

VARIATIONS DES TENEURS EN CHLOROPHYLLE A ET EN SELS NUTRITIFS DANS LA LAGUNE DE L'ICHKEUL

Besma CHAOUACHI*, Oum Kalthoum BEN HASSINE* et Jacques LEMOALLE**

* Laboratoire de Biologie et Parasitologie marines, Département de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 2092-Tunis, Tunisie. Tél. : 216 71 88 22 00 - Fax : 216 71 88 54 80. E-mail : Besma.Chaouachi@fsb.rnu.tn

** Centre ORSTOM de Montpellier, 911, avenue Agropolis, B.P. 5045, 34032-Montpellier cedex 1. France.

ملخص

تغيرات الكلوروفيل والأملاح المغذية ببحيرة إشكل : مكنت المتابعة المستمرة لنقلب الكلوروفيل والأملاح المغذية في بحيرة إشكل من وصف وتحليل بعض التغيرات الموسمية ومقارنتها مع الأحوال السابقة. وقد حاولنا من خلال هذا التحليل فهم سير مَوْتِ إشكل الذي يمثل وسطاً فريداً. أظهرت متابعة الدورات السنوية للكلوروفيل والأملاح المغذية تغيرات أسبوعية هامة. سجلت الأوزان الحيوية للبلانكتون النباتي ارتفاعاً ملحوظاً في فصل الشتاء خلال فترة التيار الخارجي من البحيرة على عكس كمية الفسفور التي لم تكن هامة إلا في واد تينجة خلال فترة التيار الداخلي. تبدو كمية النيتروجين غير منتظمة ودون تباين موسمي. يمكن اعتبار كميات الكلوروفيل والأملاح المغذية التي جرى قياسها سنة 1993 في حدود تلك التي سجلت الأعوام السابقة. **المفاتيح** : كلوروفيل، نيتروجين، فسفور، تينجة، إشكل.

RESUME

Le suivi régulier des teneurs en chlorophylle a et en sels nutritifs dans la lagune de l'Ichkeul durant l'année 1993 a permis de mieux comprendre le fonctionnement de cet écosystème, milieu original et complexe. Les cycles annuels de la chlorophylle et des sels nutritifs montrent des fluctuations importantes, à l'échelle hebdomadaire. Les fortes biomasses phytoplanctoniques sont observées en hiver en période de courant sortant, en opposition avec les concentrations de phosphore réactif dissous qui ne sont notables que dans l'oued Tinja par courant entrant. Les nitrates et nitrites sont en concentrations plus irrégulières, sans saisonnalité marquée. La gamme des concentrations mesurées en 1993 a été comparable à celle observée lors des années précédentes.

Mots Clés : Chlorophylle, Ichkeul, nitrates, nitrites, phosphates, Tinja.

ABSTRACT

Variations of chlorophyll a and nutritive salt in Ichkeul lagoon : The chlorophyll and nutritive salt follow up in Ichkeul lagoon in 1993 allows us to better understand the functioning of this original and complex ecosystem. The chlorophyll and nutritive salt yearly cycles show important weekly fluctuations. A high phytoplankton biomass was observed during winter with an outflow in oued Tinja, whereas significant concentrations of dissolved reactive phosphorus occurred only in inflows through oued Tinja. Nitrate and nitrite were more irregular with no marked seasonality. The concentrations which have been measured during 1993 did not differ from those of the previous years.

Key-words : Chlorophyll, Ichkeul, nitrates, nitrites, phosphates, Tinja.

INTRODUCTION

La lagune de l'Ichkeul est située au Sud-Ouest de la ville de Bizerte entre 9°35' et 9°45' de longitude Est et 37°08' et 37°12' de latitude Nord. Elle communique indirectement avec la Méditerranée par l'intermédiaire de la lagune de Bizerte à laquelle elle est reliée par l'oued Tinja (figure 1). La lagune de l'Ichkeul a une profondeur moyenne d'environ 1m et couvre une superficie moyenne proche de 8900 ha (Ennabli et Kallel, 1990). Elle est entourée par de nombreux marécages situés surtout à l'Ouest et au Sud, de part et d'autre du Jebel Ichkeul. De par sa situation en dépression, la lagune est alimentée par des eaux continentales, en période hivernale et marines, en période estivale. En hiver,

suite aux fortes précipitations, les oueds se déversent dans la lagune, entraînant une montée de ses eaux et donc une évacuation de l'excédent d'eau douce vers la lagune de Bizerte par l'oued Tinja. En été, suite à la forte évaporation et à un apport en eau douce très faible ou nul, le niveau d'eau dans la lagune s'abaisse, entraînant l'entrée des eaux marines compensatoires.

L'important réseau hydrographique associé au plan d'eau de l'Ichkeul a été l'objet de nombreux aménagements hydrauliques, notamment des barrages susceptibles de perturber les caractéristiques hydrologiques de l'écosystème et de se répercuter sur sa richesse biologique (Ben Rejeb et Kartas, 1988 ; Chaouachi, 1995 ; Chaouachi *et*

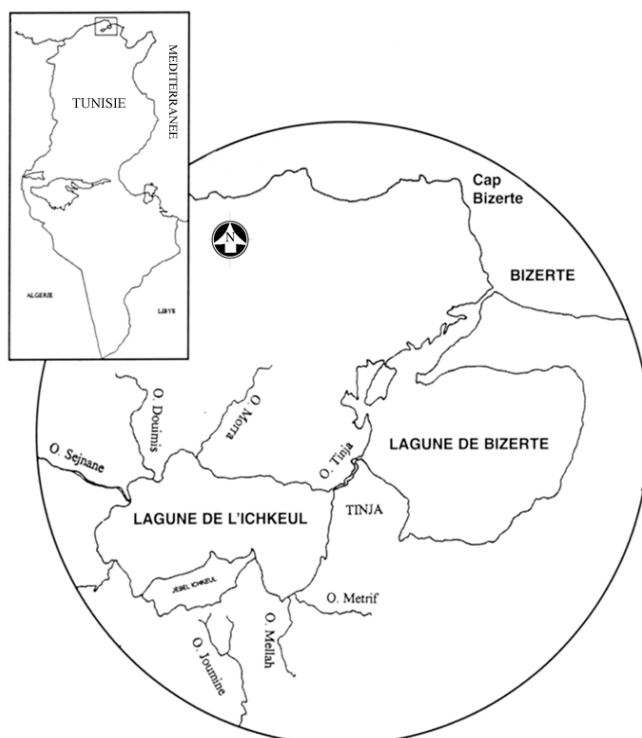


Fig.1 : situation géographique de la lagune de l'Ichkeul

al., 1995). Pour ces raisons, une étude d'impact a été entreprise afin de pouvoir étudier le fonctionnement de l'Ichkeul et de définir une stratégie pour sa sauvegarde.

L'analyse des variations de la chlorophylle a et des sels nutritifs dans la lagune de l'Ichkeul et dans l'oued Tinja contribue à une meilleure compréhension de cet écosystème lagunaire. La concentration en chlorophylle a est un indicateur de la biomasse des micro-algues présentes dans la masse d'eau (Ben Rejeb-Jenhani *et al.*, 1991). Les teneurs en sels nutritifs peuvent caractériser le plan d'eau et donner une idée sur la richesse biologique potentielle de l'écosystème. Cependant, leur interprétation s'avère complexe, surtout pour les eaux de surface où les phénomènes physiques et biologiques présentent des fluctuations très rapides (Herbland et Le Loeff, 1993).

MATERIEL ET METHODES

Nos prélèvements d'eau (1000 ml) destinés à des analyses de la chlorophylle et des sels nutritifs ont été effectués à trois stations (figure 2) :

- la station T, située sur l'oued Tinja, en aval de la bordigue,
- la station C, localisée dans une zone centrale de la lagune, sur une ligne liant l'oued Morra à la pointe Est du jebel Ichkeul et désignée sous le nom de "station centrale",
- la station P, située entre les stations T et C.

Des relevés hebdomadaires ont été effectués durant la période allant de janvier à décembre 1993 à la station T. Les variables mesurées dans l'oued reflètent celles de la lagune durant la période de courant sortant continu. En effet, Lemoalle (1983^a), Ben Rejeb (1986) et Ben Rejeb-Jenhani (1989) considèrent que cette station est représentative de la lagune, par courant sortant. Dans les stations P et C, situées à l'intérieur de la lagune de l'Ichkeul, des prospections irrégulières ont été effectuées durant les périodes de courant entrant continu mais aussi alternant (mai à décembre 1993).

Au laboratoire, les teneurs des eaux en chlorophylle active (a) ont été déterminées après filtration de l'échantillon d'eau sur un filtre de verre (Whatman Gf/C), extraction du filtre à l'acétone et mesure de la densité optique à 665 et 750 nm avant et

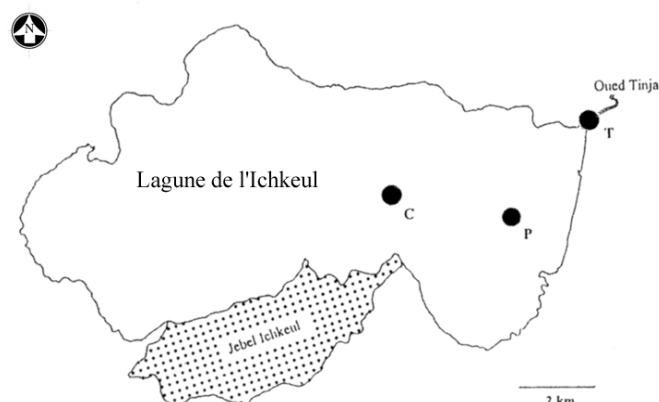


Figure 2 : Localisation des stations (T, P et C) de prélèvements dans la lagune de l'Ichkeul.

après acidification de l'extrait (Strickland et Parsons, 1965 ; Golterman, 1969).

Les dosages des sels nutritifs ont été effectués sur des échantillons d'eau préalablement filtrés sur disque filtrant :

- le dosage des ions nitrites (NO_2^-) est basé sur la réaction de GRIESS. L'absorption est mesurée à 543 nm (Bendschneider et Robinson, 1952) ;

- les ions nitrates (NO_3^-) sont dosés après leur réduction en ions nitrites. L'absorption obtenue à 543 nm mesure la somme des ions nitrites et des ions nitrates réduits en nitrites (Strickland et Parsons, 1965) ;

- la concentration en phosphates a été évaluée par la méthode colorimétrique de Murphy et Riley (1962). La densité optique est mesurée à 885 nm.

Le sens du courant a été noté directement à la station T de l'oued Tinja, au moment des relevés.

RESULTATS ET DISCUSSION

1 - Chlorophylle a

Les pigments photosynthétiques se rencontrent à l'état de diverses chlorophylles (**a**, **b**, **c**), de pigments accessoires et de produits de dégradation. La chlorophylle a (forme active) est le composé principal de ces mélanges dont la composition dépend des espèces algales présentes et de leur état physiologique.

De grandes fluctuations des teneurs en chlorophylle a ont été observées aux mois de janvier et d'avril de

l'année 1993 (figure 3). Il existe deux pics de concentration : le premier est observé au mois de janvier ($23,6 \text{ mg/m}^3$) et le deuxième au mois d'avril ($13,1 \text{ mg/m}^3$). Des teneurs de l'ordre de 5 mg/m^3 ont été enregistrées en mai, juillet, novembre et décembre alors que des concentrations ne dépassant pas 2 mg/m^3 ont été obtenues en février, juin et durant la période allant d'août à octobre. La moyenne des relevés hebdomadaires à la station T a été égale à $2,5 \text{ mg/m}^3$ durant l'année 1993.

Les concentrations obtenues dans la lagune, en période de courant entrant, ont été proches de celles trouvées à la station T aux mois de mai, juin et juillet. En revanche, au mois de décembre, ces teneurs ont été de l'ordre de 1 mg/m^3 à la station T et de 12 mg/m^3 aux deux stations P et C de la lagune. D'une façon générale, il y a plus de chlorophylle par courant sortant (lagune de l'Ichkeul) qu'entrant (lagune de Bizerte).

Lemoalle (1983^b) a mesuré dans la lagune de l'Ichkeul des teneurs en chlorophylle comprises entre 3 et 27 mg/m^3 . Les concentrations en chlorophylle a obtenues par Ben Rejeb-Jenhani (1989) ont varié entre un minimum de $0,5 \text{ mg/m}^3$ et un maximum de 36 mg/m^3 . Les fortes teneurs ont été relevées durant les saisons hivernale et printanière.

Les concentrations en chlorophylle a obtenues dans la lagune de l'Ichkeul ont été plus fluctuantes que celles relevées dans la lagune de Tunis. En effet, Shili (1995) a enregistré, durant la période 1992-1993, des teneurs moyennes comprises entre 2 et 8 mg/l avec une moyenne annuelle de $3,6 \text{ mg/m}^3$.

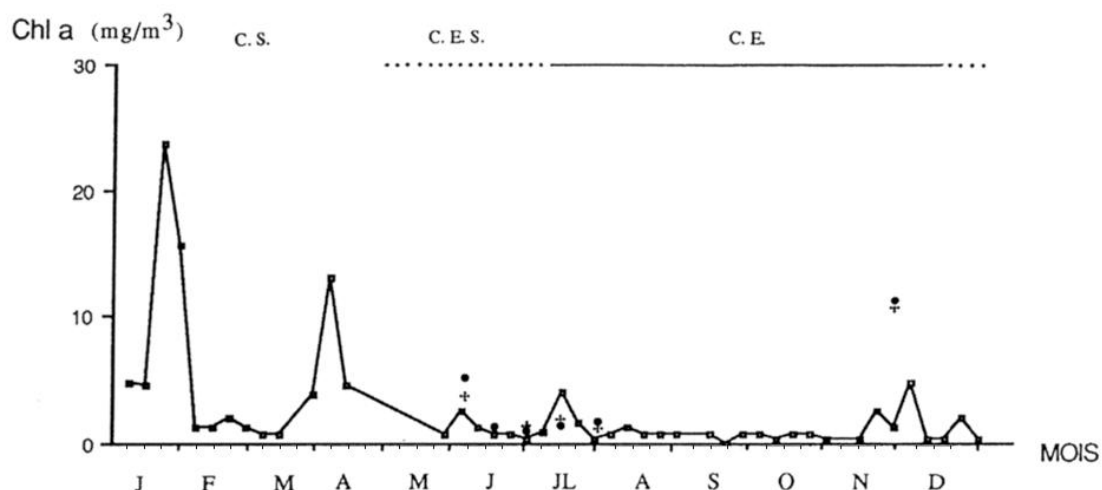


Figure 3 : Variation des teneurs en chlorophylle a (mg/m³) aux stations T, P et C de la lagune de l'Ichkeul (1993). C. E. : courant entrant continu ; C. S. : courant sortant continu ; C. E. S. : courant entrant-sortant.

station T (↖), station P (●), station C (+)

Tableau 1 : Relevés hebdomadaires de la chlorophylle a et des sels nutritifs mesurés à la station T (1993).

Variables		moyenne annuelle	moyenne minimale	moyenne maximale	minimum absolu	maximum absolu
Chlorophylle a	mg/m ³	2,53	0,49 octobre	12,21 janvier	< 0,100 septembre	23,59 janvier
Phosphates	µatg/l	0,20	0,01 mars	0,63 octobre	< 0,001 janvier	2,29 septembre
Nitrites	µatg/l	0,35	0,13 avril	0,99 janvier	< 0,001 janvier	2,13 septembre
Nitrates	µatg/l	5,63	2,26 septembre	10,73 mai	0,22 décembre	21,21 mai

2 - Sels nutritifs

Les multiples échantillons d'eau de l'oued Tinja, prélevés régulièrement toutes les semaines, ont permis de suivre les évolutions des teneurs en sels nutritifs et de calculer les moyennes mensuelles et annuelles, de même que les maximums et les minimums (tableau I).

a – Phosphates

La teneur maximale en phosphates à la station T a été de 2,29 µatg/l, durant l'année 1993 (figure 4). Les valeurs enregistrées ont été très faibles en hiver et au printemps, peu élevées en été et très fluctuantes en automne. L'écart entre deux semaines successives de la saison automnale peut dépasser

2,00 µatg/l à la même station (T). Les teneurs relevées aux stations P et C de la lagune ont été du même ordre que celles enregistrées à la stations T de l'oued.

Les faibles teneurs observées durant les saisons hivernale (moyenne de 0,05 µatg/l) et printanière (moyenne de 0,03 µatg/l) peuvent être attribuées à l'utilisation du phosphate par le phytoplancton. Cette assimilation est plus importante au printemps, période de forte activité photosynthétique. La comparaison des figures 3 et 4 confirme cette interprétation : les fortes concentrations de phosphore réactif dissous correspondent aux faibles valeurs de chlorophylle et réciproquement. Il faut, cependant, tenir compte également de l'origine des masses d'eau. Les fortes valeurs de PO₄-P ont été

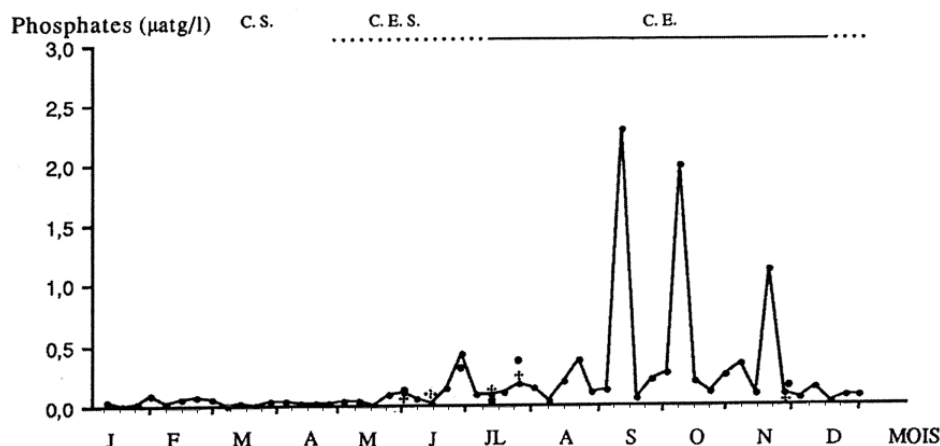


Figure 4 : Variation des teneurs en phosphates ($\mu\text{atg/l}$) aux stations T, P et C de la lagune de l'Ichkeul (1993). C. E. : courant entrant continu ; C. S. : courant sortant continu ; C. E. S. : courant entrant-sortant.
station T (\leftarrow), station P (\bullet), station C (\ast)

observées par courant entrant dans la lagune, de façon continue ou discontinue. Lorsque les eaux d'origine continentale ont dominé, des concentrations faibles ont été au contraire observées. Les apports en phosphore peuvent alors être associés à des particules minérales, par adsorption sur les argiles et par coprécipitation avec le calcium. Ils n'apparaissent donc pas dans la phase dissoute, mais restent partiellement accessibles pour l'assimilation par le phytoplancton.

Par comparaison aux études antérieures, les teneurs en phosphates relevées dans la lagune de l'Ichkeul (1993) sont peu différentes de celles trouvées par Ben Rejeb-Jenhani (1992) puisque ces dernières ont varié entre 0,01 à 2,94 $\mu\text{atg/l}$. Elles sont également proches des valeurs mesurées par Dridi (1977) et qui n'excèdent pas 100 $\mu\text{g/l}$. La lagune de l'Ichkeul possède des teneurs maximales comparables à celles de Ghar El Melh (2,07 $\mu\text{atg/l}$) (Romdhane, 1985) mais supérieures à celles de la lagune de Tunis (1,0 $\mu\text{atg/l}$) (Ben Charrada, 1992). Ces teneurs maximales permettent de renseigner sur l'intensité

maximale de l'enrichissement de l'écosystème. En effet, le calcul d'une valeur moyenne peut masquer l'enrichissement du milieu (Herbland et Le Loeff, 1993)

b - Nitrites

L'azote minéral, présent dans les eaux de la lagune, provient de la décomposition de la matière organique et du lessivage des terres environnantes par les pluies.

Le suivi annuel des teneurs hebdomadaires en nitrites, à la station T a révélé leur importante variabilité (figure 5) avec un maximum de 2,29 $\mu\text{atg/l}$. La moyenne annuelle des concentrations hebdomadaires a été égale à 0,35 $\mu\text{atg/l}$. Ces mesures, effectuées au niveau de la station T (par courant sortant) et à l'intérieur de la lagune (par courant entrant), ont montré une moyenne mensuelle minimale de 0,13 $\mu\text{atg/l}$ (avril) et une moyenne mensuelle maximale de 0,99 $\mu\text{atg/l}$ (janvier) qui peut correspondre à une phase particulière d'apports continentaux. En hiver, la teneur moyenne en nitrites a été égale à 0,48 $\mu\text{atg/l}$. Les teneurs moyennes mensuelles des nitrites, obtenues durant l'année 1993, sont comparables à celles mesurées dans la lagune de l'Ichkeul par Dridi (1977) et Ben Rejeb-Jenhani (1992) ($< 1 \mu\text{atg/l}$). Elles sont aussi peu différentes de celles relevées par Romdhane (1985) dans la lagune de Ghar El Melh (moyenne maximale = 1,3 $\mu\text{atg/l}$). Elles s'écartent, cependant, de celles enregistrées par Ben Charrada (1992) dans la lagune de Tunis (moyenne maximale = 5,7 $\mu\text{atg/l}$). D'une façon générale, les teneurs en nitrites sont faibles, représentant moins de 10% de celles des nitrates.

c - Nitrates

Les concentrations en nitrates, à la station T, ont varié entre 0,22 $\mu\text{atg/l}$ et 21,21 $\mu\text{atg/l}$, durant l'année 1993 (figure 6). Les relevés hebdomadaires ont montré leurs importantes fluctuations ; l'écart, d'une semaine à l'autre, peut dépasser 15 $\mu\text{atg/l}$. La moyenne annuelle a été évaluée à 5,63 $\mu\text{atg/l}$. Les valeurs relevées, aux stations lagunaires P et C, en

période de courant entrant, se rapprochent de celles relevées à la station T. La teneur minimale, égale à 4,97 $\mu\text{atg/l}$ a été estivale et peu différente de la moyenne annuelle (5,63 $\mu\text{atg/l}$).

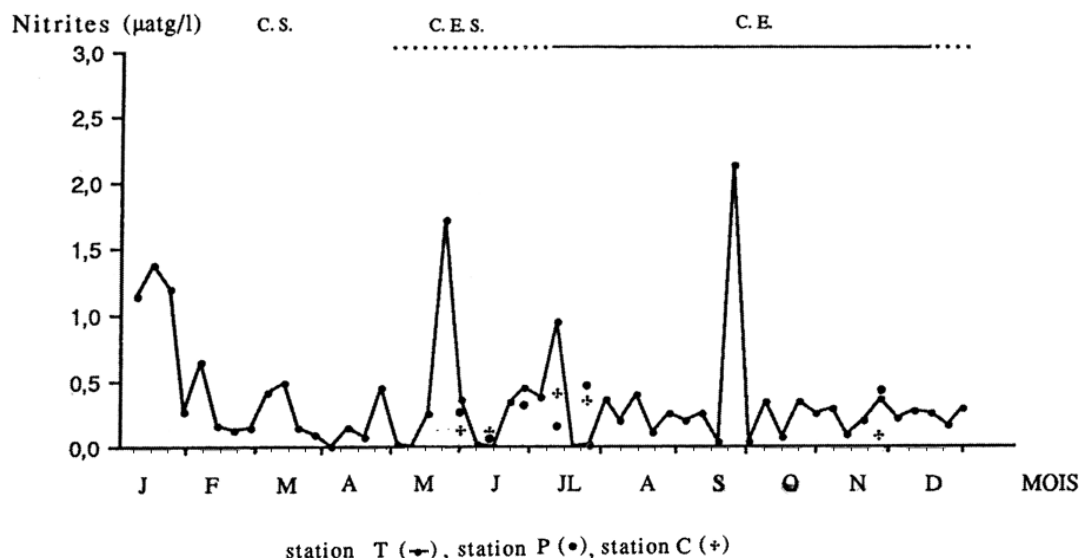


Figure 5 : Variation des teneurs en nitrites ($\mu\text{atg/l}$) aux stations T, P et C de la lagune de l'Ichkeul (1993). C. E. : courant entrant continu ; C. S. : courant sortant continu ; C. E. S. : courant entrant-sortant.

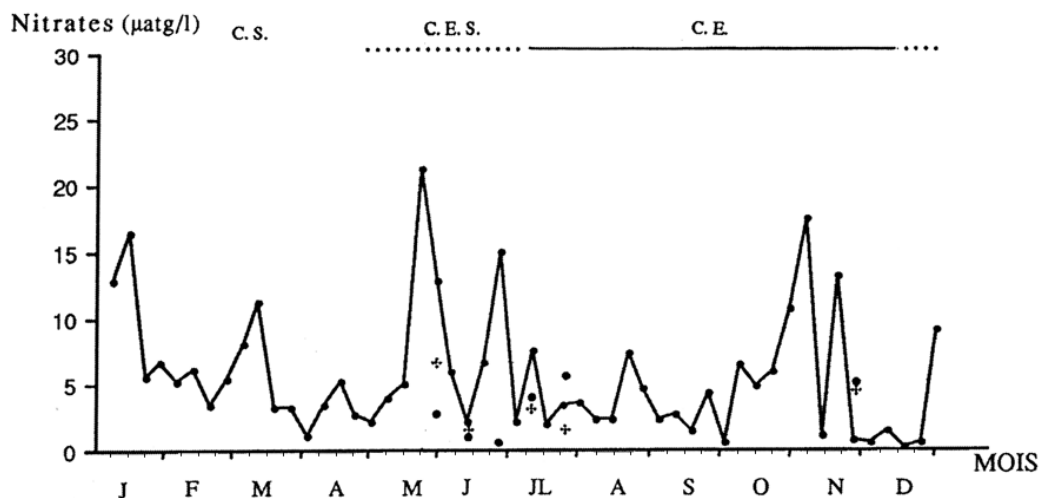


Figure 6 : Variation des teneurs en nitrates ($\mu\text{atg/l}$) aux stations T, P et C (1993). C. E. : courant entrant continu ; C. S. : courant sortant continu ; C. E. S. : courant entrant-sortant.

station T (\blacktriangle), station P (\bullet), station C ($+$)

les teneurs en nitrates, mesurées durant l'année 1993, ont été comparables à celles relevées dans la lagune de l'Ichkeul par ben rejeb-jenhani (1992) mais également à celles mentionnées dans la lagune de tunis par ben charrada (1992). elles sont, en revanche, supérieures à celles obtenues par dridi (1977) dans trois stations littorales de la lagune de l'Ichkeul et par romdhane (1985) dans la lagune de ghar el melh.

CONCLUSION

Le suivi régulier des fluctuations en chlorophylle a et en sels nutritifs a permis d'analyser leur variabilité, à l'échelle hebdomadaire, et de mieux comprendre certaines particularités fonctionnelles de l'écosystème Ichkeul.

L'observation du courant dans l'oued Tinja, nous a amené à distinguer une période de courant sortant continu de la lagune de l'Ichkeul (du 6 décembre

1992 au 29 avril 1993), une période de courant entrant continu dans la lagune de l'Ichkeul (du 08 juillet au 16 décembre 1993), et une période d'alternance comprise entre les deux précédentes. Durant l'époque de courant sortant, les variables mesurées dans l'oued Tinja reflètent celles de la lagune.

L'évolution des concentrations observées au cours de l'année 1993 souligne la forte variabilité à court terme des différentes variables, déjà observée par le passé (Dridi, 1977 ; Lemoalle, 1983^b ; Ben Rejeb Jenhani, 1989 et 1992).

Des caractéristiques saisonnières apparaissent cependant, avec de fortes valeurs de biomasses phytoplanctoniques observées en hiver en période de courant sortant, en opposition avec les concentrations en phosphates dissous qui ne sont notables dans l'oued Tinja que par courant entrant. Les nitrates et nitrites varient de façon plus irrégulière.

Sur le long terme, la gamme des concentrations observées en 1993 pour les variables étudiées est tout à fait comparable à celle des études antérieures. Il n'est donc pas apparu de modification sensible des indicateurs d'eutrophisation que sont la biomasse du phytoplancton et la concentration d'éléments nutritifs dissous au cours des 10 à 15 dernières années, période au cours de laquelle ont été construits les barrages de Joumine et de Ghezala sur le bassin versant de la lagune.

BIBLIOGRAPHIE

- Ben Charrada, R. (1992). Le lac de Tunis après les aménagements. Paramètres physico-chimiques de l'eau et relation avec la croissance des macroalgues. *Marine life*. 1(1) : 29-44.
- Ben Rejeb, A. (1986). Contribution à l'étude du lac Ichkeul : Conditions de milieu et activité photosynthétique du phytoplancton. DEA, Univ. Tunis : 152 p.
- Ben Rejeb-Jenhani, A. (1989). Le lac Ichkeul : Conditions du milieu, peuplements et biomasses phytoplanctoniques. Thèse 3ème Cycle. Univ. Tunis : 221 p.
- Ben Rejeb-Jenhani, A. (1992). Evaluation des éléments nutritifs dans les eaux du lac Ichkeul durant la période 1985-1988. *Bull. Soc. Nat. Tunisie*. 20(21) : 30-35.
- Ben Rejeb, A. et Kartas, F. (1988). Effets des perturbations hydrologiques et climatiques sur la production halieutique du lac Ichkeul (Tunisie). *Rapp. Comm. int. Mer. Médit.* 31 : 2.
- Ben Rejeb-Jenhani, A.; Kartas, F.; Lemoalle, J. et Amblard, C. (1991). Phytoplancton du lac Ichkeul (Tunisie) : Composition, structure et activité photosynthétique. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 75 (6) : 111-127.
- Bendschneider, K. et Robinson, R.J. (1952). A new spectrophotometric method for determination of nitrite in seawater. *J. mar. Res.* 11 (1) : 87-96.
- Chaouachi, B. (1995). Contribution à l'étude de l'écosystème Ichkeul : conditions du milieu et peuplements ichtyiques. DEA, Univ. Tunis : 282 p.
- Chaouachi, B.; Lemoalle, J. et Ben Hassine, O.K. (1995). Evolution saisonnière de la température et de la salinité dans l'oued Tinja (écosystème Ichkeul). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologie de la Mer (INSTM)*. n. sp. 2 : 113-116.
- Dridi, M.S. (1977). Recherche écologique sur les milieux lagunaires du nord de la Tunisie. Thèse 3ème cycle, Univ. Tunis : 88 p.
- Ennabli, M. et Kallel, M.R. (1990). Caractérisation hydrologique et hydrogéologique du bassin du lac Ichkeul. Agence Nationale de Protection de l'Environnement, Tunis : 1-94.
- Golterman, H.L. (1969). *Methods for Chemical Analysis of Freshwaters*. IPB Handbook n° 8 Blackwell Sci. Publ., Oxford : 166 p.
- Herbland, A. et Le Loeuff, P. (1993). Les secteurs nutritifs au large de la côte d'Ivoire. In : Le Loeuff, P., Marchal, E. et Amonkothias, J.B. (ed.). *Environnement et ressources aquatiques de Côte-d'Ivoire*. Paris, ORSTOM. 1 : 123-148.
- Lemoalle, J. (1983^a). L'oued Tinja : Observation en 1981-1982. *Rap. Doc. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*. 1 : 3-12.
- Lemoalle, J. (1983^b). Le lac Ichkeul. *Eléments de l'hydroclimat en 1981-1982*. *Rap. Doc. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*. 1 : 13-33.
- Murphy, J. et Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem.* 34 : 31-36.
- Romdhane, M.S. (1985). Lagune de Ghar El Melh : Milieu, peuplement, exploitation. Thèse 3ème Cycle, Univ. Tunis : 245 p.
- Shili, A. (1995). Contribution à l'étude des peuplements à *Ruppia* (Monocotylédone, Potamogetonaceae) dans le lac nord de Tunis. DEA, Univ. Tunis : 128 p.
- Strickland, J.D.H. et Parsons, T.R. (1965). *A manual of sea water analysis*. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada (sec. ed.)*, 125 : 203 p.