



Evaluation de la contamination en métaux lourds des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc)

Evaluation of heavy metal contamination of sediments of the estuary of the Bouregreg (Atlantic Coast, Morocco)

S. Nadem, M. El Baghdadi, J. Rais, A. Barakat

Laboratoire Géoresources et Environnement, Université Sultan My Slimane, Faculté des Sciences et Techniques, Béni-Mellal, Maroc

*Corresponding Author. E-mail: samirmellal@hotmail.com; Tel: (0666834856)

Résumé

Le but de cette étude est d'évaluer le degré de pollution métallique des sédiments estuariens de Bou Regreg. Les sédiments ont été échantillonnés dans huit stations le long de l'estuaire en vue d'analyses d'un ensemble paramètres physiques (pH, conductivité électrique (CE), et susceptibilité magnétique (SM) et de métaux lourds et métalloïdes (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn et Fe). Le facteur de contamination (FC) et l'indice de la charge de pollution (PLI) ont été utilisés pour l'évaluation de la contamination métallique des sédiments. Les résultats de cette étude suggèrent que les sédiments estuariens de Bou Regreg sont relativement plus contaminés par des métaux lourds. Les teneurs des métaux analysés sont élevées et variables dans les sédiments le long de l'estuaire. Les valeurs des FC indiquent une contamination modérée à considérable pour la plupart des stations. Les valeurs de PLI indiquent que toutes les stations, mis à part les stations S2, S6 et S8, sont polluées. La matrice de corrélation entre éléments métalliques indique qu'ils sont issus de sources similaires. Ces sources polluantes sont de nature anthropique en relation avec les travaux d'aménagement de la vallée de Bouregreg, et les rejets urbains et industrielle. La pollution de l'estuaire reste donc importante malgré les dispositions prises par les autorités locales depuis 2006, telles que la fermeture de la décharge publique de l'Oulja du côté de la ville de Salé et le prétraitement des eaux usées du côté de la ville de Rabat.

Mots clés : Maroc, estuaire Bou Regreg, sédiments, métaux lourds

Abstract

The aim of this study is to evaluate the degree of metal pollution of Bouregreg estuarine sediment. The sediments were sampled in eight stations along the estuary for analysis of a set of physical parameters (pH, electrical conductivity (EC) and magnetic susceptibility (MS) and heavy metals and metalloid (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn and Fe). The contamination factor (CF) and the index of the pollution load (PLI) were used for the evaluation of metal contamination of sediments. The results of this study suggest that Bouregreg estuarine sediments are relatively more contaminated with heavy metals. The contents of the metals analyzed are high and variable in sediments along the estuary. CF values indicate a moderate to considerable contamination for most stations. PLI values indicate that all stations, except the stations S2, S6 and S8, are polluted. The correlation matrix between all metal elements indicates that they are derived from similar sources. Pollution sources are anthropogenic related to the Bouregreg valley development project and to urban and industrial discharges. Pollution of the estuary remains important despite the measures taken by local authorities since 2006, such as the closure of the landfill Oulja side of the city of Salé and pretreatment of wastewater side of the city Rabat.

Keywords: Morocco, Bou Regreg estuary, sediments, heavy metals

1. Introduction

La contamination métallique des milieux aquatiques est devenue une préoccupation d'ampleur mondiale en raison de sa toxicité, de sa bioaccumulation et de ses effets sur la vie aquatique. Les résidus métalliques risquent de porter atteinte à la vie aquatique en s'accumulant dans les micro-organismes, la flore et la faune aquatiques, ainsi que, à travers les usages de l'eau (alimentation, baignade...), à la santé humaine [1,2]. Les métaux lourds de source naturelle ou anthropique rejetés dans un milieu aquatique sont en grande partie piégés dans les sédiments [3]. Par conséquent, les sédiments sont souvent utilisés pour évaluer le degré de pollution des milieux aquatiques [4].

La charge en éléments trace métallique dans les estuaires a pris, dans ces dernières années, un intérêt croissant et une forte préoccupation. Le comportement de ces éléments en milieu estuarien a été largement débattu au sein de la communauté scientifique [5-12]. Les estuaires et les eaux saumâtres ont un intérêt biologique très important puisqu'ils constituent un refuge et une aire d'alimentation vitale pour les oiseaux migrateurs et aussi pour les zones de pisciculture [5]. L'estuaire de Bou Regreg situé entre les villes de Rabat et Salé a connu ces dernières années une importante activité urbaine et industrielle surtout celles qui entrent dans le cadre du grand projet d'aménagement des deux berges de la vallée de Bou Regreg. Ces profondes transformations socio-économiques ne sont pas sans effets négatifs sur la qualité de l'eau et des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg qui reçoit des eaux usées très polluées, chargées d'éléments métalliques tels que Pb, Zn, Cd, Cu ou Fe. Des études ont été réalisées sur les eaux, les sédiments et la faune de l'estuaire de Bou Regreg, et ont bien mis en évidence des taux élevés en métaux lourds [13-16]. Les sources polluantes sont multiples dont les principales sont (i) les rejets des eaux usées des agglomérations des deux villes, versées directement dans le fleuve et l'estuaire, (ii) le développement urbain (multiplication des zones de lotissement et résidus des constructions) sur la rive droite et la croissance industrielle (poterie, carrière et briqueterie), et (iii) les lâchers du barrage et l'activité agricole pratiquée au niveau des berges du fleuve.

La rivière Bou Regreg, deuxième fleuve important du Maroc, prend source au Moyen Atlas à une altitude de 1 627 m et coule dans une large plaine alluviale sur plus de 100 km en se rétrécissant vers l'aval avant de se jeter dans l'océan atlantique. Le lit du fleuve est occupé par des limons gris (argile et sable) et de la vase. En 1974, le grand barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah a été construit 24 km en amont de l'estuaire de Bou Regreg afin d'assurer l'alimentation en eau potable des villes de Rabat et de Casablanca et de permettre l'irrigation des terres agricoles avoisinantes. Cette construction a complètement perturbé le fonctionnement de l'écosystème de l'estuaire de Bou Regreg. Ce dernier, sur 14 km de l'embouchure, est devenu un bras de mer presque complètement contrôlé toute l'année par les mouvements des marées. Les berges agricoles sont uniquement irriguées par les lâchers de la retenue du barrage et les fortes crues. En conséquence la salinité est devenue plus forte [14] avec un faible hydrodynamisme conduisant à une déficience d'oxygénation des eaux et favorisant un degré de pollution beaucoup plus élevé [17]. Actuellement tout l'écosystème est affecté. Une contamination par les éléments traces métalliques a été enregistrée aussi bien dans les sédiments que dans les organismes vivants comme la moule [13, 15, 16]. L'objectif de cette étude est l'évaluation de l'impact du développement urbain et industriel sur l'estuaire de Bou Regreg par la quantification de la pollution métallique au cours de ces dernières années.

2. Matériels et méthodes

Bou Regreg, le deuxième fleuve du Maroc, provient de la chaîne de montagnes du Moyen Atlas (à une altitude de 13.800 pieds). Son estuaire forme la limite entre la ville de Rabat (la capitale du Maroc) et celle de Salé. Un port de pêche et une marina est également situé sur ses rives. Ces activités portuaires associées aux activités industrielles et urbaines et aux rejets des eaux usées non traitées provenant de sources variées sont les potentielles sources de métaux lourds autour de cet estuaire. Les points d'échantillonnage ont été choisis en fonction des lieux des activités susceptibles d'être à l'origine d'une pollution à savoir la proximité des constructions, des déversoirs des conduites des eaux usées et de la zone industrielle. La zone d'échantillonnage s'étale sur environ 8 km vers l'amont depuis l'embouchure de l'Oued Bou Regreg. L'échantillonnage a été réalisé dans les sédiments boueux superficiels de l'estuaire à l'aide d'une pelle à main en plastique. La figure 1 montre l'emplacement des sites d'échantillonnage. Des échantillons de sédiments de surface ont été recueillis dans huit stations, à savoir : La plage de Salé (S1), la zone vulnérable s'étalant sur trois kilomètres en partant de l'embouchure à la marina tout en passant par le point de rejet de la ville de Salé et les nouvelles constructions sur la berge droite de Bou Regreg (S2, S3, S4 et S5), la zone industrielle de l'Oulja situé à six kilomètre de la plage (S6 et S7), et la région agricole située à huit kilomètre de la plage (S8).

Environ 1 kg de sédiments humide a été recueilli dans des sacs polyéthylène scellé sous vide et transportés au laboratoire à 4°C. Les sédiments sont séchés à 105°C pendant 48 h pour éliminer leur humidité. Après séchage, les sédiments ont été ventilés à l'air et tamisé [11]. La fraction inférieure à 63 mm a été utilisée pour la digestion à l'acide nitrique. Un gramme de sédiment est placé pendant 48h à température ambiante dans un bécher avec 20ml d'acide nitrique HNO₃ 65%. La solution est ensuite chauffée à 100°C pendant 2h. Avec 10 ml de HNO₃ à 65% additionné, la solution est portée à 150°C pendant 1h. La fraction réfractaire est éliminée par tamisage. Les éléments traces métalliques (Cu, Cd, Zn, Pb, Cr et Fe) sont analysés par spectrométrie d'émission atomique (plasma couplé par induction) (ICP-AES) dans le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique de Rabat (CNRST).

Dont le but d'avoir une idée sur la qualité des sédiments, des analyses complémentaires sont effectuées au laboratoire de Géoressource de la faculté des Sciences et Technique de Béni Mellal. Le pH et la conductivité électrique sont mesurés à l'aide d'un multimètre du type *Hanna*. La susceptibilité magnétique a été mesurée à l'aide d'un magnétomètre de type SM-20 qui possède une sensibilité de l'ordre 1.10⁻³SI, et opère avec une fréquence de 10KHz.

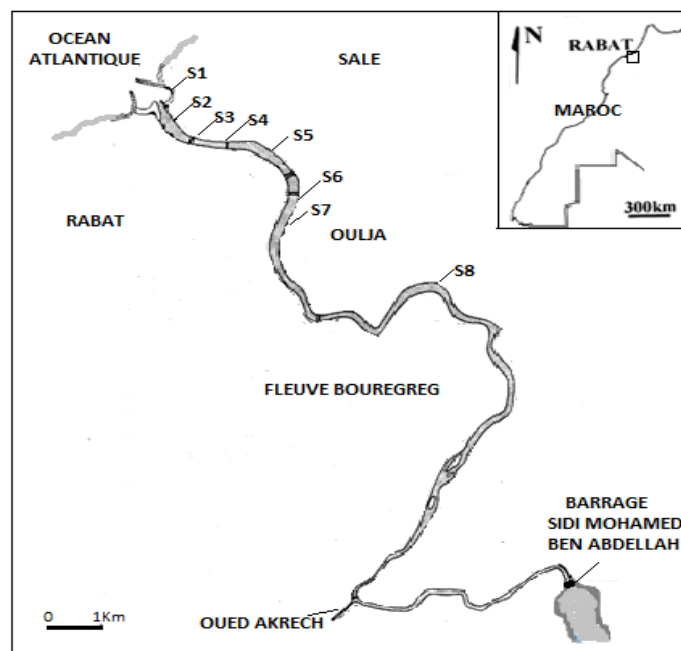


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvement dans l'estuaire de Bou Regreg

Le facteur de contamination (CF) a été utilisé pour exprimer le niveau de contamination par chaque métal dans les sédiments. Elle est exprimée en tant que:

$$FC = \frac{\text{Teneur en métal dans le sédiment}}{\text{Background du metal}}$$

Background du métal indique la concentration de métal (d'intérêt) dans les sédiments où il n'y avait pas d'apport d'origine anthropique. Faute de non disponibilité du fond géochimique dans le système estuarien de Bou Regreg, nous avons considéré l'échantillon de la station S8 en tant que représentant du fond géochimique pour les sédiments étudiés, compte tenu de sa localisation loin des majeurs effets anthropiques urbains et industriels. Les valeurs des FC ont été interprétés comme suggéré par Hakanson [18], où: $CF < 1$ indique une faible contamination; $1 < CF < 3$ est la contamination modérée; $3 < CF < 6$ est une contamination importante; et $CF > 6$ est très forte contamination.

L'évaluation du degré de contamination a été aussi réalisée en utilisant l'indice de charge de pollution (PLI). Ce dernier a été largement utilisé pour évaluer le niveau de contamination et de pollution dans les sédiments côtiers et estuariens. Une valeur PLI supérieur à 1 indique la détérioration progressive de la qualité de l'estuaire [19]. L'équation utilisée pour calculer PLI a été développé par Tomlinson et al. [19].

$$FC = C_{\text{metal}} / C_{\text{background}}$$

$$PLI = \sqrt[n]{FC_1 \times FC_2 \times FC_3 \times \dots \times FC_n}$$

où FC est le facteur de contamination, n le nombre d'éléments analysés, C_{metal} la concentration de l'élément dans l'échantillon de sédiment et $C_{\text{background}}$ est la valeur de fond géochimique de l'élément.

Les relations entre les éléments analysés ont été testées en utilisant le coefficient de Pearson avec une signification statistique fixé à $p < 0,05$.

3. Résultats et Discussion

Les résultats des paramètres mesurés dans les sédiments estuariens de Bou Regreg sont présentés par emplacement dans les figures 2 et 3.

Le pH des sédiments prélevés est légèrement basique ($7,77 < \text{pH} < 8,04$), avec une basicité plus importante pour les trois premières stations vue leur proximité à l'eau de mer, en général il s'agit d'un sol salin (Figure 2).

La conductivité électrique est très importante dans tous les échantillons analysés ($3430 < \text{CE} < 8590 \mu\text{S}/\text{cm}$). Elle n'est pas typique de la conductivité observée dans les sédiments des eaux douces ($100 < \text{CE} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$). Ces valeurs très élevées ne sont pas seulement en relation avec la salinité importante de l'estuaire à dominance maritime, mais la forte minéralisation est due aux rejets urbains et industriels bien exprimée dans la station S3 et les cinq dernières stations situées en aval.

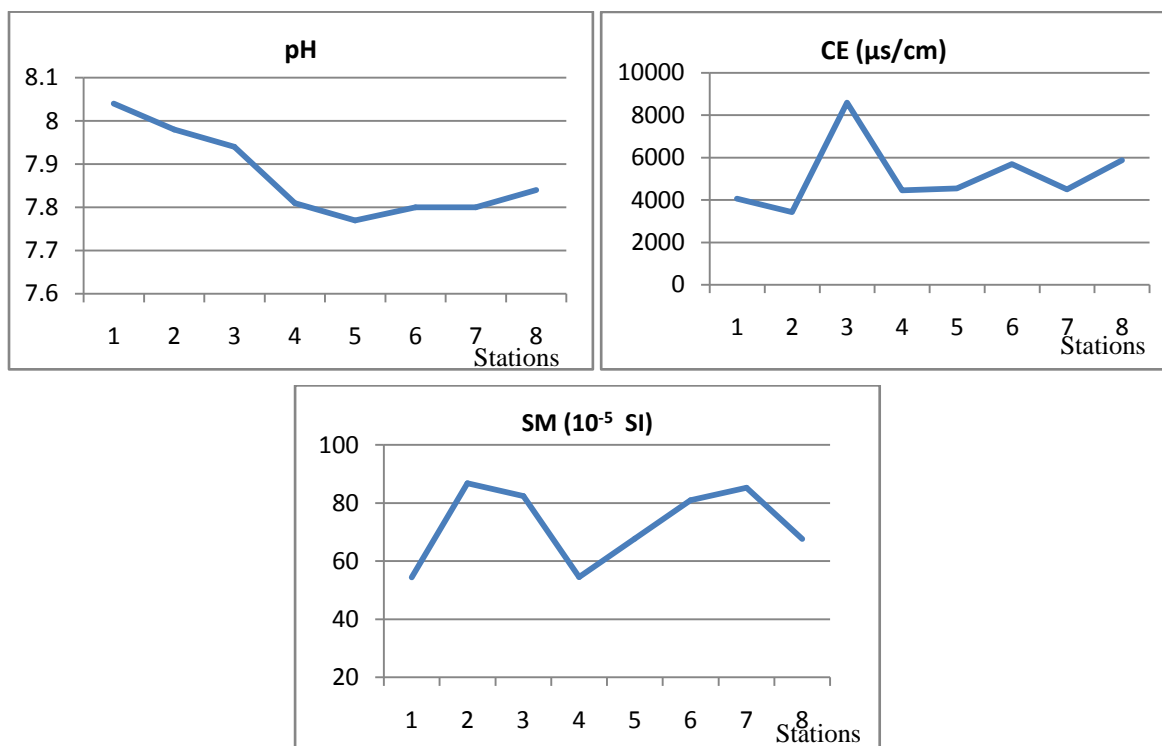


Figure 2 : Mesure du pH, de la conductivité électrique(CE) et de la susceptibilité magnétique (SM) des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg

La susceptibilité magnétique montre des valeurs sans grande variation. Elle oscille entre $54,4$ et $86,8 \times 10^{-5}$ SI. De nombreux travaux ont montré qu'il existe une relation étroite entre les polluants métalliques (Cd, Zn, Pb, Cu et Cr) et les phases minérales magnétiques dans les sols pollués par des activités anthropiques [20-21]. En effet les valeurs les plus élevées de la susceptibilité magnétique correspondent aux stations S2, S3 et S7 qui montrent des teneurs importantes en métaux lourds. Ces mesures permettraient donc de délimiter deux sources polluantes, l'une à proximité de l'embouchure l'autre est située dans la zone industrielle de l'Oulja.

Parmi les concentrations les plus élevées en référence aux sédiments non pollués (Figure 3), on note celle du Cd ($2,93$ - $3,81$ mg/kg) nettement supérieures à $0,11$ mg/kg. La valeur la plus élevée a été enregistrée dans la station S3 qui correspond au grand canal de déversement des eaux de ruissellement et des eaux usées de la ville de

Salé. On note pour cette station les teneurs les plus élevées pour tous les métaux dosés sauf Fe. Dans les autres stations les teneurs significatives en Cd témoignent d'une contamination généralisée due à l'utilisation d'engrais et à de l'industrie locale.

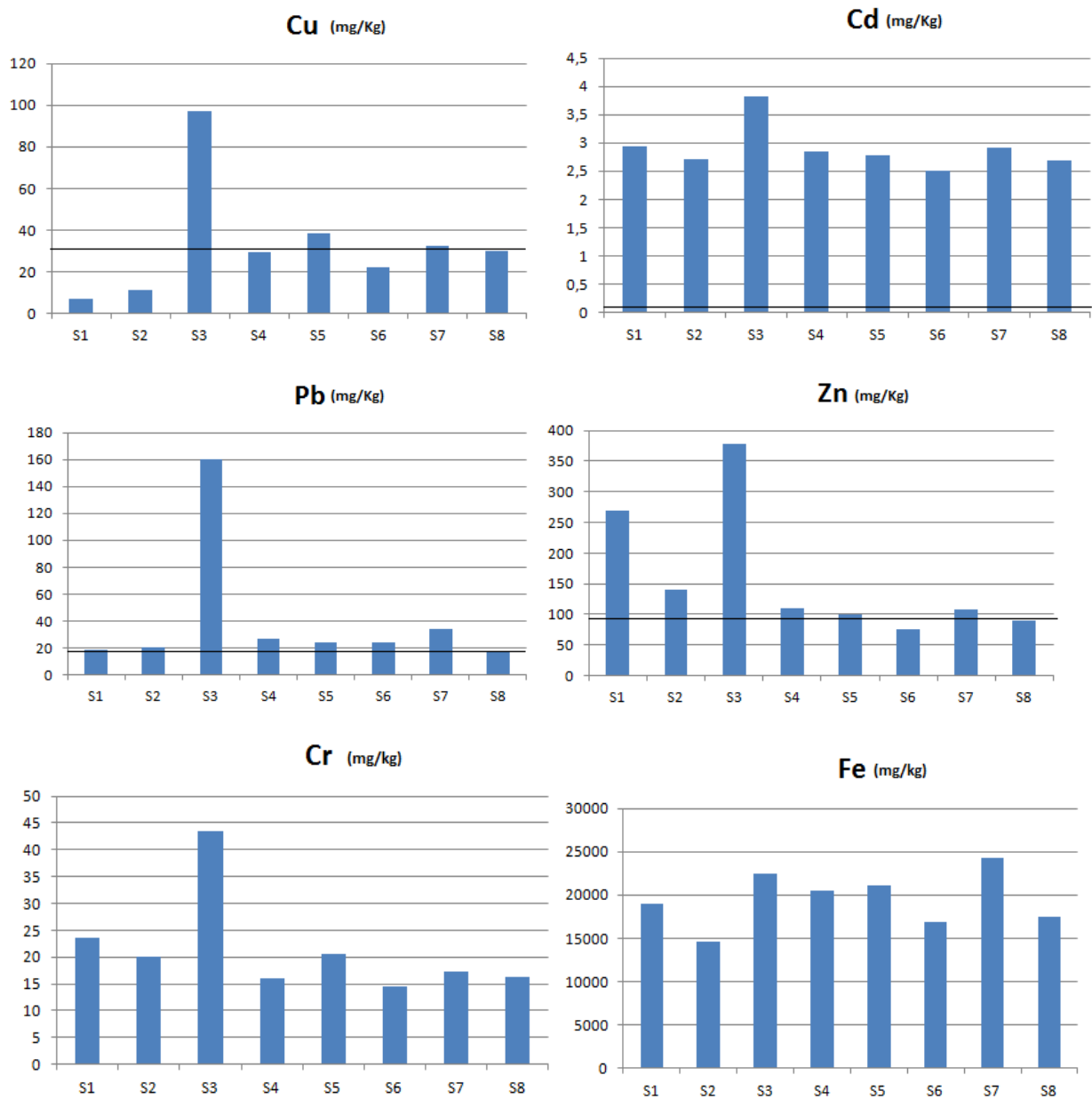


Figure 3 : Concentration en métaux lourds dans les sédiments de l'estuaire de Bou Regreg. La ligne horizontale est celle de sédiment non pollué (Salomon and Forestner, 1984)

Les teneurs en Zn relevées dans les sédiments de l'estuaire de Bou Regreg montrent une valeur maximale dans la station S3 (378,98 mg/kg) suivi de la station S1 (269,91 mg/kg) et la station S2 (140,33 mg/kg). Ces valeurs sont nettement supérieures à la valeur des sédiments non pollués (95 mg/kg). La corrélation positive entre le Zn et le Cd est souvent observée dans les rejets d'origine anthropiques [23].

La valeur la plus importante du plomb est enregistrée dans la station S3 (159,98 mg/kg) suivie de la station S7 (34,19 mg/kg) située dans la zone industrielle de la région de l'Oulja (Figure 1). Cette dernière station enregistre aussi la valeur la plus élevée en Fe (24270 mg/kg).

A l'amont de la station 7, les teneurs de tous les éléments semblent être proches des teneurs des sédiments non pollués sauf pour le Cd dont il faut chercher l'origine. Cette contamination par les éléments traces métalliques est étroitement liée aux résidus industriels, aux agglomérations urbaines et aux rejets des eaux usées des deux rives de l'estuaire.

La comparaison des concentrations en métaux lourds obtenues dans les échantillons de sédiments de l'estuaire de Bou Regreg, montre que les concentrations les plus importantes se trouvent dans les stations S3, S4, S5 et S7. Ces concentrations diminuent de plus en plus, par rapport aux précédentes, de S1, S8, S6 à S2. La distribution quantitative des concentrations en métaux dans les eaux de l'estuaire est de l'ordre suivant : Fe > Zn > Pb > Cu > Cr > Cd.

Les indices FC et PLI ont été utilisés pour l'évaluation environnementale des sédiments de zone d'étude. Il est nécessaire de comparer les teneurs des éléments métalliques (dans les sédiments estuariens) avec la teneur de la station 8 située en amont de la zone d'étude, considérée comme représentant de la teneur de référence préindustrielle des métaux lourds. Les résultats des FC et PLI sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : FC et PLI des sédiments des différentes stations étudiées.

Stations	FC						PLI
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe	
S1	1,09	1,45	0,23	1,12	3,00	1,09	1,05
S2	1,01	1,23	0,38	1,22	1,56	0,84	0,96
S3	1,41	2,67	3,28	9,64	4,21	1,29	2,94
S4	1,06	0,99	1,00	1,62	1,22	1,17	1,16
S5	1,03	1,25	1,30	1,45	1,11	1,21	1,22
S6	0,93	0,89	0,74	1,44	0,84	0,96	0,95
S7	1,08	1,06	1,09	2,06	1,21	1,39	1,27
S8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Les variations dans le CF des différents éléments dans les sédiments estuariens de Bou Regreg entre les différentes stations sont présentées dans le tableau 1. Les valeurs les plus élevées des FC pour l'ensemble des éléments métalliques analysés ont été enregistrées à la station S3, qui reçoit une quantité importante de décharge métallique à partir des eaux usées déversés du côté de Salé. Cette station montre une contamination modérée pour les éléments Cd, Cr, Fe, et une contamination considérable pour les éléments Cu, Pb, Zn. Les valeurs de FC inférieures à 1 correspondant à une contamination faible ont été observées dans la station 6 contamination, mis à part le FC du Pb. Concernant les autres stations, les valeurs FC de la plupart des éléments montrent des valeurs d'une contamination modérée à l'exception des FC de quelques éléments dans certaines stations (Tableau 1). Selon les valeurs totales des FC permet, l'ordre de classification des différentes stations en terme de contamination, est le suivant : S3 > S1 > S7 > S5 > S4 > S2 > S8 > S6.

Tableau 2 : Matrice de corrélation de Pearson des éléments métalliques dans les sédiments de l'estuaire de Bou Regreg

Eléments	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe
Cd	1					
Cr	0,953**	1				
Cu	0,863**	0,817*	1			
Pb	0,944**	0,931**	0,939**	1		
Zn	0,890**	0,932**	0,600	0,798*	1	
Fe	0,561	0,353	0,559	0,453	0,284	1

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

L'indice de charge de pollution (PLI) des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg ont été calculés afin de comprendre les changements dans le degré de contamination des sédiments dans les différentes stations. Des valeurs plus faibles de PLI (<1) impliquent pas d'effet anthropique appréciable. Toutefois, la valeur de PLI > 1 suggère une pollution anthropique [19]. Les valeurs calculées du PLI ont montré que les sédiments étudiés,

exceptés ceux des stations S2 et S6, étaient plus polluées par rapport au sédiment de la station de référence (S8) (Tableau 1). Ces valeurs de PLI qui ne dépassent 2,94, valeur du PLI de la station S3, indiquent l'intervention d'une pollution anthropique, et mettent en cause le déversement par ruissellement d'effluents urbains et industriels dans l'estuaire de Bou Regreg. Ces données de PLI, ont permis de classer les stations par l'ordre décroissant de pollution suivant : S3 > S7 > S5 > S4 > S1 > S8 > S2 > S6.

Afin d'établir des relations entre des métaux et de vérifier la similarité de la source des métaux dans les sédiments de l'estuaire de Bou Regreg, une matrice de corrélation a été réalisée. Selon les coefficients de corrélation de Pearson présentés dans le tableau 2, une corrélation positive significative existe entre éléments métalliques Cd, Cr, Cu, Pb et Zn. Cette claire et forte corrélation indique que ces éléments sont issus d'activités anthropiques à savoir les rejets urbains du côté de Salé et des rejets industrielle artisanale de l'Oulja, et se déplaçant aussi ensemble. Fe ne montre pas de corrélation significative avec les autres éléments analysés, ce qui indique que cet élément a une source lithologique.

Tableau 3 : Concentration en minéraux lourds des sédiments de différentes régions du Maroc (ppm)

Sites	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe	Références
Bou Regreg	2,90	21,49	33,48	128,05	196,69	19 517,50	Présente étude
Bou Regreg	-	21.87	24.960	44.087	57.639	20 599,14	[13]
Bou Regreg	0,02	39	21	17	61	1 200	[15]
Day	0,6 - 6,27	52,3 - 11,6	32,6 - 40,7	72,93 - 140,36	49,84 - 149,19	15 670 - 36 010	[24]
Bas Oum Rbia	0,08	20,7	80	0,4	178	3 730	[25]
Sebou	0,08 - 0,57	30 - 170	35 - 112	14 - 167	70 - 220	-	[26]
Martil	0,06 - 0,12	21,9 - 45,2	10,4 - 73,2		33 - 105	-	[27]
Loukkos	1,1	-	16,85	69,26	115,41	27 200	[28]
Sédiment non Pollué	0,11	-	33	19	95	41 000	[29]

Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments de Bou Regreg ont été comparés à celles d'autres sites marocains dont le but d'évaluer leur degré de contamination (Tableau 3). La comparaison avec les travaux antérieurs [13, 15] montre une augmentation de la pollution des sédiments en métaux lourds, cela coïncide avec l'extension urbaine et l'importance des travaux lancés sur les berges de l'estuaire depuis 2008. Les teneurs en ces éléments restent donc élevés et par conséquent l'estuaire de Bou Regreg compte parmi les sites les plus pollués au Maroc.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les sédiments de l'estuaire de Bou Regreg sont de type salin et présentent une conductivité électrique et une susceptibilité magnétique élevées. Ces fortes valeurs enregistrées sont en relation avec une forte minéralisation bien exprimée dans les différentes stations analysées. En effet la répartition spatiale des teneurs en métaux lourds révèle des taux élevés aussi bien en amont qu'en aval de l'estuaire. La contamination en Cd est généralisée et touche l'ensemble des stations (2,93-3,81 mg/kg). La station S1, S2 et S3 situées en aval présentent les taux les plus élevées en Cd, Zn, et Cr liés aux rejets des eaux usées, de l'industrie locale et aux résidus de constructions. Parmi les stations situées en amont, la station 7 présente les taux les plus importants en Cd, Pb, Cr et Fe. Les indices d'évaluation de la contamination métallique FC et PLI suggèrent que ces taux élevés en métaux lourds sont essentiellement d'origine anthropique. La corrélation positive significative observée entre élément métalliques Cd, Cr, Cu, Pb et Zn, confirme que ces métaux ont sont issus de sources similaires. Ces sources de pollution métallique sont en relation avec les travaux d'aménagement de la vallée de Bou Regreg et les rejets liquide de la rive gauche (côté de Salé) et de la zone industrielle artisanale de l'Oulja située à 6 km de l'embouchure. Les causes potentielles et les menaces de pollution dans l'estuaire sont multiples et sont en étroite relation avec l'intense activité humaine.

Références

1. Cook A., Andrew S.M., Johnson M.S., *Water Air Soil Poll.* 51 (1990) 43-54.
2. Deniseger J., Erickson J., Austin A., Roch M., Clark M.J.R., *Water Res.* 24 (1990) 403-416.
3. Sin S.N., Chua H., Lo W., Ng L.M., *Environ. Int.* 26 (2001) 297-301.
4. Buggy C.J., Tobin J. M., *Environ. Pollut.* 155 (2008) 308-319.
5. Griscom, S.B., Fisher, N.S., Luoma, S.N., *Sci. Technology* 34(2000) 91-99.
6. Cicero-Fernández D., Peña-Fernández M., Expósito-Camargo J.A., Antizar-Ladislao B., *Internat. J. Phytoremediation*, (2015), <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2015.1086306>.
7. Renjith K.R., Sudheesh V., Shaji A., George E., Mary Joseph M., Ratheesh Kumar C.S., Chandramohana kumar N., *Toxicol. Environ. Chem.*, (2015) 1-17, <http://dx.doi.org/10.1080/02772248.2015.1101108>.
8. Chakraborty P., Ramteke D., Chakraborty S., Nath B. N., *Marine Poll. Bull.*, 78 (2014) 15-25.
9. Zhang J., Gao X., *Marine poll. Bull.*, 98(2015) 320-327.
10. Yuan X., Zhang L., Li J., Wang C., Ji J., *Catena*, 119 (2014) 52-60.
11. Nath, B., Chaudhuri, P., & Birch, G., *Ecotox. Environ. Safety* 107 (2014) 284-290.
12. Diop C., Dewaelé D., Cazier F., Diouf A., Ouddane B., *Chemosphere* 138 (2015) 980-987.
13. Cherkaoui E., Nounah A. and Khamar M., *J. Environ. Sci. Eng.* B2(2013) 432-435.
14. Cheggour, M., *Thèse 3^{ème} cycle E.N.S., Rabat* (1988) 337p.
15. Tahiri, L., Bennasser L., Idrissi L., Fekhaoui M., El Abidi A., Mouradi A., *Water qual. Res. J. Canada* 40 (2005) 11-119.
16. Benmessaoud, F., *Thèse de doctorat d'état, Université Mohammed V-Agdal* (2007) 306p.
17. Laouina, A., In. *Camarda D. (ed.) , Grassini L. (ed.). Coastal zone management in the Mediterranean region. Bari: CIHEAM* (2002) 137- 142.
18. Hakanson L., *Water Res.* 14 (1980) 975-1001.
19. Tomlinson D.C., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffery D.W., *Helgol. Wiss. Meeresunters*, 33 (1980) 566-575.
20. Sobanska S., *Ph. D. Thesis, Université des Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq, France* (1999) 152p.
21. Petrovsky E., Kapicka A., Zapletal K., Jordanova N., Boruvka L., *J. Applied Geophys.* 48(2001) 127-136.
22. El Baghdadi M., Barakat A., Sajieddine M., Nadem S., *Envir. Earth Sci.* 66(2012) 141-155
23. Bovard, P., L. Foulquier, M. Pally 1978. Transfer du cadmium dans les eaux douces. B.I.S.T.
24. Barakat, A., El Baghdadi M., Rais J., Nadem S., *Res. J. Envir. Earth Sci.* 4(2012) 797-806.
25. Jadal L, El Yachiouia M., Bennasser L., Fekhaoui M., Foutlane A., *L'eau l'industrie les nuisances* 256(2002) 59-66.
26. Amri N., Benslimane M., Zaoui H., Hamdoune M., Outiti B., *M. J. Condensed Matter* 8(2007) 43-52.
27. Belloucci L.G., El Moumni B., Collavini F., Frignani M., Albertasi S., Heavy metals in Morocco Lagoon and river sediments. *J. Phys.* 107(2003) 139-142.
28. Elmorhit M., *Thèse de doctorat, Université Mohammed V-Agdal, Rabat* (2009) 232p.
29. Salomon W., Forestner V., *Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York-Tokyo* (1984) 333p.

(2015) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>