

Diagnostic environnemental du nord de la baie de Monastir (Tunisie orientale) par l'étude géochimique des sédiments superficiels

R. SASSI, F. SOUSSI

Laboratoire de Géochimie-INRST
Hamam Lif

N. SOUSSI, F. BACCAR, A. ADDED

Laboratoire de Sédimentologie et d'océanographie
Faculté des sciences, Tunis

A. CHAREF

Laboratoire de Géochimie-INRST
Hamam Lif

S. ABDELJAOUED

Laboratoire de Sédimentologie et d'océanographie
Faculté des sciences, Tunis

Tunisie

RÉSUMÉ

Situé sur la côte orientale de la Tunisie, le littoral de Monastir-Ksibet El Mediouni correspond à un platier protégé par une série de hauts fonds et siège d'apports solides en provenance du drain de Khnis et des courants de dérive littorale. Ce platier constitue également le réceptacle des eaux usées des agglomérations limitrophes et d'une station d'aquaculture.

Le diagnostic environnemental de ce littoral est basé sur l'analyse géochimique du carbone organique total et des métaux-traces (Ni, Cu, Zn, Pb) dans la fraction fine (< 63 µm) des sédiments superficiels prélevés en mer ou dans le drain de Khnis.

Cette étude montre que le nord de la baie de Monastir est affecté par une pollution à la fois organique et minérale. Les métaux polluants (Cu, Pb) sont associés à la matière organique dissoute ou particulaire amenée par les eaux usées urbaines déversées sur un littoral affecté par un faible hydrodynamisme.

MOTS CLÉS : Sédiment - Pollution - Tunisie - Zone urbaine - Évacuation des eaux - Analyse chimique - Carbone - Organique - Métal - Nickel - Cuivre - Zinc - Plomb.

Introduction

Le littoral tunisien est l'objet, depuis quelques années, d'une attention particulière au plan environnemental. La partie nord de la baie de Monastir, située sur le littoral oriental de la Tunisie, a été choisie pour la présente étude parce qu'elle manifeste des caractères d'eutrophisation, marqués par un développement spectaculaire d'algues qui débute pendant la saison hivernale (marée verte) et qui a débouché sur une anoxie chronique. Cette frange littorale a connu également, depuis quelques décennies, une nette augmentation de la densité urbaine et les activités industrielles (agro-alimentaires, textiles, huileries, etc.) se sont développées parallèlement au tourisme, à la pêche et à l'aquaculture.

Pour analyser les causes de la dégradation de cet écosystème, une étude morphologique, sédimentologique et géochimique a été entreprise. On espère ainsi reconstituer l'évolution du milieu et déterminer la source et la répartition de la matière organique et des métaux traces.

Présentation du site

Le secteur d'étude Monastir-Ksibet El Mediouni, situé sur la côte orientale de la Tunisie (fig. 1), est délimité par des terrains miopliocènes-quadernaires relativement plats, avec cependant une légère variabilité de la topographie représentée principalement par la falaise de Monastir au nord (25 m au sommet) et les collines tyrrhéniennes de Ksibet El Mediouni au sud (12 m au sommet).

• **La ligne de rivage** montre les particularités suivantes :

- un drain a été aménagé au début des années 1970 sur l'ancien lit de l'Oued Khnis pour permettre le drainage des eaux de la sebkha de Monastir vers la mer en période de crue. Les travaux d'aménagement ainsi réalisés avaient pour objectif majeur d'éviter l'inondation de l'aéroport de Skanès-Monastir, implanté dans la sebkha. Récemment, d'autres travaux d'aménagement ont été entrepris pour permettre la liaison du drain avec l'Oued El Melah. Ce dernier constitue le principal cours d'eau de la région et collecte les eaux usées domestiques et industrielles des agglomérations riveraines. Ainsi, ce drain semble jouer un rôle non négligeable dans l'évolution de l'état environnemental du littoral ;
- la frange littorale constitue le réceptacle de multiples émissaires d'eaux usées des zones urbaines, en particulier ceux de Khnis et de Ksibet El Mediouni qui se jettent en de nombreux points le long du rivage ainsi que ceux de la ville de Monastir qui sont rejetés au Nord du port ;
- la lagune de Monastir (fig. 1) abrite une station d'aquaculture dont les eaux chargées en sels nutritifs sont évacuées du côté sud de la lagune.

• **Dans la frange littorale**, la topographie sous-marine est irrégulière avec une bathymétrie généralement faible. L'examen de la carte marine et l'analyse de profils bathymétriques font apparaître les caractères suivants :

- l'existence d'un platier, essentiellement en face de Khnis et de Ksibet El Mediouni, où la bathymétrie ne dépasse pas 3 m à 2 km du rivage. Ce platier est tapissé par un herbier lacustre à lagunaire (*Ruppia* sp. et *Zostera* sp.) jusqu'à l'isobathe - 1 m, relayé par un herbier marin à lagunaire (*Cymodocea nodosa*). Au-delà de 3 m de profondeur, on trouve l'herbier de posidonies. Des algues telles que les ulves ou les entéromorphes sont présentes en quantités notables ;
- une série de hauts fonds constituant le prolongement du cordon tyrrhénien qui isole la lagune de Monastir de la mer. Ces hauts fonds s'individualisent notamment en face de Ksibet El Mediouni ;
- l'accumulation des produits de dragage des chenaux creusés dans la lagune de Monastir et

déposés sur une distance de 1 km environ, parallèlement au rivage et en face de la passe sud de la lagune. Ces travaux d'aménagement ont été entrepris pour assurer une meilleure circulation des eaux de la lagune.

Méthodes d'analyse

Les analyses ont été effectuées sur les sédiments superficiels (0-5 cm) prélevés à l'aide d'une benne (fig. 2). Ces échantillons ont d'abord fait l'objet d'une séparation granulométrique par voie humide à l'aide d'un tamis à 63 µm. Des analyses du carbone organique total (COT) et des métaux-traces (Ni, Cu, Zn, Pb) ont été réalisées sur la fraction inférieure à 63 µm ainsi que sur les différents substrats qui la constituent. La détermination du COT est faite par coulométrie (appareil Coulomat 702) sur le sédiment décarbonaté par attaque à l'acide chlorhydrique 2N. Les métaux-traces ont été analysés sur 500 mg environ du sédiment sec, attaqués aux acides fluorhydrique, perchlorique et nitrique. La reprise est effectuée avec une solution d'acide nitrique à 5 %. Les analyses sont faites à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique (modèle Phillips-Pye Unicam PU9000). La méthode de Tessier et *al.* (1979) a été utilisée pour le fractionnement chimique des métaux.

Résultats et discussion

Caractères hydrodynamiques et sédimentologiques

La principale caractéristique des eaux côtières du littoral Monastir-Ksibet El Mediouni est leur faible agitation. Ceci est essentiellement dû aux facteurs suivants :

- la presqu'île de Monastir, par sa position géographique, joue un rôle d'écran pour les vents du nord et surtout du nord-ouest ;
- le littoral est exposé aux vents des secteurs est et sud-est mais est en fait assez bien protégé de la houle. Celle-ci se brise sur les hauts-fonds reliant les îles Kuriates au rivage et ne parvient à la baie qu'atténuée ;
- le nord de la baie de Monastir-Ksibet El Mediouni est soumis aux agitations engendrées par les vents des secteurs nord-nord-est, nord-est, est-nord-est. Ces agitations sont à l'origine d'un courant littoral orienté nord-sud le long de la côte Monastir-Khnis, qui engendre un transit sédimentaire estimé à 12 000 m³/an. L'accumulation du matériel sédimentaire est favorisée par l'atténuation de la houle dans les zones de faible profondeur (hauts-fonds) et par la présence d'un important couvert végétal (herbier de posidonies), qui contribue à l'amortissement des vagues.

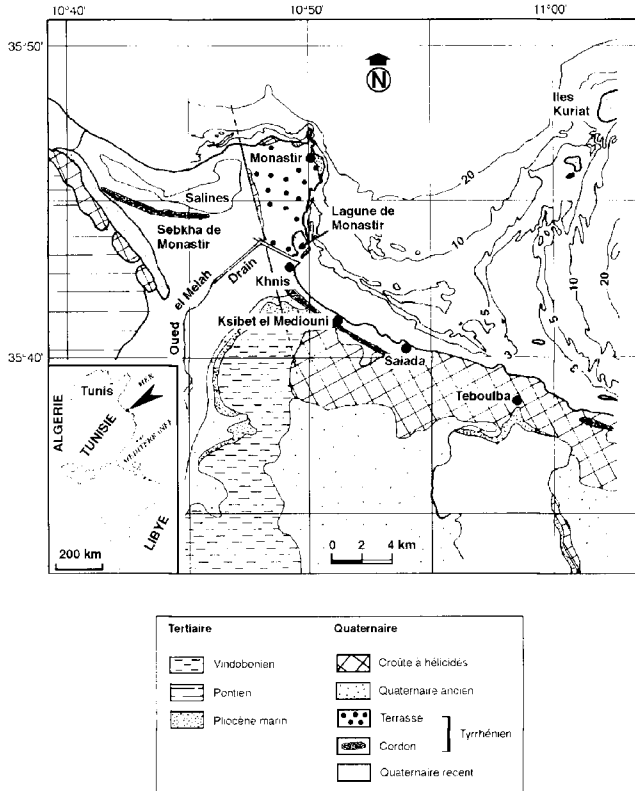


Fig. 1 - Carte géologique simplifiée et bathymétrie de la zone d'étude.

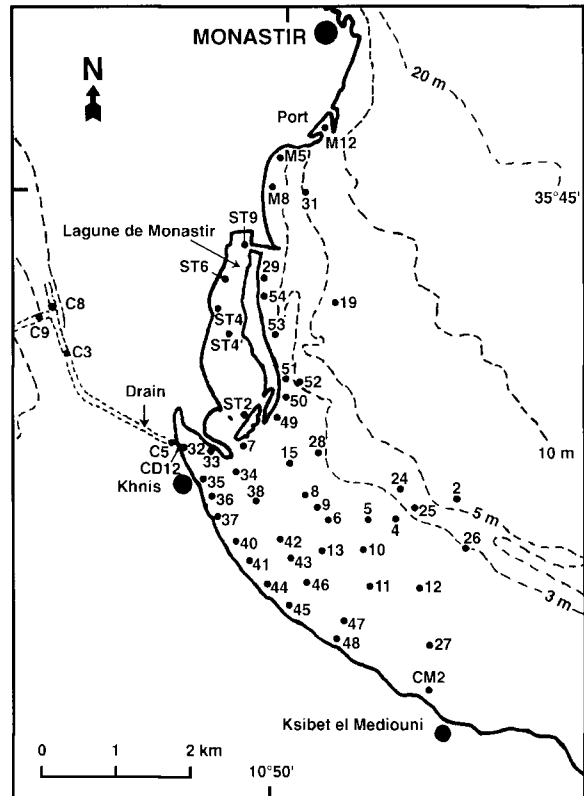


Fig. 2 - Situation des stations de prélèvement des sédiments de surface en mer et dans le drain de Khnis. Les chiffres correspondent aux codes commençant par KH dans les tableaux I et III.

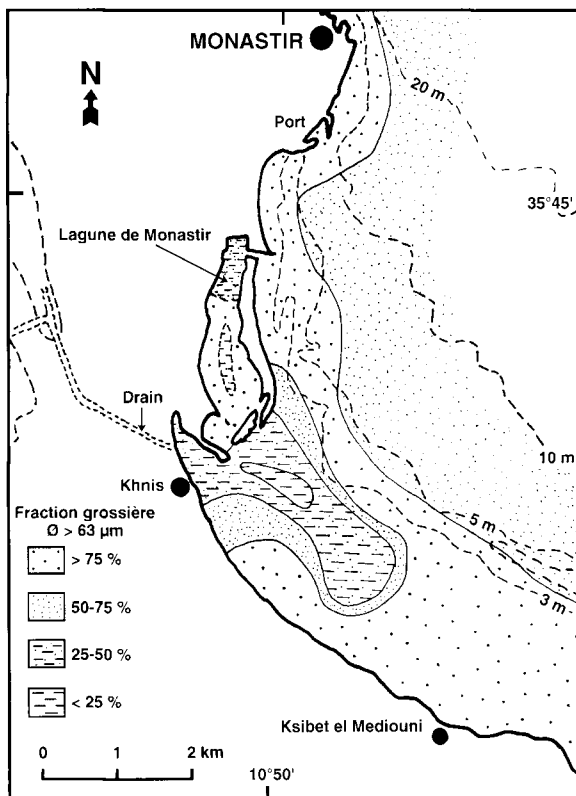


Fig. 3 - Répartition du pourcentage de la fraction sableuse ($f > 63 \mu m$) dans les sédiments de surface.

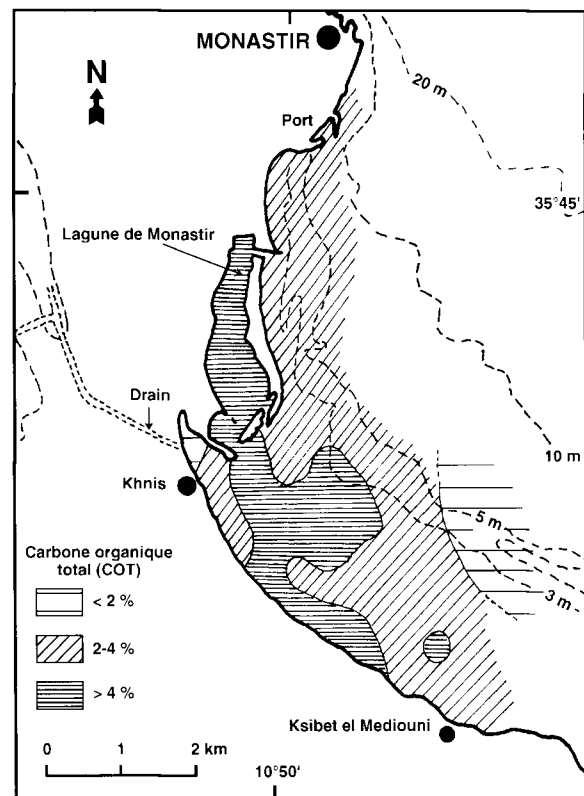


Fig. 4 - Distribution des teneurs en carbone organique total (%) dans les sédiments de surface.

Par ailleurs, l'engraissement de cette frange littorale, notamment à Khnis et Ksibet El Mediouni, est accéléré par les apports fluviaux du drain, notamment en périodes de crues, ce qui entraîne un taux de sédimentation relativement élevé dans cette zone estimé à 0,5-1 cm/an au moins. En effet, au niveau des estuaires, le taux de sédimentation est généralement de plusieurs millimètres par an (golfe de Trieste - Faganelli et *al.*, 1991) voire plusieurs centimètres par an (delta du Rhône - Added, 1981).

La carte de répartition de la fraction grossière ($f > 63 \mu\text{m}$), montre (fig. 3) la prédominance des dépôts sableux sur la majeure partie de la baie de Monastir. Néanmoins, en face de Khnis et dans la zone d'influence du drain, s'étend un faciès plus fin. La mise en place des sédiments vaseux dans cette zone résulte vraisemblablement des apports fluviaux par le drain, où le dépôt des matériaux argileux se produit par floculation suite au mélange des eaux douces et des eaux de mer (Pérès, 1976). À ces dépôts s'ajoute l'accumulation des produits de dragage du chenal méridional de la lagune de Monastir (fig. 2).

Caractères géochimiques des sédiments de surface

La caractérisation géochimique des sédiments de surface est basée sur l'analyse de la distribution du COT et de certains métaux-traces (Ni, Cu, Zn et Pb).

Distribution du carbone organique total (COT)

Les résultats des analyses montrent qu'en mer les concentrations du COT sont dans l'ensemble élevées et comprises entre 0,6 et 6,5 % (tableau I). L'examen de la carte de répartition du COT (fig. 4) montre que les concentrations les plus fortes ($> 4 \%$) ont été enregistrées pour l'essentiel en face de Khnis où prédomine le faciès vaseux, ainsi que dans la lagune de Monastir et le long du rivage entre Khnis et Ksibet El Mediouni, où prédomine par contre le faciès sableux ; mais ces milieux sont marqués par l'accumulation des algues en décomposition. Dans le reste du platier, les teneurs en COT diminuent et restent comprises entre 2 et 4 %. Au-delà de l'isobathe - 3 m et dans l'embouchure du drain, le taux est généralement inférieur à 2 %. Dans les sédiments du drain, les teneurs en COT sont faibles, avec une moyenne de 0,87 % (tableau II).

TABLEAU I - Teneurs en carbone organique total et en métaux-traces dans la fraction fine des sédiments de surface du littoral de Monastir-Ksibet et Mediouni

Station	COT	Ni	Cu	Zn	Pb
	(%)	(ppm)			
M5	nd	26	66	103	89
M8	nd	30	71	94	77
M12	2,78	18	32	78	—
KH2	1,86	16	15	61	16
KH4	4,54	11	8	30	—
KH5	5,18	11	10	36	10
KH6	4,67	—	16	43	7
KH7	5,68	17	16	71	8
KH8	4,08	3	19	73	15
KH9	5,76	6	22	79	24
KH10	2,94	1	8	39	20
KH11	2,89	10	13	41	10
KH12	2,94	—	12	42	22
KH13	5,01	12	12	35	3
KH15	3,12	13	26	105	66
KH19	4,08	23	13	50	nd
KH24	2,43	12	17	43	20
KH25	2,57	14	10	39	16
KH26	0,6	7	4	26	nd
KH27	4,71	8	5	30	nd
KH28	4,48	10	16	41	nd
KH29	2,41	13	8	48	26
KH31	3,17	27	14	78	26
KH32	0,7	26	17	105	17
KH33	2,46	15	10	58	24
KH34	5,07	23	22	79	53
KH35	3,25	18	30	139	40
KH36	2,56	9	20	92	61
KH37	2,13	15	29	107	75
KH38	5,44	10	11	59	29
KH40	2,34	15	10	52	40
KH41	5,66	13	22	95	39
KH42	4,58	10	13	77	—
KH43	3,84	nd	nd	nd	nd
KH44	5,56	nd	nd	nd	nd
KH45	5,56	nd	nd	nd	nd
KH46	3,43	—	10	44	35
KH47	4,62	21	14	58	51
KH49	2,36	14	11	43	34
KH50	3,15	5,5	11	46	37
KH52	3,5	17	8	45	34
KH54	2,46	14	5	27	19
ST2	4,97	25	12	47	27
ST4	5,78	26	11	52	23
ST4'	6,46	37	15	61	26
ST6	4,46	16	19	53	30
ST9	4,69	16	25	79	38
CM2	2,24	nd	nd	nd	nd
Minimum	0,6	1	4	26	3
Maximum	6,46	37	30	139	75
Moyenne	3,76	14,5	17	61,5	30
Médiane	3,17	14	14	52	26

— non détecté ; nd : non dosé.

TABLEAU II
Teneurs en carbone organique total
et en métaux-traces dans les sédiments
superficiels du drain de Khnis

Échantillons	COT	Ni	Cu	Zn	Pb
	(%)	(ppm)			
C3	nd	27	13	98	9
C5	1,15	25	14	70	19
C8	0,75	33	18	98	11
C9	0,61	41	17	85	20
CD-12	1,0	22	16	79	25
Moyenne	0,87	30	16	86	17

Les sources potentielles du carbone organique dans le sédiment de ce littoral sont multiples et d'origine marine (matière organique accumulée suite à la prolifération algale et produits de dégradation des débris de posidonies et de la faune benthique) ou continentale (matière organique particulaire ou dissoute d'origine anthropique, déversée par les émissaires d'eaux usées urbaines ou amenées par le drain, matière organique à l'état colloïdal, particulaire ou adsorbée sur les argiles provenant du lessivage des sols et amenée par le drain de Khnis). Ajoutons à cela que la station d'aquaculture constitue une source importante de carbone organique provenant des excédents de nourriture. Une grande partie de la matière organique dissoute ou adsorbée sur les particules argileuses (Cawet et Gadel, 1970) se dépose par floculation en face de l'embouchure du drain, zone de mélange entre eaux douces et eaux salées (Faguet, 1982). L'accumulation de la matière organique et la présence des produits qui proviennent de son altération (H₂S, CH₄, Fe²⁺, etc.) sont responsables des conditions réductrices du milieu. Les faibles teneurs en COT dans les sédiments du drain, malgré la prédominance des argiles, seraient la conséquence du lessivage et de l'oxydation. De plus, il est admis que la persistance des suspensions colloïdales est plus grande en eau douce (Krauskopf, 1985).

Par comparaison avec d'autres milieux littoraux en Tunisie, les teneurs enregistrées en face de la ville de Khnis sont élevées. Elles sont comparables à celles du lac de Tunis (Scott et al., 1980), marqué par une détérioration prononcée. Elles sont par contre très fortes par rapport à celles observées dans le lac Ichkeul (Ouakkad, 1982), la lagune de Ghar El Melah (Azzaoui, 1993), la lagune de Bizerte (Soussi, 1981), le golfe de Tunis (Soussi et Gadel, 1995) ou le golfe de Gabès (El Kihel, 1995).

Les métaux-traces

L'analyse des micropolluants métalliques est effectuée dans les sédiments plutôt que dans l'eau en raison du rôle de « mémoire » que joue ce support vis-à-vis des pollutions (Robbe, 1977).

Dans les sédiments côtiers

Les concentrations en métaux-traces varient entre 1 et 37 ppm pour le nickel, 4 et 30 ppm pour le cuivre, 26 et 139 ppm pour le zinc et 3 et 75 ppm pour le plomb (tableau I). Les résultats sont représentés sous forme de cartes de répartition (fig. 5) dont l'observation montre que tous les métaux analysés présentent les teneurs les plus fortes en face des agglomérations de Khnis et de Monastir et de son port. De plus, Ni et Zn présentent des concentrations plus élevées au niveau de l'embouchure du drain, en plus des concentrations plus élevées que représente Ni dans la lagune de Monastir. Toutes ces teneurs diminuent en allant vers le large ou vers le sud dans les environs de Ksibet El Mediouni. Les teneurs médianes calculées et représentatives de l'ensemble du littoral sont de 14 ppm pour Ni, 14 ppm pour Cu, 52 ppm pour Zn et 26 ppm pour Pb.

Dans les sédiments du drain

Les teneurs en métaux-traces dans les sédiments du drain (tableau II) montrent de légères variations latérales. Les moyennes de concentrations sont estimées à 30 ppm pour Ni, 16 ppm pour Cu, 86 ppm pour Zn et 17 ppm pour Pb.

Les résultats de l'analyse des métaux-traces dans les sédiments marins montrent que les teneurs les plus fortes s'observent en face des émissaires d'eaux usées des villes de Monastir et de Khnis où la matière organique est fortement concentrée dans le sédiment. En effet, les eaux usées domestiques contiennent habituellement de fortes teneurs en métaux lourds (Saeki and Okazaki, 1992). Par ailleurs, des teneurs en Ni et Zn plus élevées qu'en mer s'observent dans le drain et à son embouchure. Parallèlement, si les teneurs en matière organique sont faibles dans les sédiments du drain, les teneurs en argiles sont, par contre, élevées. Constatons également qu'en allant vers le large de Khnis ou vers le sud, à proximité de Ksibet El Mediouni, les teneurs en métaux-traces montrent une nette diminution dans des sédiments à caractère plutôt sableux.

Comparées à d'autres milieux littoraux en Tunisie (Ouakkad, 1982 ; Rais, 1992 ; Azzaoui, 1993 ; Soussi et Gadel, 1995 ; Soussi et al., 1995 ; El Kihel, 1995) ou à d'autres secteurs méditerranéens tels que la baie d'Alger (Chouikhi et al., 1988), le golfe d'Olbia (Contu et al., 1988), la Méditerranée occidentale (Obiols et Peiro, 1980) ou le littoral français dans son ensemble (Robbe, 1997), il semble que les teneurs les plus fortes observées localement dans le secteur de Khnis soient relativement atténuées. Ce résultat est confirmé par le faible écart observé entre la moyenne et la médiane des teneurs respectives de chacun des éléments analysés (tableau I).

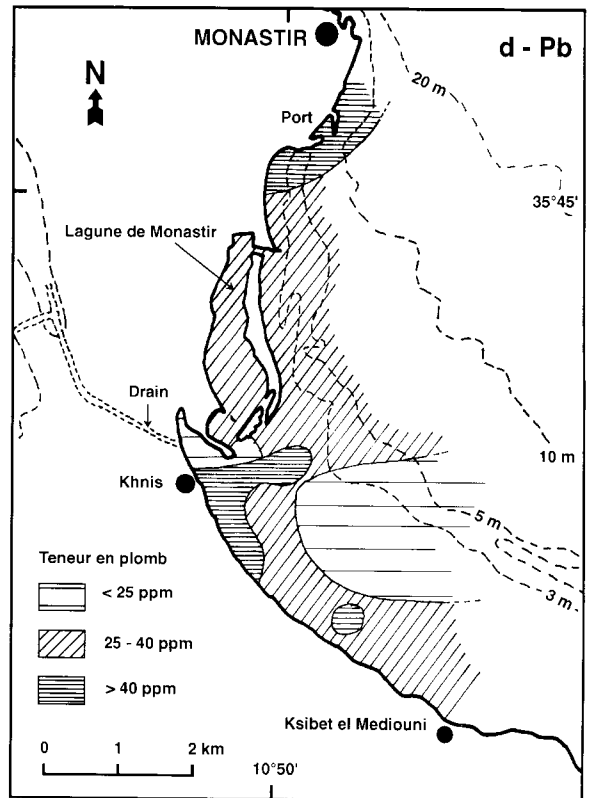
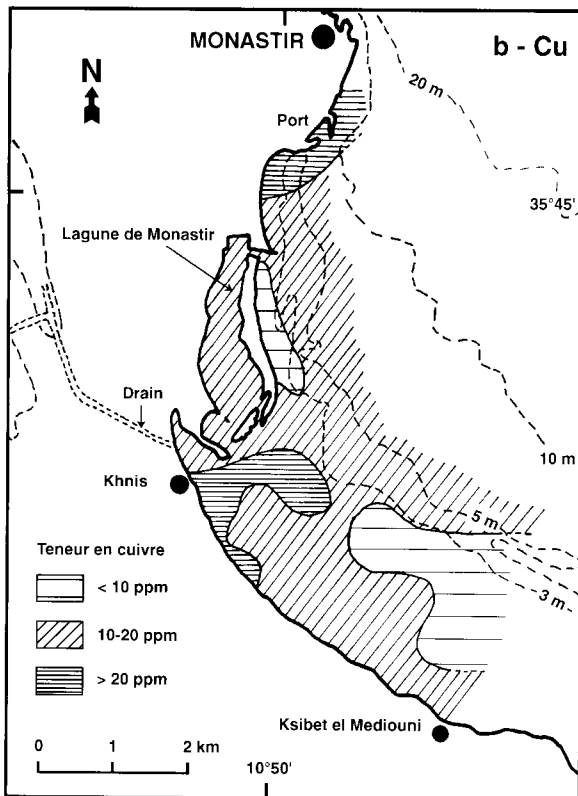
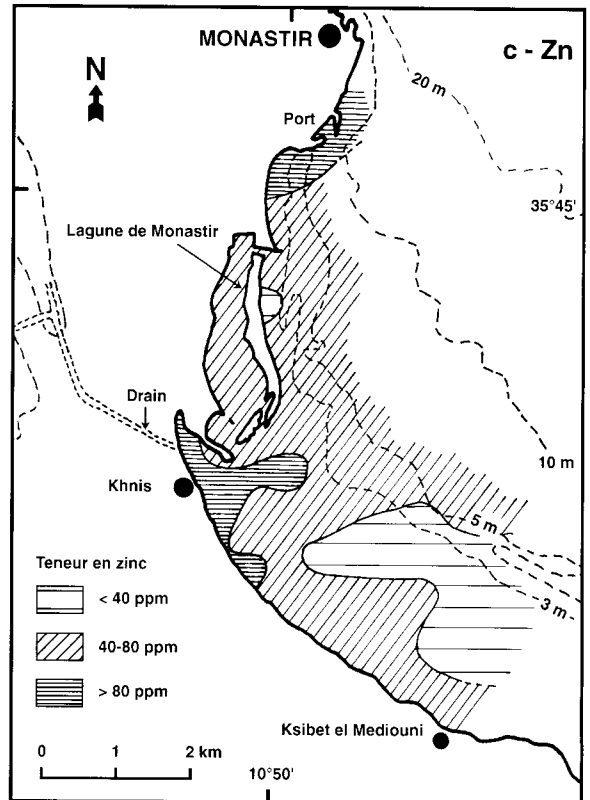
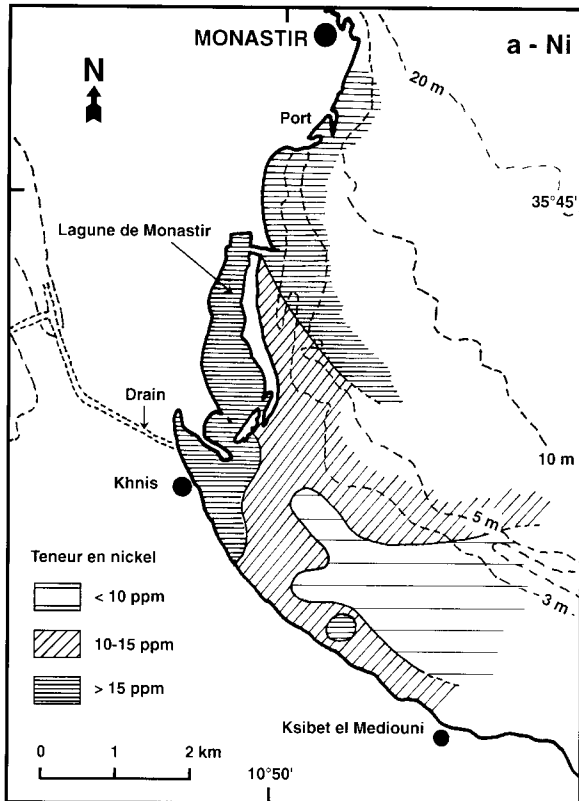


Fig. 5 - Distribution de Ni, Cu, Zn et Pb dans les sédiments de surface

TABLEAU III
Teneurs (en ppm) en Ni, Cu, Zn et Pb dans les différentes fractions des sédiments superficiels du platier (KH),
de la lagune (*) et du drain (*) du littoral Monastir-Ksibet el Mediouni**

Échant.	E + C	Ox	MO+S	R	TF	TNR (%)	R (%)	Échant.	E + C	Ox	MO+S	R	TF	TNR (%)	R (%)
NICKEL								CUIVRE							
KH6	—	—	5	3	8	62,5	37,5	KH6	—	—	6	5	11	54,5	45,5
KH7	3	1	3	8	15	47	53	KH7	—	—	5	11	16	31	69
KH8	—	1	6	10	17	41	59	KH8	—	—	19	7	26	73	27
KH9	—	1	7	5	13	61,5	38,5	KH9	—	—	13	11	24	54	46
KH24	—	—	9	4	13	69	31	KH24	—	—	18	8	26	69	31
KH29	3	1	4	3	11	73	27	KH29	—	—	7	5	12	58	42
KH31	3	—	7	10	20	50	50	KH31	—	—	8	11	19	42	58
KH36	1	1	3	9	14	36	64	KH36	—	—	8	12	20	40	60
KH38	1	1	5	3	10	70	30	KH38	—	—	5	8	13	38	62
ST2*	4	1	6	4	15	73	37	ST2*	—	—	5	6	11	45	55
ST6*	2	1	5	7	15	53	47	ST6*	—	—	10	10	20	50	50
ST9*	4	1	5	3	13	77	23	ST9*	—	—	25	12	37	67,5	32,5
C8**	10	—	4	17	31	45	55	C8**	—	—	2	14	16	12,5	87,5
C9**	10	2	3	22	37	40,5	59,5	C9**	—	—	2	12	14	14	86
CD12**	2	3	3	11	19	42	58	CD12**	—	—	4	10	14	28,5	71,5
ZINC								PLOMB							
KH6	6	9	10	21	46	54	46	KH6	2	2	12	1	20	80	20
KH7	10	18	9	35	72	51	49	KH7	3	3	8	5	19	74	26
KH8	10	14	11	35	70	50	50	KH8	4	7	10	6	27	78	22
KH9	13	15	9	21	58	64	36	KH9	2	2	15	5	24	79	21
KH24	7	9	6	20	42	52	48	KH24	2	5	5	2	14	86	14
KH29	9	9	6	20	44	54,5	45,5	KH29	7	3	7	6	23	74	26
KH31	6	11	6	43	66	35	65	KH31	3	3	7	5	18	72	28
KH36	6	16	20	14	56	75	25	KH36	3	9	4	11	27	59	41
KH38	6	9	6	27	48	44	56	KH38	2	3	8	6	19	68,5	31,5
ST2*	7	11	12	26	56	53,5	46,5	ST2*	4	2	17	5	28	82	18
ST6*	5	11	7	27	50	46	54	ST6*	2	4	11	9	26	65	35
ST9*	19	23	14	26	82	56	44	ST9*	3	4	17	3	27	89	11
C8**	—	14	3	67	84	20	80	C8**	1	2	3	10	16	37,5	62,5
C9**	—	6	2	77	85	9,5	90,5	C9**	2	1	3	8	14	43	57
CD12**	8	18	2	48	76	37	63	CD12**	2	10	6	8	26	69	31
E + C : Métaux liés à la fraction échangeable et aux carbonates. MO + S : Métaux liés à la matière organique et aux sulfures. TF : Total des métaux liés à toutes les fractions du sédiment. TNR % = TNR/TF × 100.								Ox : Métaux liés aux oxydes de Fe et Mn. R : Métaux liés à la fraction silicatée résiduelle. TNR : somme de E + C, Ox et MO + S. R % = R/TF × 100.							

Fractionnement chimique des métaux-traces

La détermination de la teneur totale en métaux lourds est insuffisante pour évaluer leur impact environnemental sur un sédiment, car c'est la forme chimique qui détermine le comportement du métal dans le milieu et son aptitude à la remobilisation (Ma and Rao, 1997). Par ailleurs, sur la base de l'accumulation primaire dans les sédiments, les métaux peuvent être classés en cinq catégories (Tessier *et al.*, 1979) : absorbables et échangeables, liés aux phases carbonatées, liés aux phases réductibles (oxydes de Fe et Mn), liés à la matière organique et liés à la phase résiduelle (détritiques ou incorporés dans les réseaux cristallins).

Le fractionnement chimique est l'un des processus les plus utilisés pour définir le type d'associations métal-substrat. La méthode d'extraction utilisée ici est celle de Tessier *et al.* (1979), basée sur les phases suivantes : carbonates, oxydes de Fe et Mn, matière organique et sulfures et matière résiduelle. La fraction échangeable et adsorbable n'a pas été considérée car nous avons constaté que les teneurs en métaux liés à cette phase sont extrêmement faibles.

L'extraction a été réalisée sur des sédiments superficiels prélevés en mer ou dans le drain de Khnis. Ni, Cu, Zn et Pb ont été analysés sur les différentes phases séparées (tableau III) :

• Sédiments marins

Ni est essentiellement lié à la phase résiduelle (23 à 64 %) et à la phase organique (20 à 50 %) et ensuite aux carbonates (0 à 36 %). Cu est partagé à parts égales entre la phase silicatée résiduelle (27 à 69 %) et la matière organique (31 à 73 %). Zn est lié essentiellement à la phase silicatée résiduelle (25 à 65 %) et secondairement aux oxydes (7 à 28 %), à la matière organique (2 à 35 %) et aux carbonates (10 à 23 %). Pb est associé essentiellement à la matière organique (15 à 60 %) et secondairement à la fraction résiduelle (11 à 41 %).

• Sédiments du drain

Ni est associé pour l'essentiel à la phase résiduelle (54 à 59 %) et à la phase carbonatée (10 à 32 %). Cu est associé pour l'essentiel à la phase résiduelle (71 à 87 %) et secondairement à la matière organique (12 à 28 %). Zn est associé essentiellement à la phase résiduelle (63 à 90 %) et secondairement aux oxydes (7 à 23 %). Pb est associé essentiellement à la phase résiduelle (31 à 66 %). Dans l'échantillon CD12, le plomb montre de plus une association avec les oxydes (38 %) et la matière organique (23 %).

Les résultats acquis par fractionnement chimique ont permis de mettre en évidence la liaison des métaux-traces avec les différents substrats (tableau IV) et d'en tirer les conclusions suivantes.

TABLEAU IV
Degré d'association métal-substrat de Ni, Cu, Zn et Pb dans les sédiments superficiels du littoral de Monastir-Ksibet et Mediouni

	Carbonates	Oxydes Fe-Mn	Matière organique	Résidu
Sédiments marins				
Pb	*	*	***	**
Zn	**	**	**	***
Cu	—	—	***	***
Ni	*	—	***	***
Sédiments du drain				
Pb	*	*	*	***
Zn	—	*	—	***
Cu	—	—	*	***
Ni	**	*	*	***

*** Fort ; ** Moyen ; * Faible ; _ Très faible.

Dans les sédiments prélevés en mer :

- les carbonates et les oxydes de fer et de manganèse présentent de faibles teneurs en Pb et Zn, tandis que Cu et Ni y sont très faibles. Les teneurs en métaux sont faibles dans les carbonates, qui sont constitués en majeure partie par des débris de coquilles amenées par les mouvements de dérive. Cette composition reflète celle des produits de démantèlement des calcaires tyrrhéniens à débris de coquilles (Mahmoudi, 1986) qui forment la falaise de Monastir (fig. 1). Par ailleurs, les faibles teneurs en métaux dans la fraction « oxydes-hydroxydes » seraient dues à l'absence ou à la rareté de ces composants dans le milieu, car ces derniers sont thermodynamiquement instables dans les milieux anoxiques (Tessier *et al.*, 1979) ;
- la matière organique présente des teneurs fortes en Pb, Cu et Ni et moins importantes en Zn. Notons à ce titre que la matière organique dissoute ou particulaire fixe facilement les métaux en solution (Coquery and Welbourn, 1995). Toutefois, étant donné le caractère fortement réducteur du milieu, une partie de ces métaux pourrait être associée aux sulfures. L'extraction à l'eau oxygénée au cours du fractionnement chimique ne permet pas de distinguer entre matière organique et sulfures ;
- la fraction silicatée résiduelle est riche en Ni, Cu et Zn et secondairement en Pb. Cette association montre que ces métaux sont en grande partie inclus dans la structure des minéraux argileux d'origine détritique.

Par ailleurs, dans les sédiments du drain, qui sont riches en minéraux argileux mais ont par contre de faibles teneurs en carbone organique total, tous les métaux sont pour l'essentiel liés à la fraction silicatée résiduelle.

L'ensemble de ces résultats permet de relier les fortes concentrations en Pb et Cu observées à proximité des émissaires, aux rejets des eaux usées domestiques, tandis que celles en Ni et Zn sont apportées, pour l'essentiel, par les eaux fluviales du drain, incorporées alors dans le réseau des minéraux argileux.

Conclusions

L'étude environnementale du nord de la baie de Monastir a permis de dégager les principaux caractères morphologiques, sédimentologiques et géochimiques de ce milieu.

Ce littoral se caractérise par l'existence d'un platier délimité par une série de hauts-fonds. Cette structure est responsable de l'atténuation de l'hydrodynamisme au niveau du platier. L'engraisement du secteur d'étude est le résultat des apports solides par le drain de Khnis, par des mouvements de dérive engendrés par les houles dominantes de secteurs nord-nord-est, nord-est et est-nord-est et par l'accumulation des produits de dragages engendrés par l'entretien de la partie sud du chenal de communication de la lagune avec la mer. Cette zone constitue, par ailleurs, le réceptacle des rejets d'eaux usées urbaines venant des agglomérations limitrophes, soit par des émissaires qui se déversent directement en mer le long du rivage, soit par le drain de Khnis. La station d'aquaculture constitue également une source notable de carbone organique et de sels nutritifs.

L'analyse de la matière organique a permis de montrer que ce littoral est affecté par une pollution organique, avec des teneurs en carbone

organique total élevées et généralement comprises entre 2 et 6 %. Toutefois, malgré l'importance de la prolifération algale, nous pensons qu'une bonne partie de la matière organique qui entre dans le sédiment provient des rejets des eaux usées domestiques ou des eaux de la station d'aquaculture.

L'analyse des sédiments marins pour les métaux-traces a permis de montrer que les teneurs les plus élevées en Ni, Cu, Zn et Pb s'observent en face des émissaires des eaux usées de Monastir et de Khnis et en face du drain de Khnis. Ces analyses ont montré, par ailleurs, que les teneurs moyennes en métaux-traces dans les sédiments marins sont inférieures (Ni, Zn) ou comparables (Cu) à celles des sédiments du drain, excepté Pb qui est plus élevé en mer. De plus, l'analyse par fractionnement chimique des sédiments de la côte de Khnis et de ceux du drain, a permis de montrer qu'en mer les métaux-traces sont associés pour l'essentiel à la matière organique (Ni, Cu, Pb) et à la fraction résiduelle (Ni, Cu, Zn), tandis que, dans le drain, l'essentiel des métaux-traces se retrouve lié à la fraction résiduelle.

Ces résultats suggèrent, malgré la multitude des sources possibles du carbone organique, que les métaux polluants (Cu et Pb) sont apportés pour l'essentiel par les eaux urbaines riches en matière organique. Le processus de floculation est responsable de la concentration de la matière organique dans le sédiment, tandis que sa conservation est favorisée par les caractères réducteurs du milieu. En définitive, conformément aux résultats d'Angelidis et Aloupi (1995), cette étude démontre que les rejets des eaux usées urbaines dans ce littoral à faible hydrodynamisme sont les principaux responsables de la pollution organique et minérale des sédiments.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADDED A. (1981), *Étude géochimique et sédimentologique des sédiments marins du delta du Rhône*, Thèse de spécialité, Université de Paris VI, 263 pages.

ANGELIDIS M.O., ALOUPI M. (1995), *Factors influencing the accumulation of heavy metals into the coastal sediments of Lesbos island*, Grèce, Rapport CIESM, La Valette, Malte, vol. 34, résumé, 133 pages.

AZZAOUI (1993), *Géochimie de certains métaux dans les sédiments de la lagune de Ghar El Melah*, Mémoire DEA, Université de Tunis, 95 pages.

CAWET G., GADEL F. (1970), *Étude géologique et géochimique d'une carotte prélevée dans le golfe du Lion*, *Bulletin du BRGM*, IV, 4, pp. 5-17.

CHOUIKHI A., SELLAL B., AZZOUC M. (1988), *Heavy metal concentrations contained on the sediments surface of Algier bay*, Rapport Communauté internationale mer Méditerranée, vol. 31, fasc. 2, 161 pages.

CONTU A., SARRITZU G., BORDIGONI M., MELONI P., SHINTER M. (1988), *Heavy metals concentrations in superficial sediments from the gulf of Olbia, Sardinia*, Rapport Communauté internationale mer Méditerranée, vol. 31, fasc. 2, 33 pages.

COQUERY M., WELBOURN P.M. (1995), *The relationship between metal concentration and organic matter in sediments and metal concentration in the aquatic macrophyte Eriocolon septangulare*, *Water Research*, vol. 29, 9, pp. 2094-2102.

EI. KIHIL B. (1995), *Impact des rejets du phosphogypse dans le golfe de Gabès : géochimie des métaux lourds dans les sédiments*, Mémoire DEA, Université de Tunis II, 86 pages.

FAGANELLI J., PLANINE R., PEZDIC J., SMODIS B., STEGNAR P., OGORELEC B. (1991), *Marine geology of the gulf of Trieste (Northern Adriatic) : geochemical aspects*, *Marine Geology*, 99, pp. 93-108.

- FAGUET D. (1982), *Influence des substances humiques sur les formes dissoutes et particulières de quelques métaux (Zn, Fe, Co, Mn)*, Thèse de spécialité, Université de Perpignan, 129 pages.
- KRAUSKOPF K.B. (1985), Introduction to geochemistry, 2nd edition, *International series in the earth and planetary sciences*, Jackson ed., Mc Graw Hill Book Company, 617 pages.
- MA L.Q., RAO G.N. (1995), Heavy metals in the environment, *Journal Environment Quality*, **26**, pp. 259-264.
- MAHMOUDI M. (1986), *Stratigraphie, sédimentologie et diagenèse des dépôts tyrrhéniens du Sahel tunisien (Tunisie-orientale)*, Thèse 3e Cycle, Université de Paris-Sud, 323 pages.
- OBIOLS J., PEIRO L. (1980), *Heavy metals in marine sediments from the delta del Ebro*, *Etud. Pollutions, Cagliari, CIESM*, pp. 391-394.
- OUAKKAD M. (1982), *Évolution sédimentologique et caractères géochimiques des dépôts récents de la Garaet El Ichkeul (Tunisie septentrionale)*, Thèse 3e Cycle, Université de Perpignan, 166 pages.
- PERÈS J.-M. (1976), La pollution par les substances minérales autres que les sels nutritifs, In « *La pollution des eaux marines* », pp. 19-29, Gauthier-Villars éd., 231 pages.
- RAIS M. (1992), *La frange littorale nord-ouest du golfe de Tunis : distribution des métaux lourds dans les sédiments superficiels et géochimie des eaux de surface*, Mémoire DEA, Université de Tunis II, 80 pages.
- ROBBE D. (1997), Évaluation de la pollution métallique des sédiments dans les ports du littoral de Loire-Atlantique, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, **210**, juillet-août, pp. 70-85.
- SAEKI K., OKAZAKI M. (1992), Heavy metal accumulations in a semi-enclosed hypereutrophic system : Lake Teganuma, Japan, *Water, air and soil pollution*, **69**, pp. 69-78.
- SCOTT E.T., ORRINTT P., LIZARRY J.D., WALLING P. (1980), Holocene evolution of a coastal lagoon, lake of Tunis, Tunisia, *Sedimentology*, **vol. 27**, pp. 79-91.
- SOUSSI N. (1981), *Mécanismes de la sédimentation et évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte (Tunisie) durant le Quaternaire récent*, Thèse 3e Cycle, Université de Toulouse, 223 pages.
- SOUSSI N., GADEL F. (1995), *Nature et distribution de la matière organique dans les dépôts superficiels du golfe de Tunis (Tunisie)*, Rapport Communauté internationale mer Méditerranée CIESM (Malte).
- SOUSSI N., ENNET P., KOPONEN J., SARKKULA J., BEN MUSTAPHA S., BEN MAMMOU A., KOKKILA T. (1995), *Impact of phosphogyps waste in the gulf of Gabes*, The second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST), Tarragona, Spain.
- TESSIER A., CAMPBELL P.G.C., BISSON M. (1979), Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Analytical Chemistry*, **vol. 51**, pp. 844-851.

ABSTRACT

Environmental diagnosis of the northern part of the Bay of Monastir (eastern Tunisia) from the geochemistry of superficial sediments

R. SASSI - F. SOUISSI - N. SOUSSI - F. BACCAR - A. ADDED - A. CHAREF, S. ABDELJAOUED

The Monastir-Ksibet El Mediouni coast is on the eastern seaboard of Tunisia and consists of a reef flat which is protected by a series of shoals and onto which solid deposits are laid down from the Khnis drain and longshore currents. The waste water from neighbouring towns and a fish farm is also discharged onto the reef flat.

The environmental diagnosis of this coast was based on geochemical analysis of the total organic carbon (TOC) and trace metals (Ni, Cu, Zn, Pb) in the small particle fraction ($F < 63 \mu\text{m}$) of superficial sediments from the sea or the Khnis drain.

This study has shown that the north of the Monastir bay is affected by both organic and mineral pollution. Metallic pollutants (Cu, Pb) and dissolved or particulate organic material are transported by urban waste water which is discharged onto a coast where hydrodynamic activity is low.