

Variations spatio-temporelles des nitrites, des nitrates, des phosphates inorganiques et du rapport N/P dans le lac de Tunis

Moheiddine BELKHIR* et Mohamed HADJ ALI SALEM*

تلخيص

Nitrites و Nitrites تحتوي هذه الدراسة على نتائج مراقبة مركبات النتروجان و Nitrates و الفسفور المعدني Phosphates و القاسم بين كميات مادتي النتروجان والفسفور المتواجدة في بحيرة تونس لمدة أربعة عشر شهرا وعلى مستوى محطات موزعة في كامل البحيرة يبلغ عددها 28 محطة .

وترجع التغيرات التي تمت ملاحظتها الى عدة عوامل اهمها العوامل المناخية كالامطار والرياح والعوامل البيولوجية ومنها العلق وتجمعات *Ficopomatus*

RESUME

Les nitrites, les nitrates, les phosphates inorganiques ainsi que le rapport N/P (exprimé en terme d'atomes de nitrates et de phosphates), sont contrôlés mensuellement, sur un cycle de 14 mois, au niveau de 28 stations réparties dans le lac nord de Tunis, lac peu profond et hypereutrophe.

Les fluctuations importantes observées dans l'espace et au cours du temps sont dues à l'action combinée des facteurs bioclimatiques dont les plus importants sont d'une part les récifs à *Ficopomatus* et les algues et d'autre part les pluies et les vents.

ABSTRACT

Inorganic nitrites, nitrates, phosphates and N/P Ratio calculated in term of nitrate and phosphate atoms are monthly controled over a cycle of 14 months at 28 stations within the Shallowed and hypereutrophic north lake of Tunis.

Reefs of *Ficopomatus*, algae, rainfull and Winds are the most important bio-climatical factors which controle the nutrient fluctuations over space and time.

(*) Institut national scientifique et technique d'océanographie et de pêche, 2025 Salammbô, Tunisia.

INTRODUCTION

Le lac de Tunis, lagune saline peu profonde (0,5 à 2m), peut être considéré comme l'un des plus anciens plans d'eau à être constamment atteint par les rejets d'eaux usées en provenance du grand Tunis (ville de Tunis et localités avoisinantes), rejets qu'on peut estimer à 50 - 60.000 m³ par jour.

Anciennement constitué par une baie dont les eaux marines communiquent avec celles du golfe de Tunis (Harbridge, 1974), le lac de Tunis fut divisé par une chaussée à la fin du 19^{ème} siècle (Pimenta, 1959) en deux parties (bassin nord et bassin sud, fig. 1) dont celle appelée lac nord (30 km² environ de superficie) reçoit la plus grande partie des eaux d'égouts ainsi que les rejets de la centrale thermique.

Le lac nord communique avec la mer par le canal de Khereddine et avec le chenal de navigation qui loge la chaussée séparant les deux parties du lac, par trois petits canaux transversaux passant sous la chaussée même.

Les eaux usées du grand Tunis, traitées à raison de 40% seulement (station d'épuration de Cherguia qui est en cours d'extension) déversées dans le lac nord y introduisent une charge de matériel nutritif et de matières organiques telle qu'il en résulte un système à haute et active productivité (Crouzet, 1971 et Baier et al., 1977), particulièrement pendant les mois tempérés où une croissance excessive d'algues (Belkhir, 1979) et des récifs de vers tubifères (*Ficopomatus enigmaticus*) (Vuillemin, 1965) se développent parmi la dense population de Mollusques (Zaouali, 1971), de Crustacés (Heldt, 1929) et de Poissons dont quatre espèces sont commercialement importantes.

Quant à la richesse halieutique, les quantités pêchées varient entre 500 et 700 tonnes/an durant la dernière décade et des efforts sont entrepris en vue d'augmenter cette production.

Durant les mois chauds de l'année une série d'évènements écologiques se conjuguent et aboutissent à un état d'eutrophisation tel qu'il s'ensuit la mort massive de la presque totalité des organismes (Stirn, 1971). Parmi les facteurs favorisant cette situation, on note la réduction de la circulation des eaux par la croissance excessive des Ulves et de *Ficopomatus*, l'élévation de la température et de la salinité (forte insolation) et la diminution des vents qui favorisent normalement le brassage et le rafraîchissement des eaux. Ces facteurs se conjuguent pendant la période critique et conduisent le lac à une situation d'eaux anoxiques favorables à l'épanouissement des bactéries chromo-sulfurées (Cabasso et Roussel, 1942). Ce qui contribue à la formation d'hydrogène sulfuré dont le dégagement est à l'origine

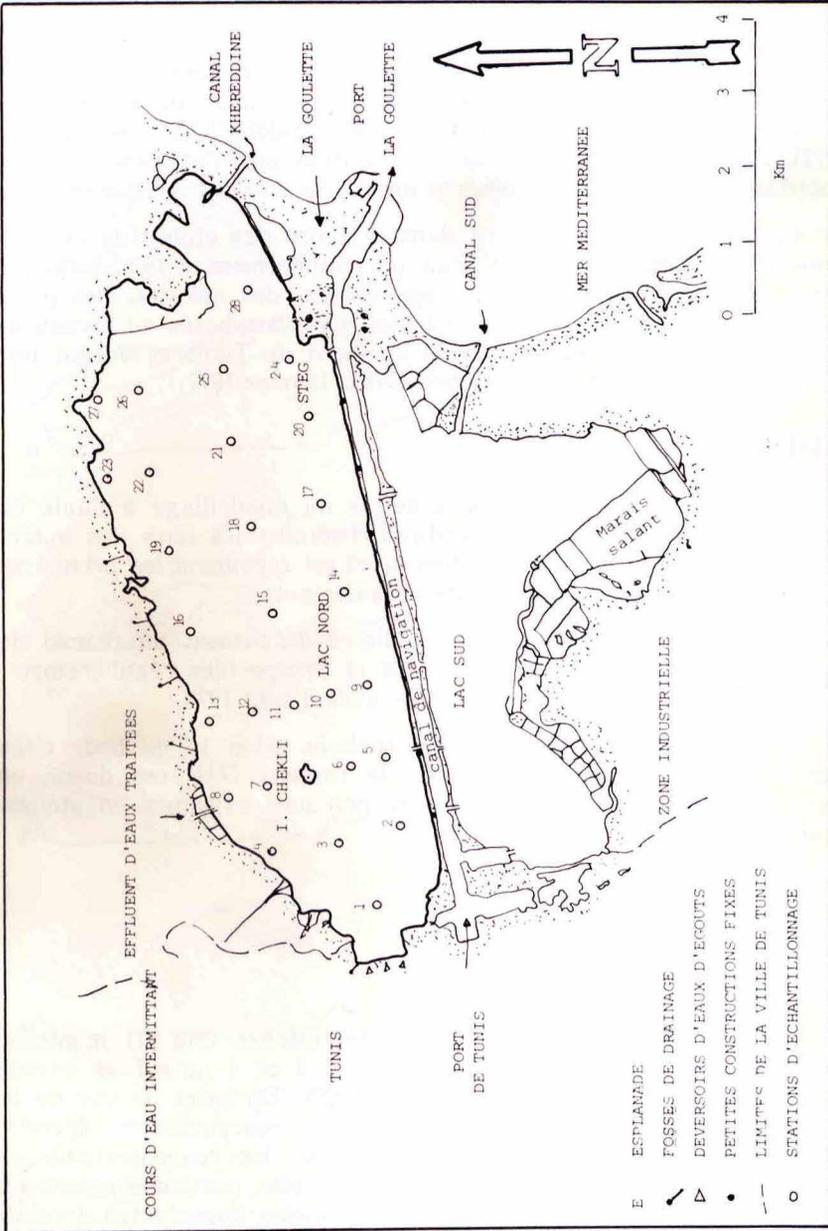


Fig. 1 : Lac de Tunis. Stations d'échantillonnage dans le lac nord.

des odeurs nauséabondes estivales et de la mortalité totale des macroorganismes (Stirn, 1965). Ce n'est qu'à la fin de l'été et à l'arrivée de l'automne que la situation commence à se rétablir graduellement.

Eu égard à l'importance de ce lac aussi bien pour la pêche que pour sa situation privilégiée dans le Grand Tunis, de nombreuses études y ont été effectuées (I.C.N., 1962; BONIFICA, 1969; Bjork, 1972) visant principalement sa restauration par l'atténuation et si possible l'élimination des causes et des effets de l'eutrophisation.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre des études de ce phénomène d'eutrophisation et a trait particulièrement à la dynamique dans l'espace et dans le temps des nitrites, des nitrates, des phosphates minéraux et du rapport nitrates sur phosphates au niveau de 28 stations couvrant la totalité du lac nord de Tunis et durant une période de quatorze mois, d'octobre 1975 à janvier 1977.

Méthodes

Les stations ont été fixées grâce à un quadrillage à l'aide de radiales dont 8 de direction nord-sud distantes les unes des autres de 1.000 m environ et 6 de direction ouest-est recoupant les premières (fig. 1) situées à 500 m environ les unes des autres.

Les points d'intersection des radiales définissent un réseau de stations dont 28 ont été sélectionnées et prospectées régulièrement, à une fréquence mensuelle, excepté le mois d'août 1976.

Les dosages chimiques ont été réalisés selon la méthode citée par Strickland et Parsons (1965); le rapport N/P est donné en termes de nitrates et phosphates inorganiques exprimés en atomes grammes par litre (atg/l).

Résultats et discussion

Les nitrites

Les variations spatio-temporelles des nitrites (fig. 2) montrent que leurs valeurs oscillent souvent entre 0 et 4 $\mu\text{atg/l}$ et exceptionnellement entre 6 et 25 $\mu\text{atg/l}$ de N-NO_2 . Du point de vue de la répartition géographique, on remarque des concentrations décroissantes selon un gradient nord-ouest sud-est, les concentrations les plus fortes se trouvant du côté de l'Esplanade, particulièrement au niveau de l'effluent de la Cherguia et les moins importantes dans le secteur est qui communique avec la mer par le canal de Khereddine. De ce fait deux zones de concentration différentes peuvent être distinguées.

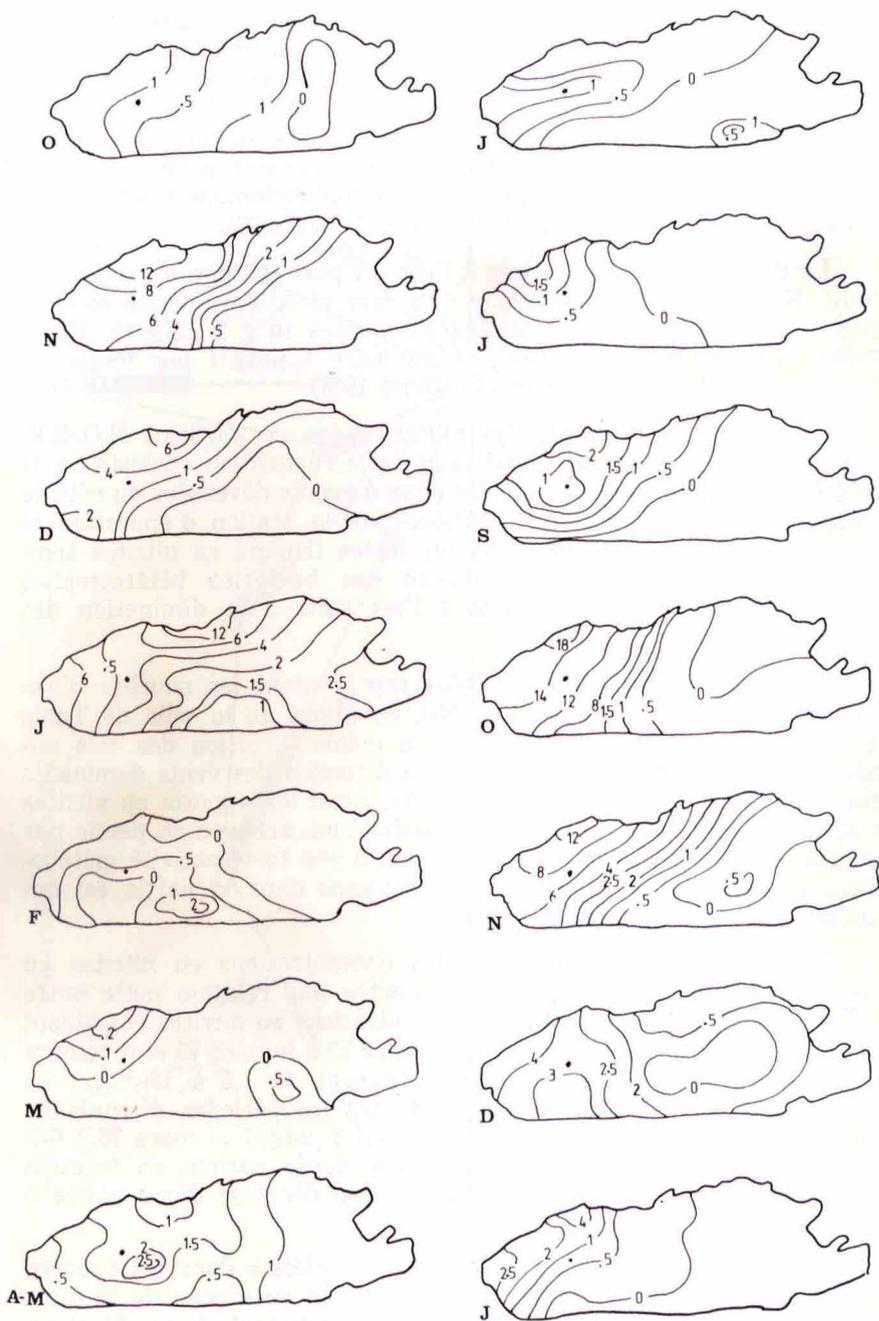


Fig. 2 : Variations spatio-temporelles des nitrites dans les eaux du lac nord de Tunis (octobre 1975 - janvier 1977).

La première très riche en nitrites, et située à l'ouest, allant de l'Esplanade jusqu'à l'île Chekli, elle est plus étendue au nord qu'au sud. On y relève des concentrations de 12 à 18 $\mu\text{atg}/1$ de N-NO_2 (novembre 75, janvier 76, novembre 76 et octobre 76) au niveau de l'embouchure des eaux d'égouts débouchant du centre de traitement. Ces concentrations diminuent énormément pendant les périodes de forte insolation et de bloom phytoplanctonique tombant jusqu'à 0 à $\mu\text{atg}/1$ (juillet 76) et 0 à 0,2 $\mu\text{atg}/1$ (mars 76).

La deuxième zone, localisée à l'est est plus étendue au sud qu'au nord. Elle s'étale de l'île Chekly à la mer et se caractérise souvent par de très faibles concentrations en nitrites (0 à 2 $\mu\text{atg}/1$). Néanmoins ces concentrations peuvent atteindre 2 $\mu\text{atg}/1$ par temps de pluie ou de nébulosité (janvier et octobre 1976).

La distribution spatiale des nitrites selon ce gardient N.O.-S.E. montre que le facteur principal pour cette répartition consiste en la matière organique apportée par les eaux d'égouts déversées du côté de l'Esplanade ou par les eaux traitées par la station d'épuration et rejetées au niveau de Cherguia; les fortes teneurs en nitrites semblent provenir de l'action nitrifiante des bactéries hétérotrophes ($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_2$), action qui diminue à l'est suite à la diminution des matières organiques azotées.

La forme générale des auréoles représentant les courbes d'iso-concentration décroissantes de N-NO_2 en allant de la ville de Tunis à la mer illustre la diffusion selon la même direction des sels minéraux qui coïncide elle même avec la direction des vents dominants soufflant du secteur nord-ouest (fig. 3). Ainsi les apports en nitrites s'atténuent au centre du lac où la nitrification, achevée en partie par un état de sursaturation en oxygène due à une forte activité métabolique phytale (Baier et al., 1977), s'estompe dans la partie est qui est souvent agitée et plus profonde.

Par ailleurs la comparaison des concentrations en nitrites au cours du temps avec la pluviosité montre une relation nette entre ces deux aspects, les plus fortes concentrations en nitrites coïncidant avec les périodes pluvieuses (de novembre 75 à janvier 76 et d'octobre à novembre 76) (fig. 4.). Ces valeurs vont de 1,5 à 12 $\mu\text{atg}/1$ en période pluvieuse à 0 à 0,5 $\mu\text{atg}/1$ durant les périodes d'ensoleillement et de bloom phytal (juillet 76 : 0 à 1,5 $\mu\text{atg}/1$ et mars 76 : 0 à 0,2 $\mu\text{atg}/1$); ces périodes ainsi que leur durée varient en fonction des facteurs bioclimatiques et peuvent être décalées d'une année à une autre.

On constate également certaines « anomalies » dans les courbes de répartition pouvant trouver une explication au niveau de la topographie du lac et de son fonctionnement hydrobiologique. Ainsi on note (février 76) sur la rive sud du lac une tendance décroissante des nitrites opposée au gradient N.O.-S.E. constaté qui pourra être due

Nombre total d'observations : 2925

Echelle : 1 mm = 5 %

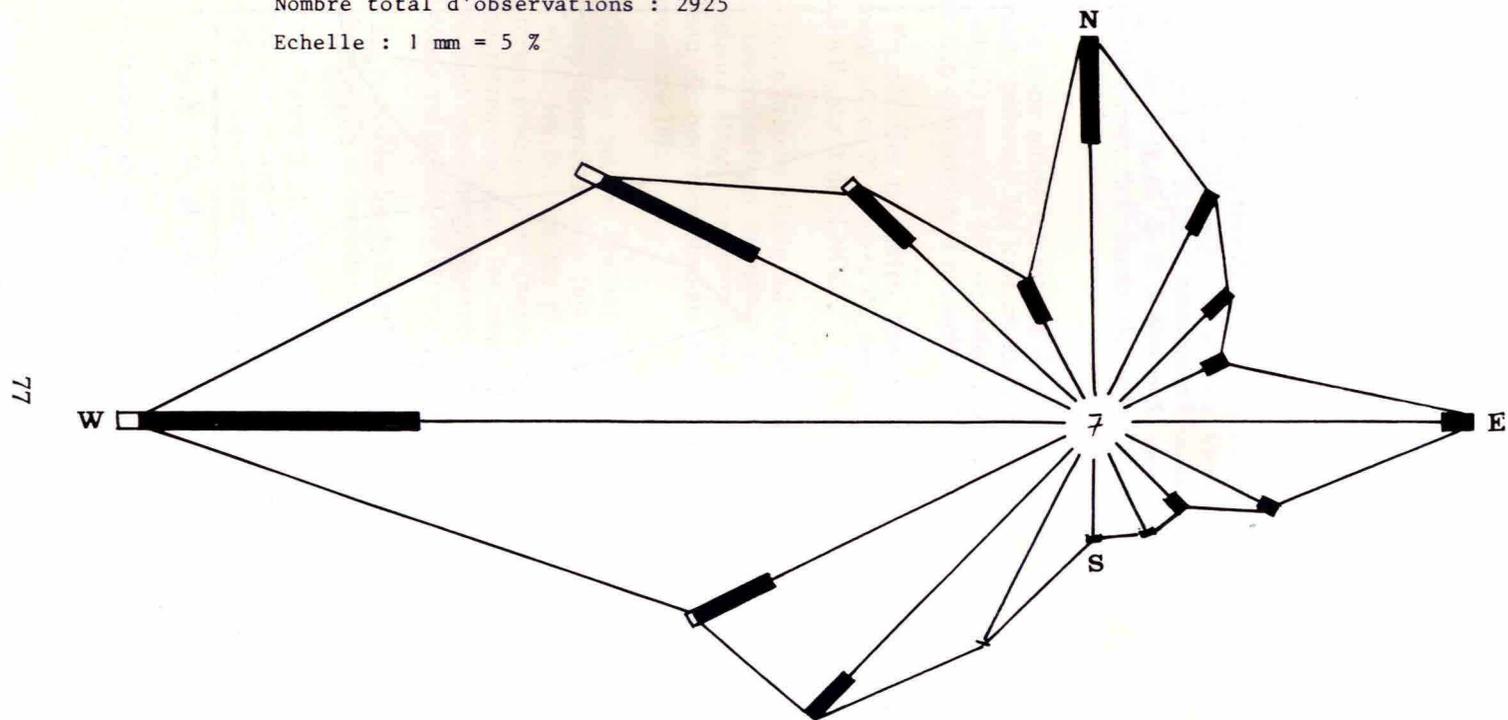


Fig. 3 : Rose des vents annuelle au sol d'El Aouina (novembre 1975 - octobre 1976).

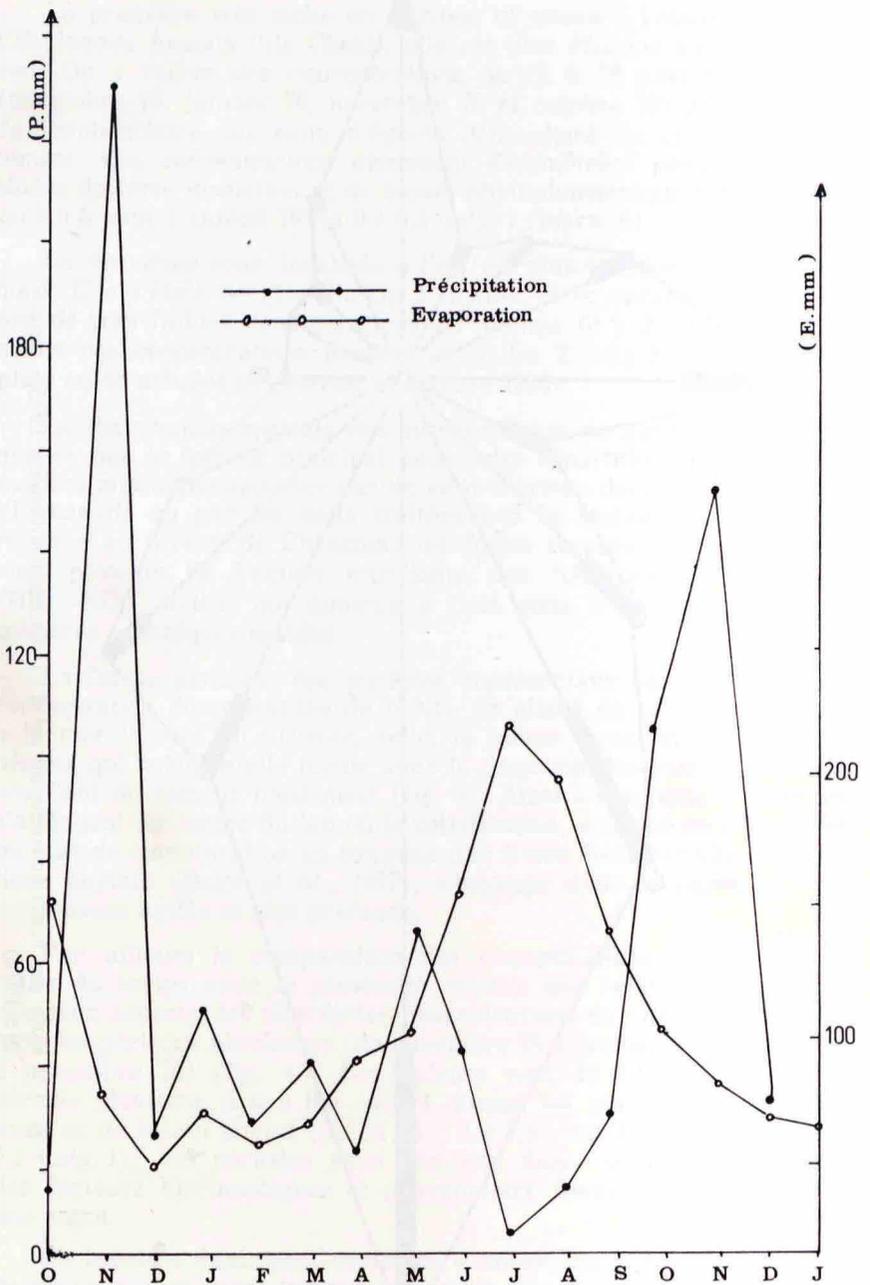


Fig. 4 : Précipitations et évaporations dans la région de Tunis-Carthage (octobre 1975 - janvier 1977).

aux eaux pauvres en nitrites provenant du canal de navigation, diffusant vers l'ouest en contournant l'île Chekli et se mélangeant au nord aux eaux du lac, après dilution.

Les nitrates

Les nitrates présentent une amplitude de variation très élevée allant de 0 à 38 $\mu\text{atg}/1$ avec des moyennes annuelles de 1,32 à 11,30 $\mu\text{atg}/1$ de N-NO_3 . Les variations suivent un gradient bidirectionnel de N.-O. à E.-S.-E. et du nord vers le sud, démarrant respectivement des points de rejet des eaux communales et des eaux pluviales.

La zone située au niveau des effluents de Cherguia et de l'Esplanade présente les valeurs de nitrates les plus élevées (de 10 à 30 $\mu\text{atg}/1$) pendant les périodes pluvieuses (de novembre 75 à janvier 1976 et d'octobre à novembre 1976).

En périodes de fortes insulations et de bloom phytal (respectivement juillet 76 et mars 76) ces concentrations diminuent et tombent à 1,5 à 6 $\mu\text{atg}/1$ de N-NO_3 .

Dans la zone située à l'est de l'île Chekli, les nitrates présentent des concentrations beaucoup plus faibles (de 0,5 à 4 $\mu\text{atg}/1$), la déficience étant, contrairement aux nitrites, rare et localisée au niveau de quelques stations telles que les stations n° 15, 18 et 21 (novembre 76).

Pour ce qui est des variations avec le temps, les variations des nitrates dépendent à la fois des facteurs climatiques et biologiques. En effet, les teneurs les plus élevées coïncident avec les périodes de fortes précipitations (novembre à janvier et octobre à novembre) et se retrouvent dans les zones de déversement des eaux pluviales. Elles sont également observées dans les zones de bloom durant les périodes qui précèdent ou succèdent ces blooms (mars et juillet).

En revanche les faibles teneurs sont notées pendant les périodes sèches de juin et de celles des blooms de mars et juillet.

La figure 5 illustre cette représentation spatio-temporelle où les fortes teneurs apparaissent au nord et à l'ouest, alors que les valeurs les moins importantes se situent plutôt au sud et à l'est.

Cette décroissance graduelle selon une direction N.O. - S.E. coïncide avec la direction des vents dominants soufflant du secteur N.-O. et mettant en jeu le phénomène de solubilisation graduelle selon cette même orientation.

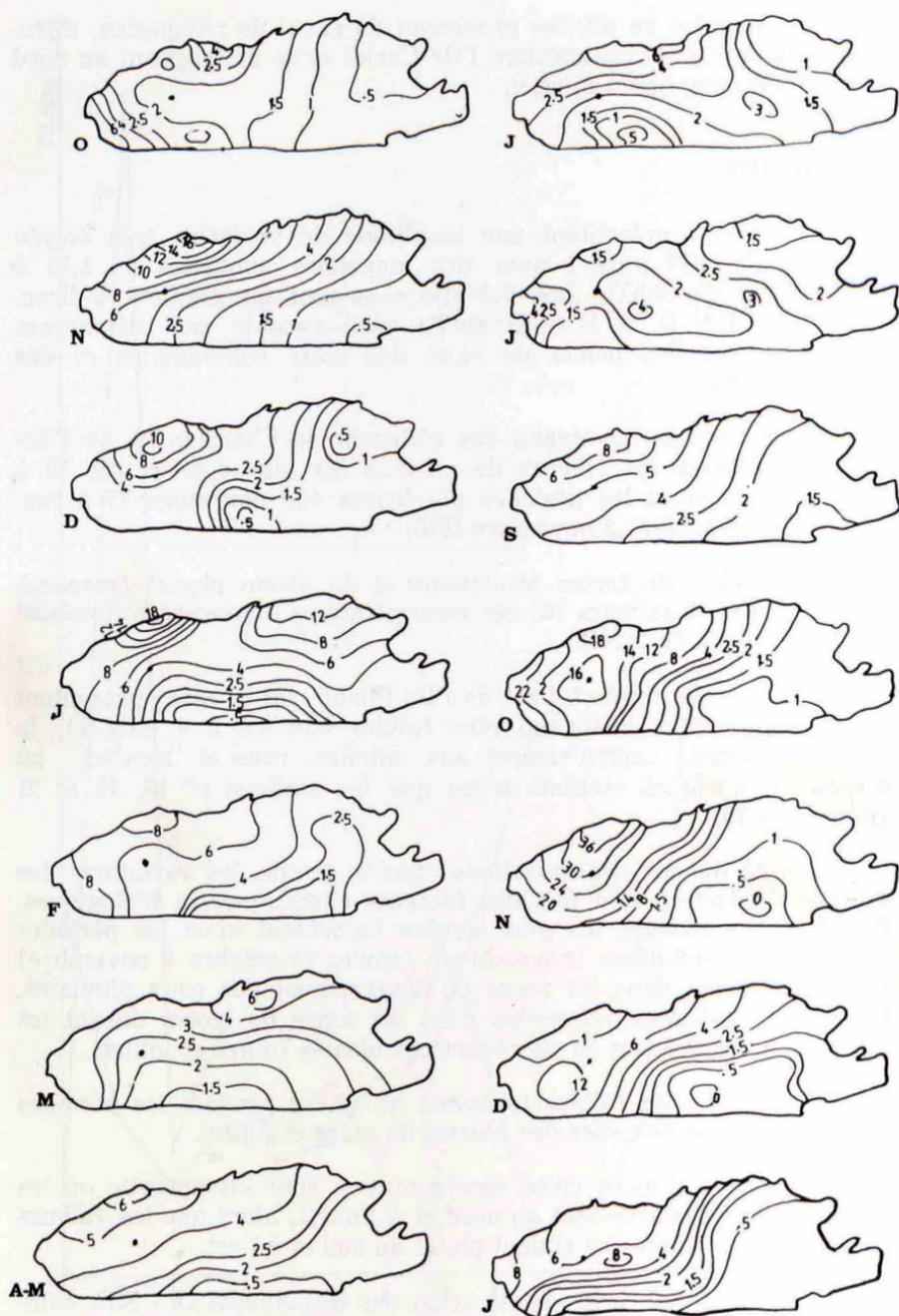


Fig. 5 : Variation spatio-temporelles des nitrates dans les eaux du lac nord de Tunis (octobre 1975 - janvier 1977).

On peut penser en effet que le brassage entre les deux masses d'eaux (pluviales et lagunaires) s'effectuant tardivement, les processus de solubilisation et de minéralisation dépendent des facteurs climatiques tels que la luminosité, la température et surtout les vents ainsi que de l'activité photosynthétique qui permet la libération graduelle et la minéralisation de la matière organique au niveau de l'interface eau-sédiment (Cahet et Mouneimne, 1976).

A la lumière de cette constatation, on peut noter que, d'une manière générale, ni les blooms phytoplanctoniques de mars et juillet 76, ni la prolifération macroalgale de septembre et novembre 76 ne semblent atténuer les teneurs en nitrates qui restent élevées (1,5 à 20 μ atg/l).

Par ailleurs, on constate qu'au cours du temps et d'un mois à l'autre, les fluctuations sont rapides, tout point du lac pouvant constituer, de par sa richesse en sels minéraux, un milieu favorable à la croissance algale avec un cycle de régénération rapide.

Il est difficile par conséquent de séparer les rôles respectifs joués par les facteurs climatiques (lumière, température et vents) et les facteurs biologiques (métabolisme) dans la minéralisation de la matière organique se trouvant aussi bien en suspension qu'au niveau du sédiment de fond.

Cette minéralisation porte sur les apports exogènes et endogènes riches en substances organiques et apportant continuellement les trois formes de l'azote dont l'ammoniacale est la forme préférée pour les algues (Strickland, 1969; Mac Carthy et Eppley, 1972). L'assimilation de l'azote, très réduite dans la zone turbide de l'esplanade, devient de plus en plus importante au fur et à mesure qu'on s'approche de la mer, ce qui justifie la disposition en auréoles de concentrations décroissantes partant du point de rejet des eaux usées vers l'est.

Les phosphates

Les concentrations en phosphate minéral varient de 0 à 25,5 μ atg/l, avec une amplitude, à l'échelle du lac, de 5 à 24,9 μ atg/l, la moyenne générale étant de 1 à 8,8 μ atg/l.

Les moyennes annuelles varient de 0,17 à 8,83 μ atg/l; elles sont plus faibles et moins irrégulières que celles des nitrates, mais montrent une évolution concomitante (fig. 6).

Du point de vue de la répartition spatiale les plus fortes concentrations se trouvent dans les parties ouest et nord alors que les teneurs les plus faibles sont plutôt à l'est et au sud du lac, exception faite d'une station située au sud du lac où une forte concentration a

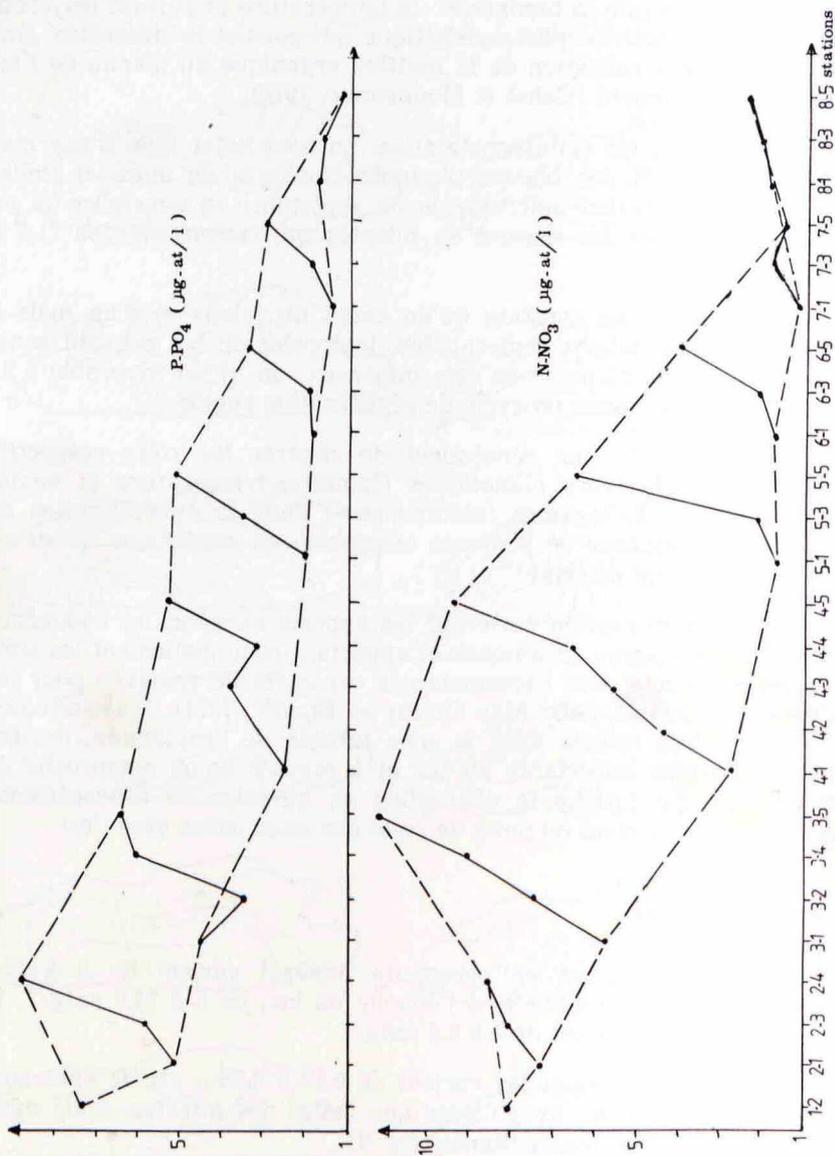


Fig. 6 : Variations d'une station à une autre, des moyennes annuelles des nitrates (N - NO₃) et des phosphates (P - PO₄) dans les eaux du lac nord de Tunis.

été mesurée au mois de décembre 1976. Cette exception peut s'expliquer par l'apport en sels minéraux, particulièrement les phosphates, dû à la décomposition des ulves transportées par les courants induits par les vents dominants soufflant du nord-ouest.

A la lumière des configurations spatio-temporelles illustrées par la figure 7, on peut constater deux zones de concentrations différentes,

La première de ces zones se situe à l'ouest et montre des concentrations en phosphates supérieures à $6 \mu\text{atg/l}$, exceptées les périodes de vents forts de janvier et de bloom phytal de mars.

La seconde est localisée à l'est et présente des teneurs supérieures à $4 \mu\text{atg/l}$ avec des points où les phosphates sont presque absents (fig. 7). Cette déficience peut, cependant, disparaître pendant les périodes de fortes pluies, périodes durant lesquelles des valeurs de 6 à $14 \mu\text{atg/l}$ ont été observées (décembre 76).

Par ailleurs, une situation de fortes concentrations en phosphates a été constatée en tout point du lac durant la période de mars à juin et ce malgré la prolifération du phytoplancton au mois de mars (de 6 à $4 \mu\text{atg/L}$ près de la ville de Tunis à $2,5$ à $2 \mu\text{atg/l}$ à proximité de la mer).

D'avril à mai, on note des valeurs plus élevées, les variations oscillant entre 16 et 6 à l'ouest et 4 à $0,5$ à l'est. Au mois de juin les amplitudes sont plus importantes allant de 25 à $6 \mu\text{atg/l}$ à l'ouest et de 4 à $0,5 \mu\text{atg/l}$ à l'est.

Il a été également noté un enrichissement global des eaux du lac en phosphates pendant les périodes de pluie. Ainsi, le mois de décembre cumule des teneurs élevées de $16 \mu\text{atg/l P-PO}_4$ à l'Esplanade; ces teneurs atteignent $8 \mu\text{atg/l P-PO}_4$ à proximité de Checkli puis augmentent à $12 \mu\text{atg/l}$ dans toute la partie centrale; ensuite elles diminuent pour atteindre $6 \mu\text{atg/l P-PO}_4$ vers l'est près de la mer. Toutefois, malgré les très fortes pluies de novembre et d'octobre (fig. 4) un appauvrissement, parfois même une absence totale, en phosphates a été notée dans la partie centrale. On pense que cet effet est plutôt masqué par le phénomène d'assimilation rapide des phosphates par les microalgues, l'hiver et par les macroalgues, l'été, qui d'après Baier et al. (1977), sont un indice de consommation importante et rapide.

Nitrates/Phosphates

Le rapport N/P, exprimé en nombre d'atomes de nitrates et de phosphates et demeurant faible, présente des variations dans l'espace et dans le temps. Les fluctuations, liées à la double évolution des phosphates et des nitrates, oscillent entre zéro et l'infini; les moyennes

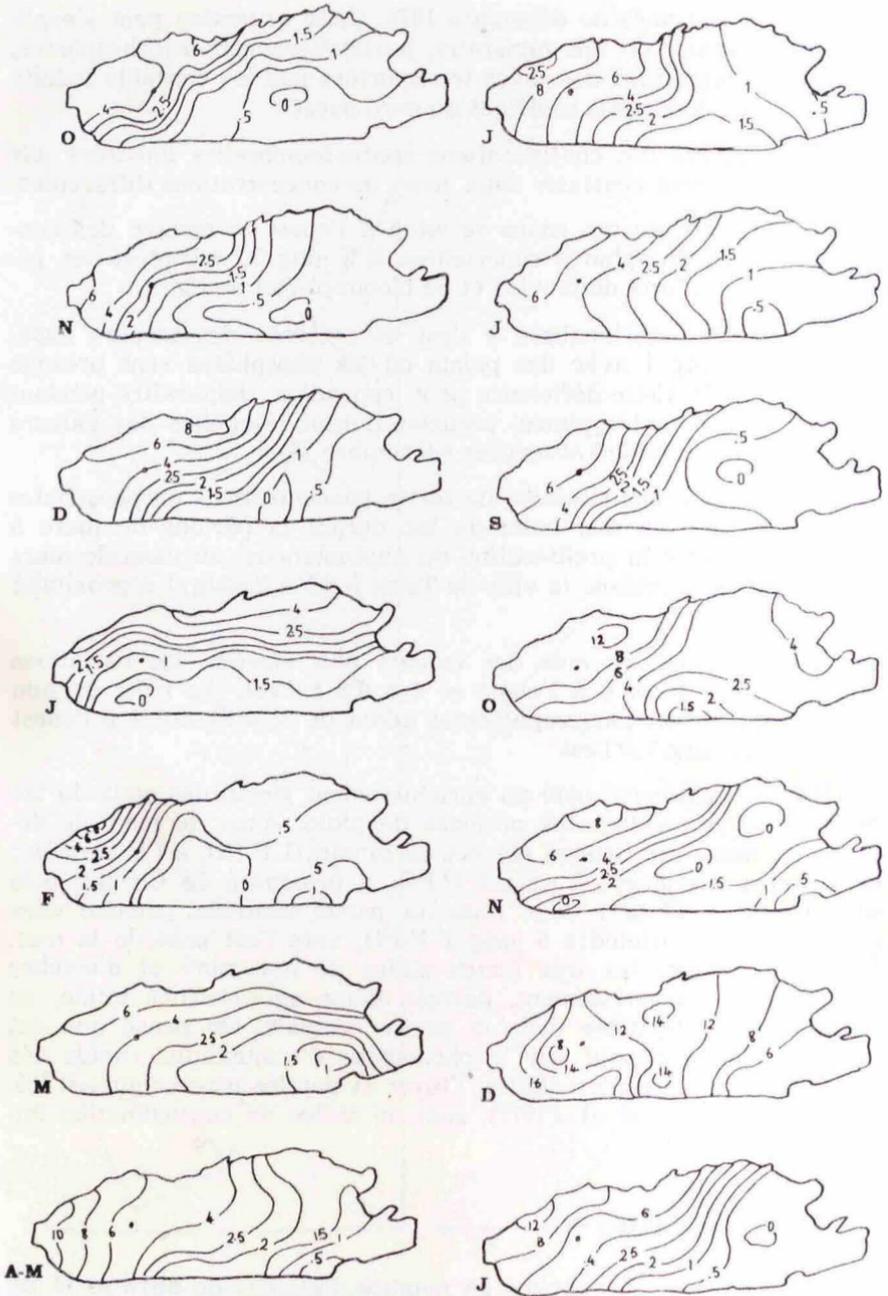


Fig. 7 : Variations spatio-temporelles des phosphates inorganiques dans les eaux du lac nord de Tunis (octobre 1975 - janvier 1977).

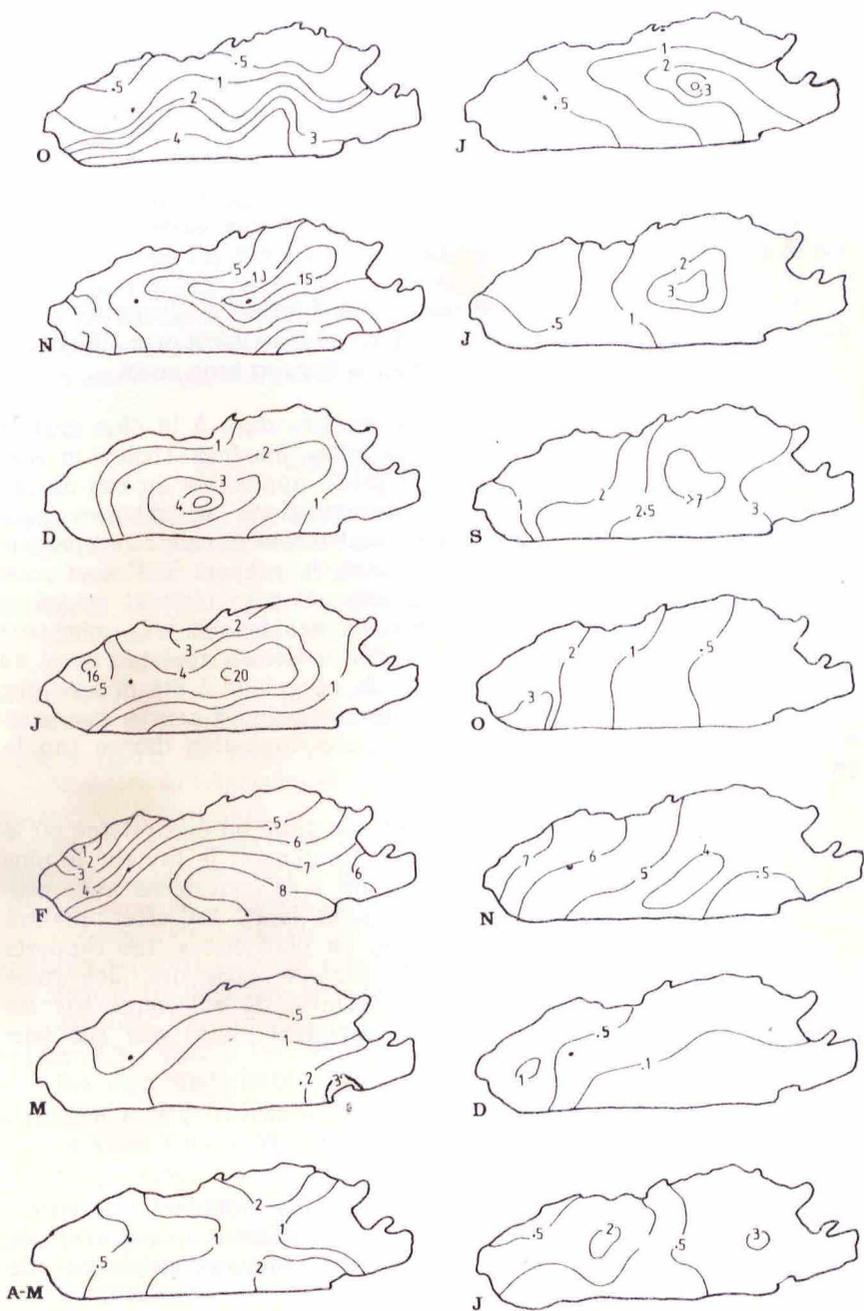


Fig. 8 : Variations spatio-temporelles du rapport N/P en terme des nitrates et phosphates dans les eaux du lac nord de Tunis (octobre 1975 - janvier 1977).

annuelles varient généralement de 1,4 à 6,4. Cependant, contrairement aux nitrates et phosphates, l'évolution du rapport N/P selon un gradient O.-E. est inversée avec les plus fortes valeurs variant de 5 à 21 à proximité de la mer et les plus faibles, 0,2 à 4 à l'ouest dans la zone réceptrice des eaux usées.

Par ailleurs, cette description peut, par temps de pluie, être inversée. Ainsi, en janvier et novembre, des fortes valeurs allant de 4 à 16 sont notées à l'ouest et les faibles, de 0,5 à 5, à l'est.

Certains rapports tendent soit vers l'infini et traduisent une déficience en phosphates, soit vers zéro et traduisent une déficience en nitrates, dans la zone est, mais jamais dans la zone ouest.

Les faibles valeurs de N/P semblent être dues à la plus grande lenteur du cycle des nitrates sur les côtes marines (Riley in Stefanssen, 1968). Cette hypothèse est a priori applicable au cas du lac de Tunis qui montre souvent des concentrations en nitrates plus élevées qu'en phosphates. Seulement étant donné la faible profondeur de la lagune, les fluctuations importantes du rapport N/P sont sous la dépendance des facteurs bio-climatiques et caractérisent les zones côtières aux processus de régénérations rapides en sels minéraux (Rigler, 1956 et Eppley, 1972). Cette observation s'applique aussi au lac de Tunis dans lequel une rapidité de recyclage a été décrite par Keen (1978); cet auteur a noté sur un cycle de 24 heures une augmentation nocturne importante suivie d'une diminution diurne rapide en sels minéraux.

Au cours du temps, le lac de Tunis constitue un écosystème où le phosphore souvent en déficience, est généralement le facteur le plus limitant. Cette observation doit cependant être considérée avec prudence quand on raisonne sur les rapports N/P. En effet, malgré de fortes concentrations en nitrates et en phosphates, les rapports N/P sont faibles, aussi paraît-il plus logique, pour des lacs aussi eutrophes, peu profonds, et presque fermés, de raisonner sur les concentrations des nitrates et des phosphates plutôt que sur leur rapport N/P.

CONCLUSION

Les nitrites, les nitrates et les phosphates indiquent une eutrophisation avancée dans le lac de Tunis qui constitue un réservoir de matières nutritionnelles pour les différents niveaux trophiques de la chaîne alimentaire. Cette autosuffisance en ces sels est tirée soit directement des eaux des égouts, des ruisseaux et de l'exutoire de Cherguia, soit indirectement des processus de dégradation de la biocénose.

Les sels nutritifs évoluent dans l'espace et au cours du temps selon un gradient bidirectionnel N.-O.-S.-E. et N.-S. à partir des points récepteurs d'eaux usées et pluviales.

Les plus fortes teneurs se trouvent généralement dans le secteur délimité par l'Esplanade, la Cherguia et l'île Checkli; les plus faibles sont notées dans le secteur est, délimité par Checkli et la mer, et coïncident avec une dilution progressive et une activité biologique plus élevée.

Quant au rapport N/P qui est en rapport avec l'arrivée d'eaux chargées en matières organiques, il est régi par les facteurs bioclimatiques lesquels, selon les périodes, favorisent ou défavorisent la minéralisation des sédiments et de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- BAIER R., BELKHIR M., JOHNSON R., KEENE W., & PILKEY O. (1977). — Recherche sur l'eutrophisation du lac de Tunis. Géologie, biologie, chimie et hydrologie, 2 : 1-65, I.N.S.T.O.P./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.
- BONIFICA (1969). — Assainissement des lacs de Tunis. (Rapport au Ministère de l'Agriculture, Tunisie).
- 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 *Arch. Inst. Pasteur Tunis*, 31 (3-4) : 203-212.
- CAHET G. et MOUNEIMNE N. (1976). — Production carbonée microbenthique en sédiments margino-littoraux (golfe du Lion). *Ann. Inst. océanogr., Paris*, 52 (2) : 189-203.
- CROUZET P. (1971). — Mesure de la production primaire phytoplanktonique dans le lac de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbô*, 2 (2) : 217-228.
- EPPLEY R.W. (1972). — Temperature and phytoplankton growth in the Sea. *Fish. Bull.*, 70 (4) : 1063-1087.
- HARBRIDGE W.F. (1974). — Hydrography and sedimentation in the lake of Tunis Tunisia. M.S. Thesis, Duke University, Durham. N.C. 92 p.
- HELDT H. (1929). — Le lac de Tunis. Résultat de pêches au filet fin. *Bull. Inst. Océanogr. Salammbô*, 11; 1-74.
- I.C.N. (1962). — Lac Sedjoumi et lac de Tunis aménagement et assainissement, rapport préliminaire n° 1. (Rapport au Ministère de l'Agriculture, Tunisie).
- KEEN W.C. (1978). — Oxygen and nutrient dynamics in lac of Tunis, a hypereutrophic subtropical lagoon. Thesis, for the degree of master of science, 248 p.

- Mc CARTHY J.J. and EPPLEY R.W. (1972). — A comparison of chemical isotopic and enzymatic method for measuring nitrogen assimilation of marina phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 17 : 371-382.
- PIMIENTA J. (1959). — Le cycle pliocène-actuel dans les bassins paraliques de Tunis *Mém. Soc. géol. Fr.*, 38 (1) : 1-176. —
- RIGLER F.H. (1956). — A tracer study of the phosphorus cycle in lake water. *Ecology*, 37 : 550-562.
- STEFANSSON U. (1965). — Nitrate-phosphate relation Ships in the Irminger Sea. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, 32 (2) : 188-220.
- STIRN J. (1968). — The pollution of the Tunis lake. *Rev. intern. Océanogr. méd.*, 9 : 99-105.
- STIRN J. (1971). — Ecological consequences of marine pollution. *Rev. intern. Oceanogr. méd.*, 24 : 13-46.
- STRICKLAND J.D.H. & PARSONS T.R. (1965). — A manual of sea water analysis. 2d ed. *Bull. Fish. Res. Canada*, 126 : 1-203.
- STRICKLAND J.D.H. (1958). — Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement with particular reference to photosynthetic productivity. *J. Fish. Res. Bd Canada* (15) : 453-493.
- VUILLEMIN S. (1965). — Contribution à l'étude écologique du lac de Tunis. Biologie de *Mercierella enigmatica* Fauvel. Paris : Sedès. 556 p.
- ZAOUALI J. (1971). — Etude de l'écologie du lac de Tunis et de la mer Bougrara, Tunisie, Thèse sci. nat. Université de Caen, France.