

## Contribution à l'étude des mécanismes d'eutrophisation dans le lac de Tunis : évolution des paramètres physico-chimiques et biologiques

Moheiddine BELKHIR\* et Mohamed HADJ ALI SALEM\*

### خلاصة

تشمل هذه الدراسة المعدلات الشهرية والمعدلات السنوية لبعض المقاييس الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الناتجة عن تقييمها بالنسبة ( 28 محطة موزعة على كامل مساحة الجزء الشمالي لبحيرة تونس وذلك للفترة الممتدة من 1 أكتوبر 1975 الى جانفي 1977 حيث لوحظت تغيرات هامة بالنسبة للزمان والمكان كما تحتوي هذه الدراسة على تقييم لنسب التوافق بين هذه المقاييس وخاصة منها المقاييس التي قد تعين على فهم ظاهرة التعفن العفوي التي اشتهرت به هذه البحيرة

### RESUME

D'octobre 1975 à janvier 1977, les moyennes mensuelles et annuelles de quelques paramètres physico-chimiques et biologiques ont été calculées à partir des mesures obtenues au niveau de 28 stations réparties dans la partie nord du lac de Tunis. Les fluctuations spatio-temporelles importantes et irrégulières ont été observées ; elles semblent tributaires des conditions climatiques et biologiques et liées à un état d'eutrophisation avancé, ce qui fait du lac un milieu très complexe.

Des calculs basés sur la détermination des coefficients de corrélation de certains facteurs écologiques jugés importants ont été faits en vue de comprendre les mécanismes de l'eutrophisation dans cette lagune.

### ABSTRACT

Physical, chemical and biological parameters cited here as monthly and annual overages are measured over 28 stations and from october 1975 to january 1977, within the north part of the lake of Tunis.

The time and space variations are important, irregular and seem to be dependent upon climatical and biological factors.

These fluctuations are related to an advanced state of eutrophication which makes the lagoon ecosystem very complexe.

The calculation of correlation factors between some most important ecological parameters has been done in the aim to understand some mecanisms of the eutrophication within that lagoon.

### INTRODUCTION

Situé au sud du 37ème parallèle, le lac de Tunis est une lagune côtière méditerranéenne eutrophe d'origine marine, de profondeur moyenne de 1 m s'étendant sur

\* Institut national scientifique et technique d'océanographie et de pêche, 2025 Salammbô, Tunisie

45 km<sup>2</sup> depuis la ville de Tunis, à l'ouest, jusqu'au niveau du cordon littoral côtier du golfe de Tunis, à l'est.

Par sa position suburbaine et sa situation en cuvette ce lac a toujours constitué l'exutoir naturel de la ville de Tunis (un million d'habitants) et des collines avoisinantes ; il reçoit ainsi la quasi-totalité des eaux usées de la ville ainsi que la totalité des eaux pluviales.

Un canal de navigation divise ce lac en deux parties appelées communément le lac Sud et le lac Nord (fig. 1) ; ce dernier a fait l'objet d'un nombre important de travaux parmi lesquels nous citons notamment ceux de Heldt (1929) et Vuillemin (1965) pour la faune et ceux de Stirn (1968) et Belkhir (1979) pour la flore. D'autres travaux ont permis de mettre en évidence le caractère accentué du phénomène d'eutrophisation de ce lac (Cabasso et Roussel 1952 ; Stirn 1971, Bjork 1972, Baier et al. 1977). L'ensemble de ces études montre que le lac de Tunis constitue un système aquatique dynamique très complexe de par sa nature et ses constituants.

Le présent travail concerne l'étude de quelques relations entre certains paramètres physico-chimiques et biologiques. Nous espérons apporter par là une contribution à la connaissance des mécanismes régissant l'eutrophisation et influençant la productivité et l'évolution de cet écosystème lagunaire. Ainsi d'octobre 1975 à janvier 1977 nous avons contrôlé régulièrement 28 stations dans le lac Nord (fig. 1)

## METHODES

La température de l'eau est mesurée à l'aide d'un thermomètre gradué au 1/10<sup>e</sup>, à une profondeur de 20 cm au-dessous de la surface de l'eau.

La salinité est déterminée par la méthode réfractométrique à partir d'une courbe d'étalonnage préalablement établie par rapport à l'eau normale.

La turbidité est mesurée indirectement à l'aide du disque de Secchi, le coefficient d'atténuation étant calculé d'après la formule proposée par Travers (1973) :  $K = 1,84 \times d$  (d étant la profondeur à laquelle disparaît le disque de Secchi).

Les nitrites, les nitrates et les phosphates inorganiques sont dosés d'après les méthodes citées par Strickland et Parsons (1965).

L'oxygène dissous est dosé par la méthode de Winkler (1901) modifiée par Robinson et Thomson (*in* Strickland et Parsons, 1965).

La biomasse chlorophyllienne phytoplanctonique est déterminée d'après la technique de Richards (1955) (*in* Strickland et Parsons, 1965).

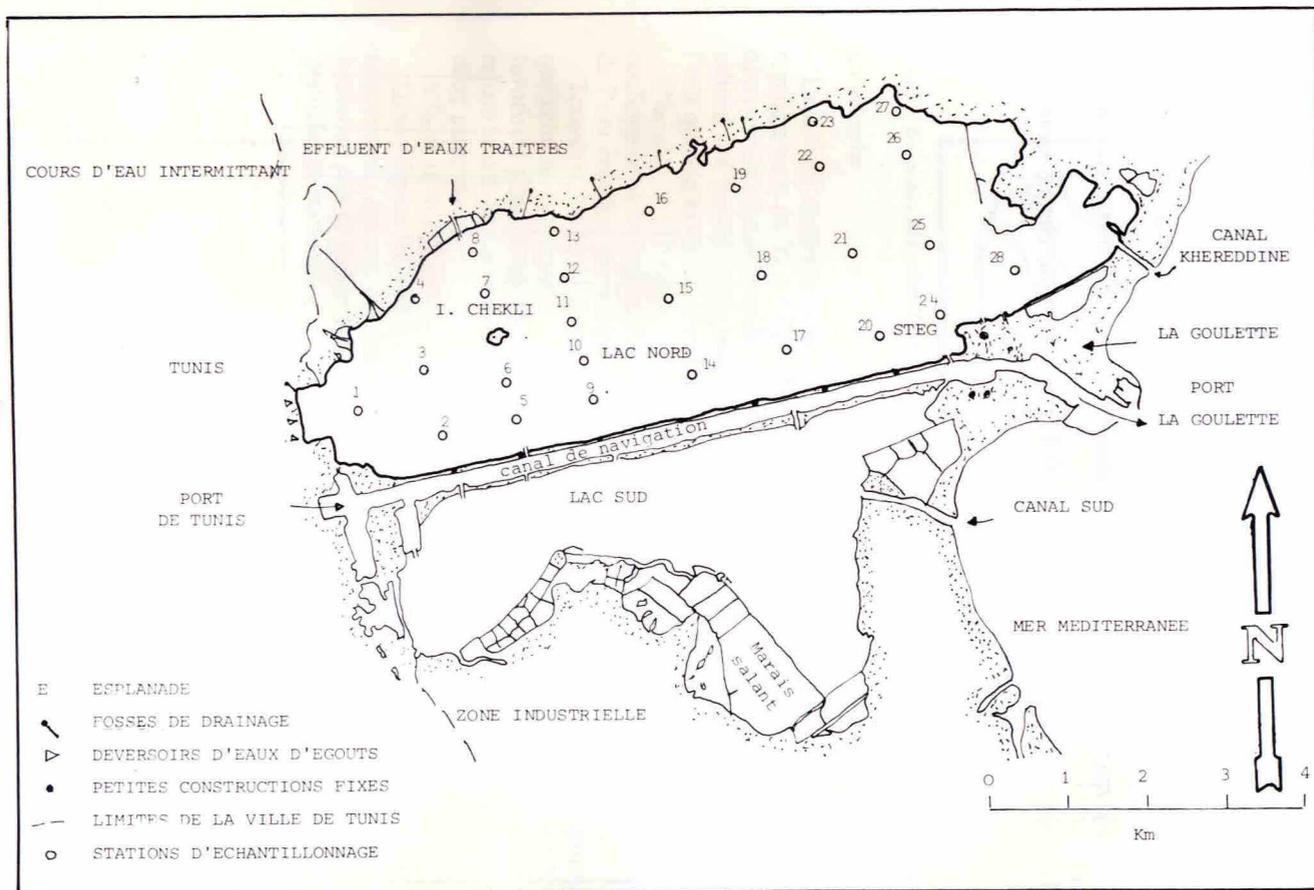
La biomasse des Ulves est déterminée, en terme de poids frais par unité de surface. Il a été utilisé, d'une part, une cage métallique de 3 mm d'ouverture de maille, de forme cubique (1 m de côté) et, d'autre part, une époussette triangulaire permettant de mieux racler le fond.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Nos résultats concernant les paramètres physico-chimiques et biologiques sont regroupés dans les tableaux 1 - 6 présentés en annexe.

### La température

Les températures moyennes mensuelles de l'eau suivent régulièrement et de façon cyclique celles de l'air (fig. 2).



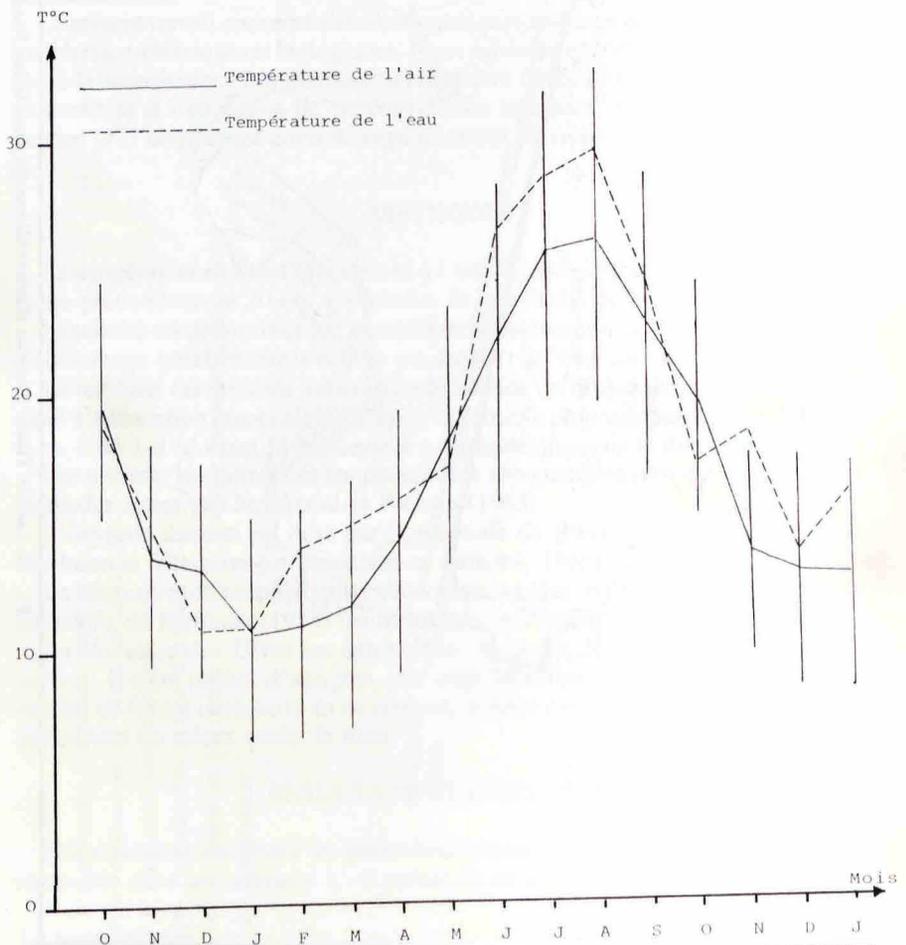
Fi. 1 : Lac de Tunis. Stations d'échantillonnage dans le lac Nord.

Les températures journalières se situent entre les extrêmes de la température de l'air, exception faite du mois de novembre 1976 où la température de l'eau est plus élevée (18,2°C) que la température maximale de l'air. Il semble que les très fortes biomasses macroalgales de novembre soient à l'origine d'un abaissement tardif de la température de l'eau. Quoique se réchauffant ou se refroidissant moins vite que l'air, la température de l'eau reste corrélative de la température de l'air, les équations de régressions suivantes illustrent bien cette forte corrélation.

$T_1$  (eau) moyenne = 1,03  $T_2$  (air) + 1,08 (r = 0,92) pour 28 stations et mensuellement

$T_2$  (eau) maximale = 1,01  $T_2$  (air) maximale + 5,11 (r = 0,90) pour chaque mois

$T_3$  (eau) = 1,05  $T_3$  (air) minimale - 0,8 (r = 0,86) pour chaque mois



**Fig. 2 :** Températures de l'air (°C) à la station d'El Aouina et moyennes mensuelles des températures de l'eau (°C) des 28 stations du lac Nord (Oct. 1975 - Janv. 1977).

Dans l'espace, les températures moyennes annuelles sont reportées sur la figure 3. Elles suggèrent la présence de deux masses d'eau dont l'une, relativement plus chaude (18,5 à 19°C), est localisée au niveau de la centrale électrique, et l'autre (16,5 à 17,5°C) couvre le centre et la zone ouest du lac.

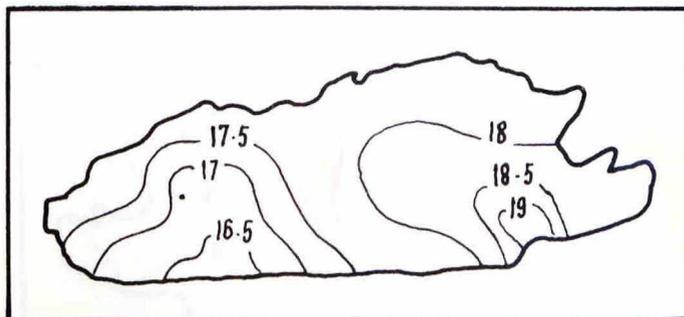


Fig. 3 : Moyennes annuelles des températures de l'eau (°C) des stations du lac Nord (1976-1977).

### La salinité

La salinité moyenne avec un maximum de 38 p. 1000 au centre, augmente régulièrement de 31 à 37 p. 1000 et ce en allant de la Chergia, où se font les déversements des eaux usées plus douces, vers la mer (fig. 4). Cette variation de la salinité suit parallèlement et selon la même direction celle de la température de l'eau qui augmente de 17,5 à 19°C. La droite de régression suivante :

$$S^{\text{‰}}_{\infty} = 1,04 (T^{\circ} \text{ eau}) + 18,1 \text{ avec } (r = 0,79),$$

confirme cette évolution et montre qu'une augmentation de 1°C de la température de l'eau entraîne une élévation de salinité de 1,04 pour mille.

Toutefois, l'effet de la température de l'eau sur la salinité reste moins important que celui de la température de l'air qui agit directement sur la surface de l'eau, favorisant ainsi l'évaporation et de ce fait élevant la salinité. En effet l'équation reliant la salinité à la température de l'air montre une très forte corrélation entre ces deux paramètres :

$$S^{\text{‰}}_{\infty} = 0,76 (T^{\circ} \text{ air}) + 20 ; (r = 0,90)$$

Dans l'espace les variations de la salinité ne dépendent généralement pas de la température, aucune corrélation n'a été déterminée. Elles semblent dépendre beaucoup plus de la topographie de la lagune ainsi que des apports d'eaux (usées, pluviales et marines).

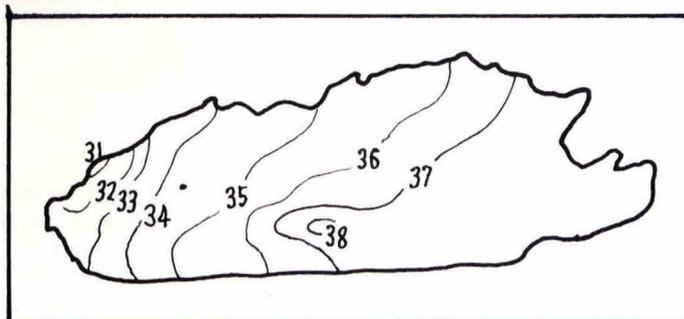


Fig. 4 : Moyennes annuelles des salinités (S<sup>‰</sup>) des stations du lac Nord (1976-1977).

## L'oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous et le pourcentage de saturation diminuent respectivement de 10,7 à 6,2 mg/l et de 138 % à 84 % en allant de la Cherguia vers la mer (fig. 5, 6). Les teneurs élevées sont liées à l'eutrophisation, ce qui peut constituer en période de crise dystrophique (eaux rouges) un facteur limitant très important. L'étude de la dynamique de l'oxygène montre qu'il est tributaire des

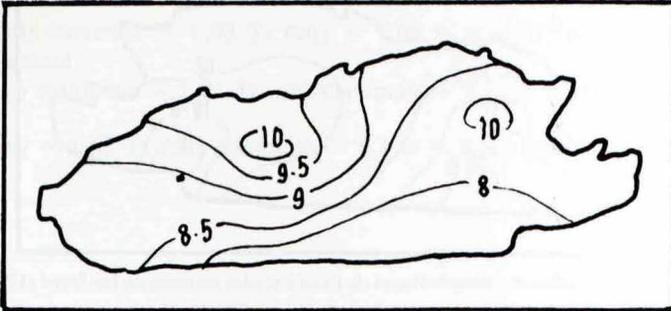


Fig. 5 : Moyennes annuelles des Teneurs en oxygène dissous (mg/l) des stations du lac Nord (1976-1977).

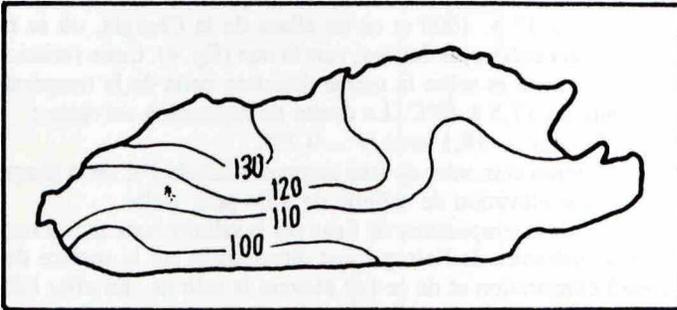


Fig. 6 : Moyennes annuelles des pourcentages de saturation en oxygène dissous des stations du Lac Nord (1976-1977).

facteurs physico-chimiques et biologiques. Les relations entre l'oxygène dissous et chacun des paramètres suivants, salinité, température de l'air et température de l'eau montrent que l'oxygène dissous est suffisamment corrélatif de la salinité ( $r = 0,53$ ), peu corrélatif de la température de l'air ( $r = 0,34$ ) et très peu corrélatif de la température de l'eau ( $r = 0,23$ ) :

$$O_2 = -0,35 (S^{\text{o}}_{\infty}) + 20,97 (r = 0,53) \text{ (fig. 7)}$$

$$O_2 = -0,167 (T \text{ air}) + 11,84 (r = 0,34)$$

$$O_2 = -0,09 (T \text{ eau}) + 10,89 (r = 0,23) \text{ (fig. 8)}$$

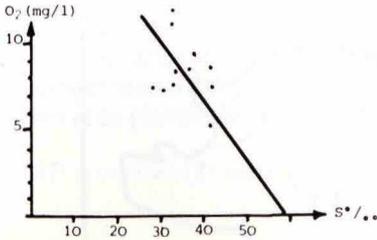
Ces équations de régression montrent que le premier facteur responsable du déficit en oxygène dissous semble être beaucoup plus la salinité (donc la température de l'air) que la température de l'eau, ce qui diffère légèrement des observations de Zaouali (1977).

En effet, la température de l'air exerce une action directe sur l'évaporation de l'eau et par voie de conséquence sur la salinité et sur l'oxygène dissous. A titre

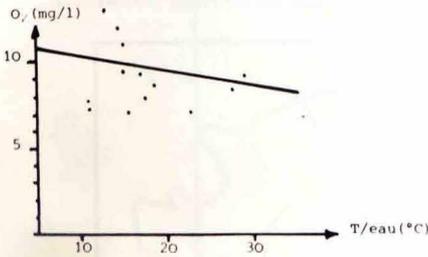
d'exemple des augmentations de 1 p. 1000 de la salinité, de 1°C de la température de l'air et de 1°C de la température de l'eau entraînent respectivement des réductions de 0,35 mg/l, 0,17 mg/l et 0,09 mg/l en oxygène dissous. Cette réduction gagne en vitesse et en importance suite à un effet de synergie entre la salinité, la température de l'air et celle de l'eau, particulièrement en période de conditions climatiques sévères.

Quant à la biocénose, son effet est important sur la variation de l'oxygène dissous et une relation positive a été établie entre les biomasses chlorophylliennes phytoplanktoniques et les pourcentages de saturation en oxygène.

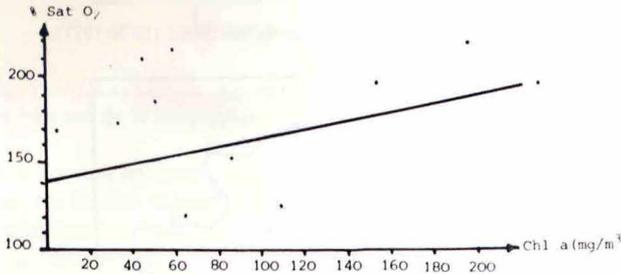
$$\% \text{ sat. O}_2 = 0,23 (\text{chl a}) + 141 ; (r = 0,30) \text{ (fig. 9)}$$



**Fig. 7 :** Droite de régression :  $O_2 = -0,35 (S‰) + 20,97$ . Moyennes mensuelles des teneurs en oxygène dissous (mg/l) en fonction des salinités (S‰) pour les 28 stations du lac Nord (1976-1977).



**Fig. 8 :** Droite de régression :  $O_2 = 0,09 (T°C) + 10,89$ . Moyennes mensuelles des teneurs en oxygène dissous (mg/l) en fonction de la température de l'eau (°C) pour les 28 stations du lac Nord (1976-1977).



**Fig. 9 :** Droite de régression :  $\% \text{ sat} = 0,23 (\text{Chl a}) + 141,6$ . Moyennes mensuelles des pourcentages de saturation en oxygène dissous en fonction de la biomasse phytoplanktonique (Chl a mg/m<sup>3</sup>) pour les 28 stations du lac Nord (1976-1977).

Le faible facteur de corrélation ( $r = 0,30$ ) indique que d'autres facteurs (vent, pluie, évaporation, etc.) interviennent dans la dynamique de l'oxygène dissous.

### Les sels nutritifs

L'eutrophisation étant causée par l'introduction excessive des substances nutritives (N et P inorganiques et organiques) provenant des eaux usées, des eaux de ruissellement etc., la teneur des composés de l'azote et du phosphore diminue de la Cherguia vers la mer (fig. 10, 11, 12) (5 à 0,2  $\mu$  atg/l pour N - NO<sub>2</sub>, 11 à 2  $\mu$  atg/l pour N - NO<sub>3</sub> et 8 à 1,5  $\mu$  atg/l pour P - PO<sub>4</sub>).

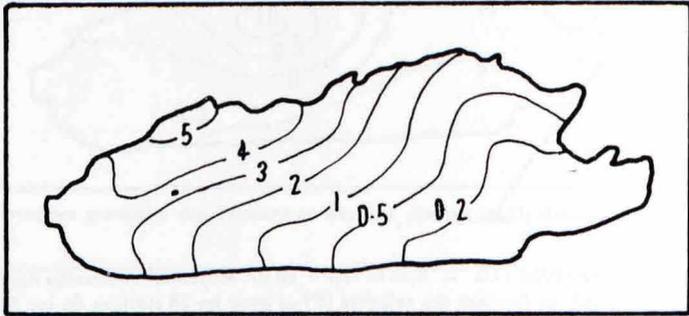


Fig. 10 : Moyennes annuelles des nitrites ( $\mu$  g-at/l) des stations du lac Nord (1976-1977).

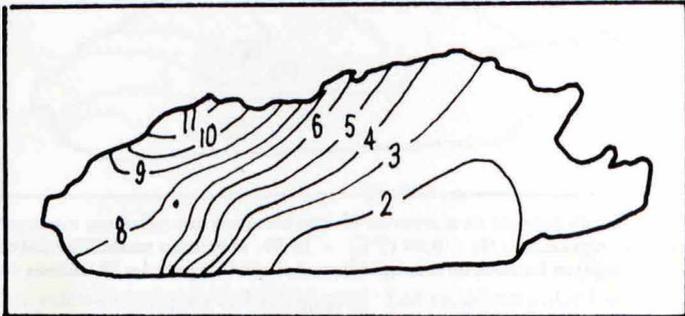


Fig. 11 : Moyennes annuelles des nitrates ( $\mu$  g-at/l) des stations du lac Nord (1976-1977).

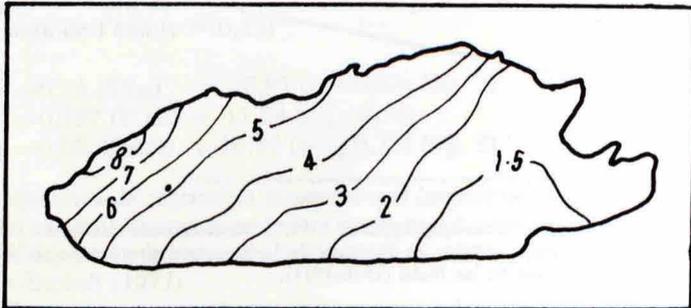


Fig. 12 : Moyennes annuelles des phosphates ( $\mu$  g-at/l) des stations du lac Nord (1976-1977).

Ces gradients montrent une capacité d'auto-épuration assez élevée des eaux lagunaires, phénomène qui est facilité par le piègeage des éléments nutritifs dans la partie subcentrale grâce aux modes de circulations séparées des masses d'eaux lagunaires à l'ouest et marines à l'est.

L'étude de la distribution spatiale des nitrates et des phosphates inorganiques montre que ces deux substances nutritives sont très corrélatives l'une de l'autre, les équations de régression suivantes ont été établies :

$$P - PO_4 = 0,58 (N - NO_3) + 0,87 ; (r = 0,86)$$

$$N - NO_3 = 1,33 (P - PO_4) + 0,01 ; (r = 0,86)$$

La forte corrélation ( $r = 0,86$ ) indique un phénomène de minéralisation locale rapide et permanent très caractéristique des eaux eutrophes.

Cependant, prise dans le temps, cette corrélation n'est pas significative ( $r = 0,17$ ) et les variations des nitrates ne dépendent généralement pas de celles des phosphates mais d'autres facteurs biotiques et abiotiques. En effet, les teneurs en nitrates et en phosphates dépendent de la température et l'équation de régression :

$$N/P = -0,93 (T^\circ \text{eau}) + 20,31 (r = 0,77) \text{ (fig. 13).}$$

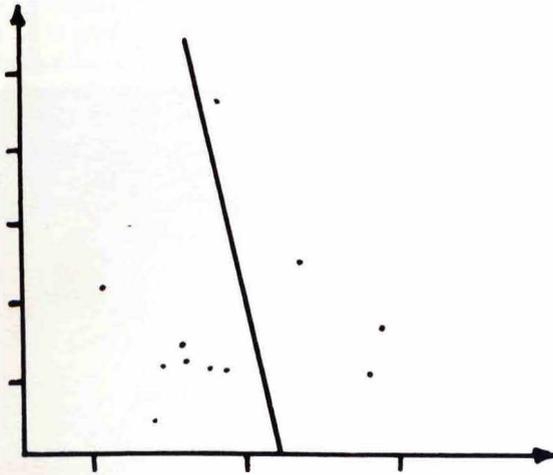


Fig. 13 : Droite de régression  $N/P = -0,93 (T^\circ C) + 20,31$ . Moyennes mensuelles du rapport N/P en fonction de la température ( $^\circ C$ ) pour les 28 stations du lac Nord (1976-1977).

indique que les fortes valeurs de température favorisent la formation des phosphates, les faibles valeurs, celle des nitrates. Les rapports N/P, généralement faibles, indiquent l'existence de phénomène de dénitrification permanente (Minas 1974) très caractéristique des écosystèmes lagunaires ; ces rapports augmentent de 2 à 6 en allant de l'ouest vers le centre puis retombent à 3 à proximité de la mer (fig. 14). Ces rapports peuvent être affectés par la salinité et l'oxygène dissous dont l'effet est beaucoup moins important que celui de la température (fig. 15).

En raison de l'assimilation des phosphates et des nitrates par les organismes autotrophes, l'étude comparative des relations liant la microflore et la macroflore

et les rapports N/P, permettent de déduire que l'influence de l'activité phytoplantonique sur les rapports N/P est environ quatre fois plus importante que celle des Ulves.

$$N/P = -0,02 (\text{chl } a) + 4,48 (r = 0,41)$$

$$N/P = 4 \times 10^{-4} (\text{Ulves}) + 3,15 (r = 0,14)$$

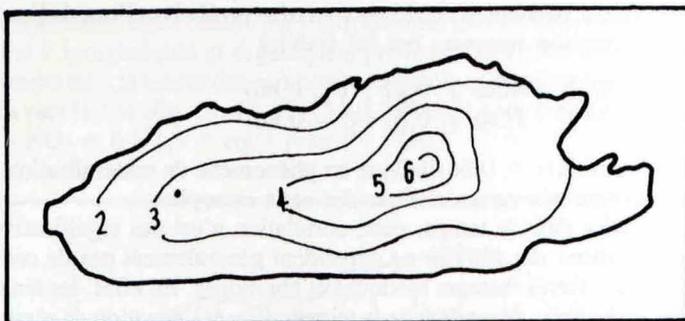


Fig. 14 : Moyennes annuelles du rapport N/P des stations du lac Nord (1976-1977).

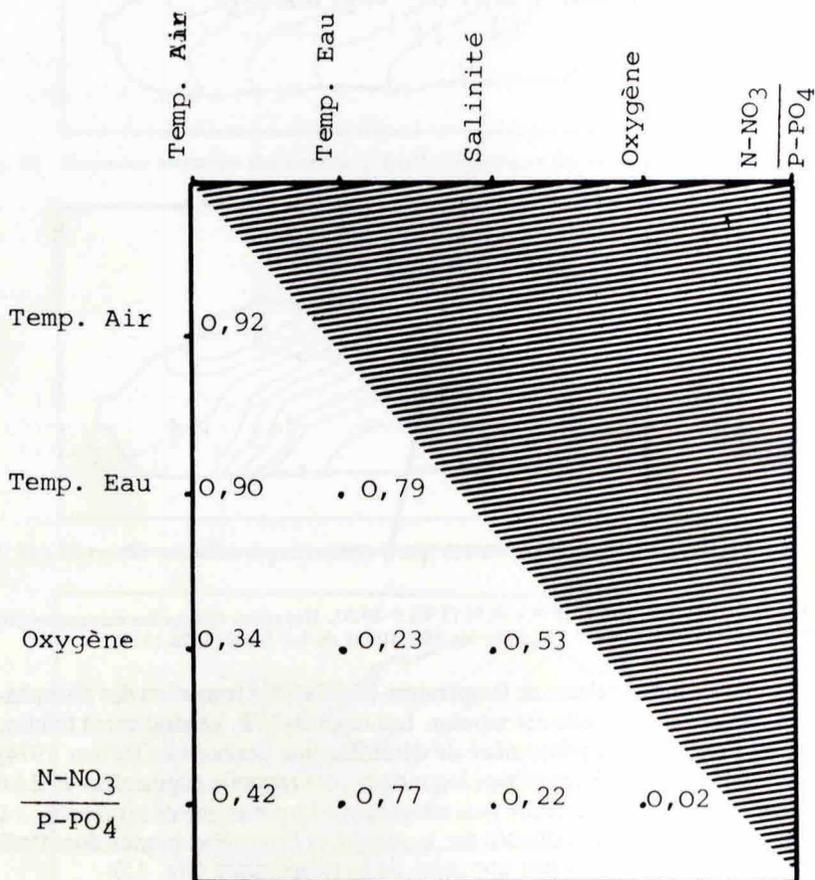


Fig. 15 : Coefficients de corrélation entre les moyennes mensuelles de quelques facteurs physico-chimiques pour les 28 stations du lac Nord (1976-1977).

En dépit de l'abondance des Ulves sur le fond et en raison de la très faible corrélation voire non significative, entre les rapports N/P et la biomasse des Ulves il est probable que ces dernières pompent leurs besoins en sels nutritifs dans la couche d'eau profonde définie par l'interface eau-sédiment.

## Les algues

Les biomasses du phytoplancton diminuent en terme Chl a de  $150 \text{ mg/m}^3$  à l'ouest, à  $50 \text{ mg/m}^3$  au centre, puis remontent à  $75\text{-}50 \text{ mg/m}^3$  à l'est (fig. 16). En revanche celles des macroalgues augmentent en terme de poids frais de  $100 \text{ g/m}^2$  à l'ouest à  $500\text{-}1500 \text{ g/m}^2$  au centre puis décroissent à  $100 \text{ g/m}^2$  et même  $0 \text{ g/m}^2$  à l'est (fig. 17), les plus fortes biomasses macroalgales ( $2000 \text{ g/m}^2$ ) se situant au nord de la zone centrale.

Ces deux dynamiques antagonistes indiquent une compétition entre la microflore pélagique et la macroflore benthique. Ce phénomène a pu être illustré grâce à l'étude de la relation entre les biomasses chlorophylliennes phytoplanctoniques et celles des Ulves :

$$\text{Chl a} = -0,04 (\text{Ulves}) + 129,6 \quad (r = 0,40)$$

$$\text{Ulve} = -0,05 (\text{Chl a}) + 1138 \quad (r = 0,40)$$

Les équations de régression montrent qu'une biomasse phytoplanctonique de  $129,6$  à  $285 \text{ mg/m}^3$  empêcherait toute croissance d'Ulves alors qu'une biomasse d'Ulves de  $315$  à  $1138 \text{ g/m}^2$  pourrait empêcher celle du phytoplancton.

Qu'il s'agisse de la réduction de la croissance des Ulves ou du phytoplancton, le problème est dû essentiellement au phénomène d'ombrage créé par l'un ou par l'autre. En effet, les blooms phytoplanctoniques ont pour conséquence de réduire la transparence des eaux et de ralentir la photosynthèse des macroalgues benthiques.

Il existe une corrélation hautement significative entre le coefficient d'extinction K et la biomasse phytoplanctonique :

$$K = 0,03 (\text{Chl a}) + 3,14 \quad (r = 0,77)$$

Cette turbidité importante ( $K$  variant de  $3$  à  $9 \text{ m}^{-1}$ ) (fig.18) en milieu lagunaire peu profond constitue un repère écologique important correspondant souvent au maximum de Chl a. En retour, les Ulves montrent un maximum actif quand le coefficient d'extinction est très faible (fig. 19) et peuvent par ombrage (formation de bancs épais et flottants) être à l'origine d'une réduction importante du phytoplancton.

## Conclusion

Le lac Nord de Tunis, constitue un système aquatique dynamique dans lequel divers facteurs biotiques et abiotiques subissent d'importantes variations temporelles et spatiales. Nos résultats mettent en évidence les tendances d'une évolution unidirectionnelle de cet écosystème lagunaire.

Par ailleurs, en raison des mécanismes d'eutrophisation, toutes les caractéristiques hydrologiques diminuent suivant un schéma bidirectionnel :

— un premier gradient nord-sud avec une dynamique décroissante depuis l'ensemble de la rive nord jusqu'à l'ensemble de la rive sud ;

— un deuxième gradient d'orientation nord ouest - sud est, correspond à une évolution décroissante depuis les points situés au nord ouest jusqu'à ceux situés sur

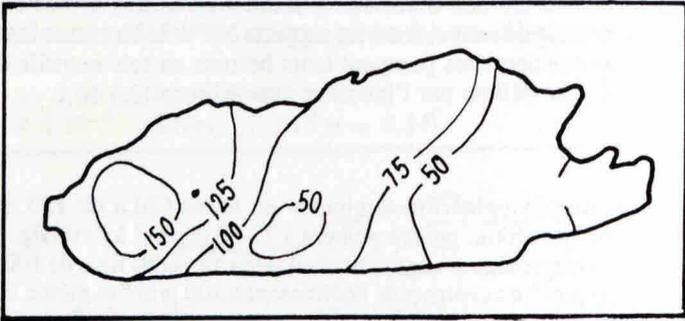


Fig. 16 : Moyennes annuelles des biomasses **chlorophylliennes** phytoplanctoniques ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) des stations du lac Nord (1976-1977).

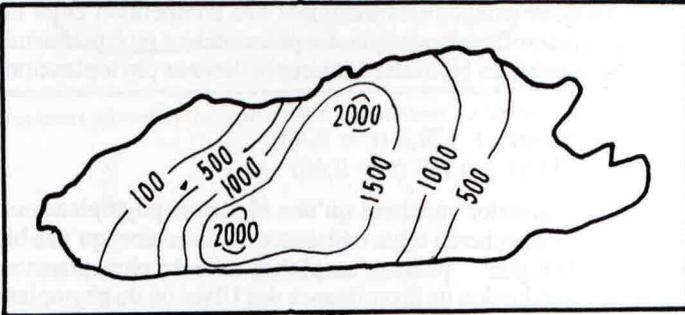


Fig. 17 : Moyennes annuelles de l'ensemble des algues macrothalliques en terme de poids frais ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) des stations du lac Nord (1976-1977).

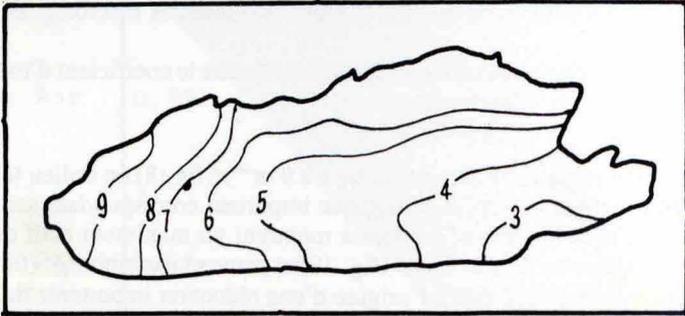


Fig. 18 : Moyennes annuelles du coefficient d'extinction ( $K : \text{M}^{-1}$ ) des stations du lac Nord (1976-1977).

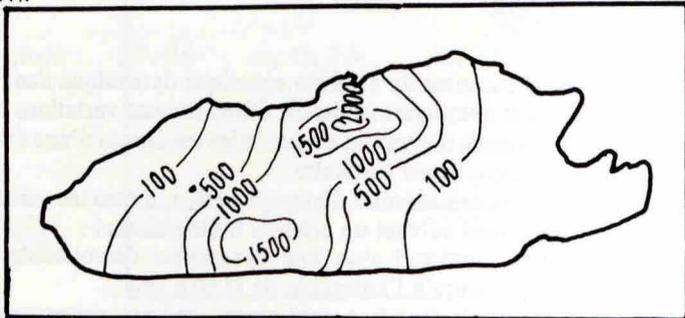


Fig. 19 : Moyennes annuelles de la biomasse d'*Ulva sp.* en terme de poids frais ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) des stations du lac Nord (1976-1977).

la rive sud est. Cette évolution reflète la plus forte pollution organique sur les rives nord et ouest (influences urbaine et pluviale) que sur les rives sud et est (influence marine).

Ce schéma de distribution s'inverse cependant pour les macroalgues et plus particulièrement pour les Ulves complètement absentes dans la partie ouest au niveau des rejets communaux et très abondantes au centre du lac.

Enfin l'étude d'un tel système aquatique, très complexe par sa nature et ses constituants, montre que l'analyse et l'interprétation demeurent toujours difficiles compte-tenu des interférences des paramètres physico-chimiques, biologiques et climatiques (assimilation, reminéralisation, turbulence, etc.).

Cette difficulté d'interprétation est accrue au niveau de l'étude des interfaces, étude d'ailleurs indispensable pour évaluer au mieux les échanges entre microenvironnements.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BAIER R., BELKHIR M., JOHNSON R., KEEN W. et PILKEY O. (1977). — Recherche sur l'eutrophisation du lac de Tunis. Vol. 2, Géologie, biologie, chimie et hydrologie : 1-65 ; INSTOP - EPA.
- BELKHIR M., (1979). — Eutrophisation du lac nord de Tunis. Etudes physico-chimiques et biomasses phytoplanktonique et macroalgale. Thèse 3ème cycle, Université de Tunis : 194 p.
- BJORK S., (1972). — Projet de restauration du lac de Tunis. Rapport au Ministère de l'Agriculture : 29 p.
- CABASSO V. et ROUSSEL H., (1942). — Essai d'explication du phénomène dit des eaux rouges. *Archs Inst. Pasteur Tunis*, 31 (3 - 4) : 203-212.
- HELDT H. (1929). — Le lac de Tunis (partie nord). Résultats des pêches au filet fin. *Bull. Sin océanogr. Sātammô*, 2 : 74.
- MINAS M. (1974). — Distribution, circulation et évolution des éléments nutritifs, en particulier du phosphore minéral, dans l'étang de Berre. Influence des eaux duranciennes. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 59 : 509-542.
- STIRN J. (1968). — Lac de Tunis Nord. Assainissement. (Rapport Rudis au sous-Secrétariat d'Etat à l'Agriculture). 68 p.
- STIRN J. (1971). — Ecological conséquences of marine pollution. *Rev. int. Océanogr. méd.* (24) : 13-46.
- STRICKLAND J.D.H. et PARSONS T.R. (1965). — A manual of sea water analysis (2d ed.) *Bull. Fish. Res. Bd Canada*, 125 : 1-203.
- TRAVERS M. (1973). — Le microplancton du golfe de Marseille. Variations de la composition systématique et de la densité des populations. *Tethys*, 5 (1) : 77.
- VUILLEMIN S. (1965). — Contribution à l'étude écologique du lac de Tunis. Biologie de *Mercierella enigmatica* Fauvel. Paris : Sedex. 556 p.
- ZAOUALI J. (1977). — Le lac de Tunis, facteurs climatiques physico-chimiques et crises dystrophiques. *Bull. Off. Naut. Pêches*, 1 (1) : 37-50.

**TABEAU 1**  
**Variation des moyennes annuelles des paramètres physico-chimiques des eaux dans le lac nord de Tunis**  
**d'octobre 1975 à janvier 1977**

Stations	T° C	S <sup>o</sup> / <sub>oo</sub>	K (m - 1)	N-NO <sub>2</sub> (r g-at/l)	N-NO <sub>3</sub> (r g-at/l)	P-PO <sub>4</sub> (r g-at/l)	N/P	O <sub>2</sub> (mg/l)	% Sat. O <sub>2</sub>
1	17,6	32,4	9,4	3,32	8,22	7,33	1,4	8,64	110
2	16,8	33,7	8,4	2,84	7,35	5,07	5,0	6,94	88
3	17,7	33,2	8,5	4,24	8,11	5,83	1,9	9,10	115
4	17,8	33,6	9,7	3,51	8,55	8,83	3,0	9,44	120
6	16,6	35,1	6,2	3,45	5,84	4,53	2,3	8,57	109
7	17,8	34,2	5,9	2,30	7,56	3,52	3,1	7,50	97
8	16,9	34,4	8,1	4,27	9,10	6,11	1,8	8,89	114
9	17,6	33,8	8,5	5,09	11,30	6,30	2,5	10,70	138
9	16,2	36,4	6,7	0,78	2,82	2,46	1,8	8,60	109
10	18,1	37,8	5,6	2,38	4,46	3,23	3,0	7,60	101
11	16,4	34,8	4,9	1,82	5,57	3,78	2,0	9,94	126
12	17,8	35,8	5,5	2,70	6,59	3,23	3,4	10,10	130
13	18,4	34,7	6,4	3,84	9,45	5,29	2,1	9,80	129
14	17,3	37,5	4,7	0,36	1,74	2,00	1,8	7,50	99
15	17,5	36,5	4,8	3,69	2,19	3,47	4,9	9,90	129
16	17,8	35,3	5,8	4,73	6,57	5,07	1,6	9,30	121
18	17,6	37,1	4,4	0,17	1,70	1,82	3,4	7,40	97
19	18,1	37,2	4,8	0,55	2,06	1,89	4,9	8,50	121
20	18,4	35,8	6,5	1,03	3,98	3,36	2,5	8,52	113
21	17,7	37,0	3,6	0,38	1,32	1,38	2,3	7,60	100
22	18,1	36,3	4,4	0,16	1,74	1,84	6,4	8,00	105
23	17,6	38,0	5,3	0,33	1,49	2,66	5,6	7,80	103
24	18,1	35,4	6,7	0,51	3,01	4,69	2,7	8,80	115
25	18,3	37,0	3,2	0,34	1,88	1,74	2,9	7,70	102
25	18,2	36,8	3,7	0,33	2,07	1,58	3,2	8,60	114
26	18,0	36,1	6,2	0,20	2,36	1,06	3,7	10,70	141
27	—	—	6,2	2,15	1,42	0,17	—	—	—
28	19,7	36,3	3,3	0,78	5,24	3,76	6,4	6,2	84

TABLEAU 2

Variation des moyennes annuelles des biomasses algales  
dans le lac de Tunis (1976 - 1977)

Stations	Chl a (mg/m <sup>3</sup> )	P (mgC/m <sup>2</sup> /j)	Biomasse d' <i>Ulva</i> (g/m <sup>2</sup> )	Biomasse des macroalgues (g/m <sup>2</sup> )
1	120,7	1300	000	000
2	151,5	1332	389	435
3	140,8	1473	143	163
4	153,3	1520	000	000
5	100,7	1564	240	365
6	153,1	3695	436	436
7	134,6	1490	175	247
8	138,3	1477	16	17
9	44,3	743	1543	1859
10	60,8	1175	1612	1937
11	120,5	2781	1207	1433
12	90,9	1830	585	757
13	111,3	1963	108	109
14	75,2	1837	1345	1383
15	80,7	1860	837	890
16	96,0	1377	1912	2240
17	50,6	1337	662	1687
18	46,6	944	1142	1350
19	96,3	1149	1921	2104
20	37,9	1114	155	458
221	46,8	1162	188	651
22	30,4	424	1148	1198
23	88,8	1027	746	1275
24	38,6	1393	17	778
25	30,3	694	252	962
26	42,7	600	68	102
27	35,9	490	30	269
28	25,5	949	00	98

TABLEAU 3

Variation, au cours du temps, des moyennes mensuelles  
des paramètres physico-chimiques des 28 stations  
(lac nord de Tunis) d'octobre 1975 à janvier 1977

Mois	T°C	S ‰	K	N-NO2	N-NO3	P-PO4	N/P	O2	% Sat. O2
Octobre 1975	19,0	41,2	6,6	0,47	3,1	2,1	3,2	1,3	18
Novembre	15,2	—	5,8	3,57	4,6	2,5	8,4	9,2	—
Décembre	11,2	—	8,6	0,87	3,4	3,3	2,2	7,8	—
Janvier 1976	11,3	31,5	6,2	3,58	6,0	2,0	7,1	7,6	85
Février	14,5	32,8	7,9	0,19	4,5	1,3	7,6	12,3	149
Mars	15,2	33,0	6,3	0,05	3,0	3,6	1,1	11,3	138
Avril-Mai	18,5	34,4	10,3	1,13	3,1	4,1	1,4	8,4	110
Juin	28,2	36,6	3,3	0,39	2,7	4,0	1,1	8,3	131
Juillet	29,2	42,3	5,2	0,60	2,2	3,2	1,6	8,5	141
Septembre	23,8	42,6	4,4	0,70	3,7	2,4	2,5	7,3	111
Octobre	17,4	38,1	2,9	6,56	9,4	5,8	1,1	9,3	122
Novembre	18,2	37,1	5,9	3,14	12,1	2,4	4,6	8,0	106
Décembre	13,6	30,2	6,5	1,70	6,3	12,0	0,4	13,0	149
Janvier 1977	16,1	29,9	8,1	0,98			1,3	7,3	89

TABLEAU 4

Variation, au cours du temps des moyennes mensuelles des biomasses algales des 28 stations (lac nord de Tunis) d'octobre 1975 à janvier 1977

Mois	Chl a (g/m <sup>3</sup> )	P (mgCl/m <sup>2</sup> /j)	Biomasse d' <i>ulva</i> (g/m <sup>2</sup> )	Biomasse des macroalgues (g/m <sup>2</sup> )
Octobre 1975	43,2	734,1	146	616
Novembre	21,1	374,4	—	—
Décembre	67,0	360,0	—	—
Janvier 1976	45,1	503,8	—	—
Février	54,5	634,1	214	469
Mars	238,1	4200,0	—	—
Avril-Mai	155,7	3274,6	145	185
Juin	52,4	2168,4	—	—
Juillet	197,0	3966,0	334	435
Septembre	5,7	116,1	1072	1479
Octobre	38,8	968,9	—	—
Novembre	87,6	1033,8	1773	1980
Décembre	58,8	572,7	—	—
Janvier 1977	108,8	885,2	—	—

TABLEAU 5

Variation, au cours du temps, des biomasses d'algues macrothalliques dans le lac nord de Tunis de juillet 1974 à novembre 1976

Mois	Juil. 74 (18-24)	Fév. 75 (20-26)	Août 75 (10-12)	Oct. 75 (30- 2nov.)	Fév. 76 (2-6)	Avr. 76 (27-30)	Juil. 76 (12-14)	Sept. 76 (10-15)	Nov. 76 (14-7)
<b>Biomasses</b>									
<i>Ulva</i>									
bu	1222	59	72	146	264	145	334	1072	1773
Bu	36094	1742	2137	4312	7798	4293	9865	31663	52369
%	99	27	100	21	48	79	76	74	89
<i>Enteromorpha</i>									
bE	2	97	00	238	101	25	59	61	15
BE	59	2865	00	7030	2983	778	1743	1802	443
%	0,1	45	00	37	27	13	14	4	1
<i>Cladophora</i>									
<i>racées</i>									
bC	00	21	00	232	91	00	31	301	107
BC	00	620	00	6853	2688	00	916	8891	3160
%	00	10	00	42	22	00	7	21	6
<i>Gracilaria</i>									
bG	8	37	00	00	13	15	11	45	85
BG	236	1093	00	00	384	443	325	1329	2511
%	0,9	18	00	00	3	8	3	1	4
bt	1232	214	72	616	469	185	435	1479	1980
Bt	36389	6321	2137	18195	13853	5464	12849	43685	58483

Remarque : bx : biomasse moyenne mensuelle (g/m<sup>2</sup>) de chaque type d'algue

bt : biomasse moyenne mensuelle (g/m<sup>2</sup>) de l'ensemble des algues

Bx : biomasse moyenne mensuelle (tonnes) de chaque type d'algue, rapportée à la surface du lac nord

Bt : biomasse moyenne mensuelle (tonnes) de l'ensemble des algues, rapportée à la surface du lac nord.

TABLEAU 6  
 Estimation des biomasses annuelles des algues  
 macrothalliques dans le lac nord de Tunis  
 d'octobre 1975 à novembre 1976

	<i>Ulva</i>	<i>Enteromorpha</i>	<i>Cladophoracées</i>	<i>Gracilaria</i>	Total
<b><u>Biomasses annuelles</u></b>					
Moyennes (g/m <sup>2</sup> )	622	83	127	28	860
Ecart types (g/m <sup>2</sup> )	662	82	117	32	893
<b><u>Biomasses annuelles</u></b>					
Moyennes (tonnes)	18382	2457	3751	832	25422
Ecart types (tonnes)	19559	1414	3453	935	26361