



GEOCHIMIE ORGANIQUE DES EAUX DE SURFACE DE LA ZONE SEPTENTRIONALE DE LA SEBKHA DE MOKNINE, TUNISIE ORIENTALE

R. CHAIRI

UR de Pédologie et Géochimie Organique, Département de Géologie, Faculté des
Sciences de Tunis, Université Tunis El Manar, 2092 Tunis, Tunisie

INTRODUCTION

L'origine du carbone organique dissous (COD) dans les systèmes aquatiques peut être soit allochtone provenant du bassin versant (Santchi *et al.* 1995,1999) ; soit autochtone à partir de la production primaire (Meybeck, (1982). Le devenir de la matière organique (MO) dans les systèmes est variable. La décomposition de MO libère dans les milieux des éléments nutritifs appelés nutriments (Guo *et al.*, 1995, 1996) et des molécules plus résistantes et peu dégradées qui seront fossilisées. L'analyse ou l'étude des apports en ces éléments nutritifs au milieu lacustre est une des données de base pour connaître ou prédire leur niveau trophique (Miller *et al.*, 1997). Les éléments principaux (nutriment) nécessaires aux végétaux aquatiques sont le phosphore (P) et l'azote (N). En absence d'apport anthropique, les teneurs en N et P observés dans les lacs (Meybeck,1982) résultent à la fois des apports extérieurs et de la productivité primaire. Suite aux activités anthropiques les surfaces d'eau s'enrichissent en nutriments, qui sont à l'origine d'une prolifération algale et en conséquence une mauvaise qualité de l'eau voir une eutrophisation de certaines étendues d'eau (Van Luijin *et al.*, 1999).

L'objectif de ce travail est d'apporter des renseignements sur un milieu singulier de par sa salinité, les concentrations en sels nutritifs et le développement algal. Pour ce faire une identification de l'origine de la matière organique dans les eaux au Nord de la sebkha de Moknine et une analyse des produits de sa minéralisation ont été menées au cours de deux saisons (estivale et printanière) pour établir les conditions physico-chimiques se développant dans cet environnement évaporitique et son état trophique.

SITE D'ETUDE

La sebkha de Moknine, cuvette endoréique saline de la Tunisie orientale (Fig.1) est située à proximité de la ville de Moknine. Le fond du bassin se trouve à – 10m, la partie orientale à –9m, la partie nord à –6m et la partie occidentale à – 3m. La sebkha couvre 50 km² de superficie et constitue le seul exutoire naturel de la nappe phréatique. Elle reçoit en plus du débit des divers oueds, les eaux de la station d'épuration. Aucune influence marine n'est enregistrée actuellement, en effet le bassin est séparé de la mer par une barrière de 4 km et la dernière transgression marine notée dans la région date du Flandrien.

MATERIELS ET METHODES

Dix prélèvements d'eau sus-jacente au sédiment ont été effectués au Nord de la sebkha (Fig.1), au cours d'une saison estivale (juin 1998) et une autre printanière (mars 1999). Les eaux de surface ont fait l'objet d'une étude des paramètres physico-chimiques, de la matière organique dissoute et des produits issus de sa minéralisation (NO₃⁻, PO₄³⁻,...). Le choix de la partie nord s'est fait pour deux raisons : l'emplacement de la station d'épuration dans cette zone et la pérennité des eaux.

Prélèvement et filtration

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène de 1litre. Les paramètres physico-chimiques (pH, CE, Tp et l'O₂ dissous) sont mesurés in-situ en utilisant des appareils de terrain : un pH mètre de terrain WTW197, un conductimètre de terrain WTWLF 197 et un oxymètre OXI 197. La température est obtenue simultanément avec la mesure du pH, CE et de l'oxygène dissous.

Les eaux de la sebkha ont été filtrées au laboratoire, sous faible pression par l'intermédiaire d'un ensemble de filtration, sur un filtre Wathman (diamètre des pores = 0,45µm) pour récupérer la phase dissoute. Ensuite; elles sont conservées à basse température (4°C), pour éviter toute évolution, sous l'action des micro-organismes.

Analyse des nutriments

Les éléments nutritifs ont été analysés par spectrométrie d'absorption moléculaire au moyen d'un spectrophotomètre JENWAY 6300 (gamme : 198-1000nm). Les nitrates, les nitrites, l'ammonium et les orthophosphates ont été dosés directement dans l'eau filtrée par addition des réactifs.

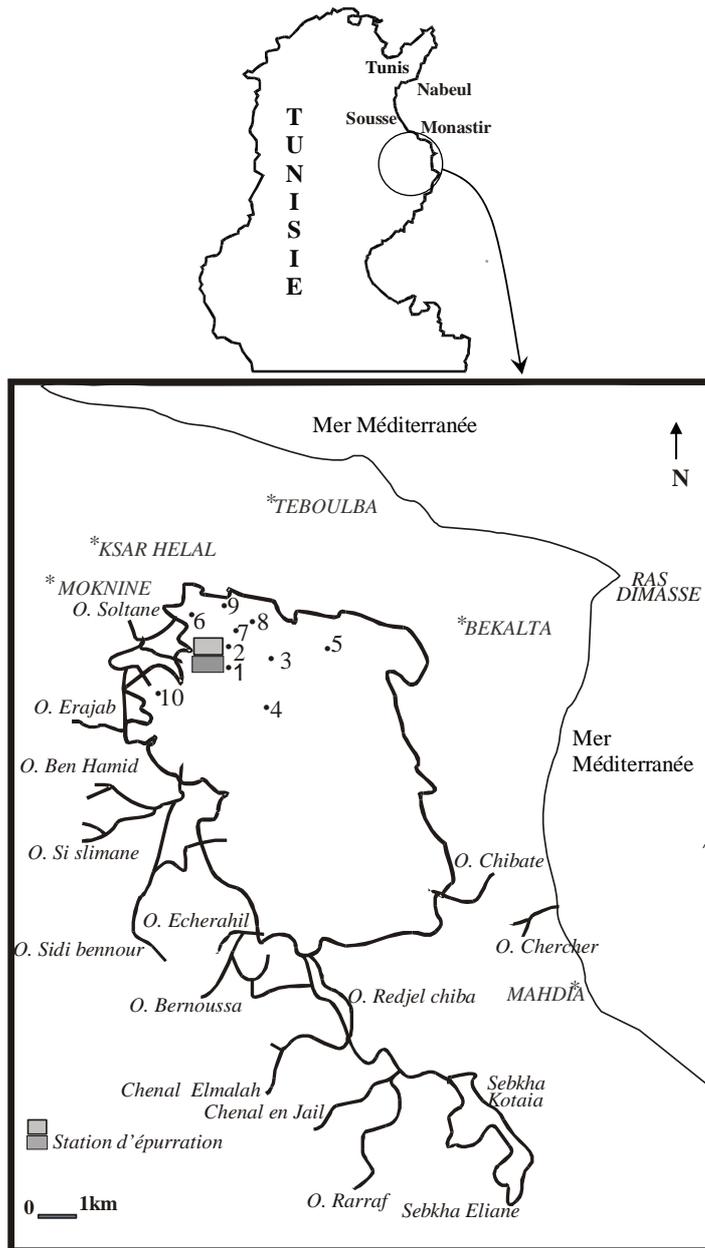


Figure 1 : Localisation du site d'étude et points d'échantillonnage

Etude de la matière organique

Analyse du carbone organique dissous

Le carbone organique dissous (COD) est analysé par coulométrie à l'aide d'un coulomat 702/SO/CS/E. 2ml sont prélevés de chaque échantillon et placés dans une nacelle en porcelaine forme longue, puis décarbonatés par addition de quelques gouttes de HCl 2N. La nacelle contenant l'échantillon est par la suite introduite dans le four à combustion (1300°C) après séchage. La valeur donnée par le compteur permet de calculer le pourcentage de COD de l'échantillon.

Extraction des lipides dissous

La méthode utilisée est l'extraction liquide-liquide par le chloroforme (1V d'eau pour 1V de CHCl₃) dans une ampoule à décanter. Après agitation l'extrait dissous dans le chloroforme est récupéré dans un ballon, puis évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif. Une fois extraite, la fraction lipidique est fractionnée à l'aide d'une chromatographie en phase liquide sur une mini colonne de gel de silice, afin de déterminer sa composition et d'évaluer les quantités des hydrocarbures saturés et insaturés non aromatiques (HC sat.), des hydrocarbures aromatiques (HC arom.) et des composés polaires (résines et asphaltènes). La fraction HC sat. est analysée par chromatographie en phase gazeuse sur un appareil HP 5880A Series, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'un injecteur en splitless (programmation de la température du four de 80°C-300°C, gaz vecteur : Hélium, colonne capillaire SP2100 : 30mX 0,25m).

RESULTATS

Paramètres physico-chimiques

La salinité mesurée pendant la saison estivale varie entre 3,54 à 130,62 g/l et entre 3,08 à 46,09 g/l pendant la saison printanière. Au cours des deux saisons, les concentrations les plus faibles sont mesurées dans les échantillons prélevés à la sortie de la station d'épuration et les plus fortes vers le centre de la sebkha (Fig.2).

Le pH oscille entre 7,40 et 8,82 en juin et 7,30 et 11,93 en mars. Les eaux sont neutres à basiques mais leur pH est compatible avec la vie de la biomasse. La température des eaux sus-jacentes est comprise entre 25 et 34°C en été. Elle atteint 14°C au printemps (Tab.1). Les valeurs les plus basses sont toujours mesurées à la sortie des bassins de la station d'épuration. La température élevée des eaux favorise le développement des microorganismes et induit des odeurs désagréables.

La conductivité électrique est mesurée pour évaluer la minéralisation globale des eaux de la sebkha. Pendant les deux saisons, elle est très élevée (5200-15360 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en juin ; 4300 à 99200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en mars) qualifiant ainsi l'eau de la sebkha comme inutilisable pour l'irrigation. L'été s'est caractérisé par une richesse en O_2 dissous indicateur d'une prolifération algale. En mars, on enregistre une baisse importante des valeurs qui peut être expliquée plutôt par une consommation (Fig2). Seuls les points ESM1 et ESM2 gardent des valeurs constantes au cours des deux saisons.

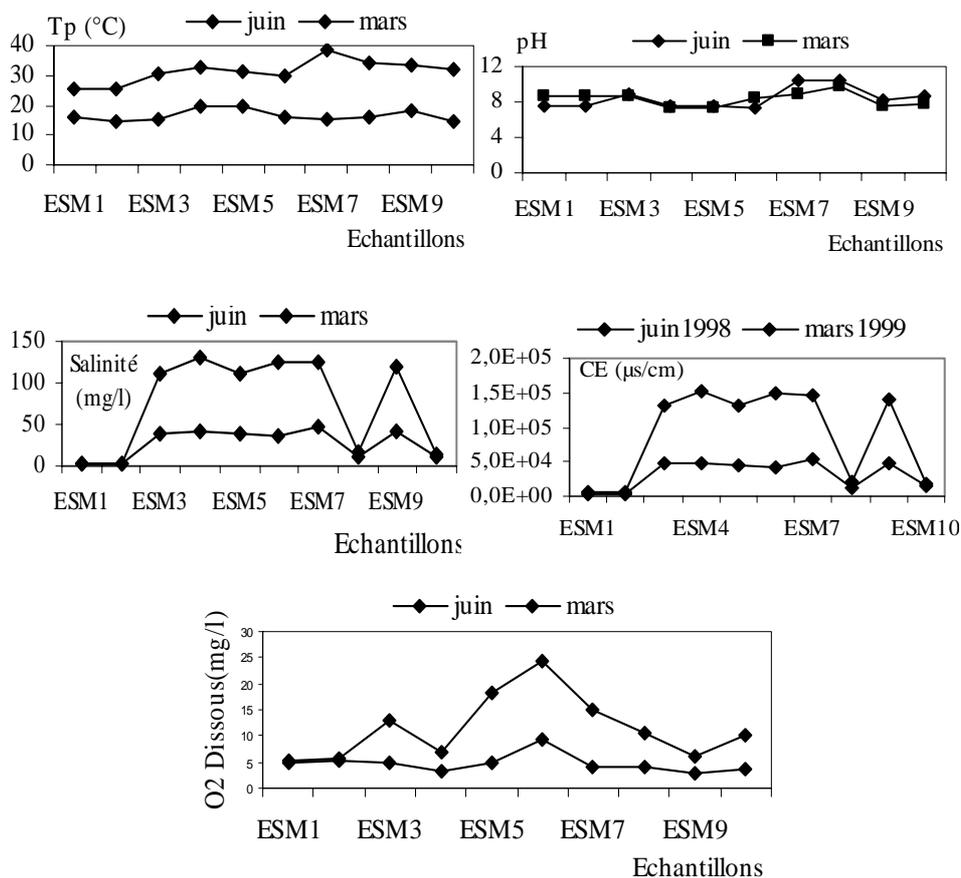


Figure 2 : Variation des paramètres physicochimiques dans les eaux de surface de la partie septentrionale de la sebkha de Moknine.

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des eaux de surface

Références	pH		T (°C)		O ₂ dissous (mg/l)		Salinité (g/l)		CE (µs/cm)	
	Juin	Mars	Juin	Mars	Juin	Mars	Juin	Mars	Juin	Mars
ESM1	7,46	8,65	25,50	16,30	5,30	4,70	3,72	3,08	5200	4300
ESM2	7,46	8,7	25,30	14,70	5,50	5,20	3,54	3,15	4950	4400
ESM3	8,82	8,62	30,20	15,00	12,80	5,00	111,57	40,09	131200	47144
ESM4	7,46	7,30	32,40	20,00	6,90	3,40	130,62	41,67	153600	49000
ESM5	7,54	7,30	31,00	20,00	18,20	5,00	111,58	38,18	131300	44927
ESM6	7,40	8,49	29,90	15,80	24,20	9,50	126,37	36,65	148600	43097
ESM7	10,34	8,80	38,40	15,60	15,00	4,00	124,65	46,09	146583	54200
ESM8	10,41	9,76	34,40	16,30	10,60	4,00	16,58	10,28	19500	12100
ESM9	8,18	7,65	33,70	18,20	6,10	3,00	118,90	41,67	139800	49000
ESM10	8,73	7,87	32,10	14,20	10,20	3,50	14,37	11,48	16900	13500

Eléments nutritifs

Les ions NH₄⁺ sont présents dans la totalité des échantillons prélevés. Ils enregistrent des concentrations variant de 0,03 mg/l à 3,20 mg/l en juin et 0,12 mg/l à 11,24 mg/l en mars. La période printanière se caractérise par un enrichissement en NH₄⁺. Les valeurs les plus élevées et dépassant la norme tunisienne (1mg/l) sont mesurées à la sortie de la station d’épuration (ESM1 et ESM2) et ses environs.

Les concentrations des nitrates (NO₃⁻) (6,16 à 30,80 mg/l en juin et 0,27 à 25,38 mg/l en mars) dans la plupart des échantillons ne dépassent pas la norme du domaine public hydraulique (50 mg/l). La teneur la plus forte s’enregistre dans l’échantillon ESM 6 prélevé à l’embouchure de l’oued Soltane où se déversent les rejets des eaux non traitées. Les teneurs mesurées en nitrites (NO₂⁻) sont de l’ordre de 0,05-0,12 mg/l en juin et de 0,03-0,76 mg/l en mars. Une légère diminution est enregistrée en saison printanière. Les ions orthophosphates (PO₄³⁻) varient entre 6,80 et 42 mg/l en juin et 0,75 à 15 mg/l en mars. Les

mesures de PO_4^{3-} au cours des deux saisons dépassent la norme tunisienne des domaines hydrauliques publics (0,05 mg/l). Les plus fortes teneurs sont mesurées à la sortie de la station d'épuration (ESM1 et ESM2) et ses environs (Fig.3). la saison printanière se caractérise par une chute des concentrations de PO_4^{3-} .

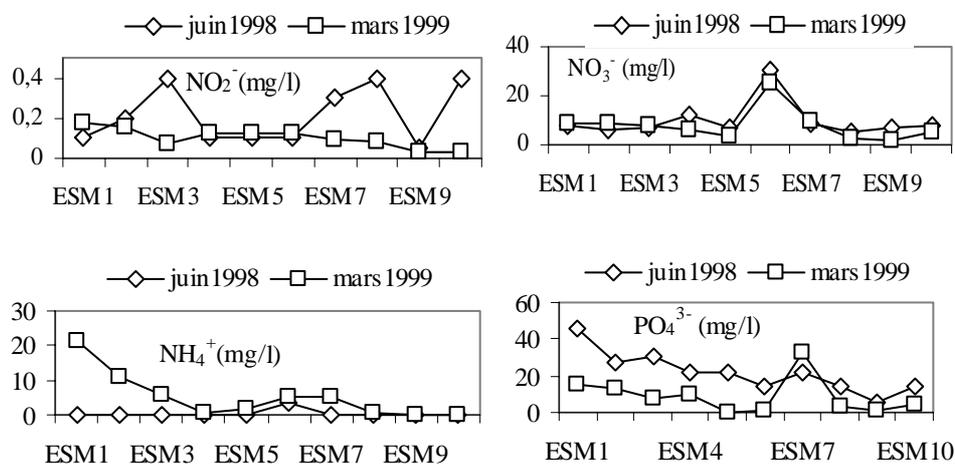


Figure 3 : Variation des nutriments dans les eaux de surface de la partie septentrionale de la sebkha de Moknine.

Matière organique dissoute

L'analyse du carbone organique dissous (COD) par coulométrie a donné des teneurs élevées pendant les deux saisons. Les teneurs varient entre 100 ppm et 300 ppm en juin et 58 à 383 ppm en mars (Tab.2). L'abondance de MO est un indicateur de la présence d'une pollution organique.

La séparation des différentes fractions de l'extrait chloroformique révèle un pourcentage important des composés polaires (70% en moyenne) montrant ainsi l'origine biologique (Tissot et Welte, 1984) des lipides dissous dans les eaux de la sebkha (Fig.4). Au cours des deux saisons, la distribution des n-alcanes analysés par CPG est nettement différente (Fig.5). En juin, les n-alcanes sont centrés sur les légères (nC17–nC22), le maximum est en nC18–nC22 et l'imparité est nette avec une prédominance des n-alcanes à chaîne paire. En mars, un deuxième mode centré en nC24–nC30 apparaît sans prédominance des n-alcanes pairs ou impairs (Albro and Dittmer 1967 ; Johson and Calder 1973 ; Volkman et al., 1983 ; Venkatesan and Kaplan, 1987).

Tableau 2: Concentrations des éléments nutritifs mesurés dans les eaux de surface échantillonnées au cours des saisons estivale et printanière.

Références	NO ₃ ⁻ (mg/l)		NO ₂ ⁻ (mg/l)		NH ₄ ⁺ (mg/l)		(NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻) / NH ₄ ⁺		PO ₄ ³⁻ (mg/l)	
	Juin	Mars	Juin	Mars	Juin	Mars	Juin	Mars	Juin	Mars
ESM1	7,92	8,54	0,10	0,18	0,05	21,07	9,92	8,55	46,03	14,80
ESM2	6,16	8,59	0,20	0,16	0,08	11,24	8,66	8,60	27,00	13,26
ESM3	7,04	8,23	0,40	0,07	0,15	5,94	9,71	8,24	30,40	8,18
ESM4	12,32	6,33	0,10	0,13	0,11	0,31	13,23	6,75	21,80	9,71
ESM5	7,04	3,43	0,10	0,12	0,10	1,83	8,04	3,50	21,60	0,10
ESM6	30,80	25,38	0,10	0,12	3,20	5,43	30,83	26,44	14,20	1,59
ESM7	8,80	9,29	0,30	0,09	0,03	5,37	18,80	9,31	33,26	22,20
ESM8	5,28	2,21	0,40	0,08	0,08	0,61	10,28	2,34	14,00	2,77
ESM9	7,04	2,17	0,05	0,03	0,03	0,17	8,71	2,35	5,90	1,07
ESM10	7,92	5,04	0,40	0,03	0,10	0,19	15,92	5,20	14,60	4,87

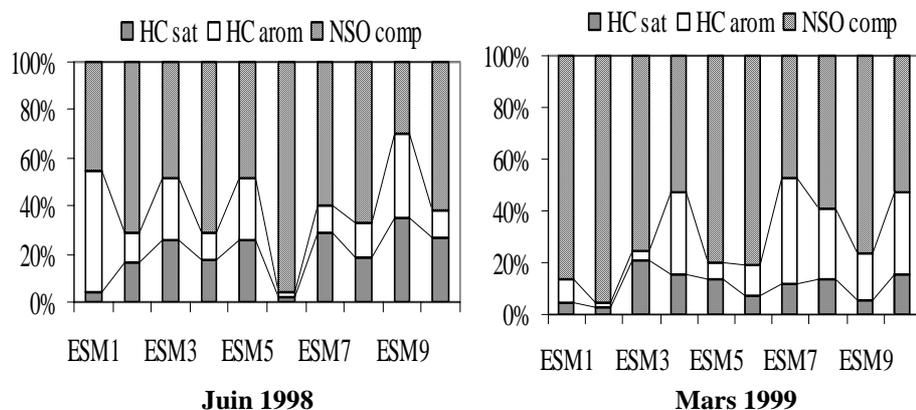
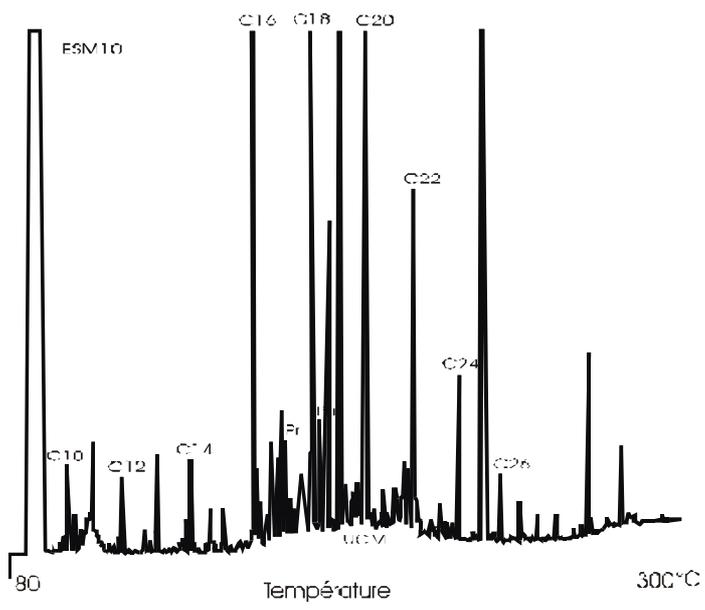
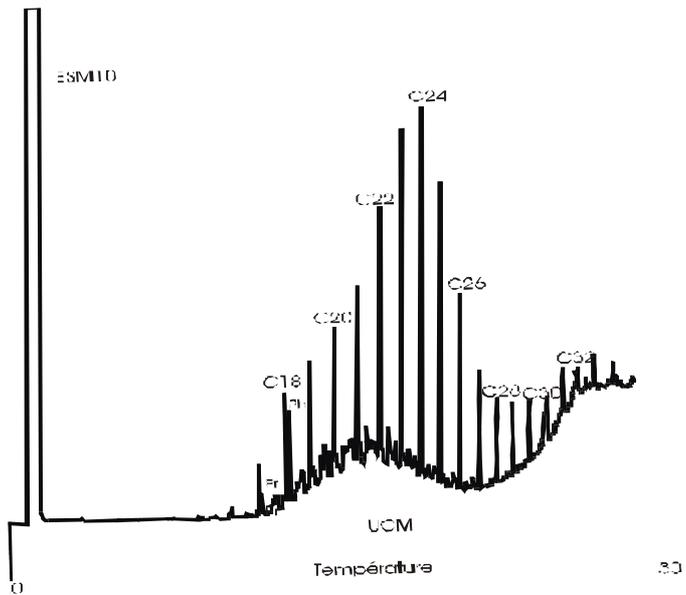


Figure 4 : Variations des différentes fractions lipidiques des eaux de surface prélevées dans la sebkha de Moknine.



A)



B)

Figure 5 : chromatogrammes des hydrocarbures saturés et insaturés non aromatiques (A : Juin, B : Mars)

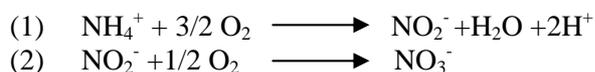
DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Se trouvant dans le Sahel de la Tunisie, zone caractérisée par un climat aride, la sebkha de Moknine est sujette à une évaporation des eaux de surface en saison chaude s'étalant sur les mois d'été. La rareté des averses et la quantité annuelle minimale de précipitations (300mm/an) dans cette zone induisent un déficit hydrique accentué par l'évaporation plus importante que l'humidité.

L'emplacement d'une station d'épuration dans sa partie septentrionale est à l'origine d'un déséquilibre du système. A l'inverse des autres zones de la sebkha, celle-ci reçoit en plus des eaux de précipitation une quantité d'eau continue à partir de la station d'épuration, cause principale de la pérennité des eaux au Nord. Pour cette raison, un suivi annuel des eaux de surface est réalisé entre juin 1998 et mars 1999.

Un gradient de concentration de salinité croissant de la périphérie vers le centre se dégage de la situation de l'été (1998) et du printemps (1999). L'élévation de la température au cours de la saison estivale est le principal facteur d'une évaporation intense qui, par conséquent, est l'agent principal de l'augmentation des concentrations de sel dans les eaux de la sebkha la rendant inutilisable pour l'irrigation mais à l'origine d'une couche de halite très épaisse. Seuls les échantillons prélevés à la sortie de la station d'épurations (ESM1 et ESM2) sont peu chargés en sel et en O₂ dissous. En dehors de ces points, la quantité d'O₂ dissous est importante même dans les échantillons caractérisés par une température élevée en été. Une activité photosynthétique est à l'origine de ces fortes concentrations d'O₂. La baisse marquée au printemps sera le résultat d'une consommation d'O₂ par les microorganismes.

La mesure des nutriments au cours des deux saisons révèle des valeurs importantes, favorables à la vie de la biomasse. En été, les eaux sont chargées en orthophosphates et en nitrates. La richesse en NO₃⁻ résulte d'une nitrification très puissante. Cette réaction se fait en deux étapes :



Elle est activée par des bactéries aérobies autotrophes (Nitrosomona (1) et Nitrobactère (2) et influencée par certains facteurs ambiants tels que la température, le pH, la salinité, l'oxygène dissous,...

Les valeurs les plus élevées sont mesurées en ESM6 et à la sortie du bassin de la station d'épuration; ce qui renforce l'idée d'une origine à partir des eaux usées déversées dans la sebkha et probablement d'une minéralisation de la matière organique.

La saison printanière se caractérise par une élévation des concentrations des eaux du secteur nord en ammonium. Ces ions dérivent des eaux usées. En effet,

une eau usée peut contenir 40% d'azote sous forme de NH_4^+ et 60% sous forme organique (Jones, 1974). La corrélation positive entre les différentes formes d'azote (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+) montre que les nitrites dérivent d'une réduction des nitrates et d'une nitrosation en été et d'une réduction des nitrates au printemps. Le rapport $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- / \text{NH}_4^+)$ élevé indique une activité nitrifiante importante et prouve la présence d'une pollution organique.

Les ions orthophosphates sont très abondants au cours des deux saisons. Les valeurs mesurées dépassent les normes. Toutefois, les concentrations très élevées enregistrées à la sortie de la station d'épuration confortent l'idée d'un apport de PO_4^{3-} à partir des eaux usées. L'apport des nutriments surtout PO_4^{3-} à la suite d'un drainage des terrains cultivés du bassin versant est peu probable. En effet, les averses sont très rares, voire exceptionnelles dans le Sahel de la Tunisie. A partir du suivi des éléments nutritifs au cours de deux saisons successives, la sebkha de Moknine présente un état eutrophique dans sa partie septentrionale.

L'analyse du COD prouve ce résultat par les taux élevés mesurés, indicateur de la présence d'une pollution organique essentiellement par les eaux usées. Toutefois les conditions se développant dans la sebkha sont aussi favorables à la prolifération de la biomasse. La présence du docosane nC22 dans tous les échantillons analysés montre l'existence des micro-algues des milieux salés (Meyers et Ishiwatari, 1993). Sa prédominance est accompagnée d'une diminution des quantités relatives de n-alcanes à faible nombre d'atomes de carbone (nC15 et nC17) en été. En mars, la matière organique produite est essentiellement sous forme de microalgues prouvée par la répartition des n-alcanes centrés sur les lourds et sans prédominance des n-alcanes pairs ou impairs. Ces deux modes de répartition sont remarqués dans tous les échantillons même ESM10 qui est prélevé très loin de la station d'épuration (Fig.5).

L'indice d'imparité CPI est calculé à partir de la formule de Cooper et Bray (1963) :

$$CPI_{nm} = \frac{\sum c_{m+1} - c_{n+1}}{\sum c_{m+1} - c_n} + \frac{\sum c_{m+1} - c_{n+1}}{\sum c_{m+2} - c_{n+2}}$$

Il révèle des valeurs inférieures à 1 pendant la saison estivale reflétant une contribution planctonique. Les valeurs proches de l'unité enregistrées en saison printanière ne sont que le résultat d'une activité bactérienne. Les n-alcanes isoprénoïdiques : pristane (Pr) et phytane (Ph), sont généralement présents en quantités plus au moins importantes dans les eaux de surface de la sebkha.

Ils sont des marqueurs biologiques significatifs de la présence des végétaux chlorophylliens et des synthèses organiques à partir de la biomasse planctonique (Blumer et Thomas, 1965 ; Clark et Blumer, 1967) ou des bactéries (Chappe et

al., 1982 ; Illich, 1983 ; Goosens et *al.*, 1984; Rowland, 1990). Les échantillons récoltés en juin ont montré une prédominance de Pr sur Ph et du nC18 sur nC17. Cependant une distribution inverse est remarquée en mars. Les valeurs élevées du rapport Pr/Ph en juin sont dues à un héritage de la biomasse et/ou des produits de synthèse biologique (Tissot et *al.*, 1977). Les rapports faibles sont probablement le symbole de conditions réductrices. En effet, nous avons noté la présence du squalane dans les chromatogrammes de la fraction saturée des eaux récoltées en mars et une baisse des quantités en O₂ dissous. Le squalane est un marqueur biologique indicateur de la présence d'une activité bactérienne de type halophile méthanogène (Wapels et al., 1991, Brassel et *al.*, 1981 ; Rowland et *al.*, 1982., Jiang et Flower, 1985 et Ten Haven et *al.*, 1988 et Peter et Moldowan, 1995). L'apport continu des eaux usées dans le milieu évaporitique de Moknine l'enrichit en nutriments et induira la prolifération d'une biomasse essentiellement sous forme de cyanobactéries au printemps et sous forme de phytoplancton en été. Les conditions se développant dans cet environnement sont eutrophiques.

Le système étudié est le siège d'une accumulation de MO autochtone livrée par la biomasse et allochtone apportée par les eaux usées. Des apports continus seront la cause d'une anoxie du milieu qui atteindra les sédiments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBRO P.W., DITTMER J.C.(1967). Bacterial hydrocarbons occurrence structure and metabolism. *Lipids* 5.320.325
- AMON R.M.W., BENNER R. (1994). Rapid cycling of high molecular-weight dissolved organic matter in the ocean. *Nature*, 369,549-552.
- BLUMER M., THOMAS D.W. (1965). "Zamen" isomeric C19 monoolefins from marine zooplankton, fishes and mammals. *Sci.* Vol.148, pp 370-371.
- BRASSEL S.G., HOWELL V.J., GOWAR A.P., EGLINTON G. (1983). Lipid geochemistry of cretaceous sediments recovered by the deep sea drilling project. In Bjoroy M et al., (Eds), *Advances in organic geochemistry* 1981. Wiley, NY, pp. 440-484.
- CLARK R.C., BLUMER M. (1967). Distribution of n-paraffins in marine organisms and sediments, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.12, pp. 87-97.
- CHAPPE B., ALBRECHT P., MICHAELIS W. (1982). Polar Lipids of Archaeobacteria in sediments and petroleums. *Sci.* Vol.217, pp 65-66.
- GOOSENS H., DELEEUW J.W., SCHENCK P.A., BRASSEL S.C. (1984). Tocopherols as likely precursors of pristane in an ancient sediment and crude oils. *Nature*, Vol.312, pp.440-442.
- GUO L., SANTSHI P.H., WARKNER K.W. (1995). Dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in oceanic environments. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 1392-1403.

- GUO L., SANTSHI P.H., CIFUENTES L.A., TRUMBORE S., SOUTHON J. (1996). Cycling of high molecular weight dissolved organic matter in the Middle Atlantic Bight. *Limnol. Oceanogr.*, 41, 1242-1252.
- ILLICH H.A. (1983). Pristane, Phytane and lower molecular weight isoprenoid distributions in oils. *American Association of Petroleum Geologist Bull.*, Vol.67, pp385-393.
- JIANG Z. and FOWLER M.G. (1985). Carotenoid-derived alkanes in oils from north western China. In *Advances in Org. Geochem.*, Vol. 10, pp831-839. Pergamon Press, Oxford.
- JOHNSON R.W., CALDER J.A. (1973). Early diagenesis of fatty acids and hydrocarbons in salt marsh environment. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 37, 1943-1955.
- MEYBECK M. (1982). Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am.J. Sci.*, 282, 401-450.
- MEYERS P.A., ISHIWATARI R. (1993). The early diagenesis of organic matter in lacustrine sediments. In : Engel, M.E . Mack, S.A. (eds). *Organic Geochemistry. principles and applications*. Plenum Press. NY, pp. 199-209.
- MILLER W.L., MORAN M.A. (1997). Interaction of photochemical and microbial processes in the degradation of refractory dissolved organic matter from a coastal marine environment. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 13717-1324.
- PETERS K.E., MOLDOWAN J.M. (1993). The biomarker guide. Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and ancient sediments. (Ed.) Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 363p.
- ROWLAND S.J., LAMB N.A., WILKINSON C.F., MAXWELL J.R. (1982). Confirmation of 2,6,10,15,19 pentamethyleicosane in methanogenic bacteria and sediment. *Tetrahedron Lett.*, Vol.23, pp.101-104.
- ROWLAND S.J. (1990). Production of acyclic isoprenoid hydrocarbons by laboratory maturation of methanogenic bacteria. *Org. Geochem.*, Vol.5, pp. 9-16.
- SANTSHI P.H. , GUO, L., BASKARAM M., TRUMBORE S., SOUTHON J., BIANCHI T., HONEY MAN B., CIFUENTES L. (1995). Isotopic evidence for the contemporary origin of high-molecular weight organic matter in oceanic environments. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 59, 625-631.
- SANTSHI, P.H. , GUO, L., WALSH, I.D., QUIGLEY, M.S., BASKARAN, M. (1999). Boundary exchange and scavenging of radionuclides in continental margin waters of the Middle Atlantic Bight : Implications for organic carbon fluxes. *Contin. Shelf. Res.*, 16, 609-636.
- TEN HAVEN H.L., DELEEUW J.W., SINNIGHE DAMSTE J.S., SCHENK P.A., PALMER S.E., ZUMBERGE J.E. (1988). Application of biological

- markers in their recognition of paleohypersalin environment. In - Fleet A.J. Keltes K., Talbots M.R (Eds). *Lacustrine Petroleum Source Rocks Geol. Soc.*, London spec.Publ., Vol.40, pp 123-130.
- TISSOT B., PELET R., ROUCACHE J., COMBAZ A. (1977). Utilisation des alcanes comme fossiles géochimiques indicateurs des environnements géologiques. In : *Adv. Org. Geochem.*, 1975, Ed. by Campos R. Goni J., Empr. Nac. Adaro. de Investig. Min. Madrid (Espana), pp. 117-154.
- TISSOT B., WELTE D.H. (1984). *Petroleum formation and occurrence*. 2nd Ed. Springer – Verlag, Berlin, 699p.
- VAN LUIJN, F., BOERS, P.C.M., LIKLJEMA, L., SWERTS, J.P.R.A. (1999). Nitrogen fluxes and processes in Sandy and Muddy sediments from A shallow Eutrophic lake. *Wat. Resh.*, 33, 1, 33-42.
- VENKATESEN M.I., KAPLAN J.R. (1987). The lipid geochemistry of Antarctic marine sediments: Brans field strait. *Marine Chemistry.*, Vol.21, pp. 347-375.
- VOLKMAN J.K., FARRINGTON J.W., GAGOSIAN R.B., WAKEHAM S.G. (1983). Lipid composition of coastal marine sediments from the Peru upwelling region. In: Bjoroy M; et al. (Eds.). *Advances in Org. Geochem.* (1981). Wiley, NY, Vol.21, pp 228-240.
- WAPLES D.W., MACHIHARA T. (1991). Biomarkers for Geologists. American Association of Petroleum Geologist, Methods in Exploitation series, N°9, 91p.