

Etude de contamination métallique au niveau du sédiment de l'Oued Martil: Impact de l'activité anthropique

[Study of metallic contamination of the sediment Oued Martil: Impact of the anthropological activity]

Z. Djebary Tahiri¹, A. Raissouni¹, M. Raissouni¹, A. EL Arrim¹, H. Er-raiou², and S. Bouzid²

¹Laboratoire d'Océanologie, Environnement et Risques Naturels, Département des Sciences de la Terre, FST de Tanger, BP 416, Tanger, Morocco

²Laboratoire de Biologie Appliquée et Sciences de l'Environnement, Département des Sciences de la Terre, FST de Tanger, BP 416, Tanger, Morocco

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: As many rivers crossing urban region in Morocco, Martil's river feeding the cities of Tetouan and Martil suffers from an organic and metallic pollution problem under the effect of a rising anthropological pressure. In fact the recent study has detected a surprising phenomenon of sediment enrichment exceeding 280 ppm for Cooper (1, 21 mg/l), 90 for Lead (0, 35 mg/l), and 3 ppm for Cadmium (0,016 mg/l) downstream. The present work objective is to examine the reality of this metallic pollution and to understand the nature of the polluting sources. The metallic elements analyses have been done in sediment with an appropriate technical means. Results interpretation has been used by indices of contamination: Factor of enrichment, to identify the metal origin enriching sediment. This work has shown that the municipal dump situated at the river shore has a moderate and located impact on sediment for: Cu, Pb, and Zn. On the rest of the zone of study no other impact by the Pb has been detected, but the result indicated the existence of a diffusing geogenic source, recording relatively elevated degrees of the seven metallic elements in comparison to the upstream of the river.

KEYWORDS: Martil, Sediment, The metallic elements, Factor of enrichment, Pollution.

RESUME: Comme beaucoup de cours d'eau traversant des régions urbanisées au Maroc, l'Oued Martil alimentant les villes de Tétouane et Martil souffre un problème de pollution organique et métallique sous l'effet de la pression anthropique croissante. Par ailleurs, l'étude récente a détecté un phénomène surprenant d'enrichissement des sédiments dépassant les 280 ppm (1,21 mg/l) pour le Cu, 90 (0,35 mg/l) ppm pour le plomb et 3 ppm (0,016 mg/l) pour le cas du Cadmium, à l'aval de l'Oued. Le présent travail a cherché à vérifier la réalité de cette pollution métallique et à comprendre la nature des sources polluantes. Des mesures d'éléments traces métalliques (ETM) ont été effectuées dans les sédiments au moyen de techniques propres. L'interprétation des résultats s'est appuyée sur le calcul d'indice de contamination Facteur d'enrichissement pour identifier l'origine des métaux traces ayant enrichi les sédiments. Ce travail a montré que la décharge municipale, située en bordure de la rivière, avait un impact modéré et localisé sur les sédiments pour Cu, Pb et Zn. Sur le reste de la zone d'étude, aucun autre impact par le Pb n'a été constaté, mais les résultats obtenus indiquent l'existence d'une source géogénique diffuse enregistrant des valeurs relativement élevées par rapport à l'amont du Oued enrichissant les sédiments superficiels avec les sept éléments métalliques étudiés à l'aval du cours d'eau.

MOTS-CLEFS: Martil, Sédiment, Eléments métalliques, Facteur d'enrichissement, Pollution.

1 INTRODUCTION

Fragile et vulnérable, le littoral marocain regorge des richesses écologiques et naturelles. Long de 3 500 km, il est en effet de plus en plus exposé aux risques de dégradation menaçant son équilibre. L'urbanisation et les rejets industriels et domestiques sont les éléments responsables de la détérioration de cet écosystème. Les zones côtières sont le lieu d'activités nécessitant des eaux de bonne qualité physico-chimique : usages récréatifs, aquaculture et pêche.

La région Tanger-Tétouan n'échappe pas à ce phénomène. Elle y est soumise à des degrés variables. Ainsi, les eaux domestiques et industrielles sont déversées directement dans les cours d'eau, sans aucun type de traitement, introduisant ainsi dans le milieu naturel ouvert des quantités importantes en micro-organismes et en micropolluants les plus redoutés dans l'environnement notamment les métaux lourds, ce qui provoque alors une dégradation de l'écosystème.

Les sédiments sont capables de conserver l'empreinte d'une pollution jusqu'à modification des conditions du milieu pouvant conduire à une éventuelle remobilisation des métaux associés aux sédiments, et présenter ainsi des risques majeurs pour les écosystèmes [1; 2]. Par conséquent, on peut les considérer comme la mémoire d'une pollution continue ou intermittente.

Au Maroc, peu de chercheurs se sont intéressés par la caractérisation métallique des rejets et leur impact sur les milieux récepteurs. Le présent travail vise à évaluer le degré de contamination de milieu récepteur (Oued MARTIL), à travers une étude spatio-temporelle des teneurs des métaux : Cuivre, Zinc, Plomb, Fer, nickel, cadmium et le manganèse dans les sédiments, et de mettre en évidence le risque sanitaire des effluents industriels sur la qualité des eaux de l'Oued Martil (milieu récepteur).

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'Oued objet d'étude est l'Oued de Martil, allant de l'est de Tétouan jusqu'à Martil avec un bassin versant de 1220 km² et un débit moyen annuel de 14,7 m³ / s, l'Oued Martil est compté parmi les plus importants réseaux hydrographiques du versant méditerranéen du Rif. Né dans le massif de Beni-Lait, l'Oued Martil prend sa source dans des formations marno calcaires à 1000 m d'altitude. Il se subdivise en un tronçon supérieur à pente raide qui traverse la dorsale calcaire et un autre à pente faible qui longe la ville de Tétouan, pour se jeter finalement dans la mer Méditerranée au niveau de la ville de Martil. D'après la classification des climats du Maroc, le littoral méditerranéen occidental se situe dans l'étage bioclimatique humide à sub humide [3], avec un été sec et chaud. Cette sécheresse estivale suffisamment prononcée a été estimée, soit par le critère [4] $PE/M < 5$ (PE =précipitations estivales et M = moyenne des maxima du mois le plus chaud), soit par celui de [5], $P < 2T$ (P = précipitations moyennes mensuelles et T = températures moyennes mensuelles). L'influence de la mer méditerranéenne et l'océan atlantique se traduit par une douceur de climat ; hiver doux et été rafraîchi (température moyenne maximale 25 °C, température moyenne minimale 10 °C).

2.2 ECHANTILLONNAGE ET PRÉLÈVEMENTS

Des échantillons de sédiments ont été prélevés en 2 campagnes, en période hivernal Janvier et aout 2011 pour l'époque estivale. Ces échantillons ont été prélevés dans les mêmes points pour les deux campagnes de prélèvements afin de suivre l'évolution des teneurs en métaux. Les positions des stations de prélèvements ont été déterminées à l'aide d'un GPS (tab 1) et le cour d'eau a fait l'objet de plusieurs prélèvements dans des zones à sédimentations calmes et riches en matériaux fins et en dépôts organiques (fig. 1).

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques des stations de prélèvements

	ALTITUDE	LONGITUDE	LATITUDE
MC1	176,32	W005°30'56,178	N35°30'1,135
MC2	7,66	W005°28'05,226	N35°33'13,788
MK1	115,9	W005°30'3,720	N35°41'18,529
MK2	4,14	W005°28'40,033	N35°34'48,919
MH1	182,17	W005°29'24,000	N35°23'27,732
MH2	4,3	W005°25'46,260	N35°32'48,582
MM1	7,32	W005°24'45,636	N35°33'38,190
MM2	-0,12	W005°20'25,434	N35°34'22,418
MM3	-0,57	W005°16'38,196	N35°36'28,455

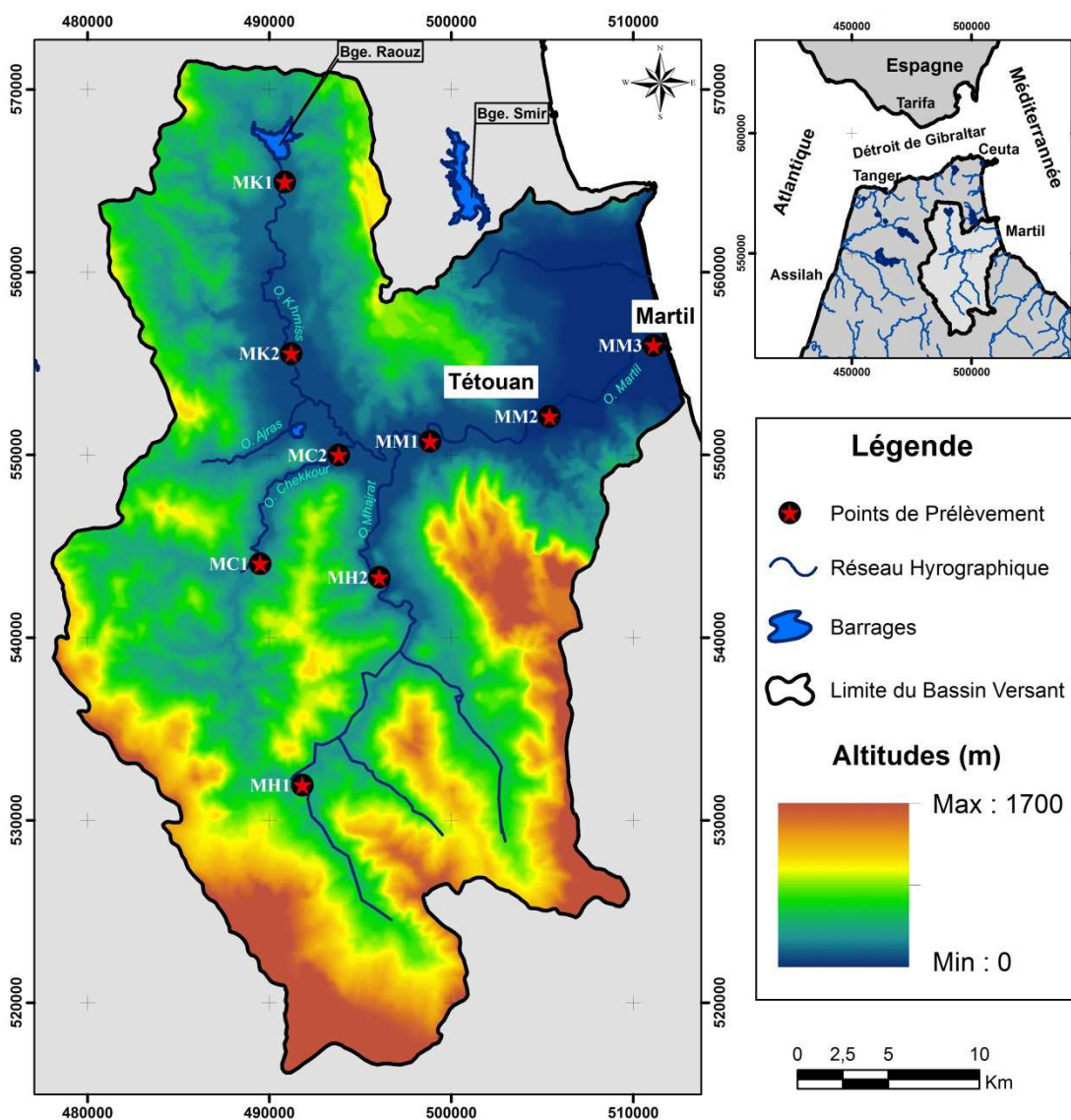


Fig. 1. Carte de prélèvement du sédiment Oued Martil

L'échantillonnage des sédiments a été effectué au moyen d'une pelle, sur une profondeur variant entre 20 et 30 centimètres. Les sédiments collectés ont été placés immédiatement dans une glacière, pour limiter les réactions de dégradations photochimiques, thermiques et bactériennes de la matière organique.

Dès leur arrivée au laboratoire, les sédiments sont immédiatement stockés dans la chambre froide à +4 °C, à l'obscurité, à fin d'empêcher toute évolution des échantillons par l'activité biologique des micro-organismes. Après séchage à l'étuve à 70 °C (jusqu'à déshydratation totale), un tamisage a été effectué (3 mm de mailles) pour éliminer les débris végétaux et les éléments très grossiers.

Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments dépendent fortement des caractéristiques granulométriques. [6], ont montré que la distribution des métaux dans les sédiments dépend du contenu en sables, en silts et en argiles. Dans d'autres études réalisées par [7], sur la distribution des métaux dans les sédiments de la rivière de Orogodo (Nigeria), il a été cité que la concentration en Zinc est proportionnelle à la fraction des argiles dans le sédiment. Donc on a estimé la concentration des métaux lourds dans la totalité de sédiment par l'utilisation de la fraction fine < à 63 µm. De ce fait on a procédé à réaliser un tamisage humide des échantillons à 63 µm, l'opération consiste à faire passer l'échantillon par le tamis sous un jet d'eau suffisant, la fraction fine est alors séparée de la fraction grossière puis, après décantation, on élimine l'eau et on transfère la phase solide vers l'étuve à 40°C. Finalement l'échantillon sec est broyé à l'aide d'un mortier agate et conservé dans des sachets de plastiques jusqu'à l'analyse.

Les mesures de métaux par ICP-AES, nécessitent des échantillons liquides à cause de l'existence d'un capillaire amenant l'échantillon au nébuliseur. Il faut donc traiter les échantillons de manière à les passer sous forme liquide et rendre alors leurs analyses possibles. [8].

Le protocole suivi pour la digestion des sédiments par le moyen de l'étuve conventionnel est illustré dans la figure ci-dessous. À 0.2 g de sédiment sec (fraction fine préalablement broyé), introduite dans un récipient de téflon, on ajoute 4 ml d'acide nitrique concentré et 1 ml d'acide fluorhydrique concentré. Le réacteur fermé est porté à 105 °C dans une étuve pendant 24 heures. (fig.1). Après le chauffage, le contenu filtré, est transféré dans un matras et jaugé avec l'eau distillée à 50 ml. Les dissolutions sont gardées dans des flacons de polyéthylène à 4°C jusqu'à leur analyse.

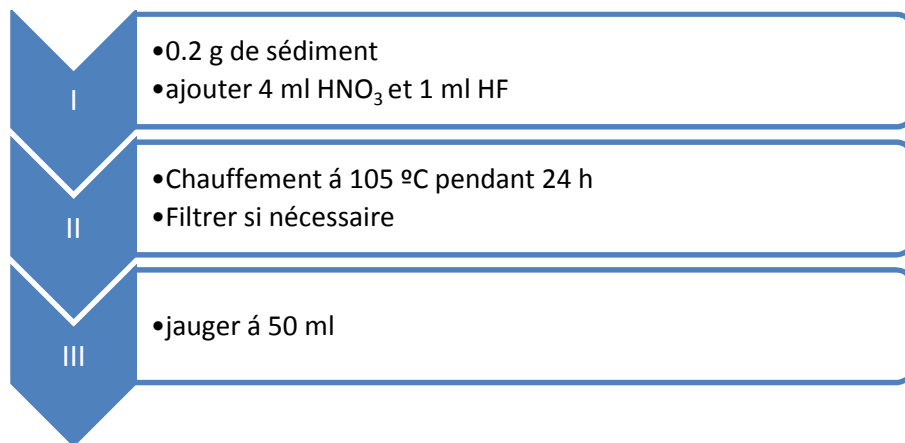


Fig. 2. Digestion des échantillons de sédiments par l'étuve.

Pour la mesure des concentrations en métaux traces dans les sédiments superficiels des cours d'eau, les solutions obtenues après digestion ou extraction séquentielle ont été analysées par ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy). Le choix des méthodes d'analyses s'est porté sur cette technique car l'ICP-AES présente l'avantage d'être une technique rapide multi élémentaire dont nous disposons rapidement.

Les mesures en ICP-AES ont été faites à l'UATRS (unité d'appui technique à la recherche scientifique) du CNRST (centre national des recherches scientifiques et techniques à Rabat).

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 GRANULOMÉTRIE

Dans les échantillons analysés, les teneurs de la fraction fine (<63 µm) varient généralement entre 7% et 93 %. Une évolution anormale de la distribution de la fraction fine est observée pour le sédiment de l'Oued Martil, des pourcentages relativement élevés de la fraction fine sont remarqués notamment pour les stations MH2 et MM3.

Tableau 2 : Teneurs des fractions argileuses et grossières des sédiments de l'Oued Martil

Echantillons	% Fraction fine	% Fraction grossière
MC1	7,05%	92,95%
MC2	25,92%	74,08%
MK1	30,70%	69,30%
MK2	26,72%	73,28%
MH1	50,31%	49,69%
MH2	93,98%	6,02%
MM1	61,75%	38,25%
MM2	65,10%	34,90%
MM3	82,26%	17,74%

L'étude granulométrique montre :

Un dépôt par des courants irréguliers;

Un sédiment déposé après un faible parcours et qui n'est pas encore trié;

Un mélange de sédiments de diverses provenances.

La comparaison entre l'étude granulométrique dans les sédiments superficiels entre l'amont et l'aval, indique l'existence d'un apport de matières fines récentes, ceci ne peut être attribué qu'aux activités humaines influencées par les régimes fluvial et éolien.

3.2 TENEURS EN MÉTAUX

En comparant les résultats (tab 3) obtenus dans les différents sites de prélèvement pour le sédiment d'Oued Martil, on note que les teneurs les plus élevés sont enregistrés au niveau des points MM1, MM2 et MM3 situés au centre d'agglomération urbaine à la sortie de la décharge municipale MM1, à proximité de la zone industrielle MM2 et à l'aval du cours d'eau MM3, la distribution de la teneur des métaux est presque semblable pour le Fe, Pb, Cd et le Cu, et à un degré moins pour Zn, Ni et le Mn. Les valeurs les plus fortes sont enregistrées à partir du point MM1 situé à la sortie de la décharge municipale de Tétouan.

Ces résultats indiquent un enrichissement assez considérable pour le Fer enregistrant une valeur de 148 mg/l qui continue à augmenter en traversant la zone industrielle de Kouilma et la ville de Martil enregistrant un maximum de 173 mg/l à l'aval de l'Oued, cette même tendance est observée pour le plomb, cadmium, qui représentent parfois le triple des valeurs enregistrées à l'amont de l'Oued, pour le cas du cuivre les résultats sont très surprenants puisque ces valeurs dépassent largement d'autres études réalisées dans d'autres estuaires marocains [9, 10]. Pour les autres éléments une distribution assez irrégulière et peu significative est remarquée, des valeurs très faibles sont enregistrées prouvant un appauvrissement de ces éléments dans le sédiment de ce cours d'eau. On peut attribuer les concentrations obtenues à la nature des terrains traversés, l'évolution dans le temps est peu significative pour les sept éléments étudiés puisque on note que les résultats obtenus ont presque les mêmes valeurs.

Tableau 3 : Teneur en métaux au niveau du Sédiment Oued Martil. 2011 en mg/l

Echantillons	Campagne	Fer	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn
MC1	juin-11	84,844	0,101	0,008	0,354	0,397	0,072	0,168
	janv-11	83,996	0,094	0,008	0,351	0,441	0,071	0,188
MC2	juin-11	102,664	0,148	0,004	0,366	0,469	0,103	0,223
	janv-11	79,051	0,125	0,004	0,410	0,46	0,102	0,225
MK 1	juin-11	89,204	0,117	0,005	0,218	0,437	0,052	0,205
	janv-11	99,908	0,115	0,005	0,192	0,459	0,057	0,201
MK2 (Aval)	juin-11	147,992	0,180	0,006	0,408	0,492	0,105	0,257
	janv-11	149,472	0,183	0,006	0,510	0,587	0,116	0,156
MH1	juin-11	95,940	0,110	0,007	0,386	0,449	0,080	0,134
	janv-11	71,955	0,097	0,007	0,284	0,94	0,100	0,133
MH 2 (Aval)	juin-11	89,640	0,121	0,005	0,266	0,652	0,119	0,166
	janv-11	88,744	0,119	0,005	0,247	0,522	0,131	0,164
MM 1 (Amont)	juin-11	148,900	0,281	0,012	0,369	0,85	0,173	0,285
	janv-11	131,032	0,239	0,012	0,464	0,62	0,190	0,279
MM 2	juin-11	160,888	0,357	0,010	0,596	0,88	0,141	0,245
	janv-11	157,670	0,364	0,010	0,445	0,96	0,135	0,242
MM 3 (Aval)	juin-11	173,280	0,353	0,014	0,513	1,012	0,125	0,281
	janv-11	169,814	0,346	0,016	0,512	1,121	0,098	0,247

3.3 FACTEUR D'ENRICHISSEMENT

Le facteur d'enrichissement (FE) permet d'évaluer l'intensité d'une pollution métallique en séparant le signal anthropique du signal naturel. Le calcul de cet indicateur ne peut se définir que par rapport au fond géochimique naturel, correspondant aux teneurs métalliques pré anthropique [11, 12; 13; 14]. Certains auteurs utilisent les concentrations de la croûte (UCC) continentale comme fond géochimique naturel [15 ; 16; 17]. Cependant, les différences entre les teneurs de la croûte terrestre et la composition chimique des roches mères locales peuvent conduire à des conclusions erronées [18 ; 14]. La définition du fond géochimique local peut pallier à ce problème en tenant compte des particularités géochimiques et minéralogiques de la roche mère locale. Ainsi, les concentrations de fond de Pb, Cu, Mn, Zn, Cd, Ni et Fe dans le schiste argileux moyen obtenu de [19] sont utilisées dans cette étude. Parallèlement, la normalisation des teneurs en métaux par la concentration d'un élément conservatif est une étape nécessaire dans le calcul du facteur d'enrichissement. Elle permet de corriger l'effet des variations de la composition minéralogique et granulométrique des sédiments sur la distribution du contaminant. Plusieurs éléments conservatifs sont envisageables: Al [20 ; 21 ; 22], Li [20], Cs [23; 24], Sc [25; 26], Fe [27; 28], MO [29], Th [30], Fe [31].

Dans le cas de cette étude, la normalisation a été réalisée avec le Fe puisqu'il est un constituant majeur des minéraux argileux et un bon traceur de la fraction fine.

Ainsi, le facteur d'enrichissement (FE) d'un élément trace métallique est calculé selon la formule suivante :

$$EF = ((Me/Fe) \text{ sample}) / ((Me/Fe) \text{ average shale value}).$$

Les résultats (tab 4) montrent que les valeurs les plus faibles du FE ($FE < 2$) sont obtenues pour les éléments Zn, Ni et Mn indiquant ainsi une absence de contamination anthropique par ces éléments, les valeurs de FE indiquent une contamination modérée pour le Pb, la tendance avec l'espace souligne une augmentation de la pollution métallique par cet élément en allant de l'amont vers l'aval. Un enrichissement significatif par rapport au fond géochimique local est enregistré pour le Cd et Cu, caractérisé par des valeurs surprenantes de Cu qui atteignent la valeur de 6,52 à l'aval de l'Oued.

Tableau 4 : Valeurs obtenues du FE pour le sédiment de surface de l'Oued de Martil.

Echantillon	[Fe] mg/Kg	Fe (%)	[Pb]	[Cd]	[Zn]	[Cu]	[Ni]	[Mn]
MC1	21105	2,1105	2,726	14,910	1,113	5,206	0,588	0,117
MC2	22714,375	2,2714375	3,546	6,927	1,139	5,362	0,783	0,137
MK1	23639	2,3639	2,895	8,320	0,578	4,970	0,400	0,119
MK2	37183	3,7183	2,880	6,347	0,823	3,805	0,516	0,077
MH1	20986,8	2,0986	2,910	13,119	1,064	8,677	0,744	0,088
MH2	22298	2,2298	3,175	8,820	0,767	6,903	0,973	0,103
MM1	34991,5	3,4991	4,384	13,489	0,794	5,508	0,900	0,112
MM2	39819,7	3,98197	5,341	9,878	0,871	6,058	0,601	0,085
MM3	42886,7	4,28867	4,808	13,757	0,797	6,521	0,451	0,085
Echelle d'intensité de pollution en fonction des intervalles de valeurs du Facteur d'enrichissement FE (Sutherland, 2000)								
	FE ≤ 2		Enrichissement anthropique inexistant ou faible					
	2 < FE < 5		Enrichissement modéré					
	5 < FE < 20		Enrichissement significatif					

4 CONCLUSION

En conclusion, les résultats obtenus dans ce travail montrent clairement l'impact des rejets des villes de Tétouan et Martil sur les sédiments de l'Oued Martil, ces résultats sont supérieures à ceux mesurées au niveau du sédiment de Saidia [32], et celui de l'estuaire du fleuve Comoé Grand-Bassam Sud-Est de la Côte d'Ivoire [33]. L'analyse des données géochimiques met en évidence la présence d'une association métallique (Pb, Cu et Cd) d'origine anthropique, Les fortes concentrations le long de l'Oued étudié sont situées à la proximité immédiate des différentes unités industrielles, et au niveau des stations à fort taux de matière organique (décharge publique de Tétouan), où elle joue un rôle prépondérant dans l'accumulation des métaux. Ces données sont comparées par une étude de facteur d'enrichissement prouvant la nature anthropique des métaux étudiés dans le sédiment du cours d'eau, indiquant la zone d'étude comme une zone de double influence naturelle et anthropique (déchets liquides et / ou solides industriels et domestiques). Sur le plan Eco-social ces données peuvent servir comme étant un paramètre essentiel concernant l'aménagement de la zone pour une meilleure gestion environnementale au bénéfice du développement de la zone. Par ailleurs la nécessité d'implanter une station d'épuration des différents rejets reste une priorité absolue pour améliorer la qualité des eaux et par la suite de contribuer à améliorer l'environnement marin du littoral méditerranéen.

REFERENCES

- [1] Jouanneau, J.-M., Latouche, C., 1981. The Gironde Estuary. In: Fürchtbauer, H., Lisitzyn, A.P., Millerman, J.D., Seibold, E. (Eds.), 1981. Contribution to Sedimentology, vol. 10. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 1e115.
- [2] Tanner CC & Clayton JS (1990) Persistence of arsenic 24 years after sodium arsenite herbicide application to Lake Rotoroa, Hamilton, New Zealand. N Z J Mar Freshw Res, 24: 173-179.
- [3] COMBE M.; FERRE M. et THAUVIN J.P., (1975) -Ressources en eau du Maroc, plaines et bassins du Maroc atlantique. Not.Mem.Ser.2éd. Maroc, 231, 2, p.144-171.
- [4] EMBERGER L. (1955). Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot? Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier, Série Bot.; 7 : 3 – 43p.
- [5] BAGNOULS-GAUSSSEN (1953). Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Toulouse ; 88 (3 – 4) : 193 – 239.
- [6] Förstner, U., Ahlf, W., Calmano, W., 1989. Studies on the transfer of heavy metals between sedimentary phases with a multi-chamber device: combined effects of salinity and redox variation. Marine Chemistry 28, 145-158.
- [7] Puyate YT, Rim-Rukeh A, Awatefe SI (2007). Metal pollution assessment and particle size distribution of bottom sediment of Orogodo River, Agbor, Delta State, Nigeria. J. Appl. Sci. Res., 3(12):2056-2061.
- [8] Alvarez, E.A., Callejon Mochon M., Jimenz Sanchez J.C., Ternero Rodriguez M., 2002. Heavy metal extractable forms in sludge from wastewater treatment plants, Chemosphere, 47: 765-775.
- [9] Morhit M., Fekhaoui M., Serghini M., Blidi S., Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A., Jbilou M., Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc) Bulletin de l'Institut Scientifique 30 (2008) 39-47.
- [10] Morhit M., Fekhaoui M., Abidi A., Yahyaoui A., Hamdani A., Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc), Déchets Sciences Techniques. 61 (2012) 8-17.

- [11] Trefrey, J.H., Presley, B.J., 1976. Heavy metals in sediments from San Antonio Bay and the northwest Gulf of Mexico. *Environmental Geology* 1, 282–294.
- [12] Alexander, C., Smith, R., Calder, F., Schropp, S., Windom, H., 1993. The historical record of metal enrichment in two Florida estuaries. *Estuaries* 16, 627–637.
- [13] Sutherland, R. A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology* 39 611–627.
- [14] Mil-Homens, M., Stevens, R. L., Abrantes, F., Cato, I., 2006. Heavy metal assessment for surface sediments from three areas of the Portuguese continental shelf. *Continental Shelf Research* 26, 1184– 1205.
- [15] Hofmann, A.W., 1988. Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust. *Earth and Science Letters* 90, 297-314.
- [16] Soto-Jiménez M. F., Páez-Osuna F., 2001. Distribution and normalization of Heavy metal Sotoconcentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53, 259-274.
- [17] Pekey, H., 2006. Heavy metal pollution assessment in sediments of the Izmit Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 123, 219–231.
- [18] Reimann C., De Caritat P., 2005. Distinguish between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment* 337, 91-107.
- [19] Turekian, K.K., 1978. Cobalt. - Dans: Wedepohl, K.H. (éd.). *Handbook of geochemistry*, vol. II-3, Springer- Verlag, Berlin, 27-B-1 à 27-O-1.
- [20] Loring, D. H., 1990. Lithium-a new approach for the granulometrical normalization of trace metal data. *Marine Chemistry* 29, 156-168.
- [21] Aloupi, M., Angelidis, M.O., 2001. Normalization to lithium for the assessment of metal contamination in coastal sediment cores from the Aegean Sea, Greece. *Marine Environment Research* 52, 1–12.
- [22] Tessier, E., Garnier, C., Mullot, J. U., Lenoble, V., Arnaud, M., Raynaud, M., Mounier, S., 2011. Study of the spatial and historical distribution of sediment inorganic contamination in the Toulon bay (France). *Marine Pollution Bulletin* 62, 2075–2086.23.
- [23] Ackerman, F., 1980. A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analyses of estuarine and coastal sediments. *Environmental Technology Letters* 1, 518-527.
- [24] Roussiez, V., Ludwig, W., Probst, J.L., Monaco, A., 2005. Background levels of heavy metals in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): an approach based on 133Cs normalization and lead isotope measurements. *Environmental Pollution* 138, 167–77.
- [25] Shumilin, E-N., Carriquiry, J-D., Camacho-Ibar, V-F., Sapozhnikov, D., Kalmykov, S., Sanchez et al., 2002. Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River delta and Upper Gulf of California. *Marine Chemistry* 79, 113-131.
- [26] Hernandez, L., Probst, A., Probst, J.L., Ulrich, E., 2003. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. *Science of the Total Environment* 312, 195–219.
- [27] Schiff, K.C., Weisberg S.B., 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Marine Environment Research* 48, 161–76.
- [28] Boszke, L., Sobczynski, T., Glosinska, G., Kowalski, A., Siepak, J., 2004. Distribution of mercury and other heavy metals in bottom sediments of the Middle Odra River (Germany/Poland). *Polish Journal of Environmental Studies* 13, 495–502.
- [29] Hissler, C., Probst, J.L., 2005. Impact of mercury atmospheric deposition on soils and streams in a mountainous catchment (Vosges, France) polluted by chlor-alkali industrial activity: the important trapping role of the organic matter. *Science of the Total Environment* 361, 1–3.
- [30] Larrose, A., Coynel, A., Schäfer, J., Blanc, G., Massé, L., Maneux, E., 2010. Assessing the current state of the Gironde Estuary by mapping priority contaminant distribution and risk potential in surface sediment. *Applied Geochemistry* 25, 1912–1923.
- [31] Barkai O., Nga L. E., Ondo A. D. B., Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun *Afrique Science*. 10 (2) (2014) 184-198.
- [32] 32. Fahssi A., Chafi A., contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et les organismes aquatiques du littoral de saidia (maroc oriental), *European Scientific Journal*. 11 (2015) 334-360.
- [33] 33. Keiba N. K., Siaka B. B., Gbombélé S., Nagnin S., Bernard S. M., Biemi J., 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* Volume 61: 4530 - 4539. (2013).