al, 1985).

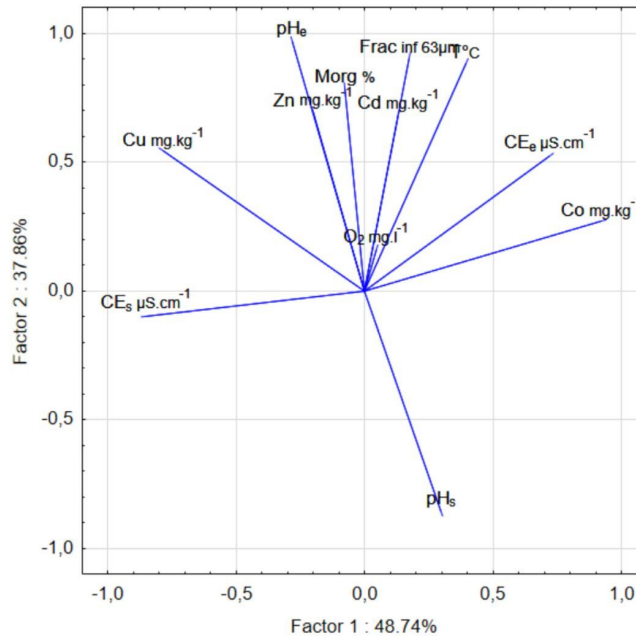


**Tableau 2 :** Teneurs des ETM des sédiments du barrage Koudiet Medouar (moyen  $\pm$  écart-type) exprimées en mg.kg<sup>-1</sup>.ms (matière sèche).

ETM	Valeurs	Campagnes							
		Automne 2012	Hiver 2013	Printemps 2013	Été 2013	Automne 2013	Hiver 2014	Printemps 2014	Été 2014
<b>Cd</b>	<b>Moy<math>\pm</math>Et Min-max</b>	0,3 $\pm$ 0,2 0,01-0,5	0,4 $\pm$ 0,1 0,16-0,6	0,8 $\pm$ 0,9 0,3-2,5	0,3 $\pm$ 0,1 0,14-0,6	0,4 $\pm$ 0,2 0,15-0,6	0,4 $\pm$ 0,3 0,03-0,8	0,5 $\pm$ 0,1 0,4-0,6	0,4 $\pm$ 0,2 0,12-0,6
<b>Cu</b>	<b>Moy<math>\pm</math>Et Min-max</b>	29,2 $\pm$ 8,6 20-39,1	24,1 $\pm$ 3,4 20-28,9	22,2 $\pm$ 16,1 4,2-36	33,3 $\pm$ 12,4 13,7-45	33,6 $\pm$ 5,3 26,7-39,5	23,1 $\pm$ 5,6 17,4-29,3	13,1 $\pm$ 5,7 8,4-22,5	29 $\pm$ 6,4 21,6-39,3
<b>Co</b>	<b>Moy<math>\pm</math>Et Min-max</b>	15,4 $\pm$ 7,2 8,8-23,6	12,7 $\pm$ 2,7 10,4-17,3	15,8 $\pm$ 8,8 0,2-21,7	17,5 $\pm$ 6,4 6,3-22,8	22,1 $\pm$ 2,1 19,6-25,1	15,9 $\pm$ 4,9 10,4-21,9	15,5 $\pm$ 5,5 7,9-22,4	21,1 $\pm$ 11,4 2,1-32,8
<b>Zn</b>	<b>Moy<math>\pm</math>Et Min-max</b>	99,7 $\pm$ 19,5 75,9-122,1	120,6 $\pm$ 9,7 108,5- 134,1	87,6 $\pm$ 15,1 63-102,3	88,6 $\pm$ 31,7 33,1-110,3	103,4 $\pm$ 9,2 90,7-113,2	108,4 $\pm$ 43,2 74,1-183,4	85,9 $\pm$ 19,3 53,5-104,1	107,1 $\pm$ 6,7 100,2-116,8

La distribution quantitative des teneurs en ETM des sédiments du barrage Koudiet Medouar, suit la hiérarchie suivante : Zn > Cu > Co > Cd. La relative contamination est favorisée par les conditions physico-chimiques du milieu. En effet, le pH alcalin des eaux favorise la précipitation des ETM et limite leur libération dans les eaux, ce qui induit un enrichissement en ETM des sédiments. Les faibles concentrations de métaux observées en saison sèche peuvent s'expliquer par la diffusion de chaque élément dans la phase dissoute, en raison des conditions physico-chimiques (température élevée) et le relargage du matériel particulaire sous l'action des courants (Keumean *et al*, 2013). Les faibles concentrations pendant la saison pluvieuse pourraient s'expliquer certainement par les phénomènes de dilution qui s'opèrent par des apports de sédiments moins ou non contaminés (Yao *et al*, 2009 in Keumean *et al*, 2013). Néanmoins, les teneurs déterminées traduiraient une bonne qualité des sédiments, aptes à la vie biologique, selon les classifications de l'AEAP (1990) et du SEQ-Eau (2003). Globalement les résultats relatifs au barrage Koudiet Medouar sont inférieurs à ceux rapportés pour l'oued Rhumel (Afri-Mehennaoui *et al*, 2006) et oued Boumerzoug (Afri-Mehennaoui *et al*, 2009). En revanche, les teneurs déterminées pour le barrage Koudiat Medouar sont supérieures à celles du barrage Sidi Chahed (Abrid *et*

*al*, 2013). Afin d'établir des relations entre les paramètres physico-chimiques et les métaux et de vérifier la similarité de la source des métaux dans les sédiments du barrage Koudiet Medouar, une matrice de corrélation a été réalisée. Selon les coefficients de corrélation de Persan présentés dans la matrice de corrélation, une corrélation positive très hautement significative entre les éléments métalliques Cu et Co a été constatée, qui reflèterait une éventuelle source commune de ces éléments ainsi que leurs comportements similaires dans le sédiment. De même, une corrélation positive hautement significative entre le Cu et la température d'une part puis entre le Co et la température d'autre part a été notée. La conductivité du sédiment est corrélée négativement et significativement au pH des sédiments. Dans le but de connaître les mécanismes d'enrichissement des sédiments du lac Koudiet Medouar par les ETM et leurs relations avec les paramètres physico-chimiques, nous avons procédé à une analyse en composantes principales (ACP). Cette dernière est effectuée sur une matrice des données constituées de 40 prélèvements (5 stations x 8 campagnes) au cours desquels 12 paramètres ont été mesurés. La figure 4 représente la projection des variables sur le plan principal F1/F2 qui représente 86,6% de l'information.



**Figure 4 :** Représentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales pour les sédiments et l'eau : Projection des variables (ETM et propriétés physico-chimique) sur le plan F1-F2.

Cette analyse montre que les paramètres qui contribuent le plus à l'édification de l'axe F1 (48.74 % de la variance) sont le Co et la conductivité de l'eau (CEe) en plus de la conductivité électrique des sédiments (CEs) et le Cu qui montrent une corrélation négative significative. L'axe F2 représentant 37,86 % de la variance, exprime un axe de pollution métallique très marqué dans le sens positif et les variables qui contribuent de manière significative à sa formation sont le Zn ( $r = 0,75$ ) > Cd ( $r = 0,73$ ) > Cu ( $r = 0,60$ ) > Co ( $r = 0,45$ ). Ces derniers évoluent dans le même sens positif, ce qui peut traduire leur origine commune. Ils sont également bien corrélés à la fraction sédimentaire fine et à la présence de matière organique, car la nature du sédiment joue un rôle essentiel dans la répartition spatiale des micropolluants, en l'occurrence les ETM. Par ailleurs, l'oxygène est le paramètre qui contribue le moins à la formation des axes. Le pH des sédiments (pH<sub>s</sub>) s'oppose négativement aux éléments Cu, Zn, Co et Cd sur l'axe F2, ce qui confirme le rôle très important que joue ce dernier dans l'augmentation des teneurs en ETM et leur accumulation dans le sédiment. La matière organique est inversement proportionnelle au pH<sub>s</sub>, en effet, l'oxydation de la matière organique mène vers une diminution du pH<sub>s</sub>. Nous avons constaté que le Cd et Zn présentent une

corrélation avec la matière organique ; cette dernière est par conséquent, peu influente sur l'adsorption et l'accumulation du Cu et Co dans les sédiments analysés. En effet, la complexation de ces éléments avec la matière organique tend à augmenter leur solubilité et par la suite, diminuer leur accumulation au sein du sédiment (Ujevic et al, 2000). Cunha et al, (2007) ont affirmé que les facteurs chimiques, mécaniques, biologiques, anthropiques ou naturels, favorisent l'accumulation des ETM dans les écosystèmes aquatiques. Ces ETM sont souvent dépendants des activités agricoles et industrielles (Henry et al, 1989).

**Poissons :** Afin d'apprécier la qualité écologique du barrage, une approche complémentaire reposant sur une analyse biologique est menée. Pour cela deux espèces de cyprinidés pêchées dans le barrage Koudiet Medouar sont utilisées comme bioindicatrices du transfert des ETM vers *Hypophthalmichthys molitrix* et *Cyprinus carpio*. Les mesures biométriques et les teneurs des ETM des branchies, foie et muscle de *C. carpio* et *H. molitrix* sont présentées dans le tableau 3. La taille moyenne la plus élevée est notée chez *C. carpio* et inversement, le poids moyen le plus élevé est relevé chez *H. molitrix*.

**Tableau 3 :** Concentration des ETM (moyenne  $\pm$  écart-type) exprimée en mg.kg<sup>-1</sup> ms des organes de *C. carpio* et *H. molitrix* prélevées dans le barrage Koudiet Medouar et limites admissibles pour les poissons d'eau douce.

	Taille (mm) Moy $\pm$ écart- type	Poids (mg) Moy $\pm$ écart- type		ETM (mg.kg <sup>-1</sup> ms)			
				Moy $\pm$ écart-type			
	(min-max)	(min-max)		Cadmium	Cobalt	Cuivre	Zinc
<i>C. carpio</i>	323 $\pm$ 89 (214-435)	497 $\pm$ 355 (154-1200)	Muscle	0,28 $\pm$ 0,14	1,25 $\pm$ 0,61	3,27 $\pm$ 2,69	77,68 $\pm$ 24,98
			Foie	0,55 $\pm$ 0,53	1,15 $\pm$ 0,40	6,28 $\pm$ 4,08	93,77 $\pm$ 31,05
			Branchies	0,24 $\pm$ 0,22	1,20 $\pm$ 0,85	3,69 $\pm$ 2,52	104,82 $\pm$ 29,27
<i>H. molitrix</i>	297 $\pm$ 152 (150-649)	1028 $\pm$ 1038 (188-3650)	Muscle	0,24 $\pm$ 0,20	1,83 $\pm$ 2,62	1,82 $\pm$ 2,62	77,39 $\pm$ 31,66
			Foie	0,25 $\pm$ 0,20	0,74 $\pm$ 0,78	2,67 $\pm$ 4,06	73,18 $\pm$ 36,89
			Branchies	0,13 $\pm$ 0,13	0,74 $\pm$ 0,79	2,04 $\pm$ 3,15	69,36 $\pm$ 37,32
<b>Limites admissibles dans le poisson (mg.kg<sup>-1</sup> ms)</b>							
<b>World Health Organization (2006).</b>				/	/	3	/
<b>European Union (2001, 2008).</b>				/	/	1	/
<b>Malaysian Food Act (1983).</b>				1	/	30	100
<b>Food and Agriculture Organization (2012).</b>				0,5	/	30	40

Les résultats des analyses métalliques montrent que tous les ETM, Cu, Zn, Cd et Zn sont détectés au niveau des organes, branchies, foie, muscle. L'ordre d'accumulation du Cu, Zn, Cd et Co de chaque organe des deux espèces est le suivant :

\***cadmium** chez *C. carpio* et *H. molitrix* : foie > muscle > branchies ;

\***cobalt** chez *C. carpio* et *H. molitrix* : muscle > branchies > foie.

\***cuivre** chez *C. carpio* et *H. molitrix* : foie > branchies > muscle ;

\***zinc** chez *C. carpio* : branchies > foie > muscle et *H. molitrix* : muscle > foie > branchies.

Nos résultats ont montré que sauf la teneur du cadmium dans le foie du *C. carpio* ne répond pas à la norme de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>ms (FAO, 2012). A l'heure actuelle au niveau international, le cobalt dans les aliments ainsi que dans les eaux de boisson et l'air, n'est pas réglementé. Néanmoins l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation (Afssa, actuellement Anses) a proposé, en 2010, une dose journalière tolérable (DJT) de 1,6 à 8  $\mu$ g.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> de cobalt, sur la base des travaux de l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (Efsa). Nous soulignons que la concentration du cuivre dans tous les organes de *C. carpio* excède la norme de 3 mg.kg<sup>-1</sup>ms (WHO, 2006). Dans les organes des deux espèces de poissons, les concentrations du zinc atteignent plus du double de la norme 40 mg.kg<sup>-1</sup>ms (FAO, 2012). Le niveau de contamination ou d'accumulation des ETM par les poissons a retenu l'attention de plusieurs auteurs vu l'éventuel impact sanitaire qu'il peut induire.

\***Les concentrations moyennes en cadmium** de *H. molitrix* et *C. carpio*, s'avèrent supérieures à celles des

poissons du lac Taihu (Rajesh-Kumar et Li, 2018), à celles des poissons du Sungai (Nadzifah *et al.*, 2017), les poissons de la mer Noire (Makedonski *et al.*, 2015) et ceux de la mer Caspienne (De Mora et Sheikholeslami, 2002). Les tissus cibles du Cd comprennent les barrières biologiques (branchies, tractus digestif) et les organes de détoxification (rein et foie). Le muscle n'apparaît pas comme un site de stockage de cet élément (Veron, 1990). Chez les poissons, le cadmium peut troubler l'équilibre ionique en modifiant la perméabilité des membranes cellulaires (Ifremer, 2003).

\***Le cobalt** est détecté dans les trois organes avec des concentrations variables mais elles restent inférieures à celles des poissons de la mer Caspienne (De Mora et Sheikholeslami, 2002 ; Homira, 2011). Selon Adam *et al.*, (2001), le cobalt est retrouvé essentiellement dans les organes externes (peau, branchies), puis le foie et les reins ; le muscle étant le tissu le moins contaminé.

\***La concentration en cuivre** des carpes du barrage Koudiet Medouar est inférieure à celle des poissons du Koycegiz Lac-Mugla (Yilmaz, 2009), mais similaire aux teneurs des tilapias de la région Bangi, (Taweel *et al.*, 2011). Plusieurs auteurs affirment que la chair de poissons présente habituellement un faible potentiel d'accumulation des métaux lourds, tandis qu'il est plus élevé dans le foie et les branchies (Adeyeye et Ayoola, 2013). En effet les branchies sont en contact direct avec l'eau (Storelli *et al.*, 2005). Or l'accumulation du cuivre dans le foie et les branchies par rapport aux muscles peut s'expliquer par la grande activité métabolique de ces deux organes. Les teneurs moyennes n'excèdent pas les limites de la régulation homéostatique qui sont de l'ordre de 50  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>ms (Pyle

*et al.*, 2005). Les faibles concentrations en cuivre au niveau du muscle peuvent être le fait d'un mécanisme de régulation pour les éléments essentiels propre au poisson (Sandor *et al.*, 2001 ; Firat et Kargin, 2010).

\*Les teneurs en zinc enregistrées dans la présente étude restent bien supérieures comparativement à celles communiquées sur le mulot (Laxmi *et al.*, 2011) et sur les poissons du Sungai (Nadzifah *et al.*, 2017). Les concentrations en Zn du muscle des *C. carpio* sont inférieures à celles des autres organes, ce qui évoquera son contrôle au sein du muscle par la régulation homéostatique (Miller *et al.*, 1992). Ainsi, les poissons régulent activement les concentrations en Zn dans les tissus. Par conséquent, les teneurs tissulaires en zinc ne reflètent pas nécessairement les changements de concentration en zinc dans l'environnement (Philips, 1980 ; Rejomon *et al.*, 2010). La matrice de corrélation (nuage de point, figure 5) effectuée entre le poids et la taille des poissons ainsi que la concentration des ETM dans leurs organes,

nous montre respectivement deux corrélations positives hautement significatives ( $r = 0,80$ ,  $p = 0,001$ ) et ( $r = 0,73$ ,  $p = 0,008$ ) entre le cuivre mesuré dans le muscle des *C. Carpio* avec le poids et la taille. En plus une corrélation positive significative ( $r = 0,58$ ,  $p = 0,04$ ) entre le cobalt mesuré dans le foie des *H.molitrix* et leurs poids. Cela signifie que, lorsque le poids des carpes augmente, il y a bioaccumulation du cuivre dans le muscle des *C. Carpio* et cobalt dans le foie des *H.molitrix*. Les tendances sont inversées chez *H. molitrix*, qui comportait le plus gros poisson de notre étude (2,750 kg). La concentration des métaux diminuait dans les organes avec l'âge, cette aptitude à la diminution de la concentration des métaux lourds, dans les gros poissons, a été soulignée dans les travaux de Pourang *et al.*, (2005). Ces auteurs expliquent cette observation par l'effet de dilution avec la croissance et l'échange d'ions dans les milieux du poisson.

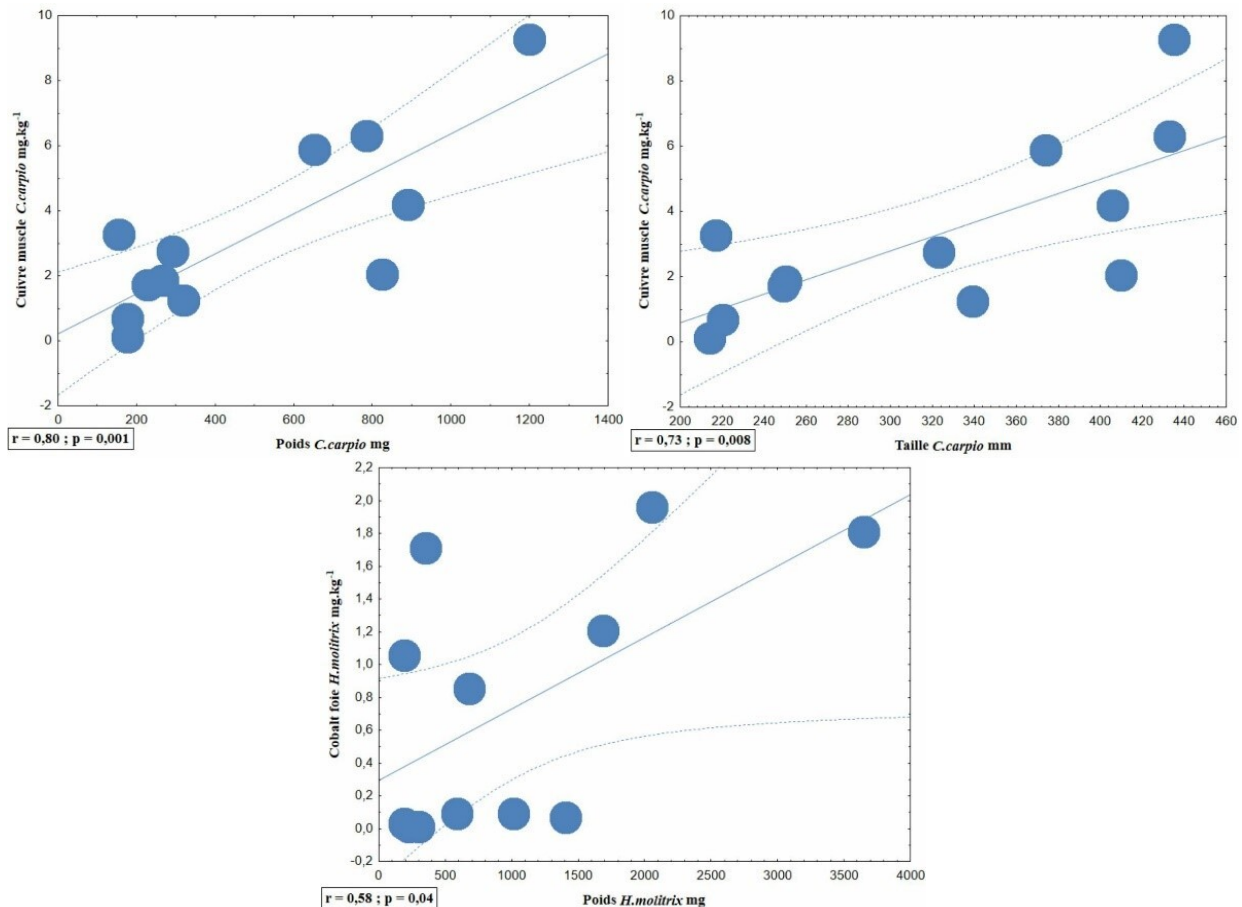


Figure 5 : Nuage de point des concentrations des métaux (cuivre et zinc mg/kg) avec le poids (mg) et taille (mm) des *C. Carpio* et *H.molitrix*.

## CONCLUSION

Les niveaux des ETM détectés dans le foie, muscle et branchies suggèrent que les poissons sont capables de concentrer les métaux dans leur corps à partir du milieu aquatique. Les sédiments du Lac Koudiet Medouar sont contaminés par le zinc qui est transféré aux poissons, *C. carpio* et *H. molitrix* révélant des niveaux excédant la norme FAO, mais inversement, les teneurs restent en dessous des normes EU, WHO, et MFA. Chez *H. molitrix* l'accumulation des ETM diminue avec l'âge. Le muscle ou chair des poissons étant la partie comestible s'avère être relativement la moins contaminée par le cadmium, le cuivre, le zinc et le cobalt alors que le foie et les branchies sont éliminés avec les viscères. La contamination par les ETM des sédiments du barrage Koudiet Medouar est surtout d'origine anthropique

## REMERCIEMENTS

Cette étude est réalisée dans le cadre des Projets de Recherche de Formation Universitaire (PRFU) (DOOL02UN 250120180001). Les auteurs remercient le laboratoire de Biologie et Environnement de

provenant de l'agglomération et des activités agricoles avoisinantes. La contamination des poissons *Hypophthalmichthys molitrix* et *Cyprinus carpio*, très appréciés et consommés par les populations locales pourrait exposer les consommateurs à des nuisances sanitaires dues au risque d'accumulation de ces métaux dans l'organisme. Le risque ne se limite pas à l'homme mais également aux animaux à régime piscivore car ces plans d'eau attirent de nombreux oiseaux endémiques et occasionnels. L'Algérie est connue pour ses nombreux couloirs de passage des oiseaux migrateurs se déplaçant de l'Afrique vers l'Europe et la région Est, riche en zones humides, attire de nombreuses espèces.

## RÉFÉRENCES

- Abrid D, El Hmaidi A, Abdallaoui A, Essahlaoui A, 2013. Variation spatiale des concentrations en éléments traces métalliques dans les sédiments de la retenue du barrage Sidi Chahed (Meknès, Maroc). *European Journal of Scientific Research*. **106** : 503-511.
- ABRMC, 1991. Pollution du Rhône. Synthèse des connaissances ministère de l'environnement français. **7** (71470), 26 pp.
- Adam C, Baudin J P, Garnier-Laplace J, 2001. Kinetics of <sup>110m</sup>Ag, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs and <sup>54</sup>Mn bioaccumulation from water and depuration by the crustacean *Daphnia magna*. *Water Air Soil Poll.* **125**: 171-188.
- Adeyeye A, Ayoola P B, 2013. Heavy metal concentrations in some organs of African catfish (*Clarias gariepinus*) from Eko-Ende dam, Ikirun, Nigeria. *Continental J. Applied Sciences*. **8**(1) : 43-48. doi:10.5707/cjappls.2013.8.1.43.48.
- AEAP, 1990. Annuaire de la qualité des sédiments du Bassin Artois Picardie (1985-1990). Agence de l'Eau Artois Picardie France.
- AFNOR, 1953. Essais des eaux. Mesure électrochimique du pH avec l'électrode de verre. NF- T 90-008.
- AFNOR, 1973. Essais des eaux. Détermination de la résistivité ou de la conductivité électrique. NF-T 90-031.
- AFNOR, 1986. Qualité des sols. Détermination de la conductivité électrique d'un extrait aqueux de terre. NF X 31-113, (Septembre, 1986).
- AFNOR, 1993. Qualité des sols. Sols, sédiments, boues de station d'épuration - Mise en solution d'éléments métalliques en traces (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) par attaques acides. NF X 31-151, (Juin, 1993).
- Afri-Mehennaoui, F.Z., Mehennaoui, S. 2005. Qualité écologique des cours d'eau dans l'est algérien : cas de l'oued Rhumel dans le Constantinois. Deuxième Congrès Méditerranéen : Ressources en eau dans le Bassin Méditerranéen : WATMED 2. Marrakech, Maroc. 14-17 Novembre, Proceeding CD-Rom.
- Afri-Mehennaoui F Z, Sahli L, Mehennaoui S, 2006. Assessments of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel River by using multivariate analysis. *Environmetrics*. **15** : 435-446.
- Afri-Mehennaoui f Z, Sahli L, Mehennaoui S, 2009. Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb et le zinc des sédiments de

- l'oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug et leur transfert vers une plante semi-aquatique : *Rorippa Nasturtium-aquaticum* (L.). Sc. & Technologie, C. **29** : 45-55. <http://umc.edudz/revue/index.php/c>
- ANB, 2003. Agence nationale des barrages. El moudjahid - ISSN 1111-0287- 2011, N°14184.
- Arour E, 2015. [En ligne] URL : <http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2015/01/reseau-hydrographique-BATNA.html>, consulté le 10/08/2018 à 08 :00 pm.
- Azzaoui S, 1993. Géochimie de certains métaux lourds dans les sédiments de la lagune de Ghar El Melh. DEA dissertation. University of Tunis II, Tunisia.
- Ben Bouih H, Nassali H, Leblans M, Shiri A, 2005. Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). Afrique Sci. **1** (1) : 109-125. doi.org/10.4314/afsci.v1i1.35403.
- Bhaskar J, Saikia G, Parthasarathy R, Borah R, Borthakur R, 2016. Raman and FTIR Spectroscopic Evaluation of Clay Minerals and Estimation of Metal Contaminations in Natural Deposition of Surface Sediments from Brahmaputra River. International Journal of Geosciences. **7** : 873-883.
- Bonzon A, Breuil C, 1992. Propriétés pour l'aménagement et la planification du développement des pêches continentales dans la région du sahel. FAO. Rapp sur la pêche, 133p.
- Chen C Y, Stemberger R S, Klau B, Blum J D, Pickhardt C, Folt C L, 2000. Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes. Limnol. Oceanogr. **45** (7) : 1525-1536.
- Chiffolleau J F, Auger D, Chartier E, Grouhel A, 2003. Dosage de certains métaux traces dans les organismes marins par absorption atomique. Plouzane. Ifremer, 36p.
- COPRAMEX, 2010. Suivi du milieu marin et impact sanitaire du Rejet de la station d'épuration de martigues. Avril. rapp finale, 27p.
- Cunha D G F, Helena F C, Maria D C C, Adriana C P M, Roseli F B, 2007. Comparison between some trace and heavy metals concentration in sediments of a river and a natural wetland system in Ribeira do Igape basin, Sao Polo State, Brazil. Engenharia Ambiental - Espirito Santo do Pinhal. **4**: 032-053.
- De Mora S D, Sheikholeslami M R, 2002. ASTP: Contaminant screening program: Final report: Interpretation of Caspian Sea sediment data, Caspian Environment Program (CEP), pp 1-27.
- Diop C, Diatta A, Ndiaye A, Cabral M, Toure A, Fall M, 2019. Teneurs en métaux traces des eaux et poissons de cinq étangs de Dakar et risques pour la santé humaine. Journal of Applied Biosciences **137**: 13931 - 13939.
- Djeddi H, Kherief-Nacereddine S, Keddari D, Afri-Mehennaoui F Z, 2018. Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie). European Scientific Journal. **15**: 1857- 7431.
- Elder J F, 1988. Metal Biogeochemistry in Surface-Water system- A review of Principles and Concepts. 1013, United States Geological Survey, 50p.
- European Union (EU), 2001. Commission Regulation as Regards Heavy Metals, Directive, 2001/22/EC, 466.
- European Union (EU), 2008. Setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs. Official Journal of the European Union L 173. Commission Regulation (EC), 629.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2003. From Heavy Metal Regulations Faolex. Retrieved 2012. Disponible à <http://faolex.org/docs/pdf/eri42405.pdf>.
- Firat O, Kargin F, 2010. Individual and combined effect of heavy metals on serum biochemistry of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **58**: 151-157.
- Ghrefat H, Yusuf N, 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. Chemosphere. **65** (11) : 2114-2121.
- Godfrin J M, Bladel R V, 1990. Influence du pH sur l'adsorption du cuivre et du zinc par les sols. Sci du sol. **28**: 15-26.
- Gould M S, Genetelli E J, 1978. Heavy metal complexation behaviour in anaerobically digested sludges. Water Res. **12**: 505- 512.
- Henry J L, Mac-Gibbon S, Davis G, Mackay R M, Moldan G S, 1989. Heavy metals, carbon, and hydrocarbons in the sediments of Table Bay Harbour. Special report. Republic of South

- Africa. Department of Environment Affairs. Sea Fisheries Research Institute, pp 1-26.
- Homira A, Mehry H, Willy B, 2011. Trace Metals Analysis in the Sediments of the Southern Caspian Sea. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*. **2** (6): 1-12.
- Keddari D, Afri-Mehennaoui F Z, Sahli L, Mehennaoui S, 2019. Qualité écologique via la faune macro-invertébrée benthique et devenir du niveau de contamination par le Cr et le Pb des sédiments de l'oued Boumerzoug (Constantine, Algérie). *Algerian J. Env. Sc. Technology*. **5** (2): 990-998.
- Keumean K N, Bamba S B, Soro G, Soro N, Metongo B S, Biemi J, 2013. Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*. **61**: 4530-4539.
- Makedonski L, Katya-Peycheva K, Stancheva M, 2015. Determination of some heavy metal of selected black sea fish species. *Food Control*, pp 1-6.
- Martin J M, Whitfield M, 1983. The significance of the river input of chemical elements to the ocean. In *Trace metals in sea water*. Wong, C.S., Boyle, E., Bruland, K.W., Burton, J.D. and Goldberg, E.D. Eds. New York: Plenum, pp 265-296.
- Merhaby D, Ouddane B, Net S, Halwani J, 2018. Assessment of trace metals contamination in surficial sediments along Lebanese Coastal Zone. *Marine Pollution Bulletin*. **133**: 881-890.
- Meybeck M, 1998. Man and river interface: multiple impacts on water and particulates chemistry illustrated by the river Seine basin. *Hydrobiologia*. **1** (20): 373-374.
- MFA, 1983. *Malaysian Food Act, Malaysian Food and Drug*. MDC Publishers Printer Sdn. Bhd. Kuala Lumpur.
- Miller W J, Hagemann S, Reiter E, Pinsker W, 1992. P-element homologous sequences are tandemly repeated in the genome of *Drosophila guanche*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **89** (9): 4018-4022.
- Nadzifah Y, Muhammad N A R, Muhamad N H, Aishatul A H, Mazira M, 2017. Determination of Cadmium and Zinc Concentration in Fish and Water from Sungai Kelantan. *World Applied Sciences Journal*. **35** (9) : 1808-1815.
- NF ISO 14235, 1998. Qualité du sol. Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique.
- Philips D J H, 1980. Quantitative biological indicators: their use to monitor trace metal and organochlorine pollution, Applied Science Publishers, London, pp 412-455.
- Pourang N, Nikouyan A, Dennis J H, 2005. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment*. **109**: 293-316. Doi: 10.1007/s10661-005-6287-9.
- Pyle G G, Rajotte J W, Couture P, 2005. Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicol Environ. Saf.* **61**: 287-312.
- Rajesh-kumar S, Li X, 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*. **5** : 288-295.
- Ramade F, 2007. *Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications*. Paris : Lavoisier, TEC et DOC, 618p.
- Rejomon G, Nair M, Joseph T, 2010. Trace metal dynamics in fishes from the southwest coast of India. *Environ. Monit. Assess.* **167** :243-255.
- Rodier J, Legube B, Merlet N, Col, 2009. *L'Analyse de l'eau*. Eds. Dunod. Paris. 9ème Eds, p. 1579
- Rohasliney H, Tan H S, Noor M, Zuhartini M D, Tan P Y, 2014. Determination of Heavy Metal Fishes from the lower reach of Kelantan River, Kelantan, Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*. **25**: 21-39.
- Saad M A, Mc Comas S R, Eisenreich S J, 1985. Metals and chlorinated hydrocarbons in surficial sediments of three Nile Delta lakes, Egypt. *Water Air Soil Pollut.* **24** (1) : 27-39. doi.org/10.1007/BF00229517.
- Sahli L, El HadeF-El Okki M, Afri-Mehennaoui F Z, 2014. Utilisation d'indices pour l'évaluation de la qualité des sédiments : cas du bassin Boumerzoug (Algerie). *European Scientific Journal*. **10** (35): 333-343.
- Sandor Z S, Csengeri I, Oncsik M, Alexis M N, Zubcova E, 2001. Trace metal levels in freshwater fish, sediment and water. *Environmental Science and Pollution Research*. **8** (4): 265-268.
- SEQ-Eau, 2003. *Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau*. Version 2. MEED & Agences de l'eau. Développement Durable Paris. 40 p.

- Stone M, Droppo I G, 1996. Distribution of lead, copper and zinc in size fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario, Canada. Environmental Pollution. **93**: 353-362.
- Storelli M, Giacomini-Stuffler R, Storelli A, Marcotrigiano G O, 2005. Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study. Marine Pollution Bulletin. **50**: 993-1018.
- Taweel A, Shuhaimi-Othman M, Ahmad A K, 2011. Heavy metals concentration in different organs of tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from selected areas of Bangi, Selangor, Malaysia. African Journal of Biotechnology. **10** (55): 11562-11566.
- Ujevic I, Odzi N, Baric A, 2000. Trace metal accumulation in different grain size fractions of the sediments from a semi- enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastewaters. Wat. Res. **34** (11): 3055-3061.
- Vernet J P, Favarger P Y, Dominik J, 1989. Chronological evolution of heavy metal contamination of Klingnau basin sediments (Aar watershed, Switzerland). In: J. P. Vernet (ed.): Heavy metals in the environment. CEP Consultants. Edinburgh, pp 234-238.
- Veron J, 1990. New Scleractinia from Japan and other Indo-West Pacific Countries. Galaxea. **9**: 95-173.
- World Health Organisation (WHO), 2006. Guidelines for Drinking Water Quality, Recommendation. Geneva 1, 130 p.
- Yilmaz F, 2009. The comparison of heavy metal concentrations (Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn) in tissues of three economically important fish (*Anguilla anguilla*, *Mugil cephalus* and *Oreochromis niloticus*) inhabiting Koycegiz Lake-Mugla (Turkey). Turk. J. Sci. Technol. **4** (1): 7-15.