

SYNTHESE DES OBSERVATIONS REALISEES PAR L'I.S.T.P.M. SUR LES EAUX ET LE PLANCTON DE L'ETANG DE THAU DE 1974 A 1980

par Henri TOURNIER, Pierre-Yves HAMON et Sonia LANDREIN *

avec la collaboration technique de Claude JUGE et Claude CHIANTELLA

Résumé

Les résultats des mesures et des analyses pratiquées par l'I.S.T.P.M. sur onze 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 great number of measurements and water analyses realized by I.S.T.P.M. in the lagoon of Thau between 1974 and 1980, have led to the establishment of the mean variation of some hydrological parameters during the year. Monthly mean values of temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nutritive salts and abundance of plankton, were studied as well as possible relations between these factors. The observed differences between the surface and the bottom are related as well as gradations between the entrance and the end of the lagoon.

* I.S.T.P.M., 1, rue Jean-Vilar, 34200 Sète.

Depuis 1974, un réseau d'observations hydrologiques a régulièrement été prospecté par le laboratoire de Biologie conchylicole de l'I.S.T.P.M. de Sète. Les examens périodiques avaient pour but de fournir des éléments nécessaires à l'explication d'éventuelles irrégularités dans le déroulement des cultures ostréicoles et mytilicoles, dont on connaît l'importance dans l'étang de Thau, ainsi que de pouvoir renseigner et conseiller valablement tant les professionnels que les Pouvoirs Publics sur l'évolution naturelle et les aménagements possibles de ce milieu. C'est ainsi que le constat d'une grave « malaïgue », accident dystrophique causant une mortalité massive de coquillages, a été fait en 1975 et a pu être expliqué notamment par une anoxie due à l'absence prolongée de vent en période chaude. L'événement a de plein droit été reconnu comme calamité naturelle. De même, les conditions hydrologiques et topographiques dans lesquelles les daurades (*Chrysophris aurata*) ont causé les années suivantes des déprédations sensibles sur les parcs ont été cernées. L'avantage de ces observations régulières et de leur exploitation immédiate est tout à fait évident, mais il a paru bon, à l'issue de cette septième année de prospection, d'en faire une récapitulation générale qui présente un double intérêt :

Premièrement, nous savons combien l'évolution dans le temps d'un paramètre donné est soumise à des variations rapides qui font que la représentation du phénomène a le plus souvent la forme d'une courbe dite « en dents de scie ». Nous savons par ailleurs que la valeur précise de chaque point de cette courbe dépend étroitement des conditions particulières dans lesquelles a été réalisée l'observation correspondante : absence ou présence de vent, heure de la journée, état de la couverture nuageuse, etc. C'est pourquoi nous sommes amenés à considérer qu'une valeur ponctuelle ne représente que les conditions de l'heure et du jour où elle a été obtenue mais n'est pas représentative du mois, ni même de la semaine au cours desquels le prélèvement a été fait. De ce fait on préfère généralement retenir comme valeur représentative d'une période, une moyenne dans laquelle maxima et minima se compensent sensiblement et qui peut alors être valablement utilisée pour tenter d'établir une relation avec des observations elles-mêmes discontinues sur l'évolution d'êtres vivants (croissance, engraissement, maturation, etc.). Nous avons choisi d'établir les moyennes mensuelles, pratiques en biologie. Nous avons de plus choisi d'établir et d'étudier les moyennes de l'ensemble des moyennes mensuelles des sept années (1974 à 1980) car, d'une part, certains paramètres varient selon des cycles très semblables d'une année à l'autre et, d'autre part, cette méthode permet de mettre en évidence avec certitude des faits « moyens », généraux, qui ne pourraient pas être démontrés par une étude trop partielle et de détail. En effet, on est trop souvent tenté pour expliquer un fait biologique délicat d'invoquer une année ou des conditions « exceptionnelles ». Il vaut mieux retenir des valeurs un peu plus générales et plus sûres que d'utiliser une valeur quelquefois contestable « pour les besoins de la cause ».

Deuxièmement, établir les variations des facteurs du milieu sur des moyennes tenant compte de plusieurs années nous paraît présenter un intérêt prospectif. En effet, il s'agit là de l'évolution la plus vraisemblable du milieu pour chacune des années à venir et chaque fois qu'il s'agira d'établir un pronostic, cet aspect moyen le plus vraisemblable pourra servir.

Dans les derniers chapitres, les résultats de la recherche de relations entre le plancton considéré dans sa globalité et les facteurs physico-chimiques sont présentés, ainsi que quelques éléments sur les variations du niveau de l'étang et sur la visibilité au sein de ses eaux. En ce qui concerne la recherche de relations au cours de l'année entre les facteurs pris deux à deux, le calcul d'un coefficient de corrélation ne présente pas d'intérêt et les tests de signification ne sont pas utilisables car, d'une part, nos données correspondent à des « séries chronologiques » et, d'autre part, le nombre de couples n'excédant pas douze est faible. Les relations liant les paramètres entre eux seront donc essentiellement passées au crible des connaissances et des hypothèses vraisemblables sur le plan biologique et physique, pour ne retenir que celles donnant lieu à une interprétation.

I. — L'étang de Thau, réseau hydrologique.

L'étang de Thau, d'une superficie de 7 500 ha (fig. 1) ne communique efficacement avec la mer qu'au travers des canaux de Sète. La zone profonde (sonde supérieure à 8 m) se limite au tiers oriental dans l'axe du « grand étang ». Cette zone profonde se poursuit irrégulièrement dans

l'étang des Eaux Blanches où sont creusés des chenaux facilitant l'entrée des eaux de la mer. Les zones conchylicoles A, B et C occupent au total 1 324 ha, couloirs compris ; la surface des concessions seules (tables d'élevage) représente 153 ha. La bathymétrie précise de ces trois zones a été établie par l'I.S.T.P.M. (*Science et Pêche* n° 313, 1981).

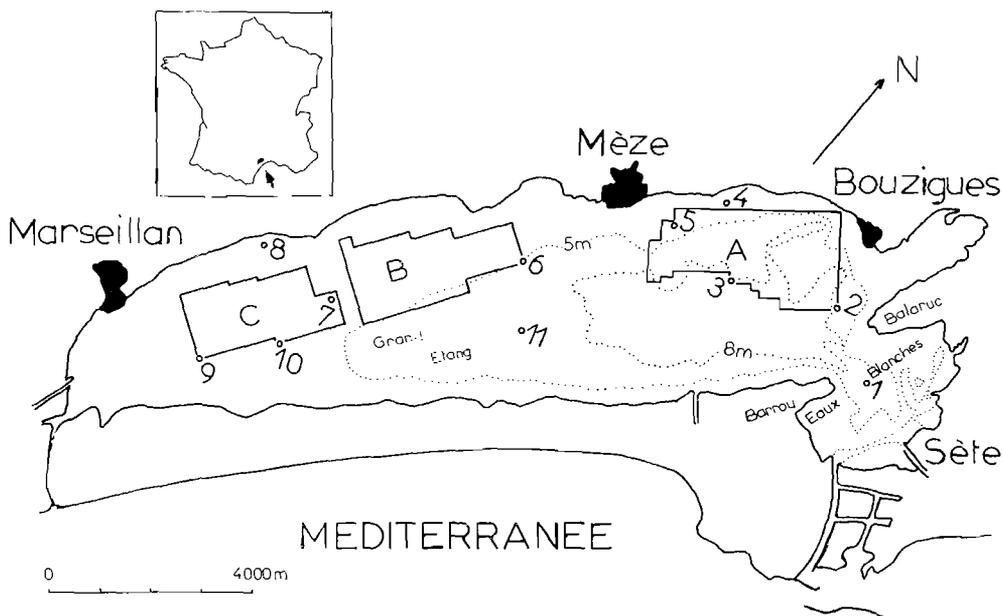


FIG. 1. — Etang de Thau : plan des stations et situation des zones conchylicoles.

Le réseau hydrologique prospecté depuis 1974 comporte 11 stations dont la situation, les niveaux et le nombre de paramètres ont été choisis, non en fonction des règles de l'hydrologie, mais pour des motifs d'ordre biologique. Dans ces conditions il aurait été illusoire de tenter d'établir des cartes d'hydrologie à partir des données recueillies. Cependant, en raison de la forme allongée de l'étang, n'admettant des eaux marines qu'à son extrémité est, nous devrions pouvoir établir une gradation pour certains paramètres, selon son axe et ses différents niveaux.

II. — Etude des moyennes mensuelles des paramètres établies sur la période 1974-1980.

1. La température. (fig. 2 et 3).

Rappelons que ce facteur est généralement le plus important en biologie. Il conditionne les cycles sexuels, la reproduction, l'alimentation et la croissance des êtres vivants. En milieu lagunaire, il est étroitement lié à l'insolation et à l'évolution de la température de l'air ; il ne marque pas, comme c'est le cas en mer, de décalage sensible dans le temps avec ce dernier facteur. Corrélativement, l'étang est, en été, plus chaud que la mer et l'hiver, plus froid.

Evolution de la température globale à chaque station.

Si l'on prend la température moyenne à chaque station (résultante de la température près de la surface, du fond et quelquefois d'un niveau intermédiaire non standard), on obtient une valeur globale qui représente somme toute mieux l'influence du milieu sur une corde à moules ou une barre à huîtres (mesurant souvent plusieurs mètres de long) que la valeur d'un niveau particulier.

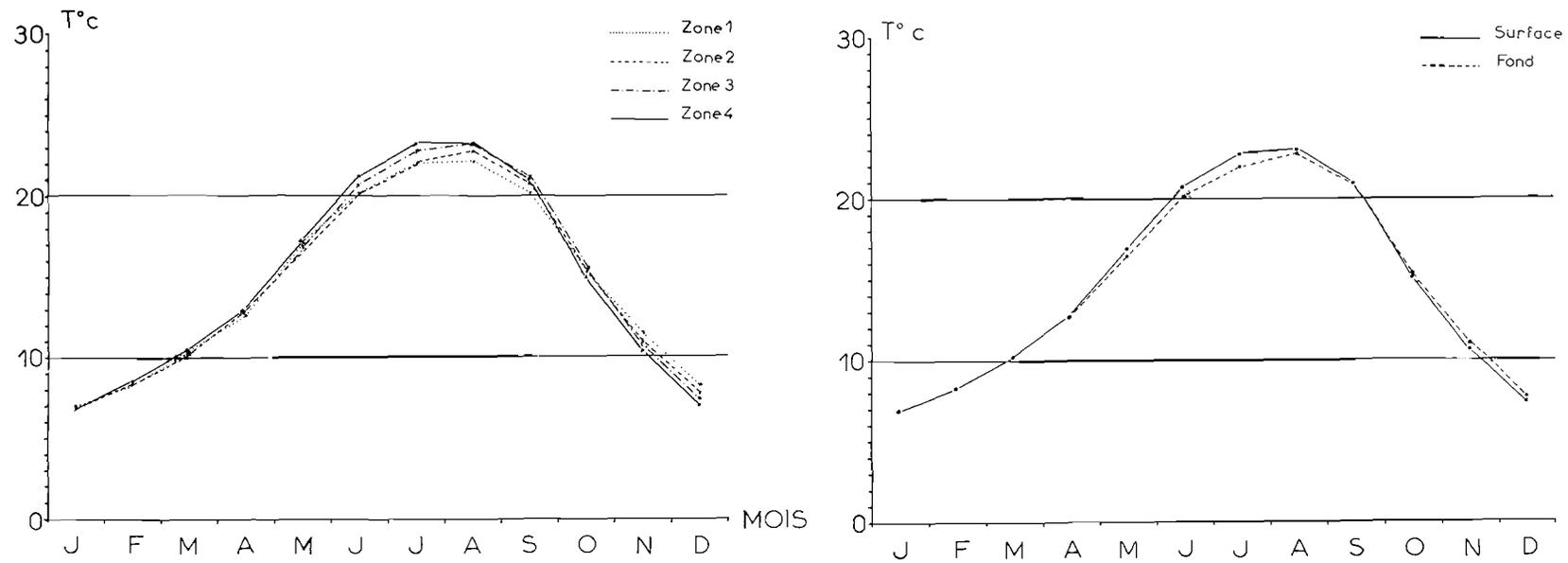


FIG. 2. — Evolution générale des températures au cours de l'année.

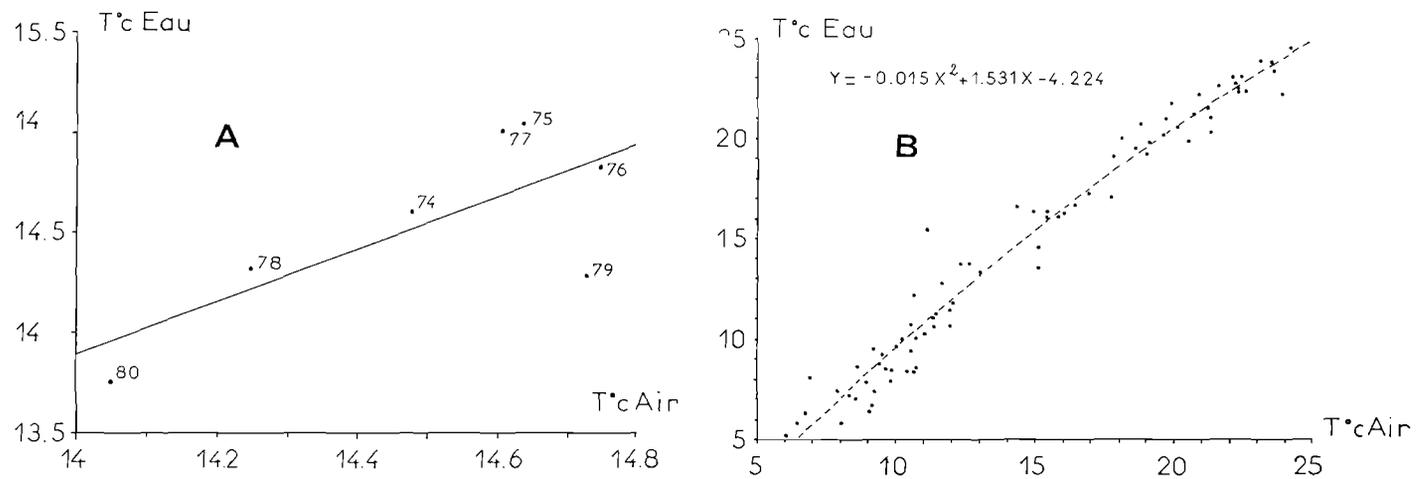


FIG. 3. — Relation entre la température de l'air et celle de l'eau ; moyennes annuelles (A) et mensuelles (B) de 1974 à 1980.

La comparaison des courbes aux 11 stations permet de mettre en évidence que l'étang se subdivise en quatre zones thermiques :

zone 1 : étang des Eaux Blanches (station 1). L'amplitude des variations est minimale pour l'étang, avec le maximum estival le moins élevé et le minimum hivernal le moins faible. On reconnaît ici l'influence de la mer qui modère les températures aussi bien en période chaude qu'en période froide ;

zone 2 : secteur profond du grand étang (stations 2 et 3). L'influence marine est encore ressentie à ce niveau ; la pénétration d'eau de mer, bien que limitée par le goulet que forment la pointe du Barrou et la presqu'île de Balaruc, se trouve favorisée par une certaine continuité des zones profondes depuis les canaux de Sète. Le maximum est en effet à peine plus élevé que dans la première zone et le minimum à peine inférieur ;

zone 3 : région centrale du grand étang (stations 4, 5, 6, 7 et 11). La gradation observée depuis la mer se poursuit ; une vaste zone comprenant tout le centre du grand étang, la bordure côtière occidentale de la zone A, la zone B et le début de la zone C, montre une évolution thermique encore plus soumise aux conditions atmosphériques que précédemment ;

zone 4 : partie terminale du grand étang (stations 8, 9 et 10). L'influence terrestre et atmosphérique est ici poussée au maximum avec les températures d'été les plus élevées et d'hiver les plus basses, comme il est normal dans cette partie extrême de l'étang qui est en même temps la moins profonde et la plus éloignée de la communication avec la mer ; les graus situés dans le sud-ouest du plan d'eau, partiellement ou totalement obturés, semblent n'avoir aucun effet.

La figure 2 montre suffisamment les périodes chaudes, froides et les points d'inversion des températures d'influences marines ou continentales (mars et début octobre) pour qu'il ne soit pas nécessaire de la commenter en détail. Il faut cependant remarquer que les écarts thermiques, généralement peu importants, peuvent cependant atteindre 1,4 °C en juillet entre le large de la zone A et la fin de la zone C et que, s'exerçant pendant plusieurs mois, des écarts de cet ordre ont vraisemblablement des conséquences sur la pousse des mollusques élevés. Au cours des sept années étudiées, notons que les maxima ont rarement excédé 27 °C (en juillet-août) et les minima ont rarement été inférieurs à 4 °C (en janvier-février).

Evolution thermique des eaux de surface et de fond.

Pour étudier cet aspect de l'évolution thermique des eaux de l'étang nous avons été conduits, en raison de la disparité des profondeurs prospectées aux différentes stations, à regrouper d'une part toutes les données des niveaux inférieurs à 3 m et d'autre part les données concernant la tranche d'eau supérieure (fig. 2). Ainsi la courbe des températures moyennes au fond (à plus de 3 m de profondeur) cumule les observations profondes des stations 2, 3, 5, 6 et 11 ; comme on le voit sur la carte, ces données représentent la « zone profonde du grand étang » dont nous avons vu qu'elle est la plus directement influencée par les eaux de la mer après traversée des Eaux Blanches. La courbe des températures de surface est établie sur l'ensemble des 11 stations.

Les conclusions très générales qui ressortent de l'examen de la figure 2 sont les suivantes : De janvier à mars les eaux de la zone profonde sont à la même température que celles de la surface de l'étang ; l'homothermie observée au cours de ces trois mois s'explique (comme cela se produit d'ailleurs en mer) par un brassage vertical classique en période hivernale, les eaux de surface plongeant vers le fond au fur et à mesure de leur refroidissement. D'avril à septembre, ce que l'on peut assimiler à une légère thermocline s'établit, c'est-à-dire que la couche superficielle se réchauffe sous l'effet du soleil, alors que la température de la zone profonde n'augmente que plus lentement ; les incursions d'eau de mer relativement fraîche, se maintenant au cours de cette période près du fond, contribuent à limiter le réchauffement de la zone profonde ; l'écart thermique atteint 0,8° C en juillet et peut avoir une incidence biologique. D'octobre à décembre enfin la tendance s'inverse par rapport au restant de l'année, les eaux profondes deviennent légèrement plus chaudes (quelques dixièmes de degré) que l'ensemble de la surface ; ceci ne représente pas une anomalie de stratification, l'eau profonde étant aussi plus salée ; par rapport à la totalité de la surface de l'étang qui se refroidit, la seule zone profonde, bien délimitée, conserve pendant les trois mois de refroidissement rapide une certaine individualité, sa profondeur et donc sa masse lui conférant une inertie thermique appréciable ; le fait que cette masse d'eau est souvent piégée

dans la cuvette qu'elle occupe renforce cet effet ; il est enfin possible qu'une fermentation de la matière d'origine organique qui se dépose sur les fonds apporte à cette époque un dégagement de chaleur des sédiments.

Moyennes annuelles des températures.

Nous avons voulu savoir s'il était possible, d'après nos données, d'établir quelles ont été globalement les années les plus chaudes et les plus froides, en les caractérisant chacune par leur moyenne thermique annuelle. Cela pourrait permettre d'expliquer les différences observées sur la croissance des coquillages d'une année à l'autre dans l'étang. Chaque moyenne annuelle a donc été calculée comme étant la moyenne des moyennes mensuelles de l'année considérée. Lorsqu'aucune valeur n'a été relevée au cours d'un mois, une température interpolée a nécessairement été utilisée pour ne pas biaiser les résultats. Les valeurs trouvées sont :

Année	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
T °C	14,62	15,04	14,82	15,00	14,32	14,28	13,76

Afin de tester la valeur des résultats obtenus nous les avons mis en rapport avec les moyennes des températures annuelles de l'air (données de la météorologie nationale pour la station de Sète). Sachant la précision de ces derniers renseignements, une bonne relation avec nos observations devrait être une indication de validité de nos moyennes. La figure 3 illustre cette relation qui est apparemment assez bonne. La dispersion relative des points est due à l'effet de l'évaporation plus ou moins intense selon la fréquence annuelle des vents, évaporation qui entraîne un refroidissement des eaux.

Relation entre les températures de l'air et de l'eau au cours de l'année.

Le regroupement des moyennes mensuelles sur sept années permet d'établir la relation générale de la température moyenne de l'eau à Thau en fonction de celle de l'air. Cette relation paraît être étroite. L'eau de l'étang, comme le sol qui l'entoure, a tendance à accumuler de la chaleur en été et du froid en hiver (la température moyenne du sol est inférieure à celle de l'air en hiver et supérieure en été), mais en fait la moyenne mensuelle de la température de l'eau de l'étang est inférieure à celle de l'air en période froide (en particulier en dessous de 11° C) ; elle est très peu supérieure en période chaude (maximum 0,3-0,4° C aux environs de 18° C), la différence s'ameuisant et pouvant aller jusqu'à s'inverser vers les 24° C. La cause qui contrarie l'accumulation de la chaleur dans les eaux de l'étang en été est de toute évidence l'évaporation ; le vent en renforce l'effet. Il faut encore remarquer que la relation entre températures mensuelles de l'eau et de l'air est, pour chacune des sept années, tout aussi excellente.

2. La salinité.

Evolution de la salinité globale à chaque station (fig. 4).

Pour les salinités, comme pour les températures, les 11 stations du réseau hydrologique se regroupent sensiblement de la même manière en 4 zones. La salinité augmente au cours du printemps et de l'été sous l'effet de la montée des températures et de l'évaporation et elle s'abaisse en automne et en hiver du fait des précipitations (octobre à avril et particulièrement en novembre et février). Des différences de salinité sensibles existent entre les divers secteurs de l'étang, en période de forte dilution (février à juin) ; pendant le restant de l'année ces variations halines sont beaucoup plus discrètes :

en période de forte dilution (février-juin), on observe une nette gradation des salinités entre les zones ; les zones 1 et 2 demeurent les plus salées car des eaux de mer y pénètrent périodiquement, ce qui contrarie l'effet adoucissant des pluies ; du fait de l'éloignement croissant du grau, la salinité demeure inférieure en zone 3 et minimale en zone 4, l'écart entre les moyennes atteint 0,7‰ en février et mars ;

en période de concentration ou de dilution faible (juillet-janvier), cette gradation perd de son amplitude et s'inverse ; la zone 4, isolée et surchauffée, atteint les salinités les plus élevées (maximum de septembre à octobre), alors que plus on se rapproche du grau plus la salinité de l'eau se trouve modérée par l'influence de la mer, alors généralement moins salée ; les plus basses salinités s'enregistrent en zone 1.

Comme pour la température, c'est en zone 4 que l'on observe la plus forte variation de la salinité au cours de l'année. Notons aussi que le minimum absolu a été de 27,35 ‰ en février 1979 et le maximum de 40,36 ‰ en août 1975.

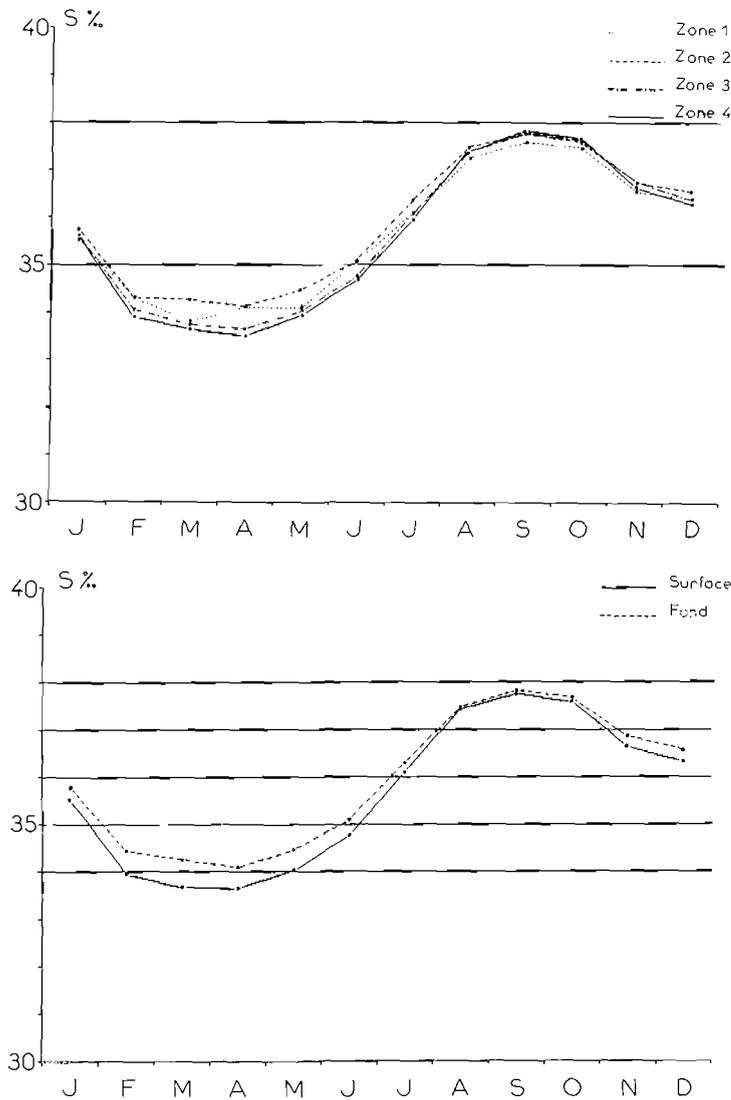


FIG. 4. — Evolution générale des salinités au cours de l'année.

Evolution haline des eaux de surface et de fond (fig. 4).

Les données récoltées à moins de 3 m pour la surface et à plus de 3 m pour le fond sont séparées comme précédemment. Les eaux de la zone profonde demeurent toute l'année plus salées que celles de la surface. Cependant la différence entre les deux niveaux est variable : la surface se dilue à l'époque des pluies (janvier à mars en hiver, novembre-décembre en automne) ; sa salinité se rapproche lentement de celle des eaux de fond au printemps pour l'égaliser presque en août-septembre. Si l'on compare cette évolution à celle de la température, on peut voir qu'une halocline se développe en période d'homothermie hivernale alors qu'elle disparaît au fur et à mesure que s'établit la thermocline estivale. Ces évolutions inverses s'expliquent par le fait que les masses d'eau conservent plus longtemps leurs caractéristiques halines que leurs caractéristiques thermiques qui n'ont pas la même matérialité : une thermocline apparaît et évolue sous l'effet du

réchauffement intense de la surface et peut disparaître rapidement, une halocline se forme rapidement en période de pluie mais demande plusieurs mois pour s'estomper. En résumé, on trouve en période froide et pluvieuse des couches d'eau de salinités différentes à même température et en période chaude et sèche des couches de même salinité mais à des températures différentes.

Moyennes annuelles des salinités (fig. 5 et 6).

L'évolution des moyennes annuelles de la salinité nous conduit à considérer qu'en général la moyenne se situe entre 34 et 36 ‰. En 1977, les eaux ont été particulièrement adoucies alors qu'elles ont été fortement salées en 1976 et surtout en 1975. On constate que la salinité moyenne change beaucoup plus d'une année à l'autre que la température, car elle dépend non seulement de ce dernier facteur, mais aussi de la pluviométrie et de l'évaporation dont les effets peuvent se conjuguer ou se contrarier. Le niveau du cycle annuel des salinités dépend encore de la valeur de son point de départ, début janvier, situé plus ou moins haut selon la valeur de la salinité à la fin de l'automne précédent.

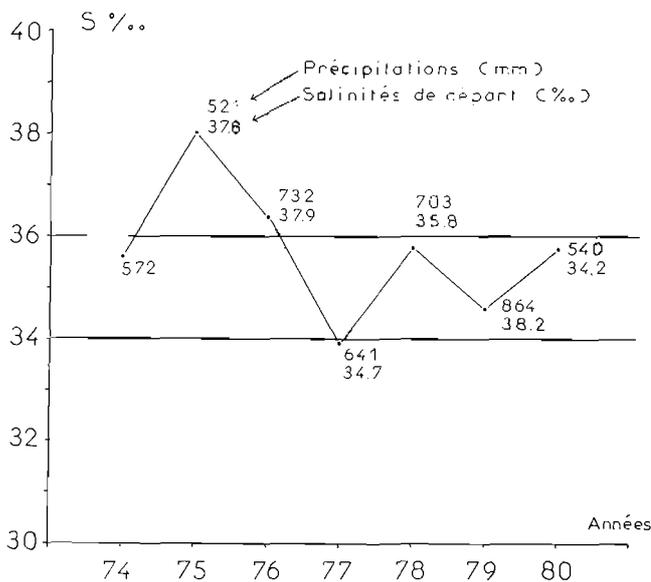


FIG. 5. Evolution de la salinité annuelle moyenne avec indication des précipitations annuelles et des « salinités de départ ».

A côté de chaque point de la figure 5 se trouvent portées les valeurs de la salinité de départ (décembre de l'année antérieure) ainsi que la somme des précipitations enregistrées au cours de l'année : ainsi, en 1975, un point de départ élevé et de faibles précipitations correspondent à la forte salinité annuelle ; en 1977, une faible salinité de départ et d'assez fortes pluies correspondent à la faible salinité de l'année. A partir de là, il est évident qu'il n'y a pas de rapport étroit entre températures et salinités annuelles et l'on pouvait s'attendre à trouver sur la salinité une plus forte influence des précipitations que de la température. Cependant, la figure 6 montre une relation peu étroite entre la salinité et la somme des précipitations annuelles. En réalité, il faut tenir compte du fait que la salinité moyenne d'une année dépend de son niveau de départ ; c'est pourquoi l'étude de cette corrélation nécessite l'emploi d'un artifice consistant à ramener la salinité de chaque année à ce qu'elle serait si tous les cycles annuels partaient de la même salinité, que nous fixons à 36 ‰. Les

« salinités annuelles théoriques », qui seraient donc les salinités réelles en l'absence de « l'effet

niveau de départ » sont calculées ainsi :

$$\text{salinité théorique} = S \text{ ‰ réelle} + (36 - S \text{ ‰ de décembre de l'année antérieure}), \text{ soit pour :}$$

1975	38,02 + (36 — 37,8) = 36,22 ‰
1976	36,38 + (36 — 37,9) = 34,48 ‰
1977	33,90 + (36 — 34,7) = 35,20 ‰
1978	35,78 + (36 — 35,8) = 35,98 ‰
1979	34,58 + (36 — 38,2) = 32,38 ‰
1980	35,76 + (36 — 34,2) = 37,56 ‰

La figure 6 montre la relation réelle qui existe entre la salinité annuelle et les précipitations. La formule est :

$$\text{salinité annuelle} = -0,116 (\text{précipitations en cm}) + 42,936$$

On pourrait supposer qu'une correction, pour tenir compte de la température annuelle, améliorerait encore cette relation ; ce n'est pas le cas, car les points qui s'écartent le plus au-dessus de la droite (1978 et 1980) correspondent à des « années froides » et s'en écarteraient encore plus.

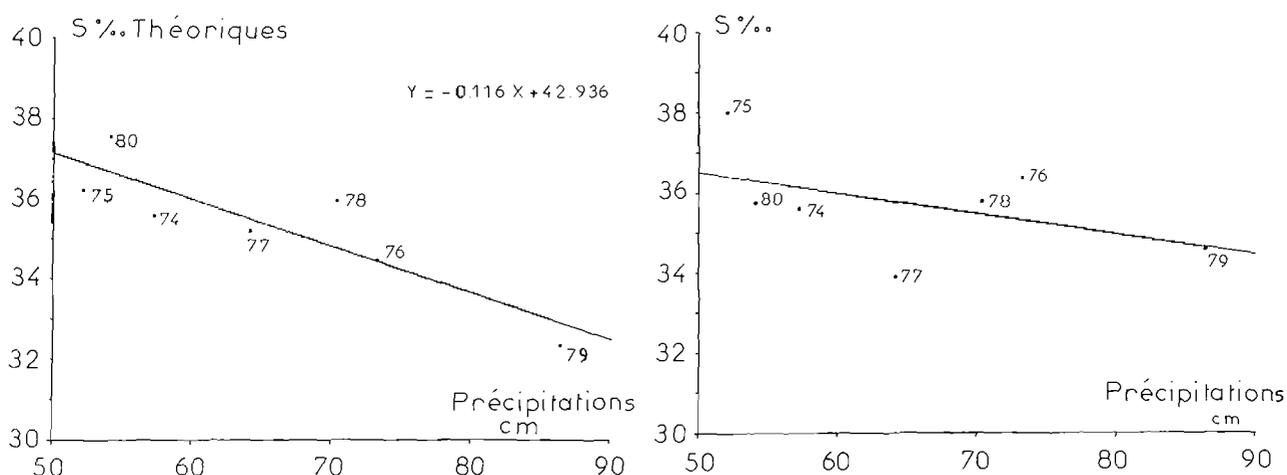


FIG. 6. — Relation entre la salinité annuelle moyenne et les précipitations annuelles (les « salinités théoriques » sont affranchies de la valeur de la « salinité de départ »).

La salinité annuelle dépend donc principalement des précipitations, du niveau de salinité de l'étang à la fin de l'année précédente et dans une moindre mesure de la température annuelle (peu variable), ainsi que des multiples facteurs secondaires (vent, marée, échanges avec la mer, évaporation) ; d'après la formule établie, à une augmentation de 300 mm de précipitations, correspond une chute de salinité annuelle de 3,5 ‰ ; dans le cas théorique d'absence totale de pluies, l'équilibre de l'étang tendrait à s'établir en salinité à une valeur de 44 ‰.

Variations de la salinité en fonction de la température au cours de l'année (fig. 7).

Si la température annuelle n'a, comme nous venons de le voir, que peu d'influence sur la salinité annuelle, il n'en est pas de même au cours de chaque cycle annuel. La répartition des salinités en fonction des températures mensuelles forme pour chaque année, non une courbe simple, mais un cycle dont le niveau halin moyen est plus ou moins élevé selon les années. L'année la plus « salée » (1975) et la moins « salée » (1977) sont données comme exemple. L'indice de chaque point représente le mois correspondant. Il apparaît que la forme de ces cycles dépend principalement de l'importance et de la répartition des pluies. Par ailleurs, du fait des échanges

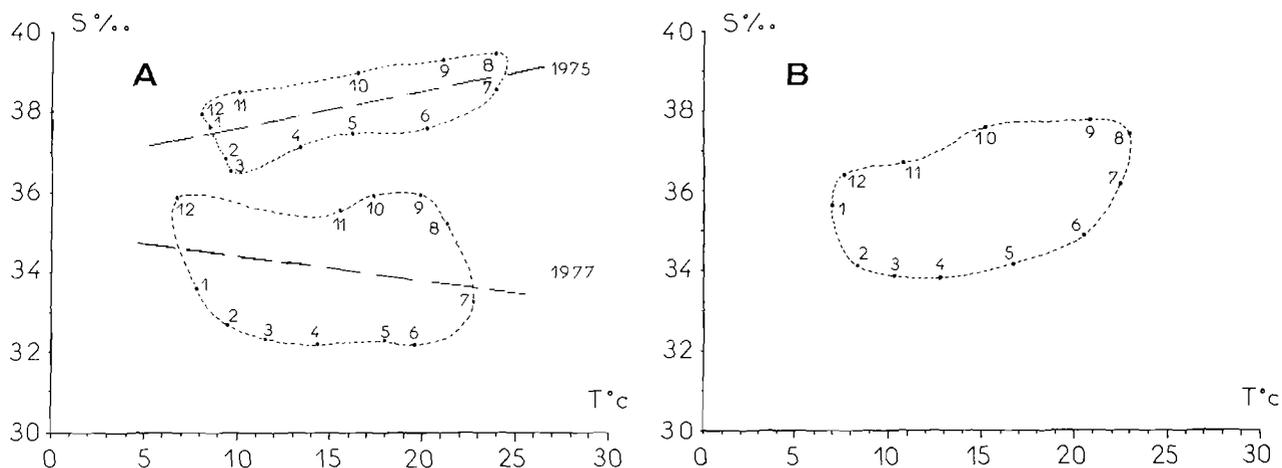


FIG. 7. — Relation entre les températures et les salinités mensuelles moyennes avec indication des mois (A : années 1975 et 1977 ; B : généralisation d'après les données de 1974 à 1980).

avec la mer, notamment au niveau superficiel, un équilibre dynamique se crée qui tend en moyenne à ramener la salinité de l'étang aux environs de 36 ‰ ; c'est pourquoi l'amplitude de la variation haline au cours de l'année entre son minimum et son maximum est d'autant plus grande que la dilution est prononcée (tabl. 1).

Année	Minimum	Mois	Maximum	Mois	Amplitude
1974	31,78	4	37,89	12	6,11
1975	36,56	3	39,49	8	2,93
1976	35,11	4	38,36	9	3,25
1977	32,20	4	35,96	9	3,76
1978	32,39	3	38,58	10	6,19
1979	29,70	2	38,56	9	8,86
1980	33,47	5	38,50	10	5,03

Tableau 1

D'après la relation entre les moyennes mensuelles sur les sept années, on remarque en général que janvier est le mois le plus froid, la dilution hivernale se produit surtout en janvier et février, le minimum halin est atteint en avril, la concentration haline estivale se produit surtout de juin à août, elle atteint son maximum en septembre, le maximum thermique est atteint un mois plus tôt, en août, la dilution automnale est surtout sensible en novembre.

L'examen des données montre par ailleurs qu'au cours d'une même année la pluviométrie ne règle pas seule le niveau de salinité des eaux. Il semble que selon le mode de répartition des pluies au cours du mois, la répercussion sur la salinité mensuelle ne soit pas la même.

3. L'oxygène dissous.

Il convient de souligner que nous abordons ici l'étude d'un paramètre assez particulier à différents égards. L'oxygène de l'eau utilisable, pour assurer la respiration des êtres vivants, se trouve sous forme de dissolution et n'est présent que dans la mesure où existe au contact de cette eau une source dont la pression partielle en oxygène fournit ce gaz (air, photosynthèse) ; mais différents facteurs accélèrent ou intensifient cette dissolution, comme le vent et les brassages d'eau, conduisant souvent à une saturation pouvant provenir aussi de la production d'oxygène au sein même du milieu par les organismes photosynthétiques. Lorsqu'il est exprimé en pourcentage de la saturation (comme ici), il est tenu compte de l'influence de la température et de la salinité de l'eau mais la saturation à laquelle il se réfère demeure théorique et se trouve souvent dépassée en milieu naturel. Il varie quelquefois fortement entre le jour et la nuit du fait de l'interruption de la photosynthèse. Il est consommé par les organismes qui respirent, mais aussi par tous les éléments réducteurs et tout particulièrement lors de la dégradation aérobie des déchets d'origines organiques, cet effet est très sensible en cas de mortalité massive d'éléments planctoniques, d'algues ou d'animaux. Lorsque son taux devient très bas, les dégradations anaérobies conduisent à l'apparition de produits nouveaux dans l'eau dont certains peuvent être toxiques (H₂S). On comprend qu'étant donné la diversité des sites dans l'étang (sonde, population algale, densités animales et dynamique des eaux) ce facteur se révèle comme assez variable aussi bien dans l'espace que dans le temps.

Evolution de l'oxygénation globale aux différentes stations (fig. 8).

Les résultats moyens obtenus sont regroupés pour les quatre zones précédemment définies. Deux remarques sont à faire : premièrement, en toutes zones l'oxygénation des eaux est très bonne pendant la première partie de l'année et plus précisément au cours des cinq premiers mois, elle s'abaisse notablement de juin à octobre ; c'est au cours de cette période que se sont quelquefois produites des désoxygénations suffisamment importantes pour déterminer des mortalités de coquillages ; en second lieu, nous voyons que l'oxygénation moyenne est toujours meilleure en zone 4 qu'en zone 3 et dans cette dernière qu'en zone 2, quant à la zone 1, au confluent de différentes influences, elle marque quelquefois une forte variabilité.

D'après cet aspect général, on peut dire que les risques d'anoxie sont globalement les plus faibles en zone 4, sans pouvoir d'ailleurs en apporter d'explication simple sinon que dans cette zone la surface de contact avec l'air rapportée au volume d'eau sous-jacent est maximale pour le plan d'eau. De plus, nous savons que la plus forte « malaïgue » observée (en 1975) a pris son origine dans les zones profondes en l'absence de renouvellement des eaux. Il faut donc considérer qu'à l'exclusion des petites « malaïgues » côtières dues aux accumulations organiques, de durée et d'importance limitées, les eaux de surface subissent dans l'étang de Thau un renouvellement latéral suffisant pour n'être jamais gravement désoxygénées. Au contraire, dans les zones profondes où, en période de calme, des masses peuvent se trouver « piégées » et recevoir, des couches supérieures, un stock souvent important de matière organique en voie de dégradation, les conditions pouvant conduire à l'anoxie se trouvent réunies.

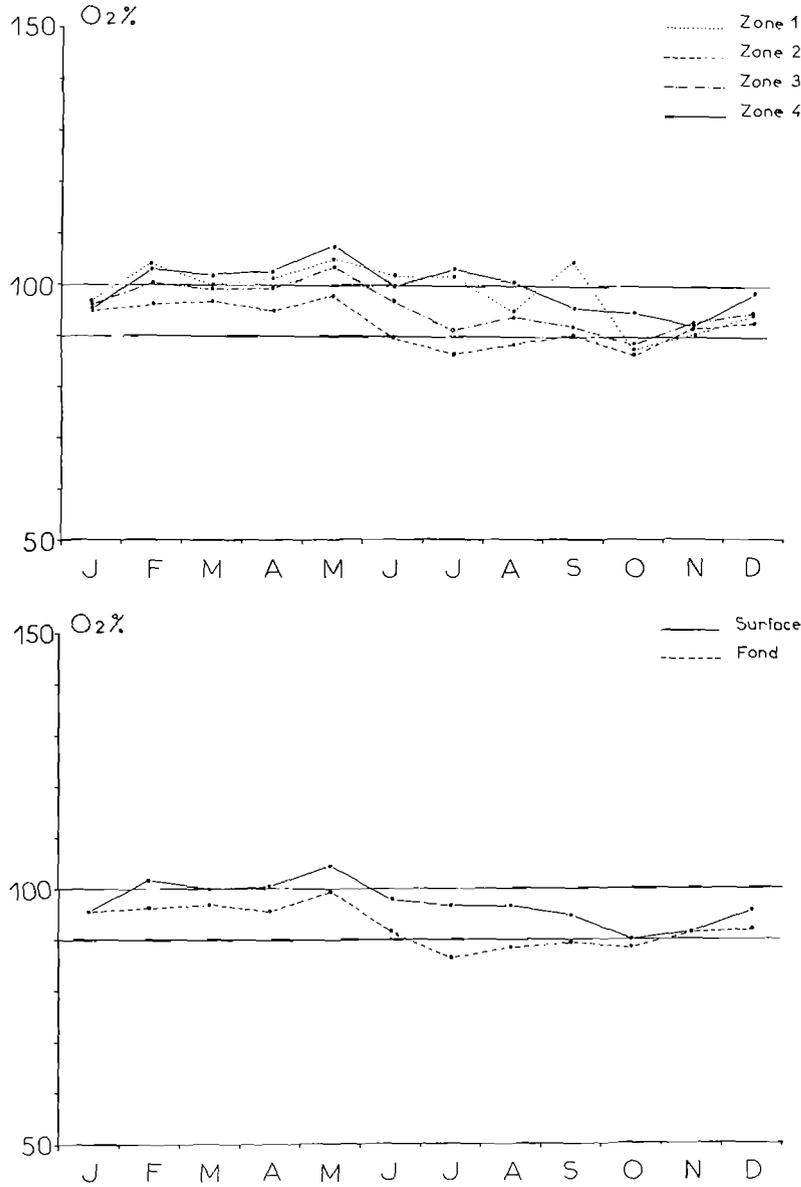


FIG. 8. — Evolution générale du pourcentage d'oxygène dissous au cours de l'année.

Evolution de la teneur en oxygène des eaux de surface et de fond (fig. 8).

L'examen de la figure 8 confirme les remarques précédentes. L'oxygénation de l'eau est toujours meilleure en surface, mais c'est à partir de juin que l'eau de fond marque un net appauvrissement, dont le maximum se révèle souvent en juillet, sous l'effet de la plus forte décanation de cadavres d'animaux et de végétaux. De septembre à novembre, du fait d'échanges verticaux, l'oxygénation des eaux de fond remonte doucement alors que celle des eaux de surface diminue. Un bon niveau d'oxygénation ne sera réinstauré qu'en février après sédimentation et dégradation de la matière organique. Nous voyons qu'en tout état de cause des mortalités de coquillages trouvent leur origine dans l'évolution des eaux de fond et ce sont elles qu'il convient d'étudier plus précisément. D'après les pourcentages d'oxygénation relevés au niveau le plus profond des stations 3, 6 et 9 entre juin et octobre 1975, il apparaît à chaque station des baisses importantes (taux de saturation voisin ou inférieur à 50 %) mais à des dates très différentes, ce qui nous ramène aux remarques précédemment faites sur la complexité de ce facteur : entre juillet et septembre des désoxygénations peuvent se produire sur le fond mais sans simultanéité aux différentes stations et dans un ordre imprévisible dépendant de conditions locales éminemment variables. Remarquons simplement que ces désoxygénations, quand elles surviennent, sont d'autant plus poussées que la sonde est importante pour atteindre l'anoxie totale aux stations 2 et 3, les plus profondes. Les phases de désoxygénation sont le plus souvent de durée assez courte (de quelques heures à quelques jours) et que là encore des conditions très locales et imprévisibles tel qu'un bref coup de vent sont déterminantes.

Dans ces conditions, il n'est pas possible de faire une généralisation sur les moments où peut se produire une malaïgue et dans quelles zones. Ainsi de 1977 à 1980, aucune valeur mensuelle inférieure à 70 % n'a été enregistrée alors que cela a été le cas entre 1974 et 1976. Seule la zone profonde paraît courir le risque d'une anoxie totale représentant un danger pour les cultures de la zone A et du début de la zone B et pouvant se répercuter exceptionnellement jusqu'en surface et atteindre alors la zone C (1975). Il s'agit alors d'eau de fond remontant sous l'effet du vent.

Moyennes annuelles de l'oxygénation.

Les différentes moyennes calculées sont :

Année	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
O ₂ %	88,20	91,86	91,76	98,40	96,87	100,16	99,96

Alors que pour un facteur dont on sait qu'il varie de façon progressive, on peut envisager de corriger les moyennes par la prise en compte d'une valeur interpolée pour remplacer une valeur absente, pour l'examen de l'oxygène et de la plupart des facteurs étudiés dans la suite de ce texte, un tel procédé paraît aléatoire et il faut bien admettre la présence probable d'un certain biais dans les résultats. Nous voyons que ces moyennes diffèrent très peu les unes des autres, mais pouvons être cependant tentés de relever le fait que les trois plus faibles correspondent aux trois années où se sont produites des chutes à moins de 70 % de la saturation. Cependant, c'est en 1975 que l'anoxie fut atteinte alors que la moyenne annuelle n'était pas la plus basse. En conséquence, la moyenne annuelle de ce paramètre ne donne pas de renseignements sur le fait biologiquement le plus important, à savoir si des anoxies quelquefois brèves et localisées mais responsables de mortalités se sont produites ou non.

Paramètres influençant l'oxygénation des eaux.

Nous savons que la saturation de l'eau de mer en oxygène diminue avec l'augmentation de la température et celle de la salinité. Nos observations étant traduites en pourcentage de saturation et de ce fait déglagée de l'influence de la température et de la salinité, il serait aberrant de rechercher des liaisons directes entre ce pourcentage et ces derniers paramètres, aussi bien pour nos moyennes annuelles que mensuelles. Ceci revient à dire que la courbe d'évolution générale (fig. 8) reflète l'influence des autres paramètres : elle est plus élevée pendant la première partie de l'année à la suite de la période de minéralisation hivernale, car le milieu alors eutrophique voit se développer les premières proliférations d'êtres vivants de l'année ; elle s'abaisse ensuite du fait de l'excès du développement organique et des hécatombes planctoniques et végétales qui

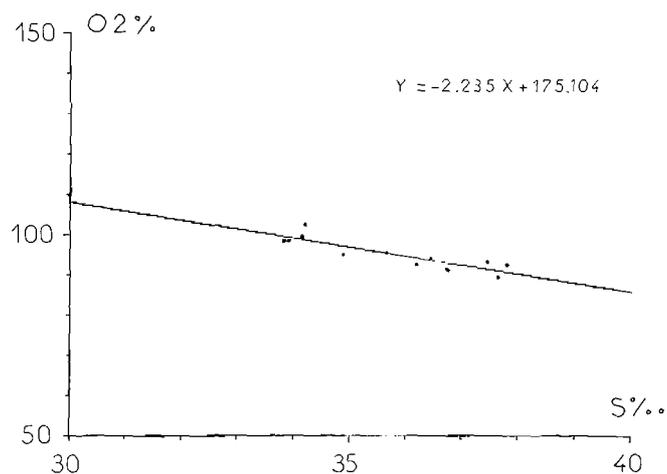


Fig. 9. — Relation entre les moyennes mensuelles de la teneur en oxygène dissous de l'eau et celle de sa salinité.

des valeurs de l'ordre de 7,8 et 8,3. Nous savons déjà qu'il est élevé lorsque le milieu est bien oxygéné et riche en ions OH⁻, alors qu'il s'abaisse dans le cas contraire, avec l'enrichissement relatif de l'eau en gaz carbonique et en matières réductrices.

Evolution du pH global à chaque station.

A quelques particularités près pour les stations 7 et 11 (la station 7 tend à s'inclure à la zone 4), les mêmes regroupements que précédemment se justifient par les ressemblances entre les courbes. En toutes zones le pH est très élevé et généralement supérieur à 8 pendant la première partie de l'année, alors qu'il est inférieur à 8 pendant la seconde (fig. 10). Nous allons voir que ces variations sont à relier avec celles de l'oxygénation de l'eau. En effet, on observe la même gradation entre les zones 2, 3 et 4, cette dernière étant de beaucoup la plus basique de la fin de l'hiver au début de l'automne. Son pH demeure le plus élevé pendant le restant de l'année mais l'écart avec celui des autres zones s'estompe. La basicité de la zone 4 s'explique par le fait qu'elle est peu profonde mais généralement bien oxygénée et eutrophique, et, en même temps, la plus éloignée de la mer. Dans les milieux salés, isolés, de bonnes conditions trophiques conduisent effectivement à l'établissement d'un caractère oxydant et à un accroissement spectaculaire du pH qui se maintient très haut du fait d'absence de l'influence marine.

Evolution du pH des eaux de surface et de fond.

La figure 10 montre que le pH est toujours plus élevé près de la surface qu'aux niveaux inférieurs, ceci du fait de la meilleure oxygénation du niveau superficiel. De plus, de manière tout à fait parallèle à ce qui se produit pour la teneur de l'eau en oxygène (fig. 8), les pH de la surface et du fond ont tendance à s'égaliser du mois d'octobre au mois de janvier, sous l'effet des mélanges verticaux et de la minéralisation progressive de la matière organique qui s'est créée dans l'étang depuis le printemps. Au cours de la « malaïgue » de 1975, on constate, comme pour l'oxygène, aux niveaux les plus profonds de l'étang, que les baisses de pH ne se produisent pas simultanément aux diverses stations, qu'elles sont souvent brèves et surtout qu'elles ont lieu exactement en même temps que les baisses de l'oxygénation. Ainsi le 5 août à la station 3 une anoxie totale s'est produite près du fond et simultanément le plus fort abaissement de pH a été enregistré avec la valeur de 7,20.

Moyennes annuelles du pH.

Comme nous l'avons déjà dit, bien que nos moyennes annuelles puissent être entachées d'une certaine erreur par manque de quelques informations mensuelles, 1975, année de la « malaïgue », et 1976 sont les deux années où les eaux de l'étang ont été en moyenne les moins bien oxygénées et de pH les plus faibles (fig. 11) : à une année où l'eau est bien aérée correspond une moyenne annuelle élevée du pH et inversement. Cette relation est manifeste. Avec les autres paramètres nous ne trouvons aucune relation.

en sont la conséquence. Les coups de vent déterminent occasionnellement de fortes sur-saturations. Des conditions réductrices locales, notamment dans les fonds, impliquent des chutes d'oxygénation pouvant aller jusqu'à l'anoxie. Notons qu'en dépit de ce qui vient d'être dit plus haut, une concomitance des variations globales de la salinité et du pourcentage d'oxygène dissous se manifeste au cours de l'année, les périodes de fortes oxygénations coïncidant avec celles où la salinité est faible et inversement (fig. 9). Il n'y a apparemment pas de liaison entre l'oxygénation et les précipitations.

4. Le pH.

Le pH de l'eau de mer est légèrement basique. Dans l'étang de Thau, il varie entre

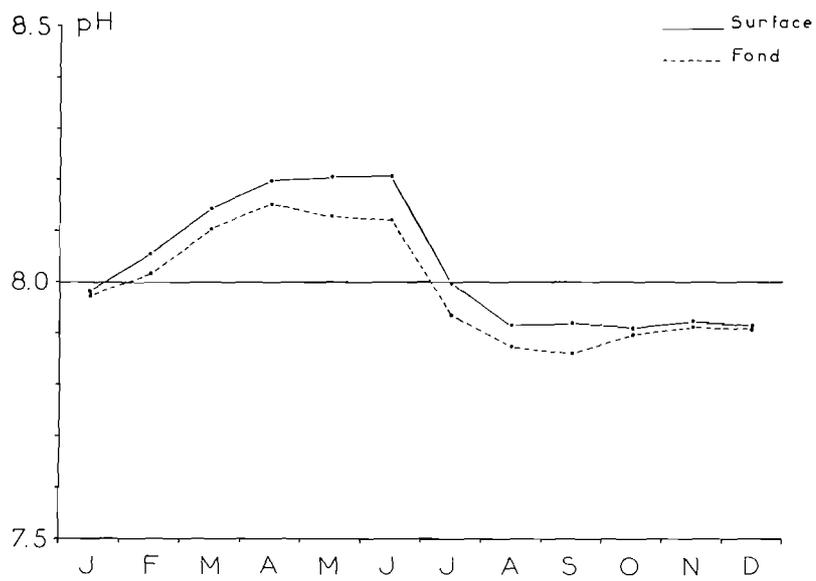
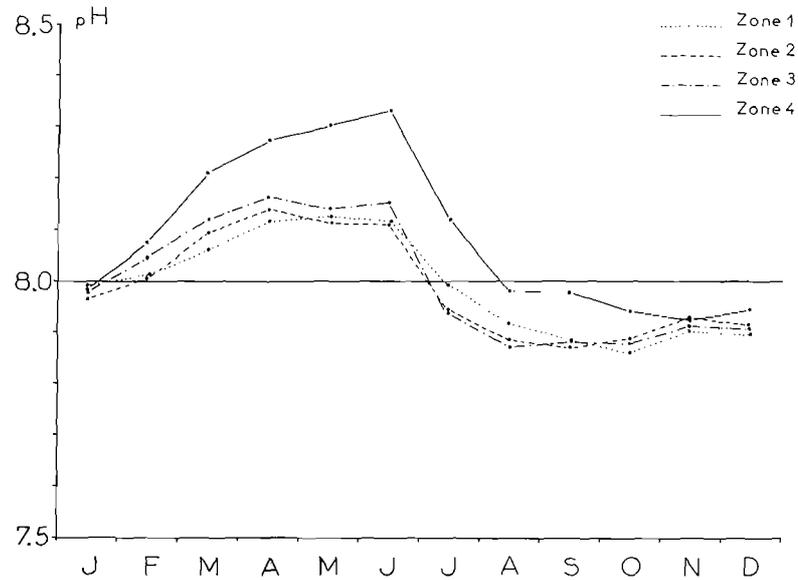


FIG. 10. — Evolution générale du pH de l'eau au cours de l'année.

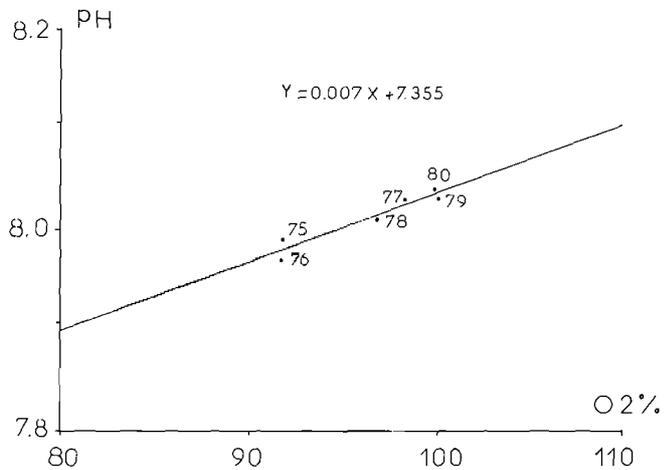


FIG. 11. — Relation entre les moyennes annuelles du pH et celles de l'oxygénation.

Rapport entre le pH et les autres facteurs au cours de l'année.

La température n'est pas en relation simple avec le pH au cours de l'année (fig. 12 A), il forme un cycle : lorsque la température augmente (janvier à août), le pH augmente puis chute brusquement ; quand elle diminue (août à janvier), il se maintient à un niveau bas puis amorce une légère remontée.

Si l'on établit les rapports moyens entre le pH et la salinité, on voit nettement se dessiner une droite de pente négative. Ce cas est intéressant car il est l'exemple d'un résultat pouvant conduire à une erreur d'interprétation si l'on est enclin à penser qu'il existe du fait de cette droite une relation de cause à effet entre les deux facteurs. En réalité cette relation n'est qu'apparente, le pH de l'eau pure est de 7 et de ce fait lorsque la salinité diminue le pH devrait lui aussi diminuer, certainement de manière ralentie du fait du pouvoir tampon de l'eau de mer, mais pour tendre de toute façon vers la valeur 7, or ici la relation est de pente négative. Il faut donc considérer que pour des raisons indépendantes, le pH et la salinité varient sensiblement en raison inverse au cours de l'année, ceci répétons-le, sans relation directe de cause à effet.

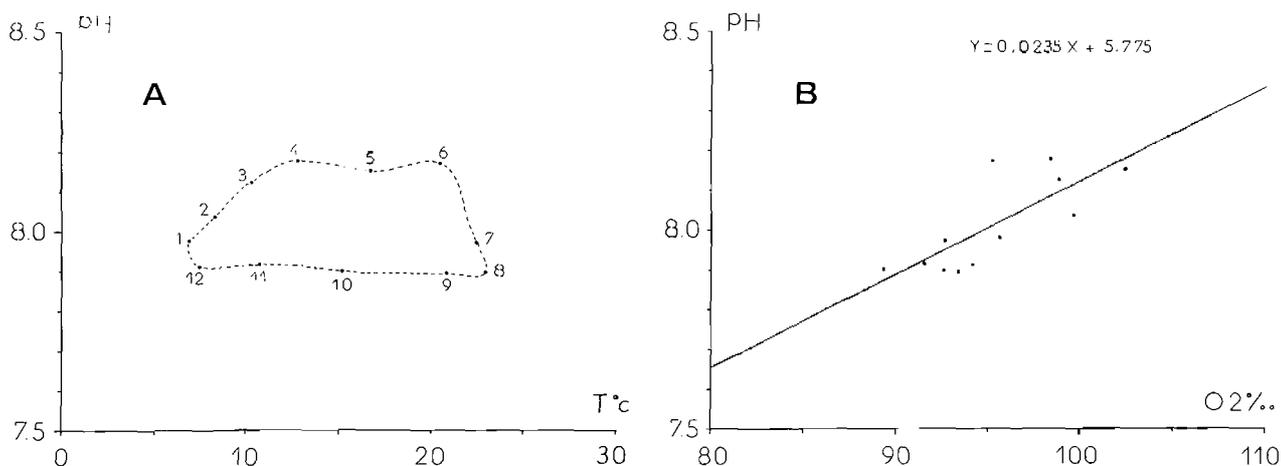


FIG. 12. — Relation entre les moyennes mensuelles du pH et celles de la température (A) et de l'oxygénation (B).

La figure 12 B présente une relation réelle, dont nous avons déjà parlé, entre le pourcentage d'oxygène dissous et le pH. Elle est réelle car nous avons vu qu'elle correspond à des relations physico-chimiques qui relient les deux facteurs entre eux et nous verrons qu'elle est le reflet de causes biologiques (prolifération, respiration et mort d'êtres vivants). En d'autres termes, le niveau d'oxygénation du milieu est partiellement sous la dépendance de l'évolution des êtres vivants de l'eau et la valeur du pH est elle-même fixée par le niveau d'oxygénation. Remarquons qu'il n'y a pas de relation évidente entre le pH et les précipitations.

5. Les phosphates.

L'abondance des sels dits « nutritifs » (du fait de leur rôle dans la photosynthèse) est exprimée en μ atome-gramme/litre de l'élément chimique considéré. Les analyses sont effectuées au moyen d'un autoanalyser II Technicon, selon les méthodes mises au point par TRÉGUER et LE CORRE (1975) pour l'eau de mer.

Evolution globale des phosphates à chaque station (fig. 13).

Comme pour la salinité (c'est-à-dire la teneur de l'eau en tous sels), les phosphates sont, en toutes zones, moins abondants en hiver (février) et atteignent leur plus forte concentration en été (août). Elle montre en outre une nette gradation entre les zones : la zone 1 demeure (à la différence de ce qui s'observe pour la salinité) toute l'année la moins riche ; ceci s'explique par l'influence prépondérante, dans ce secteur, de la mer qui est moins chargée en phosphates (0,2 à 0,9 μ atg/l) que l'étang ; puis cette richesse s'accroît, notamment en été, en passant aux

zones 2, 3 et 4. Dans cette dernière la teneur élevée en phosphates s'explique, au moins en partie, par l'isolement relatif le plus poussé et la plus faible en profondeur moyenne qui favorisent la concentration estivale et surtout renforce l'influence des sédiments sur la tranche d'eau qui les recouvre.

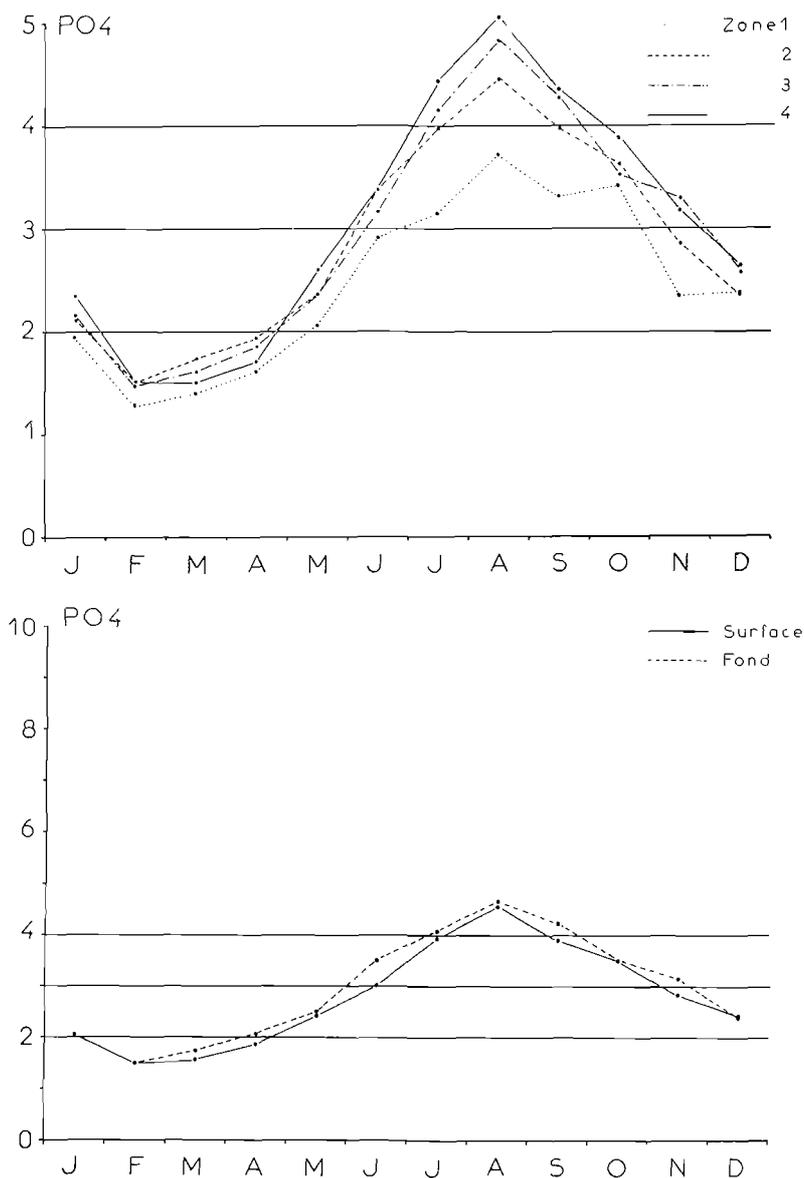


FIG. 13. — Evolution générale de la teneur des eaux en phosphate minéral au cours de l'année.

Evolution des phosphates dans les eaux de surface et de fond.

L'étude de la figure 13 permet de faire différentes constatations : comme pour la salinité, la teneur en phosphates est toujours plus élevée près du fond qu'en surface, ce qui correspond à une stratification normale des sels et sans doute à une libération de phosphates par le sédiment, « régénération » bien établie par PINGREE et PENNYCUICK (1975) qui montrent qu'elle est maximale en été. Mais, alors que pour la salinité l'écart entre les valeurs de surface et de fond varie progressivement au cours de l'année, pour les phosphates cet écart fluctue et se réduit irrégu-

lièrement : il semble qu'un élément de mélange vertical agisse quelquefois sur cet anion. Nos données ne permettent pas d'invoquer la rupture de la thermocline qui représente pourtant souvent un « piège » à sels nutritifs. Par ailleurs, le parallèle fait ci-dessus entre l'évolution des phosphates et celle de la salinité doit être ramené à sa juste valeur. En effet, lorsque la salinité moyenne augmente de 4 ‰ entre son minimum et son maximum cela revient en pourcentage à une augmentation de 12 %, alors que pour les phosphates le pourcentage correspondant est de 210 %. Il est alors clair que le rapport phosphate-salinité est très variable et que même si l'évolution annuelle des deux facteurs a la même allure générale, l'augmentation des phosphates ne s'explique pas par la simple augmentation globale de la salinité. Une « source » de phosphates entre nécessairement en jeu.

On invoque souvent les pluies qui, « lessivant » les terrains à vocation agricole surplombant l'étang, pourraient y amener des engrais chimiques (principalement phosphates et nitrates). Remarquons simplement, sans nier l'existence de cette action généralement reconnue, que si elle est réelle elle n'est cependant pas reflétée par nos résultats, les phosphates étant justement peu abondants en période de pluies. FIALA (1972-73) établit que dans l'étang méditerranéen de Bages-Sigean le sédiment est vingt fois plus riche en phosphates que l'eau et pense qu'il est une des principales sources de cet élément. Nous rejoignons la conclusion de cet auteur d'autant plus volontiers que PINGREE et PENNYCUICK (1975) situent la régénération maximale des phosphates sur les fonds en été et son minimum en février, ce qui s'accorde pleinement avec nos observations. Cette abondance des phosphates dissous en période chaude, alors même que le plancton qui en utilise est lui-même abondant, peut surprendre. Le fait a cependant déjà été relevé dans la région marseillaise par VACELET (1969) qui constate un synchronisme entre les poussées de phytoplancton et les « flèches » de phosphate minéral en période chaude. Cet auteur fournit comme explication les libérations directe et indirecte massives et très rapides en été de phosphore par le phytoplancton et le zooplancton (après la mort). Cette action, alliée à la libération de phosphate par les sédiments, elle-même favorisée indirectement sans doute par la température, nous semble rendre compte de nos résultats. Notons encore que les teneurs moyennes extrêmes en phosphates ont été de 0,46 (1976) et de 8,83 $\mu\text{atg/l}$ (1975). L'examen des teneurs en phosphates sur le fond en été 1975 (malaïque) aux stations 3, 6 et 9 montre que lorsque ces dernières augmentent, les valeurs en oxygène et en pH diminuent et inversement.

Moyennes annuelles des phosphates.

Les moyennes annuelles ($\mu\text{atg/l}$) s'établissent comme suit :

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
4,13	3,77	2,06	3,58	2,66	2,22	1,96

Cette évolution, tout en réitérant les réserves déjà faites, semble indiquer une diminution au cours des sept ans. Une « dépollution » de l'étang de Thau pendant cette période n'a pas été mise en évidence. Si l'on examine les relations entre les valeurs annuelles des phosphates et des facteurs précédemment étudiés, on ne trouve aucun rapport étroit avec la salinité ou l'oxygène. Par contre avec la température, la droite qui se dessine est de pente positive, ce qui s'accorde avec le fait que la chaleur favorise la régénération du phosphore minéral. Avec les précipitations, une droite de pente négative est obtenue, qui semble indiquer que les années pluvieuses n'entraînent pas un enrichissement en phosphates. En résumé, nous constatons que les phosphates ont été plus abondants au cours des années chaudes et peu pluvieuses où le taux d'oxygène a été relativement bas.

Rapport entre les phosphates et les autres facteurs au cours de l'année.

Si l'on recherche des relations entre les moyennes générales mensuelles on trouve les résultats suivants :

Les phosphates forment un cycle par rapport à la température (fig. 14) qui montre, comme déjà mentionné plus haut, que la régénération des phosphates et leur passage du sédiment dans l'eau sont favorisés par la chaleur, agissant sur les processus biochimiques impliqués ; pour simplification, ce cycle, très aplati, peut être ramené à une droite. Les phosphates forment aussi un cycle par rapport à la salinité. La relation linéaire de pente positive qui apparaît n'est, à notre avis, que le reflet d'une concomitance au cours de l'année. Les phosphates ne forment pas un

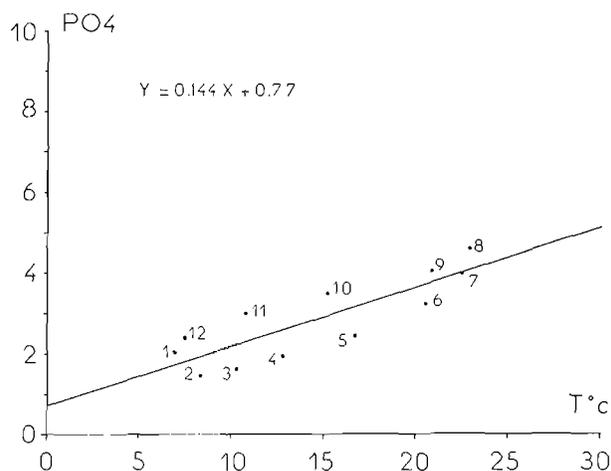


Fig. 14. — Relation entre les moyennes mensuelles de la teneur en phosphate et celle de la température.

cycle régulier par rapport à l'oxygène, la relation linéaire de pente négative mise en évidence n'est qu'une expression du fait que lorsque, en période chaude, le taux d'oxygène baisse (consommation par des êtres vivants ou par des processus de dégradation de la matière organique), les températures élevées déterminent simultanément une production accrue de phosphates par la minéralisation et l'excrétion, l'inverse se produit en période froide, où l'on observe en même temps un taux d'oxygène élevé, une moindre abondance d'êtres vivants et de matière organique et des températures basses responsables directement et indirectement de la faible teneur des eaux en phosphates. Avec le pH, la relation est comme précédemment de pente négative, ce qui est normal, pH et oxygène variant ensemble. Avec les précipitations, cette relation, de faible pente négative,

confirme la conclusion déjà avancée dans l'étude comparative des années : les phosphates ne sont pas plus abondants en période de pluies, c'est même apparemment l'inverse...

6. Les nitrates.

Nous savons que l'azote minéral se trouve en mer sous trois formes toutes absorbables par le phytoplancton. Pour des raisons techniques l'azote de l'ammoniac (NH_4) n'a pas été analysé par le laboratoire, seul celui des nitrates et des nitrites (NO_3 et NO_2) se trouve donc étudié dans ce texte.

Evolution des nitrates à chaque station.

L'examen de la figure 15, qui donne une image sensiblement inverse de celle de l'évolution des phosphates, conduit à faire deux remarques. Les maxima se situent, en toutes zones, non en période chaude comme pour les phosphates mais au contraire en automne et en hiver. Encore à l'inverse des phosphates, la zone la plus riche n'est plus la zone 4 mais la zone 1 et l'on observe un net appauvrissement en nitrates en allant de cette dernière vers les zones 2, 3 puis 4. En effet, alors que l'étang est plus riche en phosphates que la mer, il est moins riche en nitrates que la bordure marine côtière et il faut considérer que ce sont les apports marins qui l'enrichissent périodiquement en azote. Cet effet atteint toute son ampleur à proximité du grau, c'est-à-dire en zone 1. Nous pouvons déjà remarquer que la diminution générale du taux des nitrates correspond, à la différence de ce que nous avons trouvé pour les phosphates, à un aspect classique de la variation des sels nutritifs, à savoir leur utilisation par le phytoplancton et les algues au cours de leur prolifération de printemps et d'été.

Evolution des nitrates dans les eaux de surface et de fond.

A la différence des phosphates, le niveau profond n'est pas régulièrement plus riche en nitrates que le niveau supérieur (fig. 15). Cette constatation tend à renforcer les conclusions déjà avancées : d'une part, la source principale des phosphates dans le cycle annuel se trouve près du fond, dans les sédiments et les différents dépôts ; d'autre part, la source des nitrates est d'origine marine principalement : les eaux côtières qui selon leur densité relative vont pénétrer et enrichir le niveau profond de l'étang (période chaude) ou le niveau supérieur (période froide).

Moyennes annuelles des nitrates.

L'évolution des moyennes annuelles ($\mu\text{atg/l}$) des nitrates est la suivante :

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1,06	1,20	0,56	0,64	0,84	2,16	1,11

Il ne semble pas que l'on puisse déceler sur cette période une tendance quelconque mais seulement constater des variations annuelles apparemment non négligeables. Avec la salinité, la

relation linéaire est de pente négative, elle suggère simplement le fait que, les années de faible salinité, les pluies sont importantes et peuvent amener un peu de nitrates dans l'étang. Avec les précipitations, la relation linéaire est de pente positive et semble confirmer la conclusion précédente, tout en indiquant que la relation entre les deux facteurs n'est pas très étroite car s'y ajoute l'effet des apports de nitrates par le grau.

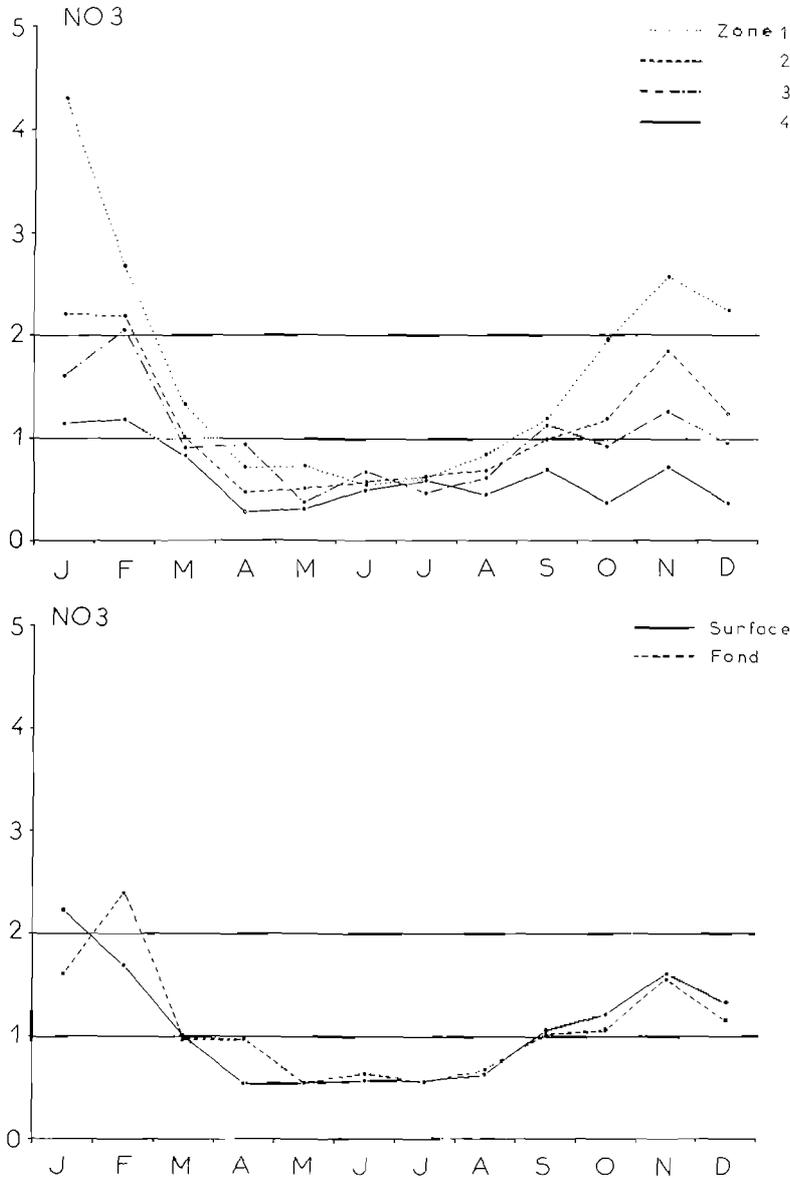


FIG. 15. — Evolution générale de la teneur des eaux en nitrates dissous au cours de l'année.

L'azote est le principal constituant de la matière vivante après le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Il subit apparemment un prélèvement important chaque année du fait de la récolte des coquillages cultivés, de la pêche et de la migration des poissons vers la mer. Il semble ainsi ne pas s'accumuler dans l'étang. Avec les phosphates, aucune relation simple ne se dessine, ces deux éléments évolueraient de façon séparée ; cela se conçoit d'autant mieux s'il se vérifie, comme nous le pensons, que leurs sources sont indépendantes.

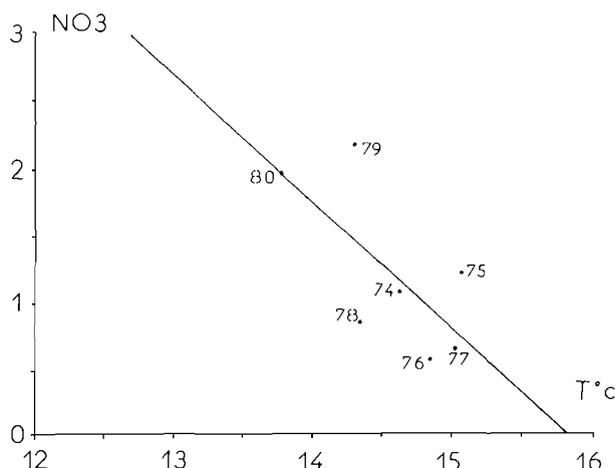


FIG. 16. — Relation entre les moyennes annuelles de la teneur en nitrates et celles de la température.

Une relation positive avec l'oxygène semble indiquer simplement que les années où l'oxygénation est élevée le développement des êtres vivants dans l'étang n'est pas important, d'où une consommation réduite de nitrates et une meilleure reminéralisation de l'azote (comme en 1979). La relation positive avec le pH correspond, comme nous l'avons vu, à la liaison qui existe entre ce facteur et l'oxygène. Avec la température (fig. 16), à notre avis, la relation de pente négative qui apparaît entre les deux facteurs est indirecte : les années où la température moyenne est élevée, les proliférations d'organismes photosynthétiques sont intenses et les prélèvements de nitrates importants sur un stock qui, nous l'avons vu, paraît être limité au sein même de l'étang.

Rapport entre les nitrates et les autres facteurs au cours de l'année.

Avec la salinité et l'oxygène, nous observons l'existence de cycles ; avec le pH, la droite présente comme pour l'oxygène une pente négative, en fait, nous considérons qu'il n'existe pas ici de relation directe et que l'évolution de la matière vivante a, au cours de l'année, des conséquences indépendantes d'une part sur l'oxygène et le pH et d'autre part sur le taux de nitrates. Avec les précipitations, la relation positive suggère qu'au cours de l'année les fortes pluies apportent un peu de nitrates à l'étang, cet effet n'est d'ailleurs sans doute que secondaire car les mois de fortes pluies sont en même temps ceux où la masse des êtres photosynthétiques utilisateurs de nitrates est la plus faible de toute l'année (janvier et octobre).

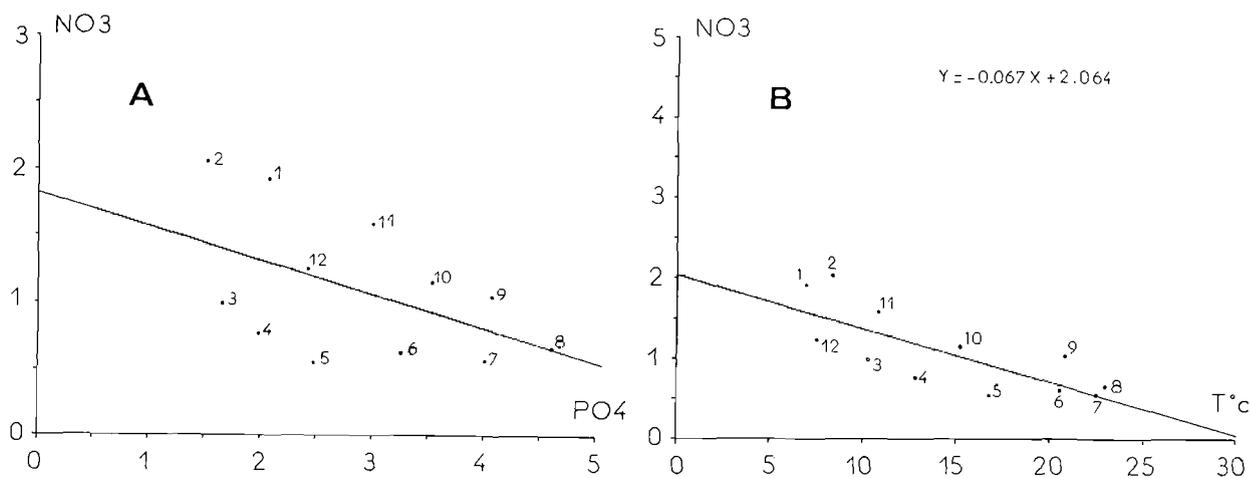


FIG. 17. — Relation entre les moyennes mensuelles de la teneur en nitrates et celles de la teneur en phosphates (A) et de la température (B).

Avec les phosphates (fig. 17 A), la relation négative que nous observons ici est apparente, ces deux facteurs évoluent en fonction de cycles biologiques connus : en période chaude les nitrates, qui paraissent être en quantité limitée, sont consommés par les organismes photosynthétiques, alors que les phosphates deviennent plus abondants du fait même de la température élevée et de ses conséquences physiques et biologiques, comme il a été vu plus haut. En fait, l'abondance des phosphates connaît un temps de retard par rapport à la disparition des nitrates, ce qui semble indiquer que le développement du phytoplancton et des algues débute avant que la tempé-

rature n'ait atteint une valeur suffisante pour suractiver la libération des phosphates à partir du sédiment et du matériel organique décanté ou pélagique. Notons que l'excrétion phosphatée du zooplancton, généralement mentionnée par les auteurs joue peut-être un rôle. La relation est vraisemblablement indirecte avec la température (fig. 17 B), c'est le reflet de l'utilisation des nitrates par les êtres vivants autotrophes qui en moyenne prolifèrent d'autant plus que la température est plus élevée.

7. Les nitrites.

Evolution des nitrites à chaque station.

Les conclusions déjà obtenues pour les nitrates sont vraies pour les nitrites (fig. 18) : la

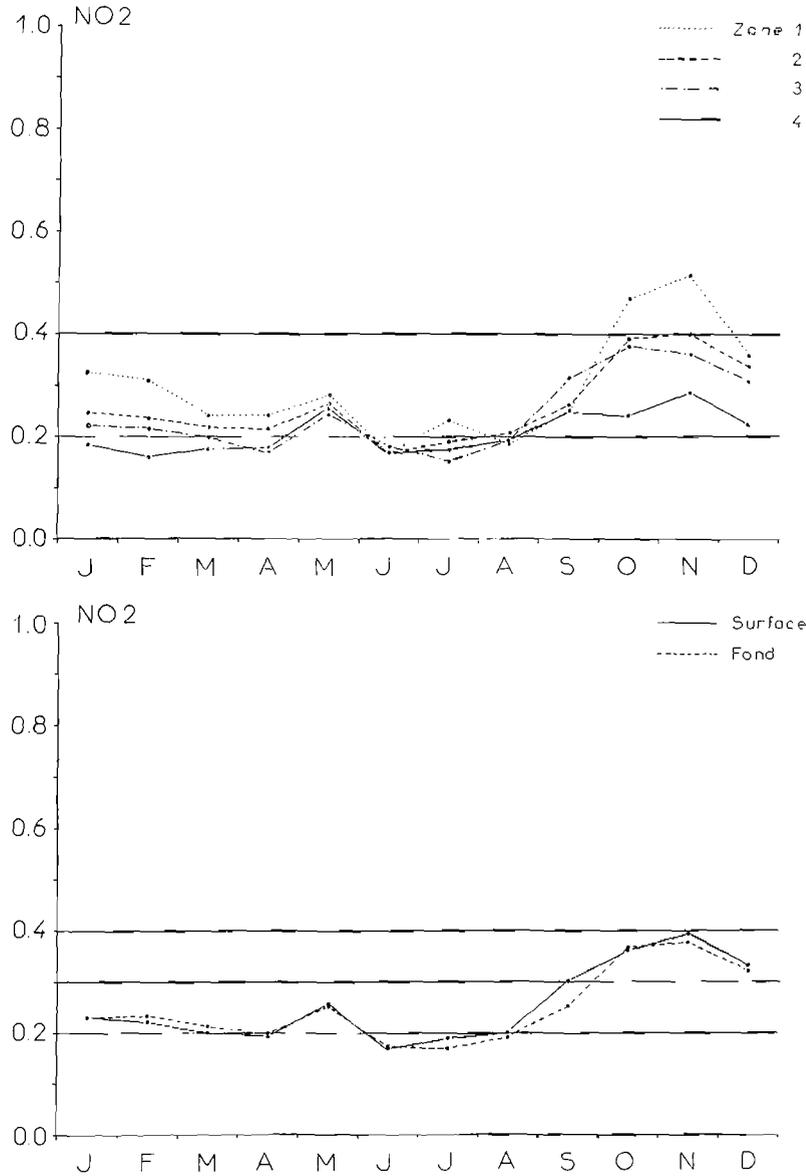


FIG. 18. — Evolution générale de la teneur des eaux en nitrites au cours de l'année.

zone proche de la mer est la plus riche ; les minima se situent pour toutes les zones à des niveaux voisins et, du fait de la consommation d'azote par la photosynthèse, en été. Ici, le maximum d'automne est mieux marqué alors que celui d'hiver disparaît ; ceci tient au fait que la minéralisation des cadavres et des déchets se poursuit en hiver, alors que la photosynthèse est très réduite, ce qui permet aux nitrites de se transformer en nitrates, d'où le « pic » constaté pour ces derniers en début d'année.

Evolution des nitrites dans les eaux de surface et de fond.

Les mêmes observations que pour les nitrates peuvent être faites (fig. 18), notamment en ce qui concerne la faible différence entre les deux niveaux.

Moyennes annuelles en nitrites.

Les moyennes annuelles ($\mu\text{atg/l}$) en nitrites sont :

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0,17	0,24	0,27	0,24	0,25	0,25	0,33

En dépit de la progression des valeurs cette série ne semble pas indiquer d'évolution. Si l'on recherche l'influence possible des différents facteurs sur le taux de nitrites, on remarque que le taux annuel de nitrite n'est lié ni à la salinité moyenne annuelle ni aux précipitations. Avec l'oxygène et le pH, nous trouvons des résultats semblables à ceux mis en évidence pour les nitrates, à savoir des relations positives ; avec les températures (fig. 19 A), la relation linéaire négative trouvée indique que les moyennes annuelles de nitrites évoluent encore une fois de la même façon que celles des nitrates ; avec les nitrates, il n'y a apparemment pas de relation simple : le taux annuel de nitrites ne dépend pas du taux annuel des nitrates mais plutôt de l'évolution biologique du milieu ; avec les phosphates (fig. 19 B), comme avec les nitrates, une droite de pente négative peut être définie. Peut-on avancer comme interprétation que les années où la température est élevée les autotrophes abondent et consomment de façon plus continue nitrates et nitrites en même temps que la régénération des phosphates est plus intense ? Notons que simultanément l'excrétion phosphatée des êtres vivants est plus active.

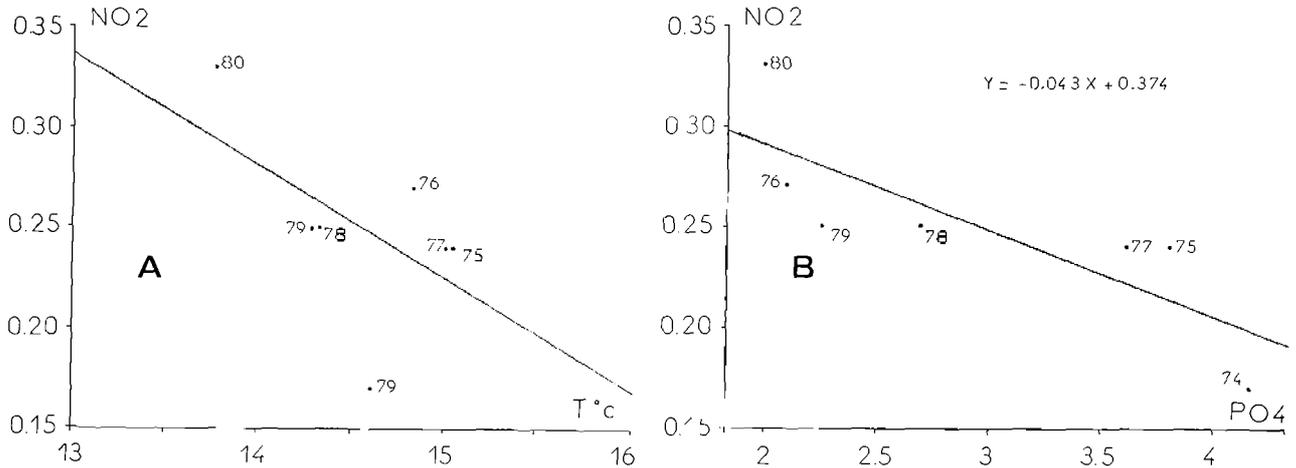


FIG. 19. — Relation entre les moyennes annuelles de la teneur en nitrites et celles de la température (A) et de la teneur en phosphates (B).

Rapport entre les nitrites et les autres facteurs au cours de l'année.

L'examen des corrélations entre les moyennes mensuelles générales conduisent aux observations suivantes : les phosphates forment un cycle par rapport aux nitrites, il n'y a pas de liaison simple. Avec la température, la relation, apparemment de pente négative, suggère les mêmes conclusions que pour les rapports observés entre nitrates et températures. Avec les nitrates, la droite de pente positive (fig. 20) montre que lorsque les nitrates sont peu abondants, les nitrites eux-mêmes consommés par la photosynthèse le sont aussi ; en période hivernale d'abon-

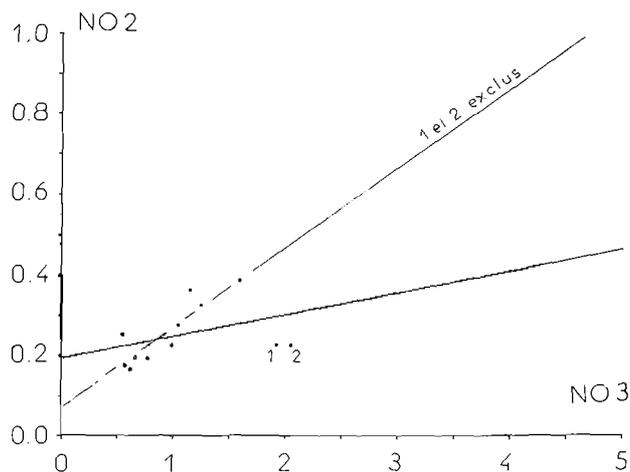


FIG. 20. — Relation entre les moyennes mensuelles de la teneur en nitrites et celles de la teneur en nitrates.

dance des nitrates (janvier-février) la relation n'est plus vraie du fait de l'oxydation des nitrites, remarquons d'ailleurs que si l'on exclue les points correspondants à ces deux mois d'hiver, considérant alors les 10 mois de l'année au cours desquels nitrates et nitrites sont tous deux consommés et produits, la droite est beaucoup mieux définie par les points conservés. De même que pour les nitrates, avec l'oxygène et le pH les relations linéaires sont négatives ; elles semblent cependant être plus étroites, ce qui s'expliquerait par la transformation des nitrites en nitrates d'autant plus poussée que la teneur en oxygène de l'eau et donc le pH sont plus élevés. Avec les précipitations et avec les salinités la relation est positive, comme pour les nitrates. Les pluies apportent une certaine quantité de nitrates et de nitrites. Cependant c'est aux

mois de fortes salinités que correspondent les plus fortes concentrations de ces anions. Il faut donc considérer que, en période chaude, les effets de concentration qui s'exercent sur la salinité générale sont peut-être sensibles sur le taux des nitrites. Une autre interprétation est que nitrites et salinité varient au cours de l'année de façon parallèle pour des causes indépendantes.

8. Les silicates.

Signalons, tout d'abord, que les silicates ne font l'objet d'analyse dans l'étang que depuis 1977 et que les résultats qui les concernent sont donc établis sur un nombre de données moins élevé que pour les autres facteurs.

Evolution des silicates à chaque station (fig. 21).

Pour ce facteur, n'apparaît pas de gradient horizontal bien net de l'entrée au fond de l'étang. Cependant nous voyons que la zone 1 se distingue du restant du bassin par un taux de silicate plus faible, notamment au cours du printemps et de l'été. Il semble ainsi que la source principale des silicates se trouve dans l'étang, vraisemblablement dans les dépôts et les sédiments. Par ailleurs la forme de l'évolution générale est la même en toutes zones.

L'évolution générale des silicates dans l'étang se résume ainsi : les valeurs sont basses pendant la première partie de l'année avec un minimum en mai ; pendant la seconde partie de l'année elles progressent (maximum en octobre) puis chutent. Sachant que les diatomées sont les principales formes de la vie à consommer des silicates pour l'édification de leur test, on peut penser que le taux de ces sels est faible au printemps et au début de l'été car ils sont utilisés par le phytoplancton en voie de développement ; de juillet à octobre le taux augmente fortement pour s'abaisser en fin d'année. Il semble que cette augmentation pourrait s'expliquer par la redissolution des frustules de diatomées, phénomène favorisé par la température et qui l'emporte nettement à la fin de l'été et au début de l'automne sur la consommation de la silice (KAMATANI 1971 in BOUGIS 1974).

Evolution des silicates dans les eaux de surface et de fond.

À toute époque, la teneur en silicates est plus élevée dans les eaux de fond (fig. 21), ce qui renforce l'hypothèse selon laquelle la source des silicates serait le sédiment qui libérerait ces sels en fonction de la demande, c'est-à-dire de la diminution de leur concentration dans l'eau susjacente. En fin d'automne et en hiver, les silicates ne sont presque plus utilisés dans les couches d'eau et leurs concentrations aux deux niveaux tendent à s'égaliser.

Moyennes annuelles des silicates.

Les moyennes annuelles $\mu\text{atg/l}$ calculées sont :

1977	1978	1979	1980
7,54	10,66	10,31	15,76

Une interprétation de cette évolution apparente nous paraît hasardeuse. Les relations entre moyennes annuelles ne peuvent être établies ici que sur quatre points, c'est la raison pour laquelle nous nous bornerons à signaler simplement que d'après ces résultats la moyenne annuelle de la teneur en silicates est élevée en même temps que celles des nitrites et de la salinité et qu'au contraire elle est basse lorsque celles de la température et des phosphates sont élevées.

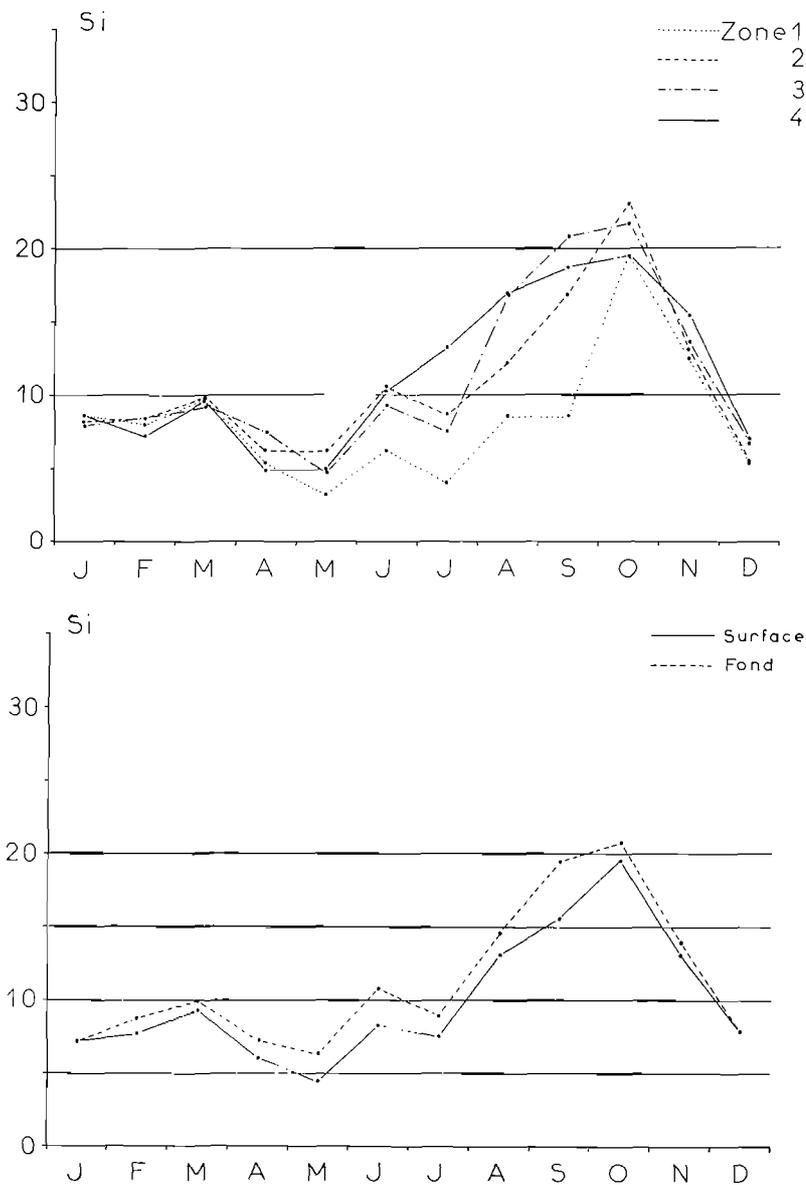


FIG. 21. — Evolution générale de la teneur des eaux en silicates au cours de l'année.

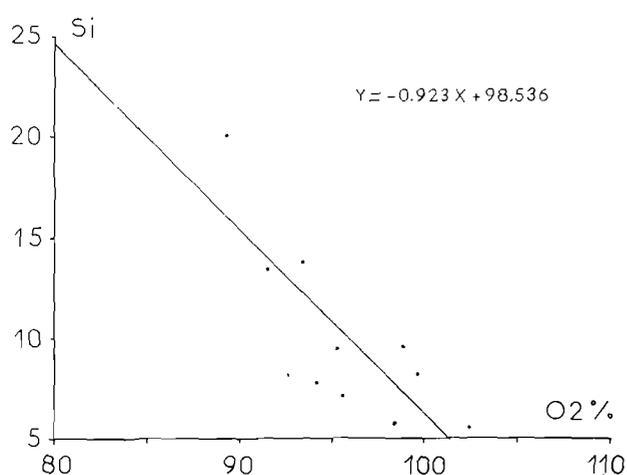


FIG. 22. — Relation entre les moyennes mensuelles de la teneur en silicates et celles de l'oxygénation.

Rapport entre les silicates et les autres facteurs au cours de l'année.

Au cours de l'année le taux mensuel des silicates diminue lorsqu'augmentent celui du pH et de l'oxygène. En effet, nous savons que pH et oxygène sont reliés par une relation directe (fig. 22) ; mais ils subissent aussi, en même temps que les silicates, les effets d'une même cause qui est l'évolution de la matière vivante. Lorsque sous l'effet de cette dernière les silicates atteignent leur minimum, l'oxygène et le pH atteignent leur maximum et inversement maximum des silicates et minima de l'oxygène et du pH coïncident.

L'examen des relations positives qui s'établissent entre les moyennes mensuelles des silicates et celles des nitrates et des précipitations indiquent que les pluies ne représentent pas une source de silicates majeure au cours

de l'année. Avec la température, la relation est cyclique, les températures élevées semblent favoriser la libération des silicates dans le milieu par redissolution des frustules de diatomées (BOUGIS 1974, HÉNARD 1978). Avec les nitrites, on trouve une relation positive, formant d'ailleurs un cycle un peu irrégulier, qui montre que les deux facteurs varient ensemble : ils n'agissent pas l'un sur l'autre, mais simplement les nitrites et les silicates sont libérés aux mêmes époques dans le milieu du fait des mortalités planctoniques, animales et végétales ; leurs concentrations diminuent en même temps dans l'étang, les nitrites s'oxydant en nitrates et les silicates retournant peut-être, au moins en partie, sous une forme de réserve dans le sédiment. En effet, HÉNARD (1978) estime que les sédiments de l'étang de Thau représentent une réserve importante de silice. Avec les phosphates, la relation positive n'indique pas que les deux facteurs soient directement reliés : nous avons vu que les silicates sont abondamment mis en dissolution dans le milieu en même temps que des phosphates du fait de l'activation des processus de minéralisation et de redissolution (juillet à octobre). Avec la salinité, se détermine une droite de pente positive, mais nous ne pensons pas qu'il y ait de relation de cause à effet entre les deux facteurs, il se trouve simplement que, pour des causes indépendantes, l'évolution des silicates et celle des salinités offrent un certain parallélisme, en plus de l'action des êtres vivants sur le taux des silicates dissous, on peut admettre que les mécanismes responsables de l'augmentation de la salinité globale en été agissent notamment sur les silicates.

III. — Relations entre les divers paramètres et le plancton total.

Le plancton n'a été étudié que de façon simple : pêché par traicts horizontaux de subsurface à l'aide d'un filet de 30 cm de diamètre à maille de 65-70 μm , le volume de chaque prélèvement formolé est mesuré après décantation et exprimé en cm^3 pour 2 m^3 d'eau filtrée. Cette méthode est rudimentaire pour différentes raisons : il n'y a pas de détermination systématique d'espèces, la proportion relative du phytoplancton et du zooplancton n'est pas établie, le microplancton et la matière organique particulaire de faible taille ne sont pas retenus par le filet. Nous voyons donc que cet aspect de l'abondance planctonique de l'étang ne saurait être considéré, au moins directement, comme l'abondance alimentaire mise aux différentes époques à la disposition des coquillages qui, nous le savons, sélectionnent les éléments planctoniques de taille et de caractéristiques convenables mais absorbent aussi des éléments particuliers ou dissous non retenus par le filet. Nous avons de plus remarqué que la décantation conduit à une mesure de volume qui, pour un même poids de matériel, varie selon la nature (forme et densité) des

éléments abondants constituant l'échantillon. Au stade de la pêche, de même, différentes circonstances perturbent les résultats : la longueur et la vitesse du traict (ces paramètres peuvent toutefois être assez facilement maîtrisés), le colmatage qui apparaît d'autant plus vite que le plancton est abondant, détermine deux effets perturbateurs : (a) l'effet du refoulement, d'autant plus intense que le colmatage est important, qui entraîne une perte de matériel, et (b) l'effet de tassement des particules contre les parois du filet et dans le collecteur (à la décantation, un volume de plancton « tassé » mécaniquement au moment de la pêche étant indûment identifié au même volume de plancton non tassé d'une autre pêche), l'effet de tassement augmente avec l'abondance planctonique du milieu.

En dépit des différentes remarques précédentes, il n'en demeure pas moins qu'en période de pauvreté planctonique les volumes décantés sont très faibles et inversement très élevés lorsque le plancton est très abondant. Sachant par ailleurs que les proliférations zooplanctoniques suivent de près les multiplications phytoplanctoniques, il n'est pas inintéressant d'établir les rapports entre les moyennes mensuelles d'abondance du plancton global et celles des autres facteurs du milieu

1. Evolution mensuelle du plancton global dans l'étang.

Nous ne fournirons pas les graphiques de l'évolution quantitative du plancton pour chacune des années d'observation car ceux-ci ayant été établis d'après les données de chaque tournée et d'après les moyennes mensuelles calculées on s'aperçoit qu'ils présentent dans chacun des deux cas de grandes similitudes quant à l'aspect général. C'est pourquoi nous n'étudierons en détail que les moyennes mensuelles générales établies sur les sept ans, qui, nous l'avons vu précédemment, offrent un intérêt plus général. Quelques remarques peuvent cependant être faites sur les données de base : en un même lieu, l'abondance planctonique peut varier rapidement, elle peut aller du simple au double en quelques jours (la rapidité de déclenchement d'un « bloom » planctonique aussi bien que celle d'une hécatombe sont connues), mais le déplacement des masses d'eau peut jouer aussi un rôle dans ces variations. Les plus fortes concentrations planctoniques observées ont été de l'ordre de $250 \text{ cm}^3/2 \text{ m}^3$.

2. Evolution mensuelle générale.

On distingue 6 périodes au cours de l'année moyenne, qui se caractérisent comme suit (fig. 23) : pauvre du 1^{er} janvier au 15 mars, faible jusqu'au 1^{er} mai, abondante jusqu'au 1^{er} juillet, très abondante en juillet, abondante jusqu'au 1^{er} octobre, faible jusqu'au 1^{er} janvier. Il convient de remarquer le parallélisme qui existe entre l'engraissement des coquillages et l'abondance du plancton. On peut noter l'augmentation assez progressive de la richesse planctonique de janvier à juillet, le « bloom » de printemps étant à Thau à peine perceptible en avril) et sa chute très rapide entre septembre et octobre.

3. Différences entre les zones A et C.

Le plus souvent un traict de plancton a été effectué vers le milieu de la zone A et un second à la fin de la zone C. Ceci nous permet de constater une certaine différence entre ces deux secteurs. Nous voyons en effet (fig. 23) que le maximum estival se trouve plus prononcé en zone C, mais en dehors de l'été la teneur en plancton y est généralement inférieure à celle observée dans la zone A. Ceci réalise une sorte de compensation montrant que, pour l'ensemble de l'année, l'abondance est semblable dans les deux zones. Cette constatation est à rapprocher de ce qui a été observé sur les coquillages pour lesquels les périodes de croissance ne sont pas les mêmes en zone A et C mais aboutissent en fait à des résultats semblables à la fin du cycle annuel.

Une manière pour comparer l'abondance planctonique des deux zones pour l'ensemble de l'année est de considérer pour chaque année les moyennes des moyennes mensuelles présentées ci-après :

	Zone A	Zone C	Rapport A/C
1974	55,50		
1975	32,27	46,59	0,69
1976	31,86	28,83	1,10
1977	44,20	46,56	0,95
1978	49,32	68,47	0,72
1979	48,72	51,54	0,94
1980	70,91	57,40	1,23
Moyenne	47,54	49,89	0,94

L'examen de ce tableau nous apprend qu'apparemment en 1976 et 1980 la zone A est plus riche que la zone C, le rapport A/C étant alors légèrement supérieur à 1 ; pour d'autres années c'est l'inverse. Mais la moyenne de ces rapports (0,94) est très proche de 1 et au total nous pouvons estimer que l'abondance annuelle est très semblable dans les deux zones. En effet, les moyennes d'abondance annuelle (47,5 et 49,9) peuvent être considérées comme peu différentes ou identiques, si l'on se souvient de toutes les causes d'imprécision de l'échantillonnage citées plus haut.

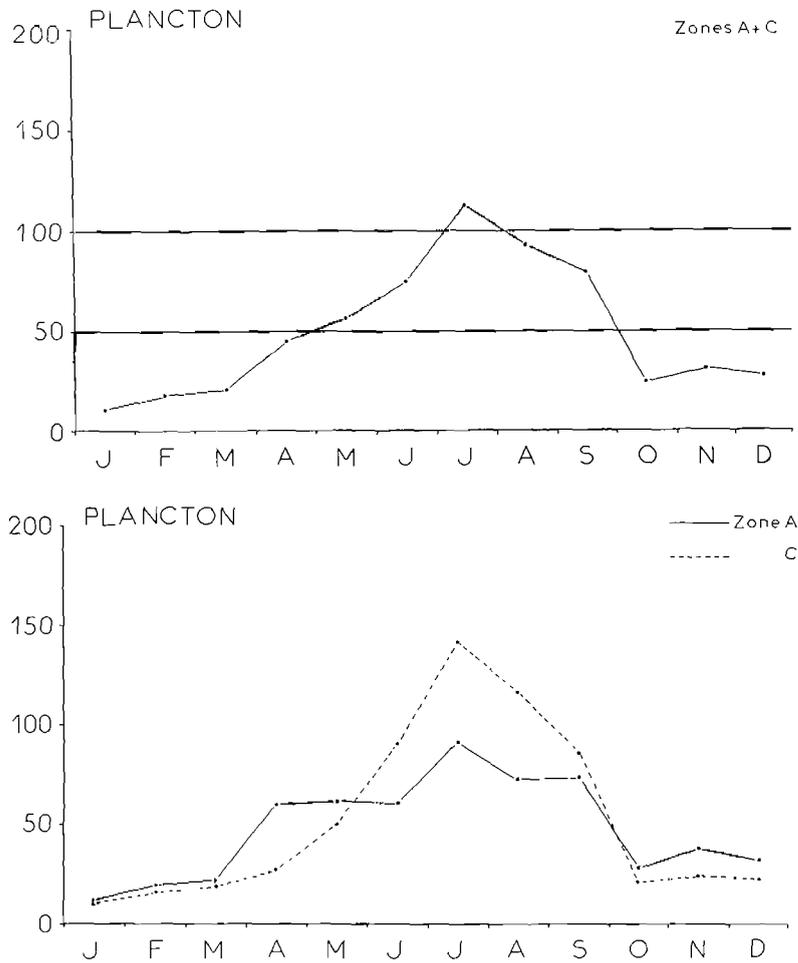


FIG. 23. — Evolution générale de l'abondance du plancton dans l'ensemble des zones prospectées et séparément en zones A et C.

4. Relations entre l'abondance du plancton et les paramètres physico-chimiques au cours de l'année.

Nous avons étudié les différentes relations possibles entre les moyennes mensuelles générales du plancton : en zones A et C par rapport aux moyennes des facteurs physico-chimiques établies sur l'ensemble des stations ; en zone A par rapport aux données de la station 3 et en zone C par rapport aux données de la station 9. Les facteurs qui nous paraissent être de façon évidente en relation avec l'abondance du plancton global sont les suivants.

La température (fig. 24), la relation est manifeste dans les trois cas ; elle montre, comme on pouvait s'y attendre, que ce facteur est le plus important parmi ceux que nous avons étudiés sur le développement planctonique, compte tenu de l'ensoleillement qui lui est lié. La relation est positive, aux températures les plus élevées correspondent les proliférations les plus intenses ; on peut admettre que, dans notre région, pour des moyennes thermiques mensuelles inférieures à 5° C le plancton se trouve en quantité quasiment nulle dans l'eau de l'étang ;

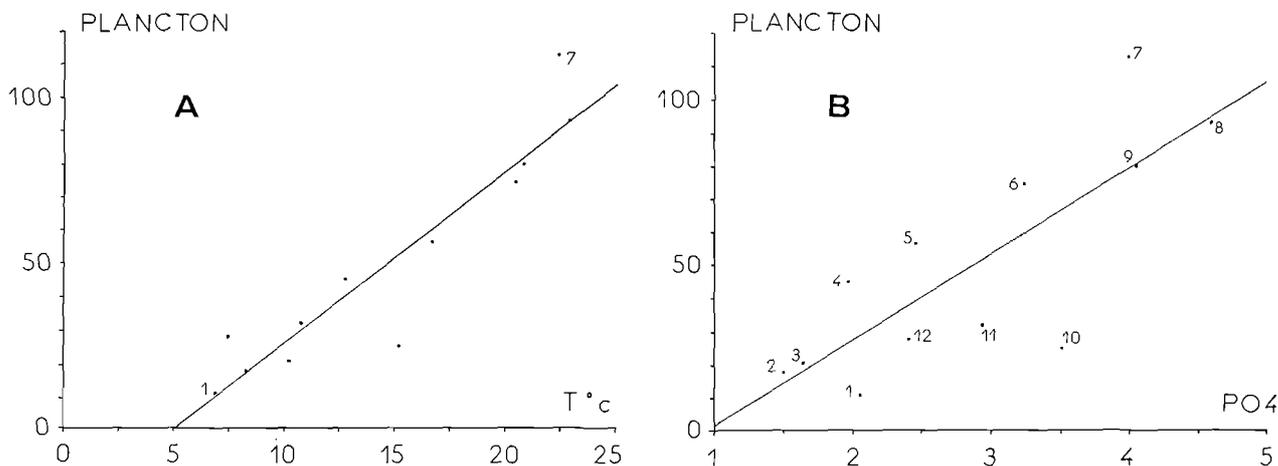


FIG. 24. — Relation entre les moyennes mensuelles de l'abondance du plancton et celles de la température (A), de la teneur en phosphates (B).

Les phosphates (fig. 24), la relation est positive et montre que le phosphate minéral dissous est d'autant plus abondant dans l'eau que le plancton global est abondant ; or le schéma classique est que le phosphate minéral utilisé par le phytoplancton comme un des composants de sa substance disparaît du milieu lorsque ce plancton prolifère. Rappelons d'abord qu'il s'agit ici du plancton total. Nous considérons ensuite qu'il s'agit là d'une relation indirecte, l'abondance du plancton et la richesse en phosphates des eaux étant tous deux en rapport avec la température. Nous avons vu en effet que ce facteur favorise en même temps la minéralisation sous l'effet des microorganismes, vraisemblablement la libération des phosphates en réserve dans les sédiments et de même l'ensemble des multiplications cellulaires. Nous avons évoqué le rôle possible de l'excrétion phosphatée qui va de pair. Il faut admettre que pendant toute la période chaude où la vie aquatique est intense, les phosphates subissent un cycle dans l'eau qui interdit leur retour sous forme de réserve dans les sédiments. Ce retour ne se fera progressivement qu'en automne et en hiver, avec la décroissance de la température, de l'activité des microorganismes et de l'abondance planctonique, période à laquelle il faut noter que beaucoup d'organismes excréteurs de phosphates (poissons) migrent de l'étang vers la mer ;

Les nitrates (fig. 25), cette relation apparaît clairement négative, ce qui veut dire que plus le plancton global est abondant plus ces nitrates se trouvent absorbés par le phytoplancton (et à même époque par les algues) et de ce fait disparaissent du milieu. Lorsque en période chaude ces nitrates sont libérés à l'occasion des différentes mortalités et alimentent les processus de minéralisation, ils ne s'accumulent pas dans l'eau à la différence des phosphates : en effet, en accord avec HÉNARD (1978) qui estime que les blooms phytoplanctoniques sont limités dans l'étang

de Thau par la faiblesse du stock en nitrates, nous pensons que les sédiments de l'étang n'en fournissent pas suffisamment en fonction de la demande biologique comme cela se passe pour les phosphates et que d'autre part, dès qu'il se trouve libéré, l'azote est réutilisé très rapidement par les organismes photosynthétiques présents et directement sous ses trois formes (NO_3 , NO_2 , NH_4). On comprend alors que les nitrates qui paraissent être en quantité limitée dans l'eau disparaissent de celle-ci en fonction de l'abondance planctonique. Il convient enfin de rappeler ici que les nitrates paraissent surtout provenir du secteur marin côtier.

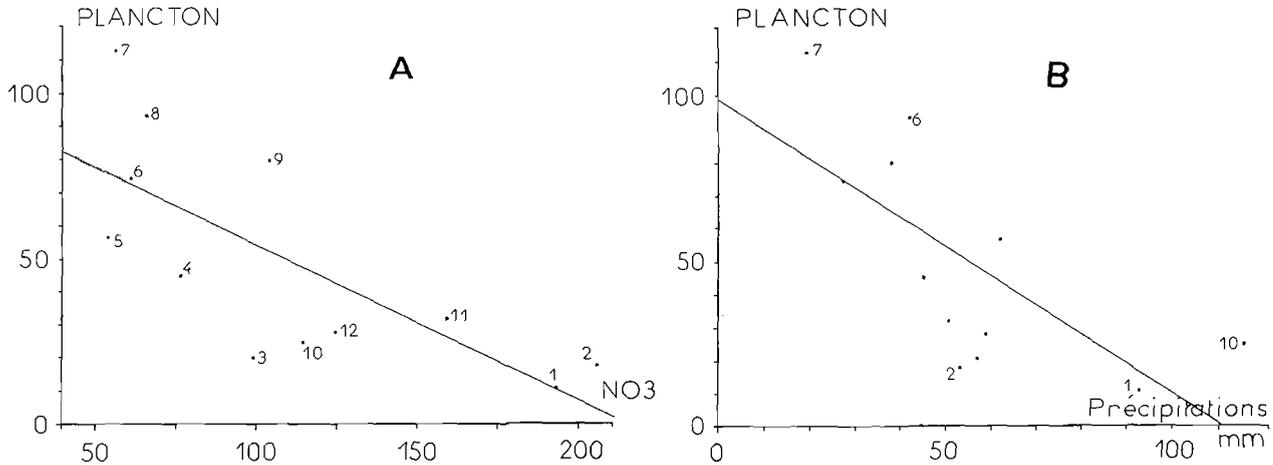


FIG. 25. — Relation entre les moyennes mensuelles de l'abondance du plancton et celles de la teneur en nitrates (A) et des précipitations (B).

La relation est nettement de pente négative avec les précipitations (fig. 25). Nous ne pensons pas qu'il y ait de relation de cause à effet entre les deux paramètres, mais il se trouve que de façon constante les périodes de précipitations importantes coïncident avec celles où le plancton est rare et inversement. L'opinion assez répandue selon laquelle une chute de pluie relance la prolifération planctonique n'est pas infirmé pour autant, mais il apparaît qu'aux fortes précipitations correspond la pauvreté planctonique du milieu.

La relation n'est pas aussi nette avec les nitrites qu'avec les nitrates, car il s'agit de produits intermédiaires de la nitrification ; ils se trouvent en quantité d'ailleurs beaucoup plus faible que les nitrates. Mais on note que comme pour ces derniers, la relation est négative.

Avec la salinité (fig. 26), la relation constitue un cycle qu'il est bon de présenter pour

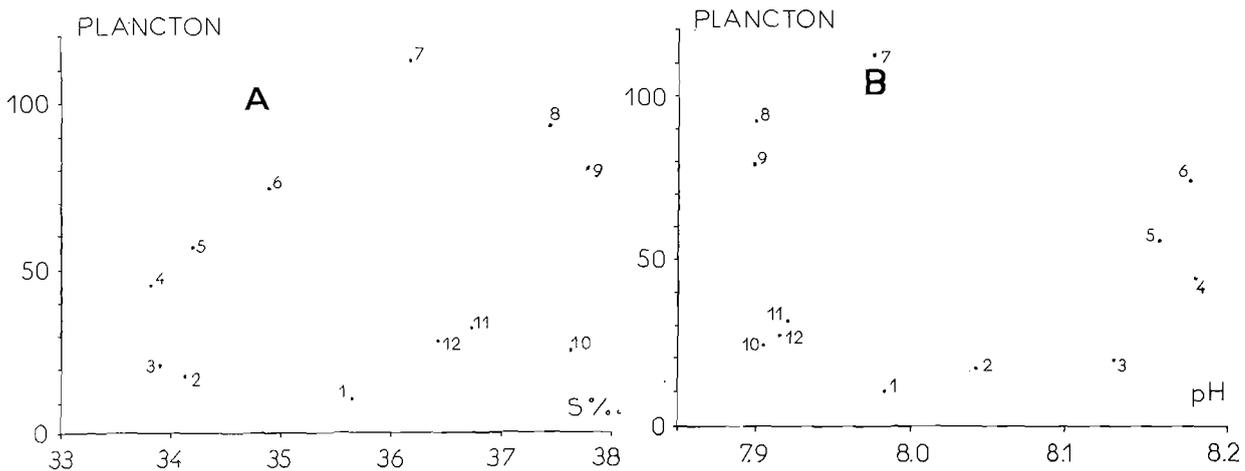


FIG. 26. — Relation entre les moyennes mensuelles de l'abondance du plancton et celles de la salinité (A) et du pH (B).

l'intérêt de sa lecture : par exemple les caractéristiques « planctonohalines » des mois de juillet, octobre ou mars, y apparaissent clairement. Nous ne voyons pas entre ces deux facteurs de relation de cause à effet. Avec l'oxygène dissous le cycle est très irrégulier. Il est beaucoup mieux marqué avec le pH (fig. 26) qui varie de manière plus régulière par rapport à l'abondance planctonique : quand le plancton augmente de l'hiver à l'été et diminue de l'été à l'hiver, le pH progresse de l'automne au printemps et diminue du printemps à l'automne ; on remarque un déphasage entre les variations des deux facteurs. On ne trouve ni relation simple ni cycle avec les silicates, la mobilisation des silicates par les diatomées pour constituer leur test est peut-être ici masquée par le fait que nos résultats concernent le plancton global.

IV. — Variations du niveau des eaux et visibilité.

Les données ont été obtenues par sondage et appréciation à 10 cm près au disque de SECCHI entre 1974 et 1977 aux stations 1 à 11 (2 730 mesures).

1. Variations du niveau de l'étang.

La figure 27 représente les sondes moyennes, minimales et maximales mesurées aux différentes stations rangées dans l'ordre des profondeurs croissantes. La droite joignant les points figurant

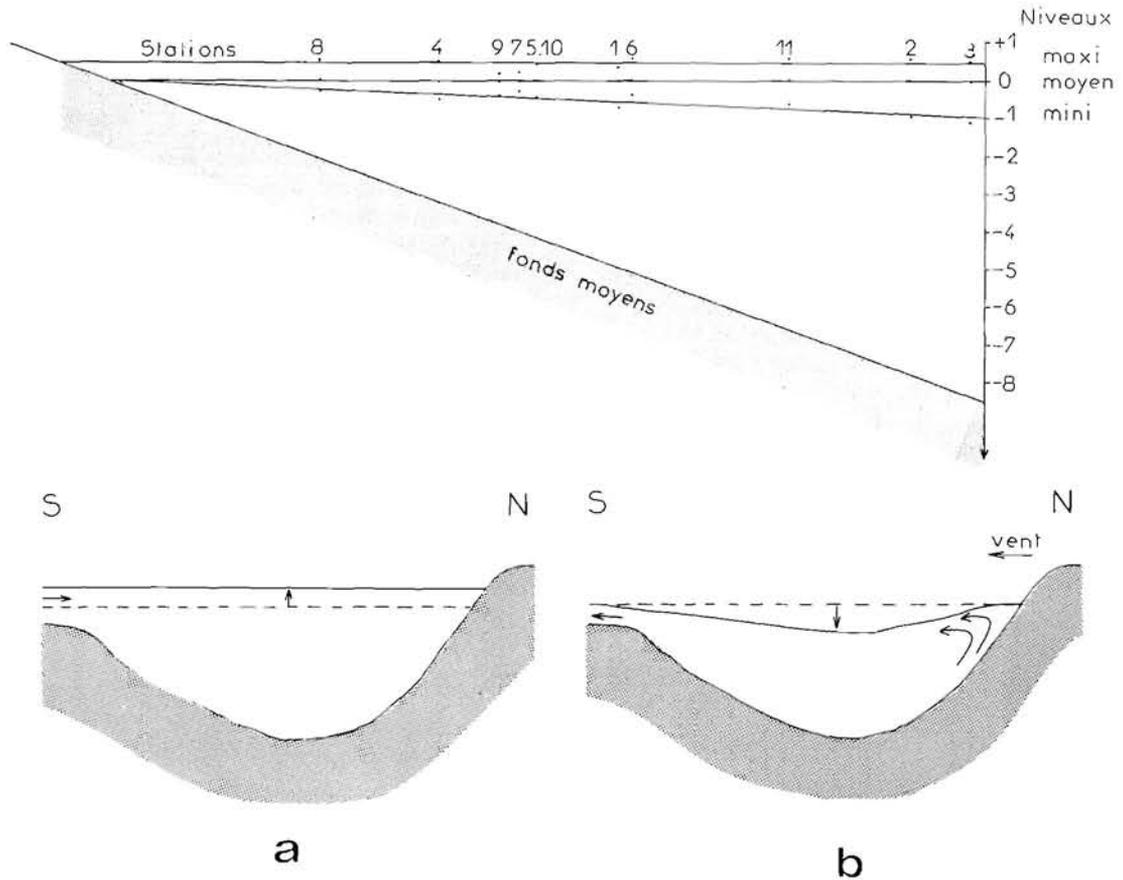


FIG. 27. — Amplitude de la variation du niveau de l'étang aux différentes stations et coupe schématique nord-sud de l'étang montrant la forme de la surface des eaux par vent de sud (a) et de nord (b) par rapport au niveau moyen (tiretets).

les sondes maximales est sensiblement parallèle à celle des sondes moyennes, alors que celle des sondes minimales s'écarte progressivement des deux précédentes.

L'interprétation de ces données nous paraît être la suivante. Quand le niveau de l'étang monte, par apport d'eau de la mer vers l'étang (sous l'influence du vent de SE, de l'interruption de la tramontane ou du jeu des pressions atmosphériques entre la terre et la mer), cela se produit de façon à peu près égale à toutes les stations (figure 27 a). Il s'agit d'un mouvement de remplissage relativement lent, étant limité par le débit des canaux de Sète. Son amplitude atteint fréquemment 50 cm au-dessus du niveau moyen. Au contraire, quand le niveau de l'étang s'abaisse (figure 27 b), ce qui se produit principalement par temps de tramontane, cette baisse est d'autant plus marquée que la station est plus profonde; elle est fréquemment de l'ordre de 50 cm par rapport au niveau moyen au-dessus des fonds de 4 m pour atteindre plus de 100 cm au-dessus des fonds de 9 m. A la faveur de ce mouvement un upwelling se forme le long de la côte nord de l'étang, expliquant le maintien ou le très faible abaissement du niveau sur cette bordure. Ce mouvement de remontée côtière rend d'ailleurs compte du mode de progression de la « malaïgue » qui, en 1975, s'est propagée du « fond » en direction de la côte sous l'effet de ce mécanisme. Dans cette répartition des eaux l'effet est rapide, le débit des canaux de Sète vers la mer n'intervenant plus de façon immédiate comme au premier cas. Mais il est certain que dans le sud de l'étang, où nous ne disposons d'aucune station, la configuration change et que le niveau remonte, les eaux se massant sous l'effet du vent contre la côte méridionale. Les variations du niveau de l'étang peuvent avoir des conséquences biologiques, dans une région exempte de marée où nous avons cependant noté un écart de plus de 1,50 m entre les niveaux le plus haut et le plus bas (station 3).

2. Variations de la visibilité.

La visibilité a été appréciée par la disparition à la vue du disque de SECCHI. La figure 28 représente la variation de visibilité moyenne à chaque station en fonction des sondes croissantes de ces stations. La visibilité moyenne atteint sensiblement le fond (à 10 ou 20 cm près) des stations les plus côtières jusqu'aux fonds de 4 m; autrement dit jusqu'à cette profondeur on aperçoit généralement le fond. Au-delà, entre 4 et 9 m de sonde on ne le voit plus, cependant la visibilité augmente progressivement, à raison de 25 cm/m. Des différentes hypothèses que l'on peut envisager pour expliquer ces constatations, nous retiendrons la suivante: par temps moyen,

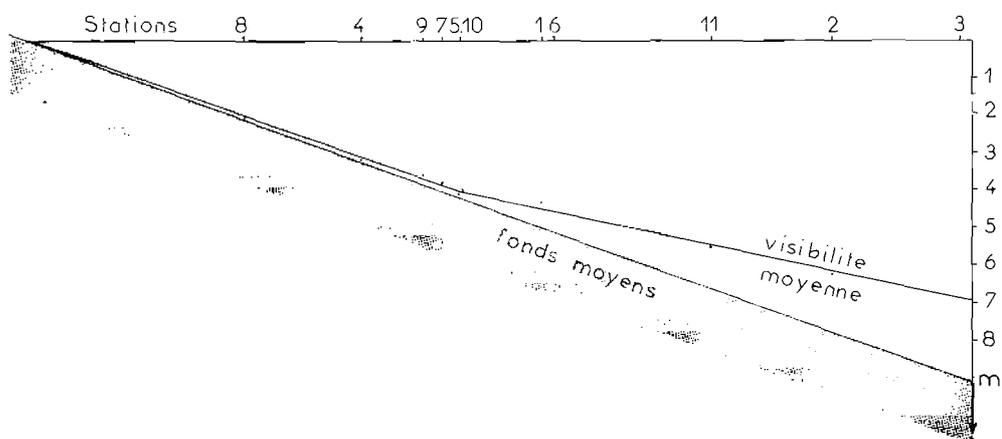


Fig. 28. — Visibilité moyenne dans l'étang aux différentes stations.

la visibilité est supérieure au large, au-dessus des sondes importantes, alors qu'elle n'excède généralement pas 4 à 5 m dans la zone conchylicole qui se trouve être côtière. Une double action explique cette situation: d'une part, la moindre agitation crée une mise en suspension de particules sédimentaires et détritiques d'autant plus marquée que l'on se trouve près de la côte et,

d'autre part, l'activité des mollusques dans la zone conchylicole conduit à la présence dans l'eau de grandes quantités de fécès et de pseudo-fécès. La diminution de la densité planctonique dans les zones conchylicoles du fait de l'alimentation des coquillages par rapport à cette densité au large est sans doute un phénomène réel mais qui se trouve masqué. L'agitation côtière peut réduire la visibilité à quelques décimètres par temps de vent, alors que l'on observe une certaine transparence au large. Quelques mesures néphélométriques confirment que la turbidité moyenne au fond, et encore plus en surface, diminue avec la sonde en moyenne de 0,1 ntu/2m (moyennes extrêmes 0,65 et 1,02). Nos observations sur les fréquences des différents types de temps se résument ainsi : vents de N et NW, 61 % ; vents de SE et S, 28 % ; calmes, 11 %. Ces résultats recourent les données statistiques du service hydrographique.

Conclusion.

L'exploitation des données hydrologiques recueillies sur l'étang de Thau de 1974 à 1980 met en évidence les variations les plus moyennes des différents paramètres ainsi que les relations les plus générales qui existent entre eux, elle s'est avérée fructueuse par les schématisations obtenues. Compte tenu de cette schématisation la fiabilité de ces résultats peut être considérée comme excellente si l'on note qu'ils sont établis à partir de quelques 18 000 mesures ou analyses réalisées par le laboratoire de Biologie conchylicole. Sans reprendre les conclusions auxquelles nous avons abouti au cours de cette étude, il convient de souligner quelques constatations qui nécessiteront un développement ultérieur :

L'influence prépondérante de la température qui agit directement ou indirectement sur l'ensemble des paramètres physicochimiques, sur l'activité bactérienne minéralisatrice et en dernier sur l'évolution des cultures, des gisements naturels et des poissons.

L'existence très générale entre les canaux de Sète et l'extrémité de l'étang de gradients, qui sont inversés pour les phosphates et les nitrates, ce qui nécessitera de préciser les caractéristiques des eaux du secteur sétois par rapport au domaine marin pur.

L'influence apparemment très importante des sédiments en tant que réserve de sels nutritifs (phosphates et silicates), les mécanismes d'échange entre le fond et l'eau méritant d'être l'objet d'une étude approfondie.

Une pauvreté relative des eaux de l'étang en nitrates qui, entrant pour une part non négligeable dans la constitution de la matière organique élaborée, subissent chaque année un prélèvement important. L'origine de ces nitrates qui, pour certains auteurs, pourraient jouer un rôle de facteur limitant et pourraient provenir du secteur marin de Sète, reste à préciser.

L'interaction complexe d'un grand nombre de paramètres dont la conjugaison conduit à l'établissement de circonstances particulières à une époque donnée (par exemple la température seule ne rend pas compte de la malaïgue de 1975, mais a contribué à son avènement en se conjuguant avec la libération des sels nutritifs, l'intense synthèse organique, l'absence de vent, etc.).

La nécessité de conduire une recherche permet de mesurer la richesse alimentaire des eaux pour les cultures de coquillages dont l'importance économique est majeure à Thau. En effet, même si plusieurs relations sont établies entre l'abondance globale du plancton et les facteurs du milieu et qu'un certain rapport se fasse aussi avec la croissance moyenne des mollusques, l'analyse demande à être plus poussée si l'on veut apprécier la potentialité nutritive réelle des eaux et expliquer les inflexions qui s'observent sur les courbes de croissance au cours de l'année. Ainsi ce travail de base fournit déjà un certain nombre de remarques générales sur les rapports qui existent entre les phénomènes biologiques et les facteurs du milieu. Par sa généralité il peut servir à orienter une étude plus précise de ces rapports ou être utilisé par les chercheurs disposant d'autres données biologiques relatives à l'étang de Thau.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD (P.), HAMON (P.-Y.) et TOURNIER (H.), 1979. — Croissance des moules *Mytilus galloprovincialis* Lmk dans les différentes zones de l'étang de Thau. — *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **25-26** (3).
- AUDOUIN (J.), 1962. — Hydrologie de l'étang de Thau. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **26** (1) : 5-100.
- BOUGIS (P.), 1974. — Ecologie du plancton marin. — Paris : Masson et C^e, 2 volumes.
- FIALA (M.), 1973. — Etude physicochimique des eaux et sédiments de l'étang de Bages-Sigean. — *Vie et Milieu*, **23** (1B).
- GUILCHER (A.), 1965. — Précis d'hydrologie marine et continentale. — Paris : Masson et C^e.
- HAMON (P.-Y.), TOURNIER (H.) et ARNAUD (P.), 1979. — Cycles annuels de quelques paramètres physico-chimiques de l'étang de Thau. — *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **25-26** (3).
- HÉNARD (D.), 1978. — Production primaire d'une lagune méditerranéenne. Etang de Thau (Hérault), année 1976. — Thèse U.S.T.L. Montpellier.
- MARIFIL (L.) et coll., 1974. — La conchyliculture française (1^{re} partie). Le milieu naturel et ses variations. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **38** (3) : 219-337.
- 1976. — La conchyliculture française (2^e partie). Biologie de l'huître et de la moule. — *Ibid.*, **40** (2) : 149-346.
- PERES (J.-M.), 1961. — Océanographie biologique et biologie marine (2 tomes). Paris : Presses universitaires de France.
- PINGREE et PENNYCUICK, 1975. — Transfer of heat, fresh water and nutrients through the seasonal thermocline. — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **55**, 261-274.
- TOURNIER (H.), 1969. — Hydrologie saisonnière du Golfe du Lion (travaux de l' "Ichthys", 1966-1967. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **33** (3).
- TOURNIER (H.), HAMON (P.-Y.) et ARNAUD (P.), 1979. — Développement de la « malaïque » en 1975 dans l'étang de Thau. — *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **25-26** (3).
- TRÉGUER (P.), LE CORRE (P.), 1975. — Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'auto-analyser II Technicon R). — Brest : U.B.O., Laboratoire d'Océanographie chimique, 2^e édition. — 110 p.
- VACHELLET (E.), 1969. — Populations, bactéries, plancton dans les cycles du phosphore et de l'azote. — *Tethys*, **1** (1).

ANNEXE (voir page suivante)

ANNEXE

Valeurs mensuelles moyennes des différents paramètres, pour chaque année, et valeurs moyennes mensuelles générales établies sur la période 1974-1980.

1974

MOIS	ToC	%.	%O2	pH	P04	NO3	NO2	SiO2	Pluies	Planct
1.00	8.55	36.38	93.75	#####	4.58	2.39	0.15	#####	36.90	5.09
2.00	8.69	35.28	86.31	#####	2.98	1.84	0.24	#####	118.40	15.26
3.00	10.06	33.18	93.50	#####	2.85	1.27	0.18	#####	126.30	15.26
4.00	13.81	31.78	84.33	#####	3.61	0.72	0.17	#####	72.50	29.60
5.00	16.75	32.79	102.00	#####	3.64	0.49	0.06	#####	27.00	63.27
6.00	20.63	34.58	83.75	#####	5.17	0.40	0.04	#####	15.80	93.89
7.00	22.41	35.95	90.53	#####	5.88	0.78	0.06	#####	21.20	107.30
8.00	22.67	37.19	85.67	#####	5.92	0.40	0.06	#####	70.50	122.56
9.00	20.04	37.17	76.28	#####	5.15	0.70	0.31	#####	60.20	96.20
10.00	12.88	37.39	84.67	#####	4.45	1.62	0.38	#####	10.50	25.90
11.00	10.31	37.66	86.78	#####	2.80	1.08	0.24	#####	12.10	41.70
12.00	8.45	37.89	91.78	#####	2.48	1.01	0.19	#####	0.80	50.00

1975

MOIS	ToC	%.	%O2	pH	P04	NO3	NO2	SiO2	Pluies	Planct
1.00	8.49	37.65	94.00	#####	2.81	1.64	0.18	#####	91.52	12.95
2.00	9.30	36.87	103.08	#####	1.88	0.89	0.03	#####	52.70	14.80
3.00	9.57	36.56	94.21	#####	2.05	0.83	0.10	#####	56.34	16.88
4.00	13.39	37.14	100.03	8.18	2.17	0.41	0.08	#####	44.40	18.04
5.00	16.15	37.49	98.46	8.18	2.83	0.43	0.63	#####	61.16	26.52
6.00	20.22	37.64	95.11	8.13	4.00	0.72	0.04	#####	27.20	86.64
7.00	23.93	38.61	83.34	7.90	5.84	0.87	0.13	#####	19.17	107.92
8.00	23.87	39.49	88.63	7.84	7.92	1.04	0.20	#####	41.66	50.88
9.00	21.04	39.32	79.93	7.91	7.22	0.86	0.26	#####	37.62	33.30
10.00	16.42	39.02	86.38	7.84	4.81	1.89	0.27	#####	114.37	34.04
11.00	10.08	38.53	87.65	7.88	2.84	1.72	0.51	#####	50.06	27.76
12.00	8.05	37.96	91.56	7.90	1.68	3.11	0.43	#####	58.23	44.36

1976

MOIS	ToC	%.	%O2	pH	P04	NO3	NO2	SiO2	Pluies	Planct
1.00	5.88	36.92	97.68	8.16	0.71	0.35	0.11	#####	22.40	12.11
2.00	7.41	36.38	98.00	8.03	0.66	0.46	0.21	#####	62.80	14.34
3.00	10.77	35.35	103.28	8.12	0.81	0.09	0.22	#####	39.30	32.56
4.00	13.80	35.11	100.62	8.21	1.44	0.15	0.33	#####	67.80	18.73
5.00	17.11	35.44	98.17	8.17	2.03	0.33	0.21	#####	39.80	13.18
6.00	22.48	36.29	89.70	8.01	3.11	0.21	0.28	#####	6.40	22.43
7.00	24.53	37.42	76.83	7.72	4.88	0.28	0.18	#####	25.20	55.81
8.00	23.16	38.34	91.54	7.82	4.00	0.14	0.10	#####	32.90	87.42
9.00	19.13	38.36	79.56	7.79	1.88	0.11	0.16	#####	60.60	41.63
10.00	16.60	37.53	86.42	7.87	2.41	1.19	0.51	12.44	308.90	30.52
11.00	9.67	34.75	90.00	7.81	2.20	2.56	0.60	10.16	20.00	14.19
12.00	7.25	34.66	89.30	7.94	1.39	0.79	0.34	3.11	51.20	21.28

1977

MO(S	ToC	%C	%N	pH	P04	N03	N02	Si02	Pluies	Planct
1.00	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	55.60	#####
2.00	9.46	32.71	99.06	8.09	0.67	0.04	0.14	0.43	7.30	27.75
3.00	11.48	32.33	103.17	8.16	1.64	1.12	0.17	5.21	64.40	19.00
4.00	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	18.60	#####
5.00	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	150.30	#####
6.00	19.53	32.22	105.67	8.39	3.41	1.40	0.24	8.32	96.10	#####
7.00	22.71	33.27	86.80	8.03	2.55	0.24	0.19	5.05	39.60	46.00
8.00	21.28	35.24	103.94	7.92	3.60	0.47	0.21	8.70	75.30	107.83
9.00	19.82	35.96	113.00	7.94	3.68	1.46	0.40	8.11	13.70	96.50
10.00	17.30	35.93	87.63	7.91	4.19	0.31	0.32	14.88	76.90	25.75
11.00	15.51	35.57	93.90	7.92	6.98	0.23	0.24	6.30	18.00	61.50
12.00	6.72	35.86	92.42	7.94	5.30	0.47	0.31	10.86	25.60	8.00

1978

MO(S	ToC	%C	%N	pH	P04	N03	N02	Si02	Pluies	Planct
1.00	6.34	36.04	91.60	7.90	2.53	0.43	0.26	8.47	71.20	6.00
2.00	7.52	34.24	97.65	7.96	1.85	2.31	0.27	15.53	109.70	8.00
3.00	10.69	32.39	102.20	6.19	1.55	2.12	0.28	17.40	58.70	24.00
4.00	11.29	33.45	92.25	8.24	1.11	0.09	0.16	4.97	52.20	80.25
5.00	16.16	33.85	105.60	8.19	2.10	0.35	0.24	6.15	52.60	113.00
6.00	20.75	34.52	102.60	8.10	2.98	0.49	0.25	9.74	12.30	72.75
7.00	21.08	35.81	107.10	8.03	3.10	0.62	0.20	7.87	20.20	146.50
8.00	23.13	36.88	85.63	7.92	3.86	0.51	0.21	11.26	2.30	122.25
9.00	21.57	37.47	92.85	7.88	4.81	0.47	0.22	17.63	2.80	65.75
10.00	14.60	38.58	95.45	7.94	3.43	0.70	0.25	16.05	6.70	22.25
11.00	12.22	38.02	93.30	7.96	2.26	1.12	0.29	7.26	155.70	32.50
12.00	6.44	38.18	96.15	7.83	2.34	0.92	0.34	5.60	158.70	13.50

1979

MO(S	ToC	%C	%N	pH	P04	N03	N02	Si02	Pluies	Planct
1.00	5.21	34.84	94.90	7.83	1.46	5.46	0.38	8.85	329.40	5.00
2.00	7.07	29.70	114.15	8.11	0.74	7.55	0.44	10.79	18.10	5.75
3.00	11.12	31.62	98.80	8.04	1.17	0.67	0.16	10.78	22.60	11.00
4.00	10.69	32.80	97.75	8.09	1.46	2.10	0.16	8.42	30.50	48.25
5.00	16.33	33.94	108.15	8.09	1.77	0.77	0.18	5.77	20.50	68.75
6.00	20.36	34.68	100.80	8.10	2.93	0.69	0.17	10.10	9.40	93.50
7.00	22.27	36.20	98.40	8.04	3.45	0.68	0.19	7.99	4.20	136.25
8.00	22.80	37.67	91.65	7.97	3.97	1.04	0.28	14.97	8.70	100.00
9.00	21.81	38.56	98.90	7.98	3.62	2.72	0.27	20.59	47.10	46.50
10.00	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	342.10	#####
11.00	8.59	34.33	98.10	8.09	1.77	1.44	0.30	7.16	13.00	19.00
12.00	7.87	34.20	103.40	7.96	1.66	0.61	0.28	4.59	19.70	40.00

1980

MO(S	ToC	%C	%N	pH	P04	N03	N02	Si02	Pluies	Planct
1.00	5.83	34.01	100.70	8.02	1.78	2.18	0.32	7.30	119.90	21.00
2.00	8.45	33.69	98.70	8.00	1.52	1.25	0.27	6.10	20.00	35.25
3.00	7.96	35.81	96.20	8.13	1.44	0.82	0.33	5.03	67.00	21.00
4.00	11.85	34.21	113.60	8.16	1.50	0.48	0.26	5.77	59.70	67.50
5.00	16.38	33.47	100.75	8.18	1.86	0.23	0.23	3.41	64.50	57.00
6.00	19.26	34.22	88.70	8.33	1.11	0.37	0.17	9.89	21.00	86.50
7.00	19.93	35.95	105.00	8.13	2.26	0.49	0.31	12.02	10.20	153.00
8.00	23.41	37.26	106.56	7.93	2.88	1.02	0.32	20.33	70.50	74.50
9.00	22.24	37.61	107.20	7.89	2.82	0.97	0.33	23.71	2.70	186.50
10.00	13.58	38.50	91.45	7.90	2.32	0.79	0.54	43.28	21.10	10.00
11.00	8.82	38.17	90.75	7.87	2.11	2.96	0.53	36.57	64.30	30.50
12.00	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	19.90	#####

1974-1980

MOIS	ToC	S%	%O2	pH	PO4	NO3	NO2	SiO2	Pluies	Planct
1.00	6.87	35.63	95.55	7.98	2.05	1.92	0.23	7.15	91.52	10.62
2.00	8.27	34.13	99.56	8.04	1.50	2.05	0.23	8.21	52.70	17.46
3.00	10.24	33.89	98.77	8.13	1.64	0.99	0.21	9.61	56.34	20.32
4.00	12.73	33.81	98.37	8.18	1.97	0.77	0.20	5.79	44.40	45.01
5.00	16.68	34.18	102.39	8.16	2.46	0.54	0.26	5.56	61.16	56.38
6.00	20.46	34.88	95.19	8.18	3.24	0.61	0.17	9.51	27.20	74.32
7.00	22.41	36.17	92.57	7.97	3.99	0.56	0.18	8.23	19.17	112.69
8.00	22.90	37.44	93.37	7.90	4.59	0.66	0.20	13.81	41.66	92.95
9.00	20.81	37.78	92.53	7.90	4.05	1.04	0.28	17.51	37.62	79.73
10.00	15.15	37.62	89.29	7.90	3.52	1.14	0.37	20.09	114.37	24.64
11.00	10.74	36.72	91.50	7.92	2.99	1.59	0.39	13.49	50.06	31.74
12.00	7.45	36.42	94.10	7.91	2.41	1.24	0.33	7.83	58.23	27.66

Valeurs maximales et minimales des différents paramètres, pour chaque année, avec indication du mois.

Année	74		75		76		77		78		79		80	
T°C	25,00	8	29,40	8	26,90	7	24,80	7	25,42	8	26,36	8	24,40	8
	6,10	3	6,60	1	3,90	1	5,94	12	4,59	12	4,88	1	4,58	1
S%	38,45	12	40,36	8	38,80	9	37,10	12	39,24	10	38,98	9	38,88	10
	30,64	3	35,93	1	33,50	11	31,20	6	31,32	3	27,35	2	31,91	1
O ₂ %	119	5	154	6	131	8	135	8	159	5	170	2	147	8
	36	4	0	8	8	7	51	8	38	8	70	8	65	10
PO ₄	9,29	6	12,52	8	8,02	7	8,48	12	7,34	9	5,10	8	3,42	7
	1,84	11	1,02	3	0,13	1	0,65	3	0,83	4	0,38	2	0,77	6
NO ₃	6,52	1	8,50	12	4,06	10	9,75	9	3,83	2	23,76	4	8,69	1
	0	2	0	6	0	9	0	10	0	5	0,21	6	0,09	4
NO ₂	0,80	4	1,43	11	0,96	11	2,45	9	0,47	12	0,62	2	0,92	10
	0,01	7	0	6	0,06	8	0,04	7	0,13	4	0,11	3	0,14	6
Si					18,94	11	28,18	8	34,14	6	26,88	8	47,02	10
					1,74	12	0	3	1,66	7	2,40	11	1,12	5
pH					8,45	5	8,55	6	8,55	4	8,45	5	8,70	6
					7,40	7	7,60	9	7,45	12	7,75	2	7,70	11