

Evaluation de la contamination métallique des sédiments et des eaux superficielles du littoral Nord-Ouest du Maroc

Assessment of metal contamination of the sediments and superficial waters in the northwest coast of Morocco

Mohammed BLINDA¹, Abdelkbir BELLAOUCHOU², Mohamed FEKHAOUI³,
Sayf Elislam Barcha⁴ & Mohamed EL MORHIT^{5*}

1,2,4. Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Département de Chimie, Av. Ibn Batouta, Rabat. Maroc.

3,5. Université Mohammed V, Institut Scientifique, Département de Zoologie et Ecologie animale, Av. Ibn Batouta, B.P. 703 Agdal, Rabat, Maroc. * (morhit_med@yahoo.fr).

Résumé. L'étude réalisée sur la caractérisation des eaux résiduaires des agglomérations de la zone située entre Tanger et Tétouan, à travers le suivi spatial de plusieurs paramètres métalliques (Pb, Zn, Cu, Ni, Cd et Cr) a permis de dégager le degré de contamination métallique dans la zone d'étude. L'ensemble des analyses métalliques effectuées sur les eaux de surface au niveau des stations d'étude, révèle d'une manière globale, l'absence d'une contamination métallique. Par contre, dans les sédiments superficiels, on note une présence importante du Pb et du Ni et à moindre degré du Zn et du Cr.

En somme, la zone d'étude est sous les effets conjugués d'influences à la fois naturelle (continentale et marine) et anthropique. Les résultats et les observations recueillis permettront une meilleure gestion de la protection de l'environnement marin côtier, au bénéfice du développement de diverses activités riveraines, notamment la pêche, le tourisme, la baignade et les sports nautiques. Par ailleurs, la nécessité d'une gestion durable des eaux usées (implantation de stations d'épuration, prétraitement des eaux industrielles, sensibilisation) dans la zone d'étude s'avère d'une importance majeure et immédiate afin d'améliorer la qualité des eaux et de contribuer à l'amélioration de l'état de l'environnement marin côtier.

Mots-clés : Eau de surface, contamination métallique, qualité des eaux, sédiments, métaux lourds.

Abstract. The study on the characterization of the waste water from the settlements of the area between Tangiers and Tetouan, through spatial monitoring of several metal parameters (Pb, Zn, Cu, Ni, Cd and Cr) revealed the degree of contamination of streams in the study area. All metal analyses performed on surface waters at the study stations, reveal in a comprehensive manner, the absence of metal contamination. However in surface sediments, we note an important presence of Pb and Ni and a lesser extent of Zn and Cr.

As a matter of fact, the zone of study is under the combined effects of influences at the same moment natural (continental and navy) and anthropogenic. These data will enable a better management of the protection of the coastal marine environment, for the benefit of the development of various riparian activities, including fishing, tourism and swimming. Furthermore, the need for sustainable management of waste water (introduction of sewage, industrial waste water pretreatment and awareness) in the study area is of major and immediate importance to improve the water quality and contribute to the improvement of the status of the coastal marine environment.

Keywords: Surface water, metallic contamination, water quality, sediments, heavy metals.

Abridged English version

Introduction

The industrialization and the economic development of the coastal zones and more particularly the region situated between Tangier and Tétouan is for the origin of a contribution of element draw in coastal waters, through the carriage by the courses of waters and estuaries.

Objectives

Evaluate the degree of contamination of superficial waters and sediments by toxic heavy metals; lead (shot) (Pb), zinc (Zn), the copper (Cu), the nickel (Nor), the cadmium (Cd) and the chromium (Cr).

Samples of surface water are placed in polyethylene bottles specially washed for trace metal analysis. Then, they are set by the 2% nitric acid. The assay of the sample was performed by atomic absorption spectrophotometry (AAS), flame and furnace. To reduce interference, we used a solution of lanthanum chloride in air-acetylene flame. The concentration of each element is determined directly by means of a calibration curve. 120 samples of surface

sediments were collected during the period March to December 1997 to 2002 (20 seasons), at five stations (S1, S2, S3, S4 and S5) distributed along these rivers. Oven-dried for 48 hours at 80 °C and sieved through a sieve with mesh of less than 100 µm. 0.3 g of these mineralized sediments were placed at 120 °C for 4 hours in the presence of 4 ml of hydrofluoric acid and 2 ml of a mixture of hydrochloric acid and nitric acid.

Results

According to the analysis and the follow-up of the considered ETM (Pb, Zn, Cu, Neither, Cd and Cr), we note the absence of contamination of waters of surface on the other hand an important presence of Pb and Nor and in a lesser measure of Zn and Cr in sediments

Conclusion

The present study put in evidence the presence of toxic heavy looked for metals Pb and Nor and in degree less Zn and Cr in superficial sediments of the studied area. Concerning superficial waters, contents of the ETM analyzed in the various studied stations do not present

contamination. This situation can be explained only by the haste, the trapping, and accumulation of these elements in superficial sediments. The absence, in the quasi-totality of

the cases, the preliminary treatment of the industrial refusals could be largely responsible for the contamination of sediments via transported waters rich in heavy metals.

INTRODUCTION

Avec l'industrialisation rapide et le développement économique des régions côtières, les métaux lourds continuent d'être introduits aux estuaires des zones côtières, dans les rivières et les cours d'eau (Zhang *et al.* 2007).

Les cours d'eau de notre pays doivent être dans un état tel que les organismes puissent y vivre, se développer et se reproduire sans entraves. Pour atteindre ce but, il est essentiel que les apports de polluants vers les eaux soient réduits, voir évités, quelle que soit leur origine : ménagère, artisanale, industrielle, agricole ou autre encore (www.fischnetz.ch).

Les métaux lourds sont susceptibles de s'accumuler dans les sédiments déposés au fond des cours d'eau et dans les matières en suspension transportées par ces derniers. Ils sont aptes à perturber la vie qui règne dans nos fleuves et nos rivières, en particulier la vie piscicole, de manière directe (exposition au polluant) ou indirecte (manque de nourriture) (www.fischnetz.ch). Les sédiments sont d'importants vecteurs de métaux traces dans le cycle hydrologique et parce qu'ils sont partitionnés avec les eaux environnantes, ils reflètent la qualité d'un système aquatique (Selvaraj *et al.* 2004).

Les connaissances de la contamination en métaux lourds de nos cours d'eau, le souci de contrôler l'efficacité des mesures prises à la source ainsi que le déclin de la vie piscicole dans nos rivières rendent nécessaire de se pencher régulièrement sur la qualité de l'environnement fluvial (www.fischnetz.ch).

La présente étude permet de faire le point sur la situation (1997-2002) et de cerner l'évolution intervenue ces 6 dernières années au niveau de la pollution métallique des cours d'eau étudiés.

L'objectif de notre étude est de contribuer à travers une analyse qualitative et quantitative, à l'évaluation de la pollution par certains métaux lourds toxiques comme le Plomb (Pb), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Nickel (Ni), le Cadmium (Cd) et le Chrome (Cr) des eaux et des sédiments de différents cours d'eau de la péninsule de Tanger qui finissent par être rejetés dans la mer Méditerranéenne.

MATERIEL ET METHODES

Stations d'étude

Au niveau du Littoral méditerranéen, on constate que les régions de Tanger et Nador représentent les deux pôles industriels de la Région, dominés notamment par l'industrie sidérurgique, le textile, la confection et par la petite et moyenne industrie. Toutes les unités industrielles de la côte méditerranéenne rejettent leurs effluents liquides soit dans les cours d'eau, soit directement en mer via les égouts. C'est le cas de la ville de Tanger, où les effluents de la zone industrielle située sur la route Tanger Tétouan, les rejets industriels de la zone de Mghorha, du quartier Moulay Ismaïl, de l'Oued Lihoud et du rejet au niveau du Port sont

déversés en mer sans aucun traitement préalable et aussi de la ville de Tétouan avec l'Oued Martil qui sert de déversoir à toutes les usines situées dans sa vallée (Blinda 2007).

Dans la présente étude, les points de prélèvements au niveau des cours d'eau, ont été choisis en fonction de leur représentativité, leur accessibilité et leur proximité des sources de pollution, telles que : l'activité agricole, les agglomérations urbaines, les zones industrielles, etc.

Cette étude est conduite sur un réseau de 6 stations (S1, S2, S3, S4, S5 et S6) réparties sur les principaux cours d'eau de la zone transformés en exutoire d'évacuation des égouts (Fig. 1).

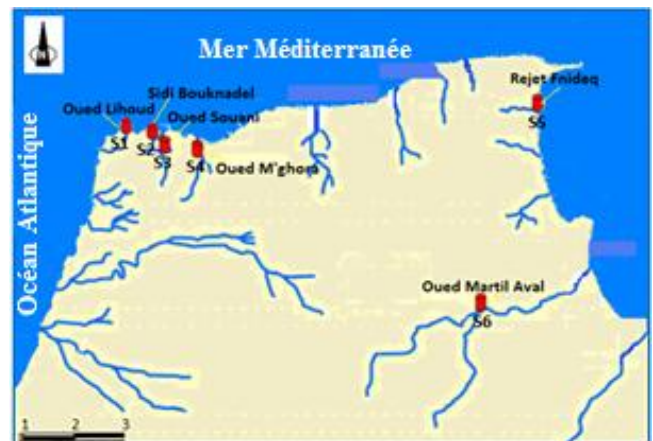


Figure 1. Localisation des différentes stations au niveau de la zone d'étude

Figure 1. Localization of the various stations at the level of the zone of studies

Les stations, objet du contrôle, sont les suivantes :

1. Station de l'Oued Lihoud (S1) : il s'agit de l'émissaire d'Oued Lihoud qui débouche dans la mer, au niveau de la plage de Makala drainant ainsi un bassin versant d'environ 37,5 km². Il collecte toutes les eaux usées domestiques et industrielles de l'agglomération riveraine.

2. Station de Sidi Bouknadel (S2) : est située à l'intérieur du port de Tanger et reçoit tous les rejets des réseaux centraux et une partie Est de Tanger avec une capacité de 400 600 habitants.

3. Station de L'Oued Souani (S3) : se développe dans un bassin strictement urbain et de très faible extension (11 km²). Outre les eaux pluviales, l'Oued reçoit normalement certains rejets domestiques diffus en s'étendant sur une longueur de 3 km. Le prélèvement est effectué à l'est de la station 3.

4. Station de l'Oued M'ghora (S4) : draine un bassin versant d'environ 75 km² et englobe dans sa quasi-totalité la commune urbaine de Beni Makada et toute la zone industrielle Sud. La longueur du cours principal est de 17 km et le bassin culmine à l'altitude de 415 m (Acharki & Hammouti 1995) le point de prélèvement est situé à 1 km de la mer, à l'est de la station 2.

5. Station de Rejet Fnideq (S5) : rejet de la ville de Fnideq. Cet émissaire déverse des eaux usées domestiques directement en pleine mer ; niveau du pont Tamouda sur la route de Chefchaouen.

6. Station de l'Oued Martil aval (S6) : en aval du dernier rejet de la ville de Tétouan subissant l'effet d'un marnage qui est négligeable. L'oued Martil peut être considéré comme un émissaire naturel de 14 km dont seul un tronçon de 7 km reçoit l'ensemble des rejets de la ville de Tétouan. Le point de prélèvement est situé à 50m du dernier rejet de la ville de Tétouan.

Prélèvement et préparation des échantillons d'eau et de sédiments

Dans le but d'évaluer le degré de contamination métallique dans les différents cours d'eau de la péninsule de Tanger, 20 campagnes de prélèvements ont été effectuées dans les six stations durant la période allant de mars à décembre entre 1997 et 2002.

Les échantillons des eaux de surface, en vue de la détermination des métaux lourds, sont mis dans des flacons en polyéthylène spécialement lavés pour l'analyse des métaux traces et cela pour le Pb, le Zn, le Cu, le Cr, le Ni et le Cd.

Ils sont par la suite fixés par l'acide nitrique à 2 % et transportés dans une glacière portative à +4°C, puis conservés à leur arrivée au laboratoire à la même température jusqu'à analyse.

Les sédiments destinés aux analyses sont collectés au niveau de la couche superficielle à l'aide d'une pelle en plastique (maintenue propre entre les échantillonnages), dans des zones à sédimentation calme et riche en matériaux fins et en dépôt organiques. Les prélèvements sont transférés dans des sacs de plastique propres. Ils sont transportés dans une glacière puis congelés à -18°C pour éviter toute évolution. Ils sont ensuite déshydratés à l'étuve à 80°C pendant 48h puis broyés et homogénéisés.

Analyse de l'eau

C'est une méthode qui nous permet de doser un certain nombre de métaux par spectrométrie d'absorption atomique à flamme. Nous avons utilisé une méthode de dosage direct avec nébulisateur dans la flamme de la spectrophotométrie d'absorption atomique (Aubert & Pinta 1971) de l'échantillon (souvent dilué). Pour réduire les interférences, on a utilisé une solution de chlorure de lanthane en flamme Air-Acétylène. La concentration de chaque élément est déterminée directement à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

La validité des méthodes analytiques est vérifiée par contrôle interne à l'aide des échantillons standards (Conseil National de Recherches de Canada : BCSS-1) et par contrôle externe à l'aide d'exercices d'inter calibration (I.A.E.A. 1987).

Analyse du sédiment

120 échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés durant la période allant de mars à décembre entre 1997 et 2002 (20 campagnes), au niveau des cinq stations (S1, S2, S3, S4 et S5) réparties le long de ces cours d'eau.

Séchés à l'étuve pendant 48 heures à 80°C et tamisés dans un tamis à maille inférieur à 100 µm, 0,3 g de ces sédiments ont été minéralisés à 120°C pendant 4 heures en présence de 4 ml d'acide fluorhydrique et 2 ml d'un mélange acide chlorhydrique et acide nitrique (Thomas *et al.* 1994 ; Tahiri *et al.* 2005 ; El Morhit *et al.* 2009).

RESULTATS ET DISCUSSION

Contamination métallique des eaux

Les résultats des analyses métalliques, pour les éléments étudiés, sont représentés dans les figures de 2 à 7.

Les résultats obtenus au niveau de chaque station sont discutés sur la base des normes relatives au projet marocain de valeurs limites des rejets directs des métaux lourds dans les milieux aquatiques (eaux de surface). Les concentrations maximales requises par la norme précitée sont : 0,5 mg/l pour le Pb, 5 mg/l pour le Zn, 0,5 mg/l pour le Cu, 0,5 mg/l pour le Ni, 0,2 mg/l pour le Cd et 2 mg/l pour le Cr (FAO 2006).

Les valeurs moyennes relevées en Plomb dans les eaux superficielles témoignent d'une répartition irrégulière dans l'espace. En effet, elles varient, au niveau des 6 stations, entre une valeur minimale de 2,5 µg/l enregistrée à la S3 et une valeur maximale de 90 µg/l notée à la S5. Les teneurs de plomb les plus élevées ont été notées au niveau des stations : S2, S4 et S5, avec des valeurs respectives de : 60 µg/l, 80 µg/l et 90 µg/l (Fig. 2).

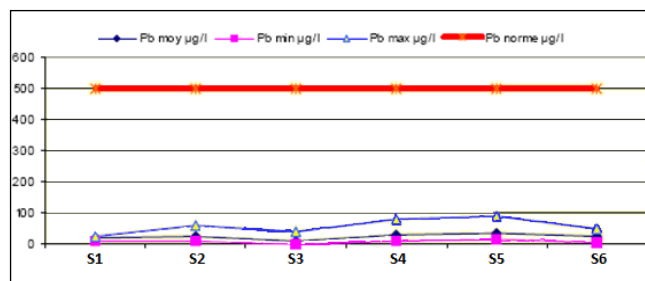


Figure 2. Evolution de la teneur en Pb dans les eaux superficielles.

Figure 2. Evolution of the content of Pb in superficial waters.

Les teneurs relativement élevées en plomb pourraient être attribuées aux rejets des industries à proximité des stations étudiées qui peuvent être chargées directement en cet élément (lessivage des stations d'essence), de même les phénomènes de lixiviation au niveau de la décharge publique, le trafic routier et de lessivage des terres agricoles, peuvent contribuer à la charge élevée en plomb au niveau de ces stations. Cependant, toutes les concentrations en plomb au niveau de toutes les stations se situent en dessous de la norme précitée 500 µg/l. Par ailleurs, ces valeurs restent aussi inférieures aux limites canadiennes préconisées pour les eaux agricoles (200µg/l pour l'irrigation et 100 µg/l pour le bétail) (CCME 1991).

L'examen global des concentrations de Zinc dans les eaux superficielles des 6 stations étudiées, indique que les teneurs détectées au niveau de toutes les stations d'étude: S1, S2, S3, S4, S5 et S6, présentent des valeurs respectives de : 350,00 µg/l, 230,00 µg/l, 405,00 µg/l, 360,00 µg/l,

250,00 µg/l et 240,00 µg/l (Fig. 3). Cependant, les valeurs analysées au niveau des 6 stations indiquent toutes une absence de contamination en Zinc. En effet, elles sont inférieures à la valeur maximale admissible (5000 µg/l) (FAO 2006). De même, ces valeurs restent inférieures aux limites canadiennes préconisées pour les eaux agricoles (1000-5000 µg/l pour l'irrigation et 50000 µg/l pour le bétail) (CCME 1991).

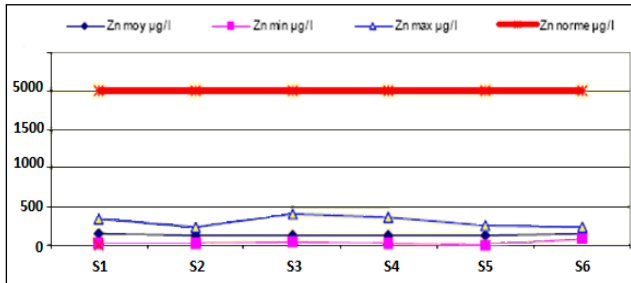


Figure 3. Evolution de la teneur en Zn dans les eaux superficielles
Figure 3. Evolution of the content in Zn in superficial waters

On note pour le Cuivre, trouvé dans les eaux superficielles, une répartition irrégulière au niveau des 6 stations étudiées. Des charges maximales de l'ordre de 160,00 µg/l et 150,00 µg/l ont été relevées au niveau des stations S4 et S3, respectivement. L'absence des données concernant l'origine de cette contamination au cuivre ne nous permet pas de mettre le doigt sur l'activité qui serait à l'origine de cette pollution. En effet, en raison de ses propriétés physiques particulières, principalement sa conductivité électrique et thermique et sa résistance à la corrosion, le cuivre a un large éventail d'utilisations industrielles.

Le lessivage des sols par les eaux de pluie pourrait contribuer, cependant, à l'explication de la concentration enregistrée.

Des valeurs moins importantes de l'ordre de 35 µg/l, de 63 µg/l, 84 µg/l et 95 µg/l ont été notées respectivement au niveau des stations S1, S2, S5 et S6 (Fig. 4). L'évacuation de rejets des industries chimiques divers de la zone pourrait expliquer la charge en cuivre des eaux au niveau de ces stations. Les teneurs enregistrées au niveau de toutes les stations restent, néanmoins, inférieures à celles préconisées par les normes pour l'élément cuivre (500 µg/l) (FAO 2006). Les valeurs restent aussi inférieures aux limites canadiennes préconisées pour les eaux agricoles (200- 1000 µg/l pour l'irrigation et 500-5000 µg/l pour le bétail) (CCME 1991).

Les teneurs les plus élevées en Nickel (160 µg/l) ont été enregistrées au niveau de la station S6 (Fig. 5). Cette élévation de concentration ne marque pas une contamination par cet élément. Elle est en effet inférieure à la valeur limite qui est de 500 µg/l (FAO 2006).

D'autres charges de l'ordre de 90 µg/l, 80 µg/l et 50 µg/l de nickel, ont été enregistrées au niveau des stations S3, S2 et S1, respectivement. Elles ne marquent pas de contamination si en compare avec celles des valeurs limites inférieures de la FAO (2006). Aussi, les valeurs restent elles inférieures aux limites canadiennes préconisées pour les eaux agricoles (200 µg/l pour l'irrigation et 1000 µg/l pour le bétail) (CCME 1991).

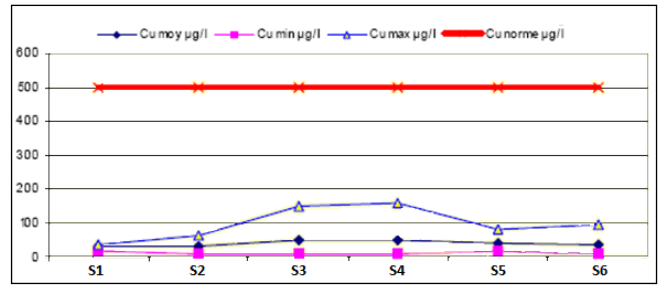


Figure 4. Evolution de la teneur en Cu dans eaux superficielles
Figure 4. Evolution of the content in Cu in superficial waters

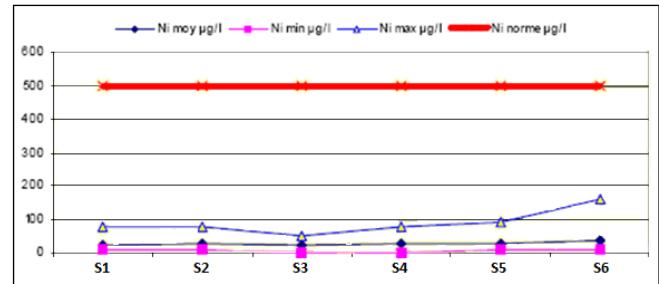


Figure 5. Evolution de la teneur en Ni dans les eaux superficielles
Figure 5. Evolution of the content Ni in superficial waters

Pour le Cadmium détecté dans les eaux superficielles, les valeurs oscillent entre 0,02 µg/l à la station S1 et 7,6 µg/l à la station S2. Ces concentrations marquent une non contamination par cet élément. D'autres charges de l'ordre de 4,2 µg/l et 3,5 µg/l de cadmium, ont été enregistrées au niveau des stations S4 et S3 (Fig. 6).

Des teneurs de l'ordre de 2 µg/l et 1,3 µg/l de cadmium ont été enregistrées dans les stations S1 et S5, respectivement. En effet, elles sont toutes inférieures à la valeur limite qui est de 200 µg/l (FAO 2006). Cependant, toutes les valeurs restent inférieures aux limites préconisées pour l'alimentation des bétails (80 µg/l) (CCME 1991).

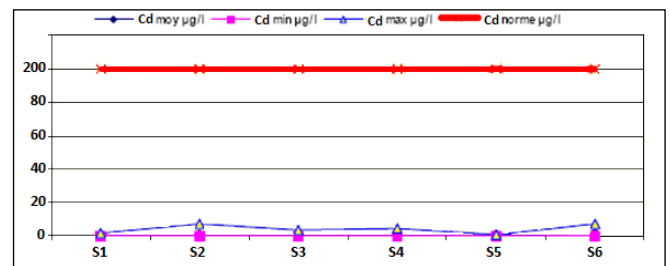


Figure 6. Evolution de la teneur en Cd dans les eaux superficielles
Figure 6. Evolution of the content in Cd in superficial waters

Les concentrations relevées au niveau de ces sites d'étude, nous amènent à supposer la présence d'une ou de plusieurs origines de pollution à proximité des stations précitées. En effet, la présence du cadmium dans les milieux environnementaux est souvent liée à son utilisation, notamment dans les batteries, dans des utilisations diffuses pour protéger l'acier contre la corrosion (cadmiage), ou comme stabilisant pour les plastiques et les pigments.

Les résultats des analyses de Chrome au niveau des eaux superficielles ne montrent pas une contamination des stations S1, S2, S3, S4, S5 et S6 par cet élément dont les concentrations maximales enregistrées sont respectivement

de 25, 40, 86 $\mu\text{g/l}$, 80 $\mu\text{g/l}$, 65 $\mu\text{g/l}$ et 90 $\mu\text{g/l}$. Alors que les valeurs minimales (10, 5, 5, 5, 10, 10 $\mu\text{g/l}$) ont été trouvées dans S1, S2, S3, S4, S5 et S6 (Fig. 7). Les concentrations trouvées dans notre travail restent en dessous des normes détectées par la FAO (2006) dont les valeurs limitent du Projet Maroc Rejet direct : le Cr est de l'ordre de 2000 $\mu\text{g/l}$.

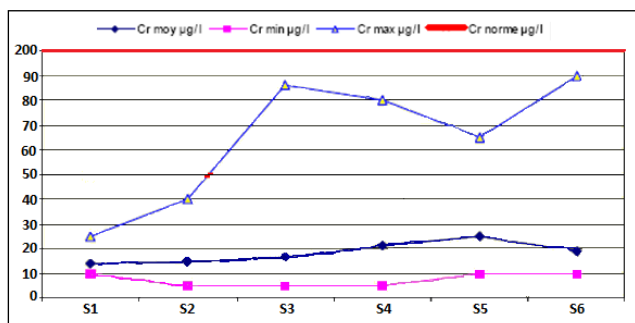


Figure 7. Evolution de la teneur en Cr dans les eaux superficielles
Figure 7. Evolution of the content in Cr in superficial waters

Les charges polluantes métalliques d'origines terrestres du Maroc sont encore très faibles, comparées aux données rapportées dans d'autres régions méditerranéennes (UNEP/WHO 1995). Cependant, si les concentrations enregistrées n'incitent pas à des inquiétudes immédiates et ne peuvent être à l'origine de toxicité aiguë, il faut souligner que le risque éco toxicologique réside dans le caractère cumulatif des métaux lourds qui interviennent dans des phénomènes de bioaccumulation et de bioamplification. Les métaux lourds peuvent ainsi s'accumuler à faibles doses dans les différents organes et atteindre le seuil toxique en altérant soit les réactions métaboliques chez les individus, soit en entraînant des perturbations démo écologiques au niveau des populations des écosystèmes touchés.

Contamination métallique des sédiments superficiels

Les résultats des analyses des éléments métalliques réalisés dans les sédiments superficiels sont présentés dans les figures de 8 à 13 et comparés avec les normes canadiennes dans le tableau 1 lors des différentes campagnes de prélèvement.

Tableau 1. Normes canadiennes de métaux lourds pour les sédiments dans les eaux douces et eaux de mer exprimées en $\mu\text{g/l}$. RPQS : recommandation provisoire pour la qualité des sédiments ; CEP : concentration produisant un effet probable.

Table 1. Canadian standards of heavy metals for sediments in fresh water and sea water ($\mu\text{g/l}$). RPQS: temporary recommendation for the quality of sediments; CEP: concentration producing a likely effect.

	Canada eau douce		Canada eau de mer	
	RPQS	CEP	RPQS	CEP
Lead	35000	91300	30200	112000
Zinc	123000	315000	124000	271000
Copper	35700	197000	18700	108000
Nickel	-	-	-	-
Cadmium	600	3500	700	4200
Chromium	37300	90000	52300	160000

Les valeurs relevées en Plomb dans les sédiments superficiels montrent une contamination irrégulière et parfois importante. En effet, elles varient, au niveau des 5

stations, entre une valeur minimale de 10 $\mu\text{g/g}$ à la station S1 à une valeur maximale de 271 $\mu\text{g/g}$ à la station S3. Les teneurs de plomb les plus élevées sont notées au niveau des stations : S3, S5 avec des valeurs respectives de : 271 $\mu\text{g/g}$ et 241 $\mu\text{g/g}$ (Fig. 8). Les concentrations en plomb au niveau des autres stations S2, S1 sont relativement faibles avec respectivement 69 $\mu\text{g/g}$ et 60 $\mu\text{g/g}$ et se situent en dessous des deux concentrations canadiennes à effet probable pour les eaux douces 91,3 $\mu\text{g/g}$ et les eaux de mer 112 $\mu\text{g/g}$. Donc les stations S3, S4 et S5 présentent des valeurs dépassant la concentration canadienne à effet probable pour les eaux douces et pour les eaux de mer.

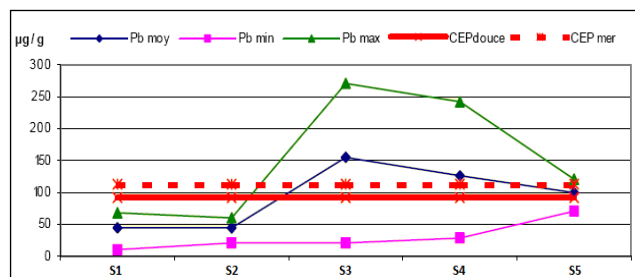


Figure 8. Evolution de la teneur en Pb dans les sédiments superficiels
Figure 8. Evolution of the content in Pb in superficial sediments

Les valeurs enregistrées en Zinc témoignent d'une contamination irrégulière. En effet, elles varient, au niveau des 5 stations, entre une valeur minimale de 30 $\mu\text{g/g}$ enregistrée dans S2 et une valeur maximale de 600 $\mu\text{g/g}$ notée dans S3 (Fig. 9).

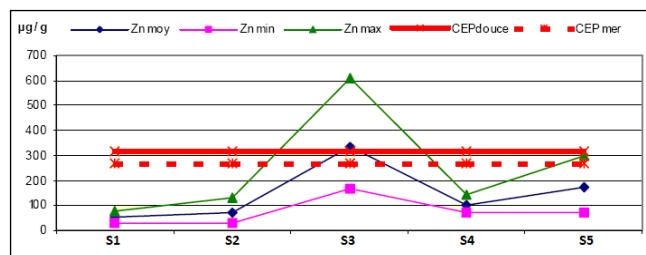


Figure 9. Evolution de la teneur en Zn dans les sédiments superficiels
Figure 9. Evolution of the tell in Pb in superficial sediments

La station S3 présente des valeurs dépassant la concentration canadienne à effet probable pour les eaux douces et pour les eaux de mer, tandis que les valeurs enregistrées dans les autres stations sont en dessous des deux normes précitées.

On note pour le Cuivre une répartition irrégulière au niveau des 5 stations étudiées. Des charges maximales de 108 $\mu\text{g/g}$ et 100 $\mu\text{g/g}$ ont été relevées au niveau des stations S3 et S5 (Fig. 10). L'évacuation de rejets des industries chimiques divers de la zone pourrait expliquer la charge en cuivre des eaux au niveau de ces stations.

Les teneurs enregistrées au niveau de toutes les stations de notre étude restent, néanmoins, inférieures à celles préconisées par les deux concentrations canadiennes à effet probable pour les eaux douces 197 $\mu\text{g/g}$. Cependant, les stations S3 présentent des concentrations supérieures à celles ayant un effet probable pour les eaux de mer qui est de 108 $\mu\text{g/g}$.

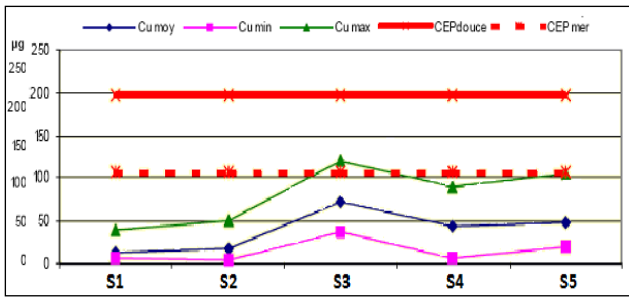


Figure 10. Evolution de la teneur en Cu dans les sédiments superficiels

Figure 10. Evolution of the content in Cu in superficial sediments

Les valeurs en Nickel varient entre une valeur minimale de 0 µg/g enregistrée dans la station 1 à une valeur maximale de 80 µg/g notée dans la station 4. Les teneurs de nickel relativement élevées sont détectées au niveau des stations : S5, S4, S3 et S2 avec des valeurs respectives de : 59 µg/g, 80 µg/g, 50 µg/g et 30 µg/g. La concentration en nickel au niveau de la station S1 est relativement normale avec une valeur de 15 µg/g. Mais, en absence des normes pour les sédiments, on les a comparés avec la concentration moyenne des métaux lourds dans les sédiments qui est de 22 µg/g. Donc, les stations S5, S4, S3 et S2 présentent des valeurs dépassant la concentration moyenne des métaux lourds dans les sédiments, alors que seule la station S1 se situe en dessous de la concentration précitée (Fig. 11). Ainsi, l'origine du nickel dans les sédiments semble être principalement anthropique. En effet, les stations S4 et S5 connaissent actuellement des activités industrielles et agricoles bien développées, d'où il existe un apport allochtone non négligeable en éléments métalliques et surtout le nickel.

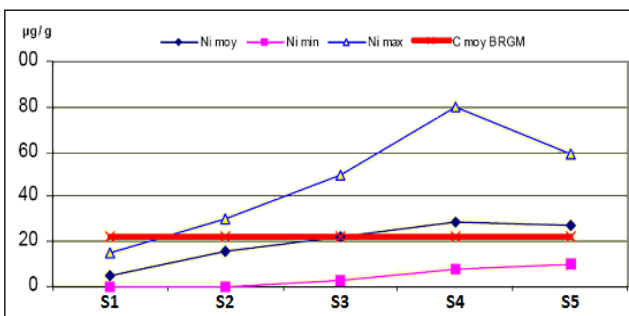


Figure 11. Evolution de la teneur en Ni dans les sédiments superficiels.

Figure 11. Evolution of the content Ni in superficial sediments.

Les valeurs relevées en Cadmium témoignent d'une contamination irrégulière et parfois importante. En effet, elles varient, au niveau des 5 stations, entre une valeur minimale de 0 µg/g à la station S4 à une valeur maximale de 5 µg/g à la station S1 (Fig. 12). Donc toutes les concentrations trouvées dans notre étude ne dépassent pas les concentrations canadiennes à effet probable qui est de 3,5 µg/g pour les eaux douces et 4,5 µg/g pour les eaux de mer sauf pour la station 1 avec une concentration de 5 µg/g, les autres valeurs enregistrées dans les autres stations sont en dessous des deux normes précitées.

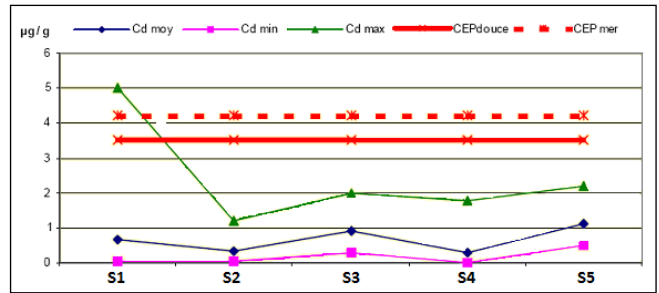


Figure 12. Evolution de la teneur en Cd dans les sédiments superficiels.

Figure 12. Evolution of the content in Cd in superficial sediments.

Les résultats trouvés dans la station 1 sont importants. En effet, ils dépassent les limites des concentrations canadiennes.

Cette forte teneur en Cd ne peut être expliquée que par la proximité de la zone portuaire (gaz d'échappement des véhicules) et les courants littoraux (El Morhit *et al.* 2011). Cossa & Lassus (1989) décrivent les sédiments de la baie Seine comme étant particulièrement contaminés par le Cd (plus de 6 µg/g) en relation avec les rejets de phosphogypes. Ainsi que, Tahiri *et al.* (2005) décrivent les sédiments de l'estuaire de Bourgreg au niveau de la station 2 avec un pic relativement important, dû probablement à un apport occasionnel véhiculé par l'oued Akrach. Toutefois, une origine marine par remontée d'eau profonde (Upwelling) connu par leur charge importante en oligo-élément (Bruland & Franks. 1983, El Morhit 2005) est aussi envisageable.

Les valeurs enregistrées en Chrome varient, au niveau des 5 stations, entre une valeur minimale de 4 µg/g à la station S2 à une valeur maximale de 101 µg/g à la station S3. La concentration en chrome au niveau de la station S5 est relativement élevée avec une valeur de 70 µg/g, alors que les autres stations S1 et S2 ont des valeurs maximales respectivement 30 µg/g, 56 µg/g et se situent au dessous des deux concentrations canadiennes à effet probable pour les eaux douces 90 µg/g et les eaux de mer 160 µg/g (Fig. 13).

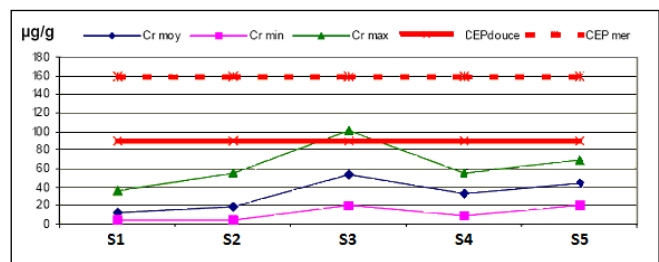


Figure 13. Evolution de la teneur en Cr dans les sédiments superficiels.

Figure 13. Evolution of the content in Cr in superficial sediments.

CONCLUSION

La présente étude a mis en évidence la présence des métaux lourds toxiques recherchés Pb et Ni et à degré moins Zn et Cr dans les sédiments superficiels de la zone étudiée. Ces polluants sont présents à des concentrations d'importance variable d'un site de prélèvement à un autre. Néanmoins, la globalité des résultats montre que

les sites de prélèvement qui drainent les rejets des zones industrielles à proximité d'unités industrielles spécifiques et à proximité des décharges publiques ont révélé une contamination significative par les métaux lourds analysés ; par contre les sites de prélèvements qui ne véhiculent pas ces eaux industrielles, au niveau de la zone d'habitation, ne témoignent d'aucune pollution importante par ces métaux.

Concernant les eaux superficielles, les teneurs des ETM analysées dans les différentes stations étudiées ne présentent pas de contamination. Cette situation ne peut être expliquée que par la précipitation, le piégeage, et accumulation de ces éléments dans les sédiments superficiels.

L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets industriels serait en grande partie responsable de la contamination, des sédiments via les eaux par les métaux lourds analysés.

De même, les lixiviats de la décharge publique, contribuerait à la pollution métallique, d'autant plus que les décharges des deux villes, ne sont pas conçues dans les normes d'une décharge contrôlée.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Scientifique et la Faculté des sciences, Université Mohammed V-Agdal (Rabat). Les auteurs remercient les évaluateurs pour les remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

REFERENCES

- Acharki S. & M. Hammouti 1995. *L'impact des zones industrielles sur l'environnement (cas de Tanger)*. Travail de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'architecture, ENA, Rabat, 54 p.
- Aubert H. & M. Pinta. 1971. Les éléments traces dans les sols, *Trav. doc. O.R.S.T.O.M* 11, paris. 97 p.
- Blinda M. 2007. *Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan: Caractérisation, Impact sur l'Environnement et Proposition de Solutions*. Thèse de doctorat. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences Rabat, 44 p.
- Bruland K.W. & FRANKS R.P. 1983. Mn, Ni, Cu, Zn, and Cd in the western North Atlantic, 395-414. *Zn Trace metals in seawater. NATO Conf. Ser. 4. Mar. Sci.V.*, 9. Plenum.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement) 1991. *Annexe IX-Protocole d'élaboration des recommandations pour la qualité des eaux en vue de protéger la vie aquatique (avril 1991)*. Préparé par le Groupe de travail sur les recommandations relatives à la qualité des eaux. Winnipeg.
- Cossa D. & P. Lassus, 1989. *Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie*. Rapport scientifique et technique de l'IFREMER., 16, 110 p.
- El Morhit M., Fekhaoui M., Elie P., Girard P., Yahyaoui A., El Abidi A. & M. Jbilou. 2009. Heavy metals in sediment, water and the European glass eel, *Anguilla anguilla* (Osteichthyes : Anguillidae) from Loukkos river estuary (Morocco, eastern Atlantic). *Cybium*, 33, 3, 219-228.
- El Morhit M., Fekhaoui M., El Abidi A., Yahyaoui A. & Hamdani A. 2011. Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc). *Déchets - Revue francophone d'écologie industrielle* 61, 8-17.
- FAO, 2006. *Elaboration des fiches techniques des valeurs Limites des Rejets industriels*. Projet de gestion des ressources en eau : Elaboration des dossiers techniques relatifs aux valeurs limites des rejets industriels dans le Domaine Public Hydraulique. Convention FAO/UTF/MOR019/MOR, 1-23.
- Goody D.C., Shand P., Kinniburgh D.G. & Vanriemedij K. 1995. Field-based partition coefficients for trace elements in soil solutions. *European Journal of soil science*, june, 46, 265-285.
- I.A.E.A. 2003. Marine environment laboratory. MESL Report. IAEA/080/IAEA/MEL/56, *Wordwide Regional intercomparison for determination of trace elements in polluted marine sediment*. IAEA-356, Monaco. 72 p.
- Selvaraj K., Mohan Ram. V., & Piotr Szefer 2004. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 3, 174-185.
- Tahiri L., Bennasser L., Idrissi L., Fekhaoui M., El Abidi A. & Mouradi A. 2005. Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water qual. Res.J. Canada*, 40, 1, 111-119.
- Thomas D., Schramm D.N., Olive K.A., Mathews G.J., Meyer B. S., Fields B.D. 1994. Production of Lithium, Beryllium, and Boron from Baryon inhomogeneous primordial nucleosynthesis. *The Astrophysical Journal*, 1, 430, 1, 291-299.
- WHO/UNEP, 1995. Health Risks From Marine Pollution in the Mediterranean. Implication For Policy Markers. EUR/HFA-TARGET 20, PART I, 255 p.
- Zhang L., Ye X., Feng H., Jing Y., Ouyang T., Yu X., Liang R., C. Gao & W. Chen. 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 7, 974-982.
- www.fischnetz.ch/content_d/publ/event/Pardos_Abstract.pdf

Manuscrit reçu le 10/06/2013

Version révisée acceptée le 06/06/2014

Version finale reçue le 15/10/2014

Mise en ligne le 24/10/2014

