

Les métaux lourds dans les sédiments superficiels de la côte littorale de la région d'El Jadida et de l'estuaire d'Oum R'bia (MAROC)

Aziz KAIMOUSSI¹, A. CHAFIK², A. MOUZDAHIR¹ et S. BAKKAS¹.

¹- Laboratoire de Chimie Organique et Bioorganique, Département de Chimie, Faculté des Sciences, B.P., 20. 24000-El Jadida, Maroc.

²- URD " Etude des Polluants Chimiques ", Institut National de Recherche Halieutique (INRH), 2 rue de Tiznit Casablanca 04, Maroc.

ملخص

التواجد المعدني في الرواسب السطحية للساحل الأطلسي المحاذي لمنطقة الجديدة وخور وادي أم الربيع بمدينة أزموور (المغرب) : تهدف هذه الدراسة إلى معرفة نسبة التواجد المعدني في الرواسب السطحية للساحل الأطلسي المحاذي لمنطقة الجديدة وخور وادي أم الربيع بمدينة أزموور. وقد سمحت النتائج في المرتبة الأولى بتقييم توقع للتركيزات من Cd, Cu, Fe, Mn, Pb في الرواسب كذلك إعطاء فكرة حول مدى انتشارهم في مختلف المحطات التي شملتها الدراسة. وعموماً فإن هذه التركيزات المعدنية المتواجدة في الرواسب السطحية في المحطات سالفة الذكر ضئيلة مقارنة بنظيراتها في مناطق أخرى من العالم.

المفاتيح : التواجد المعدني، الرواسب السطحية، الساحل الأطلسي، الجديدة، المغرب

RESUME

Cette étude se propose d'évaluer la concentration métallique des sédiments superficiels de la côte littorale de la région d'El Jadida et de l'estuaire d'Oum R'bia de la ville d'Azemmour. Les résultats ont permis en premier lieu de présenter une estimation des concentrations en Cu, Zn, Fe, Mn, Pb et Cd dans les sédiments (fraction < 63mm) et de donner en suite une idée sur leur répartition dans les différents sites étudiés. Les concentrations métalliques relevées dans les sédiments superficiels présentent en général des valeurs plus faibles que celles provenant d'autres aires géographiques.

Mots-clés : Concentration, métaux, sédiment, littoral atlantique, estuaire.

ABSTRACT

Heavy metals in superficial sediments of the littoral coast of the region of El Jadida and Oum R'bia estuary (Moroccan atlantic coast) : In this study, we evaluated the metallic contamination of superficial sediments of the littoral coast of the region of El Jadida and Oum Rbia estuary of the city of Azemmour. The results allowed first of all to present an estimation of the concentrations in Cu, Zn, Fe, Mn, Pb and Cd in sediments and to give in continuation an idea onto their distribution in the various studied sites. The concentrations determined in superficial sediments present generally values lower than those resulting from the other geographic areas.

Key-words : Concentration, metal, sediment, atlantic littoral, estuary

INTRODUCTION

De nombreux travaux publiés au cours de la dernière décennie ont clairement montré le rôle important joué par les sédiments dans le cycle géochimique des polluants (Forstner et Wittman 1981 ; Robbe 1981 ; Salomons et Forstner 1984).

Dans le cycle hydro-chimique qui gouverne le devenir des éléments métalliques, au sein des systèmes aquatiques, les sédiments jouent un rôle primordial dans la mesure où ils constituent non seulement des vecteurs très importants, mais aussi les principaux réservoirs d'un grand nombre de métaux toxiques. De ce fait, ils sont considérés

comme intégrateur et traceurs de la pollution métallique.

La ville d'El Jadida, d'environ 150.000 habitants et future deuxième pôle industriel du Maroc, connaît depuis une décennie une transformation en profondeur à cause du développement de ces activités agricoles, touristiques et industrielles, en particulier celles liées aux phosphates et au port de Jorf Lasfar. Ces activités qui constituent désormais le principal atout pour son essor économique, peuvent avec la croissance démographique porter atteinte à l'exploitation de ses ressources marines (pêches, exploitation des algues, ostréicultures, ...), celui-ci est soumis à l'influence néfaste de nombreux rejets (industriels, urbains, agricoles...). Ce qui n'est pas sans conséquence, à plus ou moins long terme, sur la qualité du milieu marin de la région.

L'objectif de cette étude, qui s'inscrit dans le cadre du programme scientifique de l'Institut National des Recherches Halieutiques relatif à la surveillance de la pollution chimique sur les côtes marocaines, est d'évaluer le degré de pollution métallique dans les sédiments superficiels de la côte littorale de la région d'El Jadida et de l'estuaire d'Oum R'bia de la ville d'Azemmour.

MATERIEL ET MÉTHODES

Sites d'études

Milieu estuarien : Nous avons exploré la zone aval de l'estuaire d'Oum R'bia qui correspond à l'embouchure du fleuve en se jetant dans l'océan atlantique. L'intérêt de l'embouchure réside dans le fait qu'elle représente la zone de convergence du réseau hydrographique du bassin versant correspondant par laquelle sont véhiculés vers la mer des apports de taille et de nature variées. Les trois stations étudiées sont (figure 1) :

S1 : station située au voisinage de l'ancien pont (3,5 km par rapport à la mer) ;

S2 : station située au voisinage du collecteur principal C1 « recevant les eaux usées domestiques » (2 km par rapport à la mer) ;

S3 : station située à l'embouchure de l'estuaire à 500 m de la mer.

Milieu côtier : Nous avons cherché à repérer les endroits où se déversent les différents collecteurs urbains et industriels. L'échantillonnage est effectué de manière à cerner les zones influencées par ces collecteurs en vue d'estimer leur impact sur le milieu physique et vivant. Les stations étudiées sont (figure 1) :

S4 : située à proximité du collecteur C2 « Collecteur recevant un mélange d'eaux usées domestiques et industrielles » ;

S5 : située à proximité du collecteur C4 « Collecteur recevant un mélange d'eaux usées domestiques et médicales » ;

S6 : située à proximité du collecteur C6 « Collecteur liquide du complexe chimique de Jorf Lasfar recevant les eaux de mer » ;

S7 : située à proximité du collecteur C7 « Collecteur solide-liquide du complexe chimique de Jorf Lasfar recevant les phosphogypses ».

Echantillonnage des sédiments.

Le prélèvement des sédiments superficiels de l'estuaire d'Oum R'bia et la zone côtière d'El Jadida a été effectué à l'aide d'une spatule durant l'année 1995

Analyse physico-chimiques

La granulométrie a été effectuée grâce à la pipette de Robinson dans le but d'évaluer l'importance pondérale relative des différentes classes de particules. Humidité, pH, Conductivité électrique (C.E), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), azote total kjeldahl (NTK), phosphore total (Pt), matière organique (M.O), chlorures (Cl^-) ont été déterminés selon AFNOR (1987).

N-NH_4^+ : il est extrait du sol par une solution de CaCl_2 et dosé après distillation en présence d'oxyde de magnésium dans l'acide borique par l'acide sulfurique.

N-NO_3^- : dans les matras de Kjeldahl servant précédemment à la distillation des ions ammonium, on ajoute l'alliage de Dewarda qui conduit à la réduction des NO_3^- jusqu'aux ammonium, ceux-ci sont dosées après distillation dans l'acide borique par l'acide sulfurique.

Principe de la minéralisation :

Il repose sur la calcination dans un four à moufle de 0,5 g de sédiment (fraction $< 63 \mu\text{m}$) finement broyé à 450 °C pendant 4 heures. Le résidu obtenu est mis en solution dans un bécher en Téflon par l'acide fluorhydrique (HF) dilué à 50% puis chauffé à sec sur un bain de sable. La dissolution du résidu est réalisée avec 7,5 ml de l'acide chlorhydrique (HCl) à 37% et 2,5 ml de l'acide nitrique (HNO_3) à 63%. La solution obtenue est filtrée et le volume est amené à 100 ml puis conservé à 4 °C jusqu'à l'analyse.

Le dosage des éléments métalliques est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer 3100 ; Flamme air-acétylène) équipé d'un four graphite (Perkin Elmer HGA-600/700). La méthode est testée par des dosages métalliques sur un échantillon de l'Agence Internationale à l'Energie Atomique de Monaco. Les marges d'erreurs obtenues pour les métaux analysés varient de 4% à 15%.

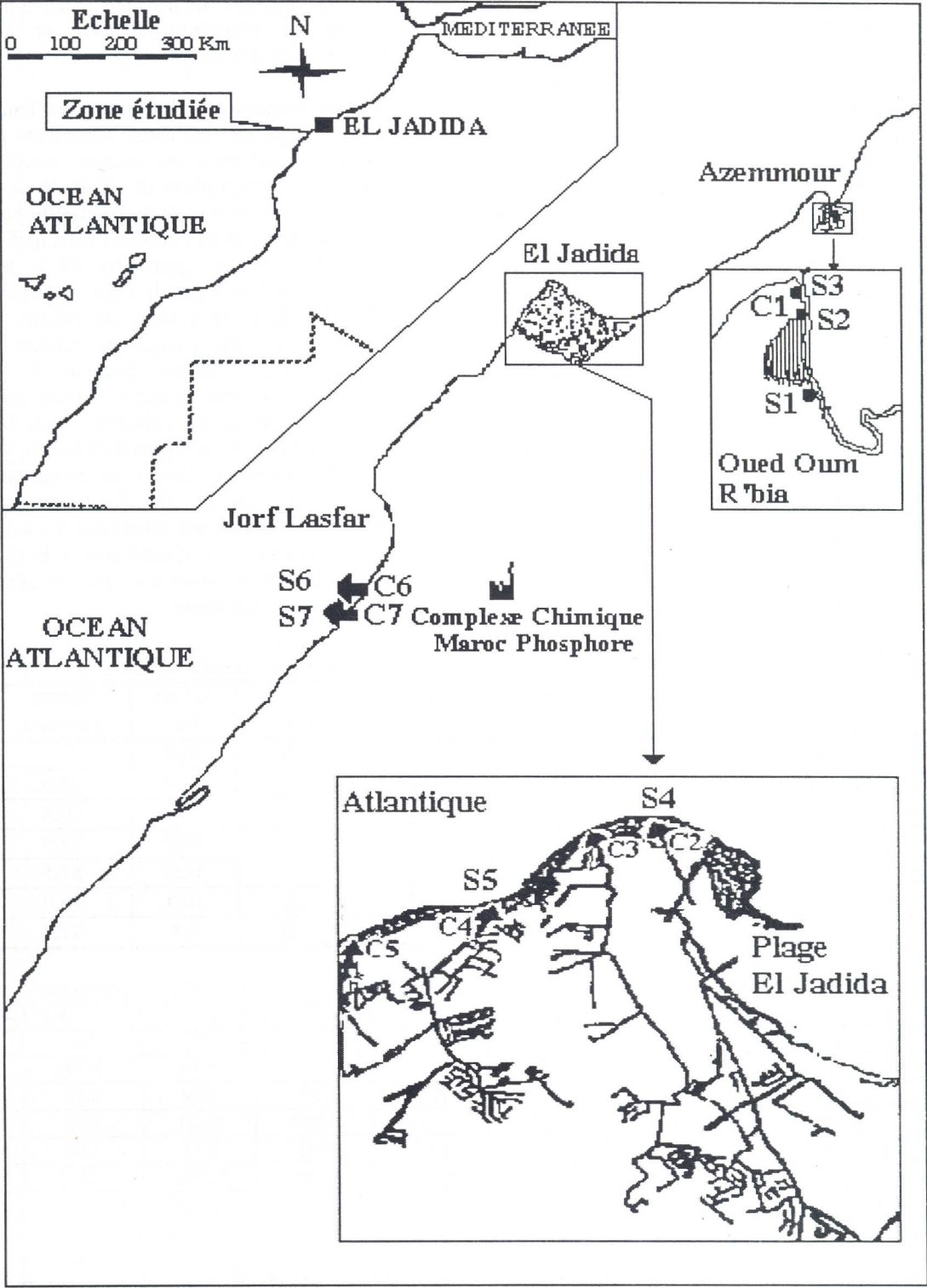


Figure 1 : Localisation des sites de prélèvement des sédiments et les collecteurs de Jorf Lasfar, El Jadida et Azemmour (Maroc)

RESULTATS

Aperçu sur la nature géologique des sites :

D'après l'analyse granulométrique, les sites S1, S2 et S3 présentent un sédiment sableux (riches en sables fins), les sites S4, S5, S6 et S7 ayant des sédiments aussi sableux (riches en sables grossiers) (classification de l'emberger 1975)

Caractérisation physico-chimique des sédiments

pH : l'analyse physico-chimique des sédiments montre que leur pH, pour les différents sites étudiés, est voisin de la neutralité (à légèrement basique) à l'exception du site S7 du Jorf Lasfar. Le pH de ce dernier est moyennement acide (5,8) à cause du rejet liquide/solide du complexe Maroc Phosphore (Jorf Lasfar) qui se déverse au voisinage immédiat de ce site avec un pH voisin de 1,9 (Kaimoussi 1996 ; Kaimoussi et al. 2001).

Azote total (NTK) et minéral : les sédiments sont assez riches en azote total pour les différents sites (sauf le site S6 et S7 de la région du Jorf Lasfar).

Phosphore : il se trouve en teneur faible au niveau des sédiments pour tous les sites étudiés sauf les

sites S6 et S7 qui sont riches en cet élément. Ce qui est en relation avec l'usine du Maroc Phosphore III et IV. Le rejet de cette dernière présente des teneurs élevées en phosphore (Chafik et al. 1996 ; Kaimoussi et al. à paraître).

Matière organique : l'évolution des teneurs de la matière organique est assez importante et dépend des caractéristiques du secteur considéré. Les valeurs relevées varient de 16,29 % à 27,76 %. Dans l'estuaire, la plus forte valeur est obtenue dans la station S2 (près du collecteur principal de la ville d'Azemmour). Ceci peut être dû à la matière organique apportée par le rejet domestique de la ville. Près de l'embouchure, ces valeurs montrent une baisse notable à cause du courant important d'eau (à marée basse) combiné à l'effet du déversoir. Ces deux facteurs peuvent exercer une action de vannage du sédiment. Dans le cas des stations côtières de la région d'El Jadida, les valeurs sont plus au moins faibles en comparaison avec l'estuaire, ce qui est dû, d'une part au courant important de la mer qui débarrasse les sédiments de débris organiques et d'autre part à la texture des sédiments (sables grossiers) qui, en général, fixe peu la matière organique.

Tableau I : Analyses granulométriques du sédiment (en g/100g de sédiments).

	Sites	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Limons totaux	Sables fins	Sables grossiers	Sables totaux
Estuaire d'Azemmour	S1	3,0	1,3	2,5	3,8	90,0	5,4	95,4
	S2	1,3	1,2	2,0	3,2	70,4	25,6	96,0
	S3	1,8	1,2	1,5	2,7	76,2	20,8	97,0
El Jadida	S4	4,3	1,5	1,5	3,0	19,7	73,9	93,6
	S5	3,0	2,3	2,2	4,5	14,6	81,1	95,7
Jorf Lasfar	S6	3,6	2,3	3,7	6,0	16,4	76,0	92,4
	S7	3,0	1,8	2,2	4,0	0,8	93,0	93,8

Tableau II : Caractérisation physico-chimique des sédiments (en mg/100g de sédiments).

	Estuaire d'Azemmour			El Jadida		Jorf Lasfar	
Paramètres	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
pH (eau)	8.36	8.62	8.51	7.78	8.34	8.57	5.8
pH (KCl)	8.25	8.55	8.53	7.87	8.54	8.72	5.76
H (%)	14.18	11.49	13.21	17.92	16.21	9.05	15.22
C.E (ms/cm)	1.07	0.98	1.67	0.93	0.71	1.99	2.04
NTK (%)	0.247	0.292	0.318	0.445	0.2934	0.077	0.119
N-NH ₄ ⁺ (%)	1.3310 ⁻³	-	2 10 ⁻³	14 10 ⁻³	13 10 ⁻³	-	2.2410 ⁻³
N-NO ₃ ⁻ (%)	-	-	-	-	-	3.3 10 ⁻³	2.4810 ⁻³
C.O (%)	11.82	16.1	12.13	9.79	10.12	16.41	10.59
M.O (%)	20.4	27.8	20.91	18.9	17.45	18.29	16.26
Ca ²⁺ (mg/100g)	50	708	60	100	75	100	98
Mg ²⁺ (mg/100g)	118	70	73	113	61	122	202
Cl ⁻ (mg/100g)	11763	9811	19021	12884	15017	20022	20723
Pt (mg/100g)	0.29	0.32	0.30	0.36	0.88	1.54	2.96
TA (mg/100g)	12	-	12	-	30	30	-
TAC (mg/100g)	110	55	122	211	244	305	281

Tableau III : Variation de la concentration des métaux (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb et Cd) dans les sédiments (fraction < 63 μm) de la région d'El Jadida et l'estuaire Oum R'bia de la ville d'Azemmour ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec). L.D : Limite de Détection

	Sites	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd
Estuaire d'Azemmour	S1	11-22 16 $\pm$ 5,5	23-54 42 $\pm$ 16	2945-3825 3382 $\pm$ 440	289-625 456 $\pm$ 168	21-36 27 $\pm$ 7,9	< L.D
	S2	16-36 27 $\pm$ 10	30-69 44 $\pm$ 22	2923-4521 3523 $\pm$ 870	181-321 234 $\pm$ 76	26-54 36 $\pm$ 15,6	< L.D
	S3	5-12 8,5 $\pm$ 3,5	27-45 34 $\pm$ 9,3	2723-3595 3120 $\pm$ 441	159-225 193 $\pm$ 33	16-31 22 $\pm$ 7,9	< L.D
El Jadida	S4	60-112 91 $\pm$ 27	175-375 250 $\pm$ 109	2625-4012 3178 $\pm$ 735	55-95 70 $\pm$ 22	180-322 241 $\pm$ 72	0,35-0,7 0,5 $\pm$ 0,18
	S5	27-49 39 $\pm$ 11	90-210 154 $\pm$ 60	2461-3425 2945 $\pm$ 482	45-73 62 $\pm$ 15	84-160 120 $\pm$ 38	0,75-1,30 1 $\pm$ 0,27
Jorf	S6	0,7-2,4 1,3 $\pm$ 0,9	9,5-18 15 $\pm$ 4,8	805-1325 1085 $\pm$ 262	14-25 21 $\pm$ 6,1	29-41 36 $\pm$ 6,24	0,96-1,85 1,5 $\pm$ 0,47
Lasfar	S7	0,9-2,1 1,3 $\pm$ 0,6	3,5-12,4 7 $\pm$ 4,7	200-324 254 $\pm$ 63	2,9-5,9 4,1 $\pm$ 1,6	18-39 27 $\pm$ 11	0,61-1,49 1 $\pm$ 0,45

Conductivité électrique et Sels minéraux : la conductivité électrique renseigne sur la teneur en sels dans les sédiments. Les résultats (tableau II) montrent que la présence en sels est importante pour les différentes stations d'études, de même la conductivité électrique varie généralement dans la même sens que les sels. La présence des sels (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) dans les sédiments est importante pour les différentes stations de prélèvement, au fur et à mesure que la teneur en ions Cl^- augmente, la conductivité augmente aussi. Ces teneurs élevées des sédiments en sels sont en principe, liées d'une part à leur position par rapport à l'eau de mer et d'autre part à la nature du rejet.

Teneur des métaux lourds dans les sédiments :

Cu : dans le cas de l'estuaire d'Oum R'bia, la concentration du cuivre varie entre 8,5 et 16 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec. La station S2 présente un taux élevé en cet élément par rapport à la station S3. Ce qui s'explique par un apport massif des rejets urbains domestiques de la ville d'Azemmour. Par ailleurs, les plus fortes concentrations en cuivre sont celles des stations de la ville d'El Jadida (91,1 et 38,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec respectivement pour les stations S4 et S5). Par contre, les deux stations du Jorf Lasfar marquent les plus faibles valeurs (1,35 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec). Ces résultats montrent donc que la station située au voisinage immédiat des collecteurs domestiques et industriels présentent des teneurs considérables en Cu. Ce qui confirme que ce dernier est considéré comme un polluant urbain.

Zn : la plus forte concentration de Zn dans l'estuaire est celle de la station S2 (42,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec) renforce l'hypothèse d'un apport urbain

massif de cet élément. De même que le Cu, les plus fortes valeurs du Zn sont enregistrées dans la ville d'El Jadida (250 et 154 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour les stations S4 et S5). Les plus faibles valeurs sont obtenues dans la région du Jorf Lasfar (15 et 7 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour les stations S6 et S7).

Fe : les valeurs les plus élevées du Fe sont obtenues dans les trois stations de l'estuaire d'Oum R'bia (3523, 3382 et 3120 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec respectivement pour les stations S2, S1 et S3). Pour les stations de la ville d'El Jadida, on a 3178 et 2945 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour les stations S4 et S5. Par ailleurs, les plus faibles valeurs sont obtenus dans la région du Jorf Lasfar avec 1085 et 254 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour les stations S6 et S7. Ces résultats montrent que les valeurs les plus élevées sont celles des stations qui présentent un taux de matière organique élevé et qui jouent le rôle d'un support pour la précipitation du Fe.

Mn : contrairement aux autres métaux, les plus fortes concentrations du Mn sont détectées à l'estuaire d'Oum R'bia avec des valeurs croissantes de l'amont vers aval (456, 234 et 193 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour les stations S1, S2 et S3). Les deux stations de la ville d'El Jadida S4 et S5 présentent des valeurs inférieures à celles obtenues à l'estuaire (91 et 39 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour les stations S4 et S5). Par ailleurs, les deux stations de Jorf Lasfar enregistrent 20 et 4 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec respectivement pour les stations S6 et S7. Ce qui témoigne que le Mn pourrait être considéré comme polluant d'origine continentale.

Cd : Presque toutes les stations étudiées présentant de très faibles valeurs en Cd à l'exception de la station S6 et S7 (teneur maximale est de 1,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec pour la stations S7).

Pb : ses valeurs dans les trois stations de l'estuaire et les deux stations du Jorf Lasfar varient entre 27 et 36 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec. Les plus fortes sont celles

obtenues dans les deux stations d'El Jadida (241 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec dans la stations S4 et 121 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec dans la stations S5).

DISCUSSION

Boust et al. (1981), parmi d'autres, a montré que les teneurs en éléments métalliques des sols et des sédiments sont liées à la taille des particules, aux concentrations en argile et à la matière organique contenue dans ces matériaux. Les particules fines, les argiles et la matière organique sont, en effet, capables de piéger et de concentrer les métaux lourds par des mécanismes d'adsorption et de complexation. A l'estuaire, on a pu montrer que l'essentiel des éléments dosés (Cu, Zn et Pb) est particulièrement bien représenté au milieu de l'estuaire où la pollution organique est intense (l'apport intense des particules organiques par les rejets égouts se jetant dans cette zone fournit un support privilégié aux métaux). En plus, l'existence au niveau des stations de l'estuaire, en particulier pour la station S2, d'une couche noirâtre tapissant la surface de ces zones est liée à l'enrichissement des sédiments en matière organique. Les teneurs en métaux enregistrent une chute dans la station S3 qui pourrait être liée au vannage exercé par le déversoir des sédiments à cause des courants forts à marée descendante. Ceci appauvrit le substrat en particules fines qui pourront piéger les métaux.

La teneur du Zn, du Pb et du Cu montre, par contre, une augmentation dans les sédiments marins et à un degré moindre dans ceux de l'estuaire. Le comportement des métaux est différent selon le milieu considéré et la nature de leur support. Cette forte concentration dans les stations de la ville d'El Jadida est en rapport avec l'existence de rejets égouts à fort débit, dans la zone littorale de la ville d'El Jadida. En outre, une source naturelle (origine continentale), au moins en amont, n'est pas à écarter à l'estuaire. A l'exception des stations du Jorf Lasfar, la présence du Fe en quantité relativement importante est probablement due au contexte géologique de la région, affleurement des terrains permo-triasiques dans le secteur de Sidi Saïd Mâachou, auquel pourrait s'ajouter l'influence des activités humaines.

Le Mn montre des affinités plus continentales au point où l'on considère comme traceur des apports continentaux. Il présente un gradient de concentration croissant de l'amont à l'aval dans le cas de l'estuaire d'Oum R'bia (Cheggour et al. 2000).

Néanmoins, la charge métallique d'un sédiment peut avoir, quelque soit son origine, la possibilité de mobilisation en relation avec d'éventuelles modifications mécaniques, physiques,

chimiques ou biologiques du milieu (ARNOUX et al. 1981). Cependant, la station du Jorf Lasfar présente des faibles concentrations en métaux étudiés. Ceci peut être en relation avec la nature du collecteur raccordé à cette zone (pH est en moyenne de 1,9 KAIMOUSSI et al. 2001). En plus, la caractérisation physico-chimique des sédiments du Jorf Lasfar montre que le pH est de l'ordre de 5,8. Cette acidité du milieu favorise la dissolution des métaux et leur transformation en forme ionique qui est la forme la plus toxique (ALLOWY 1990). En plus de la nature des particules sédimentaires, leur dimension intervient dans la fixation des ions métalliques. Sous l'influence des variations des propriétés physico-chimiques du milieu, les micropolluants peuvent repasser dans la phase aqueuse et créer ainsi une vague de pollution. Ce phénomène est surtout vrai pour les métaux plus solubles en milieu acide. Ces constatations montrent que les comportements des métaux diffèrent selon le milieu considéré et conduisent ainsi à rechercher la nature de leur support. En plus des facteurs hydrodynamiques (à savoir principalement le débit fluvial), l'amplitude de la marée et les apports urbains et continentaux conditionnent aussi la répartition des éléments métalliques dans les sédiments.

CONCLUSION

La répartition des métaux lourds dans la fraction fine des sédiments superficiels de l'estuaire d'Oum R'bia est par ordre décroissant : $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$. Les concentrations du Cu, Fe et du Zn varient proportionnellement avec la teneur en matière organique dans les sédiments.

Dans la zone d'El Jadida, on a constaté que les effets des effluents industriels et urbains sont circonscrits dans les sédiments avoisinants du point de déversement. Les métaux sont présents selon l'ordre décroissant suivant $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} \approx \text{Mn} > \text{Cd}$. Les concentrations en métaux lourds des sédiments marins et côtiers se situent dans la fourchette des valeurs données par le GESAMP (1988). En outre, les apports en métaux ne suscitent pas de grande préoccupation si on les rapporte à des sédiments d'autres régions du globe (Tableaux IV et V).

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR. (1987). --- Analyse des soles. ISBN 2-12-213 111-X, 1^{ère} édition, 133 p.
- ALLOWAY B.J. (1990). --- Heavy metal in soils. Senior lecturer in environmental science, Queen Mary and west field college, University of London.
- ANGELIDIS M.O., ALOUPI M., 1995 - Metals in sediments of Rhodes Harbour, Greece. Mar. Pollut. Bull. 31(4-12) : 273-276.

Tableau IV : Comparaison des concentrations des métaux dans les sédiments marins côtiers (fraction < 63 µm) de la côte littorale Atlantique de la région d'El Jadida avec d'autres zones côtières du globe (µg.g⁻¹ de poids sec).

Localisation des sites	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Références
Port Said - Egypte	14	50	25000	--	--	3,2	BINEY 1994
Kaohsiung - Taiwan	330	1447	41625	408	--	2,05	CHEN et CHEN 1999
Portman - Espagne	237	--	--	--	421	10	BONNEVIE et al. 1994
Rhodes - Grèce	91,1	226	2033	146	178	0,03	ANGELIDIS et ALOUPI 1995
Sydney - Australie	7	30	--	30	14	0,15	GRAY 1996
Portman - Espagne	44,9	8970	216,7	--	6230	18,8	DUTRIEUX 1997
Côte Française	30	90			30	0,15	RNO, 1998
El Jadida- Maroc	65	202	3062	65,7	181	0,75	Présente étude
Jorf Lasfar- Maroc	1,35	11	669,5	12,3	31,2	1,25	--

Tableau V : Comparaison des concentrations des métaux dans les sédiments (fraction < 63 µm) de l'estuaire d'Oum R'bia avec d'autres zones estuaires du globe (µg.g⁻¹ de poids sec).

Localisation des sites	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Références
Rhine - Suisse	192	903	--	--	251	--	FORSTNER et MULLER 1973
Tyne - U.K	92	421		395	187	2,2	BRYAN et LANGSTON 1992
Gannel - U.K	150	940		649	2753	1,4	
Poole - U.K	50	165		185	96	1,85	
Nil - Egypte	85,6	139	460	387	--	--	BINEY et al. 1994
Mersey - Angleterre	40	241,8	--	--	65,43	0,83	HARLAND et al. 2000
Pearl - Chine	40,9	115	--	--	59,5	--	LI et al. 2000
Oum R'bia - Maroc	17	40	3342	294	28	< L.D	Présente étude
Sédiment non pollué	33	95	41000	770	19	--	GESAMP, 1988

- ARNOUX A. NIENCHENSKI L.P. et TASSOSIAN J. (1981). --- Comparaison de quelques méthodes d'attaques des sédiments marins pour l'analyse des métaux lourds. J. Français Hydrol., 34 : 29-48.
- BINEY C. AMUZU A.T. CALAMARI D. KABA N. MBOME I.L. NAEVE H. OCHUMBA O. OSIBANJO O. RADEGONDE V. et SAAD M.A.H. (1994). --- Etude des métaux lourds. Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain. Document Technique du CPCA. 37-67.
- BONNEVIE N.L. HUNTLEY S.L. FOUND B.W. et WENNING R.J. (1994). --- Trace metal contamination in surficial sediments from Newark Bay, New Jersey. Sci. Total Environ. 144 : 1-16.
- BOUST D. JOUANNEAU J.M. et LATOUCHE Cl. (1981). --- Méthodologie d'interprétation des teneurs totales en métaux traces contenues dans les sédiments estuariens et littoraux. Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, 30 : 71-86.
- BRYAN G.W. et LANGSTON W.J. (1992). --- Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediment with special reference to United Kingdom estuaries : a review. Environ. Pollut. 76 : 89-131.
- CHAFIK A. CHEGGOUR M. et KAIMOUSSI A. (1996). --- Etude préliminaire de l'impact des activités de traitement et transformation des phosphates sur le milieu marin : cas Jorf Lasfar. Trav. Doc., Inst.Nat.Rech.Halieu. 94 : 17 p.
- CHEGGOUR M. LANGSTON W.J. CHAFIK A. TEXIER H. KAIMOUSSI A. BAKKAS S. et BOUMEZZOUGH A. (2000). --- Metals in the bivalve molluscs *Scrobicularia plana* (DA COSTA) and *Cerastoderma edule* (L.) and associated surface sediment from Oum R'bia estuary (Moroccan atlantic coast). Toxicol. Environ. Chem. 77 : 49-73.
- CHEN M.-H. et CHEN C.-Y. (1999) . --- Bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Grey Mullet *Liza macrolepis*. Mar. Pollut. Bull., 39(1-12) : 239-244.
- DUTRIEUX S. (1997). --- Etude du rôle bioindicateur de contamination par les métaux lourds de l'holothurie *Holothuria tubulosa*, espèce-clé des herbiers à *Posidonia oceanica* de Méditerranée. Master Thesis, Brussels, ULB, 38.
- EMBERGER L. (1975). --- Une classification biogéographique des climats. I.N.R.A., Maroc, 7 : 3-43.
- FÖRSTNER U. et MÜLLER G. (1973). --- Heavy metal accumulation in river sediments, a response to environmental pollution. Geoforum, 14 : 53-62.
- FÖRSTNER U. et WITTMANN G. T. W. (1981). - -- Metal pollution in the aquatic environment- 2nd ED., Springer-Verlag, Berlin.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). (1988). --- Review of potentially harmful substances- Arsenic, mercury and selenium. Rep. Stud. GESAMP., 28 : 172p. et UNEP Reg. Seas. Rep. Stud. 92 : 172 p.
- GRAY L. A. (1996). --- Metal contamination of sediments associated with deepwater ocean sewage outfalls, Sydney, Australia. Mar. Pollut. Bull. 33 (7-12) : 182-189.
- HARLAND B.J. TAYLOR D. WITHER A. (2000). --- The distribution of mercury and other trace metals in the sediments of the Mersey estuary over 25 years 1974-1998. Sci. Total Environ. 253 : 45-62.
- KAIMOUSSI A. (1996). --- Etude de la variabilité de l'accumulation des métaux lourds dans les différents compartiments (sédiments, mollusques et algues) du littoral de la région d'El Jadida. Thèse 3ème Cycle, Univ. Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences. El Jadida, 147 p.
- KAIMOUSSI A. CHAFIK A. CHEGGOUR M. MOUZDAHIR A., BAKKAS S. --- Variations saisonnières de la concentration des métaux (Cd, Cu, Zn, Fe et Mn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la région d'El Jadida (Maroc). Marine life (sous presse).
- KAIMOUSSI A. CHAFIK A., MOUZDAHIR A. BAKKAS S. (2001). --- The Impact of industrial pollution on the Jorf Lasfar coastal zone (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel as an indicator of metal contamination. C. R. Acad. Sci. Paris, 333 : 337-341.
- LI X. WAI O.W.H. LI Y.S. COLES B.J. RAMSEY M.H. THORNTON I. (2000). --- Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl river estuary, south China. Applied Geochem. 15 : 567-581.
- RNO. (1998). --- Surveillance du milieu marin. Travaux du RNO. Edition 1995. Ifremer et Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, 52p
- ROBBE D. (1981). --- Pollution métallique du milieu naturel. Guide méthodologique de leur étude à partir des sédiments; rapport bibliographique. L.C.P.C., Rapport de recherche LPC N° 4.
- SALOMONS W. et FÖRSTNER U. (1984). --- Metals in hydrocycle- 2nd ED., Springer-Verlag, Berlin.