

## Caractérisation géochimique des sédiments superficiels de la lagune de Korba (Cap Bon, Nord-Est de la Tunisie)

### Geochemical characterization of lagoonal surface sediments : case of the Korba Lagoon (Cap Bon, North East of Tunisia)

<sup>1</sup>S. BOUDEN; <sup>1</sup>F. CHAABANI et <sup>1</sup>S. ABDELJAOUED

**Abstract:** The Korba lagoon is one of the most important humid environment in the eastern region of the Cap-Bon peninsula. It is considered as an ecological site and a traditional relay for the major migratory birds. During the recent past, the lagoon was a container of domestic, agricultural, and industrial waste water. It was, also, a waste disposal site. From a sedimentological point of view, the Korba lagoon is mainly characterized by sediments of continental origin. Clays are the dominant feature of the western border (land-side) while sands are the ones of the eastern border (sea-side). A preliminary organic geochemical study shows that the superficial sediments contain high TOC contents (0.48 up to 5.21 %). Nonetheless, the TOC values increase from North to South. The analyses indicate that the organic matter have mainly a continental origin. Cadmium and copper contents, highly influenced by domestic and industrial activities especially in the South, show an increase from North to South. Whereas, the N-S manganese and chromium rising contents can be attributed to the Chiba river supplies. The high concentrations of Zn and Ni are observed in sediments of the lagoon inner borders. Copper, chromium and manganese contents of the analyzed sediments are lower than those already measured in clays, while Cd, Pb, Sr and Zn show common increase, resulting from the anthropic activities around the study area. However, most of the metals traces register higher amounts in the accumulation zone rather than the amounts usually observed in soils and sediments. The chemical speciation of Cr, Ni, Zn and Pb, averaging 50 %, 53 %, 42 % and 36 % respectively, indicates that these metals are mainly associated to the residual fraction. By contrast, 41 % of the total Cu is mainly associated to the organic and sulfide phase. Manganese is concentrated in the oxides and hydroxides (50 %), whereas Cd (45 %) is attributed to the carbonate fraction. The chemical split of metal traces in the samples registering the highest amounts, has led to better understanding of the distribution of metals traces among the organic and the inorganic phases. In particular, this fractionation allowed to observe a preferential concentration of some metals traces in one (eg. : Cu, Cd, Zn, Pb) two (eg.: Ni) or more phases (eg.: Cr), thus depending on their mutual affinity.

Key words: Tunisia - Korba Lagoon - Heavy metals - Chemical speciation - Pollution.

**Résumé :** La lagune de Korba constitue le milieu humide le plus étendu de la partie Est de la péninsule du Cap-Bon (Tunisie). Elle représente un site écologique et un relais traditionnel pour les oiseaux migrateurs tels que les flamants roses. Dans un passé très récent, la lagune fut le réceptacle des eaux usées brutes domestiques, agro-industrielles et un dépotoir non contrôlé d'ordures ménagères. Du point de vue sédimentologique, la lagune de Korba se caractérise par des dépôts essentiellement détritiques. Les argiles prédominent le long de la bordure Ouest (côté continent), alors que les sables ont envahi la bordure Est (côté mer). Sur le plan géochimique, les sédiments superficiels se distinguent par des teneurs en COT qui oscillent entre 0,48 et 5,21 % ; les teneurs les plus significatives sont enregistrées du côté Sud. Il s'agit d'une matière organique d'origine essentiellement continentale. Les teneurs en Cd, Pb et Cu augmentent du Nord vers le Sud ; elles sont influencées par les rejets domestiques et industriels, tandis que les concentrations de Mn et Cr augmentent du Sud vers le Nord ; cette répartition peut être liée aux apports de l'oued Chiba. Les plus fortes teneurs en Zn et Ni sont observées dans les sédiments des bordures de la lagune. Sur le plan environnemental, les teneurs moyennes de Cu, Mn et Cr sont inférieures aux teneurs moyennes naturelles des argiles, alors que Cd, Pb, Sr et Zn montrent un enrichissement. Toutefois, dans les zones d'accumulation, la

<sup>1</sup> : Laboratoire des Ressources Minérales et Environnement, Université d'El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Département de Géologie, Tunisie.  
Salahbouden@yahoo.fr

majorité de ces métaux montrent des teneurs élevées par rapport aux teneurs naturelles. Le fractionnement chimique montre que Cr, Ni, Zn et Pb sont associés principalement à la fraction résiduelle, formée de minéraux silicatés (essentiellement d'argile), avec des pourcentages respectifs de 50 %, 53 %, 42 % et 36 %; que Cu est associé principalement à la phase organique et aux sulfures avec un pourcentage de 41 %, que Mn se concentre préférentiellement dans les oxy-hydroxydes avec un pourcentage de l'ordre de 50 % et que Cd est plutôt lié à la phase carbonatée (45 %). En considérant le fractionnement chimique des échantillons les plus riches en métaux, il en ressort que l'augmentation des pourcentages dans les phases par rapport à la moyenne précédente soit due à la pollution. Ainsi, la pollution par un métal est liée, soit à une phase (ex. Cu, Cd, Zn, Pb), soit à deux phases (ex. Ni) voire trois phases (ex. Cr).

Mots clés : Tunisie - Lagune de Korba - Métaux lourds - Fractionnement chimique - Pollution.

## INTRODUCTION

Les systèmes lagunaires de la côte orientale du Cap-Bon (Tunisie) sont soumis à une double influence, marine et continentale. De ce fait, le suivi de leur évolution sur le plan sédimentologique, géodynamique, hydrodynamique et géochimique est nécessaire pour leur bonne gestion environnementale.

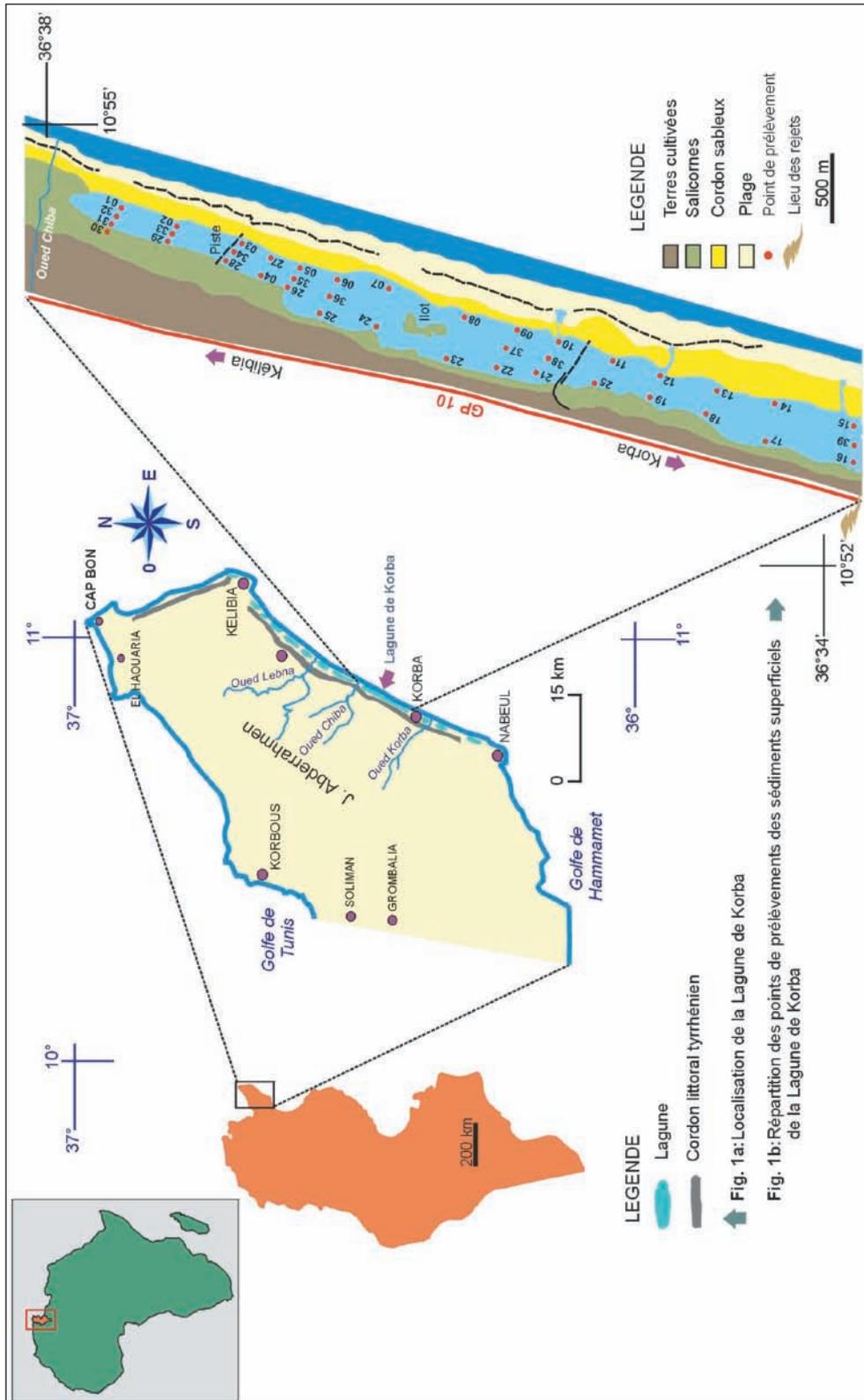
Face aux diverses pressions (croissance démographique, extension agricole, engrais, rejets urbains et industriels,...) qui s'exercent sur ces écosystèmes, la lagune de Korba a été choisie pour la présente étude vu son importance écologique. Elle constitue notamment un relais important pour certains oiseaux migrateurs, entre-autres, les flamants roses.

Plusieurs travaux ont porté aussi bien sur la géomorphologie et la genèse de la lagune (GROSSE, 1969) que son écologie (ROMDHANE *et al.*, 2001) et ses caractéristiques hydrauliques (BOUFARES, 2001). La géochimie de l'eau de la lagune a été abordée par SLAMA (2003). Enfin, JABALLAH (2003) a développé une étude sur la stabilisation et la réhabilitation des dunes bordières de la plage de Korba. Dans une première étape de ce travail, nous avons analysé les métaux (Cu, Mn, Cr, Ni, Pb, Zn et Sr) présents dans les sédiments superficiels et, dans une deuxième étape, nous avons étudié la distribution de ces métaux dans les différentes fractions lithologiques du sédiment.

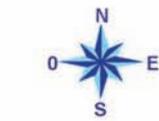
## PRESENTATION DU SITE

La lagune de Korba fait partie d'un système lagunaire côtier s'étendant entre Maamoura et Kélibia (Fig. 1a). Ce système se développe entre le cordon littoral d'âge tyrrhénien et la ligne de rivage. La lagune est séparée actuellement de la mer par un cordon sableux entrecoupé par des passes. Son bassin versant englobe des reliefs peu accentués caractérisant le flanc NE du Jebel Abderrahmen. Le réseau hydrographique, matérialisé notamment par l'Oued Chiba, draine des séries argilo-gréseuses datées du Tertiaire et ayant un faible pendage vers l'Est (SASSI, 1969).

La lagune de Korba se trouve dans la partie aval du bassin ; elle est limitée au Sud par la ville de Korba et au Nord par l'Oued Chiba. Il s'agit d'une dépression allongée parallèlement à la ligne du rivage sur environ 8,5 km mais relativement étroite (350 m de largeur au maximum). Elle se caractérise par un fond plat et une profondeur maximale localisée dans sa partie orientale, ne dépassant guère un mètre (BOUFARES, 2001). La lagune est subdivisée en deux parties (nord et sud) séparées par une piste romaine (Fig. 1b). De ce fait, les échanges d'eaux entre les deux parties sont réduits ; ils se font à travers des buses de 80 cm de diamètre, ce qui atténue l'agitation du milieu qui présente un régime hydrodynamique faible (BOUFARES, 2001). La lagune est limitée par un cordon littoral actuel à l'Est et par un cordon tyrrhénien longeant le côté Ouest. D'épaisseur décimétrique, ce dernier, formé essentiellement de bioclastes, montre souvent des structures à stratifications obliques. En microfaciès, il s'agit de calcaire gréseux oolithique montrant des bioclastes à structure fibreuses. L'ensemble de ces caractéristiques révèle un environnement marin très agité (limite inférieure de la zone supratidale). Le cordon Tyrrhénien constitue le soubassement de la lagune (SASSI, 1969). Le cordon récent, développé au nord et relativement dégradé au sud, est



### Lagune de Korba



#### LEGENDE

- Terres cultivées
- Salicornes
- Cordon sableux
- Plage
- Lieu des rejets

500 m

36°34' 10°52'

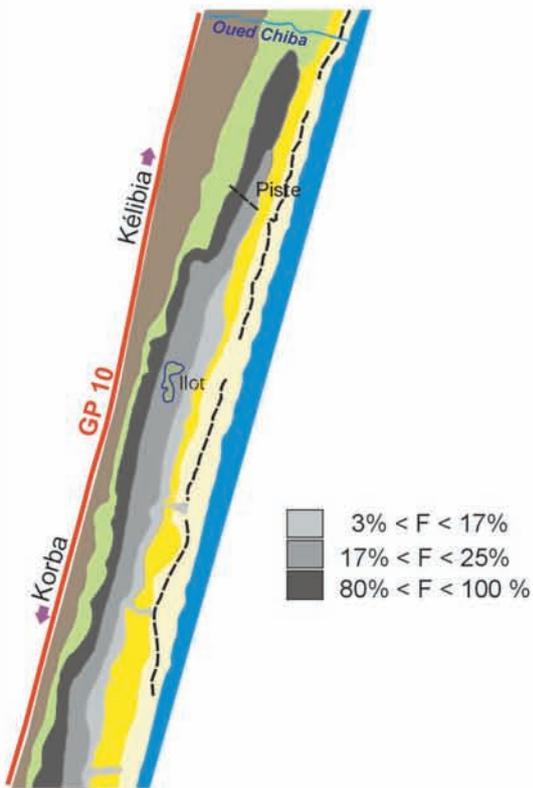
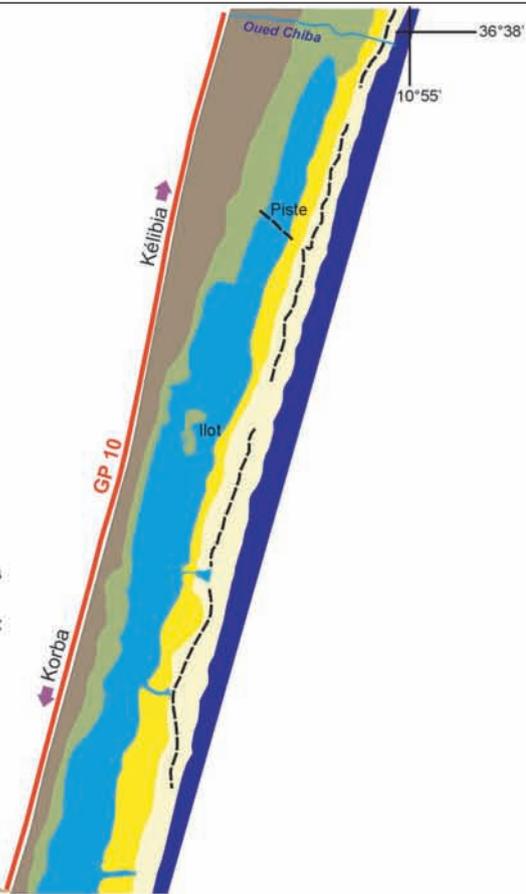


Fig. 2a: Répartition spatiale de la fraction fine

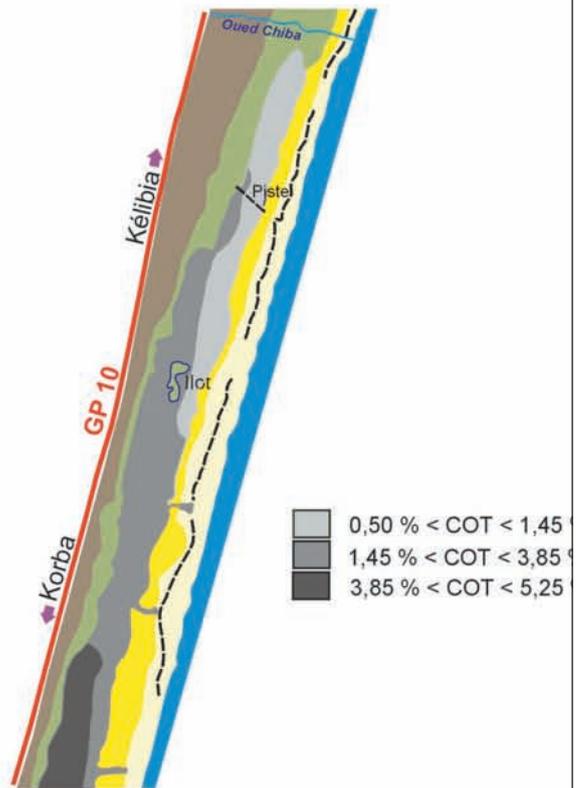


Fig. 2b: Répartition spatiale du carbone organique total (COT)

sableux (JABALLAH, 2003). Localement, la zone bordant la lagune du côté du continent est étroite; elle est occupée par des cultures dominées par des produits maraîchers (Fig. 1b).

## METHODOLOGIE

Trente neuf échantillons de sédiments de surface ont été prélevés, le 23 et 24 avril 2000 (Fig. 1b). Les sédiments ont été tamisés par voie humide à 63  $\mu\text{m}$ . Les deux fractions ont été séchées à 50 °C et broyées dans un broyeur en agate. Les analyses ont été réalisées sur la fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$  ; celle-ci, souvent assimilée à la fraction argilo-organique, est considérée comme le réservoir essentiel des éléments traces (DASSENAKIS *et al.*, 2003). Pour doser Fe, Ca et Al, la mise en solution du sédiment a été réalisée après fusion d'un mélange de 0,852 g de carbonate de strontium, 0,402 g d'acide borique et 60 mg de l'échantillon. La dissolution est effectuée dans 100 ml de solution à 2 % de HNO<sub>3</sub>, la solution obtenue est transvasée dans une fiole jaugée de 200 ml, puis ajustée avec de l'eau distillée. Le dosage de Fe et Ca a été effectué par absorption atomique de type PYE UNICOM SP alors que celui de Al a été réalisé par colorimétrie avec la chaîne automatique de type CHEMLAB. La microgranulométrie a été effectuée à l'aide d'un micromètre automatique de type SEDIGRAPH 5000D. L'analyse du carbone organique total (COT) a été réalisée par pyrolyse des sédiments (ROCK-EVAL) sous une atmosphère inerte à base d'hélium et sous une température croissante de 250 à 550 °C. Le chromatogramme obtenu comprend trois pics (P1, P2, P3). Les surfaces (S1, S2, S3) correspondant à ces pics sont proportionnelles respectivement à la quantité de composés hydrocarbonés libres dans les sédiments (S1), de composés hydrocarbonés liés (S2) et de composés oxygénés (S3) (ESPITALIE *et al.*, 1977). L'index d'hydrogène (IH), peut être tiré de cette analyse ; il permet de caractériser les trois lignées principales d'évolution et d'origine de la matière organique : I : lignée algaire, II : lignée planctonique et III : lignée continentale (ESPITALIE *et al.*, 1977).

Pour doser les métaux lourds, la mise en solution a été réalisée sur 0,5 g de l'échantillon dans un creuset en Téflon, avec un mélange composé d'acide fluorhydrique et d'acide perchlorique, d'abord par une attaque à froid, pendant 12 heures, ensuite par évaporation totale de l'échantillon. Le résidu obtenu a été dissous par ajout de 2 ml d'acide nitrique pur et ajusté à 100 ml par de l'eau bidistillée. Le dosage a été effectué par absorption atomique à flamme.

Dix échantillons (4, 7, 10, 15, 16, 20, 25, 32, 37 et 39) ont subi un fractionnement chimique en utilisant la méthode décrite par TESSIER *et al.* (1979) et modifiée par ADDED (1981). Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments ont été évaluées dans 4 phases (F) :

- (1) Les carbonates (F1): la solubilisation des métaux dans le sédiment a été effectuée, avec 16 ml d'une solution molaire d'acétate de sodium ajustée à pH 5 avec l'acide acétique, pendant 2 heures;
- (2) les oxyhydroxydes de Fe et Mn (F2) : le résidu de la F1 est lessivé avec 30 ml d'une solution d'hydroxylamine chlorhydrée à 0,04 M, dans 25 % d'acide (V/V). On chauffe jusqu'à évaporation totale. La reprise est effectuée à l'aide d'une solution d'acide nitrique à 1 ‰ ;
- (3) la matière organique et les sulfures (F3) : le résidu de la F2 est traité avec 5 ml d'acide nitrique et 20 ml d'eau oxygénée à 30 %, ajustée à pH 2 avec l'acide nitrique. Le sédiment est chauffé pendant une heure environ. Après refroidissement, on ajoute 5 ml d'une solution 3,2 M d'acétate d'ammonium dans 20 % (V/V) de HNO<sub>3</sub>, ce mélange est agité pendant 30 mn. L'acétate d'ammonium sert à empêcher la réadsorption des métaux extraits par les sédiments oxydés ;
- (4) le résidu (F4) : la digestion du résidu de la F3 se fait avec 10 ml d'un mélange (2/3, 1/3) d'acide nitrique et d'acide perchlorique.

## RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### Résultats sédimentologiques

La fraction fine ( $< 63 \mu\text{m}$ ), dans les sédiments de surface de la lagune de Korba, est comprise entre 3 et 96 % (Tab. I). Les pourcentages les plus élevés (80-96 %) sont enregistrés à l'Ouest et à l'extrémité nord de la lagune avec des faciès hyperboliques prépondérants, caractérisant un milieu calme. Les particules se déposent donc par décantation ce qui est en accord avec les résultats des travaux de BARUSSEAU (1973). Dans la partie Est, les sables prédominants (Fig. 2a) semblent se déposer sous le contrôle des vents NE-SE responsables de la propagation des dunes vers l'intérieur du continent. Dans la fraction fine, les argiles dont le pourcentage varie entre 30 et 70 % sont composées de kaolinite (64 %), d'illite (21 %) et de smectite (10 %).

### Géochimie des sédiments de surface

#### CARBONE ORGANIQUE TOTAL (COT)

Les concentrations du carbone organique total des sédiments de surface varient entre 0,5 et 5,25 % (Tab. I). Statistiquement, la majorité des valeurs sont comprises entre 1,5 et 3,9 %. Une zonation se dégage de la répartition spatiale du COT (Fig. 2b) : les faibles teneurs sont observées dans la zone Nord de la lagune, et les plus élevées dans la zone Sud. L'excès de la matière organique dans la zone Sud est dû aux rejets des eaux usées domestiques et agro-industrielles (huileries, conserveries de tomates) de l'agglomération de la région de Korba, ce qui explique en outre la prolifération importante d'algues, essentiellement de type *Enteromorpha compressa* (ROMDHANE *et al.*, 2001). Les résultats d'analyse au ROCK-EVAL (Fig. 3) montrent que la majorité des échantillons sont situés dans la zone III reflétant ainsi l'origine continentale de la matière organique (ESPITALIE *et al.*, 1977).

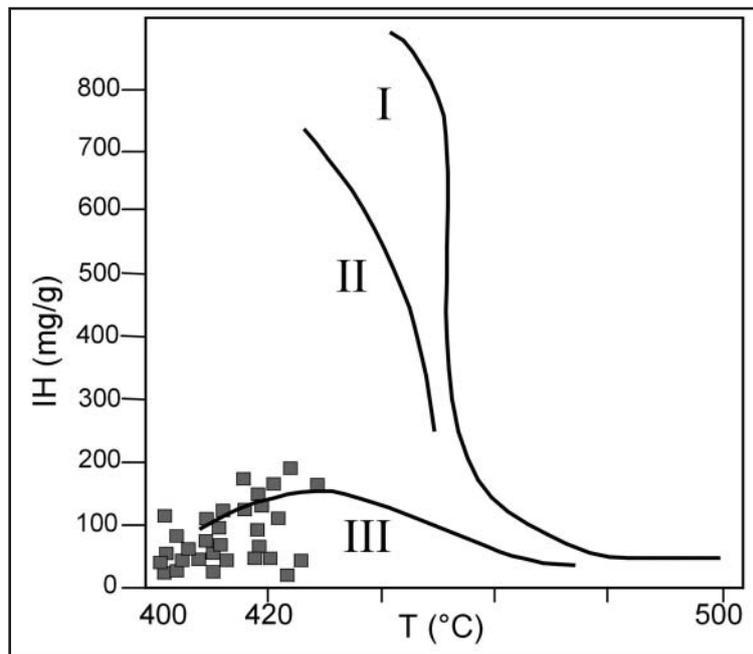


Fig. 3: diagramme de IH/T

#### LES METAUX LOURDS

##### Le plomb (Pb)

Les teneurs en plomb varient entre 30 et 135 ppm (Tab. I). Ce métal se concentre préférentiellement au Sud de la lagune (70-135 ppm), essentiellement dans les sédiments de bordures Est et Ouest (Fig. 4a), et les faibles teneurs (30-44 ppm) occupent le centre de la lagune. L'extraction séquentielle du plomb montre que ce métal s'associe préférentiellement à la fraction résiduelle et aux oxydes avec des pourcentages respectifs de 36 % et 35 % (Fig. 5). La même association a été observée dans d'autres sédiments (SPAN, 1984 ; SAEKI *et al.*, 1993 ; LOPEZ-SANCHEZ, 1996 ; ILLOU, 1999 ; MORILLO *et al.*, 2004). Le pourcentage non négligeable du plomb dans la fraction carbonatée (17 %) s'expliquerait par la formation de  $\text{PbCO}_3$  (EL GHOBARY, 1983).

Tableau I: teneurs de la fraction fine (fen %), du COT (en %), des éléments traces (en ppm) et des oxydes (en %), de sédiments de surface de la lagune de Korba

Ech.	F	COT	IH	T°C	Pb	Zn	Sr	Ni	Cr	Cu	Cd	Mn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
1	90	0,48	22,9	401	53	120	201	80	81	19	0	290	12	5,9	8,6
2	93	0,53	37,7	379	57	105	210	99	84	18	3	279	14,1	5,9	9,5
3	21	0,87	43,6	399	61	105	363	73	70	23	3	251	12	5,3	13
4	20	1,57	55,2	411	44	102	328	54	75	15	2	221	11	4,9	12,3
5	25	0,48	40,3	387	60	79	470	58	45	14	2	203	8,4	3,5	13,4
6	10	0,78	43,5	386	67	106	319	57	55	16	3	225	10	4,3	13
7	18	0,8	44,8	382	70	105	621	89	48	13	3	236	8,2	3,7	20
8	20	0,66	46,9	419	36	79	325	76	69	13	8	233	10,5	4,3	13,4
9	5	1,53	105,2	422	38	95	482	86	63	23	7	219	8,2	3,5	14,4
10	26	2,26	142,9	419	87	125	541	74	49	25	5	212	7,3	3,1	13,3
11	9	2,43	171,6	416	118	129	770	89	47	24	4	218	7,6	3,2	17,6
12	9	1,62	35,2	412	112	120	660	86	59	33	5	205	8,1	3,6	19,5
13	16	2,61	130,6	418	75	122	585	85	53	28	5	225	7,9	4,2	15
14	14	2,34	91,4	411	121	85	550	71	65	20	8	243	10	4,1	16,3
15	6	0,91	126,3	417	135	92	590	60	30	21	7	220	9,2	3,2	13,6
16	90	4,73	162,5	422	48	113	750	83	53	20	5	229	11,1	3,5	17,7
17	89	2,45	65,7	398	98	126	696	81	58	44	5	206	11	3,4	17,6
18	94	2,82	56,9	424	105	127	720	82	60	42	5	210	8,6	4,1	18,3
19	15	2,64	115,1	411	118	129	864	89	47	35	4	218	10,9	4,7	13,9
20	80	3,82	23,5	410	92	125	672	69	61	47	6	203	10,2	4,4	16,5
21	80	3,59	136,7	418	54	148	700	80	63	37	6	208	8,5	3,9	18
22	94	2,55	69,8	410	55	214	459	85	68	32	3	221	11,1	4,8	14
23	90	3,32	113,5	411	31	136	693	94	66	31	3	232	10,9	4,5	15,4
24	94	2,28	85,1	384	56	107	388	83	58	25	3	221	11,8	4,9	13,4
25	95	2,08	54,3	386	73	105	351	92	76	23	3	267	12,7	5,5	12,7
26	97	2,09	59,8	398	76	104	368	101	71	20	6	148	11,2	4,9	13
27	96	2,28	82,2	398	62	109	400	78	85	21	6	258	12,3	5,5	12,3
28	16	2,94	115,2	390	63	103	416	67	89	22	5	248	11,8	5,1	13,5
29	97	1,26	41,2	412	54	118	187	83	83	30	6	288	14,3	5,9	10,2
30	95	0,65	23,1	383	55	119	201	92	99	22	2	330	15,9	6,6	9
31	97	1,03	42,7	418	50	104	293	74	95	18	6	270	14	6	10,3
32	95	0,67	40,3	389	45	111	261	87	82	18	5	298	14,7	6,3	10,9
33	90	0,85	38,8	426	57	113	255	98	90	18	3	374	13,7	5,7	11,3
34	90	1,4	51,4	410	73	109	351	83	76	17	7	262	11,9	5,6	11,8
35	91	2,32	75,0	424	57	95	408	72	72	23	3	244	11,3	4,9	13,4
36	25	2,44	15,5	423	43	98	249	70	88	20	5	224	13	5,9	10,5
37	15	2,56	87,1	390	50	96	340	71	80	21	4	234	13	4,8	10,4
38	6	1,94	105,1	401	55	98	474	83	58	20	5	184	7,9	3,6	12,8
39	8	5,21	186,1	424	59	89	512	74	53	15	4	228	9,2	4,1	14

Ech.: échantillons; F: fraction fine; IH: index d'hydrogène; T: température maximale

Tableau II: matrice de corrélations à l'aide du programme STATISTICA

	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	COT	F	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,00										
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,91	1,00									
CaO	-0,76	-0,71	1,00								
COT	-0,39	-0,24	0,54	1,00							
F	0,54	0,59	-0,23	0,18	1,00						
Cr	0,87	0,82	-0,65	-0,29	0,49	-0,11	1,00				
Cu	-0,22	-0,18	0,46	0,67	0,26	0,14	-0,19	1,00			
Mn	0,85	0,83	-0,66	-0,49	0,50	-0,21	0,76	-0,37	1,00		
Ni	0,23	0,21	0,04	0,11	0,45	-0,05	0,20	0,16	0,35	1,00	
Pb	-0,47	-0,41	0,49	0,23	-0,25	0,27	-0,56	0,39	-0,34	-0,04	1,00
Sr	-0,73	-0,65	0,77	0,69	-0,24	0,30	-0,72	0,65	-0,71	-0,04	0,68
Zn	-0,01	-0,05	0,29	0,49	0,40	-0,17	-0,03	0,70	-0,07	0,41	0,15

### Le strontium (Sr)

Les teneurs en Sr augmentent du nord vers le sud et d'est en ouest de 125 à 1020 ppm (Fig.4b). Une telle répartition rappelant celle de Ca (Fig. 4c) et montrant une nette corrélation (Tab. II), confirme l'association de Sr avec les carbonates de Calcium. Selon BATHURST (1976), les concentrations de Sr dépendent de la nature minéralogique du test des organismes. Il précise que cet élément entre en compétition avec l'ion Ca<sup>++</sup> dans le réservoir des carbonates ce qui engendre sa diminution au cours de la transformation diagenétique.

### Le cuivre (Cu)

Les sédiments de surface renferment du Cu dont les teneurs varient entre 12 et 48 ppm (Tab. I). Les valeurs diminuent vers le Nord de la lagune alors qu'elles augmentent d'Est en Ouest au Sud de celle-ci (Fig. 4d). Le cuivre présente une répartition similaire à celle du COT confirmant l'association de ce métal avec la matière organique (Tab. II) ; il en est de même pour le couple Cu-Zn indiquant soit leur appartenance à la même phase minéralogique, soit des comportements chimiques similaires ou une origine commune (FERNEX et al., 1993 et ALGAN et al., 2004). Le fractionnement chimique du cuivre montre qu'il est associé à la phase organique et aux sulfures

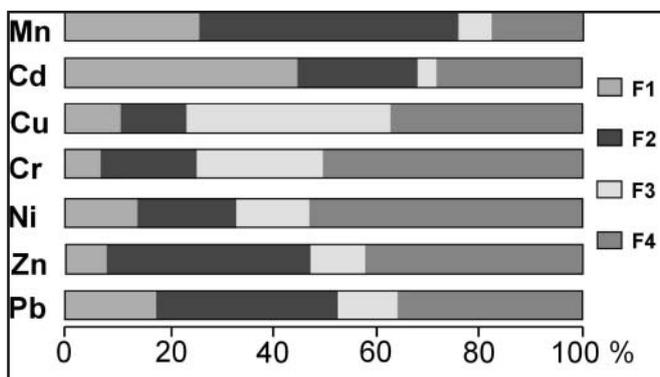


Fig. 5: teneurs moyennes des métaux dans les différentes phases (F)

avec une moyenne de 40 % (Fig. 5). D'après SPAN (1984), les organismes aquatiques participent à l'humification qui favorise la fixation du Cu dans les acides fulviques. Cette association diminue dans un milieu salé en faveur de la phase résiduelle (EL GHOBARY, 1984). Ceci semble être le cas dans notre secteur d'étude, en effet, ce métal est également associé à la phase résiduelle avec une moyenne de 37 %. L'affinité de Cu aux phases organique et résiduelle est signalée par plusieurs auteurs (RAMOS et al., 1994 ; AZZAOUI et al., 1998 ; ALGAN et al., 2004).

### Le cadmium (Cd)

Le cadmium dont les teneurs varient de 0 à 8 ppm (Tab. I) semble se concentrer dans une zone étroite située en bordure Sud-Est de la lagune avec des valeurs comprises entre 7 et 8 ppm (Fig. 4e). En tout état de cause, le cadmium, comme le plomb et le cuivre, semble provenir des rejets industriels émanant des usines agroalimentaires installées sur la bordure Sud de la lagune. Le fractionnement chimique du cadmium montre que ce métal s'associe préférentiellement à la phase carbonatée avec une moyenne de 45 % (Fig. 5). SALOMON et MOOK (1978) et DEURER et al. (1978) attribuent cette association à la stabilité de Cd plutôt qu'à sa co-précipitation avec les carbonates de calcium. Néanmoins, on observe une association non négligeable de Cd avec les résidus et les oxydes de fer et de manganèse (29 % et 23 % en moyenne, respectivement).

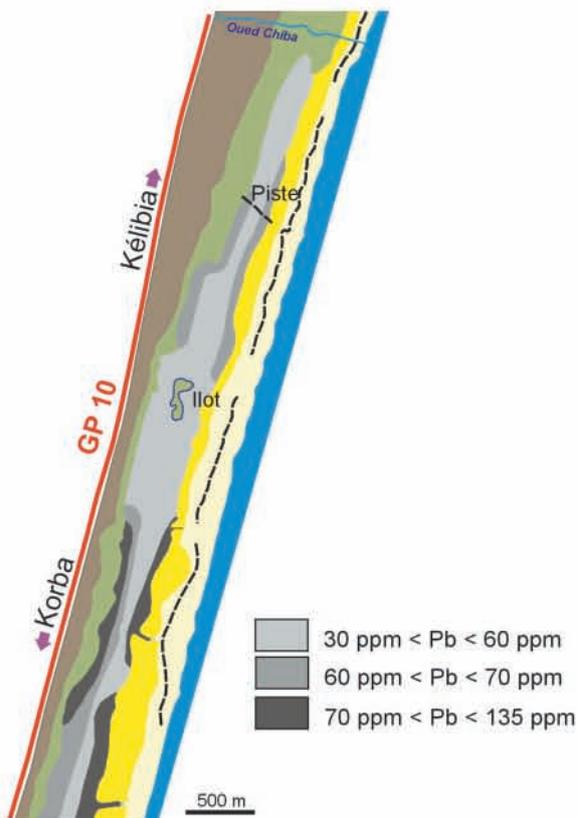


Fig. 4a: répartition spatiale du Pb

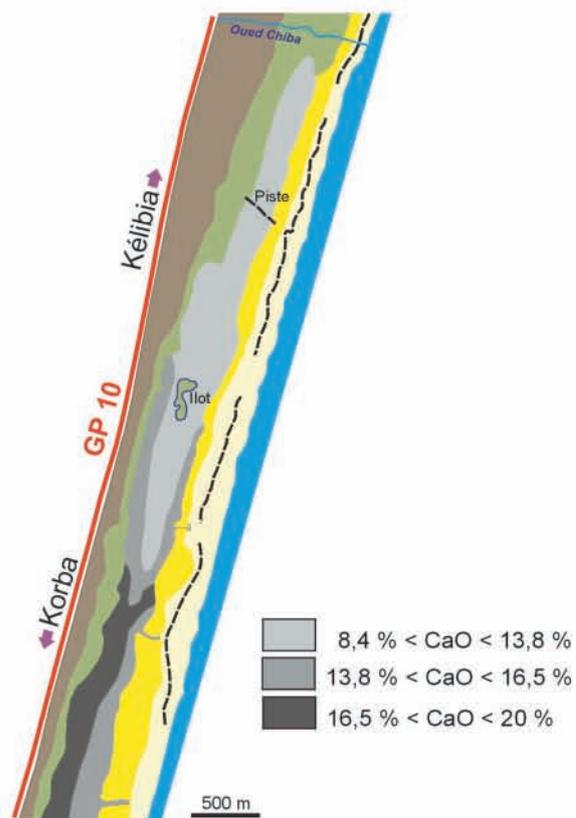


Fig. 4b: répartition spatiale du CaO

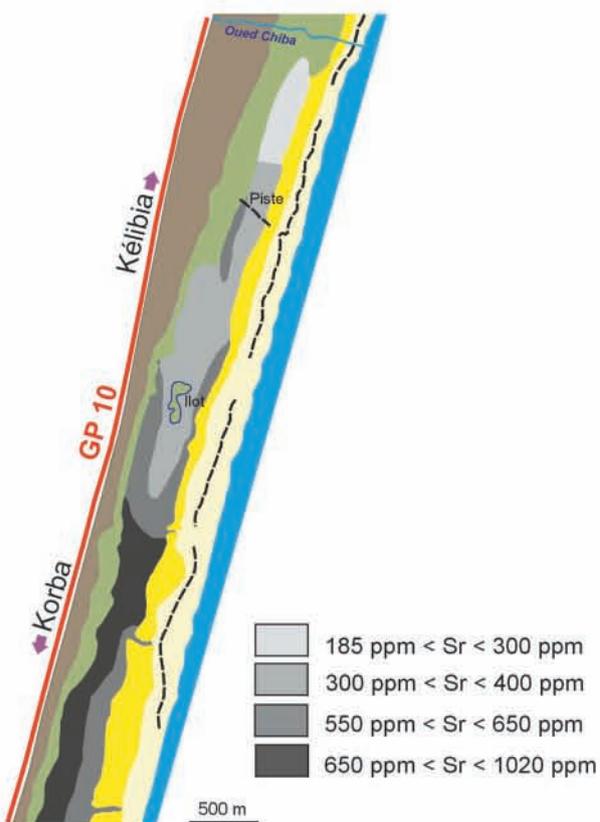


Fig. 4c: répartition spatiale du Sr

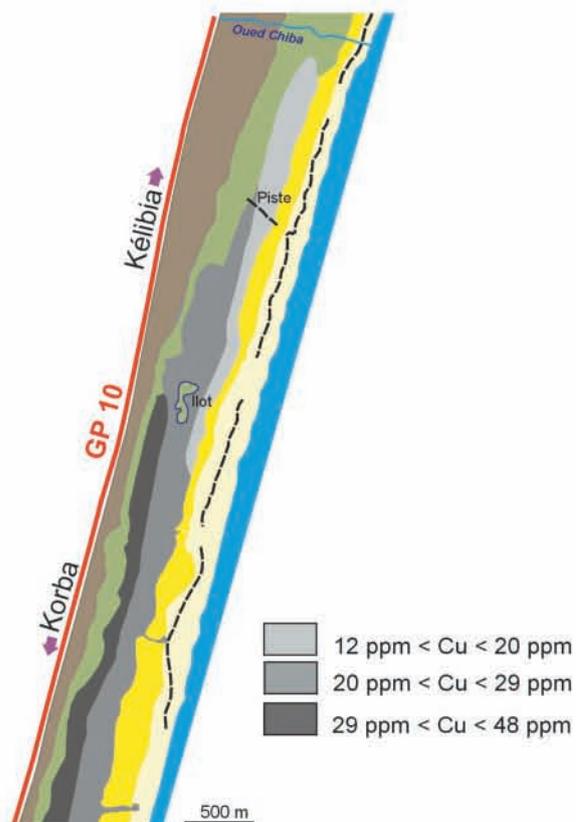


Fig. 4d: répartition spatiale du Cu

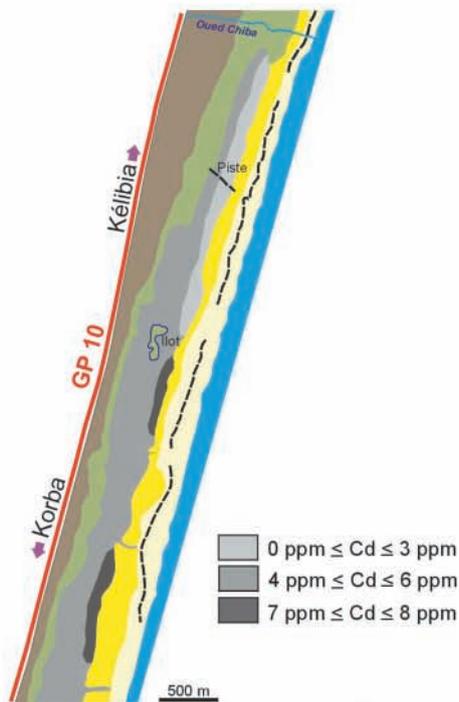


Fig. 4e: répartition spatiale du Cd

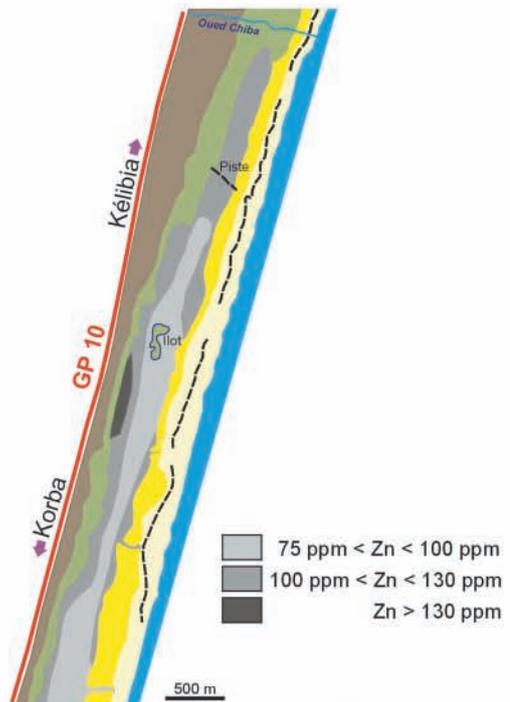


Fig. 4f: répartition spatiale du Zn

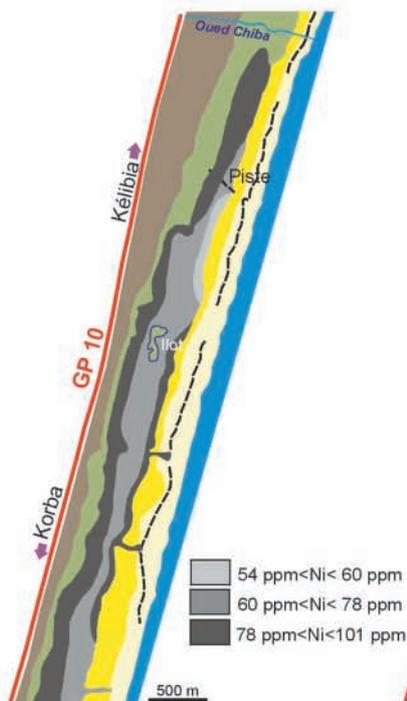


Fig. 4g: répartition spatiale du Ni

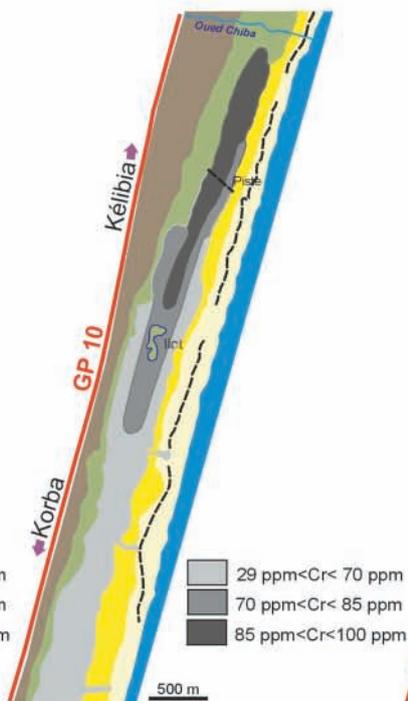


Fig. 4h: répartition spatiale du Cr

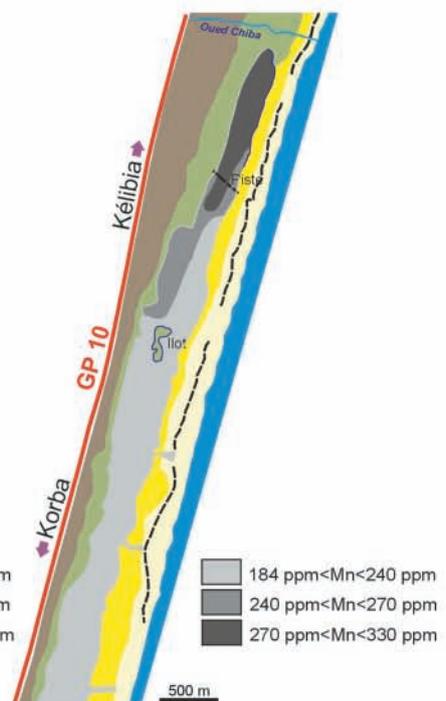


Fig. 4i: répartition spatiale du Mn

### **Le zinc (Zn)**

Les teneurs en Zn varient de 79 à 214 ppm (Tab. I). Sa distribution dans les sédiments superficiels montre que ce métal est concentré dans les sédiments en bordure de la lagune, et particulièrement dans une zone étroite située à l'Ouest (Fig. 4f). Une telle distribution pourrait s'expliquer par l'association préférentielle de Zn avec les argiles et les oxy-hydroxydes de fer et de manganèse (42% et 39 % en moyenne dans ces phases). Selon EL GHOBARY (1983), le zinc peut s'adsorber ou co-précipiter avec les oxydes de fer et de manganèse. Des associations similaires entre Zinc et oxy-hydroxydes ont été observées par certains chercheurs : ESSONNI (1998) et ALGAN *et al.* (2004).

### **Le nickel (Ni)**

Le Ni et le Zn se caractérisent par une répartition similaire (Figs. 4g et 4f) et une assez bonne corrélation (Tab. II). Les teneurs en Ni varient entre 54 et 101 ppm (Tab. II). Le nickel s'associe préférentiellement à la fraction résiduelle avec un taux de 54 % (Tab. II). Cette association a été mise en évidence par plusieurs auteurs (ADDED, 1981 ; LOPEZ-SANCHEZ *et al.*, 1996); en plus, il peut s'associer à l'illite (ADDED *et al.*, 1980 ; SPAN, 1984 et ALGAN *et al.*, 2004).

### **Le chrome (Cr)**

Le Cr montre un gradient croissant de concentration vers le Nord de la lagune (Fig. 4h), avec des concentrations s'échelonnant entre 30 et 99 ppm (Tab. I). La spéciation chimique montre que le chrome est associé principalement à la fraction résiduelle avec une moyenne de 50 % (Fig. 5). Les corrélations positives Cr-Fe et Cr-Al (Tab. II) supposent que le chrome est lié à la phase argileuse et qu'il est d'origine détritique (NOLTING *et al.*, 1996 et ALGAN *et al.*, 2004). La part du chrome dans la matière organique et les sulfures est de 25 % ; il s'associe préférentiellement aux acides fulviques (SPAN, 1984) par chélation aux molécules organiques de fort poids moléculaire. L'association du Cr avec les oxy-hydroxydes est relativement faible (17 %). Cette affinité du chrome aux différentes phases est observée dans les sédiments non contaminés du delta du Rhône (ADDED, 1981), dans les dépôts alluviaux de l'Oued Sebou (AZZAOUÏ *et al.*, 1998), et dans les sédiments marins de la côte de Sfax (ILLO, 1999).

### **Le manganèse (Mn)**

Les teneurs en manganèse augmentent du Sud vers le Nord (Fig. 4i) avec des valeurs qui varient de 184 à 330 ppm (Tab. I). Mn et Cr montrent la même répartition spatiale qui peut être liée aux apports de l'oued Chiba au Nord. La spéciation du manganèse indique qu'il est associé préférentiellement aux oxy-hydroxydes, avec un pourcentage de 50 % (Fig. 5). En outre, on remarque (Tab. II) l'existence d'une forte corrélation entre Mn-Fe et Fe-Al indiquant que ces trois éléments sont fortement liés et entrent dans la structure de la fraction argileuse ou qu'ils y soient adsorbés (SANTSCHI *et al.*, 1990). Les carbonates fixent aussi le Mn avec un pourcentage de 26 %. Selon MEMBRINI *et al.* (1982) et EL GHOBARY (1983), Mn se trouve essentiellement adsorbé à la surface ou co-précipite avec les grains des carbonates. Cette association a été mentionnée par ADDED (1981) pour les sédiments marins du Rhône avec un pourcentage moyen de 40 % ; de même ILLOU (1999) et MORILLO *et al.* (2004) ont observé respectivement des pourcentages de 30 % dans les sédiments du littoral de Sfax et de 25 % dans les sédiments du sud-ouest des côtes d'Espagne.

## **SYNTHESE**

Les concentrations des différents éléments traces (Pb, Sr, Cu et Cd) dans les sédiments superficiels de la lagune de Korba augmentent du Nord vers le Sud. Celles de Cr et Mn montrent une distribution opposée. L'accumulation préférentielle au Nord ou au Sud des métaux semble tributaire de trois facteurs : l'hydrodynamisme de la lagune qui est contrôlé par le vent à direction dominante Nord-Ouest, relativement fort (8m/s) et générant des tourbillons de direction Sud (BACCAR *et al.*, 2001), par les apports de l'oued Chiba qui créent un courant d'eau du Nord vers le Sud, et enfin par les rejets industriels et domestiques qui entraînent un courant ascendant (du Sud vers le Nord) de faible intensité (BOUFARES, 2001). Ces différents courants entraînent une sédimentation essentiellement fine qui piège les métaux lourds, en particulier dans la fraction

argileuse (PALLIER, 1992 et LORTHIOS, 1997). La spéciation chimique nous indique qu'en plus des argiles, d'autres substrats sédimentaires tels que les oxy-hydroxydes de Fe et Mn et la matière organique contrôlent la distribution des métaux lourds dans la lagune. A cause de la diversité dans l'origine des métaux et dans l'association métal/substrat, on assiste à une différenciation dans les aires d'accumulation.

Sur le plan environnemental, la détermination de la concentration de certains éléments chimiques dans les sédiments a permis d'apprécier l'impact des apports naturels et/ou anthropiques dans notre secteur d'étude. Certains auteurs (FORSTNER, 1983 ; ARMANNONSON *et al.*, 1985) considèrent que l'estimation de la contamination en éléments métalliques doit être définie par rapport à leurs concentrations naturelles. Ainsi, avons nous procédé par la méthode dite « moyenne des faibles teneurs », qui semble satisfaisante (PALANQUES *et al.*, 1990). Cette méthode consiste à estimer la moyenne des faibles teneurs des éléments à partir des distributions de fréquence des teneurs sur un graphique Gausso-arithmétique. Les données montrent une importante contamination par Cd, Sr et Pb, les teneurs en Zn étant relativement normales (Fig. 6). Ni, Cu, Mn et Cr présentent des teneurs égales ou inférieures aux normes naturelles estimées (TUREKIAN *et al.*, 1961). Il en ressort, d'une part que le sédiment est carbonaté, donc riche en Cd, Sr et Pb, et d'autre part que la majorité du sédiment n'est pas contaminé par les autres métaux, excepté dans les zones d'accumulation préférentielle dans la lagune.

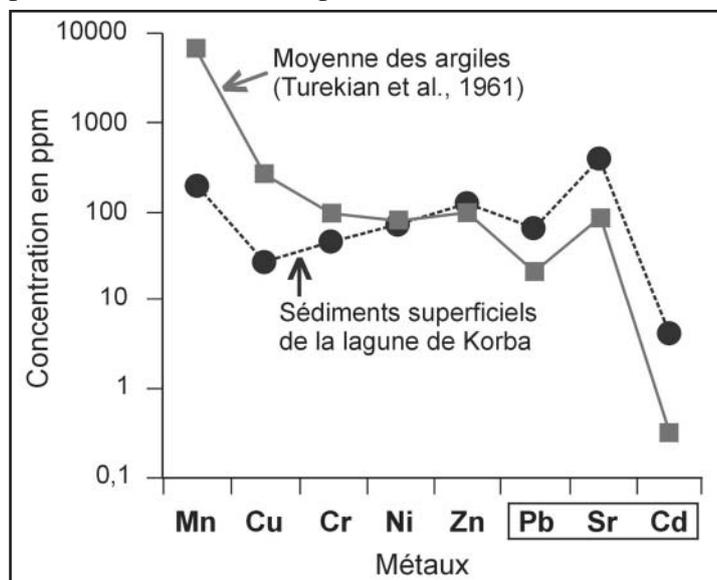


Fig. 6: comparaison entre les moyennes des teneurs des métaux lourds dans les sédiments de la lagune de Korba et les teneurs naturelles dans les argiles

La contamination des sédiments de la lagune est principalement due aux rejets domestiques et industriels (11 usines de conserverie, une de délavage de jeans), aux décharges (dépôts d'ordures) non contrôlées dans la zone marginale de la lagune, à la décharge de ferrailles, située au nord de la ville de Korba, et à l'utilisation des fertilisants phosphatés par les agriculteurs dans les zones limitrophes (PERRONO, 1999), de la lagune. Enfin, la route GP10 qui se trouve à proximité, présente un important trafic de véhicules qui rejettent de grande quantité de plomb, ce qui participe à l'enrichissement des sédiments en cet élément (CHASSIN *et al.*, 1996). De plus les particules qui résultent de l'usure des pneus sont aussi une cause d'accroissement des teneurs en zinc et en cadmium (PERRONO, 1999).

L'analyse en composante principale (ACP) permet de mieux définir les interactions entre métal/substrat et métal/métal plutôt que la simple comparaison des cartes de distribution (Fig. 7). Ainsi, on a pu observer des corrélations positives quoique faibles, d'une part entre Mn-Cr, Fe-Al et fraction fine, indiquant que l'excès des métaux aurait une origine détritique à partir de l'oued Chiba, et d'autre part entre Sr-Pb et carbonates, Cu-Zn et matière organique. En supposant que l'excès de matière organique ait comme origine les rejets industriels dans la lagune, on en déduit que l'excès de Cu et Zn aurait donc une origine anthropique. Ni et Cd ne montrent aucune corrélation significative.

Les associations, métal/fractions litho-chimiques sont les suivantes : Cd-carbonates et Cd-oxyhydroxydes ; Cr-Zn-Pb-Ni-argiles et Cr-Zn-Pb-Ni- oxyhydroxydes ; Pb-Zn-carbonates et Pb-Zn-matière organique ; Cu-matière organique-sulfures ; Mn-oxyhydroxydes de fer et de manganèse. De telles associations concernent le sédiment dans sa globalité (pollué et non pollué), toutefois, en examinant en détail le pourcentage relatif pour chaque métal, on remarque qu'il est sujet à des variations dans les sédiments les plus pollués de la lagune. Pour indiquer les phases responsables de la pollution, nous avons relevé les métaux dont le pourcentage augmente

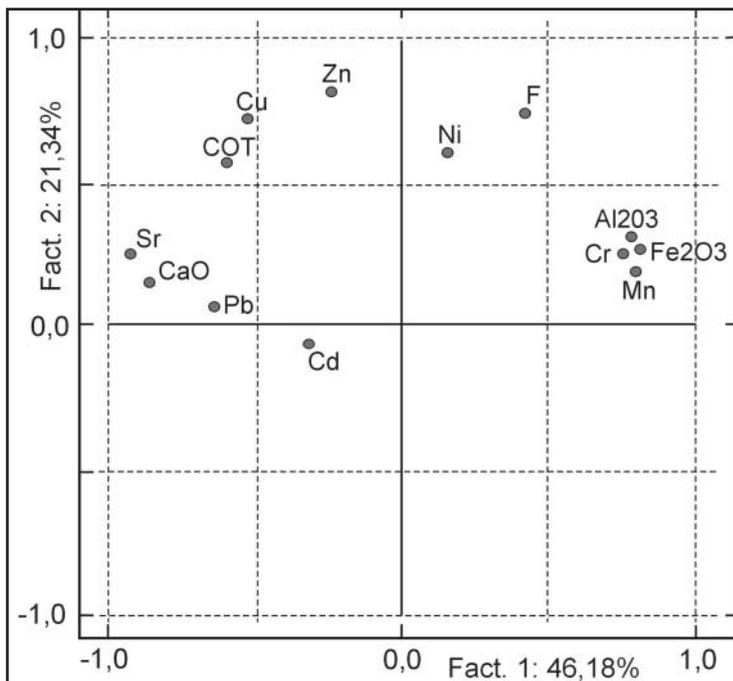


Fig. 7: Projection des variables sur le plan factoriel (1x2)

dans les sédiments les plus pollués. Ainsi, nous avons remarqué que les phases suivantes sont responsables de la pollution métallique : matière organique-Cd ; carbonates, oxydes et matière organique-Cr ; matière organique, oxydes-Zn ; oxydes-Pb ; résidu, oxydes-Ni ; matière organique-Cu. Il ressort que l'excès des métaux dans les zones d'accumulation résulte non seulement d'un seul substrat, comme c'était indiqué plus haut, mais de deux voire trois substrats sédimentaires. Pour cette raison, lorsque les substrats entrent en compétition entre eux, ils ne montrent pas de bonnes corrélations avec les métaux.

## CONCLUSION

La lagune de Korba présente un caractère détritique avec une dominance des argiles dans la partie Ouest et des sables du côté Est. Nous avons constaté que la matière organique, d'origine continentale, s'accumule au Sud de la lagune ce qui semble être en relation avec les rejets domestiques et industriels présents à ce niveau. D'autre part, les valeurs les plus élevées en carbonates sont en rapport avec les débris de coquilles d'origine marine parvenant à la lagune à travers les passes et/ou la déflation éolienne.

Le Mn, le Cu, le Cr, le Ni et le Zn seraient d'origine détritique. Par contre, Pb, Sr et Cd montrent un réel enrichissement d'origine anthropique. Les métaux sont adsorbés principalement par la fraction argileuse et les oxy-hydroxydes. Dans les zones d'accumulation, l'excès de concentrations serait lié aux apports de matière organique (Cd-Cu-Zn), ou à l'adsorption des métaux sur les oxy-hydroxydes de Fe et Mn (Pb-Ni-Cr).

Pour remédier à cette situation et pour que le milieu puisse retrouver son équilibre naturel, il convient de prendre les mesures suivantes :

- arrêter les rejets industriels dans la lagune ainsi que toutes sources d'apports d'éléments nutritifs provenant du lessivage des terrains agricoles avoisinants ;
- faciliter la circulation des masses d'eaux dans la lagune en assurant de meilleures échanges entre sa partie nord et sud ;
- améliorer les échanges de la lagune avec la mer en entreprenant le dragage des passes existantes.
- Créer un espace de protection tout le long des berges de la lagune.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADDED, A., 1981. Etude géochimique et sédimentologique des sédiments marins du Delta du Rhône. Thèse doct. 3ème cycle, Univ. Paris VI., 263 p.
- ADDED, A., FERNEX, F. et RAPIN, F., 1980. Distribution of heavy metals in the superficial marine sediments in the vicinity of the Rhône mouths. *Prog. Wat. Techn.*, 12,1: 89-96.
- ALGAN, O., BALKIS, N., NAMIKCAGATAY, M., et SARI, E., 2004. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara sea, Turkey. *Enviro. Geol.*, 46: 932-950.
- ARMANNONSON, H., BURTON, J.D., JONES, G.B., and KNAP, A.H., 1985. Trace metals and hydrocarbon speciation in environmental in sediments from the Southampton water region, with particular reference to the influence of oil refinery effluent. *Mar. Enviro. Res.*, 15 : 71-81.
- AZZAOUI, S., EL HANBALI, M., et BEN MOHAMMADI, A., 1998. Fractionnement chimique du chrome, cuivre et zinc dans les dépôts alluviaux de l'oues Sebou (Khmiss Hamria, Fes). *Africa Geoscience Review*, 5, 1 et 2 : 123-127.
- BACCAR, L., MOUSSA, M., et BEN HAMZA, C., 2001. Conservation des Zones humides littorales et des Ecosystèmes côtiers du Cap-Bon. L'hydraulique des zones humides de Maamoura, Tazarka et Korba. Rapp. ANPE., Tunisie, 106 p.
- BARUSSEAU, J.P., 1973. Evolution du plateau continental rochelais (Golfe de Gascogne) au cours du Pléistocène terminal et de l'Holocène. Processus actuels de sédimentation. Thèse, Univ. Bordeaux I. 363 p.
- BATHURST, R.G.C., 1976. Carbonate sediments and their diagenesis. *Developments in sedimentology*. Second Enlarget Edition, Vol. 12, Elsevier, Amsterdam, 658 p.
- BOUFARES, S. 2001. Etude et modélisation de l'hydraulique de Sabkhet Korba. D.E.A., Univ. El Manar,
- CHASSIN, P., BAIZE, D., CAMBIER, Ph., et STERKMAN, T., 1996. Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : impact à moyen et long terme. *Etude Ges. Sols*, 03-04, n° spéc., pp. 287-307.
- DASSENAKIS, M., ANDRIANOS, H., DEPIAZI, G., KONSTANTAS, A., KARABELA, M., SAKELLARI, A., et SCULLOS, M., 2003. The use of various methods for the study of metal pollution in marine sediments. The case of Euvoikos Gulf. *Appl. Geochem.* 18: 781-794.
- DEURER, R., FORSTNER, U., et SCHMOLL, G., 1978. Selective chemical extraction of carbonate-associated metals from recent lacustrine sediments. *Geoch. Cosmochim. Acta*, 42 : 225-247.
- EL GHOBARY, H., 1983. Diagenèse précoce en milieu littoral et mobilité des éléments métalliques. Thèse d'état, Bordeaux I, 271 p.
- ESPITALIE, J., LAPORTE, J.L., MADECK, M., MARQUIS, F., LEPLAT, P., et PAULET, J., 1977. Méthodes rapides de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. *Rev. Inst. Fr. pétrol.*, 32 , 1 : 23-45.
- ESSONNI, N., 1998. Etude de la dynamique des sels nutritifs et des métaux lourds en relation avec la sédimentologie et l'hydrodynamique dans le large du Golfe de Tunis. These de doctorat, Université de Tunis II, 222 p.
- FERNEX, F., PARRON, C., AMBATSIAN, P., BALLESTRE, S., et BERNAT, M., 1993. Geochemical transformations in sediments of the new Caledonian lagoon. *Pro. Int. Symp. Environ. Geochem. Trop. Countries, Niteroi*, pp. 21-25.
- GROSSE, M., 1969. Recherche géomorphologique dans la péninsule du Cap Bon (Tunisie). *Publ. Univ. Tunis*, Thèse 3ème cycle, *Sci. Et. Sc. Hum.*, Vol. X, 358 p.
- ILLOU, S., 1999. Impact des rejets telluriques d'origines domestiques et industrielles sur les environnements côtiers: cas du littoral nord de la ville de Sfax (Tunisie). Thèse doct., Univ. Tunis II., 220 p.
- JABALLAH, M., 2003. Approche méthodologique dans l'étude de la stabilisation et de la réhabilitation des dunes bordières de la plage de Korba. DEA., Univ. El Manar, Tunis, 127 p.
- LOPEZ-SANCHES, J.F., RUBIO, R., SAMITIER, C. et RAURET, G. 1996. Trace metal partitioning in Marine sediments and sludges deposited off the coast of Barcelona (Spain). *Wat. Res.* 30, 1: 153-159.
- LORTHIOS, P., 1997. Mise en évidence des teneurs en nickel élevées dans les sols argilo-calcaires des causses. Aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines. *Journées Techniques des 5 et 6 juin 1997*, ADEME. éd., 320 p.
- MEMBRINI, G.P., RAPIN, F., GARCIA, J.L., et FÖRSTNER, U., 1982. Speciation of Fe and Mn in a sediment core of the baie of Villefranche (France). *Env. Tech. Lett.*, 3 : 545-552.
- MORILLO, J., USERO, J., et GARCIA, I., 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Elsevier, Chemosphere*, 55: 431-442.
- NOLTING, R.F., MAARTEN, V.D., et HELDER, W., 1996. Distribution of trace and major elements in sediment and pore waters of the Lena Delta and Laptev sea. *Mar. chem.*, Elsevier, pp. 285-299.
- PALANQUES, A., PLANA, F., et MALDONADO, A., 1990. Recent influence of man on the Ebro margin sedimentation, northwestern sea. *Mar. Geol.*, 95: 274-267.
- PALLIER, V., 1992. Etude des teneurs naturelles et éléments traces dans les sols agricoles du grand nord-est de la France (Cu, Zn, Cd, Ag, Se, Cr, Ni, Pb). Rapp. Univ. Poitiers/Ademe, 39 p.
- PERRON, P., 1999. Les micropolluants métalliques des boues de station d'épuration urbaine et l'épandage agricole. *Mem. D.E.S.S., D.E.P.*, Univ. Picardie, Amiens, 20 p.
- RAMOS, L., REMENDEZ, L.M., et GONZALEZ, M.J., 1994. Sequential fractionation of copper, Lead, Cadmium and zinc in soils from or near Donana national park. *J. Envi. Qual.*, 23 : 50-57.
- ROMDHANE, S. et MISSAOUI, H., 2001. Conservation des zones humides littorales et des écosystèmes côtier du Cap-Bon. Diagnostic hydrobiologique et étude des peuplements. *Rap. Med. Wet. Cost. Min. Envi. Amén. Territ. APAL.*, 24 p.

- SAEKI, K., OKAZAKI, M., et KUBOTA, M., 1993. Heavy metal accumulations in a semi-enclosed hypereutrophic system: Lake Teganuma, Japan. 2. Heavy metal accumulations in sediments. *Wat., Air soil pollut.*, 69 : 79-91.
- SALOMON, W., et MOOK, W.G., 1978). Processes affecting trace metals in lake. IJssel. Abstr. 10th Int. Congr. Sedi., Jerusalem, pp. 569-570.
- SANTSCHI, P., HOHENER, P., BENOIT, G., et BRINK, M.B.T., 1990. Chemical process at the sediment-water interface. *Mar. Chem.*, 30: 269-315.
- SASSI, S., 1969. Contribution à l'étude de la Sebkha Tegdimane et du Chott El guettar. *Notes Ser. Géolo. Tunis*, 24, 107 p.
- SLAMA, I., 2003. Etude de la qualité des eaux de la lagune de Korba. DEA., Univ. El Manar., 87 p.
- SPAN, D., 1984. Etude par fractionnement chimique de la distribution des métaux traces dans les sédiments marins récents : Le Delta du Rhone, les golfes de St Raphael et de Cannes-La Napoule. Doct. 3ème cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 252 p.
- TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., et BISON, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metal. *Analytical chemistry*, 51, 7: 844 - 851. Univ. Quebec, INRS.
- TUREKIAN, K.K., et WODEPHOL, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Géol. Sco. Am., Bull.*, 72 : 175-192.
- VAN DER WEIJDEN, C.H., et AMOLDUS M.J., 1977. Desorption of metals from suspended material in the Rhine estuary. *Neth. J. Sea.Res*, 11, 2 : 130-145.

