

Impact des émissaires et canalisation sur l'environnement de la baie de Tanger (Maroc) : approche géochimique

Imane EL HATIMI¹, Mohammed ACHAB² & Bouchta EL MOUMNI¹

1. Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences de la Terre, Groupe GOEM, B.P. 416, Tanger, Maroc. e-mail : ielhatimi@yahoo.fr; bmoumni@yahoo.fr

2. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Géomorphologie et Cartographie, B.P. 703 Agdal, Rabat, Maroc. e-mail : achab@israbat.ac.ma

Résumé. Dans le but d'évaluer le degré de contamination chimique et/ou organique des sédiments superficiels le long des émissaires continentaux, des échantillons de sédiments de surface ont été prélevés et analysés le long des oueds Souani et Mghogha et au niveau de la canalisation majeure de la ville de Tanger débouchant sur la baie située sur la marge méditerranéenne marocaine. La dynamique sédimentaire dans les oueds montre exceptionnellement une évolution amont-aval granocroissante en relation avec l'activité anthropique (remblaiement des bassins versants par les matériaux de construction tels que les briques, ciments, verres, etc.). La matière organique est présente à des teneurs relativement élevées en corrélation positive avec la sédimentation fine. L'azote total montre une évolution parallèle à la matière organique avec des teneurs élevées, notamment à proximité des rejets urbains. Les six métaux lourds analysés dans les sédiments superficiels se trouvent à des concentrations variables relativement fortes : Zn < Cr < Pb < Ni < Cu < Cd. L'étude corrélatrice de ces éléments métalliques confirme l'origine anthropique et naturelle des métaux rencontrés de préférence dans la fraction fine à des concentrations élevées.

Mots-clés : Maroc, Méditerranée occidentale, Tangérois, baie de Tanger, sédimentologie, géochimie organo-minérale, pollution.

Impact of emissaries and canalisation on the environment of the bay of Tangiers (Morocco): a geochemical approach.

Abstract. Several samples collected from two main rivers (Souani and Mghogha) and the largest pipeline of Tangier's city that pours into Tangiers bay (Mediterranean Moroccan margin), were analysed with the objective of evaluating the chemical and/or organic contamination degree of superficial sediments present along these continental emissaries. The sedimentary dynamics of these rivers show coarsening upstream evolution, influenced by the urban and industrial liquid and solid discharges (infilling basin side with building materials such a bricks, cement, glass, etc.). Organic matter is present with high concentration, showing a positive correlation with the sediment fine fraction. Total Nitrogen displays a parallel evolution with the organic matter, with especially high concentrations near the urban sewage. The six heavy metals analyzed in the superficial sediments, show variable but relatively high concentrations, mainly in the fine fraction, with Zn < Cr < Pb < Ni < Cu < Cd. The correlative study of these metallic elements prove their double anthropogenic and natural origin.

Key words: Morocco, western Mediterranean, Tangiers, bay of Tangiers, sedimentology, organic-mineral geochemistry, pollution.

INTRODUCTION

La pression urbaine et touristique ainsi que la poussée industrielle du littoral méditerranéen a conduit à l'augmentation de la pollution anthropique, véhiculée par voies telluriques, des eaux marines et estuariennes engendrant une dégradation de la qualité des plages. Or, ces pressions multiples exercées sur le littoral, constituent un fait généralisé à l'échelle mondiale. Le Maroc n'échappe pas à cette évolution. Il bénéficie dans certains cas de zones parfaitement conservées et dans d'autres, il inspire une forte inquiétude.

En effet, l'équilibre métastable et l'interférence entre des facteurs multiples (facteurs naturels : dynamique fluviale, éolienne et marine, d'une part, et facteurs anthropiques d'autre part), se transforme généralement en une situation de déséquilibre total pour le milieu physique instable qu'est le littoral. C'est le cas des plages où d'importants ouvrages ont été consentis pour la promotion touristique et balnéaire, notamment celle de la baie de Tanger.

La position géographique particulière de la baie de Tanger (Fig. 1) entre la mer Méditerranée et l'océan Atlantique, en

plus de son ouverture sur le continent européen, font que ce domaine marin se trouve particulièrement vulnérable à toute sorte de pollution (pélagique et tellurique). Elle prend des aspects divers dont certaines formes sont très dangereuses aussi bien pour la faune et la flore aquatique que pour la santé de l'homme.

Jusqu'à présent, peu de travaux ont traité le problème de la contamination chimique (métaux lourds) et/ou organique des cours d'eau. Ce dernier est lié essentiellement aux rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles abîmant annuellement le domaine marin côtier de la baie de Tanger. L'objectif du présent travail est de déterminer l'impact des apports des principaux émissaires continentaux et canalisation majeure de Tanger sur l'environnement marin côtier de la baie.

Afin d'évaluer les différentes sources de pollution côtière, le carbone organique, l'azote total et certains éléments traces (Cr, Zn, Pb, Ni, Cu et Cd) ont été déterminés dans de nombreux sédiments superficiels des principaux oueds débouchant dans la baie et au niveau de la canalisation majeure.

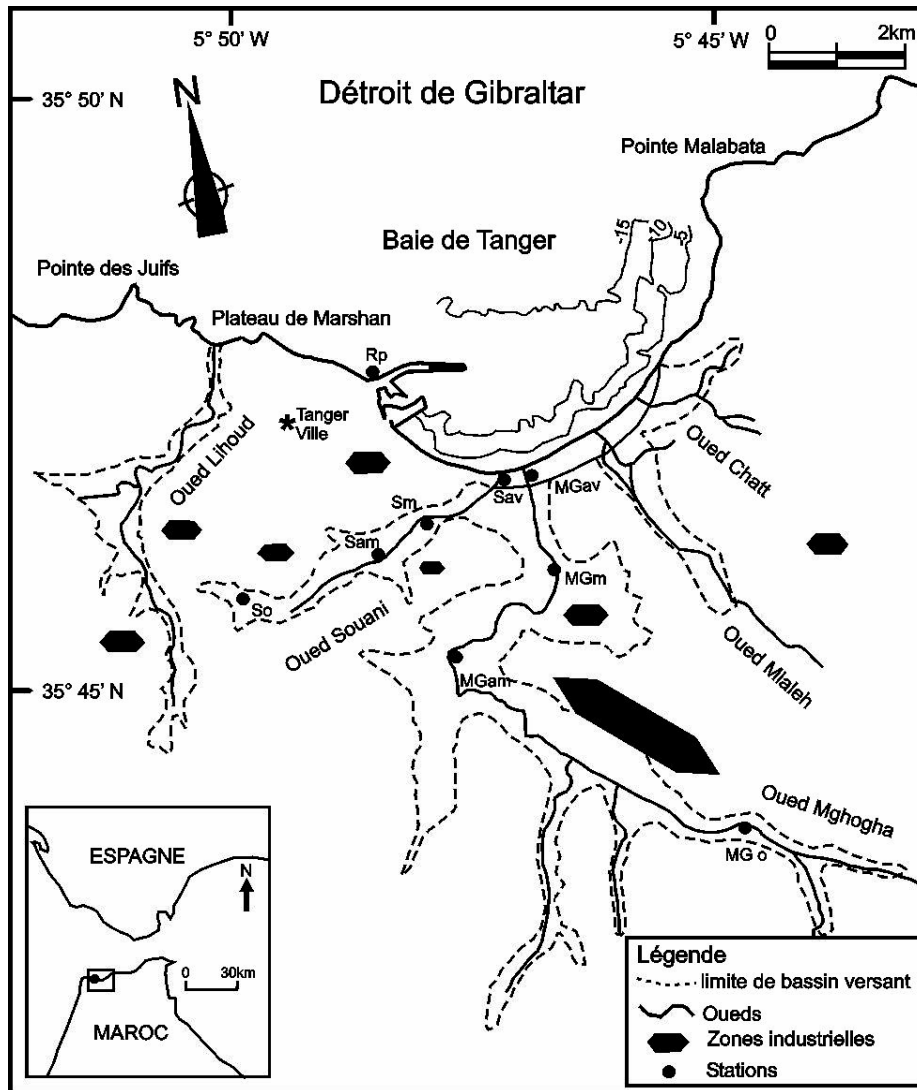


Figure 1. Situation de la zone d'étude et stations d'échantillonnage.

SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude appartient au tronçon nord-occidental de la chaîne rifaine (Suter 1980). Elle se situe à l'extrémité occidentale de l'arc rifain sur la rive méridionale du détroit de Gibraltar, comprise entre les latitudes 35° 44' et 35° 49' N et les longitudes 5° 45' et 5° 49' W (Fig. 1). La région de Tanger est caractérisée par la superposition de plusieurs nappes de charriage (les nappes de Melloussa, Beni Ider, Tisirène et la nappe numidienne) de nature et d'âge différents, reposant sur l'unité de Tanger essentiellement marno-schisteuse (Durand Delga *et al.* 1962). La baie de Tanger, différenciée sous l'effet de la néotectonique (Boughaba 1992), est encadrée par la Pointe des Juifs à l'ouest et le Cap Malabata à l'est dans un domaine à armature de marnes et de marno-calcaires (Jaaidi *et al.* 1993).

La baie de Tanger accueille un réseau hydrographique assez dense sous forme d'oueds à faible débit qui traversent la ville de Tanger du sud au nord (Fig. 1). Généralement ces cours d'eau sont caractérisés par leur petit bassin versant de forme trapue et leur développement linéaire très court (Fig.

1), et surtout par leur débit moyen interannuel faible (23,5 l/s) (R.A.I.D. 1994). La non-pérennité de leur débit est remarquable surtout dans leur cours amont, alors qu'en aval ils sont presque pérennes en raison du drainage des eaux usées de la ville. En outre, ces oueds peuvent avoir un apport considérable en eau durant les saisons pluvieuses (hiver-printemps) ou lors des périodes d'averses causant de fortes crues (L.C.H.F. 1971), souvent capables d'inonder les quartiers dans les zones basses (vallées) de la ville, à cause de l'imperméabilité du sol et des fortes pentes des collines environnantes.

Les principaux cours d'eau qui traversent les zones urbanisées et industrialisées de la ville de Tanger et qui font l'objet de notre étude sont l'oued Mghogha, qui est sur le plan hydrologique et hydraulique, le plus important de Tanger ; il culmine à 415 m d'altitude avec une longueur de 17 km et une superficie de bassin versant de 74 km², avec une pente moyenne de 1,2%, et l'oued Souani, à très faible écoulement car il est fonction des précipitations, qui s'étend sur une longueur de 3 km et se développe dans un bassin strictement urbain de très faible extension (11 km²) constitué des basses collines de la ville (L.C.H.F. 1972).

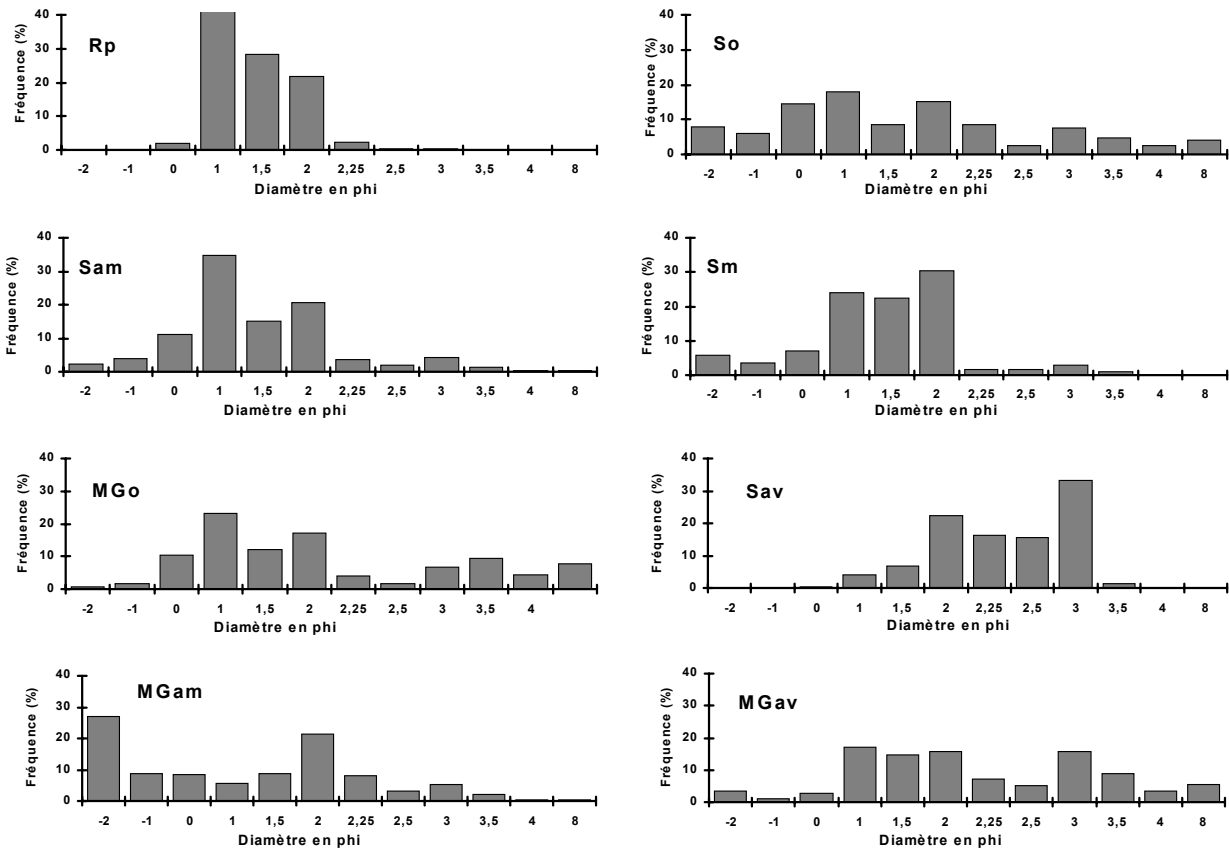


Figure 2. Evolution spatiale des principaux modes granulométriques. Voir Fig. 1 pour la localisation des stations de mesure.

Malgré toutes les particularités de ces oueds, il est vraisemblable que les apports fluviaux dans la baie de Tanger sont loin d'être négligeables. Les apports solides dans la zone d'étude sont estimés à environ 60 000 à 70 000 t/an. Ils sont issus principalement de l'oued Mghogha. 70% des apports solides sont des éléments fins constitués par des limons et des argiles et se déposent au-delà de 3 m de profondeur entre le port et l'embouchure de l'oued Mghogha (L.C.H.F. 1972). Selon le bilan annuel 1950-1972, les apports fluviaux de sables et de galets dans la zone ouest de la baie sont nuls, tandis que dans la zone orientale ils sont de 5000 à 10 000 m³/an (L.C.H.F. 1972, 1974).

MATERIELS ET METHODES

Dans le but d'effectuer une étude préliminaire de la pollution des sédiments superficiels, neuf prélèvements ont été effectués dans les principaux oueds drainant les eaux usées de la ville de Tanger : O. Mghogha et O. Souani, ainsi qu'au niveau de la canalisation majeure (Rp) débouchant dans la baie de Tanger (Fig. 1), et soumis à de nombreuses analyses (carbone organique, azote total et éléments traces). Les sédiments de surface ont été prélevés sur les émissaires à l'aide d'une benne à main sur les zones d'accumulation de sédiments (méandres) en mai 2001.

L'analyse granulométrique a été effectuée par tamisage mécanique à sec sur une série de tamis AFNOR sur la fraction grossière (>40 µm) pendant 15 mn. Le dosage des métaux lourds (Cr, Zn, Pb, Ni, Cu et Cd) dans les sédiments a été fait par la méthode d'extraction à base d'acide dont les

résultats sont exprimés en mg/kg : 0,5 g de l'échantillon finement broyé (<40 µm) est chauffé avec du fondant (métaborate) pendant 15 min ; il est ensuite placé, après refroidissement, dans un col rodé de 150 ml et rincé avec de l'acide nitrique HNO₃ à 4 %. La solution obtenue est analysée par l'appareil ICP-MS (Perkin Flora Elan 6000). La matière organique a été mesurée par la méthode de perte de poids. Après incinération progressive au four de 1 g de sédiment fin, d'abord à 105°C pendant 16 h et à 360°C pendant 2 h, l'échantillon a été ensuite refroidi dans un dessiccateur. La valeur de perte de poids déduite étant la somme des poids de matière organique et de l'eau adsorbée (Kralik 1999). L'analyse de l'azote total Kjeldahl a été réalisée à l'aide de l'appareil PRO-NITRO I sur la fraction fine (<40 µm). 0,2 g du sédiment a été traité par méthode d'extraction à base d'acide avec 10 ml d'acide sulfurique concentré à 96 % dans un tube de digestion pendant 1 h. La solution a été ensuite neutralisée par une solution NaOH à pH de 6-8, et diluée à 200 ml. La concentration de l'azote a été déterminée selon les méthodes standard 418C et 419 (Greenberg *et al.* 1985). L'ensemble des résultats analytiques obtenus a été traité statistiquement par une analyse multivariée de type analyses en composantes principales (ACP) à l'aide du logiciel UNIWIN combiné à celui de STATGRAPHICS Plus.

RESULTATS

Fraction grossière

L'étude de la fraction grossière des sédiments superficiels (>40 µm) montre, par endroits, une évolution amont-aval

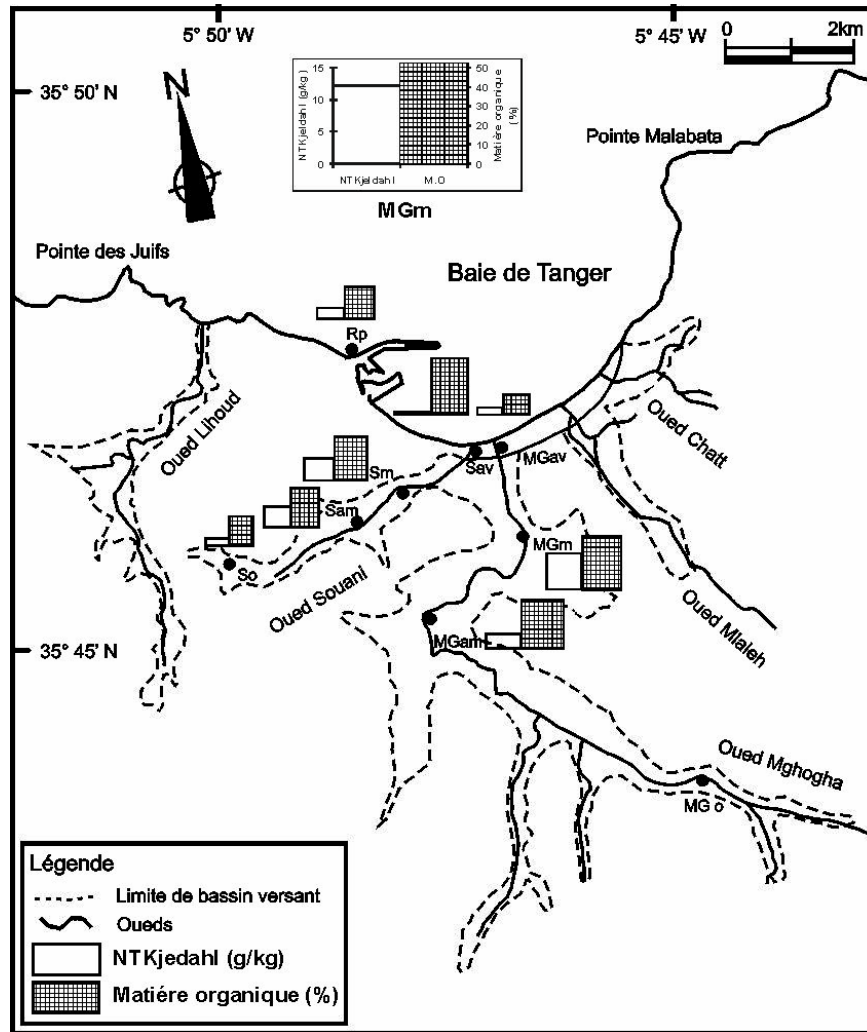


Figure 3. Répartition des pourcentages en matière organique et de l’azote total contenus dans les sédiments superficiels.

Tableau I. Propriétés des sédiments superficiels des émissaires continentaux étudiés.

Emissaires continentaux	Stations	Azote total N-NH3 g/kg	% Matière organique	% Fraction grossière > 2 mm (> -1 φ)	% Fraction fine < 0.25 mm (< 2 φ)
Canalisation	Rp	2,18	6,05	0	24,57
	So	1,39	5,18	7,95	45,11
Oued Souani	Sam	9,83	17,57	2,4	33,1
	Sm	10,90	21,79	5,8	37,3
	Sav	0,89	41,95	0	88,92
Oued Mghogha	MGo	1,21	4,36	0,8	51,8
	MGam	7,74	24,75	27,1	41,3
	MGm	1,22	27,83	0	95,75
	MGav	1,72	4,51	3,5	61,3

qui se traduit par une granulométrie croissante. Les histogrammes de fréquences (Fig. 2) mettent en évidence le caractère polymodal traduisant un mélange de plusieurs stocks granulométriques, à l’exception de la station Rp à la sortie de la canalisation majeure où le sable est unimodal et bien classé. Ce caractère s’associe à un indice d’asymétrie négatif ($Sk = -0,08$).

Matière organique

La matière organique (MO) est présente à des concentrations élevées dans les sédiments superficiels

étudiés (Fig. 3). Les teneurs maximales se trouvent localisées dans la partie centrale et aval des oueds (Tabl. I).

Au niveau des émissaires continentaux, les teneurs en matière organique dans les sédiments superficiels (<40 μm) de la zone d’étude varient de 4 à 42 %. Les taux de la matière organique montrent un enrichissement légèrement croissant de l’amont vers l’aval des oueds en traversant l’agglomération tangéroise. Les valeurs minima (4 à 5 %) sont concentrées à la source des oueds (lieu peu urbanisé et non industrialisé). Toutefois, les valeurs sont relativement faibles au niveau de la canalisation majeure (Rp) de Tanger

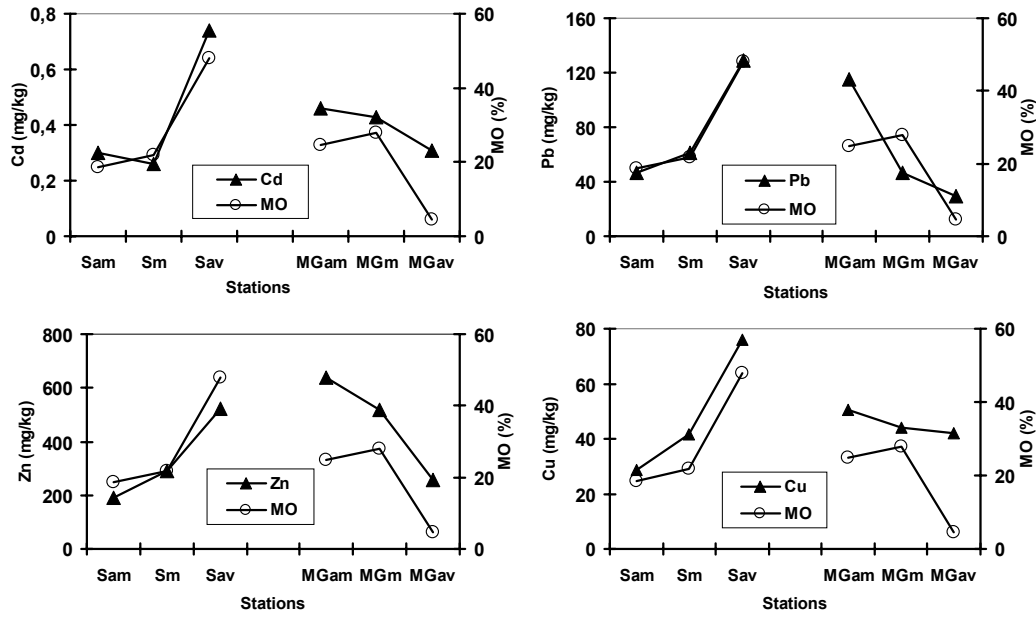


Figure 4. Exemples de co-variation des métaux lourds et de la matière organique (MO) des sédiments superficiels.

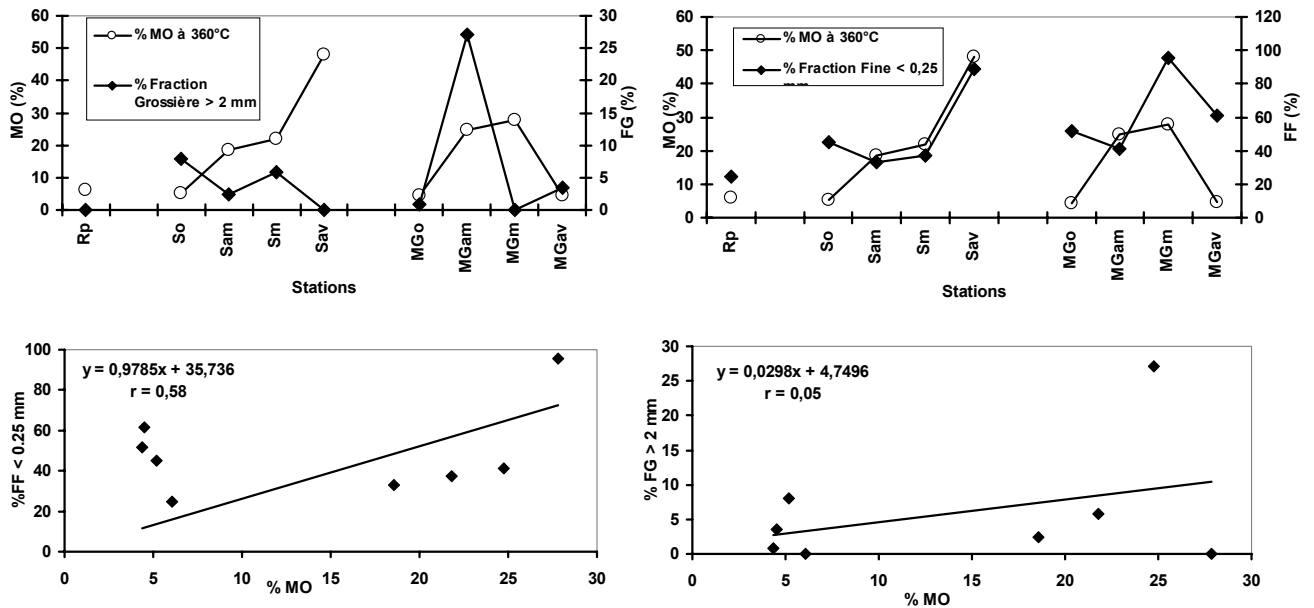


Figure 5. Relation entre les fractions grossière (FG) et fine (FF) constitutives des sédiments superficiels et la matière organique (MO).

(< 6 %) et à l’embouchure de l’oued Mghogha (4,5 %). La distribution de la matière organique montre une relation très étroite avec les concentrations en métaux lourds (Fig. 4), notamment avec Cd, Pb, Zn et Cu ; des corrélations similaires ont été trouvées dans les sédiments des rivières Tau Chen et Lao Che en Taiwan (Jih-Gauw & Sheen-Yi 1998) et dans ceux de la baie d’Alger (Maouch 1987).

La figure 5 montre une relation antagoniste entre la matière organique et les particules grossières (graviers > 2 mm), et parallèle avec les particules fines (sable vaseux et vase) dont les concentrations les plus élevées (>90 %) coïncident avec les plus fortes teneurs de la matière organique (>28 %).

Composants azotés

Au niveau des émissaires continentaux (Fig. 3), l’analyse de l’azote total montre que les sédiments les plus chargés en composants azotés sont ceux localisés dans la partie centrale des bassins versants des oueds étudiés (Sam-Sm pour l’oued Souani et MGam-MGm pour l’oued Mghogha) (Tabl. I) ; ces stations sont situées précisément en aval des principaux rejets domestiques et industriels de Tanger. Les teneurs très faibles ont été retrouvées à l’embouchure des oueds et de la canalisation majeure (Rp).

La distribution spatiale de l’azote dans les sédiments superficiels montre une liaison notable avec la matière

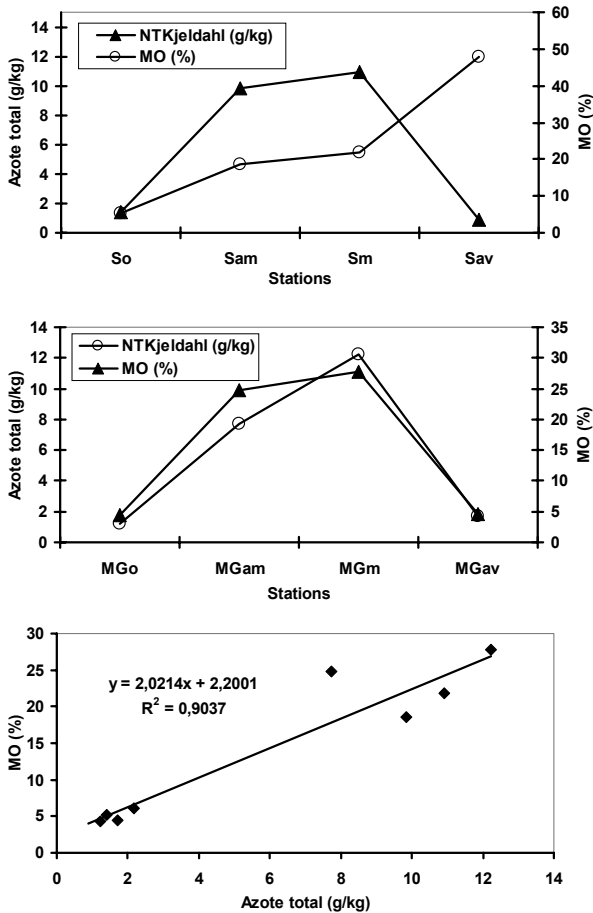


Figure 6. Relation entre la matière organique (MO) et l'azote total (N-NH3) contenus dans les sédiments superficiels.

organique, avec un coefficient de corrélation positif et significatif de 0,93 (Fig. 6) et donc avec la sédimentation fine.

Métaux lourds

D'après les résultats des analyses (Tabl. II), les teneurs en métaux lourds dépassent généralement de loin celles trouvées dans les sédiments vaseux de l'estuaire de la Seine et ses abords par Boust (1981) et qui sont considérées par cet auteur comme étant des valeurs normales (Fig. 7). Les concentrations des métaux oscillent entre 100 et 269 mg/kg pour Cr, 165 et 1533 mg/kg pour Zn, 19,6 et 610 mg/kg pour Pb, 34,33 et 127 mg/kg pour Ni, 22 et 90 mg/kg pour Cu et entre 0,21 et 0,74 mg/kg pour Cd. L'évolution spatiale des métaux lourds montre une augmentation de l'amont vers l'aval des oueds, sauf pour Cr où il se produit une décroissance des teneurs dans l'oued Souani avec 151 mg/kg à sa source (So) contre 100 mg/kg à l'embouchure (Sav). Les concentrations les plus faibles en métaux sont rencontrées à la source des deux oueds (So et MGo) situés à 1 km en amont des zones industrielles. Au niveau de la canalisation majeure de Tanger (Rp), les teneurs des métaux lourds trouvées sont extrêmement élevées.

Les variations de concentration des éléments métalliques dans les sédiments le long des oueds diffèrent d'un cours d'eau à l'autre. Pour l'oued Souani, les sédiments se

chargent progressivement en métaux de l'amont vers l'aval du fait des rejets des eaux usées domestiques et industrielles implantés le long de l'oued. Les valeurs maximales des éléments métalliques se trouvent localisées dans la partie médiane de l'oued Mghogha, à la station MGm située juste à la sortie de la zone industrielle de la ville de Tanger. Les métaux Zn, Cr et Pb ont des teneurs élevées dans toutes les stations.

Certains métaux traces montrent un fort coefficient de corrélation positif et significatif de 0,874 Pb-Zn (Fig. 8). Un résultat semblable a été obtenu dans la partie occidentale de la marge méditerranéenne marocaine (El Moumni *et al.* 1999). On note aussi l'association d'autres éléments métalliques Pb-Cd, Pb-Ni et Pb-Cu, avec successivement des coefficients de corrélation de 0,722, 0,518 et 0,504, alors que le couple Cu et Cr ont un coefficient de corrélation négatif de -0,66 (Fig. 8).

Analyse statistique

Dans le but d'établir la relation entre les différents paramètres organiques (MO et NT) d'une part et inorganiques (Cr, Pb, Zn, Ni, Cu et Cd) d'autre part, un traitement statistique ACP (analyse en composantes principales) a été appliqué à l'ensemble de ces paramètres. L'ensemble des données est situé dans un système d'axes constitué par les axes factoriels dont les deux premiers A1 et A2 représentent 67,5 % de l'inertie totale (Fig. 9b), et l'axe 1 ou axe dominant résume à lui seul 45 % de la variance totale. L'ACP est réalisée à partir de 10 paramètres mesurés au niveau de 9 échantillons de sédiments superficiels des oueds et canalisation de Tanger. C'est une méthode factorielle de réduction des caractères permettant des représentations géométriques des variables (teneurs en métaux et substrats dans notre cas) et des observations (ici prélèvements). La matrice de corrélation obtenue et les résultats de l'ACP (Fig. 9, a et b) montrent le regroupement ou l'association d'éléments ayant le même comportement et/ou gérés par les mêmes facteurs. On retrouve aussi l'association entre la matière organique (MO) et la fraction fine (FF) (0,58) et entre la MO et les métaux lourds notamment le Cd (0,77) en relation avec l'activité anthropique. D'autres types d'associations ont été remarqués au niveau des éléments métalliques, surtout entre Pb et Zn avec un coefficient de corrélation de 0,96.

INTERPRETATION

Du point de vue sédimentologique, les sédiments superficiels caractéristiques des principaux oueds et canalisation majeure de la zone d'étude montrent généralement la présence d'un faciès relativement plus grossier à l'aval des émissaires. La dynamique sédimentaire classique dans les cours d'eau se trouve ainsi perturbée. La prédominance de courbes granulométriques polymodales pourrait être due à une multitude de sources d'apports, probablement en relation avec les apports solides des différentes activités industrielles. L'observation des sédiments à la loupe binoculaire permet de constater la présence de plusieurs composants non naturels comme des

Tableau II. Teneurs des métaux lourds contenues dans les sédiments superficiels des environs de Tanger.

Emissaires continentaux	Métaux Stations	Cr (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Canalisation	Rp	269	1533	610	127	90	0,47
	Erreur (2σ-%)	5	4	3	6	4	25
Oued Souani	So	151	175	19,6	36	22	0,28
	Erreur (2σ-%)	4	5	0,5	9	5	24
	Sam	127,02	188,95	46,81	34,33	28,77	0,3
	Erreur (2σ-%)	5	5	1	8	5	25
	Sm	141,76	291,07	60,94	47,62	41,69	0,26
Erreur (2σ-%)	4	4	3	8	4	21	
Oued Mghogha	Sav	100	520,66	128,98	40,62	75,81	0,74
	Erreur (2σ-%)	6	5	1	11	4	19
	MGo	123	165	20,1	57	52	0,21
	Erreur (2σ-%)	4	5	1,1	7	4	32
	MGam	140,7	639,25	114,94	77,01	50,34	0,46
Erreur (2σ-%)	5	4	0,2	9	5	20	
Oued Mghogha	MGm	133,34	518	46,65	43,8	44,2	0,43
	Erreur (2σ-%)	4	4	0,3	7	3	25
	MGav	132,54	255,7	29,44	46,07	42,11	0,31
	Erreur (2σ-%)	7	8	1	8	5	38

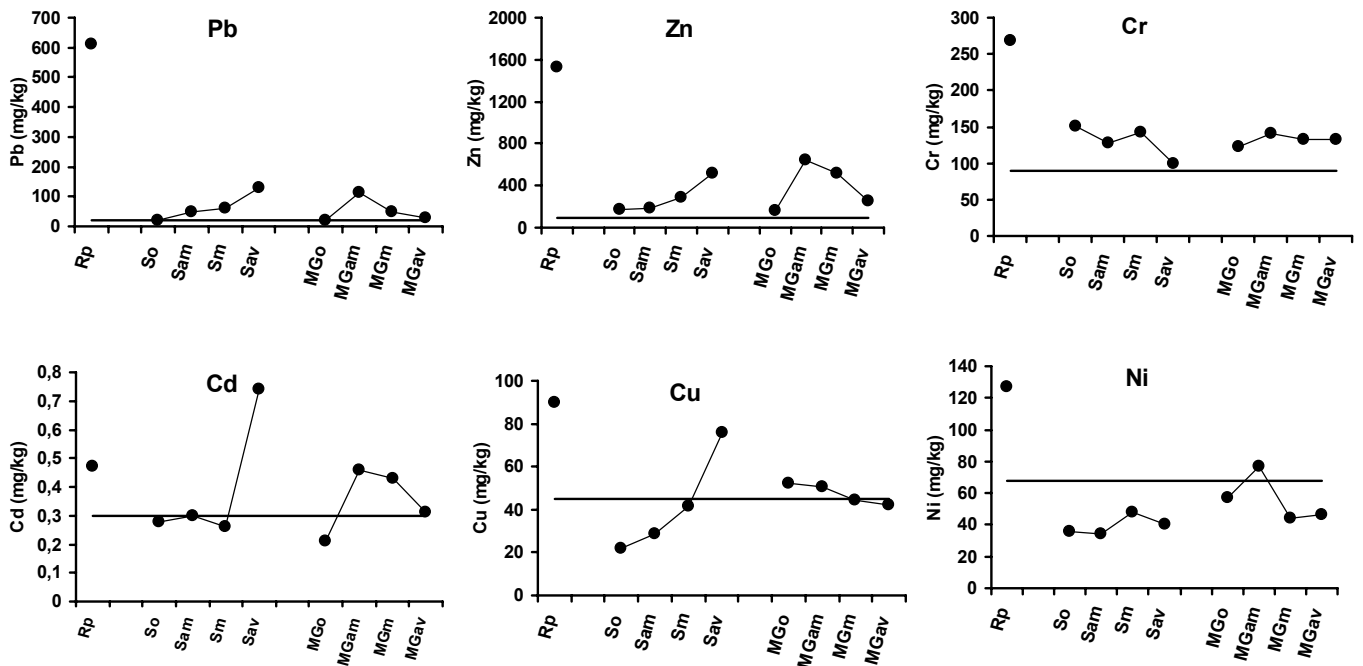


Figure 7. Comparaison des teneurs en métaux dans les sédiments (ronds) avec celles naturellement trouvées dans les sédiments vaseux (ligne continue) selon Boust (1981).

morceaux de briques, de verre et même de filaments de tissus issus des rejets anthropiques parfois directs dans les bassins versants des oueds. La présence d'un sédiment bien classé à caractère unimodal trouvé uniquement au niveau de la station rejet port (Rp) est en relation avec l'hydrodynamique marine. D'autre part, la courbe d'asymétrie négative dans cette station traduit un dépôt brutal et sans remaniement ultérieur par excès de charge et par une diminution de la compétence de l'agent de transport.

En ce qui concerne la matière organique, on note une croissance relativement légère des concentrations de l'amont vers l'aval des oueds. Ces fortes teneurs semblent se rapporter en premier lieu à la charge organique d'origine anthropique. D'autre part, la période de prélèvement (saison sèche) est favorable au développement de phytoplancton dans les fleuves (Cauwet 1985, Ludwig 1997) et donc à la productivité maximale de la matière organique. Les faibles teneurs obtenues à l'embouchure de l'oued Mghogha et de la canalisation majeure de Tanger (Rp) est en relation avec

la proximité de l'influence marine, ce qui traduit la forte capacité d'auto-épuration des eaux de la baie.

La relation très étroite qui apparaît entre les taux en matière organique et les concentrations en métaux lourds (Cd, Pb, Zn et Cu) s'explique par le rôle important que joue cette dernière dans la fixation et la complexation des métaux lourds dans les sédiments (Manskaya 1968, Rashid *et al.* 1973). En effet, la matière organique est considérée comme un support préférentiel des éléments en traces au sein d'un système aquatique (Singer 1977).

La distribution spatiale de la matière organique semble être étroitement liée aux faciès sédimentaires et donc à l'hydrodynamisme des oueds. Les apports anthropiques, notamment les rejets domestiques riches en matière

organique, sont d'une importance primordiale et entrent fort probablement dans la composition des sédiments superficiels dans la zone d'étude.

Les fortes teneurs en azote total présentes dans les sédiments coïncident avec les stations médianes des oueds Souani et Mghogha, qui se trouvent localisées à proximité des rejets permanents des eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Tanger. Les teneurs très faibles à l'embouchure des oueds et de la canalisation majeure (Rp) sont dus fort probablement à l'effet dissipatif des courants marins. L'étude corrélative entre l'azote et la matière organique montre une évolution positive. Cette bonne corrélation existe aussi avec la sédimentation fine qui est susceptible d'être un réservoir favorable aux polluants nutritifs.

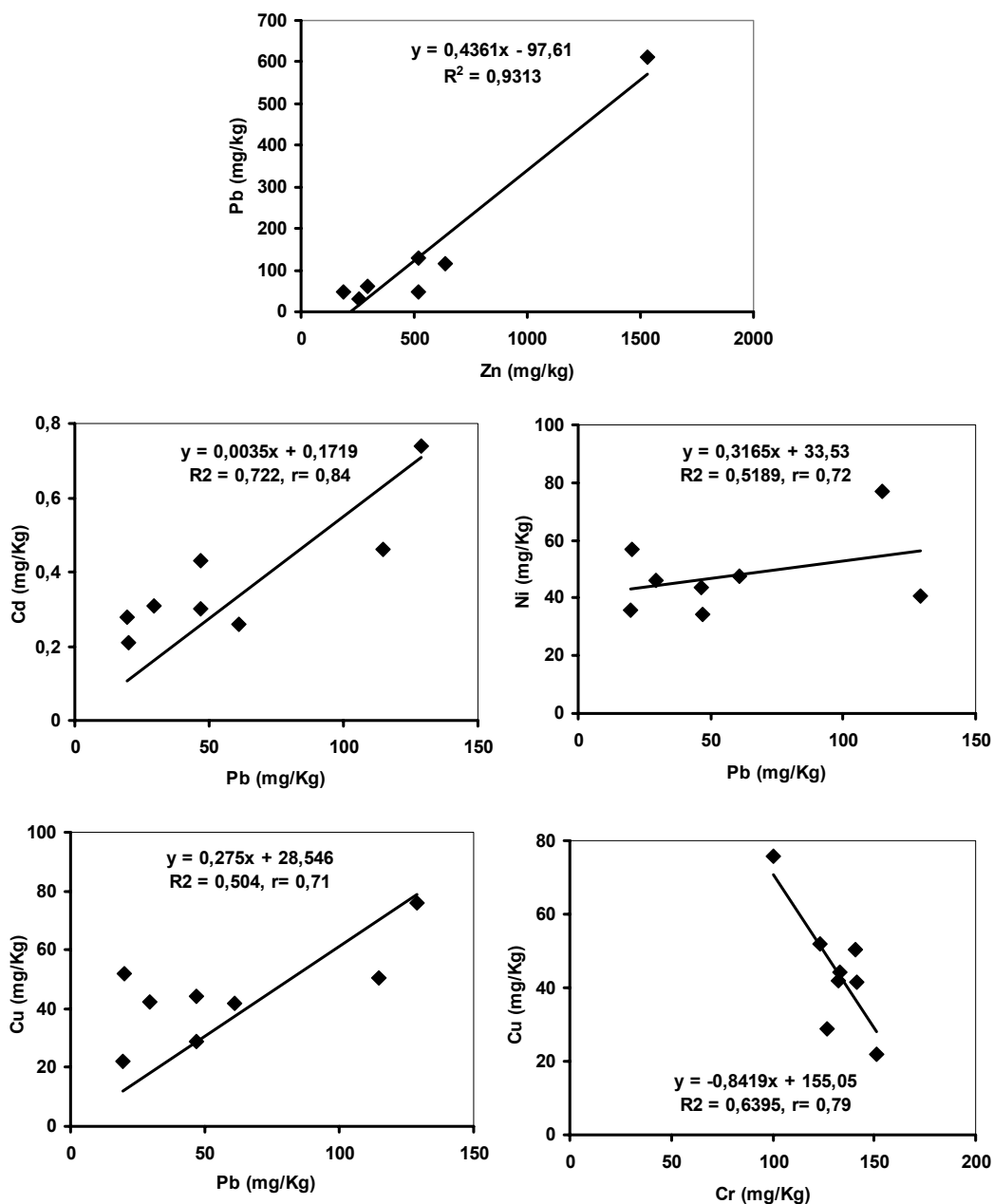


Figure 8. Exemple de co-variation des métaux traces contenus dans les sédiments fluviatiles superficiels.

	Cd	Cr	Cu	FF	FG	MO	Ni	Pb	Sabl	Zn
Cd	1									
Cr	-0,003	1								
Cu	0,6595	0,5048	1							
FF	0,4836	-0,5605	0,0581	1						
FG	-0,0095	-0,0788	-0,2175	-0,2949	1					
MO	0,7741	-0,4598	0,2518	0,585	0,0507	1				
Ni	0,1884	0,8782	0,7342	-0,4673	0,1213	-0,2756	1			
Pb	0,3686	0,9042	0,7957	-0,3824	-0,1412	-0,1239	0,9131	1		
Sabl	0,3566	0,2644	0,4812	-0,477	-0,011	0,2692	0,3382	0,497	1	
Zn	0,4797	0,8478	0,8144	-0,2233	-0,0255	0,0083	0,9153	0,9637	0,3727	1

A.C.P. Emissaires continentaux de Tanger

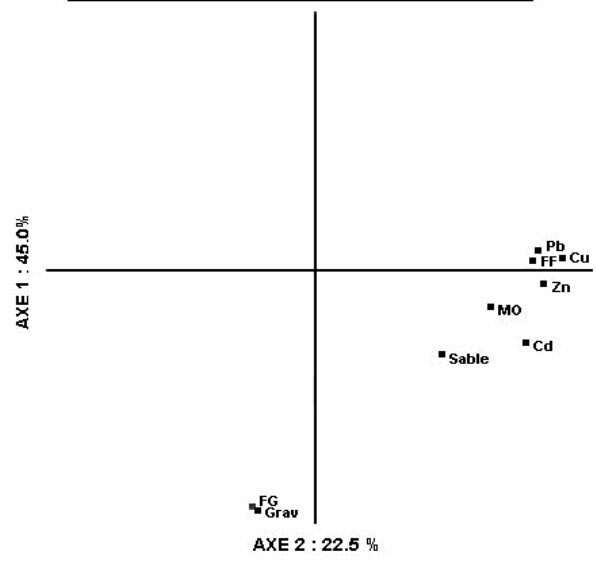


Figure 9. Matrice de corrélation multivariable (a) plan factoriel A1/A2 (b) FF : fraction fine ; FG : Fraction grossière ; MO : Matière organique ; Sabl : Sable

Tableau III. Comparaison des teneurs moyennes avec d'autres bassins à l'échelle nationale et internationale. 1, valeur moyenne plusieurs sédiments (B.R.G.M./S.G.A.L. 1982) ; 2, sédiments de l'oued Boufekran (Saadallah 1991) ; 3, Sédiments des affluents de bassin de Sebou (Azzaoui 2000) ; 4, présente étude.

Elément (mg/kg)	(1)	(2)	(3)	(4)
Cr	45	19	210	117
Zn	88	55	172	344
Pb	22	47	151	58
Ni	22	13	–	47
Cu	26	14	98	44
Cd	0,6	1,3	–	0,37

Du point de vue géochimique, les concentrations des métaux lourds dans les sédiments évoluent de manière irrégulière d'une station à l'autre ; toutefois, elles s'accroissent progressivement de l'amont vers l'aval des oueds. Les teneurs maximales sont localisées à l'aval des émissaires et surtout au niveau des stations situées à proximité des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles implantés le long des oueds.

Les valeurs élevées en Zn, Cr et Pb enregistrées au niveau de toutes les stations sont dues probablement à la présence d'ateliers de fabrication de piles, de tanneries ainsi que de raffineries de pétrole le long des oueds.

Une comparaison des teneurs trouvées dans les sédiments superficiels des oueds étudiés avec celles obtenues par une moyenne de plusieurs sédiments cités dans la littérature (Tabl. III) montre qu'elles sont dans l'ensemble supérieures à la plupart des cours d'eau. Cependant, on note que les sédiments superficiels de la zone d'étude sont moins pollués par rapport à ceux des affluents du bassin de Sebou notamment pour Cr, Pb et Cu.

Ces résultats montrent l'état relativement pollué des sédiments superficiels des oueds en question et par

conséquent leur probable impact non négligeable sur la qualité de l'environnement de la baie de Tanger.

CONCLUSIONS

L'approche géochimique réalisée sur des sédiments fluviaux et sur la canalisation d'eaux usées de l'agglomération tangeroise, permet de dégager les conclusions suivantes :

- 1) Les paramètres texturaux des sédiments de surface n'obéissent pas à l'évolution classique rencontrée dans les cours d'eau (granodécroissance de l'amont vers l'aval). Cette perturbation serait en relation avec l'activité anthropique intense le long des cours d'eau et canalisations (remblaiement des bassins versants par les matériaux de construction tels que les briques, ciments, verres, etc.), ce qui se traduit par un mauvais classement des grains de sables et le caractère polymodal des sédiments prélevés au niveau du réseau hydrographique.
- 2) Les paramètres nutritifs montrent un enrichissement en matière organique et en azote total avec une affinité positive avec la fraction fine, traduisant la forte pollution organique des sédiments superficiels étroitement liée aux rejets domestiques et industriels.

3) L'analyse des données géochimiques met en évidence la présence d'une association métallique (Pb, Zn, Cu et Cd) d'origine anthropique. Les fortes concentrations le long des oueds et canalisation étudiés sont situées à la proximité immédiate des différentes unités industrielles, et au niveau des stations a fort taux de matière organique où elle joue un rôle prépondérant dans l'accumulation des métaux. Ces données sont confortées par les résultats obtenus de l'analyse statistique (ACP) et de la matrice de corrélation, appliquée aux paramètres organiques et inorganiques. En somme, la zone d'étude est une zone de double influence naturelle (continentale et marine) et anthropique (déchets liquides et / ou solides industriels et domestiques).

Sur le plan économique et social, ces données 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'implantation de stations d'épuration des eaux usées dans la zone d'étude s'avère d'une importance majeure et immédiate afin d'améliorer la qualité des eaux fluviales, d'une part et de contribuer à l'amélioration de l'état de l'environnement marin côtier de la baie de Tanger d'autre part.

Remerciements

Les auteurs remercient MM. B. Zourarah (Faculté des Sciences, El Jadida) et M. Fekhaoui (Institut Scientifique, Rabat) pour leurs commentaires et leurs critiques pertinentes qui ont contribué à l'amélioration du manuscrit. Nous remercions également le REMER et le CNRST pour le soutien accordé, le laboratoire du CEFREM Perpignan (France), et le Laboratorio de Ingenieria Quimica du CASEM à Cadiz (Espagne)

Références

- Azzaoui S. 2000. *Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou : géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface*. Thèse de Doctorat, Univ. Ibn Tofail, Fac. Sci. Kénitra, Maroc, 126 p. + annexes.
- Boughaba A. 1992. *Les littoraux meubles septentrionaux de la péninsule de Tanger (Maroc). Géomorphologie et effet de l'intervention anthropique sur leur environnement*. Thèse de Doctorat, Univ. Nantes, France, Fac. Lettres, 413 p.
- B.R.G.M. / S.G.A.L. 1982. Inventaire du degré de pollution des sédiments des cours d'eau – Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologique Régional d'Alsace.
- Boust D. 1981. *Métaux traces dans l'estuaire de la seine et ses abords*. Thèse de 3^{ème} Cycle, Université de Caen, France, 187 p.
- Cauwet G. 1985. *Dynamique de la matière organique dans les milieux marin et polyhalins ; son rôle dans les processus géochimiques aux interfaces*. Thèse d'Etat, Univ. Perpignan, France, 178 p.
- Durand Delga M., Höttinger L., Mattauer M., Millard Y. & Suter G. 1962. Données actuelles sur la structure du Rif. *Mém. h. sér. Soc. géol. Fr.*, 1, 399-422.
- El Moumni B., El Hmaid F., Hassouni F.Z., Gensous B. & Monaco A. 1999. Sédimentologie et géochimie des dépôts superficiels de la marge méditerranéenne marocaine (partie occidentale). *Afr. Geosci. Rev.*, 6, 2, 141-148.
- Greenberg A.E., Trussel R.R. & Cleser L.S. 1985. Standard methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association, 16th Edn., Washington.
- Jaaidi E.B., Ahmamou M., Zougary R., Chatre B., El Moutchou B., Malek K. & Naim K. 1993. Le littoral méditerranéen entre Tétouan et Ceuta et atlantique entre Tanger et Asilah : impact des aménagements portuaires sur la dynamique côtière. L'environnement des côtes marocaines en péril. *Publ. Comité National de Géographie du Maroc, Aménagement littoral et évolution des côtes*, p. 21-30.
- Jih-Gauw Lin & Sheen-Yi Chen 1998. The relationship between adsorption of heavy metals and organic matter in river sediments. *Publ. Environment Intern.*, 24, 3, 345-352.
- Kralik M. 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Appl. Geochem.* 14, 807-816.
- L.H.C.F. (Laboratoire Central Hydraulique de France) 1972. Baie de Tanger. *Rapport de l'étude théorique sur document, FP/L.CH.F/705 12 11.*, ODEP, p. 25-26.
- L.C.H.F. (Laboratoire Central Hydraulique de France) 1974. Aménagement de la baie de Tanger, protection de la plage. *Rapp. Avant-projet sommaire, 2^o Mém. ODEP*, 75 p.
- Ludwig W. 1997. *Erosion des continents et transports fluviaux de matière organique vers les océans*. Thèse de Doctorat, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, France, 195 p.
- Manskaya S.M. & Drozdova T.V. 1968. *Geochemistry of organic substances*. Shapiro & Breger Eds., Pergamon Press.
- Maouch S. 1987. *Mécanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique*. Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Perpignan, France, 214 p.
- Rashid M.A. & Leonard J.D. 1973. Modifications in the solubility and precipitation behaviour of various metals as a result of their interaction with sedimentary humic acids. *Chem. Geol.*, 11, 89-97.
- R.A.I.D. (Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité) 1991. Analyse urbaine et usage de l'eau et rejet – Rapport VII et VIII, texte et annexe, Sous mission 1-7 et 1-8.
- R.A.I.D. (Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité) 1994. Etude de la pollution des plages et des oueds. Etude du Plan Directeur d'Assainissement des agglomérations de Tanger et d'Asilah - Rapport V. Sous mission 1-7, 125 pages - annexes 1-2.
- Saadallah M. 1991. *Contribution à l'étude de la pollution métallique des sédiments des cours d'eau marocains – cas de l'oued Boufekran*. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Moulay Ismaïl, Fac. Sci. Meknès, Maroc, 175 p.
- Singer P.C. 1977. Influence of dissolved organics on the distribution, transport, and fate of heavy metals in aquatic systems. In : Förstner U. & Wittmann G.T.W. Pollution in aquatic environments.
- Suter, G. 1980. Carte géologique de la chaîne rifaine à 1/500.000. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 245a.

Manuscrit déposé le 25/10/2002
 Accepté après révision le 24/12/2002