

NUTRIENT PATHWAYS IN THE BURANO LAGOON

G.D. ARDIZZONE¹, M. GIARDINI² et G. TRIPALDI¹

¹Istituto di Zoologia , ²Istituto di Igiene ; Università di Roma

Resumé - Le teneur en sels nutritifs et la variation des paramètres physico-chimiques on été étudié pendant une année dans la Lagune de Burano (Tuscanie). Il s'agit d'un système lacustre dont l'instabilité est due au mauvais rechange d'eaux qui doit être contrôlé artificiellement.

The Burano lagoon is situated a few kilometres south of the Orbetello lagoon. It is a brackish water coastal lagoon with an area of 140 ha and a mean depth of about 80 cm .

In the past was characterized by a reduced salinity (Cognetti *et al.* , 1978) in part due to the two freshwater tributaries located at the extremities of the lagoon and in part to the limited water exchange with the open sea. The mouth of the lagoon tends naturally to fill with sand and requires periodic dredging.

Recent disturbances to the lake include the ever increasing inputs of anthropogenic nutrients and the policy of maintaining the mouth of the lagoon closed, for as long as possible, in order to prevent fish from escaping to the sea.

The limited mixing of the lake and sea water and the accumulation of nutrients was probably at the base of the recent algal bloom and successive fishkill which occurred during summer 1980.

The problem of the drop in the oxygen level, has to be considered together with the increased phytoplanktonic biomass and the invasion of the macrophytes which for most of the hot season develop to such an extent as to render difficult the navigation on the lake.

• Following the fishkill of 1980, the physical and chemical parameters of the lake were regularly monitored and the mouth was maintained open for as long as possible so as to facilitate the mixing with sea water.

Hydrological sampling was performed directly from the boat, considering the shallowing of the lake, using polyethylene bottles. Stations were located at the two extremities (P,L) and in the middle (C) of the lake.

The water analysis was carried out following the methodology outlined by Genovese and Magazzù (1969). The nutrient concentrations (Tab.1) are for the most part much higher than the concentrations observed in 1976 (Cognetti *et al.*, 1978).

The nutrients for the winter period 1980-81 were particularly elevated as the lake was probably still being influenced by the preceding summer conditions.

Only the values of $\text{NO}_3\text{-N}$ show a clear annual cycle.

Chlorophyll "a" concentration varied throughout the year as follows:

Tab.1

		dec.80	jan.81	feb.	mar.	apr.	may	jun.	jul.	aug.	sep.	oct.	nov.
T °C	L	5.75	5.05	9.2	15.5	18.45	21.15	28.9	26.95	30.05	23.1	22.25	8.25
	C	5.75	5.0	8.75	14.9	18.8	20.8	28.0	26.1	29.7	23.5	22.05	8.65
	P	6.0	5.35	9.85	14.6	18.55	20.9	27.7	26.15	29.15	24.0	22.15	9.0
S %	L	11.4	11.1	10.6	9.3	11.8	14.8	16.6	18.0	20.0	19.0	17.7	15.1
	C	11.2	10.9	10.6	8.7	12.5	15.0	17.6	17.9	19.1	18.9	17.6	15.8
	P	9.9	9.2	10.6	8.4	11.2	13.7	16.4	15.0	17.1	15.9	16.1	14.1
O ₂ % sat.	L	97.0	101.7	130.7	118.9	86.1	121.9	137.8	137.3	94.8	78.1	85.1	91.8
	C	98.9	100.0	138.9	143.9	112.5	78.7	147.8	111.8	93.4	81.8	109.8	110.8
	P	96.9	96.1	144.2	158.8	124.0	133.6	162.4	136.6	90.6	100.7	92.1	99.0
NH ₄ -N µg-at/l	L	20.6	17.08	6.85	5.95	3.95	3.65	5.91	2.01	1.12	13.9	10.90	12.15
	C	21.85	10.96	6.5	4.4	7.57	7.43	11.4	8.86	4.27	19.22	5.13	15.08
	P	17.8	6.35	5.5	5.0	7.9	2.18	6.0	4.63	1.62	21.67	4.11	15.15
NO ₂ -N µg-at/l	L	4.59	3.30	2.66	2.41	1.90	0.25	0.29	0.34	0.27	1.07	1.3	3.89
	C	4.46	2.60	2.88	1.8	1.18	0.21	0.59	0.22	0.30	0.37	1.1	4.32
	P	3.94	2.44	3.26	1.92	0.83	0.41	0.61	0.38	0.35	1.09	2.16	4.18
NO ₃ -N µg-at/l	L	67.2	36.43	29.98	18.85	5.02	1.71	0.31	1.15	0.57	3.44	7.91	25.36
	C	60.3	44.72	24.52	11.55	0.79	0.12	0.14	0.43	0.94	2.07	4.33	33.45
	P	88.79	85.47	35.14	23.08	2.73	1.16	0.001	1.39	1.08	4.51	12.37	30.30
PO ₄ -P µg-at/l	L	0.81	1.30	1.73	1.60	4.14	0.71	1.28	1.34	1.21	1.07	1.82	0.81
	C	0.87	0.90	2.54	2.45	3.62	0.80	2.38	1.61	1.71	0.79	1.09	1.38
	P	0.69	0.90	1.85	3.20	3.10	0.87	2.50	1.51	1.22	0.73	1.03	0.81
Si-SiO ₂ µg-at/l	L	265.55	228.05	146.30	260.60	268.80	166.12	192.92	154.17	200.82	222.91	140.62	117.97
	C	263.40	248.60	167.50	212.55	327.90	223.69	202.02	205.21	210.12	161.45	157.81	151.68
	P	290.30	232.40	151.60	276.55	365.55	199.02	193.93	152.61	191.03	155.21	137.50	157.40

summer (6.96-48.57 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$); autumn (5.20-23.23 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$); winter (0.4-4.1 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) and spring (4.0-15.9 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

The real effects of the greater mixing between sea water and lake water, following the more frequent openings of the mouth of the lake, are demonstrated by the increase in salinity: from the maximum of 13% measured in 1976 to 20% during the Summer 1981, to 25.5% during the Summer 1982.

References

- G.D. ARDIZZONE, P. PELUSI, G. TRIPALDI, 1982 - Accrescimento e aspetti della produzione delle specie ittiche del Lago salmastro di Burano. Atti XIV Congr.SIBM (in press).
- COGNETTI G., C.M. DE ANGELIS, E. ORLANDO, 1978 - Situazione ecologica del Lago di Burano. WWF, Serie Atti e Studi, n.3, 23 p.
- GENOVESE S., G. MAGAZZU', 1969 - Manuale di analisi per le acque salmastre. Ed. Università di Messina.

CONDITIONS DE MILIEU MOYENNES DANS L'ÉTANG DE THAU ÉTABLIES SUR LES OBSERVATIONS RÉALISÉES DE 1974 À 1980

H. TOURNIER, P.Y. HAMON et S. LANDREIN

Institut des Pêches, 1, rue Jean Vilar 34200 Sète, France

Résumé : Les résultats des mesures et des analyses pratiquées par l'I.S.T.P.M. sur 11 stations réparties dans l'étang de Thau, de 1974 à 1980, ont permis d'établir la variation moyenne de divers paramètres hydrologiques au cours de l'année. Les moyennes mensuelles générales présentées portent sur la température, la salinité, le pH, la teneur en oxygène et en sels nutritifs. Il apparaît des relations entre l'évolution de plusieurs de ces facteurs ainsi qu'avec l'abondance planctonique globale. Les différences enregistrées entre la surface et le fond sont précisées et des gradations entre la communication de l'étang avec la mer et son extrémité sont établies.

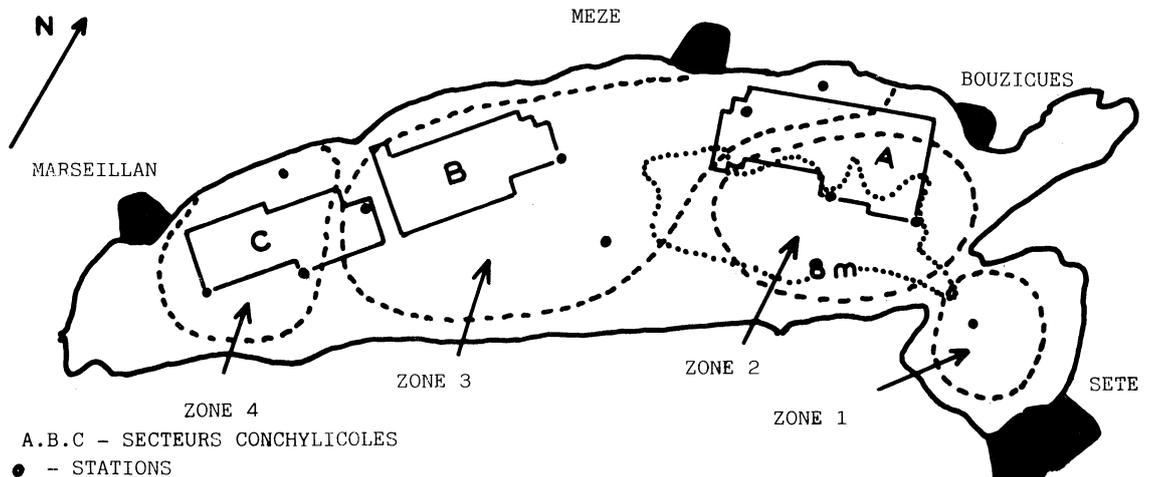
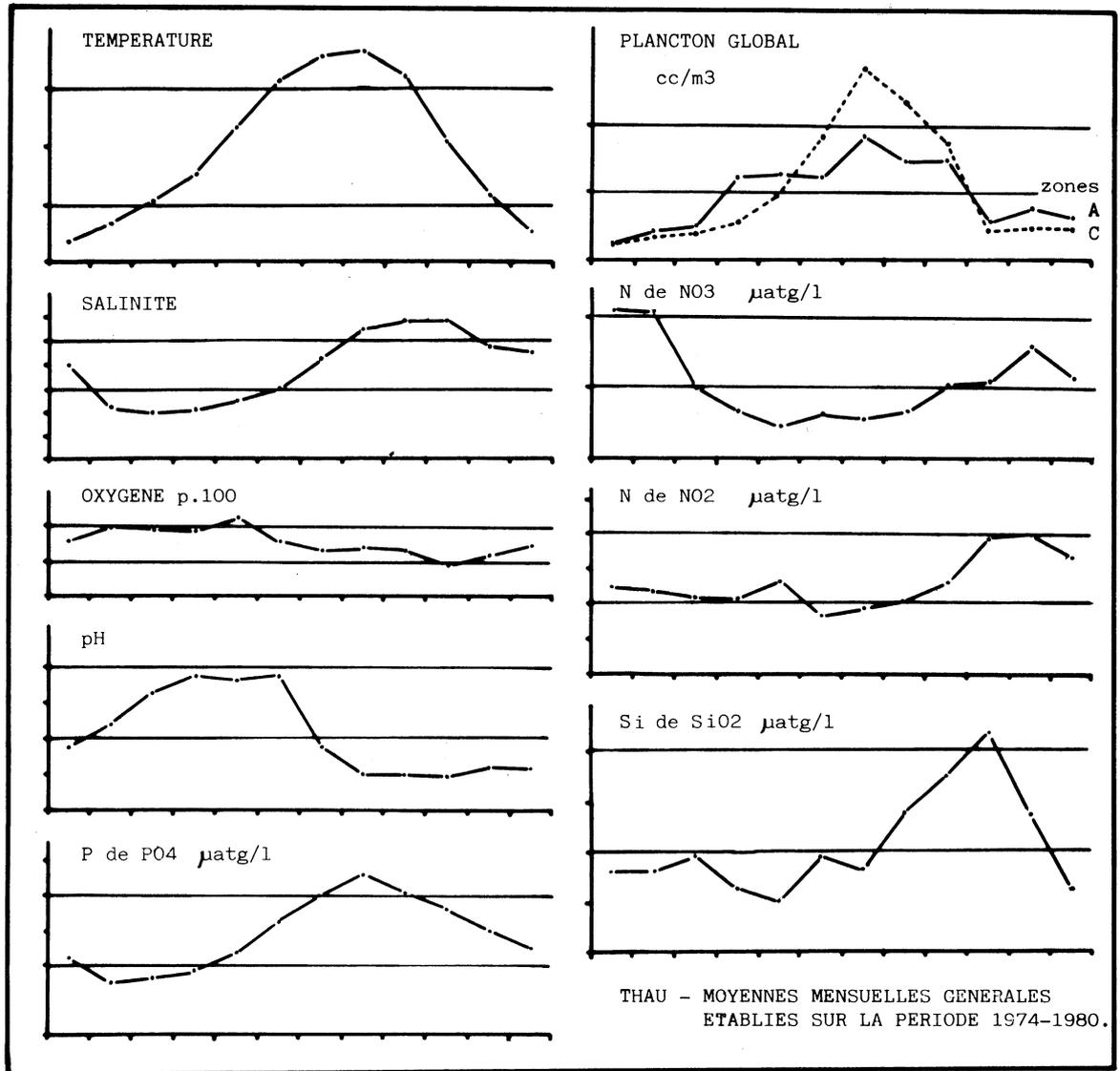
Abstract : The results of a certain number of measurements and analysis of the water realised by the I.S.T.P.M. in the Lagoon of Thau between 1974 and 1980, have led to the establishment of the mean variation of the hydrological parameters along the year. Temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nutritive salts and abundance of plancton were studied as well as eventual relations between those factors.

L'étang de Thau, lieu de la plus importante production conchylicole des côtes méditerranéennes françaises, est l'objet depuis de nombreuses années d'un suivi scientifique régulier de la part du laboratoire de Sète de l'I.S.T.P.M. Les interventions de nature scientifique, technique ou administrative sont rendues possibles grâce à cette surveillance. Dans la présente note il a paru intéressant, non plus de présenter l'évolution du plan d'eau au cours d'une année particulière, mais de rassembler les quelques 18 000 mesures ou analyses effectuées entre 1974 et 1980 pour établir les conditions de milieu les plus généralement rencontrées dans cet étang. L'évolution des moyennes mensuelles générales des différents paramètres sera donc brièvement décrite pour permettre de fournir une interprétation des faits ayant plus particulièrement retenu l'attention.

1. Le réseau de stations.

Le réseau d'observation consiste en onze stations réparties dans l'étang (fig. 1). A chaque station plusieurs niveaux (0 à 8,5 m) de prélèvements permettent d'étudier les différences éventuelles entre la couche d'eau de surface et la couche inférieure qui atteint, au plus creux, la profondeur de 11 mètres.

On distingue quatre zones hydrologiques principales dans le plan d'eau dont la communication avec la mer est essentiellement constituée par les canaux de Sète.



2. Evolution moyenne des divers paramètres (fig. 2).

a) La température.

De la zone 1 à la zone 4 l'influence marine s'estompe alors que l'influence terrestre se renforce, ce qui se traduit par des minimas thermiques plus bas et des maximas plus élevés. L'écart thermique moyen atteint $1,4^{\circ}\text{C}$ en juillet, entre le début du secteur conchylicole A et la fin du secteur conchylicole C, ce qui suffit peut-être pour déterminer des différences dans la croissance des mollusques élevés. Les maximas excèdent rarement 27°C (juillet-août). Les minimas ne sont généralement pas inférieurs à 4°C (janvier-février). En ce qui concerne la structure thermique verticale, on observe une homothermie de janvier à mars. D'avril à septembre une légère thermocline s'instaure ; elle atteint $0,8^{\circ}\text{C}$ en juillet entre la couche supérieure et les eaux situées à plus de 3 mètres de profondeur. Au cours du refroidissement qui a lieu d'octobre à décembre les eaux de fond tendent à devenir moins froides que celles de surface, tout en demeurant plus salées. La formation qui occupe la cuvette la plus profonde située dans le sud de la zone A ne se renouvelle qu'avec difficulté et en raison de l'importance de la sédimentation d'origine organique participe au déséquilibre qui affecte quelquefois l'étang ("malaïgue" de 1975). Chaque année la corrélation entre la température de l'air et celle de l'eau est excellente ($r = 0,982$). La moyenne thermique annuelle varie entre $13,76^{\circ}\text{C}$ (1980) et $15,04^{\circ}\text{C}$ (1975, année de la "malaïgue").

b) La salinité.

La salinité augmente au printemps et en été sous l'effet du réchauffement et de l'évaporation ; elle s'abaisse en automne et en hiver du fait des précipitations (octobre-avril et surtout novembre-février). En période de dilution (février-juin) on observe une gradation de la zone 1 à la zone 4, telle que cette dernière, la plus éloignée de la mer, subit plus fortement l'effet adoucissant des pluies. L'écart entre les moyennes atteint $0,7\text{ ‰}$. En période de concentration ou de faible dilution (juillet-janvier), la gradation s'estompe puis s'inverse, la zone 4, terminale, moins profonde et surchauffée montrant alors les salinités les plus élevées. Comme pour la température, c'est en zone 4 que l'on observe la plus forte amplitude de variation au cours de l'année. Le minimum de $27,35\text{ ‰}$ a été relevé en février 1979 et le maximum de $40,36\text{ ‰}$ en août 1975. Du point de vue de la stratification, les eaux inférieures sont toujours plus salées. Du fait des pluies, une halocline s'établit en période d'homothermie hivernale pour disparaître lentement alors que se développe une légère thermocline estivale. La moyenne annuelle des salinités se situe entre 34 ‰ et 36 ‰ . Les eaux ont été particulièrement adoucies en 1977 et fortement salées en 1975. Mais il faut remarquer que le niveau moyen des salinités d'une année particulière dépend non seulement des événements climatologiques de cette même année, mais aussi du niveau de départ qui est sous la dépendance des événements du cycle antérieur. Si l'on "corrige" artificiellement cet effet de départ, la corrélation entre salinité annuelle et précipitation annuelle est excellente, montrant que la salinité moyenne dépend principalement de la pluviométrie. On calcule qu'en l'absence de pluie la salinité de l'étang tendrait à s'établir aux alentours de 44 ‰ . Au cours d'une année, l'amplitude de la variation saline est d'autant plus grande que la dilution hivernale est prononcée. Les moyennes mensuelles générales de la salinité par rapport à celles de la température forment un cycle.

c) L'oxygène dissous.

Les principaux facteurs augmentant la teneur en oxygène dissous sont la photosynthèse, le vent et les renouvellements d'eau ; l'oxygène est consommé par la respiration et par la dégradation de la matière organique. Son abaissement extrême conduit à l'asphyxie des être vivants et à leur intoxication du fait de l'apparition de produits de dégradation toxiques. Cet accident dit "malaïgue" en Languedoc s'est manifesté au cours de l'été 1975 à la suite d'une période de fort réchauffement, de proliférations intenses d'espèces créant une surcharge en matière organique (plancton, algues, épibiontes ...) et d'absence totale de vent. D'une manière générale, l'oxygénation est très bonne pendant la première partie de l'année (janvier-mai) et s'abaisse ensuite lorsque le matériel organique en voie de dégradation devient plus abondant. Des risques de désoxygénation existent entre juin et octobre. La zone 4, dont la profondeur modeste facilite le renouvellement des eaux, présente la meilleure oxygénation moyenne ; par contre la zone 2 au large de laquelle, comme déjà mentionné, une lentille d'eau profonde se trouve souvent bloquée, marque plus fréquemment une anoxie plus ou moins grave par ses conséquences sur les cultures. Là encore une gradation s'observe donc de la zone 2 à la zone 4. La zone 1, subissant diverses influences (canaux, mer...) est assez variable. Les eaux de surface sont toujours les plus riches en oxygène alors que les risques d'anoxie des secteurs profonds sont centrés sur juillet-août. En effet, de septembre à novembre les échanges verticaux assurent en général une lente remontée de la teneur en oxygène des eaux de fond. Les moyennes annuelles du pourcentage de la saturation en oxygène dissous, qui varient entre 88 % et 100 %, ne présentent pas d'intérêt biologique car elles ne révèlent pas s'il s'est produit au cours de l'année considérée une phase de désoxygénation (quelquefois de très courte durée) responsable de mortalités ayant une grave incidence économique. On observe une concomitance entre l'évolution moyenne de ce pourcentage et celle de la salinité, aux faibles salinités correspondant les bonnes oxygénations et inversement.

d) Le pH.

Le pH est relativement élevé pendant la première partie de l'année alors que les eaux sont bien oxygénées ; il s'abaisse ensuite avec l'enrichissement en gaz carbonique et en matières réductrices d'origine organique. Cela revient à noter le remarquable parallélisme qui existe entre l'évolution de l'oxygène dissous et celle du pH. La corrélation linéaire entre ces deux facteurs est d'ailleurs excellente, si bien que l'on pourrait peut-être se limiter, au moins en conchyliculture, à la simple surveillance du pH pour s'assurer des bonnes conditions respiratoires de l'élevage. On observe une nette gradation de la zone 2 à la zone 4, cette dernière étant de beaucoup la plus basique, notamment de la fin de l'hiver au début de l'automne, gradation semblable à celle de l'oxygène. Encore de la même manière le pH est toujours plus élevé près de la surface qu'au fond, avec tendance à l'égalisation d'octobre à janvier du fait des mélanges verticaux et de la minéralisation progressive sur les sédiments. Les pH les plus acides ont été notés strictement aux lieux et moments des désoxygénations avec le minimum de 7.20 le 5 août 1975 près du fond. Aux moyennes annuelles basses du pH (1975-1976) correspondent les plus faibles moyennes annuelles de la teneur en oxygène et inversement. Il n'y a pas de corrélation entre le pH et les précipitations. Avec la température on observe un cycle et avec la salinité une relation apparente et non directe de cause à effet car la pente de la droite déterminée est négative.

e) Les phosphates.

Les phosphates dissous sont moins abondants en hiver (février) et atteignent leur plus forte concentration en été (août). L'augmentation de la teneur en phosphates des eaux de la zone 1 à la zone 4 est nette et montre que l'étang est beaucoup plus riche en PO_4 que la mer. Notons d'ailleurs que Thau est à ce point de vue le plus riche des plans d'eau languedociens, particulièrement près du fond, l'écart avec la teneur en surface étant assez variable. Nous pensons que les sédiments représentent un "réservoir" à phosphates considérable qui relargue ces sels dans l'eau selon un mécanisme non précisé. Nous pensons aussi que l'excrétion phosphatée des êtres vivants contribue à l'établissement du maximum enregistré en été alors même que le plancton abondant consomme ou retient une part importante des sels nutritifs présents. Le retour dans les sédiments des phosphates mobilisés dans l'eau se fait apparemment avec une certaine lenteur. L'abondance en phosphates n'est pas en rapport avec la salinité ni avec les précipitations, le "lessivage" du bassin versant ne paraissant ainsi pas être, au moins sur sept années d'observations, un facteur prépondérant. Il semble que l'abondance en phosphates près du fond augmente lorsque les valeurs en oxygène et en pH diminuent (été 1975). L'évolution des phosphates forme un cycle avec la température.

f) Les nitrates.

L'évolution des nitrates est presque inverse de celle des phosphates : les minimas se situent en période chaude, aux moments où l'abondance planctonique est élevée et il convient de rappeler ici qu'avec C, H et O, N est un des principaux constituants de la matière vivante qui se crée d'abord par voie photosynthétique puis par prédation. Par ailleurs la richesse en nitrates augmente en passant de la zone 4 à la zone 1, montrant que l'étang est moins riche que la mer qui joue à cet égard le rôle de réservoir et apporte ces sels à l'occasion de ses incursions plus ou moins poussées dans la lagune. L'eau de fond n'est conséquemment pas toujours la plus chargée en nitrates, en particulier lorsque la mer pénètre la couche supérieure ou intermédiaire de l'étang (période froide). De ce qui précède, il est bon de remarquer que l'azote pourrait être à Thau un facteur limitant dans le cas d'une production surabondante d'algues. Au cours de l'année, la variation de la teneur en nitrates forme un cycle par rapport à la salinité mais il semble que les années de forte dilution la moyenne en nitrates est relativement élevée, ce qui indiquerait que le lessivage des terres par les pluies contribuerait tout de même à l'apport d'une part de cet anion à l'étang. La corrélation entre nitrates et température est élevée, mais elle est indirecte : la température détermine la prolifération des êtres vivants et notamment celle des consommateurs de nitrates. Une fois reminéralisés (automne-hiver), les nitrates ne semblent pas s'accumuler dans les sédiments.

g) Les nitrites.

Les observations déjà faites pour les nitrates restent valables pour les nitrites. On remarque simplement que le maximum des teneurs en nitrites, qui se produit en automne, peut correspondre au maximum des teneurs en nitrates (obtenus par oxydation plus poussée des premiers) que l'on n'observe qu'au début de l'hiver.

h) Les silicates.

On n'observe pas de gradient horizontal net pour les silicates mais seulement en zone 1 un taux plus faible, au moins au printemps et en été. Il semblerait ainsi que, comme pour les phosphates, la source principale des silicates se situe dans l'étang lui-même. Les proliférations de diatomées au printemps et au début de l'été expliqueraient l'abaissement des teneurs à ces époques (minimum en mai). Le maximum d'octobre pourrait correspondre à des mortalités massives de diatomées qui débuteraient en août, dans des conditions qui ne deviendraient favorables à un retour de la silice minéralisée au niveau des sédiments que plus tard, à partir de novembre. Ces silicates sont plus abondants près du fond qu'en surface ce qui indique apparemment leur présence dans les sédiments. On observe une bonne corrélation entre les taux de silicates et la salinité au cours de l'année.

i) Le plancton global.

Le plancton a été étudié de façon globale et n'est pas à assimiler aux seuls éléments photosynthétiques. L'abondance en zone A survient plus tôt, marque un maximum moins prononcé et se termine plus tard qu'en zone C, ceci du fait des moindres variations des facteurs du milieu en zone A. Les quantités de nourriture, ainsi semblables sur un an, dans les deux zones, y déterminent des tailles à un an similaires. La richesse planctonique est étroitement corrélée avec la température dont les valeurs les plus élevées correspondent aux proliférations les plus intenses. Le plancton est rare à moins de 5° C. Avec les phosphates, la corrélation est excellente et de pente positive : la consommation de phosphates par la partie photosynthétique du plancton est apparemment masquée par des effets qui au total prédominent largement : l'excrétion phosphatée qui est en rapport direct avec l'importance quantitative des êtres vivants présents, la minéralisation assez rapide des éléments phosphatés issus des différentes phases de mortalités ainsi que, au moins en période chaude, un ralentissement du mécanisme par lequel les phosphates retournent sous une forme de réserve dans les sédiments. Par contre, avec les nitrates, la corrélation est bonne et de pente négative. Le stock de nitrates se trouvant limité est utilisé de façon plus complète que les phosphates et se trouve retenu en plus grande part dans la constitution de la matière vivante.

CONCLUSION : l'établissement de l'évolution des moyennes mensuelles générales, calculées sur plusieurs années, des différents paramètres physico-chimiques ou biologiques d'un milieu naturel fournit l'aspect le plus fréquent de l'hydrobiologie de ce milieu. Cet aspect présente alors un intérêt prospectif et peut valablement servir de base de comparaison. Mais de plus il peut faire apparaître des relations entre les différents facteurs qu'une étude plus limitée, même si elle porte sur un cycle annuel complet, risque de ne pas mettre en évidence : ce qui est perdu en "définition" est à notre avis remplacé par une généralisation qui apporte dans cette note une meilleure connaissance des mécanismes impliqués dans la vie de l'étang de Thau.