

Teneurs Des Éléments Traces Métalliques Cu, Zn Et Pb Des Sédiments Du Barrage Béni Haroun (Nord-Est De l'Algérie)

Hamssa Djeddi

Saliha Kherief Nacereddine

Dounia Keddari

Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui

Laboratoire de Biologie et Environnement,
Université Frères Mentouri Constantine 1

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n15p269 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p269](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p269)

Abstract

This paper focuses on evaluating the degree of three metal pollution (Cu, Zn and Pb) in the sediments of Béni Haroun dam, located in northeastern of Algeria. For this reason, the superficial sediments were sampled at five stations, and the samples were taken at different seasons of the year. The results show low Cu and Zn levels which reflect natural conditions in relation to the area of geological nature. It also highlights the presence of Pb contamination (2.29 to 91.86 μ g/g). This result was also confirmed by various indices, including the geoaccumulation index (Igeo) and the contamination factor (FC). The Igeo values for Pb show moderate contamination of the Bge2 and Bge3 stations. CF values indicate moderate to considerable contamination for most stations by Pb. However, low or absent of Zn contamination was noted in all stations except for the Bge5. The correlation matrix and the PCA between all metal elements indicates that they were derived from similar sources. The contamination sources would probably establish a significant relationship between runoff and the erosion of agricultural lands. It is therefore an anthropogenic metal pollution related to agricultural activity using fertilizers and pesticides.

Keywords: Heavy Metal Pollution, Béni Haroun dam, sediment, Enrichment factor

Résumé

Cette étude porte sur l'évaluation du niveau de contamination des sédiments du barrage Béni Haroun, situé dans le nord-est de l'Algérie, par

trois métaux traces (Cu, Zn et Pb). Les échantillons de sédiments ont été prélevés en différentes saisons de l'année sur cinq stations. Les résultats montrent des teneurs faibles en Cu et Zn qui reflètent plutôt des conditions naturelles en relation avec la nature géologique de la région. Ils mettent en évidence également la présence d'une contamination par le Pb (2,29 à 91,86 µg/g). Ce résultat a également été confirmé par différents indices, notamment l'indice de géo-accumulation (Igeo) et le facteur de contamination (FC). Les valeurs de l'Igeo pour le Pb montrent une contamination modérée des stations Bge2 et Bge3. Celles des FC révèlent une contamination modérée à considérable pour la plupart des stations pour le Pb, par contre une contamination faible voire absente est notée dans toutes les stations, mis à part la station Bge5 pour le zinc. La matrice de corrélation entre éléments métalliques et l'ACP indique qu'ils sont issus de sources similaires. Ce qui reflète clairement la signature d'apports anthropiques traduisant des pollutions agricoles par les eaux de ruissellement et l'érosion des terrains ainsi que les déversements des eaux domestiques.

Mots-clés : Pollution métallique, Barrage Béni Haroun, sédiments, facteur d'enrichissement

Introduction

La pollution de l'environnement aquatique par les substances toxiques d'origine anthropique, en particulier les éléments traces métalliques, est un des problèmes majeurs auxquels doivent faire face les sociétés actuelles. Ces polluants contaminent les systèmes aquatiques à partir de sources ponctuelles et diffuses (eaux de drainage, eaux usées, effluents industriels et agricoles) (Cuitat, 2003 ; Abdel Khalek et al., 2016 ; Dahri et al., 2018).

Dans les systèmes aquatiques, les sédiments sont étudiés pour leur rôle d'indicateurs de contamination du milieu, à cause de leur pouvoir de fixation des polluants, en particulier les éléments traces métalliques (ETM), et constituent alors un réservoir puis une source potentielle de contamination pour les eaux (Tessier, 2012).

En réalité la contamination de l'écosystème aquatique ne se réduit pas à l'atteinte de seulement l'un de ses compartiments (eau, sédiment ou faune et flore) et ne se limite pas à la zone située à proximité de la source polluante; le contaminant, par le biais des échanges inter compartimentaux, peut se retrouver dans les principaux compartiments de l'écosystème aquatique (Belabed et al., 2017; Milenkovic et al., 2005).

Ainsi, les ETM sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, à la fois car ils y sont naturellement présents (sources naturelles) et de multiples activités anthropiques favorisent leur dispersion (Amadi, 2012; Swarnalatha & Nair, 2017). Les sédiments, compartiment

d'accumulation pour les polluants métalliques, peuvent également se comporter comme des sources endogènes de contamination, par remise en suspension (crues, bioturbation) ou par évolution de la spéciation des métaux, laquelle va également jouer sur leur biodisponibilité (Cuitat, 2003 ; Benguedda, 2012).

Les paramètres physico-chimiques des eaux (pH, température, salinité, oxygène dissous, concentration des matières en suspension ...) déterminent la mobilité et la biodisponibilité des métaux lourds en affectant leur spéciation et de ce fait leur comportement (Singh & Singh, 2014). Par conséquent, la distribution, la solubilité et le mouvement de ces éléments restent liés aux propriétés physico-chimiques des sédiments (Belabed, 2010 ; Hamzeh et al., 2014). A la différence des polluants organiques, les ETM ne font pratiquement pas l'objet de réactions de dégradation biologique ou chimique et peuvent s'accumuler dans les chaînes alimentaires (Duman et al., 2007 ; Jumbe & Nandini, 2009 ; Du Laing et al., 2009).

Les organismes aquatiques peuvent bioaccumuler certains contaminants environnementaux jusqu'à des millions de fois les concentrations détectées dans la colonne d'eau (U.S.EPA, 2000). Ils peuvent accumuler les métaux et les transférer, en tant que proies contaminées, vers les réseaux trophiques benthiques et pélagiques (Cuitat, 2003).

Les lacs sont constamment menacés par une série d'influences naturelles et anthropiques, entraînant une pollution des eaux et de sédiments. Parmi les zones humides artificielles qui existent au Nord-Est de l'Algérie, le barrage Béni-Haroun représente la plus grande zone humide superficielle algérienne et la seconde du continent africain après le barrage d'Al Sed El Alli en Egypte.

Il est donc très important d'étudier le devenir des ETM dans les différents compartiments abiotiques et biotiques et de définir les mécanismes qui conditionnent leurs transferts, leurs capacités de bioaccumulation et leurs effets toxiques sur les différents niveaux biologiques d'intégration.

Dans ce contexte nous avons évalué le niveau de contamination des sédiments du barrage par trois métaux communs dans les activités anthropiques: le cuivre, le plomb et le zinc. Il est à souligner que le barrage Béni-Haroun n'a jamais été l'objet d'étude publiée relative à la qualité et la contamination métallique de ses sédiments, véritables puits à polluants. Cependant différents travaux ont porté sur les oueds du bassin versant Kébir-Rhumel (Afri-Mehennaoui, 2006 ; Afri-Mehennaoui, et al., 2004, 2009 ; Sahli et al., 2011, 2012, 2014) et sur la physico-chimie de l'eau (Melghit, 2015) et la biodiversité algale (Kherief et al., 2018).

Matériel et méthodes

Site d'étude et localisation des stations

Le barrage Béni Haroun, situé à une quarantaine de km au Nord de Constantine, contrôle les eaux du bassin de l'oued Kébir-Rhumel. Il est le plus grand barrage du pays, érigé dans la région bien arrosée du Tell oriental, au Sud de laquelle se situent de grands centres urbains (Constantine, Batna, Khenchela...) et de vastes terres irrigables (Hautes Plaines semi-arides) qui ne peuvent être satisfaites par les ressources locales (Mebarki A. *et al.*, 2008 ; Mebarki, 2005) et bénéficient du transfert des eaux du barrage.

Le barrage Béni Haroun est situé au Nord-Est du chef-lieu de la wilaya de Mila dont il est distant de moins de 15 Km. Il est implanté dans la commune de Hamala, Daïra de Grarem Gouga (DTM, 2008). Le barrage Béni Haroun est situé sur l'oued El Kébir dans la wilaya de Mila, au Nord-Est de l'Algérie, à 36° 33' 19'' Nord et 6° 16' 11'' Est. Il est alimenté par deux bras principaux, l'oued Rhumel et oued Endja. Sur 3900 hectares, il constitue la plus grande retenue artificielle. En février 2012 et décembre 2014, sa réserve a atteint 1 milliard de m³ d'eau (Agence Nationale des Barrages et Transfert, 2017).

Il constitue la pièce maîtresse du grand projet structurant de transfert régional d'eau visant l'alimentation en eau potable de pas moins de cinq millions de personnes des wilayas de Mila, Constantine, Jijel, Oum El-Bouaghi, Khenchela et Batna et en eau d'irrigation de 30000 hectares à Teleghma, Chemora et Tafouna.

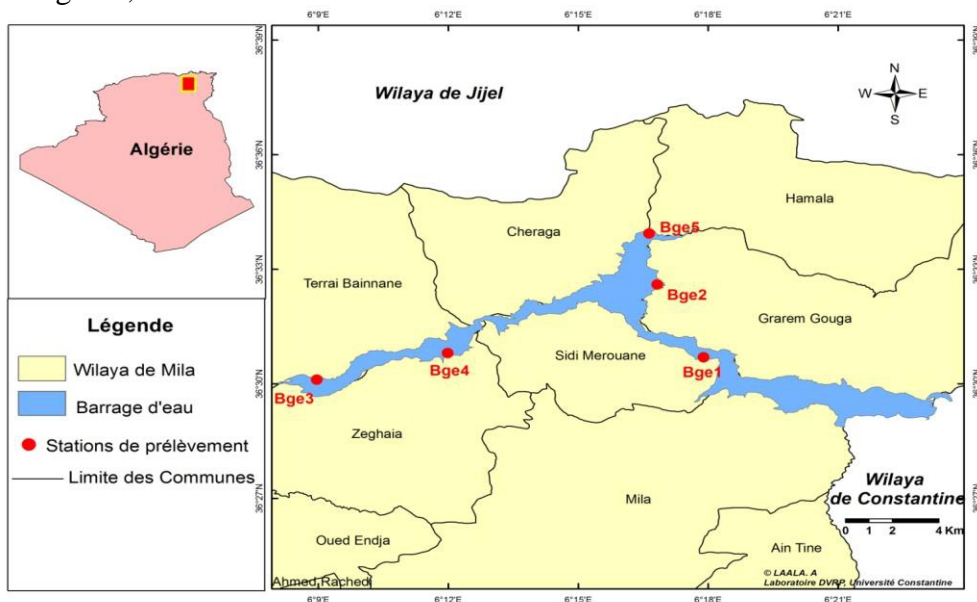


Figure 1. Zone d'étude et localisation des points de prélèvements

Pour l'évaluation du degré de contamination métallique des sédiments de surface du barrage Béni Haroun, quatre campagnes d'échantillonnages ont été effectuées, en période de débit de base mais également en période de crues de façon à couvrir les quatre saisons. Cinq stations (Bge1 à Bge5) ont été échantillonnées (Figure 1 et Tableau 1):

Tableau 1. Localisation des stations de prélèvement

stations	Localisation	Coordonnées GPS	
Bge1	Forêt de <u>Médiouis</u> , au sud du barrage à environ 5 km au nord de la ville de Mila.	36°30' 36.99"N	6°17' 43.39"E
Bge2	Près d' <u>Annouche</u> Ali, au nord-est du barrage, à environ 10 km au nord de la ville de Mila et 3 km de la région de <u>Grarem</u> .	36°32' 35.90"N	6°16' 55.30"E
Bge3	Au voisinage de <u>Mechtet Mellal</u> .	36°29' 49.43"N	6°7' 13.42"E
Bge4	A <u>Djelama</u> , à l'ouest du barrage à environ 9 km au nord de la ville de Mila et environ 5 km de la région <u>Zeraïa</u> .	36°30' 42.91"N	6°11' 54.86"E
Bge5	Près de la digue du barrage.	36°33' 59.49"N	6°16' 47.16"E

Le choix des 5 stations d'études fut avant tout conditionné par leur accessibilité et les informations qu'elles fournissent sur les principales caractéristiques physico-chimiques des sédiments.

Elles permettent un suivi spatio-temporel des concentrations en ETM dans les 2 bras du barrage et au niveau de la digue.

Elles ont été choisies afin qu'elles représentent les différentes conditions du milieu, principalement la géologie locale, l'érosion des sols agricoles, le ruissellement de surface des zones environnantes, et l'impact des effluents et déchets domestiques.

Nature des prélèvements

A chaque station, seuls les sédiments de surface furent l'objet de prélèvement. En effet, cet horizon est très important, du fait qu'il est en contact direct et continu avec les eaux, et représente préférentiellement les dépôts récents. Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne en inox pour éviter toute contamination. L'échantillonnage a visé uniquement les sédiments de surface de 0 à 5 cm, sur les berges accessibles. Environ 500 g sont collectés dans des pots en polyéthylène préalablement décontaminés à l'acide nitrique (5N) et rincés à l'eau bidistillée. Les sédiments sont séchés à 85°C pendant environ 48 heures, puis broyés dans un mortier en agate et tamisés à 2 mm et 63 µm.

Caractérisation des sédiments et dosage des éléments traces métalliques (ETM)

Le pH, la conductivité électrique (CE), la matière organique (MO) ainsi que le calcaire total (CT), ont été déterminés sur la fraction < 2 mm. Les

méthodes proposées par Rodier (2009) ont été retenues pour le pH, la CE et la MO par perte au feu à 525°C. Le CT a été déterminé au calcimètre de Bernard.

Les analyses des ETM portent sur trois éléments : le cuivre, le zinc et le plomb. Les sédiments (fraction < 63 µm) sont minéralisés par calcination à 450°C en présence de nitrate d'ammonium suivie d'une solubilisation diacide des métaux, l'acide nitrique (HNO₃, 65%) et l'acide chlorhydrique (HCl, 36%). La reproductibilité du protocole d'extraction des ETM dans les sédiments est vérifiée à l'aide de l'analyse de standards internationaux (Lake Sediment Reference Materials, LKSD-1) provenant de CANMET. Les valeurs déterminées sur quatre mesures sont comprises dans des niveaux certifiés par CCRMP (Projet Canadien de Matériaux de Référence). Le Tableau 2 présente les résultats obtenus lors du contrôle de la méthode d'extraction.

Tableau 2. Résultats d'analyse des ETM du sédiment référence (LKSD-1) (n=3)

	Valeur certifiée (µg/g)	Valeurs observée	Récupération
Cu	44	44.5	101,13
Zn	337	336.36	99,81
Pb	84	84.36	100,42

Les dosages du cuivre, zinc et plomb sont effectués par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme (PERKIN ELMER PinAAcle 900T).

Analyses statistiques

Pour le traitement des résultats nous avons utilisé l'ACP, qui est une méthode statistique multivariée de l'analyse des données, basée sur la corrélation entre les variables. Le logiciel utilisé est Excel Stat version 2016 softwares. Les relations entre les éléments analysés ont été testées en utilisant le coefficient de Pearson avec une signification statistique fixé à $p < 0,05$ par le logiciel SPSS statistics 19.

Résultats et discussions

Les données statistiques des caractéristiques physico-chimiques des sédiments sont récapitulées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Données statistiques des caractéristiques physico-chimiques des sédiments

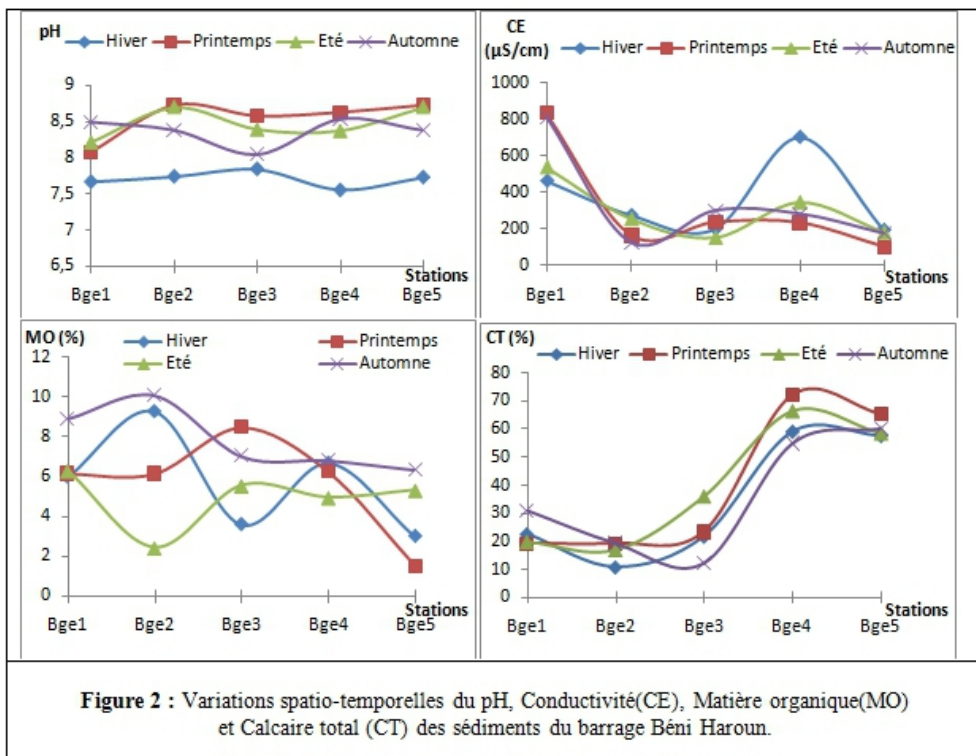
	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	MO (%)	CT (%)	Cu ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Zn ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{g}$)
Minimum	7,56	102	1.53	10.89	6.15	20.50	2.26
Maximum	8,73	830	10.07	92.30	19.70	272.75	91.86
Moyenne	8.27	329	6.04	38.33	10.42	75.72	37.66
Médiane	8.38	262	6.07	27.25	10.95	64.85	32.43
Ecart type	0.39	223	2.22	23.47	3.25	52.96	21.68
n	20						
AEAP (1990)	-	-	-	-	15	100	40
ABRMC (1991)	-	-	-	-	26	88	22
SEQ Eau (2003)	-	-	-	-	31	120	35

Le pH des sédiments des différentes stations laisse apparaître une légère variation spatio-temporelle (Figure 2). Il oscille entre 7.56 et 8.73 avec une moyenne de 8.27. Les sédiments du barrage ont un pH voisin de la neutralité à caractère alcalin. L'alcalinité est sensiblement plus élevée pour les sédiments des stations Bge4 et Bge5 ayant probablement une teneur en carbonates plus importante ou à la présence considérable de débris de coquilles de gastéropodes.

Les valeurs de la conductivité des sédiments fluctuent aux cours des quatre campagnes. Elle est typique ($100 < \text{CE} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$) de la conductivité observée dans les milieux des eaux douces. Ces valeurs traduisent une forte minéralisation due certainement aux rejets urbains ; elle est bien exprimée à la station Bge4.

Les teneurs en matières organiques évaluées par la perte au feu à 525°C montrent que les sédiments étudiés sont considérés comme fortement chargés en matière organique notamment ceux prélevés dans les stations à proximité des rejets urbains, cas de la station Bge2. Meybeck et al. (1998) qualifient de très forte la proportion de 10 % de 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 probablement dues au lessivage important des sols par les eaux de pluies et par le retour des eaux d'irrigation des terrains agricoles environnant le barrage, riches en substances organiques.

Le calcaire total présente des variations importantes, s'observant d'une station à une autre et d'un prélèvement à un autre. La valeur la plus élevée (72.30%) a été enregistrée toujours à la station Bge4 pendant la saison hivernale car une augmentation des précipitations entraîne une augmentation du déplacement des carbonates par ruissèlement vers les cours d'eau.



La Figure 3 et le Tableau 2 présentent les concentrations totales en ETM mesurées dans les échantillons de sédiments. Globalement, les résultats indiquent des fluctuations irrégulières dans les différentes stations du barrage avec des teneurs qui oscillent entre 6,15 et 19,70 µg/g pour le cuivre, 25,50 et 272,75 µg/g pour le zinc et entre 2,26 et 91,86 µg/g pour le plomb.

Les teneurs en Cu relevées dans les sédiments du barrage Béni Haroun montrent une valeur maximale dans la station Bge5 (19,70µg/g) suivi de la station Bge3 (14,30µg/g) et la station Bge4 (13,90µg/g). Ces valeurs semblent être proches des teneurs des sédiments non pollués sauf pour la station Bge5 selon

AEAP (1990). La valeur la plus importante du Zinc est enregistrée dans la station Bge5 (272.75 µg/g) suivi de la station Bge3 (79,45µg/g) située près de Mechtet Mellal caractérisée par une forte pollution organique (Figure 1). La digue (Bge5) enregistre aussi la valeur la plus élevée en Pb (74.4µg/g) toujours à la saison printanière puisque l'enrichissement en métaux traces au cours de la saison humide et pluvieuse a pour principale origine l'augmentation des charges polluantes métalliques dans les eaux de ruissellement des premières crues (Melghit, 2012). Cette contamination par les éléments traces métalliques est étroitement liée aux résidus industriels, aux agglomérations urbaines et aux rejets des eaux usées.

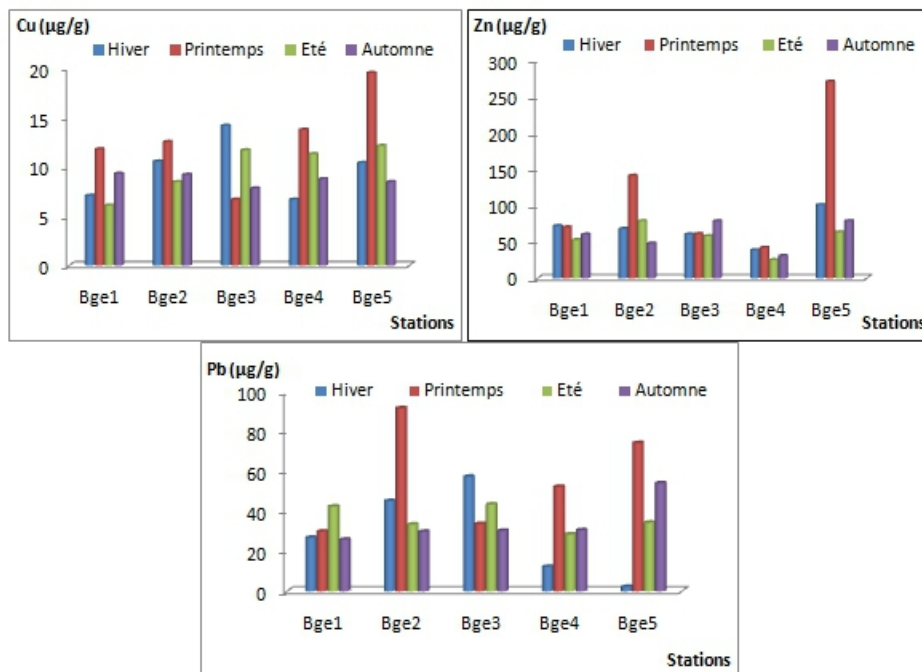


Figure 3 : Variations spatio-temporelles des teneurs en cuivre, zinc et plomb des sédiments du barrage Béni Haroun.

La comparaison des concentrations en métaux lourds obtenues dans les échantillons de sédiments du barrage Béni Haroun, montre que les concentrations les plus importantes se trouvent dans les stations Bge5, Bge2. La distribution quantitative des teneurs en ETM suit l'ordre suivant : Zn > Pb > Cu.

Cette 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 intense 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. Les faibles concentrations pendant la 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). Suivant les normes du SEQ–Eau (2003), la qualité des sédiments du barrage est considérée comme bonne pour l'aptitude à la vie biologique.

Afin d'établir des relations entre des métaux et de vérifier la similarité de la source des métaux dans les sédiments du barrage Béni Haroun, une

matrice de corrélation a été réalisée. Selon les coefficients de corrélation de Pearson présentés dans le Tableau 4, une corrélation positive significative existe entre les éléments métalliques Cu, Zn et Pb. Cette forte corrélation reflète la source commune de ces éléments ainsi que leurs comportements similaires dans le sédiment.

Tableau 4. Matrice de corrélation de Pearson des paramètres physico-chimiques des sédiments

	pH	CE	MO	CT	Cu	Zn	Pb
pH	1						
CE	-0,366	1					
MO	-0,121	0,552**	1				
CT	0,230	-0,173	-0,210	1			
Cu	0,330	-0,374	0,076	0,371	1		
Zn	0,260	-0,313	-0,032	0,060	0,638**	1	
Pb	0,409*	-0,389*	-0,078	-0,075	0,570**	0,567**	1

*Une corrélation significative au niveau 0.05 (bilatéral).

** Une corrélation significative au niveau 0.01 (bilatéral).

La diminution du pH et la variation du potentiel d'oxydoréduction dans le milieu ambiant peuvent libérer les métaux associés aux sédiments. Leur biodisponibilité augmente alors, et ils deviennent plus susceptibles d'être toxiques pour les organismes benthiques. Les principaux métaux et métalloïdes connus pour être influencés par les conditions d'oxydoréduction et le pH sont l'arsenic, le cadmium, le chrome, le mercure, le plomb et le zinc (Environnement Canada, 2007).

Les indices de géo-accumulation (Igeo) et les facteurs de contamination (FC) ont été utilisés pour l'évaluation de la qualité environnementale des sédiments de la zone d'étude. Les valeurs de référence (ou guides) utilisées dans cette étude pour les sédiments sont ceux de l'Agence du Bassin Rhône Méditerranée Corse (ABRMC 1991), la plus proche géographiquement. Les résultats des Igeo et FC sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5. Moyennes des Igeo et FC des sédiments du barrage Béni Haroun

Stations	Igeo			FC		
	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb
Bge1	-1,57	-1,04	-0,1	0,33	0,73	1,42
Bge2	-1,93	-0,75	0,45	0,395	0,96	2,28
Bge3	-2,001	-1,02	0,27	0,391	0,74	1,36
Bge4	-1,98	-1,95	-1,09	0,393	0,393	1,09
Bge5	-1,68	-0,27	-0,47	0,49	1,47	1,87

L'indice de géo-accumulation (Igeo) est utilisé pour évaluer la contamination des sédiments par des métaux lourds, comme indiqué dans

l'équation (Muller, 1969) $I_{geo_x} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 B_{g_x}} \right)$ où C_n est la concentration calculée du métal et B_{g_x} est la concentration de métal de fond observée (x).

Pour minimiser l'impact des modifications possibles des valeurs de référence et des variations lithologiques dans les sédiments, un facteur de 1,5 est utilisé dans l'équation. Sept catégories de valeurs d'indice de géo-accumulation sont distinguées, comme indiqué dans le Tableau 6.

Tableau 6. Classes d'indice de géo-accumulation (Soares et al., 1999)

Classe	Indice de géo-accumulation	Qualité du sédiment
0	$I_{geo} \leq 0$	Non contaminée
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	Non contaminés à modérément contaminés
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	Modérément contaminés
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	Modérément à fortement contaminé
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	Fortement contaminés
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	Fortement à extrêmement contaminé
6	$I_{geo} > 5$	Extrêmement contaminés

Les variations de l'Igeo des différents ETM des sédiments du barrage entre les différentes stations sont présentées dans le Tableau 5. Les valeurs les plus élevées de l'Igeo pour l'ensemble des éléments métalliques analysés ont été enregistrées à la station Bge2 et Bge3, qui reçoivent une quantité importante d'effluents d'eaux usées déversés par les zones urbaines situées à proximité (Ferdoua et Annouche Ali). Ces deux stations montrent une contamination modérée pour le plomb. Les valeurs de l'Igeo sont inférieures à 0 pour le reste des stations considérées comme non contaminées par les trois éléments Cu, Zn et Pb.

Le facteur de contamination (FC) représente le rapport entre la valeur de référence d'un métal lourd donné et de son contenu dans les sédiments étudiés. Le FC est exprimé par la formule suivante :

$$FC = \frac{C_x}{B_{gx}}$$

Selon (Hakanson, 1980; Rubio et al., 2000), si $FC < 1$ la contamination est absente à faible; $1 \leq FC < 3$ la contamination est modérée ; $3 \leq FC < 6$ la contamination est considérable ; et $6 \leq FC$ la contamination est très forte. Les FC-Cu ne dépassent jamais le seuil de la première classe ($FC < 1$) indiquant ainsi une contamination faible voire absente quelque soit le point de prélèvement. Pour le FC-Zn, seule la station Bge5 est considérée comme faiblement contaminée par analogie aux autres stations où la contamination

est absence. Les sédiments des 5 sites de prélèvements ont des FC-Pb supérieurs à 1, reflétant un enrichissement par cet élément avec une contamination modérée.

Les faibles teneurs en Cu peuvent être expliquées par la compétition entre les différents métaux, comme le montre les travaux de Serpaud *et al.* (1994). L'adsorption du cuivre est très inférieure à celle du plomb, ce qui pourrait expliquer les faibles teneurs en cuivre des sédiments.

Les concentrations en ETM des sédiments du barrage Béni Haroun ont été comparées à celles d'autres sites méditerranéens dans le but d'apprécier leur niveau de contamination (Tableau 7). Concernant le cuivre, les teneurs sont plus faibles que celles trouvées dans les sédiments de trois stations du barrage situées près de la digue (Melghit, 2012) et dans les sédiments du bassin versant Boumerzoug (Sahli *et al.*, 2014). Mais elles sont similaires à celles des sédiments du barrage Sidi Chahed (Abrid *et al.*, 2013) et à celles d'oued Rhumel (Afri-Mehennaoui *et al.*, 2006). Les concentrations du zinc avoisinent celles rapportées par Melghit (2012) pour le même barrage, ainsi que celles obtenues dans les sédiments d'oued Bouhamra (Khaled-Khodja *et al.*, 2016) et du Lac Fouarat (Benbouih *et al.*, 2005).

Mais elles sont plus élevées que celles dosées dans le barrage Sid Chahed et celles du Nil (Abdelkhalek *et al.*, 2016). Ces teneurs en cuivre et en zinc reflètent le bruit de fond géochimique de la zone d'étude. Quant au plomb les teneurs sont supérieures à celles des sédiments du lac Fouarat et celles du barrage Sidi Chahed au Maroc. Elles sont également similaires à celles de Melghit (2010). Cette situation reflète les influences directes des apports anthropiques surtout les eaux de ruissellement, l'érosion des terrains agricoles (engrais et pesticides) ainsi que les déversements des eaux domestiques.

Tableau 7. Teneurs en ETM des sédiments du barrage Béni Haroun et de différents hydro-systèmes méditerranéens

Hydro-systèmes	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Références
Barrage Béni Haroun (Mila)	6,15-19,7	20,50-272,75	2.26-91,9	Présente etude
Barrage Béni Haroun (Mila)	12,9-42,9	89,29-203	30-80	Melghit (2010)
Oued Rhumel (Algérie)	3-19	98-199	23-100	Afri-Mehennaoui <i>et al.</i> (2006)
Oued Rhumel	-	73-204	63-206	Afri-Mehennaoui <i>et al.</i> (2009)
Oued Boumerzoug (Algérie)	-	34-346	50-88	Afri-Mehennaoui <i>et al.</i> (2009)
Bassin Boumerzoug (Algérie)	9.59-446	55,41-641.45	11-166,7	Sahli <i>et al.</i> (2014)
Bassin Seybouse (Algérie)	14,2-83,8	42-254,6	32,6-818,3	Belabed <i>et al.</i> (2017)
Oued Bouhamra (Algérie)	5,76-35,97	45,47-186	16,62-45,2	Khaled-Khodja <i>et al.</i> (2016)
Lac Fouarat (Maroc)	45.5	219	64.6	Benbouih <i>et al.</i> (2005)
Barrage Sidi Chahed (Maroc)	2,90-22,8	14,33-58,85	4,8-48	Abrid <i>et al.</i> (2013)
Oued Bou Regreg (Maroc)	33,48	196,69	128,05	Nadem <i>et al.</i> (2015)
Bassin de Gabes (Tunisie)	0,01-110,1	1,2-384,6	0,13-162,7	Dahri <i>et al.</i> (2018)
Nil (Egypte)	0,76-11,4	4,75-17,65	0,17-1,26	Abdelkhalek <i>et al.</i> (2016)
Etang de Thau (France)	9,6-144,8	20,1-536,8	20,2-116,2	Péna et Picot (1991)
Estuaire de la Seine (France)	133	448	138	Hamzeh <i>et al.</i> (2014)

Une analyse en composante principale (ACP) réalisée à partir des données obtenues permet de connaître les mécanismes d’enrichissement des sédiments du barrage par les ETM. Cette dernière est effectuée sur une matrice des données constituée de 20 prélèvements (5 stations x 4 campagnes) au cours desquels sept paramètres ont été mesurés ou dosés. Cette analyse montre que les ETM les plus corrélés à l’axe principal F1 (horizontal) représentant 40,48% de la variance, et qui contribuent de manière significative à sa formation sont respectivement : Cu ($r = 0,80$) > Pb ($r = 0,76$) > Zn ($r = 0,73$) (Figure 4). Ces derniers évoluent dans le même sens positif, ce qui peut traduire leur origine commune.

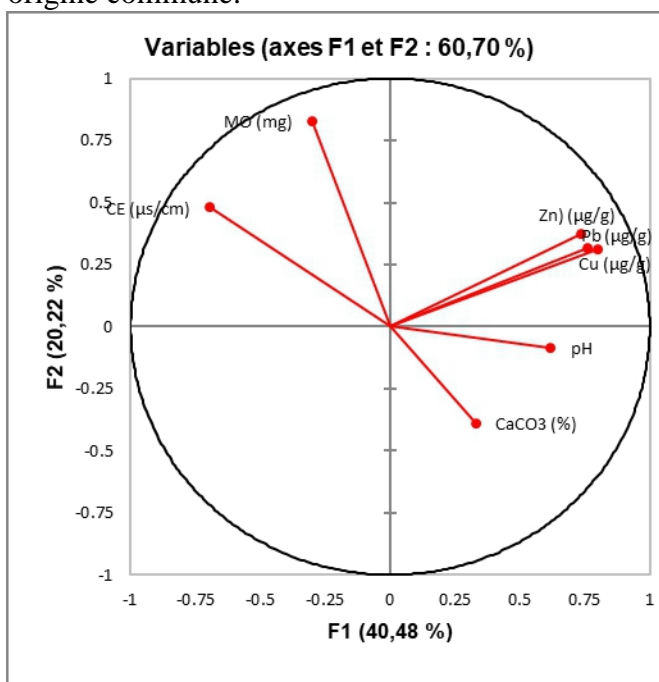


Figure 4. Représentation des résultats d’analyse en composantes principales pour les sédiments : Projection des variables (ETM et propriétés physico-chimique) sur le plan F1-F2

Par ailleurs, les paramètres qui contribuent le plus à l’édification de l’axe F2 (20.22 % de la variance) sont la matière organique (MO) et la conductivité électrique (CE) qui montrent une corrélation très hautement significative. La matière organique est inversement proportionnelle au pH, en effet, l’oxydation de la matière organique mène vers une diminution du pH. Tous les ETM présentent une mauvaise corrélation avec la matière organique ; cette dernière est par conséquent, peu influente sur l’adsorption et l’accumulation des ETM 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).

Le pH est négativement corrélé aux éléments Cu, Zn et Pb ; ce qui confirme le rôle très important que joue ce dernier dans l'augmentation des teneurs en ETM et leur accumulation dans le sédiment. Le cuivre, zinc et plomb présentent une assez bonne corrélation avec les carbonates, ainsi qu'une mauvaise corrélation avec la conductivité.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les sédiments du barrage Béni Haroun sont de type alcalin et présentent une conductivité électrique élevée et des fortes teneurs en matière organique. La répartition spatiale des teneurs en métaux lourds révèle des taux naturels pour le cuivre et le zinc. La contamination par le plomb est généralisée et touche l'ensemble des stations. Les indices d'évaluation de la contamination métallique Igeo et FC suggèrent que ces taux élevés en Pb sont essentiellement d'origine anthropique. La corrélation positive significative observée entre les éléments métalliques Cu, Pb et Zn, confirme que ces métaux sont issus de sources similaires. Il s'avère donc nécessaire d'évaluer la toxicité des métaux par des études qui vont prendre en compte leur biodisponibilité.

References:

1. Abrid, D., EL Hmadi, 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.
2. Abdel-Khalek, A., Elhaddad, I., Mamdouh, S., & Saed Marie, M. (2016). Assessment of Metal Pollution around Sabal Drainage in River Nile and its Impacts on Bioaccumulation Level, Metals Correlation and Human Risk Hazard using *Oreochromis niloticus* as a Bioindicator. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16, 227-239.
3. AEAP (1990). Annuaire de la qualité des sédiments du Bassin Artois Picardie (1985-1990). Agence de l'Eau Artois Picardie, France.
4. Afri-Mehennaoui, F. Z., Sahli, L., & Mehennaoui, S. (2004). Assessments of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel River by using multivariate analysis. *Environmetrics*, 15, 435-446.
5. Afri-Mehennaoui, F.Z. (2006). Evaluation du niveau de contamination par les métaux lourds de différents compartiments d'un écosystème aquatique (eau, sédiment, faune macroinvertébrée, macrophyte) de l'oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug en zone urbaine

- (Constantine). Université Mentouri, Constantine, 267p.
6. Afri-Mehennaoui, F. Z., Sahli, L., & Mehennaoui, S. (2009). Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb et le zinc de l'eau, des sédiments de l'oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug, et leur transfert vers une plante semi-aquatique: *Rorippa nasturtium-aquaticum*. *Sciences & Technologie*, 29, 45-55.
 7. Afri-Mehennaoui, F Z., Sahli, L., Zeriref, N., & Mehennaoui, S. (2009). Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (ETM), des sédiments des oueds Rhumel et Sakiet Roum, dans la zone industrielle du complexe de l'Entreprise Nationale des Machines des Travaux Publics (ENMTP) et à Constantine (Algérie). Actes du Colloque International « Environnement et Transports dans des contextes différents », Ghardaïa, 16 – 18 février, Vol 2, 80-88, Ed. Kerbachi R., Joumard R., Boughedaoui M. et Goger T.
 8. Agence Nationale des Barrages et Transfert (2017). Mila. Algérie.
 9. Agences françaises de l'Eau (2003). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQEau), Grilles d'évaluation, version 2. Ed. Agence de l'eau. 40p.
 10. Amadi, A.N. (2012). Quality Assessment of Aba River Using Heavy Metal Pollution Index. *American Journal of Environmental Engineering*. 2,45-49.
 11. Belabed, B., Meddour, A., Samraoui, B., & Chenchouni, H. (2017). Modeling seasonal and spatial contamination of surface waters and upper sediments with trace metal elements across industrialized urban areas of the Seybouse watershed in North Africa. *Environ Monit Assess*. 189 :265-284.
 12. Belabed, B. (2010). La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques ». Thèse de Doctorat en Sciences. Université Badji Mokhtar Annaba. 199p.
 13. Benguedda-Rahal, W. (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de doctorat en science. Université de Tlemcen. 149p.
 14. Ben Bouih, B., Assali, H.N., Leblans, M., & Srhiri, A. (2005). Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (M aroc) *Afrique SCIENCE*. 01(1), 109-125.
 15. Ciutat, A. (2003). Impact de la bioturbation des sédiments sur les transferts et la biodisponibilité des métaux - approches expérimentales. Thèse de doctorat en science. Université de Bordeaux I. 437p.
 16. Coulibaly, A., Monde, S., Wognin, V., & Aka, K. (2009). Analyse des éléments traces métalliques (ETM) dans les baies estuariennes

- d'Abidjan en Côte d'Ivoire. *Afrique Science* 05(3), 77-96.
17. Dahri, N., Atoui, A., Ellouze, M., & Abida, H. (2018). Assessment of streambed sediment contamination by heavy metals: The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*. 140, 29-41.
 18. Du Laing, G., Meersa, E., Dewispelaerea, M., Vandecasteeleb, V., & Rinklebec, J. (2009). Heavy metal mobility in intertidal sediments of the Scheldt estuary: Field monitoring. *Science of the environment*. 407, 2919-2930.
 19. Duman, F., Aksoy, A., & Demirezen, D. (2007). Seasonal Variability of Heavy Metals in Surface Sediment of Lake Sapanca, Turkey. *Environ Monit Assess*. 133, 277-283.
 20. DTM (2008). Direction des Travaux Maritimes. Mila. Algérie.
 21. Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (2007). Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration. 39 p.
 22. Hamzeh, M., Ouddane, B., Daye, M., & Halwani, J. (2014). Trace Metal Mobilization from Surficial Sediments of the Seine River Estuary. *Water Air Soil Pollut*. 225,1878 -1892.
 23. Hakanson, L. (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 5, 975-1001.
 24. Khaled-Khodja, S., Samar, M., Durand, G. (2016). Contamination métallique de l'eau et du sédiment d'Oued Bouhamra. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*. 32, 135-146.
 25. Khereif Nacereddine, S., Djeddi, H., Benayache, Y., & Afri-Mehennaoui, F.Z. (2018). Dynamique des éléments nutritifs et du phytoplancton dans le Barrage Béni-Haroun Dans l'est algérien ; *European Scientifique Journal*, Vol.14, N°12, 111-129, ISSN : 1857-7881 (Print)e-ISSN1857-7431.
 26. 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.
 27. Mebarki, A., Benabbas, C., Sebhi, S., Ghachi, A., Malek, M., & Tatar, H. (2008). Etude du système de transfert hydraulique régional de Beni Haroun (Algérie Orientale) : contextes hydrologique et géologique et mise en valeur hydro-agricole. *Projet CNEPRU*, code G/2501/16/06, MESRS, Univ. Mentouri, Constantine , 303p.
 28. Mebarki, A. (2005). Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement , *Thèse de Doctorat*

- d'Etat*, Université Mentouri De Constantine, 360p.
29. Melghit, M. (2012). Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Université Mentouri de Constantine ; Mémoire de Magistère en Ecologie.175p.
 30. Melghit, M., Afri-Mehennaoui, FZ. & Sahli, L. (2015). Impact of Wastewaters On The Physicochemical Quality Of Waters: Case Study Of The Rhumel River, Hammam Grouz And Beni Haroun Dams. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 4 (12), 625-630.
 31. Meybeck, M., Guéguen, Y., Dürr, H., Grosbois, C., Lachartre, L., Bacq, N., Théry, S., & Horowitz, A. (2003). Vers un système expert pour réaliser le bilan de la contamination métallique du réseau hydrographique. Rapport PIREN-Seine 2002, thème "Transferts des contaminants".
 32. Milenkovic, N., Damjanovic, M., & Ristic, M. (2005). Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro. *Polish Journal of Environmental Studies*. 14, 781-787.
 33. Nadem, S., El Baghdadi, M., Rais, J., Barakat, A. (2015). Evaluation de la contamination en métaux lourds des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc). *Mater. Environ. Sci.* 6 (11), 3338-3345.
 34. Péna, G. & Picot, B. (1991). Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne : l'étang de Thau. *Oceanologica Acta*, 14, 459-472.
 35. Rajeshkumar, S. & Xiaoyu, L. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5, 288-295.
 36. Rodier, J., Bernard, L., Nicole, M., coll (2009). L'analyse de l'eau.9e édition Dunod Paris.1529p.
 37. Rubio, B., Nombela, M.A., & Vilas, F. (2000). Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ría de Vigo (NW Spain): An assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*. 40, 968-980.
 38. Sahli, L., Afri-Mehennaoui, FZ., El-Hadef-El-Okki, M., Blaise, C., Mehennaoui, S. (2011). Spatial, seasonal variations and ecological significance of sediment trace metal concentrations in Kébir-Rhumel basin (Northeast of Algeria); *Water Science & Technology* 64 (8), 1759–1766.
 39. Sahli, L., Afri-Mehennaoui, FZ., El Hadeff El Okki, M., Ferard, JF., & Mehennaoui, S. (2012). Assessment of sediment quality and pore water ecotoxicity in Kebir Rhumel basin (NE-Algeria): a combined approach. *Water Science & Technology* 65 (2), 393-401.

40. 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.
41. Swarnalatha, K. & Nair, A.G. (2017). Assessment of sediment quality of a tropical lake using sediment quality standards. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. 22, 65-73
42. Singh, K. & Singh, N.B. (2014). Evaluation of heavy metals loading of river ganga in gazipur (u.p.) india hemant. *Int. J. Chem. Sci.* 12(1), 191-198.
43. Tessier, E. (2012). Diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux/métalloïdes dans la rade de Toulon et mécanismes controlant leur mobilité. Thèse de doctorat en science. Université de Toulon, 292p.
44. U.S.EPA (Environmental Protection Agency) (2000). Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories. Vol 2, Risk assessment and fish consumption limits (3rd ed.), United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, Office of Science and Technology and Office of Water, (EPA/823/B-97/009).
45. 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.