



## **Caractérisation géochimique des sédiments de surface du golfe de Tunis**

|               |                                                                               |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Item Type     | Journal Contribution                                                          |
| Authors       | Fernex, F.; Ben Mammou, A.; Added, A.; Abdeljaoued, Saadi; Essonni, N.        |
| Citation      | Bull. INSTM Salammbô, 30, p. 135-142                                          |
| Publisher     | INSTM                                                                         |
| Download date | 09/02/2023 09:23:38                                                           |
| Link to Item  | <a href="http://hdl.handle.net/1834/1116">http://hdl.handle.net/1834/1116</a> |

## CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE DU GOLFE DE TUNIS

Ayed ADDED<sup>1</sup>, A. BEN MAMMOU<sup>1</sup>, S. ABDELJAOUED<sup>1</sup>,  
N. ESSONNI<sup>1</sup> et F. FERNEX<sup>2</sup>

1- Laboratoire de Ressources Minérales et Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis,  
Campus Universitaire, 2092 El Manar, Fax : 71 885 408

2- URA CNRS 132, Géochimie Isotopique, Parc Val rose, Université de Nice, F-06108 Nice Cedex 2, France

### ملخص

**الخصائص الجيوكيميائية للرسوبيات السطحية بخليج تونس :** إن مصادر الرسوبيات بخليج تونس متأتية أساسا من وادي مجردة ووادي مليان. تتوزع هذه الرسوبيات بمفعول التيارات المائية المتأتية من الحوض الغربي للبحر الأبيض المتوسط والتي تنفرع إلى فرعين يخترق الأول خليج تونس باتجاه شمال غربي نحو الجنوب الشرقي ويمتد الثاني على طول السواحل الغربية لخليج تونس. إن هذه التيارات المائية تحدد توزيع الترسبات وبالتالي المواد الحديدية المتأتية أساسا من حوض وادي مجردة مع مياه الفياضانات.

شمل هذا البحث دراسة توزيع الرسوبيات، المواد الكلسية والمواد العشوية المرتبطة بالرسوبيات السطحية بخليج تونس. إن النسبة المرتفعة للمواد الكلسية ناتجة عن تواجد الصدقات البحرية العالقة بالأعشاب المائية الكثيفة بوسط خليج تونس. أما توزيع المواد العضوية وإرتفاع نسبها بخليج تونس فهو ناتج عن إرتفاع نسبة الرسوبيات المتأتية من حوض وادي مجردة من ناحية وعن عدم تحلل هذه المواد بنفس المنطقة. أثبتت التحاليل الجيوكيميائية أن نسبة الحديد، الزنك، النيكل، الكوبالت، النحاس والرصاص تتراوح بين

ppm 56 – 142, ppm 9-20, ppm 20-34, ppm 67-39, ppm 45-150, % 0.5 – 1.6

وبالتالي يمكن اعتبار أن الرسوبيات بخليج تونس ملوثة بالحديد والكوبالت والنيكل وبنسبة عالية بالرصاص. أن هذه المادة الأخيرة متأتية من التلوث الحاصل في بحيرة تونس.

أن توزع هذه المواد بثلاثة أماكن مختلفة ذات نسب مرتفعة أمام وادي مجردة وحول جزيرة زمبرة وبالحوض الأوسط لخليج تونس تدل على مصدر هذه الملوثات وعلى دور التيارات المائية في توزيعها.

**كلمات مفاتيح :** الرسوبيات السطحية، جيوكيمياء، خليج تونس

### RESUME

Les apports détritiques dans le Golfe de Tunis ont pour origine les principaux cours d'eau la Mejerda et Meliane. La répartition des sédiments dans le Golfe de Tunis est contrôlée par les courants généraux du Golfe de Tunis tributaires du courant général de la Méditerranée. Ce dernier se scinde au niveau du Golfe de Tunis en deux branches; une première branche contourne les côtes ouest du golfe alors que la deuxième branche traverse le centre du golfe avec une direction NNW-SSE. Le passage de cette branche du courant général du golfe conditionne la présence d'une zone centrale caractérisée par un sédiment relativement plus sableux que ce qui l'entoure et contrôle la répartition des éléments métalliques analysés qui ont pour origine principale l'Oued Mejerda. En plus de l'étude granulométrique, la caractérisation des sédiments de surface du Golfe de Tunis a également intéressé la répartition des carbonates et du carbone organique total (COT). Les carbonates ont montré des pourcentages élevés dans le Petit Golfe de Tunis dus au piégeage des coquilles carbonatées par la végétation qui est très dense dans cette zone. Le COT a par contre fourni des pourcentages importants près de l'embouchure de l'Oued Mejerda, ce qui semble en liaison avec une décomposition faible de la matière organique dans cette zone, et peut être à cause du taux de sédimentation relativement plus fort.

Les éléments métalliques analysés (Fe, Zn, Ni, Co, Cu et Pb) montrent que les concentrations varient respectivement entre 0,5 et 1,6%; 45 et 150 ppm; 39 et 67 ppm; 20 et 34 ppm; 9 et 20 ppm et entre 56 et 142 ppm. Aussi, les sédiments de surface du Golfe de Tunis peuvent être considérés comme peu contaminés par le Fe, Mn, Co et Ni mais davantage par le Pb. Ce dernier est alimenté par une source supplémentaire qui semble être le Lac de Tunis. La répartition horizontale de ces éléments métalliques montre trois zones à concentrations élevées situées près des embouchures de l'Oued Mejerda, près de l'île Zembra et au Nord du Petit Golfe de Tunis. Cette répartition montre bien que l'origine principale de l'ensemble de ces métaux est l'Oued Mejerda et met en relief l'influence de courant dominant dans le golfe qui détermine la présence d'un couloir NNW-SSE à faibles concentrations métalliques.

**Mots clés:** Sédimentologie, géochimie, sédiments de surface, golfe de Tunis.

## ABSTRACT

**Geochemistry of surficial sediments of the gulf of Tunis:** The general current of the Gulf of Tunis are dependent of the general Mediterranean current. This last divides to the level of the Gulf of Tunis in two branches; a first connects by pass west coasts of the gulf while the second branch crosses the centre of the gulf with a NNW - SSE direction. The passage of this second branch of the general current creates a central zone characterised by a sediment relatively sandier than what surrounds it and controls the distribution of the different metallic elements that have for main origin the Oued Mejerda. The metallic elements here analyzed are the Fe, Zn, Ni, Co, Cu and Pb. Their concentrations vary respectively between 0,5. and 1,6%; 279 and 447 ppm; 39 and 67 ppm; 20 and 34 ppm; 9 and 20 and between 56 and 142 ppm. Also sediments of surface of the Gulf of Tunis can be considered as little contaminate by the Fe, Mn, Co and Ni and very contaminated by the Pb. This last presents therefore a supplementary source that is the Lake to Tunis. For surface sediment identification, we were equally interested to the distribution of carbonate and COT percentages: Carbonates have shown high percentages in the Small Gulf of Tunis in accord of vegetation who is very dense in this one (she may play as a traps of carbonate); the COT has on the other hand shown very important percentage at the vicinity of Mejerda mouth following a weak decomposition of the organic matter in this zone. The horizontal distribution of these different metallic elements shows three zones to raised high concentration: near mouthpieces of the Oued Mejerda, near the Zembra island and to the north of the Small Gulf of Tunis. This distribution shows that the main origin of the totality of these metals is well the Oued Mejerda and it reflects the influences of the general current of the gulf that allows the presence of the corridor with a low metallic concentration the long of it path.

**Key words:** sedimentology, geochemistry, surficial sediments, gulf of Tunis

## INTRODUCTION

L'érosion des plages du Golfe de Tunis a conduit plusieurs auteurs à porter leur attention sur cette zone afin de proposer des solutions susceptibles de ralentir ce phénomène. Parmi ces travaux de recherche on cite à titre d'exemple Passkoff, (1983) et Kouki, (1984) qui ont abouti à la réalisation de quelques ouvrages de protection du littoral (brise-lame). Ces ouvrages ont nécessité par la suite un suivi continu (Passkoff, 1987; Queslati, 1992, 1993, Passkoff, 1993 et Zeggaf-Tahiri, 1999).

La protection des milieux littoraux et marins ne se limite pas à la préservation des côtes contre l'érosion mais s'étend à la caractérisation des différentes substances susceptibles d'induire une dégradation de la faune et de la flore. Aussi, en Tunisie le plus grand nombre des travaux ayant pour sujet l'influence des produits toxiques sur le milieu marin a essentiellement intéressé le Golfe de Gabès. En ce qui concerne le Golfe de Tunis, on a toujours pensé qu'il était relativement épargné par la contamination métallique. Toutefois, l'essentiel des rejets urbains et industriels des villes bordières du Golfe de Tunis débouchent dans les systèmes lagunaires limitrophes (Lac de Tunis, Sebkhate Ariana, Lagune de Ghar El Melh et la Lagune de Bizerte). De ce fait, rares sont les travaux qui se rapportent à la contamination des sédiments du Golfe de Tunis par les éléments métalliques (Raïs, 1992; Ben Cherrada, 1997). Ces travaux ont néanmoins montré que les sédiments du golfe subissent une certaine contamination. Essonni (1998) a abordé l'étude de la dynamique des sels nutritifs et des métaux lourds en relation avec la sédimentologie et l'hydrodynamique dans le golfe de Tunis.

Le présent travail consiste essentiellement à étudier la répartition des métaux dans les sédiments du Golfe de Tunis. Cette répartition devrait permettre de limiter les zones plus ou moins contaminées. Il faut préciser que dans les sédiments les métaux subissent différents

processus chimiques et biologiques. Ainsi leur présence dépend de plusieurs paramètres caractéristiques du milieu et en particulier celles liées aux sédiments tels que le pH, le Eh, la quantité de la matière organique ... etc. Cette présence dépend aussi de certains paramètres plus directement liés à l'élément métallique lui-même en particulier la "bio-disponibilité" qui correspond à la plus ou moins grande facilité que l'élément a être absorbé par les organismes vivants, à sa mobilité ou à sa capacité à migrer d'un point à un autre et à passer d'une forme à une autre ou d'une phase à une autre.

Aussi l'étude de la répartition des concentrations des différents éléments métalliques ne peut être bien faite que si elle est accompagnée d'une étude caractérisant le sédiment encaissant (granulométrie, % des carbonates et de la matière organique,...)

### Secteur d'étude

Le Golfe de Tunis est situé au Nord-est de la Tunisie entre 36°44' et 37°20' de latitude nord et entre 10° et 11° de longitude est. La limite vers le large est arbitrairement fixée vers 37°20' avec une profondeur maximale de la tranche d'eau de 250 m. Il est le réceptacle des apports de deux des plus importants oueds de la Tunisie: l'Oued Mejerda et l'Oued Meliane.

- L'Oued Mejerda est l'oued le plus important de la Tunisie avec un bassin versant de l'ordre de 23 500 km<sup>2</sup> et une longueur de 430 km. Son débit liquide moyen est de 29 m<sup>3</sup>/s son débit solide est en moyenne de 10 g/l; ceci fait un apport solide annuel au Golfe de Tunis de 17 millions de tonnes (Pimienta, 1959). Ces apports ont diminué à 3 millions de tonnes après la construction du barrage de Mèllègue et ne seraient actuellement que de 9 millions de tonnes suite à la mise en eau du barrage de Sidi Salem (Ben Mammou, 1998). Les apports solides de la Mejerda dans le Golfe de Tunis seraient actuellement de 5 millions de tonnes. La composition chimique des eaux de l'Oued Mejerda montre généralement des concentrations faibles en métaux. Toutefois, des

concentrations plus importantes ont été localement notées notamment en aval des laveries minières, des rejets urbains et industriels et aux niveaux des eaux de drainages chargées de produits couramment utilisés dans l'agriculture (Ben Hamza, 1994).

- L'Oued Meliane draine un bassin versant de 2 280 km<sup>2</sup> et a une longueur de 160 km. Il a un apport liquide de l'ordre de 50 Mm<sup>3</sup>/an, avec une charge solide de l'ordre de 20 400 T/an (Ben Mammou, 1998). Les deux ouvrages hydrauliques (Barrage El Kébir et Bir M'chergua) construits dans le bassin versant ont réduit considérablement les apports solides et liquides au Golfe de Tunis. Ses eaux sont très polluées par les rejets de 50% des eaux usées à l'état brut dans l'oued dans sa partie aval (Ben Cherrada, 1997).

## MATERIEL ET METHODES

La campagne d'échantillonnage a été effectuée en automne 1993 à bord du bateau Océanographique « Salambo ». Au cours de cette campagne, nous avons prélevé des sédiments de surface au niveau de 80 stations réparties dans l'ensemble du Golfe de Tunis (Fig.1). Ces prélèvements ont été effectués par benne. La zone côtière (moins de 10 m de profondeur) et une mince frange

autour de l'île de Zembra (de 0 à 20 m de profondeur) restent dépourvues d'échantillons.

La séparation des fractions granulométriques grossières (> 63 µm) et fine (< 63µm) a été effectuée par voie humide sur un tamis de 63µm. Ce fractionnement nous a permis de déterminer le pourcentage de la fraction sableuse dans les sédiments superficiels. L'analyse micro-granulométrique de la fraction inférieure à 63 µm a été réalisée à l'aide d'un appareil automatique type Sédigraph 5000. Cette analyse nous a permis de déterminer d'une part les pourcentages des fractions silteuses et argileuses et d'autre part le mode de dépôt des sédiments.

Les carbonates ont été mesurés par un calcimètre Bernard. Les dosages du carbone organique total (COT) ont été effectués par un coulomat (coulomat 702) et par pyrolyse Rock-Eval. Les éléments métalliques ont été mesurés au spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme après mise en solution.

L'attaque totale du sédiment a été effectuée avec un mélange d'acide fluorhydrique, d'acide perchlorique et d'acide nitrique. Le fractionnement chimique des éléments métalliques consiste à étudier la fraction bio-disponible et la fraction non bio-disponible.

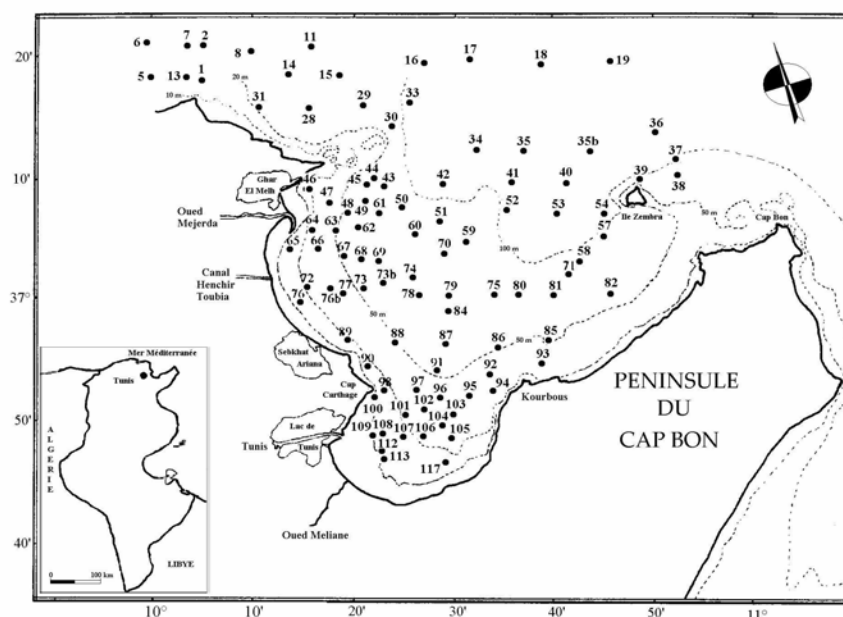


fig. 1 : Cadre général et emplacement des échantillons

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Caractérisation des sédiments

L'étude granulométrique montre que le sédiment de surface du Golfe de Tunis (Fig. 2) est à fraction fine dominante avec une grano-décroissance vers le large. Une zone restreinte située au centre du golfe fait

exception et se caractérise par une granulométrie relativement grossière. Cette répartition suppose la présence d'un courant de fond relativement plus important au niveau du centre du golfe. Cette hypothèse est confirmée par les analyses micro-granulométriques (Fig. 3) qui ont montré que l'essentiel des sédiments de surface du Golfe de Tunis se caractérisent par un faciès

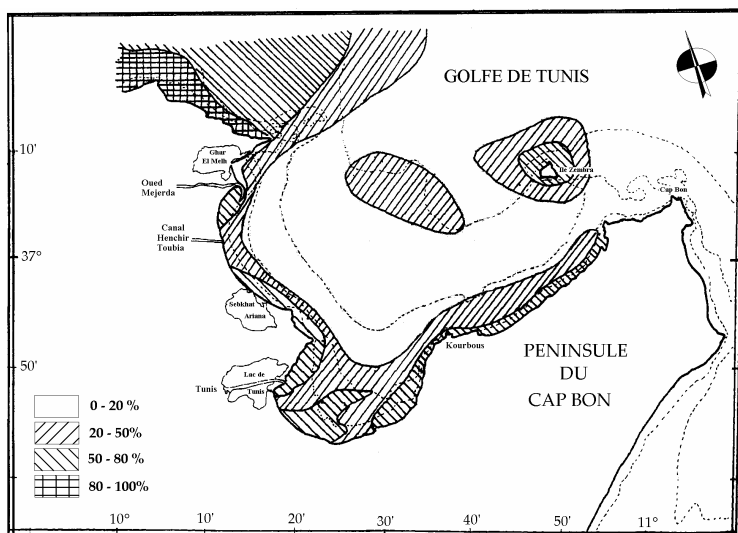


Fig. 2 : Répartition granulométrique

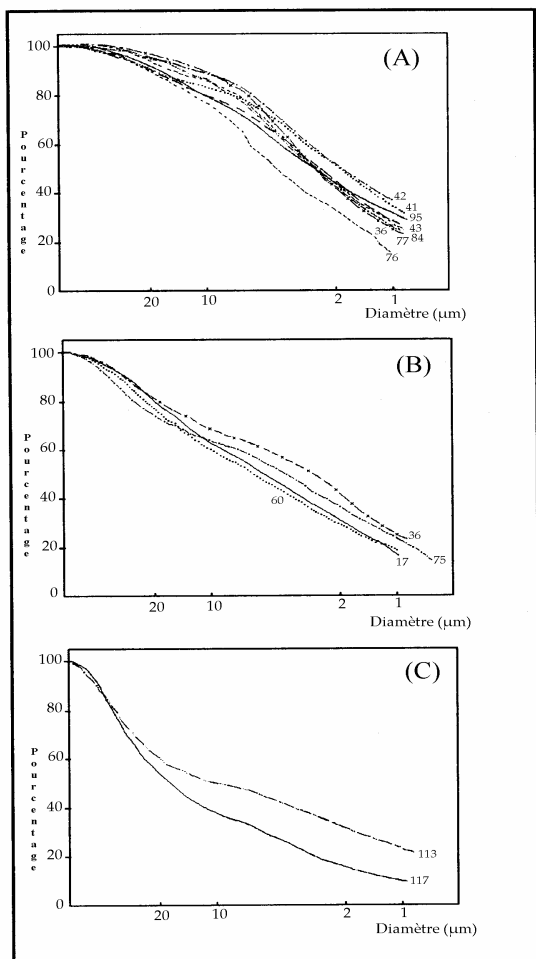


Fig. 3 : Courbes micro-granulométriques réalisées pour quelques échantillons du Golfe de Tunis

hyperbolique typique des milieux calmes (Fig. 3 A) alors que les échantillons de la partie centrale du golfe montrent un faciès logarithmique (Fig. 3 B) caractéristique des milieux relativement plus agités (Rivière, 1952). Le faciès parabolique caractérise les milieux fortement agités exposés directement aux apports des oueds Mejerda et Meliane (Fig. 3 C).

La variation des pourcentages des carbonates (Fig. 4)

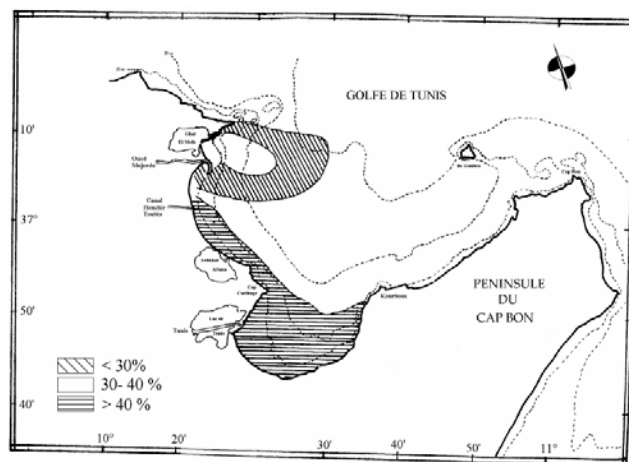


Fig. 4 : carte de répartition des pourcentages des carbonates

montre que seul le Petit Golfe de Tunis se caractérise par des pourcentages élevés (> 40 %). Ces pourcentages élevés seraient dus à la présence de la couverture végétale assez dense comme en témoigne la carte de la végétation du Golfe de Tunis établie par Ben Alaya (1972). Cette couverture végétale agit comme piège pour les coquilles carbonatées.

Les pourcentages du carbone organique totale (COT) varient entre 0,6 et 2,2 % (Fig. 5); les plus importants se

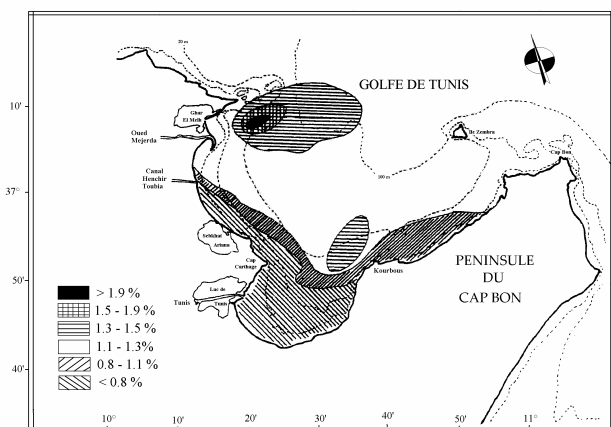


fig. 5 : carte de répartition des pourcentages du carbone organique total (COT)

situent près de l'embouchure de l'Oued Mejerda. Ces pourcentages relativement élevés peuvent avoir pour origine soit les apports importants à partir de l'Oued Mejerda, soit une décomposition moins accentuée de la matière organique dans ce secteur par rapport au reste du golfe. Pour trancher entre ces deux hypothèses, on a eu recours à la méthode de Pyrolyse Rock-Eval. Celle-ci permet de déterminer la quantité de composés hydrocarbonés libres (S1) et potentiels (S2). Les corrélations positives entre les paramètres S1 - S2 (Fig. 6) et S2 - COT (Fig. 7), indiquent que les composés

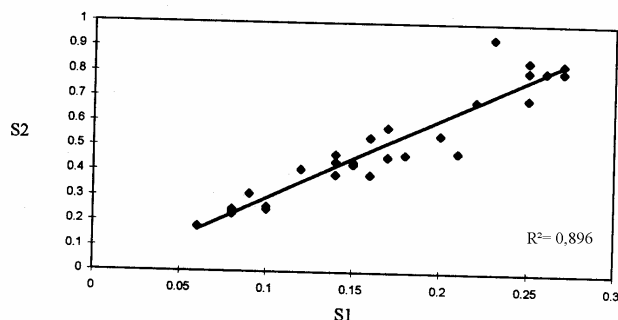


fig. 6 : Variation du paramètre S2 en fonction du paramètre S1

hydrocarbonés libres sont pour la plupart hérités de la biomasse originelle et l'absence d'une contamination organique significative des sédiments de surface du Golfe de Tunis. Les corrélations entre (S1 + S2) avec COT (Fig. 8) supposent une composition homogène du matériel organique contenu dans les sédiments. Ainsi les pourcentages élevés du COT détectés près de l'embouchure de l'Oued Mejerda seraient essentiellement dus à une décomposition faible de la matière organique dans ce secteur.

#### Concentrations métalliques

Les éléments métalliques analysés sont Fe, Zn, Ni, Co,

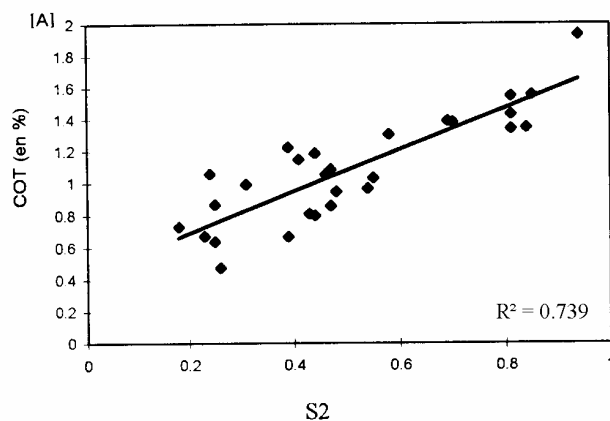


Fig. 7 : Variation du COT en fonction du paramètre S2

Cu et Pb. Leurs concentrations respectives varient entre 0,5 et 1,6%; 45 et 150 ppm; 39 et 67 ppm; 20 et 34 ppm; 9 et 20 ppm et entre 56 et 142 ppm. Leurs répartitions, dans les sédiments de surface du Golfe de Tunis (Fig. 9), montrent généralement des concentrations importantes près de l'embouchure de l'Oued Mejerda et près de l'île Zembra, et des concentrations moyennement élevées au Nord du Petit Golfe de Tunis. Cette répartition laisse supposer que l'origine des particules fortement chargées en métaux est l'Oued Mejerda. En effet, les affleurements de l'île Zembra sont formés de roches carbonatées et gréseuses pauvres en métaux. Le plomb montre des

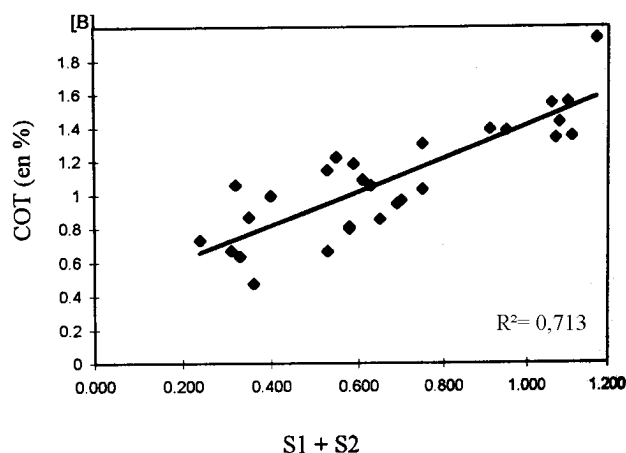


Fig. 8 Variation du COT en fonction de la somme des paramètres S1 et S2

concentrations élevées dans la partie ouest du Petit Golfe de Tunis; il aurait une source contaminante supplémentaire qui serait le Lac de Tunis surtout que des études effectuées sur les sédiments de surface du Lac sud de Tunis ont montré qu'ils présentent des concentrations en plomb élevées jusqu'à 880 ppm (Bonnard et Gardel, 1996).

La superposition de l'ensemble des cartes de répartitions de ces différents éléments métalliques montre la présence continue d'un couloir de direction NNW - SSE situé au

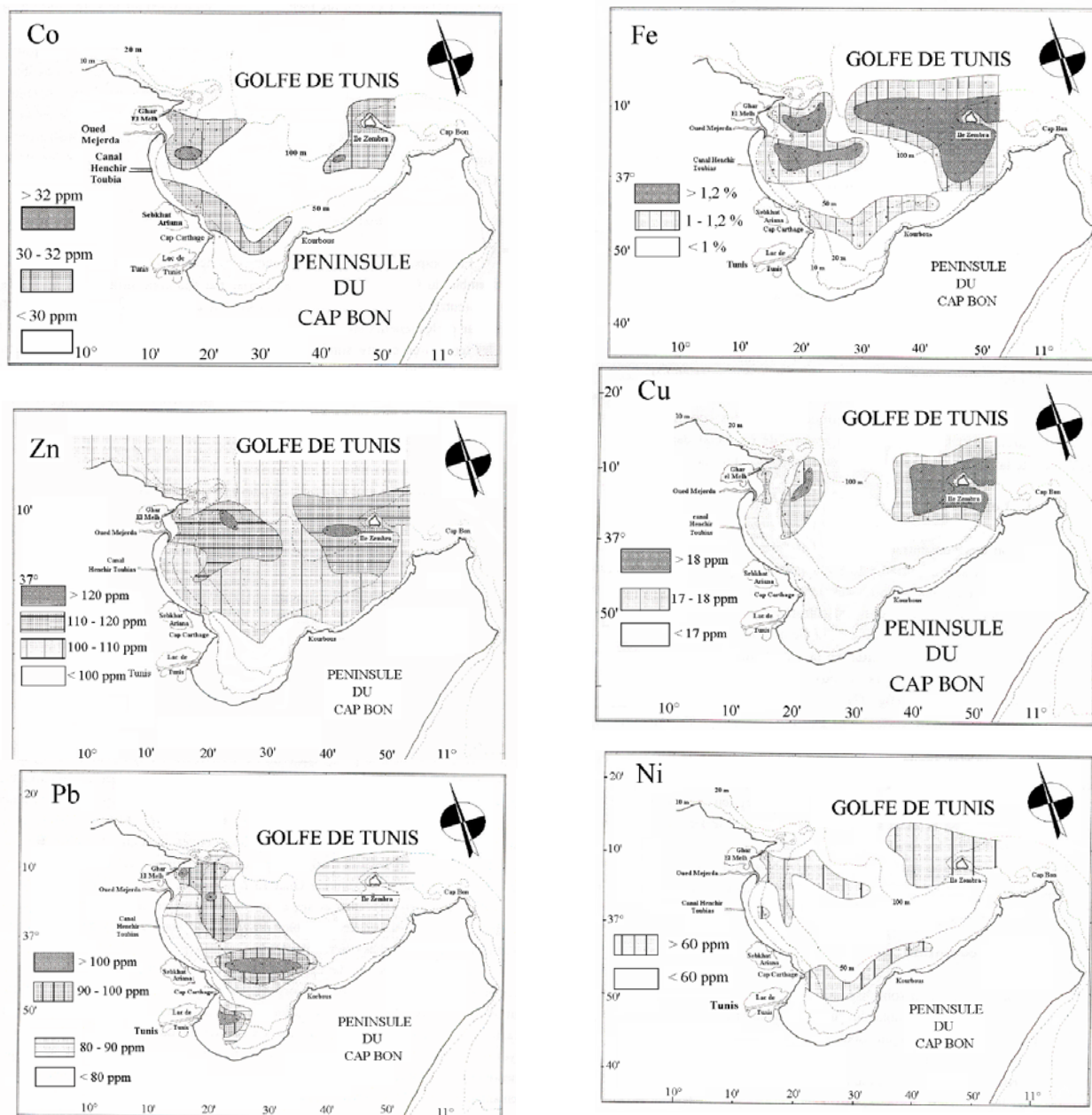


Fig.9 cartes de répartitions des concentrations métalliques

centre du golfe, caractérisé par les concentrations les plus faibles. Ce couloir englobe la zone où la granulométrie est relativement grossière, et correspondrait au passage de la branche principale du courant général (Kouki, 1984) des courants du Golfe de Tunis (Fig. 10). Ce courant permettrait la remise en suspension continue des particules fines riches en éléments métalliques qui se déposeraient par la suite au sein d'une bande EW au Nord du Petit Golfe de Tunis selon une branche de même direction de ce courant général. Ce couloir s'est individualisé avec la réduction des apports détritiques par la Mejerda après la mise en eau du barrage Sidi Salem

(Ben Mammou, 1998) et l'action érosive du courant général du golfe.

Pour caractériser les concentrations métalliques nous avons eu recours à une extraction par attaque ménagée. La répartition des métaux facilement extraits, que l'on peut qualifier de métaux associés à la "phase bio-disponibles", montre que, parmi les trois zones où les concentrations en métal total sont élevées, seule la zone située près de l'embouchure de l'Oued Mejerda présente des concentrations élevées dans la phase "bio-disponible" (Fig. 11). Ceci suggère que les métaux présents dans les sédiments superficiels situés en face de l'embouchure de l'Oued Mejerda n'ont pas subi l'effet d'une diagenèse

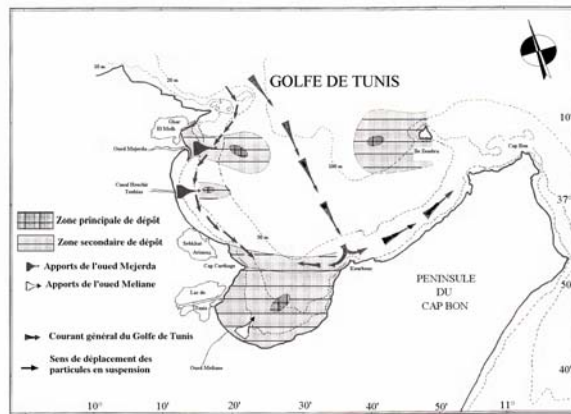


Fig. 10 : Carte synthétique représentant les exourants généraux du golfe et l'emplacement préférentiel de dépôt

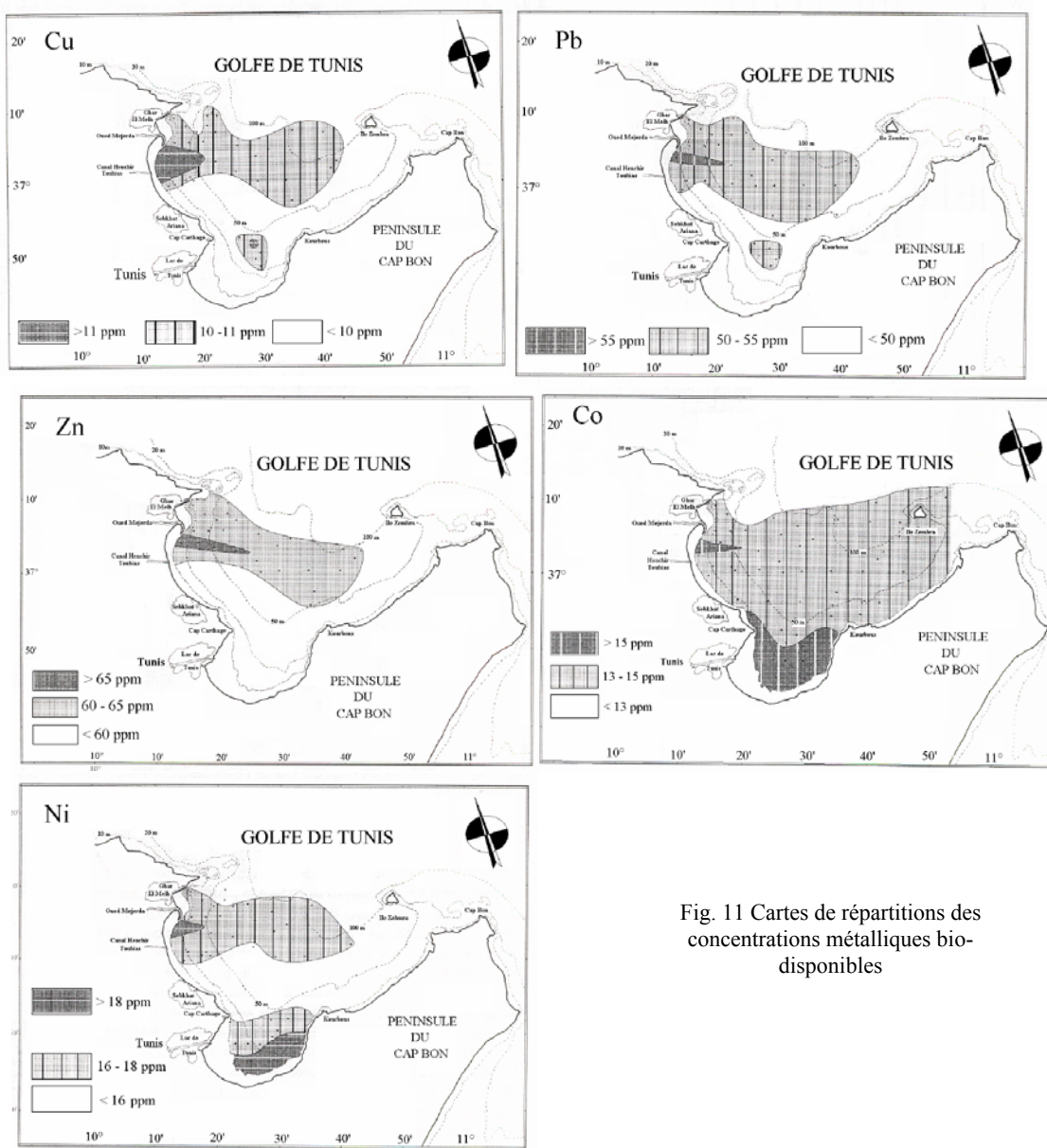


Fig. 11 Cartes de répartition des concentrations métalliques bio-disponibles

poussée, et sont donc facilement libérés. En revanche, les métaux présents en concentrations importantes près de l'île Zembra et au Nord du petit Golfe de Tunis sont difficiles à extraire; cela suggère qu'ils sont plus fortement incorporés aux sédiments et qu'ils ont donc subi une diagenèse nettement plus poussée.

## CONCLUSION

La répartition des métaux dans les sédiments de surface du Golfe de Tunis avait de quoi surprendre, avec les trois secteurs les plus contaminés. Certes, on pouvait s'attendre à ce que les concentrations en métaux soient élevées dans les sédiments devant l'ancienne embouchure de l'Oued Mejerda, puisque, à l'époque de son fonctionnement, le bassin versant connaissait une activité minière relativement importante. Mais on pouvait s'interroger sur les fortes concentrations autour de l'île Zembra et dans la partie nord du Petit Golfe de Tunis. L'étude géochimique a conduit à admettre que ces deux secteurs ont été contaminés à l'époque où l'Oued Mejerda débouchait par l'ancienne embouchure et charriait un matériel détritique pollué par les éléments métalliques. Avec le piégeage des sédiments dans les retenues des barrages et le déficit sédimentaire, le courant de fond traversant l'axe du golfe empêchait (et empêcherait encore) les particules fines de se déposer, les entraînant soit vers le large, soit vers le Sud; où se situerait l'un des secteurs de décantation. Le secteur de Zembra serait alimenté par un courant E-W qui aurait permis aux particules fines déversées par l'Oued Mejerda de traverser la baie.

Ainsi l'étude de la répartition des métaux dans les sédiments a permis de mieux définir l'hydrodynamisme dans le Golfe de Tunis.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ben Alaya H., 1972. - Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Asherson dans le Golfe de Tunis. *Bull. Inst. Nat. Sci. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*, 2, pp. 331-411.6.
- Ben Charrada R., 1997. - Etude hydrodynamique et écologique du Golfe de Tunis. Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, Univ. Tunis II, Fac. Sci. de Tunis, 319 p.
- Ben Hamza Ch., 1994. - Bilan hydrologique, sédimentologique et géochimique d'un bassin versant en zone semi-aride: La Mejerda (Tunisie du Nord). Impact sur l'environnement. Thèse doc. Es sc., Univ. P. M. Curie, Paris VI, 283 p.
- Ben Mammou A., 1998. - Barrages Nebeur, Sidi Salem, Sidi Saad et Sidi Boubaker. Quantification, étude sédimentologique et géotechniques des sédiments piégés. Apports des images satellitaires. Thèse de Doc Es Sc. Géol., Fac. Sc. de Tunis, 345 p.
- Bonnard et Gardel, 1996 - Plan de gestion des sédiments contaminés du Lac Sud Tunisie, Rapport intermédiaire, SERT Ing conseils sa.
- 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. Thèse de Doct., Univ. Tunis II, Fac. Sci. de Tunis, 229 p + annexes.
- Kouki A., 1984. - Contribution à l'étude de la dynamique sédimentaire dans le Petit Golfe de Tunis. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. 168 p.
- Oueslati A., 1992. - Sur l'évolution de l'environnement côtier en Tunisie, depuis l'occupation néolithique. *Cah. CERES*. pp. 91-104.
- Oueslati A., 1993. - Les côtes de la Tunisie, géomorphologie et environnement et aptitude à l'aménagement. *Pub. Univ. Tunis I. V. XXXIV*, 387 p.
- Oueslati A., 1994.- Les côtes de la Tunisie, leur évolution au Quaternaire. *Pub. Univ. Tunis I. V. XXXV*, 402 p.
- Passkoff R., 1983. - L'érosion des plages. *La Recherche*, 140, pp. 20-28.
- Passkoff R., 1987. - Les variations du niveau de la mer. *La Recherche*, 191, pp. 1010-1019.
- Passkoff R., 1993. - Côtes en danger. Masson ed. 250 p.
- Pimienta J., 1959. - Les cycles pliocènes-actuel dans les bassins paraliques de Tunisie. *Mémoires de la Soc. Géol. de France*, nouvelle série n° 85, 176 p.
- Rais M., 1992. - La frange littorale NW du Golfe de Tunis: distribution des métaux lourds dans les sédiments superficiels et géochimie des eaux de surface. DEA, Université Tunis II, Fac. Sci. de Tunis, 80 p.
- Rivière A., 1952. - Sur la présentation graphique de la granulométrie des sédiments meubles. Interprétation des courbes et applications. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, II, pp. 154-167.
- Zeggaf-Tahiri M., 1999. - Etude de l'impact des ouvrages de protection sur la dynamique sédimentaire du littoral du golfe de Tunis et des côtes nord de Mahdia. Thèse de Doc. en Géologie, Univ. Tunis II, Fac. Sci. de Tunis, 140 p.