

Recherche

Influence des métaux lourds sur la qualité des sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos (N-O du Maroc)

EL MORHIT Mohamed¹ *, FEKHAOUI Mohamed¹, EL ABIDI Abdallah²
ZIDANE Lahcen³ & YAHYAOUI Ahmed⁴

1- Laboratoire de Toxicologie et de Pollution de l'Institut Scientifique de Rabat.

2- Laboratoire de Toxicologie et d'Hydrobiologie de l'Institut National d'Hygiène, Rabat.

3- Laboratoire de Biodiversité et, Faculté des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Kenitra ; BP. 133, Kenitra, Maroc.

4- Laboratoire de Zoologie et Biologie Générale, Faculté des Sciences, Université Mohammed V - Agdal, Rabat.

*Auteur correspondant : E-mail : morhit_med@yahoo.fr ;

Effect of heavy metals on the degradation of sediment quality in the Loukkos river estuary (NW of Morocco)

Résumé :

Le déversement dans les estuaires d'importantes quantités d'effluents industriels et ménagère, avec ou sans traitement, a entraîné un accroissement de quantité de micropolluants présents dans les sédiments.

Les variations spatiales des teneurs en métaux lourds (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd) ont été étudiées au niveau des sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos, en relation avec les diverses activités industrielles, agricoles et domestiques. Les résultats obtenus montrent qu'au niveau de la station où se déversent les rejets des eaux usées de la ville de Larache, on assiste à une modification importante dans les valeurs des principaux éléments (Cr, Pb et Cd). En effet, les teneurs métalliques des sédiments de ces éléments atteignent des valeurs particulièrement élevées au voisinage du collecteur principal, en amont (forte activité agricole) et en aval (eaux usées domestiques de la ville et trafic routier) de l'estuaire. Ces éléments en particulier Pb et Cd dépassaient en concentration la limite recommandée par l'OMS. Ceci a été confirmé par l'indice de contamination, l'analyse de variance et l'analyse en composantes principales appliquées.

Mots clés :

Estuaire, oued Loukkos, sédiments, métaux lourds, qualité, eaux usées.

Abstract :

Industrial and domestic wastewaters Discharge into the estuaries increased micro-pollutants amount in sediments. Spatial variations of heavy metal concentrations (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb and Cd) were studied in sediments of the Loukkos-wadi estuary, related to various industrial, agricultural and domestic

activities. The results show that in the station subject to the discharge of wastewater from the Larache city, there has been a significant change in the main elements values (Cr, Pb and Cd). Indeed, the metal contents of sediments reach particularly high values near the main sewer, upstream (high agricultural activity) and downstream (domestic wastewater discharge and road traffic) of the estuary. These particular elements (Pb and Cd) exceeded in concentration the WHO recommended limit. This was confirmed by the contamination index, the analysis of variance and the principal component analysis applied.

Key words :

Estuary, Loukkos wadi, sediments, heavy metals, quality, waste waters.

Introduction

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, vu qu'elle est très altérée et sérieusement menacée par les activités humaines. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide qui cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (MAKHOUKH & AL. 2011), l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et des pesticides, et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (EL MORHIT & AL. 2012).

Les estuaires (eau douce et eau saline) et les côtes sont des milieux aquatiques complexes et dynamiques, caractérisés par une grande importance écologique et économique (MORRIS & AL. 1995, EL MORHIT 2009). Ils sont le siège d'une activité humaine intense, et/ou soumis à des aménagements hydro-agricoles, conduisant à des déversements de divers types de polluants qui perturbent le fonctionnement naturel de ces écosystèmes (EL MORHIT 2005, MODE & AL. 2010). Les nombreux polluants organiques et divers oligo-éléments métalliques, introduits dans ces milieux aquatiques, sont susceptibles de se concentrer chez les organismes vivants (EL MORHIT & AL. 2012) à des niveaux parfois supérieurs à leurs taux dans les sédiments, et peuvent donc entraîner des problèmes d'ordre écologique, sanitaire et économique (BRYAN & LANGOSTON 1992, MEDDTL 2011).

Les métaux lourds peuvent être recyclés par des processus chimiques et biologiques entre les deux compartiments : l'eau et les sédiments. L'accumulation des contaminants métalliques dans les sédiments peut poser des problèmes environnementaux sérieux (IP & AL. 2007). Les concentrations en métaux lourds dans les sédiments de l'estuaire sont habituellement élevées et liées aux activités anthropogéniques considérables (GUERRA-GARCIA & GARCIA-GOMEZ 2005, ZOURARAH & AL. 2007, IP & AL. 2007, EL MORHIT & AL. 2008).

Dans les estuaires marocains, plusieurs auteurs ont mis en évidence de telles contaminations (TAHIRI & AL. 2005, EL MORHIT & AL. 2012), dues aux activités domestiques et industrielles.

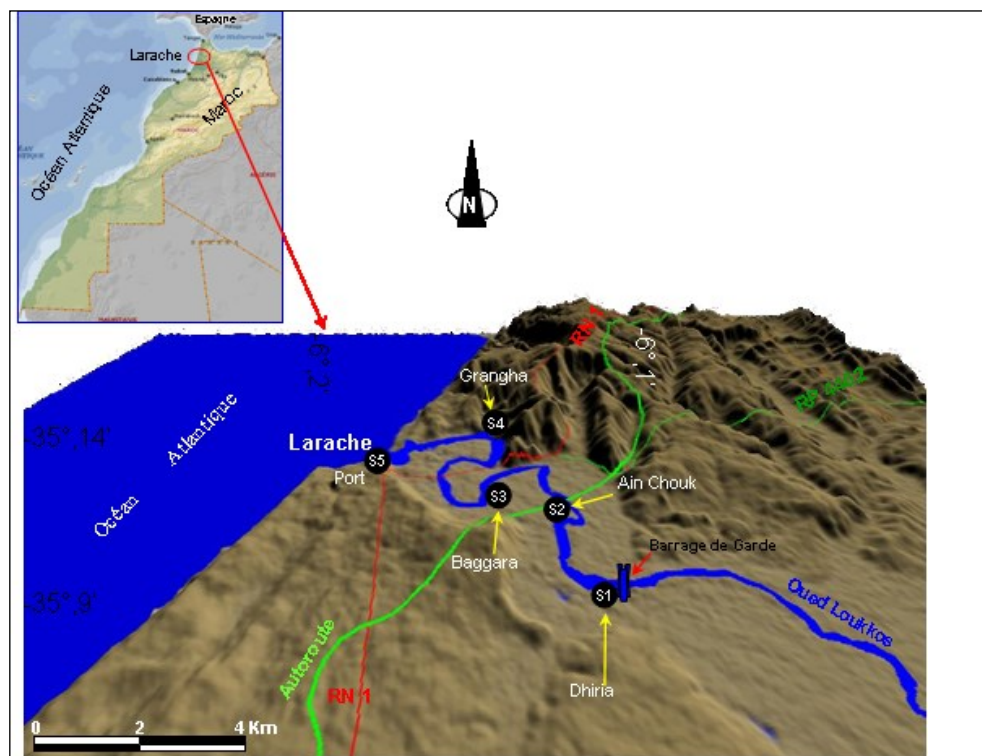
Dans ce travail, nous avons procédé à l'étude de l'influence des eaux usées domestiques, industrielles et agricoles sur la qualité des sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos (Nord-ouest du Maroc), et ce à travers un diagnostic de la situation actuelle de la pollution et un suivi rigoureux de son évolution durant deux années consécutives (2006 et 2007).

1 Matériel et méthodes

1.1 Stations d'étude

Pour la réalisation de ce travail et tenant compte des diverses activités recensées dans la zone (industries agro-alimentaires, pêcheries, eaux usées domestiques et agricoles), cinq stations, réparties le long de l'estuaire, ont été retenues et définies comme suit (Figure 1) :

Figure 1 : Localisation des stations d'étude dans l'estuaire de l'oued Loukkos.



Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés du 2006/2007 et rectifié par logiciel ArcGis.

- Station 1 (Dhiria) : située au niveau du barrage de garde à 21 km de l'embouchure et reçoit les eaux de drainage des rizicultures situées en amont.
- Station 2 (Ain Chouk) : située à proximité d'un chenal à 16 km de l'embouchure.
- Station 3 (Baggara) : distante de 9 km de l'embouchure, et caractérisée par un surpâturage et une bonne extension de terrains agricoles.
- Station 4 (Grangha) : située à 3 km de l'embouchure ; elle reçoit les rejets liquides urbains et industriels de la ville de Larache.
- Station 5 (Port de Larache) : située au niveau de l'embouchure de l'oued Loukkos.

1.2 Minéralisation et dosage des métaux lourds

Des échantillons de sédiments (n=30) ont été prélevés au cours de six campagnes de prélèvement (mars, mai et juillet) à marée basse durant deux années consécutives (2006 et 2007) au niveau de la couche superficielle (à 3 cm de profondeur) à l'aide d'une benne. Ils ont été séchés à l'étuve pendant 48 h à 80°C et tamisés dans un tamis à maille inférieure à 100 µm. 300 mg de sédiments secs ont été minéralisés à 120°C pendant 4 h en présence de 4 ml d'acide fluorhydrique et 2 ml d'un mélange acide chlorhydrique et acide nitrique, conformément à la méthodologie indiquée par HUNG & HSU (2004), TAHIRI & AL. (2005) et CHEN & AL. (2007).

Le dosage des métaux a été effectué sur les minéralisats après dilution, selon la procédure publiée par EL ABIDI & AL. (2000) et EL MORHIT (2005). Le Cu, le Cr, le Pb et le Cd ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à four, et par SAA à flamme pour les cas du Fe et du Zn.

La validité des méthodes analytiques a été vérifiée par contrôle interne à l'aide d'échantillons standards (Conseil National de Recherche du Canada : BCSS 1) et par contrôle externe à l'aide d'un exercice d'intercalibration (IAEA. 1987, 1991, 1998, 1999 et 2003).

1.3 Analyse statistique

La variabilité des teneurs en métaux a été étudiée à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (saisons et stations), et par analyse en composantes principales (ACP) du logiciel XL STAT (FOUCART 1982). La comparaison multiple des moyennes de chaque élément métallique a été réalisée à l'aide du test de Friedman, chaque fois que l'analyse de variance a révélé des différences significatives.

Pour la standardisation de cette contamination et la mise en évidence de l'influence de l'activité humaine sur la qualité des sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos, nous avons adopté l'indice de contamination (IC) qui tient compte des teneurs de référence. Dans la présente étude, c'est la station S3 qui a été retenue

comme site de référence compte tenu de sa localisation loin de toute perturbation d'origine anthropique et de ses faibles teneurs en métaux, comparées à celles mesurées au niveau des autres stations.

L'évaluation du degré de contamination à partir de l'ensemble des résultats relevés dans les sédiments étudiés comporte un problème quant au choix de la méthode à utiliser, bien que plusieurs méthodes aient été proposées (ROSSO & *AL.* 1993, BENNASSER & *AL.* 1996). En absence d'une estimation de la teneur en matière organique dans les sédiments, seul l'indice de contamination (IC) a été retenu (NASSALI & *AL.* 2002, TAHIRI & *AL.* 2005). Il est défini comme étant le rapport du métal au niveau du site donné sur la teneur du métal au niveau du site de référence ($SR=S3$).

2 Résultats et discussion

Parmi les métaux recherchés, il est connu que le Fe et le Zn sont des oligo-éléments essentiels au métabolisme normal de la plupart des micro-organismes vivants ; mais en excès, ils deviennent toxiques. Quant au Cr, Pb et Cd, ils n'ont pas de fonctions physiologiques connues et exerceraient uniquement des effets néfastes sur les organismes vivants (METAYER & *AL.* 1985).

3.1. Contamination métallique des sédiments

Les résultats des analyses des éléments métalliques, réalisées dans les sédiments lors des différentes campagnes de prélèvement (Figure 2).

Les concentrations moyennes les plus élevées sont celles du Fe (27,20 mg/g), suivi du Zn (115,41 mg/kg), du Pb (69,26 mg/kg), du Cr (54,38 mg/kg), du Cu (16,85 mg/kg) et du Cd (1,11 mg/kg). Les stations S4 et S1 présentent les taux les plus élevés en éléments métalliques, notamment dans le cas du Fe, du Cr et du Pb, en comparaison avec ceux de la station S3, localisée plus loin de rejets (Figure 2). Cet enrichissement en éléments métalliques est à mettre en relation avec les apports d'eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Larache qui se déversent dans la station S4 et les eaux de vidange de la riziculture dans la S1. En effet, le Fe, le Zn, le Cu et le Pb sont des éléments métalliques caractéristiques d'une pollution de type urbain (CHEN & *AL.* 2007, BENNASSER & *AL.* 2000, EL MORHIT & *AL.* 2008).

Dans toutes les stations, la teneur moyenne en Fe dépasse celle du sédiment non pollué (13,20 mg/g), étudié par plusieurs auteurs (NICOLADO & NOTT 1998). L'excès de Fe pourrait provenir du lessivage du sol agricole et du contexte géologique régional de nature gypsifère comme à Sidi Moussa et à Oualidia (KAIMOUSSE 2002). Ainsi que pour le Zn (115,41 mg/kg), les teneurs de notre étude sont supérieures à celles de référence de l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (U.S.E.P.A. 1986) dont les teneurs sont 90 mg/kg du poids sec, soulignant ainsi une pollution modérée par le Zn. Par contre, pour le Cu (16,85 mg/kg), les teneurs sont inférieures aux teneurs de référence du Réseau National d'Observation (RNO 1995) qui sont de 30 mg/kg.

Une contamination significative a été notée pour le Cr puisque les teneurs moyennes (54,38 mg/kg) relevées dépassent les teneurs moyennes de référence, qui sont de 3,8 mg/kg dans l'estuaire de Sebou (FEKHAOUI & AL. 1993). Par ailleurs, l'évolution spatiale de cette contamination fait apparaître un abaissement de la teneur en Cr au niveau de la station S 3 (située au milieu de l'estuaire) qui peut être liée à la dynamique marégraphique de l'estuaire. En effet, la remontée des eaux marines très minéralisées entraîne une remobilisation et un relargage des métaux, particulièrement le Cr à partir des sédiments. Le déplacement de cette charge entraîne une augmentation de la teneur au niveau de la station S4, la plus proche.

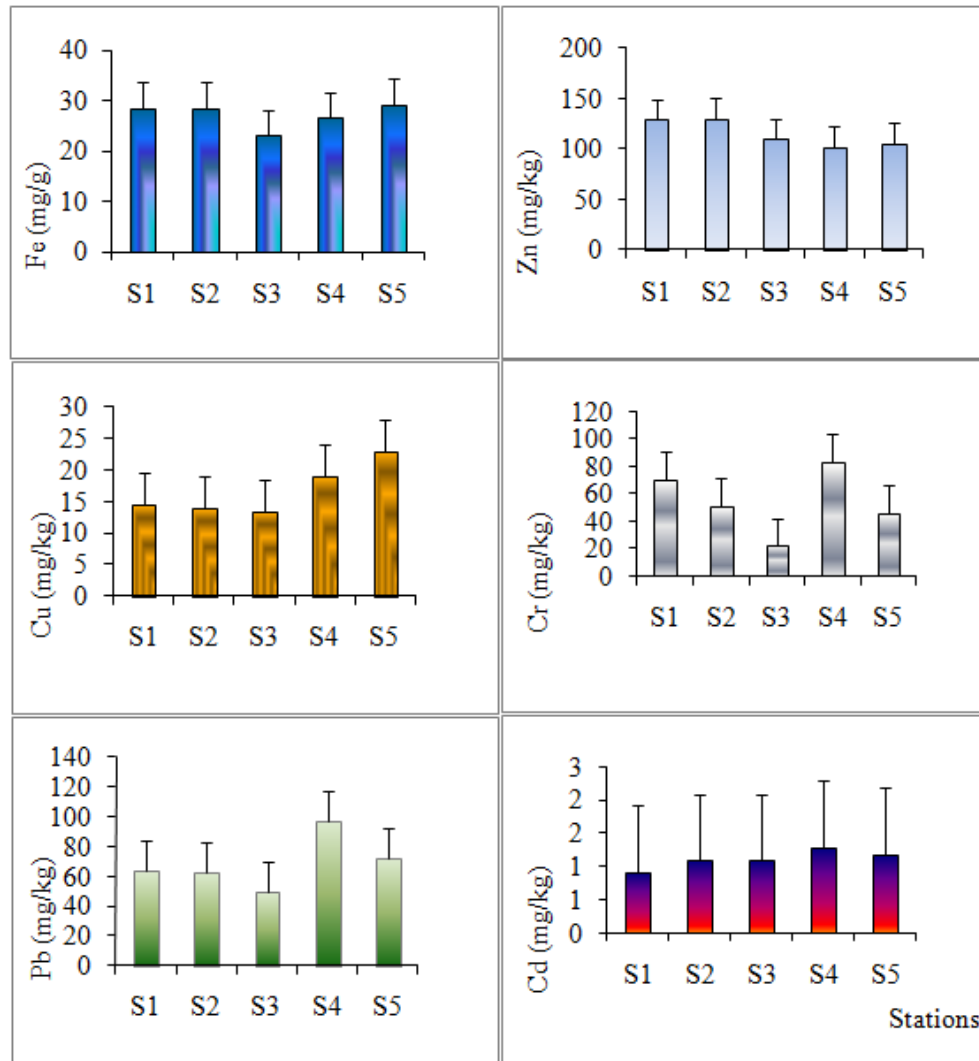
Pour le Pb, les teneurs des stations étudiées dépassent la valeur limite de 30 mg/kg (RNO 1998). Les concentrations élevées de Pb au niveau de la station 4 semblent être liées en partie au grand trafic routier (route principale et autoroute) qui relie Larache à Tanger. Le Pb, utilisé comme antidétonant dans les carburants des moteurs de véhicules, est libéré directement dans l'atmosphère par les pots d'échappement. La contamination est directe par les retombées atmosphériques ou indirecte après lessivage des routes par les eaux pluviales (CONOR 1980, GOODY & AL. 1995).

De même pour le Cd, les teneurs des stations étudiées dépassent la valeur limite de 0,15 mg/kg (RNO 1998) ; ce qui signifie que ces stations sont significativement contaminées. Le taux global de ce métal dans les sédiments fins est loin d'être négligeable dans les stations étudiées, comparées aux teneurs naturelles. D'après une étude menée par l'Institut National de Recherche Halieutique (INRH 1996) dans les sédiments du large (zone de Jorf Lasfar), les concentrations en Cd comprises entre 1,60 mg/kg et 5,80 mg/kg de poids sec, traduisant une contamination importante, s'expliquent par la proximité de la zone portuaire, la centrale thermique et le complexe Jorf Lasfar.

La valeur 1,18 mg/kg observée au niveau de la station 4 reflète une contamination non négligeable. Dans cette station, on ne peut expliquer la forte teneur en Cd que par la proximité de la zone portuaire et les courants littoraux. COSSA & LASSUS (1989) décrivent les sédiments de la baie Seine comme étant particulièrement contaminés par le Cd (plus de 6 mg/kg), en relation avec les rejets de phosphogypes. De plus, TAHIRI & AL. (2005) décrivent les sédiments de l'estuaire de Bouregreg au niveau de la station 2 avec un pic de Cd relativement important, dû probablement à un apport occasionnel de l'oued Akrach. Toutefois, une origine marine par remontée d'eau profonde (Upwelling), connue par leur charge importante en oligo-élément (BRULAND & FRANKS 1983, EL MORHIT 2005), est aussi envisageable.

Comme le montre le Tableau 1, excepté pour le cuivre, l'estuaire de l'oued Loukkos montre une forte contamination, et ceci pour tous des autres éléments métalliques qui dépassent de loin les valeurs relevées dans les sédiments de l'estuaire de Bouregreg dans les sites considérés comme les plus pollués (TAHIRI & AL. 2005).

Figure 2 Variations spatiales des concentrations métalliques moyennes dans les sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos.



Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés du 2006/2007.
(mg/kg du poids sec, sauf Fe en mg/g) (n=6)

Cette pollution serait liée, du moins en partie, aux eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Larache (aval) et à une activité agricole (amont) basée sur l'usage massif de fertilisants et de pesticides, sachant que les fongicides sont riches en Zn et en Fe, et que les composés phosphatés contiennent d'importantes quantités de Cd ; le Pb est souvent associé au Cd. De plus, le charriage et le lessivage des terrains agricoles en période pluvieuse favorisent l'accumulation des

métaux dans les compartiments sédimentaires. Le risque de remobilisation, de biodisponibilité et donc de toxicité sont à craindre et constituent ainsi un danger permanent pour toute la chaîne trophique (FADIL & *AL.* 1997, NABIL 2008, KUMAR & *AL.* 2011).

Tableau 1 : Comparaison des teneurs métalliques de l'estuaire de l'oued Loukkos avec d'autres estuaires (mg/kg, sauf Fe en mg/g)

Estuaires	Fe	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Références
Kolbaksan (Suède)	107	210	21	23	47	-	HAKANSON (1984)
Australie	5,70	379	-	29,1	-	-	HATJE & <i>AL.</i> (2003)
Bouregreg (Maroc)	1,2	61	21	39	17	0,02	TAHIRI & <i>AL.</i> (2005)
Sebou (Maroc)	2,13	50-90	14-40	0,4-1,7	0,5-19	0,005-0,55	FEKHAOUI & <i>AL.</i> (2003)
Oum R'bia (Maroc)	6,41-6,68	39,8-66,7	8,8-14,75	17-22	2,7-13,2	-	BENABDALLAOUI & <i>AL.</i> (2001)
Loukkos (Maroc)	20,80	131	32,4	-	-	-	CHEGGOUR & <i>AL.</i> (2005)
Loukkos (Maroc)	27,20	115,41	16,85	54,38	69,26	1,11	Présente étude

Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés du 2006/2007.

Plus cet indice est élevé, plus le point de prélèvement est pollué. Les indices élevés appartiennent géographiquement à la station 4 (en aval de l'estuaire), alors que les indices faibles appartiennent à la station 3 (au milieu de l'estuaire), coïncidant parfaitement avec les secteurs où les stations sont proches des rejets des collecteurs principaux. Les périmètres irrigués et l'industrie, nouvellement instaurés dans ces endroits, font que le degré de contamination deviendrait important.

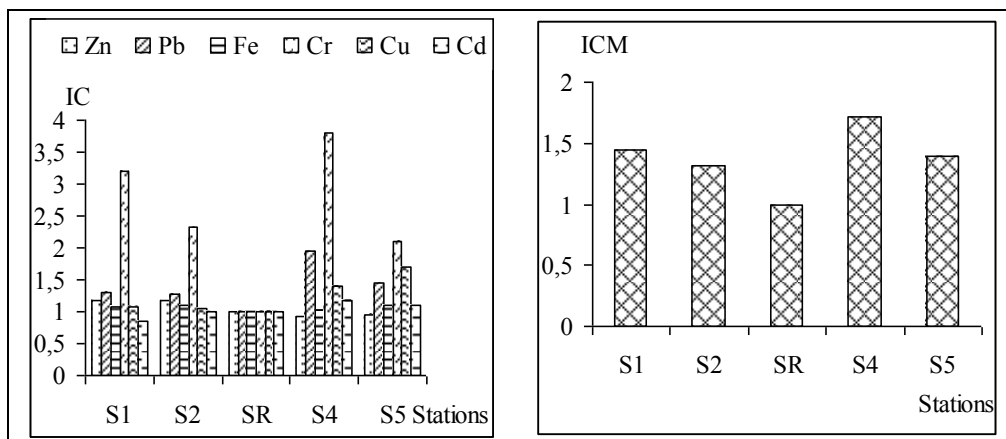
Les résultats obtenus révèlent une contamination polymétallique accentuée pour le Cr, et légère pour le Pb, avec les teneurs respectives de 5,4 et 2,21 enregistrées dans la station 4 (en aval des points de rejet, Figure 3). Alors que TAHIRI & *AL.* (2005) n'ont trouvé une contamination accentuée que pour le Cu, en amont de l'estuaire de Bouregreg, dont les stations les plus affectées étaient situées en aval des points de rejets.

La comparaison des indices de contamination polymétallique (I.C.P) montre que la station 4 (Grangha) présente l'indice le plus élevé (1,93), traduisant ainsi une forte contamination métallique (Figure 3).

L'activité industrielle reste donc la source principale de cette pollution de sédiments, sans toutefois exclure celle d'origine agricole surtout que la région se prête à une grande activité de ce genre. En effet, les surprenantes valeurs des IC correspondant aux éléments les plus toxiques (Cr, Pb et Cd) restent liées pour le Pb

aux trafics routiers et aux unités industrielles de tout le bassin de l'oued Loukkos. Pour le Cr, elles restent liées aux rejets de l'usine sucrière et aux eaux de vidange des rizicultures, des tanneries, des textiles, ...

Figure 3 : Variations spatiales des indices de contamination (IC) et des indices de contamination polymétallique moyenne (ICM) dans les sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos.



Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés du 2006/2007.
(S3 = SR = station de référence)

2.1 Analyse de variance (ANOVA) des éléments trace métalliques dans les sédiments

Le test ANOVA à deux facteurs, effectué sur la teneur du Cr et du Pb, révèle à travers le test Friedman des différences significatives ($P \leq 0,05$) entre les stations et les saisons (Tableau 2).

L'analyse métallique (Cr, Pb et Cd) dans les sédiments a montré une mauvaise qualité en termes de contamination en éléments métalliques. En effet, l'excès des teneurs de ces éléments peut avoir deux origines : l'une naturelle et l'autre anthropique. Pour déterminer l'origine des concentrations observées, nous avons utilisé une méthode statistique dite d'analyse en composante principale (ACP).

Tableau 2. Analyse de variance à deux variables pour chaque métal au niveau des sédiments

	Fe	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
Saisons (n=6)	0,18	0,89	0,007	0,008*	0,004*	0,18
Stations (n=5)	0,63	0,015	0,32	0,005*	0,013*	0,63

Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés du 2006/2007.
(Test Friedman significatif si $P \leq 0,05$).

2.2 Typologie de la contamination métallique des sédiments

L'analyse multifactorielle (ACP) nous a permis de classer et de traiter les informations relatives aux éléments traces métalliques dans les sédiments au cours des campagnes (mars, mai et juillet) durant les deux années consécutives (2006 et 2007) par l'établissement des corrélations entre l'ensemble des variables de l'estuaire de Loukkos. Cette analyse en composantes principales est effectuée sur une matrice des données constituée de 30 prélèvements (5 stations X 6 campagnes), au cours desquels, les 6 variables (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd) ont été mesurées.

Les valeurs propres des deux composantes (F1 et F2) et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans la Figure 6A.

Tableau 3 : Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes.

Stations	Code	Campagnes	Code	Variables	Codes	Axe 1	Axe 2
Dhiria	D	Mars 06	R6	Fer	Fe	0,54	0,55*
Ain Chouk	A	Mai 06	M6	Zinc	Zn	-0,11	0,91*
Baggara	B	Juillet 06	J6	Cuivre	Cu	0,80*	-0,11
Grangha	G	Mars 07	R7	Chrome	Cr	0,67*	0,05
Embouchure	E	Mai 07	M7	Plomb	Pb	0,88*	-0,08
		Juillet 07	J7	Cadmium	Cd	0,75*	-0,08

Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés (* : $P < 0,05$).

Les codes des variables ayant une forte corrélation et leurs coordonnées sont représentés au niveau du Tableau 3.

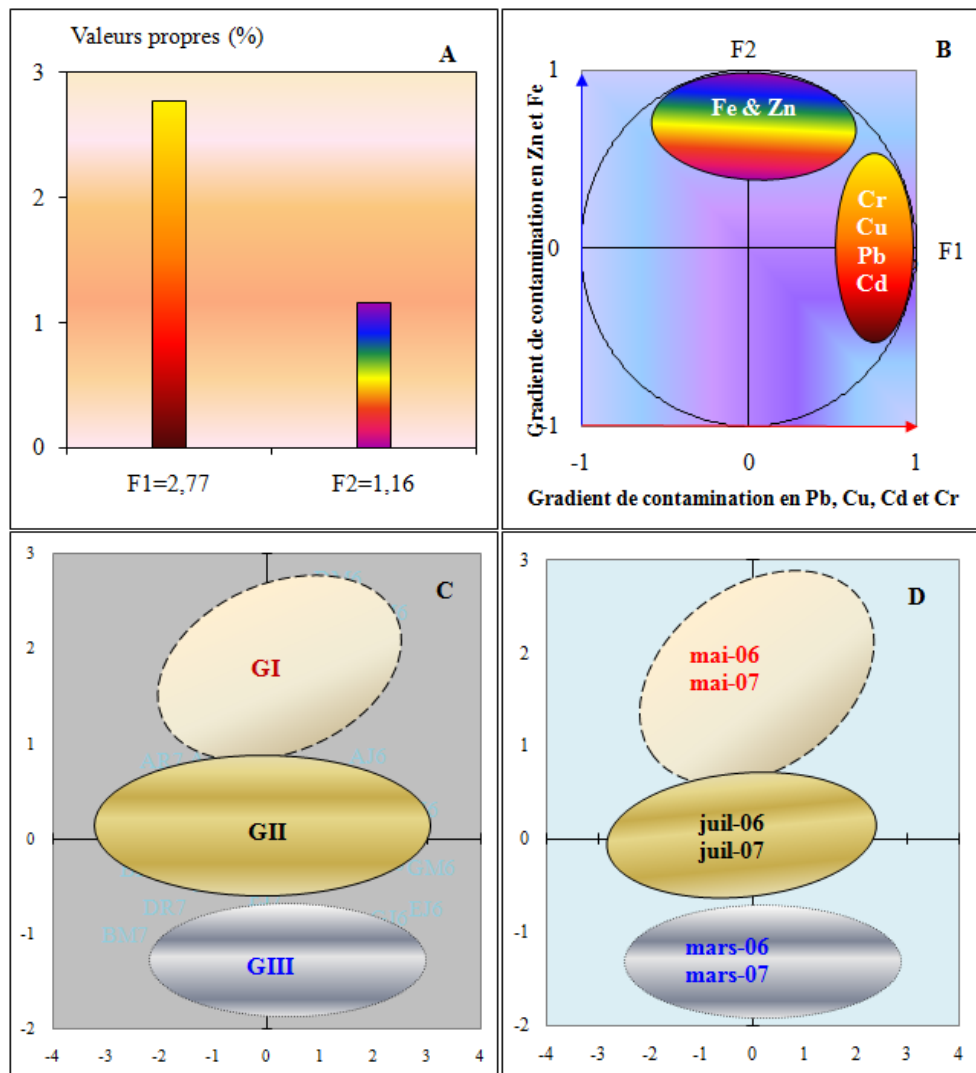
Les résultats présentés dans le Tableau 4 et la Figure 6 A nous permettent une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leurs regroupements sur les deux premières composantes principales à partir de leur contribution. Les deux premiers axes déterminent 65,60 % de l'information totale (46,16 % pour l'axe 1 et 19,44 % pour l'axe 2).

Les valeurs propres de l'ACP, le cercle de la corrélation et les cartes factorielles sont représentées dans la figure 6. L'observation du cercle formé par les axes F1 et F2 montre selon l'axe F1 (horizontal) une opposition entre les sédiments faiblement contaminés en métaux (Cu, Cr, Pb et Cd) occupant la partie négative de l'axe et les sédiments fortement contaminés en ces métaux occupant sa partie positive. L'axe F1 définit un gradient de contamination en Pb ($r=0,88$), Cu ($r=0,80$), Cd ($r=0,75$) et Cr ($r=0,67$).

Selon l'axe F2 (vertical), on note une opposition entre les sédiments riches en métaux (Fe et Zn) occupant la partie positive de l'axe et les sédiments pauvres en ces métaux occupant sa partie négative. Cet axe définit un gradient de contamination en Zn ($r=0,91$) et Fe ($r=0,55$) (Figure 6 B). Cette répartition met en évidence deux origines des sédiments : la première, endogène, est caractérisée par la présence de ferromagnésien liée au contexte géologique de la région, alors que la deuxième est due à l'activité anthropique.

L'analyse globale permet de définir une typologie dominée par l'individualisation de 3 groupes de stations GI, GII, GIII (Figure 6 C). Cette organisation spatiale dégage la position exacte des stations par rapport à leur situation.

Figure 4 Approche graphique de l'ACP des teneurs métalliques dans les sédiments selon le plan F1XF2.



Source : Elaboré par EL MORHIT M. d'après son enquête et ses relevés du 2006/2007.
 Légende A : Répartition de l'inertie entre les axes. B : Cercles de corrélation des variables.
 C & D : Carte factorielle des stations et des campagnes.

Le groupe I (zone polluée en Fe et Zn) comprend les stations amont S1 (DR6, DM6, DJ6, DR7, DM7, DJ7) et S2 (AR6, AM6, AJ6, AR7, AM7, AJ7),

situées dans une zone caractérisée par une forte activité agricole (riziculture), à l'origine de la présence du Zn et Fe dans les sédiments de cette zone (partie positive de l'axe F2). Le groupe I est opposé au groupe III (zone fortement polluée en Cu, Pb, Cd et Cr), représenté par les stations S4 (GR6, GM6, GJ6, GR7, GM7, GJ7) et S5 (ER6, EM6, EJ6, ER7, EM7, EJ7), les plus en aval. Il est caractérisé par une charge importante en métaux (Cu, Pb, Cd et Cr), occupant la partie positive de l'axe F1. La présence de ces éléments dans les sédiments pourraient être liée aux effets courantologiques (BRULAND & FRANKS 1983, EL MORHIT 2005), aux eaux usées domestiques de la ville de Larache, et au trafic routier (autoroute, routes principales) (PELLETIER 2005, EL MORHIT & AL. 2009). Le Pb est utilisé comme anti-détonateur dans l'essence. En effet, les travaux de MIQUEL (2003) ont montré qu'une autoroute de taille moyenne (25,000 véhicules/jour) produit une tonne de matières en suspension par km et par an (1 km d'autoroute = 2 ha), dont 25 kg d'hydrocarbures, 4 kg de Zn et 0,5 kg de Pb. Entre les deux groupes, se situe le groupe II (zone moins polluée) représenté par la station 3 en toute saison (BR6, BM6, BJ6, BR7, BM7, BJ7), dénotant une contamination moyenne en métaux étudiés. La pollution de cette zone est d'origine naturelle.

En admettant les premiers et les derniers points de prélèvement durant les deux années et en les regroupant, on peut repérer les variations saisonnières en fonction de la teneur en métaux dans les sédiments (Figure 6 D). Généralement, les variations saisonnières ne modifient pas le niveau de contamination pour les métaux étudiés (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd), à l'exception du mois de mai où on note une légère diminution de la teneur du Zn et du Fe au niveau de la station 5 (EM7) durant l'année 2007 (partie négative de l'axe F1). Des teneurs très élevées ont été enregistrées au niveau de la station 1 (DM6) durant l'année 2006 (partie positive de l'axe F2). Cependant, pour le mois de juillet, le niveau de contamination de la station 5 (EJ7) durant l'année 2007 a été faible par rapport aux autres campagnes. D'après ces variations saisonnières, une légère diminution de la contamination des sédiments étudiés a été constatée au cours de l'année 2007.

En général, Les teneurs moyennes du Fe, du Zn, du Cu, du Cr, du Pb et du Cd dans les sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos sont inférieures aux normes recommandées par l'OMS (1980).

Conclusion

A la lumière des résultats obtenus au niveau de la charge métallique des sédiments, on constate l'existence d'une contamination métallique faible à moyenne des sédiments prélevés au niveau de l'estuaire de l'oued Loukkos, particulièrement à son amont et son aval. Ce qui suggérait que les sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos sont d'une qualité assez dégradée avec une certaine hétérogénéité dans leur composition. L'estuaire subit l'influence néfaste des rejets de la ville de Larache. La comparaison de ce résultat avec ceux enregistrés dans d'autres estuaires marocains et mondiaux d'une part, et les normes recommandées

par l'OMS d'autre part montre que les teneurs métalliques en Pb et Cd dépassent légèrement les limites tolérables, vu le faible degré de développement socio-économique de la ville de Larache, et pouvant générer par la suite des pollutions plus importantes. Les sédiments de l'estuaire de Loukkos constitueraient ainsi de véritables indicateurs de la contamination des eaux salines de la côte marocaine.

L'IC, l'ANOVA et l'ACP appliqués ont permis de mettre en évidence deux gradients croissants de contamination des sédiments, l'un régi par le Zn et le Fe dans l'amont de l'estuaire du Loukkos, et l'autre représenté par le Pb, le Cu, le Cd et le Cr situé à son aval.

Pour le premier gradient (Fe et Zn), sa présence dans les sédiments serait liée à une forte activité agricole (riziculture). Par contre l'autre (Pb et Cd) pourrait être lié aux eaux usées domestique et industrielle de la ville de Larache, au trafic routier et à des effets courantologiques.

Néanmoins, la mise en place du barrage de garde a diminué les capacités de l'estuaire à évacuer les polluants, car la dynamique fluviale est devenue très faible par rapport à celle de la mer. Ces changements hydrodynamiques pourraient être à l'origine de son confinement par l'ensablement massif de son embouchure. Ceci risque d'entraîner une augmentation de la contamination de ce milieu par les métaux traces et d'autres types de polluants, dont la bioaccumulation de ces éléments à risques écotoxicologiques non négligeables. Un suivi minutieux de l'évolution de cette pollution s'avère d'une grande nécessité pour sauver et protéger cet écosystème, afin de préserver ses potentialités bioécologiques et d'améliorer l'état de santé de la population riveraine.

Remerciement

Une grande partie de ce travail a été réalisée dans le cadre du programme thématique d'appui à la Recherche Scientifique PROTARS III D 14/52 au sein de l'UFR : Biodiversité et Aquaculture à la Faculté des Sciences de Rabat en collaboration avec l'Institut Scientifique et l'Institut National d'Hygiène (Rabat).

Les auteurs remercient les évaluateurs anonymes pour les remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer ce manuscrit.

Bibliographie

BENABDALLAOUI Y., CHLAIDA M., & ZABARI M., 2001 – Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire de l'Oum Rbia (côte atlantique, Maroc). Bull. Inst. Sci., Rabat, section science de la vie, n° 23, pp : 71–76.

BENNASSER L., FEKHAOU M., & BOUACHRINE M., 1996 – Utilisation d'un nouvel indice dans l'évaluation de contamination métalliques des sédiments d'un cours d'eau pollué : le bas Sebou (Maroc). Bull. Inst. Sci., Rabat 20, pp : 142–145.

BENNASSER L.M., FEKHAOU M., & MAMELI O., 2000 – Assessment of the metallic contamination of the low Sebou sediments. Annali chimica 90 : pp : 637–644.

BRULAND K.W., & FRANKS R.P., 1983 – Mn, Ni, Cu, Zn, and Cd in the western North Atlantic, Zn Trace metals in seawater. NATO Conf. Ser. 4. Mar. Sci., V. 9, pp : 395–414.

BRYAN G.W., & LANGOSTON W.J., 1992 – Bioavailability, accumulation and effects heavy metals in sediments with special reference to united estuary. Environmental pollution, 76, pp : 89–131.

CHEN C.W., KAO C.M., CHEN C.F., & DONG C.D., 2007 – Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. Chemosphere, 66, pp : 1431–1440.

CONOR R., 1980 – Metals contamination of food. Applied sciences publishers (Ed). London, 290 p.

EL ABIDI A., IDRISSE L., TALEB H., AZIZI A., MAMELI O., & MELIS P., 2000 – The impact of lead pollution on the environment of Rabat-Salé (Morocco). Annali Chimica, 90, pp : 695–702.

EL MORHIT M., 2005 – Évaluation de la pollution métallique de la côte atlantique marocaine (port laâyoune, fougues de l'oued et laâsilia). Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies. Université Ibn Tofail. Faculté des sciences Kenitra, Maroc : 76 p.

EL MORHIT M., FEKHAOU M., SERGHINI A., EL BLIDI S., EL ABIDI A., BENNAKAM R., YAHYAOU A., & JBILOU M., 2008 – 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, pp : 39–47.

EL MORHIT M., FEKHAOU M., ELIE P., GIRARD P., YAHYAOU A., EL ABIDI A., & JBILOU M., 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), pp : 219–228.

EL MORHIT M., 2009 – Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences Ecotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse Doctorat en science, Université Mohammed V - Agdal, Rabat. IMIST. Series/Report N° Th-571.95/MOR : 33 p.

EL MORHIT M., FEKHAOU M., EL ABIDI A., & YAHYAOU A., 2012 – Contamination métallique des muscles de cinq espèces de poissons de l'estuaire du bas Loukkos et qualité de l'alimentation animale au Maroc (côte atlantique marocaine). ScienceLib., 4 : 1–21.

FADIL F., MAAROUF A., & ZAID A., 1997 – Utilisation de *Gammarus gauthieri* pour tester la toxicité des sédiments des eaux douces. Annales de Limnologie., 32, pp : 73–78.

FEKHAOU M., ABOU ZAID H., & FOUTLANE A., 1993– Etude de la contamination métallique des sédiments et des algues de l'oued Sebou soumis aux rejets de la ville de Fes (Maroc). Bull. Inst. Sci., 17, pp : 13–20.

FOUCART S. 1982 - Analyse factorielle. Programme sur ordinateur. Masson, Paris, France.

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*, 46, pp : 265–285.

GUERRA-GARCÍA, J. M., & GARCÍA-GÓMEZ, J. C., 2005 – Assessing pollution levels in sediments of a harbour with two opposing entrances : Environmental implications. *Journal of Environmental Management*, 77, pp : 1–11.

HAKANSON L., 1984 – Metals in fish and sediment from the river Kobacksan water system, qweden. *Arch. Hydro-biol.*, 101, pp : 373–400.

HATJE V., APTE S. C., HALES L.T., & BIRCH G. F., 2003 – Dissolved trace metal distribution in Port Jackson estuary (SydneyHarbour), Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 46, pp : 719–730.

IAEA., 1991 – Marine environnement laboratory. MESL Report. IAEA /080/IAEA / MEL/56, Wordwide Regional intercomparison for determination of trace elements in polluted marine sediment. IAEA–356, Monaco.

IP C.C.M., LI X. D., ZHANG G., WAI O.W.H., & LI Y.S., 2007 – Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China. *Environmental Pollution*, 147, pp : 311–323.

KUMAR A. A., DIPU S., & SOBHA V., 2011 – Seasonal Variation of Heavy Metals in Cochin Estuary and Adjoining Periyar and Muvattupuzha Rivers, Kerala, India. *Global Journal of Environmental Research*, 5 (1), pp : 15–20.

MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., & CLOOSTER M.V., 2011 – Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). *Larhyss Journal*, 09, pp : 149–169.

MEDDTL M., 2011 – Pollutions et qualité du milieu marin. Chapitre V. *Environnement littoral et marin*. 118 p.

METAYER C., AMIARD J.C., AMIARD-TRIQUET C., & BERTHET B., 1985 – Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau d'éléments traces (Cd, Pb, Cu et Zn) chez les moules et les huîtres de la baie de Bouregneuf. *Bull. Soc. Sc. Nat.*, 2, pp : 53–69.

MIQUEL M.G., 2003 – Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. « La qualité de l'eau et de l'assainissement en France ». Tome II – annexes. Sénat session ordinaire, N° 215, pp. : 23–24.

MODE A.W., ONOKWAI N.G., ONWUKA O.S., EKWE A.C., & OHA I.A., 2010 – Integrating geographic information system (GIS) and hydrochemistry for heavy metal pollution studies : The case of Ubeji and Omadino areas of Delta State, Southern Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 2(7), pp : 183–196.

MORRIS A.W., ALLEN J. I., HOWLAND R.J.M., & WOOD R.G., 1995 – The estuary plume zone : source or sink for land-derived nutrient discharges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40, pp : 387–402.

NABIL L., 2008 – Qualité des eaux des puits a Tétouan, cas de l'agglomération urbaine et peri-urbaine de Martil en situation hivernale (nord-ouest du Maroc). *Revue AFN Maroc*, 2-3, pp : 15–29.

NASSALI H., BEN BOUIH H., & SRHIRI A., 2002 – Influence des eaux usées sur la dégradation de la qualité des eaux du lac Fouarate au Maroc. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management. Tunis (EPCOWM') ; pp : 3–14.

NICOLADO A., & NOTT J. A., 1998 – Metal in sediment, Sea grass and Gasteropods near a Nickel smelter in Greece : possible interactions. Mar. Pollut. Bull., 36 (5), pp : 360–365.

OMS., 1980 – Les micropolluants dans les sédiments fluviaux. Organisation mondiale de la santé (OMS). Bureau régional de l'Europe Copenhague. Rapports et études EURO 61, 14 p.

PELLETIER M., 2005 – La contamination des sédiments par les toxiques. Le lac Saint-Pierre, dernière halte avant l'estuaire. Programme suivi de l'état du Saint-Laurent. Canada, pp : 4–5.

RNO. (Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin), 1995 – Programmes actuels, les contaminants dans la matière vivante, les métaux lourds dans les sédiments de la baie de Seine (campagne 1993). Travaux du RNO., 1998. Ifremer et ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, p : 36.

ROSSO A., LAFONT M., & EXINGER A., 1993 – Effets des métaux lourds sur les peuplements d'oligochètes de l'ILL et de ses affluents (haut Rhin, France). Ann. Limnol., 29 (3–4) pp : 295–305.

TAHIRI L., BENNASSER L., IDRISSE L., FEKHAOU 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., 40 (1), pp : 111–119.

U.S.E.P.A., 1986 – Recommended protocols for measuring trace metals in Puget sound sediments and tissue samples. Puget Sound protocols, prepared by tetra tech in. for the United States Environmental Protection Agency.

ZOURARAH B., MAANAN M., CARRUESCO C., AAJJANE A., MEHDI K., & CONCEIÇÃO FREITAS M., 2007 – Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 72, pp : 359–369.

Table des matières

<i>Influence des métaux lourds sur la qualité des sédiments de l'estuaire de l'oued Loukkos (N-O du Maroc)</i>	19
<i>Introduction</i>	20
<i>1 Matériel et méthodes</i>	21
1.1 Stations d'étude	21
1.2 Minéralisation et dosage des métaux lourds	22
1.3 Analyse statistique	22
<i>2 Résultats et discussion</i>	23
2.1 Analyse de variance (ANOVA) des éléments trace métalliques dans les sédiments	27
2.2 Typologie de la contamination métallique des sédiments	28
<i>Conclusion</i>	30