

APPORT DE L'ETUDE DES CHLOROPHYLLES ET PHEOPIGMENTS A LA CONNAISSANCE DU PHYTOPLANCTON DE L'ETANG DE BERRE ET DES EAUX DOUCES OU MARINES VOISINES (MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE)

Ki-Tai KIM⁽¹⁾ et Marc TRAVERS⁽²⁾

(1) Marine Science Institute, Yeungnam University, 712-749 Gyongsan, Republic of Korea

(2) C.O.M., Station Marine d'Endoume, rue de la Batterie-des-Lions, 13007 Marseille, France

ABSTRACT : The variations of pigment concentrations were studied by using fluorometric and spectrophotometric methods, in different kinds of waters near Marseille, France (open sea water, two brackish lakes and freshwater of four river outlets) from January 1977 to December 1978.

In addition to fluorometry, spectrophotometric analysis of chlorophylls *a*, *b*, and *c*₁+*c*₂ were made in order to compare the values of both methods, because occasional increases of chlorophyll *b*, resulting from blooms of Chlorophyceae and Cryptophyceae, could disturb the chlorophyll *a* results measured by the fluorometric method. In fact, the values of chlorophyll *a* analysis obtained by both methods have not shown any differences.

The weighted average values of chlorophyll *a* and phaeopigments (over two years) resulted in : Carry-le-Rouet (Mediterranean Sea) : 0,59 and 0,15 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$; Gulf of Fos : 7,94 and 1,03 ; Etang de Berre : 12,17 and 2,18 ; Etang de Vaine : 26,92 and 3,25 ; Touloubre : 2,20 and 1,27 ; Durance : 4,20 and 0,55 ; Durançole 1,68 and 0,42 ; Arc : 6,55 and 1,45 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

In brackish water (Etang de Berre and Etang de Vaine), the seasonal variations are very different from year to year as a consequence of the quantity of water received from the Durance. Pigment concentrations are generally very high on account of phytoplanktonic blooms by Cyanophyceae, Chlorophyceae and Cryptophyceae. On the other hand, in freshwaters and marine waters, pigment concentrations are comparatively low and stable, showing slight annual variation.

RESUME : Parallèlement aux dénombrements et estimations volumétriques des organismes phytoplanctoniques, ont été mesurées pendant deux ans, par fluorimétrie, les teneurs en chlorophylle *a* et phéopigments d'eaux douces, saumâtres ou marines de la région de Marseille. En outre, pendant 8 mois, des dosages spectrophotométriques simultanés ont permis d'estimer les teneurs en chlorophylles *b* et *c* et de confirmer les données fluorimétriques pour la chlorophylle *a*.

Dans tous les milieux les fluctuations des teneurs en chlorophylle *a* dans l'espace et le temps présentent dans l'ensemble les mêmes tendances que celles décrites à partir de l'étude microscopique du phytoplancton. Toutefois les amplitudes de variation de la concentration de chlorophylle sont plus faibles que celles des densités de populations et se rapprochent davantage de celles des biovolumes ou plus encore de celles de surfaces cellulaires. Dans les eaux saumâtres la chlorophylle *b* présente des teneurs relativement élevées, souvent supérieures à celles des chlorophylles *c*, surtout lorsque les chlorophycées abondantes. La répartition des teneurs en phéopigments suit globalement celle de la chlorophylle *a* mais avec une variabilité plus forte. Ceci est encore plus marqué pour les taux de phéopigments.

La quantité de chlorophylle par cellule est sensiblement plus élevée en mer qu'en eau douce ou saumâtre, essentiellement parce que la taille moyenne des cellules phytoplanctoniques est plus grande en mer. L'étude des pigments montre aussi des différences notables dans le phytoplancton des quatre cours d'eau étudiés. Par exemple celui de la Touloubre est pauvre en chlorophylle *a* mais riche en phéopigments, alors que celui de la dérivation de la Durance (canal EDF) présente des caractéristiques inverses.

Introduction

Si on se limite à l'emploi des techniques de routine, le dosage des pigments assimilateurs du phytoplancton est suffisamment rapide, commode et standardisé pour que cette estimation soit très souvent pratiquée, de préférence à

d'autres méthodes de quantification du phytoplancton, qui exigent un travail beaucoup plus long, tels le dénombrement et l'identification microscopique des organismes, et a fortiori le calcul de leurs biomasses ou biovolumes à partir des numérations et des mesures effectuées.

Si de tels travaux fondés sur l'observation du

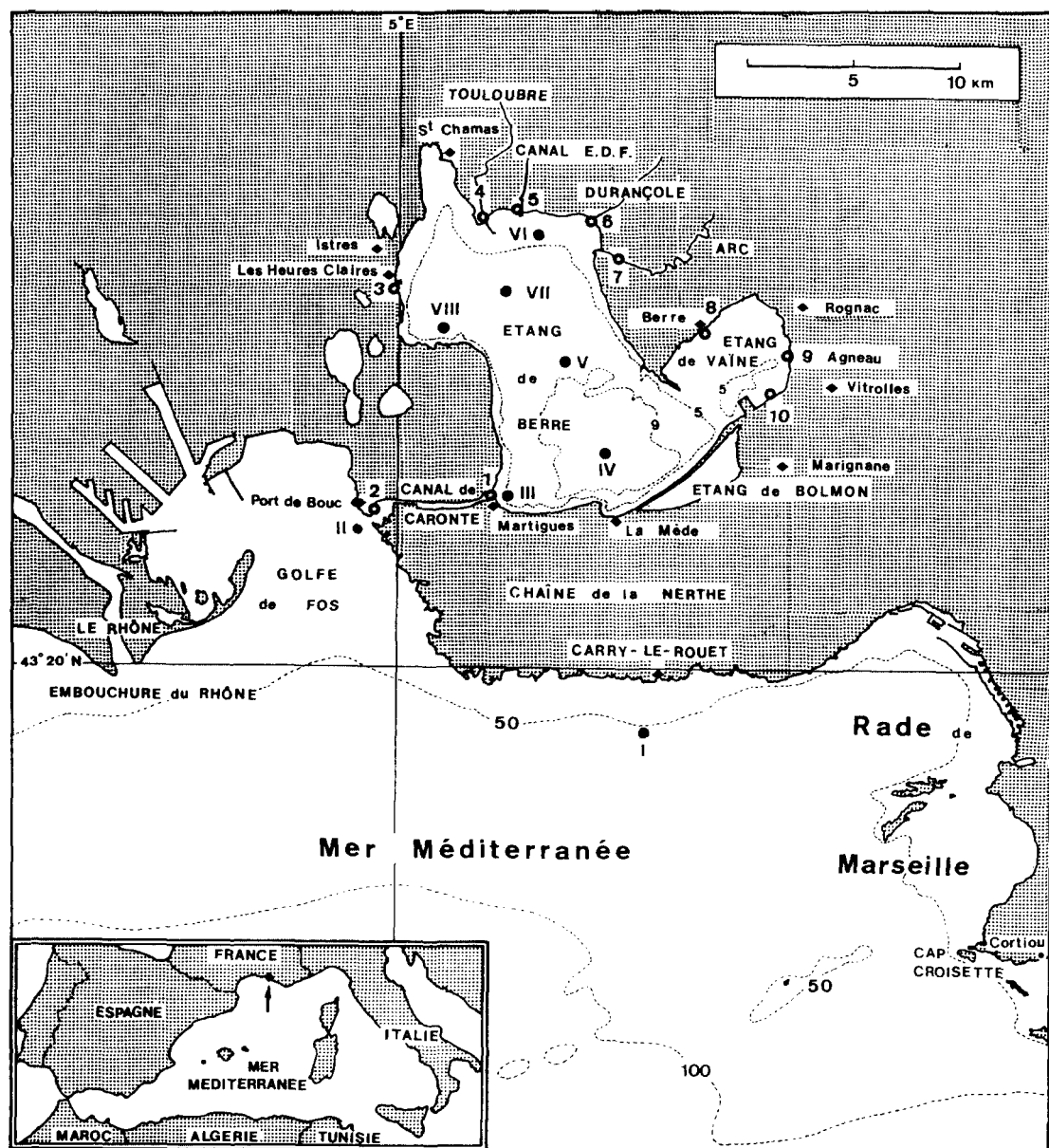


Figure 1. Emplacement des stations de prélèvements.

phytoplancton au microscope ont pourtant été réalisés, est-il utile d'y adjoindre simultanément le dosage classique des pigments chlorophylliens et des phéopigments? C'est la question que nous posons ici.

Les milieux pélagiques étudiés (Figure 1) diffèrent beaucoup entre eux par leurs caractères physiques et chimiques, notamment par leur salinité puisqu'on y trouve des eaux douces, des eaux typiquement marines et des étangs à salinité variable (Kim et Travers, 1988). Evidemment ces diverses masses d'eau abritent des peuplements phytoplanctoniques sensiblement différents dans leur composition et leur abondance (Kim, 1980; Kim et Travers 1984, 1985 a, 1995; Travers et Kim, 1988). On peut donc s'attendre à y observer aussi des concentrations et compositions pigmentaires différentes. On sait que le phytoplancton marin contient sensiblement moins de chlorophylle *c* que de chlorophylle *a*, et surtout encore moins de chlorophylle *b*. En effet la chlorophylle *a* est présente et prédominante chez toutes les microalgues. Les chlorophylles *c* se rencontrent, quoiqu'en moindre quantité, dans la plupart des classes, tandis que la chlorophylle *b* n'existe que chez les Chlorophycées, Prasinophycées et Euglénophycées. Mais dans les eaux douces ou saumâtres l'abondance relative de ces Chlorophyta, surtout des Chlorophycées, peut être beaucoup plus grande qu'en mer, ce qui doit entraîner une proportion accrue de chlorophylle *b* parmi les pigments assimilateurs.

Matériel et méthodes

1. Emplacement des stations

Deux catégories de stations ont été séparément étudiées (Figure 1) : les stations I à VIII, situées en mer ou dans l'étang de Berre proprement dit, ont été visitées 34 fois en 23 mois, au moyen d'un navire océanographique ;

- les stations 1 à 10, étudiées 53 fois en 25 mois, à partir de plus petites embarcations, de jetées ou de ponts, étaient nécessaires pour

recueillir des données sur les arrivées d'eaux douces dans l'étang de Berre (stations 4 à 7), sur l'étang de Vaine (stations 8 à 10), de profondeur inférieure à 2 m, ainsi que pour collecter des données complémentaires concernant l'étang de Berre (stations 1 et 3) et le Golfe de Fos (station 2).

Kim et Travers (1990) indiquent les coordonnées précises des stations, les dates des prélèvements et les caractères principaux des milieux et des stations.

2. Prélèvements

Les prélèvements ont été réalisés à l'aide de bouteilles à renversement de type Mécaboliér, en chlorure de polyvinyle, d'une contenance de 2 l. Les Prélèvements de surface ont été effectués avec un seau en matière plastique contenant 10 l.

3. Méthode fluorimétrique (chlorophylle *a* et phéopigments)

Pour les eaux saumâtres (étang de Berre et Vaine ; surface du golfe de Fos), les volumes d'eau filtrés variaient entre 50 et 200 ml, généralement 100 ou 200 ml ; pour les cours d'eaux afférents, 500 ml dans la Durançole, entre 50 et 200 ml dans la Touloubre, la Durance et l'Arc ; pour les échantillons des parages de Carry-le-Rouet, et des niveaux de 4 et 7 m du golfe de Fos, 500 ml étaient généralement filtrés. Des membrane Sartorius en acétate de cellulose de 0,45 μ m de porosité et 47 mm de diamètre ont été utilisées. Ces membranes sont préalablement recouvertes de MgCO₃, par filtration de 1 ml d'une suspension à 1% dans l'eau distillée (cf. Lium et Shoaf, 1978). Après filtration, on ôte la marge inutilisée du filtre et ce dernier est enfermé dans un tube de verre de 10 ml que l'on maintient à une température de -20°C si l'extraction n'a pas lieu immédiatement.

Pour dissoudre les pigments, on ajoute 5 ml d'acétone à 90%, on agite soigneusement et on place de nouveau le tube à -20°C pendant 12 heures. Puis on centrifuge à 3000 g pendant 20

minutes, avant de mesurer la teneur en pigments grâce à un fluorimètre à filtres 'Turner' (modèle III), équipé d'un photomultiplicateur R 136 sensible aux radiations rouges, d'un filtre primaire bleu Corning CS-5-60 et d'un filtre secondaire rouge CS-2-64 de même marque.

L'acidification des extraits transforme la chlorophylle en phéophytine. Elle se fait par addition d'acide chlorhydrique pour aboutir à 2×10^{-2} M environ, conformément aux indications de Yentsch et Menzel (1963), Holm-Hansen *et al.* (1965), Saijo *et al.* (1969), Loftus et Carpenter (1971), Sauriot (1977) et Holm-Hansen et Riemann (1978). Or Riemann (1978) a montré qu'au-delà de 3×10^{-3} M, l'acidification trop forte perturbe l'évaluation des phéopigments. Aussi est-il possible que les mesures de fluorescence après acidification ne concernent pas uniquement les phéopigments.

La référence utilisée ici est la chlorophylle *a* purifiée par chromatographie sur couche mince de cellulose MN 300, selon la méthode de Jeffrey (1968).

4. Méthode spectrophotométrique (Chlorophylles *a*, *b* et *c* + *c*)

Compte tenu de la diversité des milieux étudiés dans ce travail, il est apparu absolument indispensable de recourir à la spectrophotométrie pour en comparer les résultats avec ceux de la fluorimétrie. En effet le dosage fluorimétrique de la chlorophylle *a* peut être faussé par la présence de chlorophylle *b* en quantités notables, du fait de la proximité des bandes caractéristiques de ces deux pigments (Boto et Bunt, 1978). Or la chlorophylle *b*, comme on l'a rappelé plus haut, fait partie de l'équipement pigmentaire de certains microphytes susceptibles d'abonder dans les eaux douces et plus encore dans les étangs dessalés.

L'analyse spectrophotométrique a été réalisée seulement aux stations I à VIII, d'avril à novembre 1978. En ce qui concerne les eaux saumâtres, c'est-à-dire l'étang de Berre et la surface du Golfe de Fos, 200 à 1000 ml d'eau (généralement 200) sont filtrés. A la station I, ainsi qu'aux

niveaux de 4 et 7 m à la station II, les volumes filtrés varient de 0,9 à 5 l, la plupart étant de 3 l. Les membranes utilisées sont des filtres Millipore de type HA (porosité : 0,45 μ m) de 45 mm de diamètre. Après filtration, la marge inutilisée du filtre est éliminée et la partie centrale (chargée de 10 mg de $MgCO_3$, comme pour la fluorimétrie) est enfermée dans un récipient obscur pourvu de gel de silice, et congelée à $-20^\circ C$ jusqu'au moment de l'extraction. Celle-ci et la centrifugation sont réalisées comme en fluorimétrie. La densité optique des extraits est mesurée à 630, 647 et 664 nm avec un spectrophotomètre enregistreur Leres. Le trajet optique est de 1 cm, le témoin de l'acétone à 90%, et le calcul des teneurs est fait au moyen des équations trichromatiques de Jeffrey (1976).

La chlorophylle *a* du phytoplancton

1. La chlorophylle *a* du phytoplancton de l'étang de Berre

Les Figures 2 à 8 présentent les résultats des dosages de chlorophylle obtenus par fluorimétrie et spectrophotométrie. Ces derniers n'ont été effectués que pendant huit mois, mais la comparaison des schémas de distribution correspondant aux résultats des deux méthodes utilisées en parallèle montre une remarquable identité générale. On note seulement parfois des valeurs très légèrement plus élevées pour les résultats spectrophotométriques. Ces deux tendances sont confirmées par la comparaison de moyennes pondérées calculées pendant la période d'utilisation des deux méthodes: elles s'élèvent respectivement pour la fluorimétrie et la spectrophotométrie, à 18,1 et 18,7 $\mu g \cdot l^{-1}$ à la station IV, et à 17,3 et 18,2 $\mu g \cdot l^{-1}$ à la station VII.

Le niveau élevé de la corrélation entre les deux types de mesures est encore bien attesté par la Figure 9.

Or il faut rappeler que les deux types de résultats ne s'appliquent pas aux mêmes pigments : les phéopigments sont exclus des résultats fluorimétriques, mais ceux-ci ne dis-

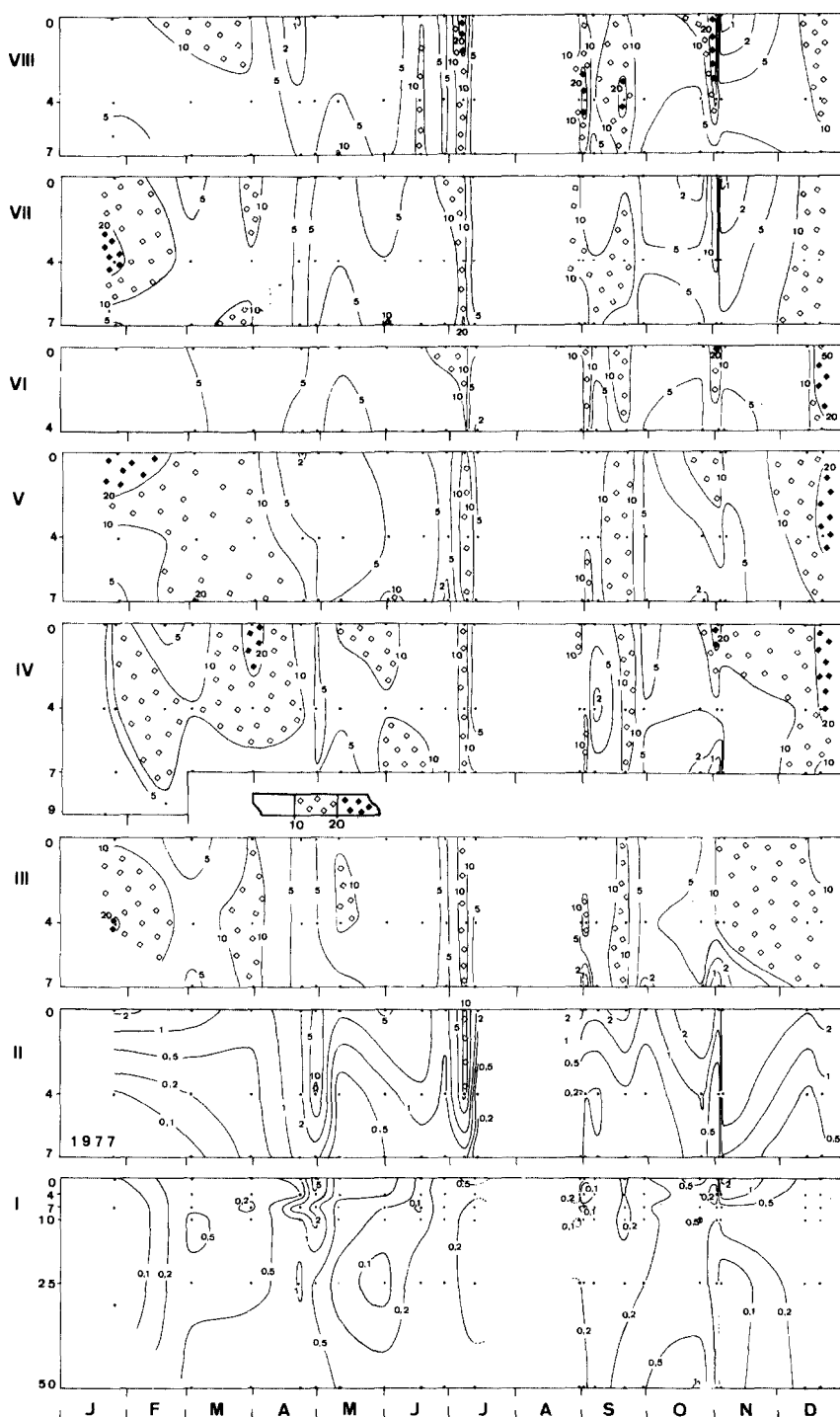


Figure 2. Evolution annuelle de la teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) mesurée par fluorimétrie aux stations VIII à I au cours de l'année 1977 (noter que l'échelle des profondeurs de la station I diffère beaucoup des autres).

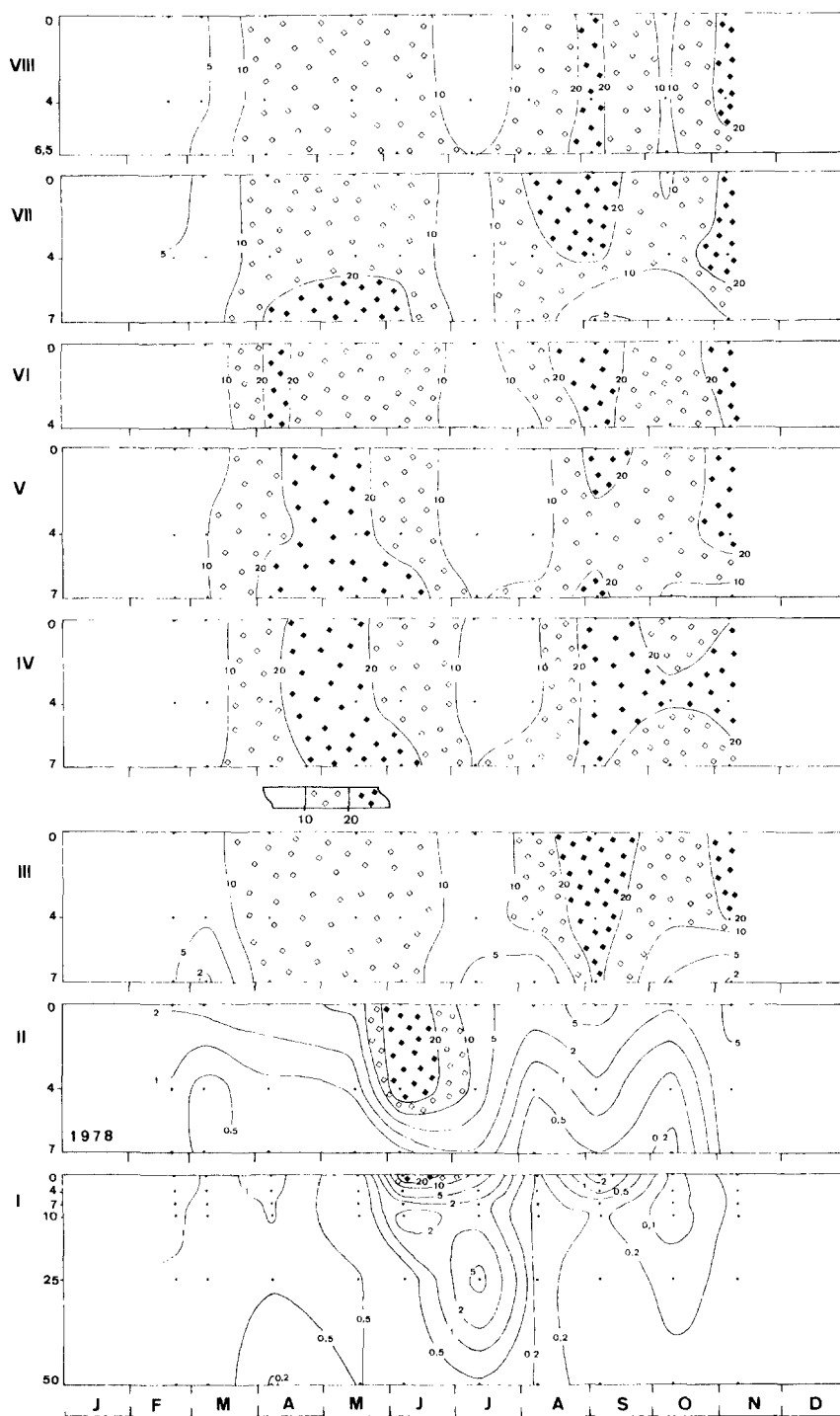


Figure 3. Evolution annuelle de la teneur en chlorophylle *a* ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) mesurée par fluorimétrie aux stations VIII à I au cours de l'année 1978 (attention à l'échelle des profondeurs, différente à la station I).

tinguent pas totalement entre les chlorophylles. À l'inverse, cette distinction est bien faite en spectrophotométrie trichromatique mais l'acidification n'a pas été pratiquée avec cette méthode qui avait surtout pour but de rechercher l'importance des chlorophylles *b* et *c*.

Compte tenu de la similitude des résultats des deux méthodes concernant la chlorophylle, les Figures 2 à 8 (dosages fluorimétriques) suffiront à décrire valablement les variations des teneurs en chlorophylle *a* du seston pendant les années 1977 et 1978, étant entendu que les autres chlorophylles ont une faible participation dans les teneurs présentées.

Hormis quelques pics et quelques phases de pauvreté temporaire, on constate que les teneurs sont le plus souvent comprises entre 6 et 20 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Si l'on compare ces figures à celles décrivant les résultats des dénombrements cellulaires (Kim, 1980; Kim et Travers, 1984, 1995; Travers et Kim, 1988) on remarque que les amplitudes de variations des teneurs en chlorophylle *a* sont beaucoup plus faibles que celles des densités de population, pour se rapprocher davantage de celles qui caractérisent les surfaces ou volumes cellulaires. En outre, et surtout en 1977, le schéma des variations saisonnières des teneurs en chlorophylle *a* ressemble également davantage à ceux des volumes et surtout des surfaces cellulaires qu'à ceux des simples dénombrements, autant qu'on puisse en juger par les données concernant les stations IV et VII.

En 1977, ces variations saisonnières comprennent une répartition assez irrégulière et variable d'une station à l'autre jusqu'en juin, une poussée générale en juillet et en septembre, puis une certaine pauvreté précédant une remontée des valeurs en décembre.

En 1978, après un hiver apparemment pauvre, se développe une longue poussée printanière suivie d'une dépression au début de l'été, puis d'un nouvel enrichissement marqué par deux pics en septembre et novembre.

Ce déroulement offre effectivement une ressemblance assez forte avec celui qui a été

observé grâce aux calculs de surfaces et biovolumes (Kim et Travers, 1995).

Si l'on compare les résultats des deux années, on peut trouver une certaine ressemblance au second semestre, mais beaucoup moins au premier semestre.

En ce qui concerne la répartition verticale des concentrations, on ne décèle pas de gradient permanent. Au contraire, la répartition peut être soit homogène, soit hétérogène, mais alors les valeurs les plus élevées peuvent se situer à tous les niveaux. Cependant, le niveau de 7 m est en moyenne un peu plus pauvre en chlorophylle que les autres, notamment à la station III.

Dans le plan horizontal, il n'y a pas non plus de différences marquées entre les diverses régions de l'étang, les gradients qui apparaissent parfois pouvant s'inverser à une autre époque. Les stations VII et surtout VIII semblent cependant globalement un peu moins riches que les autres. Ajoutons que les moyennes pondérées bisannuelles des stations VII et IV sont proches : respectivement 11,8 et 12,7 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

On retrouve encore des valeurs supérieures pour la station méridionale par rapport à la station septentrionale si l'on compare les moyennes des stations 1 et 3 qui s'élèvent respectivement à 13,6 et 10,3 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Remarquons toutefois qu'il ne s'agit que de moyennes, qui ne traduisent nullement un classement constant, comme en témoigne la Figure 4A.

Cette Figure montre aussi une évolution relativement comparable des teneurs des deux stations en 1977, malgré bien des divergences de détail et des différences sensiblement plus marquées en 1978.

Quant à la station 2 (à l'extrémité occidentale du chenal de Caronte), ses variations ressemblent assez fidèlement à celles de la station 1 (autre extrémité du chenal) mais les valeurs y sont habituellement plus faibles, ce qui apparaît aussi dans la moyenne générale : 8,2 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus pour ces eaux saumâtres concordent assez bien avec ceux de Minas (1973, 1976).

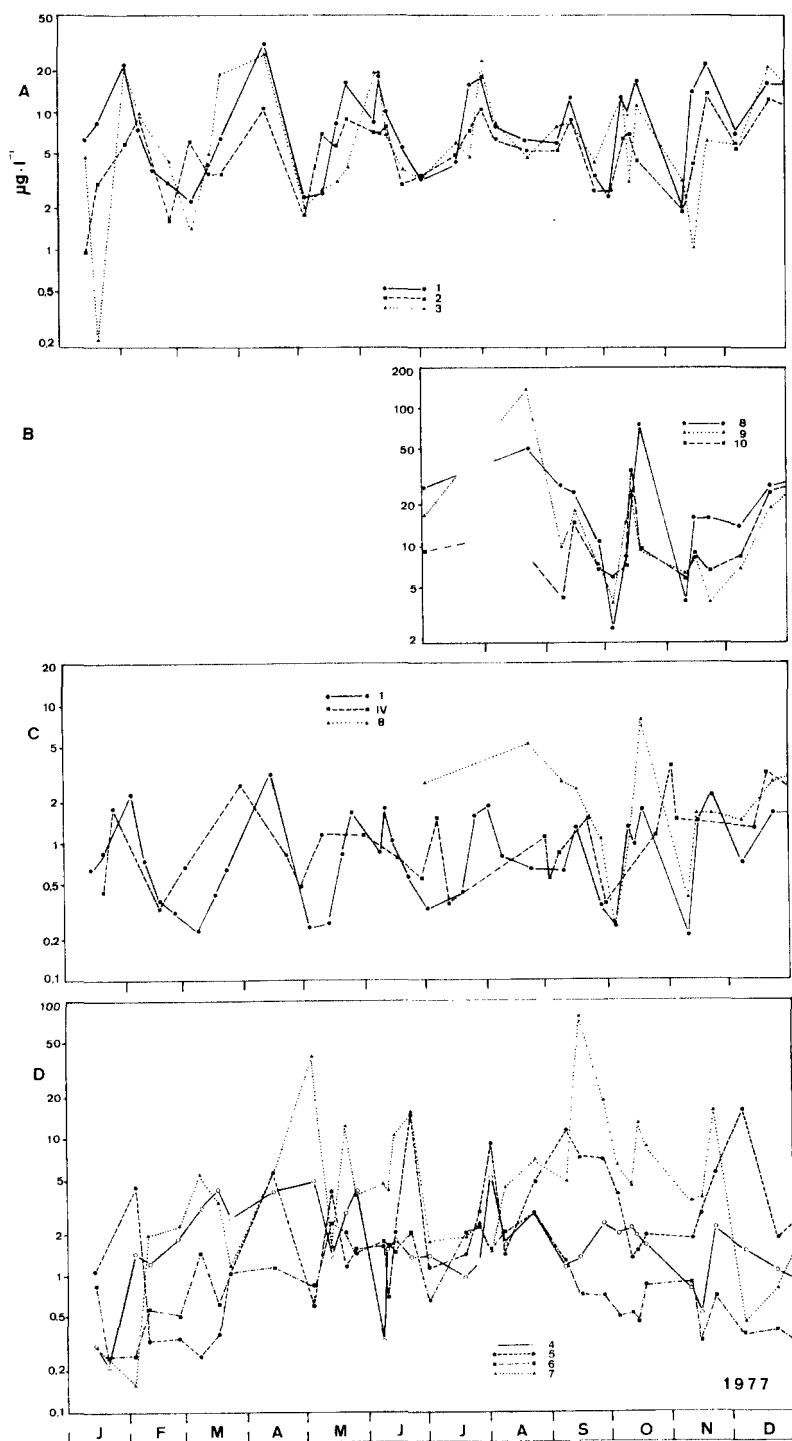


Figure 4. Evolution annuelle de la teneur en chlorophylle *a* ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) des eaux de surface, mesurée par fluorimétrie au cours de l'année 1977 aux stations: 1, 2 et 3 (A); 8, 9 et 10 (B); 1, IV et 8 (C); 4, 5, 6 et 7 (D).

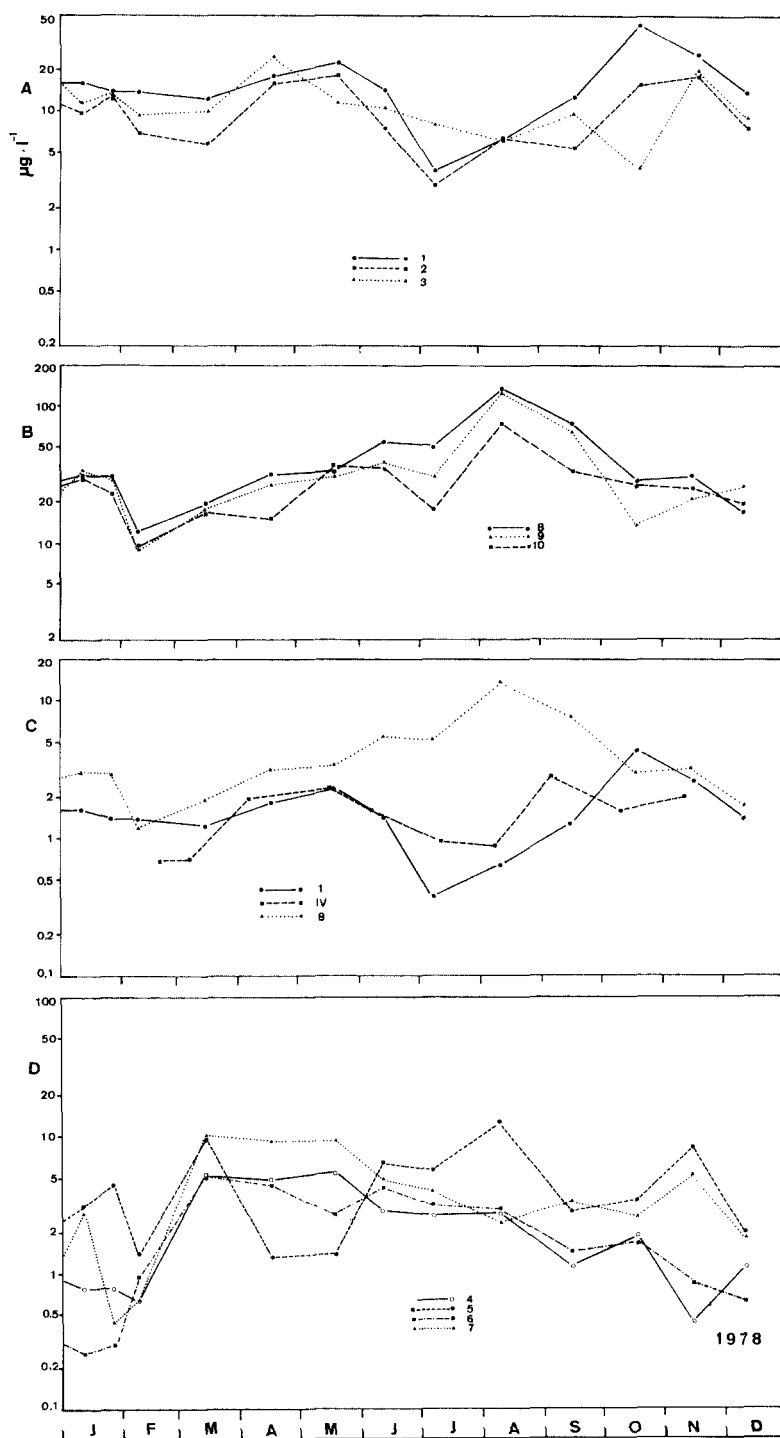


Figure 5. Evolution annuelle de la teneur en chlorophylle *a* ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) des eaux de surface, mesurée par fluorimétrie au cours de l'année 1978 (voir légende de la Figure 4).

2. La chlorophylle *a* du phytoplancton de l'étang de Vaïne

Les Figures 4B et 5B montrent que, surtout en 1978, les concentrations des eaux de l'étang de Vaïne en chlorophylle *a* varient de façon assez semblable dans les 3 stations, bien qu'on observe souvent le même classement des valeurs, la station 8 étant la plus chargée en chlorophylle et la station 10 la plus pauvre. C'est également ce que révèlent les moyennes générales, qui s'élèvent à $36.0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ à la station 8; 33.0 à la station 9 et seulement $25,5$ à la station 10. Notons qu'il a été observé le même classement pour les densités de populations (Kim et Travers, 1984).

Les variations saisonnières sont importantes et rappellent aussi celles qui ont été observées lors de l'étude des densités des populations. Au contraire, elles diffèrent sensiblement de celles de la chlorophylle de l'étang de Berre, comme le montre la Figure 4C. La même différence avait été observée à propos de l'étude des dénombrements cellulaires (Kim et Travers, 1984).

Globalement, l'étang de Vaïne est environ 2,5 fois plus riche en chlorophylle par unité de volume, que l'étang de Berre. Or les organismes phytoplanctoniques y étaient environ 2 fois plus denses.

Cette richesse en chlorophylle de l'étang de Vaïne est notamment comparable à celle de certains milieux eutrophes assez similaires des Pays-Bas (Hallegraeff, 1977) ou d'Égypte (Dowidar et Hamza, 1985), mais très supérieure à celles des eaux oligotrophes ou même mésotrophes (e.g. Persoone *et al.*, 1968).

3. La chlorophylle *a* du phytoplancton des eaux douces

Les moyennes bisannuelles des teneurs en chlorophylle *a* des cours d'eaux étudiés s'élèvent à $6,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ dans l'Arc, $4,3$ dans la Durance, $2,3$ dans la Touloubre et $1,7$ dans la Durançole.

Or l'étude de la densité des populations (Kim, 1981 ; Travers et Kim, 1985) a montré que celle de l'Arc était en moyenne à peu près double de celle des autres rivières. Pour la chlorophylle,

l'Arc occupe bien toujours la première place, mais le phytoplancton durancien paraît relativement riche en chlorophylle alors que celui de la Touloubre et plus encore celui de la Durançole en contiennent assez peu.

Dans le cas de la Durançole, ceci peut s'expliquer par le fait que seules les chlorelles s'y multiplient abondamment de temps à autre et que leur contenu chlorophyllien est faible en valeur absolue, bien qu'il soit important par rapport à la taille des cellules. Quant aux teneurs relativement élevées de la Durance, il semble qu'elles doivent surtout être attribuées à une taille moyenne élevée des Diatomées qui s'y développent, en particulier au second semestre.

Les Figures 4D et 5D permettent aussi de juger des variations saisonnières des concentrations de chlorophylle dans les quatre voies d'eau. On retrouve globalement le classement indiqué ci-dessus car les graphiques de la Touloubre et de la Durançole occupent bien en général une position basse tandis que celui de l'Arc est fréquemment le plus élevé, du moins en 1977 (cette place lui étant souvent ravie en 1978 par la dérivation de la Durance). C'est aussi l'Arc qui présente les fluctuations les plus grandes, alors que les plus faibles sont observées dans la Touloubre et la Durançole. Malgré ces tendances moyennes, les graphiques sont très intriqués.

L'amplitude des variations des teneurs en chlorophylle *a* est bien inférieure à celle des densités de populations. Cette constatation, déjà faite à propos des étangs, correspond évidemment, au moins en partie, au fait que les pics de densité de populations, dus à de très petites algues, se retrouvent très émoussés lorsqu'on passe au dosage de la chlorophylle.

Les comparaisons interannuelles, par les moyennes générales annuelles, montrent, entre 1977 et 1978, un accroissement important des teneurs en chlorophylle, sauf dans l'Arc, puisqu'on trouve respectivement pour les deux années successives, en $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$: $7,9$ et $4,6$ dans l'Arc ; $3,8$ et $4,9$ dans la Durance ; $2,1$ et $2,6$ dans la Touloubre ; $1,1$ et $2,4$ dans la Durançole. Ces différences interannuelles correspondent assez

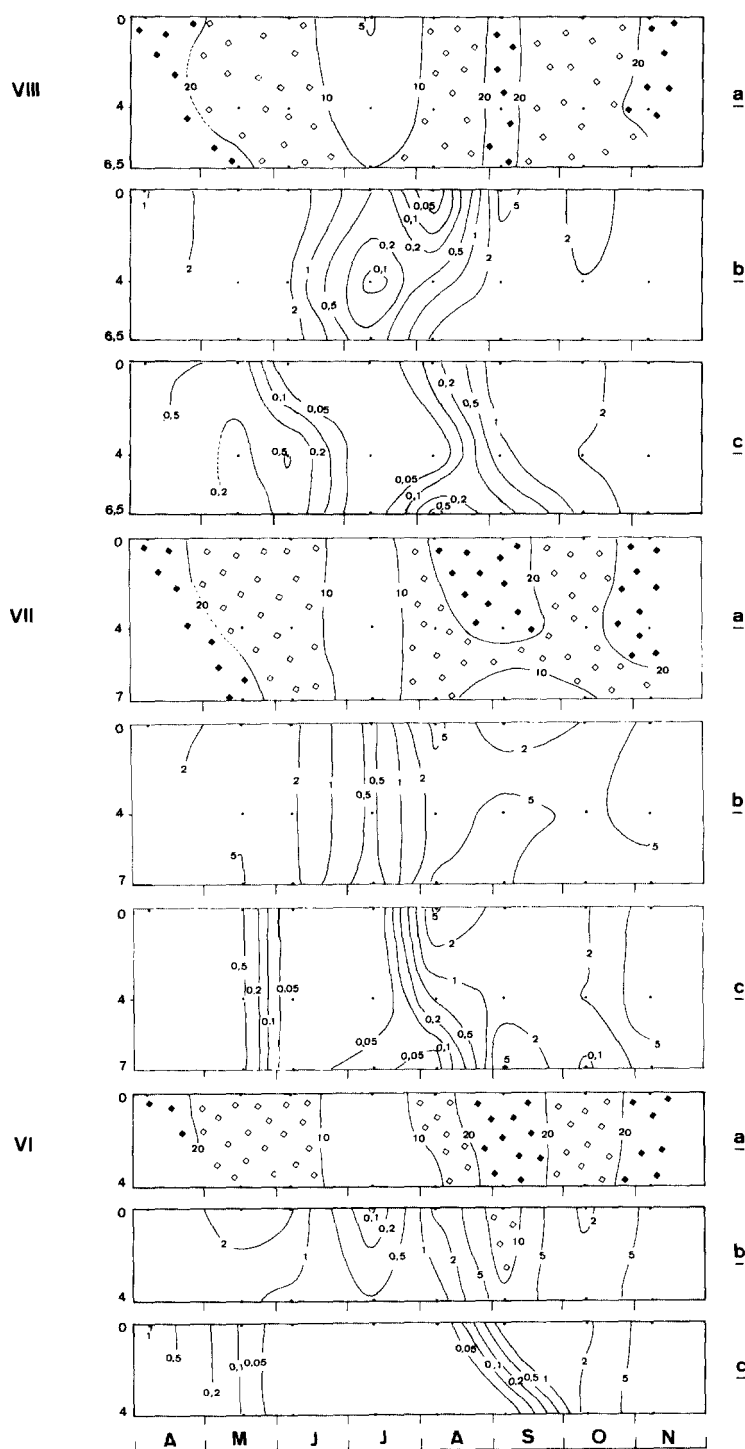


Figure 6. Evolution de la teneur en pigments chlorophylliens ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) mesurée par spectrophotométrie d'avril à novembre 1978 aux stations VIII-VI.

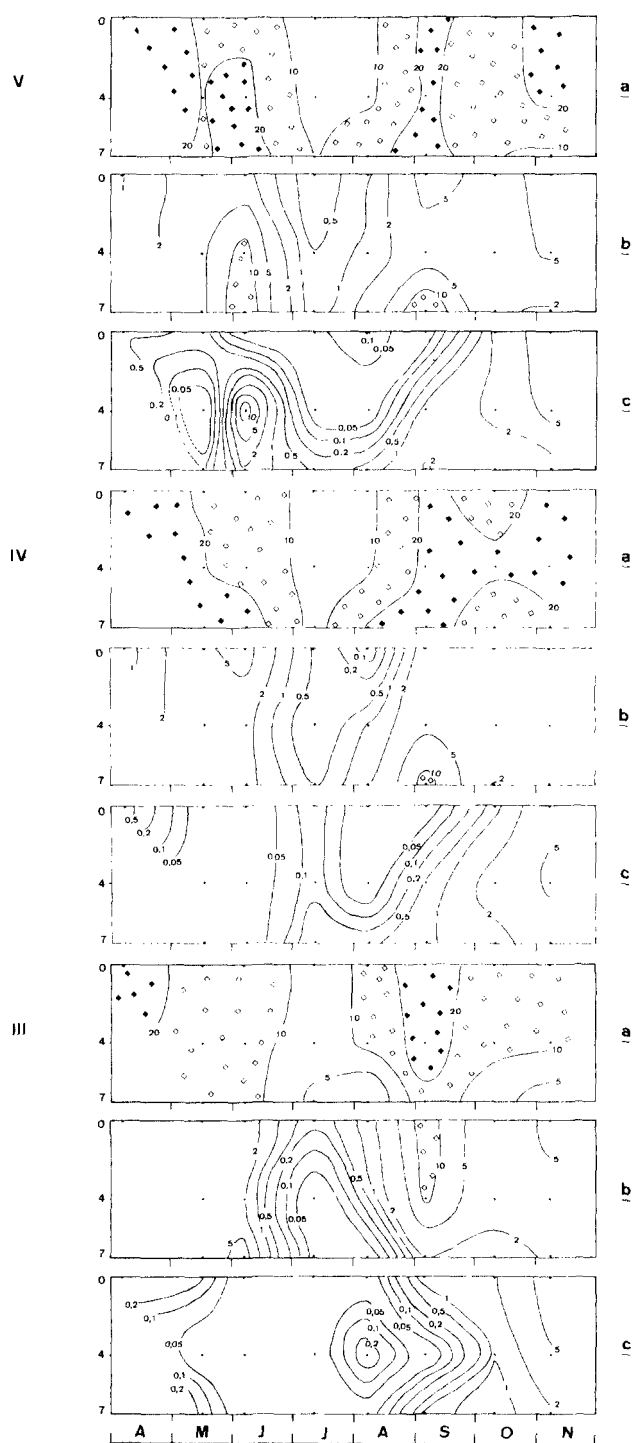


Figure 7. Evolution de la teneur en pigments chlorophylliens ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) mesurée par spectrophotométrie d'avril à novembre 1978 aux stations V - III.

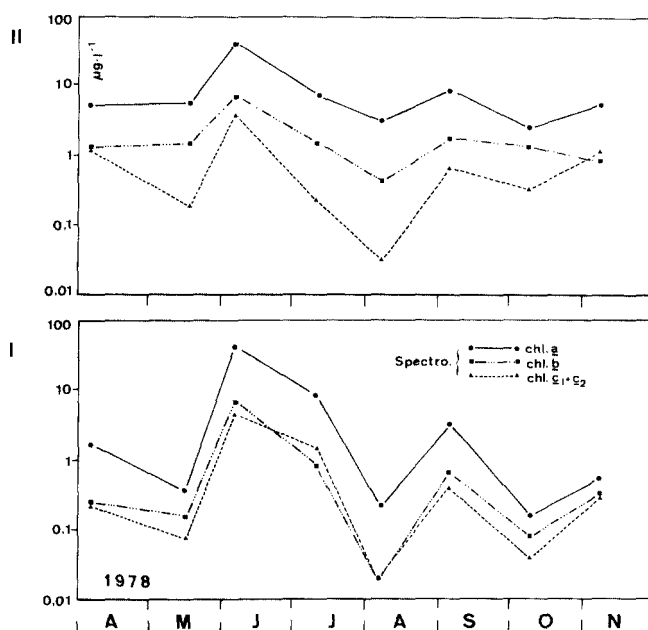


Figure 8. Evolution des teneurs en chlorophylles *a*, *b* et *c* ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) mesurées par spectrophotométrie d'avril à novembre 1978 aux stations II et I.

bien à celles établies grâce au dénombrement des organismes.

4. La chlorophylle *a* phytoplanctonique des stations marines

Les résultats concernant les deux stations situées en mer, c'est-à-dire les stations I et II, sont assez dissemblables (Figures 2 et 3), comme leurs caractères bien différents pouvaient le laisser prévoir. En effet, les valeurs mesurées à la station II varient généralement entre 0,5 et 5 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, la moyenne pondérée s'établissant à 3,5 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. A la station I, elles sont en général comprises entre 0,1 et 1 et leur moyenne pondérée n'est que de 0,6 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ environ.

Il y a donc bien, en allant des eaux saumâtres vers la mer, une diminution très nette qu'on peut schématiser par les valeurs moyennes suivantes (en $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) : environ 30 dans l'étang de Vaine ; 13 au sud de l'étang de Berre ; 8,2 à la station 2 (Port-de-Bouc) ; 3,5 à la station II et 0,6 à la station I.

Un gradient vertical des concentrations appa-

raît fréquemment à la station I (Figure 2). Il est constant à la station II, en relation avec la superposition de deux masses d'eau bien distinctes. Ce gradient est toutefois beaucoup moins brutal que celui que présentent les densités de populations (Travers et Kim, 1988). La cause essentielle de cette différence réside certainement dans le contenu chlorophyllien différent des organismes, du fait de leur taille. Cette observation vaut d'ailleurs aussi bien pour la station I que pour la station II. La comparaison des schémas de répartition des valeurs des deux paramètres montre, pour une station comme pour l'autre, une identité tout-à-fait remarquable, et assurément plus forte que dans l'étang de Berre. Ceci pourrait être dû au fait que la composition taxinomique du phytoplancton marin varie sensiblement moins dans le temps que celle de l'étang.

Les eaux des parages de Carry-le-Rouet sont en général pauvres en chlorophylle mais peuvent exceptionnellement en contenir beaucoup, à l'occasion d'arrivées d'eaux superficielles

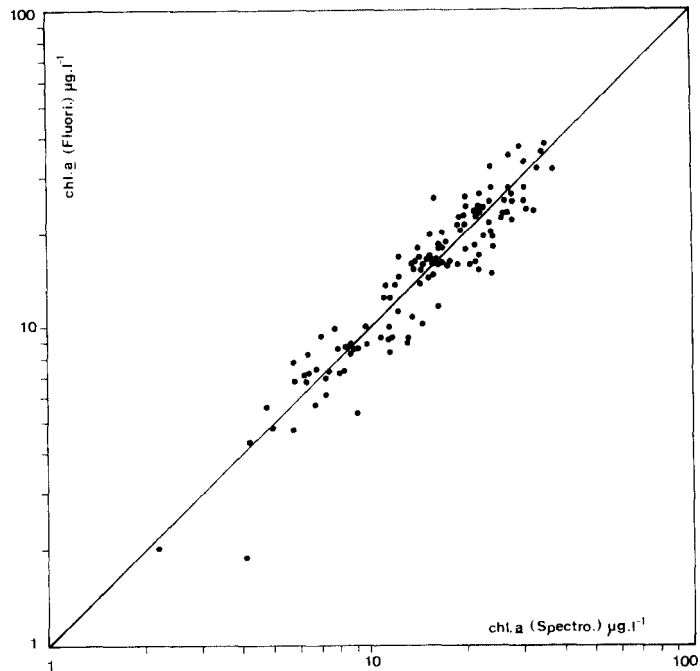


Figure 9. Corrélation entre les dosages fluorimétriques et spectrophotométriques de la chlorophylle *a*.

diluées d'origine rhodanienne. Ainsi les teneurs ont-elles atteint environ 5 à 8 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ dans la couche superficielle en avril 1977 et le 6 juin 1978, près de 9 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ à 4 m et jusqu'à 47 en surface. Notons aussi qu'en juillet 1978 une teneur élevée (6,7 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) a même été observée à 25 m, dans des eaux aux populations également très riches en organismes phytoplanctoniques.

Les résultats obtenus aux stations II et I offrent une assez forte ressemblance, respectivement avec ceux de Blanc et Leveau (1973), et de Benon *et al.* (1977) et avec ceux de Travers et Travers (1962), puis Travers (1976).

5. Comparaison des teneurs en chlorophylle *a* et des estimations quantitatives du phytoplancton dues à l'emploi de la méthode d'Utermöhl.

Dans les pages qui précèdent, on a eu l'occasion de comparer diverses estimations quantitatives de phytoplancton. Il est notamment apparu que les variations de la teneur en chlorophylle *a* se rapprochaient davantage de celles

des volumes ou surface cellulaires que de celles des simples densités de populations.

On peut faire une comparaison peut-être plus générale à l'aide des diagrammes de points des Figures 12 et 13, respectivement relatives à l'étang de Berre (stations IV et VII) et à la mer (station I). Dans l'étang de Berre, on constate, entre chlorophylle *a* et données issues de l'emploi du microscope, une corrélation positive dont le niveau croît nettement quand on passe des densités de populations aux surfaces cellulaires, puis de celles-ci aux volumes plasmatiques et volumes totaux, les deux derniers diagrammes différant peu l'un de l'autre. Il en résulte que la teneur d'une cellule en chlorophylle *a* est beaucoup plus variable que celle d'une unité de volume plasmatique ou cellulaire, résultat du reste assez logique et qui confirme, si besoin était, l'utilité des mesures dimensionnelles (cf. Kim et Travers, 1995).

A la station I, on constate également partout une corrélation positive mais son niveau varie

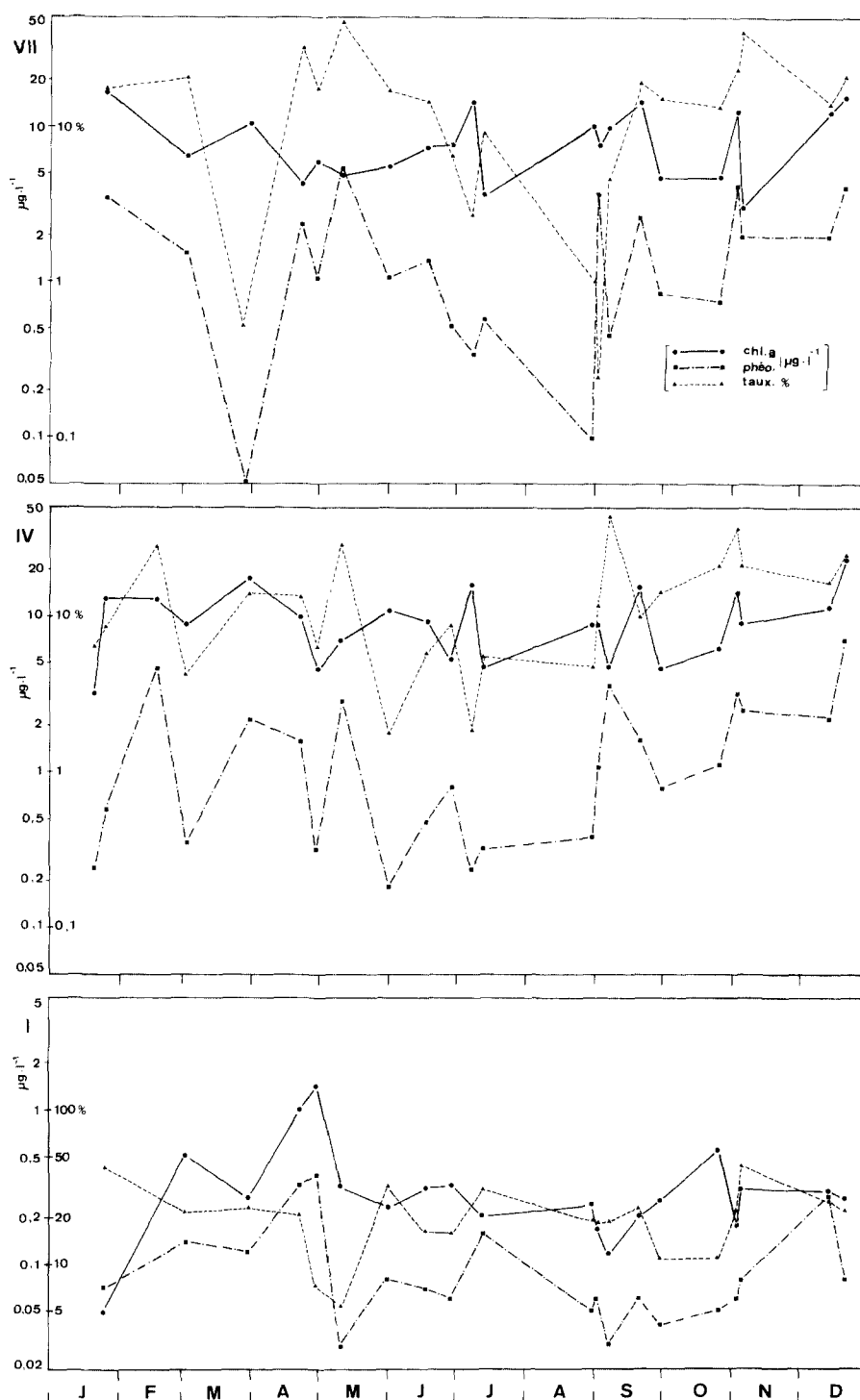


Figure 10. Variations saisonnières des moyennes pondérées de chlorophylle *a*, phéopigments et taux de phéopigments aux stations VII, IV et I au cours de l'année 1977.

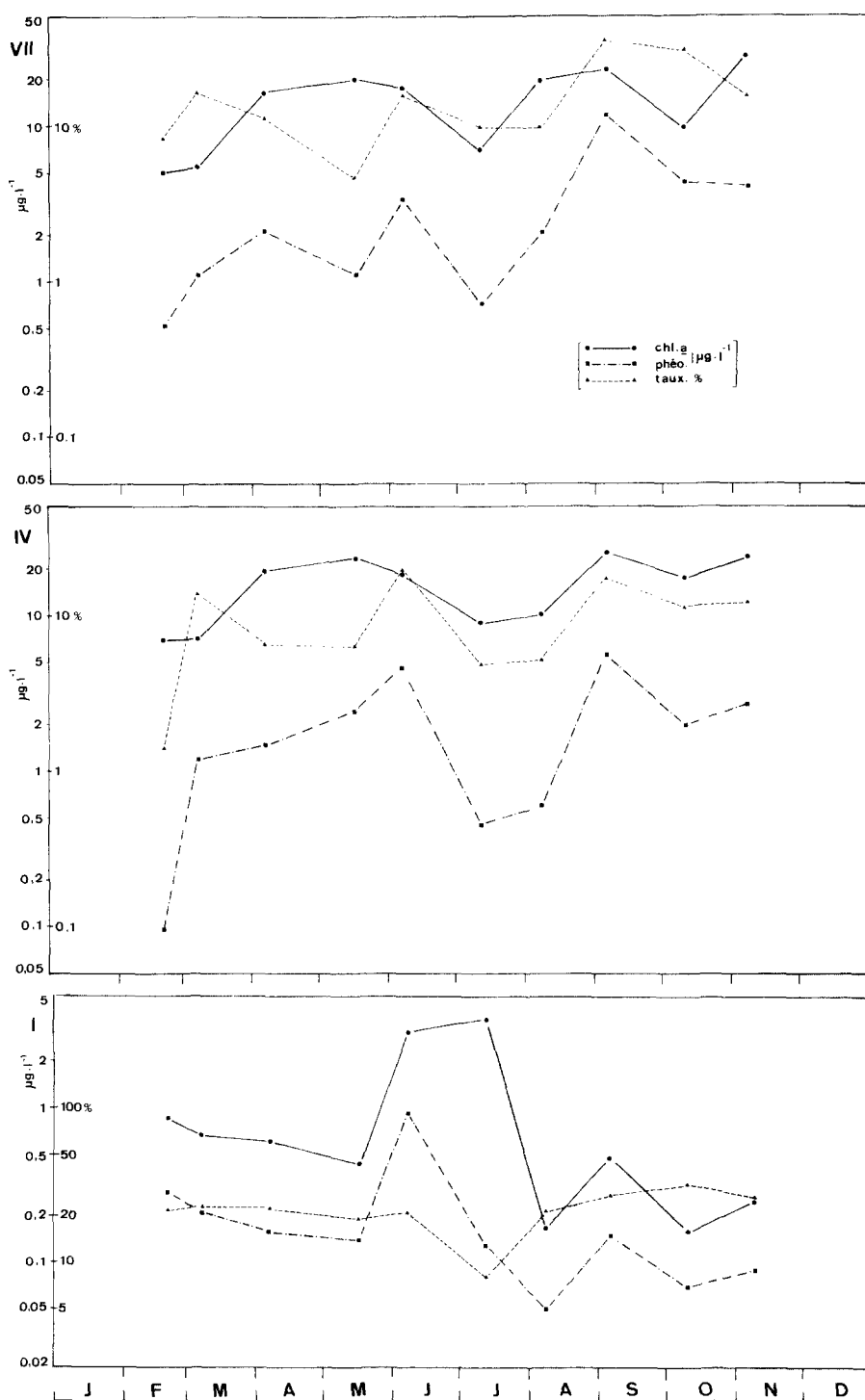


Figure 11. Variations saisonnières des moyennes pondérées de chlorophylle *a*, phéopigments et taux de phéopigments aux stations VII, IV et I au cours de l'année 1978.

nettement moins d'un diagramme à l'autre, sans doute parce que la variabilité dimensionnelle des organismes est généralement plus faible.

A l'évidence les corrélations sont plus fortes dans l'étang de Berre qu'en mer, en tout cas pour celles qui concernent les volumes. En réalité, ceci peut être dû, d'une part au fait que les données utilisées sont des moyennes pondérées de sorties dans l'étang et des valeurs ponctuelles à la station I; d'autre part à ce que les intervalles de variation des paramètres sont très différents dans les deux milieux : ceux qui concernent l'étang de Berre se situent tout à fait en haut et à droite des schémas relatifs à la station I.

Les rapports entre la teneur en chlorophylle *a* et les densités de populations sont beaucoup plus variables à la station 1 que dans l'étang de Berre, mais en moyenne, le contenu chlorophyllien des organismes marins est beaucoup plus élevé que celui des algues d'eau douce. On a en moyenne $1,8 \mu\text{g chl. } a$ par million de cellules à la station I, contre 0,15 seulement dans l'étang de Berre, soit 12 fois moins. Remarquons que même la valeur de la station I est sensiblement inférieure à celles trouvées par Travers (1976) dans le golfe de Marseille, sans doute en raison des quelques poussées de Chlorophycées arrivées jusqu'à cette station avec densités de population considérables.

Les valeurs proposées par Sautriot (1977) pour le golfe de Fos sont également un peu supérieures à 1,8 et a fortiori à 0,15 mais il semble que les plus petites algues n'aient pas été prises en considération dans les dénombrements utilisés par cet auteur. Sans doute en est-il de même dans l'étang de Berre où les valeurs trouvées par Minas (1973) sont très supérieures à celles présentées ici.

La différence de taille moyenne des organismes phytoplanctoniques qui dominent dans les différents milieux n'intervient plus si l'on se réfère à une unité dimensionnelle. De fait, les valeurs des rapports chlorophylle *a*/surface ou volume cellulaire diffèrent peu entre l'étang de Berre et la station I.

Les chlorophylles *b* et *c*

1. Les chlorophylles *b* et *c* dans l'étang de Berre

Les Figures 6 et 7 permettent de comparer la répartition spatiale et temporelle des chlorophylles *a*, *b* et *c* dans l'étang de Berre d'avril à novembre 1978.

Les schémas de répartition de la chlorophylle *b* dans les six stations offrent une assez bonne ressemblance générale avec ceux de la chlorophylle *a*. Il existe cependant des divergences locales ou temporaires correspondant, soit à une concentration particulièrement faible de la chlorophylle *b*, soit au contraire à des teneurs élevées de ce pigment. Celles-ci peuvent en général être attribuées à des multiplications particulièrement intenses d'algues possédant ce pigment, c'est-à-dire de Chlorophyta et plus spécialement de chlorophycées. Des observations similaires ont été faites par Dowidar et Hamza (1985) dans le lac Manzalah.

Pour toute la période d'étude spectrophotométrique, les moyennes pondérées des teneurs en chlorophylle *b* s'élèvent à $3,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ à la station IV et $3,5$ à la station VII. Si on les compare aux moyennes correspondantes de la chlorophylle *a*, soit respectivement 18,7 et $18,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, on constate que la teneur en chlorophylle *b* est respectivement un peu de 6 et 5 fois inférieure à la teneur en chlorophylle *a*.

La répartition des teneurs en chlorophylles *c* diffère sensiblement de celle des autres chlorophylles et l'on ne voit apparaître des valeurs supérieures à $1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ qu'à partir d'août ou septembre selon les stations.

Les moyennes pondérées obtenues pour les stations IV et VII sont de 1,1 et $1,9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ respectivement, ce qui correspond à des concentrations moyennes 17 et 10 fois plus faibles que la teneur en chlorophylle *a*, et 3 ou 2 fois plus faibles environ que la concentration de chlorophylle *b*. Bien sûr, de telles évaluations sont peu significatives, compte tenu de la variabilité considérable des valeurs mesurées.

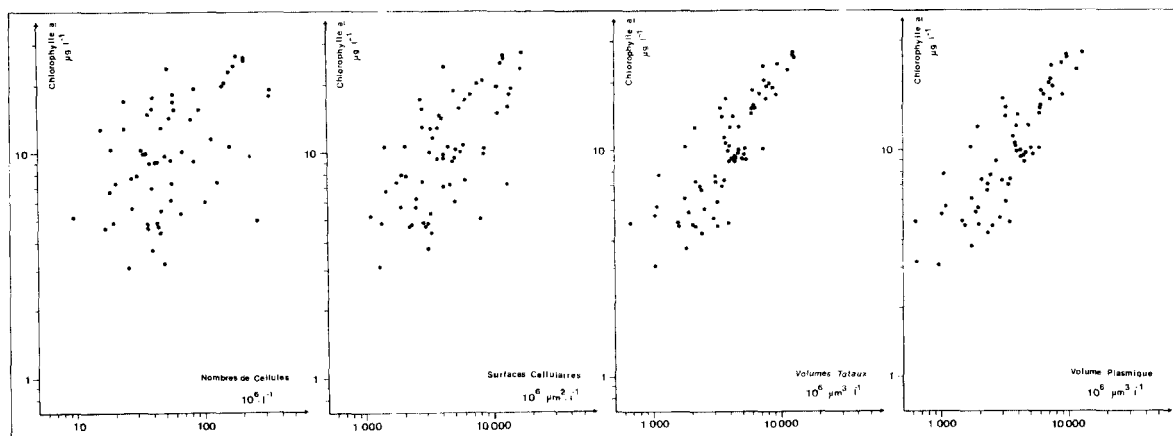


Figure 12. Relations entre la teneur en chlorophylle *a* et la densité des populations, leur surface cellulaire, leur volume total, et leur volume plasmique dans l'eau saumâtre (station VII et IV).

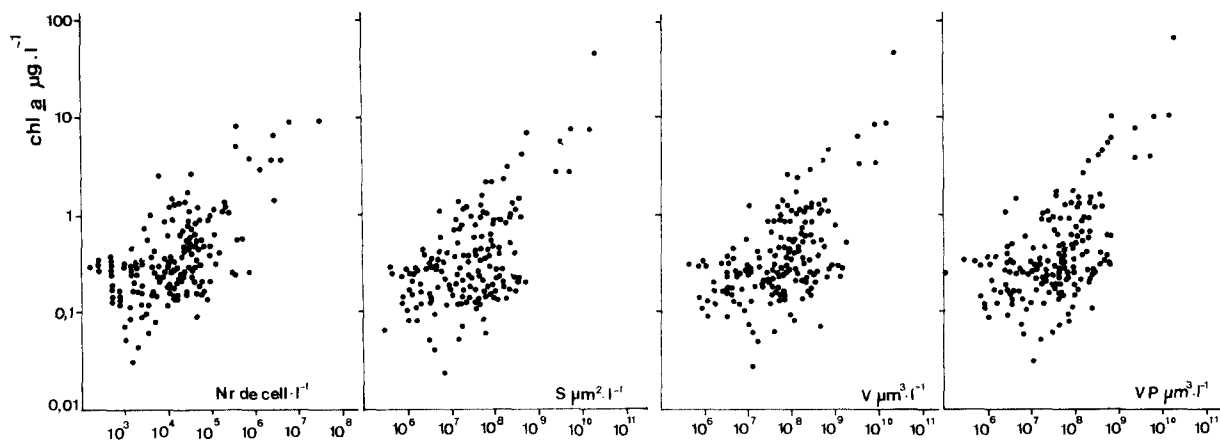


Figure 13. Relations entre la teneur en chlorophylle *a* et la densité des populations, leur surface cellulaire, leur volume total, et leur volume plasmique dans l'eau de mer (station I).

2. Les chlorophylles *b* et *c* en mer

Aux stations I et II, le dosage spectrométrique des chlorophylles *b* et *c* n'a été effectué qu'en surface. Les résultats en sont portés sur la Figure 8 où ils peuvent être directement comparés à ceux qui concernent la chlorophylle *a* dosée par la même méthode.

Dans les deux stations, on observe un certain parallélisme des graphiques mais la proximité plus ou moins grande des 3 lignes permet de juger des proportions relatives des trois pigments. On constate notamment que la chloro-

phyll *b* est presque toujours plus abondante que la chlorophylle *c* à la station II (comme dans l'étang de Berre) alors que leurs concentrations sont souvent voisines à la station I. Cette différence entre les stations est très certainement liée à la composition différente de leur phyto-plancton.

A la station II, les moyennes des teneurs superficielles en chlorophylles *a*, *b* et *c* d'avril à novembre 1978 sont respectivement de 10,0; 1,9 et 0,9 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, tandis qu'elles sont de 6,8; 1,2 et 0,9 à la station I. On constate que les rapports de

ces valeurs à la station II sont pratiquement identiques à ceux qui ont été calculés pour l'étang de Berre. Au contraire, à la station I, malgré l'importance des blooms de Chlorophycées, la proportion de la chlorophylle *b* s'est un peu réduite tandis que celle de la chlorophylle *c* a un peu augmenté, ce qui va de pair avec un rôle très accru des Diatomées.

Les phéopigments

Les produits de dégradation des chlorophylles peuvent constituer une partie importante des pigments 'chlorophylliens' présents dans les milieux naturels. La transformation des chlorophylles en phéophytines, correspondant au remplacement de l'atome de magnésium par deux atomes d'hydrogène, se produit facilement et rapidement sous l'action d'une légère acidification. Sous l'action d'une plus forte acidification les chlorophylles perdent non seulement l'atome de magnésium, mais aussi la chaîne de phytol, et se transforment en phéophorbides. Les phéopigments dosés ici comprennent les phéophytines et les phéophorbides.

Ces phéopigments, qui ont été dosés par fluorimétrie, ne constituent cependant pas la totalité des produits de dégradation, car il y a aussi les chlorophyllides, qui ont été inclus dans les mesures de chlorophylle *a* où il est heureusement vraisemblable que leur part est très faible.

Puisque les teneurs en phéopigments ont déjà été soustraites des dosages de chlorophylle 'totale', il sera surtout intéressant de considérer la place qu'ils occupent au sein des pigments chlorophylliens en estimant leur taux. Le taux de phéopigments est donc une expression quantitative (en pourcentage) du rapport entre la concentration des phéopigments et la somme de celles des phéopigments et de la chlorophylle *a* ('active' ou 'fonctionnelle', mais incluant la chlorophyllide). Ce taux de phéopigments peut notamment constituer un bon indice du degré de dégradation pigmentaire.

1. Les phéopigments de l'étang de Berre

Les Figures 14, 15, 18 et 19 présentent respectivement les variations spatiales et temporelles des teneurs et des taux de phéopigments dans les stations I à VIII. Les fluctuations saisonnières moyennes des concentrations rappellent celles de la chlorophylle. Le parallélisme de l'évolution des concentrations des deux types de pigments apparaît de façon frappante sur les Figures 10 et 11.

Néanmoins, il existe des différences mineures qui s'expriment dans la distribution des valeurs des taux. On constate en effet sur les Figures 18 et 19 que ces taux sont le plus souvent inférieurs à 20% mais qu'ils peuvent à certaines époques dépasser de beaucoup cette faible proportion (maximum : 96,8%). On le voit notamment dans les six stations au printemps (avril et surtout mai) et en automne 1977 et septembre 1978. Les valeurs des taux peuvent alors excéder localement 60%. Ces valeurs élevées peuvent résulter d'une teneur en phéopigments particulièrement élevée (elle a dépassé 3 fois $20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$), comme c'est le cas en mai 1977 ou en septembre 1978, mais aussi d'une très faible teneur en chlorophylle *a* ou de la combinaison de ces deux causes. L'examen des Figures 10 et 11 semble indiquer que la teneur en phéopigments influe davantage sur le taux que la teneur en chlorophylle *a*. Ceci est relativement logique puisque cette dernière présente des variations relatives sensiblement moins importantes.

Il ne semble pas possible de rattacher les valeurs élevées des taux à une composition particulière du phytoplancton. Prenons-en quelques exemples. Le 10 mai 1977, des taux élevés sont dus à de fortes teneurs de phéopigments alors que la chlorophylle *a* est peu abondante et que le phytoplancton, surtout constitué de chlorelles, est très nombreux, mais peu volumineux. La valeur très élevée (84%) observée le 6 septembre 1977 à 4 m à la station IV, due à une valeur très forte de phéopigments alors qu'il y a peu de chlorophylle *a*, n'est liée à aucune composition particulière. Le 2 novembre 1977, les taux

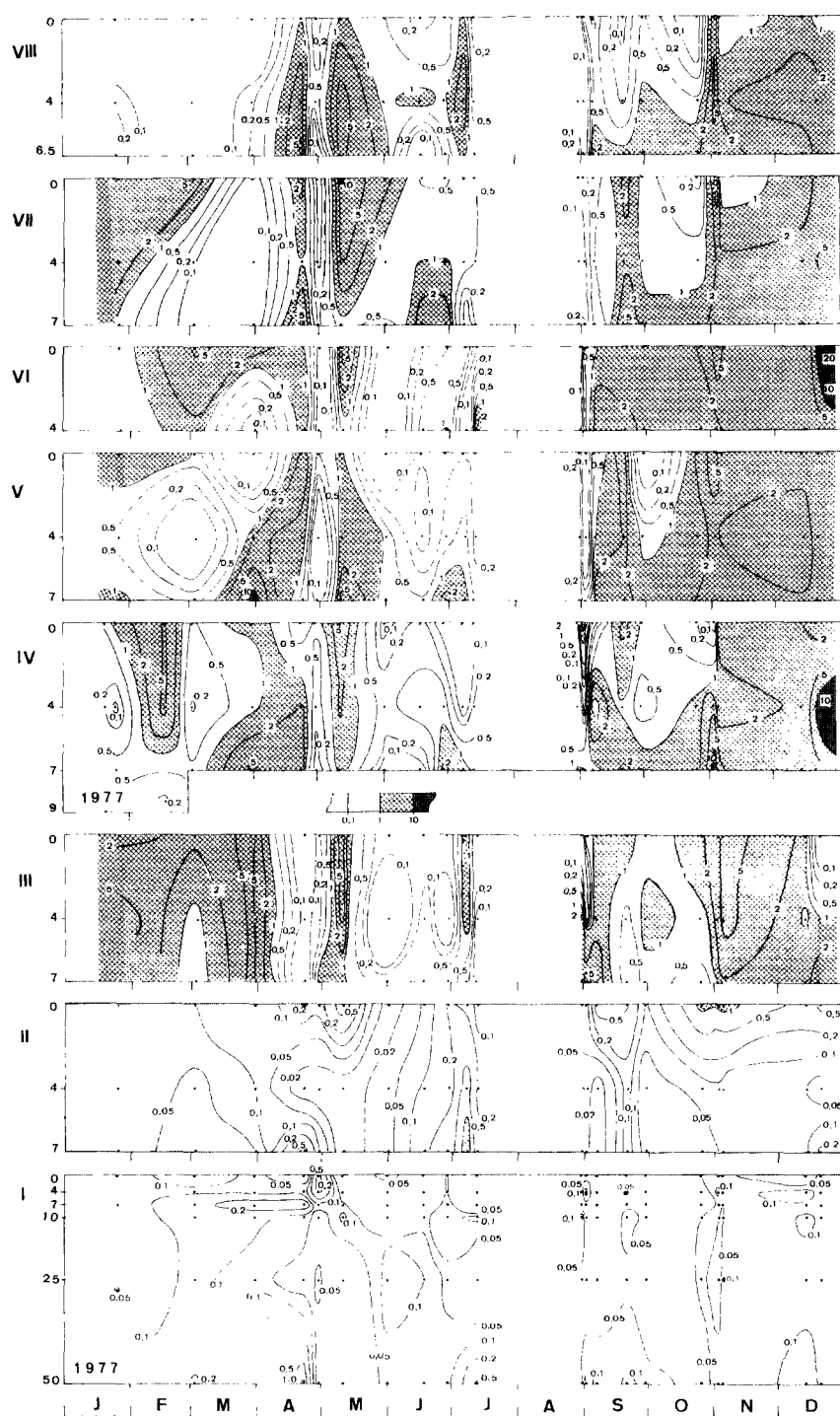


Figure 14. Evolution annuelle de la teneur en phéopigments ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) mesurée par fluorimétrie aux stations VIII-1 au cours de l'année 1977 (noter que l'échelle des profondeurs à la station I diffère des autres).

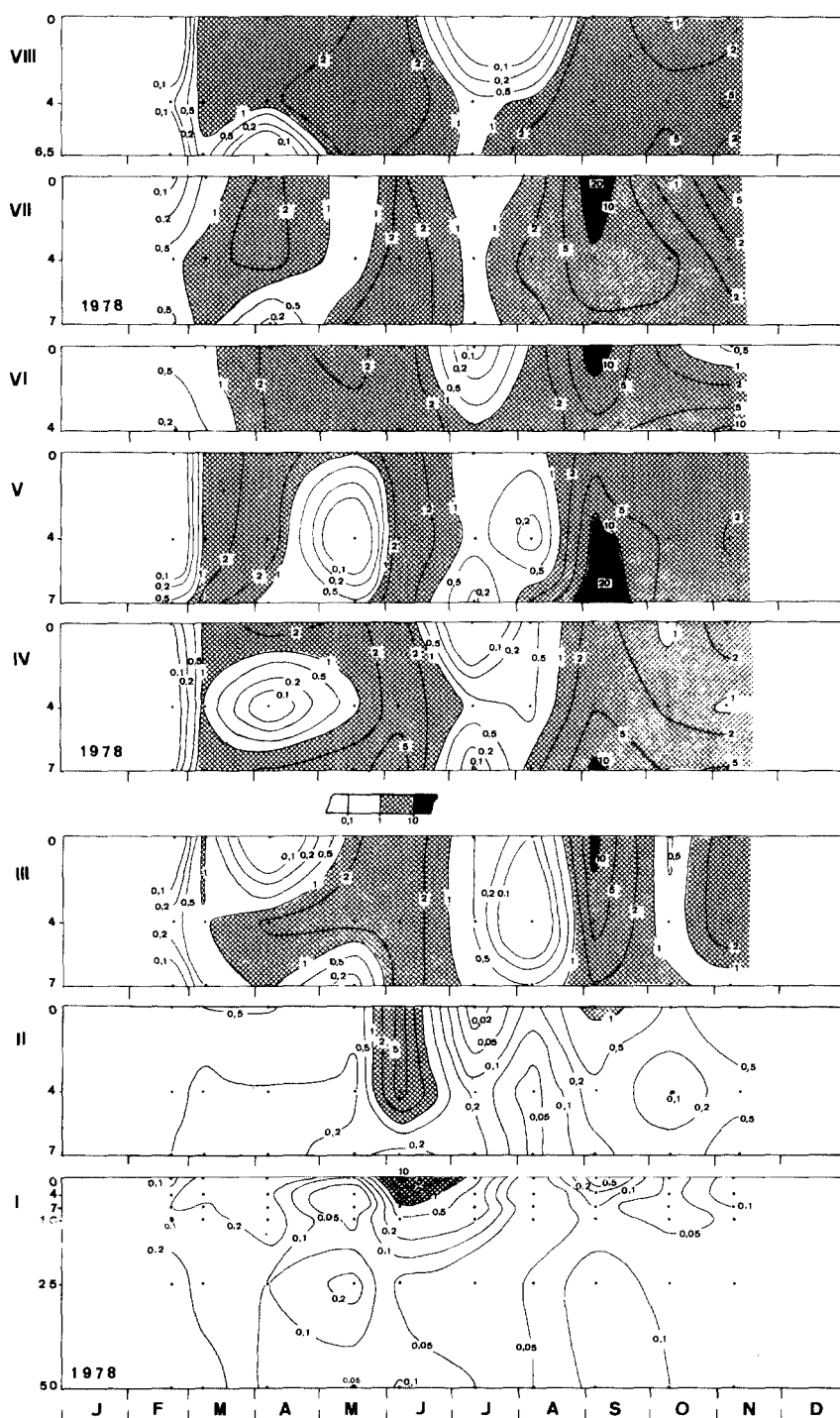


Figure 15. Evolution annuelle de la teneur en phéopigments ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) mesurée par fluorimétrie aux stations VIII-I au cours de l'année 1978 (noter que l'échelle des profondeurs de la station I diffère des autres).

supérieurs à 60% observés dans les trois stations méridionales résultent surtout de concentrations de chlorophylle très faibles. Le phytoplancton, surtout constitué de *Chlorella miniata* et *Rhabdoderma lineare* est assez nombreux mais ne constitue pas une biomasse importante. Enfin les taux assez élevés constatés dans plusieurs stations en septembre 1978 correspondent à un bloom très important par la densité de populations, les biovolumes et la concentration de chlorophylle, dont les constituants dominants sont des chlorelles, des *Pyramimonas* et *Fragilaria intermedia*.

Il ne semble a priori y avoir dans l'étang de Berre aucune répartition verticale cohérente des teneurs ou des taux de phéopigments. Cependant, il semble bien qu'en moyenne les taux maximaux tendent, au cours de l'année, à se déplacer de la surface vers le fond (Figures 18 et 19).

La répartition des teneurs et des taux ne montre pas de différences importantes entre les divers secteurs de l'étang de Berre. Les moyennes pondérées bisannuelles des teneurs en phéopigments s'élèvent à $2,1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ à la station IV et $2,3$ à la station VII. Cette différence est faible mais il est intéressant de rappeler qu'au contraire, la station IV est un peu plus riche en chlorophylle *a* que la station VII. Du reste, cette différence se retrouve dans les valeurs moyennes des taux de phéopigments qui atteignent 16% à la station VII et seulement 13% à la station IV.

Il peut être utile aussi de rappeler que les taux de chlorophylle *b* et *c* sont également sensiblement plus élevés à la station VII qu'à la station IV.

Pour comparer les stations entre elles, on peut aussi avoir recours à la Figure 22 qui considère seulement les moyennes générales des teneurs et taux dans les eaux de surface. Elle montre les teneurs et taux les plus élevés aux stations les plus septentrionales, VI et VII, mais aussi, de façon un peu plus surprenante, à la station III (sauf le taux de 1978). A l'inverse des stations voisines VII et VI, à la station VIII présente des

valeurs moyennes faibles.

On voit aussi que les stations littorales 3 et 1 au Nord et au Sud de l'étang, présentent en moyenne des taux et surtout des teneurs plus faibles que les stations non littorales, station VIII exceptée. Les moyennes générales des teneurs en phéopigments des stations 3 et 1 ne s'élèvent d'ailleurs en chacune qu'à environ $1,3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (et les taux respectifs à 12 et 10%).

Les variations saisonnières de ces teneurs (Figures 16 et 17) sont très importantes, et le sont nettement plus que celles de la chlorophylle *a*, ce qui permet d'expliquer des fluctuations également importantes des taux de phéopigments (Figures 20 et 21), fluctuations qui s'accordent bien avec celles que l'on peut observer dans le reste de l'étang de Berre.

En revanche, celles qui caractérisent la station 2 en divergent fréquemment, surtout en 1977. La moyenne des teneurs de cette station est encore un peu plus basse que les précédentes, avec $1,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (taux moyen : 12%).

On peut seulement comparer ces données à celles de Minas (1976) qui a observé 16,9% en juin 1975, 8,7% en septembre 1975 et 43,4% en février 1976 (moyennes arithmétiques portant chaque fois sur deux journées successives et 30 stations, avec prélèvements dans les eaux de surface et de fond). Malgré la moyenne très élevée de février, ces données sont compatibles avec celles qui sont présentées ici.

2. Les phéopigments de l'étang de Vaïne

Les teneurs en phéopigments mesurées dans l'étang de Vaïne varient beaucoup, puisque leurs valeurs fluctuent de 0 à $15 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. La richesse des stations évolue de façon souvent concomitante mais parfois divergente (Figures 18B et 17B). Les teneurs moyennes croissent de la station 8 à la station 10, les valeurs pour les stations 8, 9 et 10 s'élevant respectivement à 2,7; 3,5 et $3,8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Cet ordre est exactement inverse de celui des concentrations moyennes en chlorophylle *a*, ce qui ne peut manquer d'avoir une forte influence sur le gradient des taux de

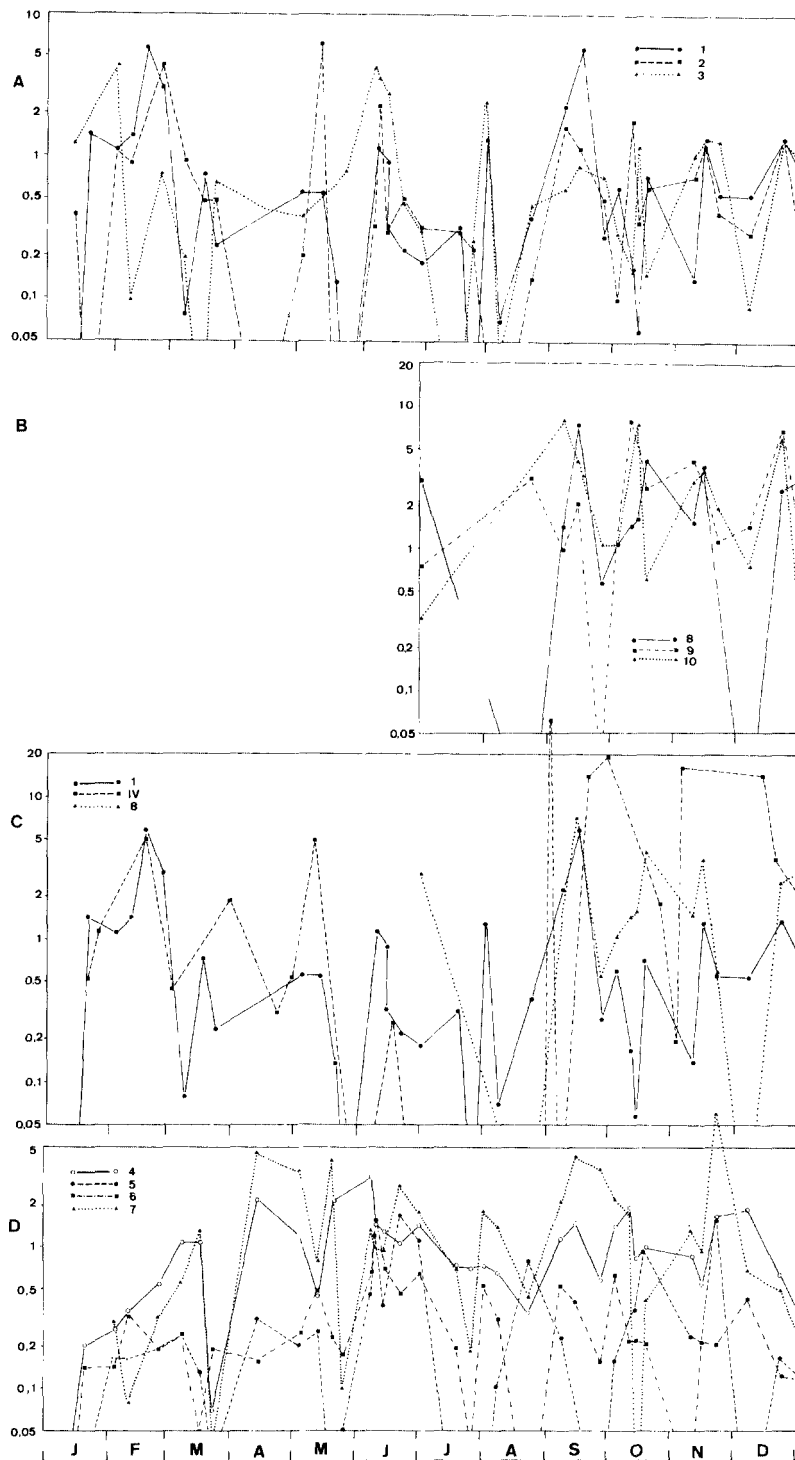


Figure 16. Evolution annuelle de la teneur en phéopigments ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) de surface, mesurée par fluorimétrie au cours de l'année 1977 aux stations: 1, 2 et 3 (A); 8, 9 et 10 (B); 1, IV et 8 (C); 4, 5, 6 et 7 (D).

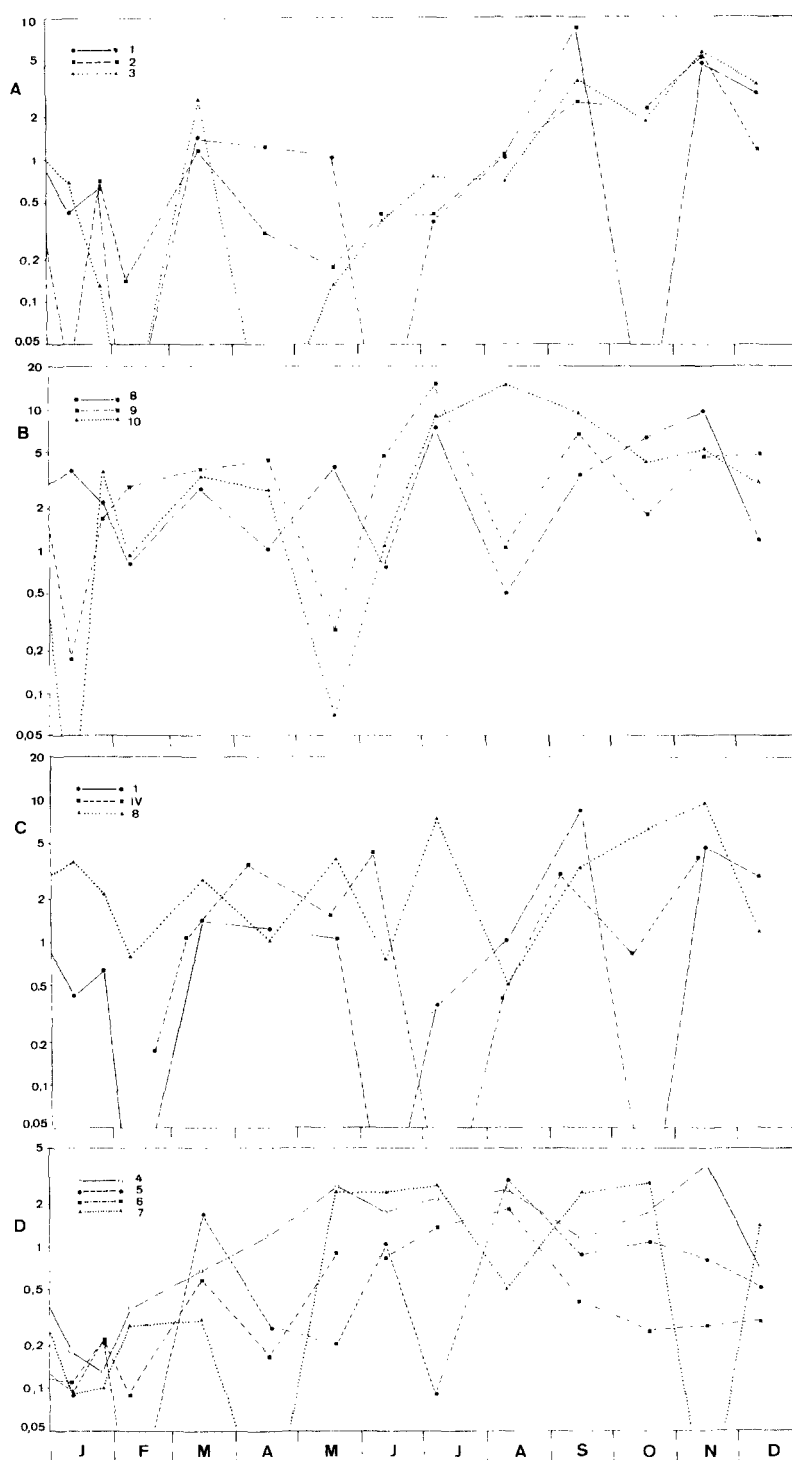


Figure 17. Evolution annuelle de la teneur en phéopigments ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) de surface, mesurée par fluorimétrie au cours de l'année 1978 (voir légende de la Figure 16).

phéopigments.

L'évolution de ces taux dans les trois stations apparaît sur les Figures 20B et 21B. Elle n'offre que des ressemblances occasionnelles avec celle qui concerne l'étang de Berre et même les valeurs correspondant aux trois stations n'évoluent pas toujours en concordance. Dans l'ensemble, comme c'était prévisible, c'est bien la station 8 qui offre le taux le plus faible tandis que le maximum appartient à la station 10. Les moyennes des stations 8, 9 et 10 sont en effet respectivement de 9; 13 et 15%.

Cette différenciation des 3 stations, conforme aux constatations faites à propos de la densité des populations (Kim et Travers, 1984), semble bien traduire, pour la station 8, des conditions exceptionnellement favorables à la multiplication du phytoplancton.

Comparé à l'étang de Berre, l'étang de Vaine est sensiblement plus riche en phéopigments, mais, comme il en était de même pour la chlorophylle *a*, les taux de phéopigments ne diffèrent guère si l'on considère la valeur moyenne. Si l'on considère séparément les 3 stations de l'étang de Vaine, on constate que les taux de la station 8 sont bas, un peu plus bas même que ceux de Martigues (St. 1) alors que ceux des stations 9 et 10 sont tout-à-fait comparables aux taux moyens du centre de l'étang de Berre.

3. Les phéopigments des eaux douces

Les phéopigments constituent un paramètre à l'égard duquel les quatre affluents de l'étang de Berre sont bien différents. Les moyennes bisannuelles des teneurs s'élèvent à $1,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ dans l'Arc; 1,4 dans la Touloubre; 0,6 dans la Durance et 0,4 dans la Durançole. Par rapport à leur contenu chlorophyllien, on retrouve le même cours d'eau en tête, et le même à la dernière place, mais la situation est toute différente pour la Durance et la Touloubre, de sorte que l'on peut s'attendre à trouver des taux relativement bas dans la Durance et très élevés dans la Touloubre. C'est bien ce que l'on constate effectivement puisque les moyennes des taux de

phéopigments s'étagent comme suit : 37% dans la Touloubre ; 24% dans l'Arc ; 21% dans la Durançole et 12% seulement dans la Durance.

Ces différences sont véritablement énormes par rapport à celles qui sont apparues dans les étangs. Seule la Durance présente un taux moyen comparable à celui des eaux saumâtres. Les autres eaux douces présentent des valeurs élevées, particulièrement la Touloubre qui se détache très nettement.

Il ne s'agit évidemment que de moyennes et les Figures 16D, 17D, 20D et 21D montrent que ce classement ne se maintient pas de façon constante. On voit cependant que le tracé des taux de la Touloubre se trouve très fréquemment au-dessus des autres; et ceci plus nettement encore en 1978 qu'en 1977.

On constate aussi que les teneurs et les taux varient moins dans la Touloubre que dans les autres cours d'eau où ces fluctuations sont plus amples que celles de la chlorophylle *a*.

Les évolutions se déroulent indépendamment dans chaque affluent et on ne peut donc apercevoir que quelques traits communs. Notons en 1977 une évolution annuelle très grossièrement comparable à celles qui ont été décelées par le dénombrement des organismes et l'étude de la chlorophylle. Cependant la chute commune des teneurs et taux de phéopigments en mars ne correspond à rien de similaire pour les autres paramètres.

En 1978 les faibles teneurs du début de l'hiver et leur remontée au printemps correspondent aussi à des évolutions assez similaires des autres paramètres. Mais la comparaison est moins satisfaisante pour le reste de l'année. L'élévation relativement régulière des taux depuis le début du printemps jusqu'au début de l'automne dans la Touloubre et l'Arc semble surtout due à la lente décroissance des teneurs en chlorophylle *a*. Il semble donc que dans ces rivières on voit peu à peu une part croissante de la chlorophylle se transformer en phéopigments.

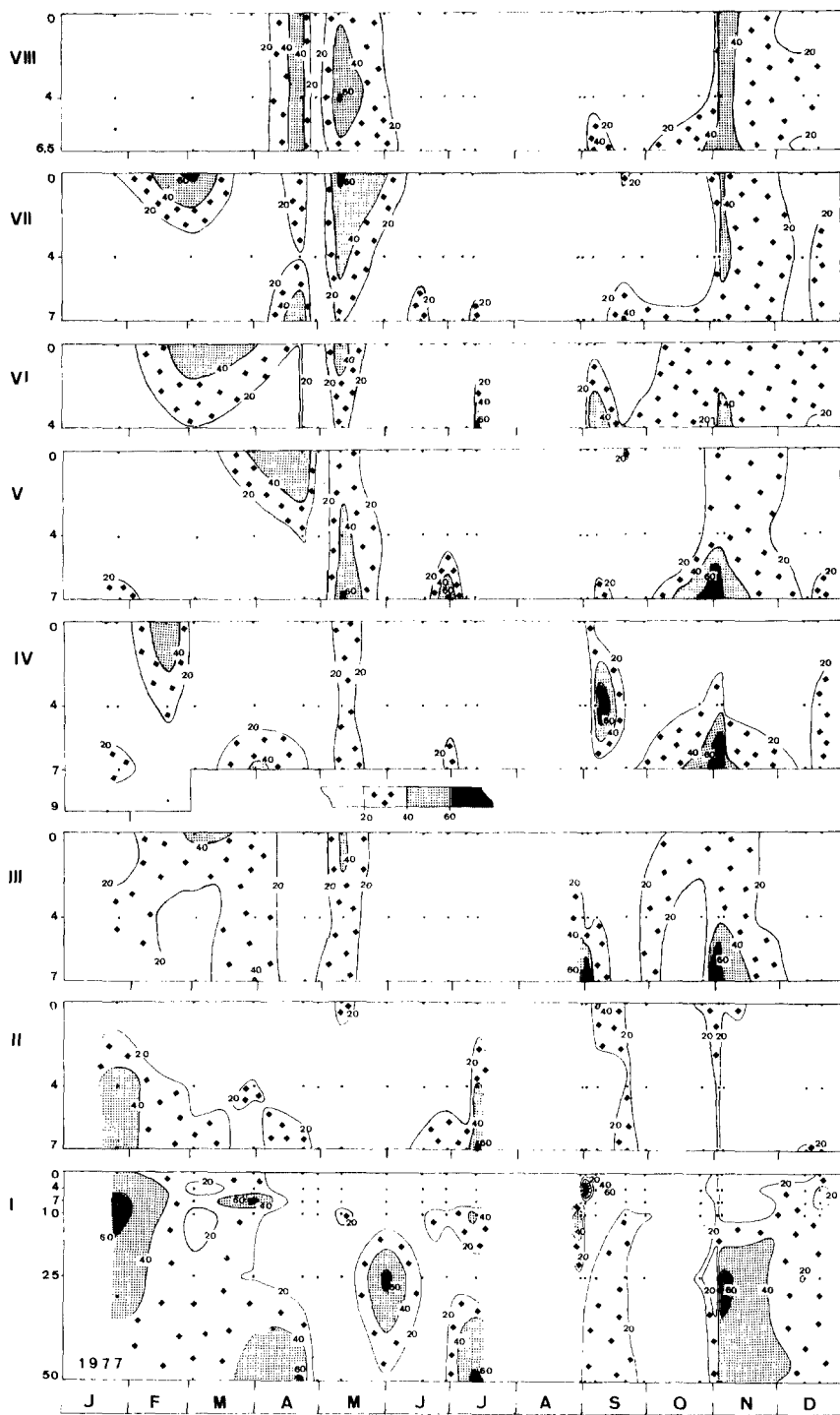


Figure 18. Evolution annuelle du taux de phéopigments (%) aux stations VIII-I au cours de l'année 1977 (noter l'échelle de profondeurs particulière à la station I).

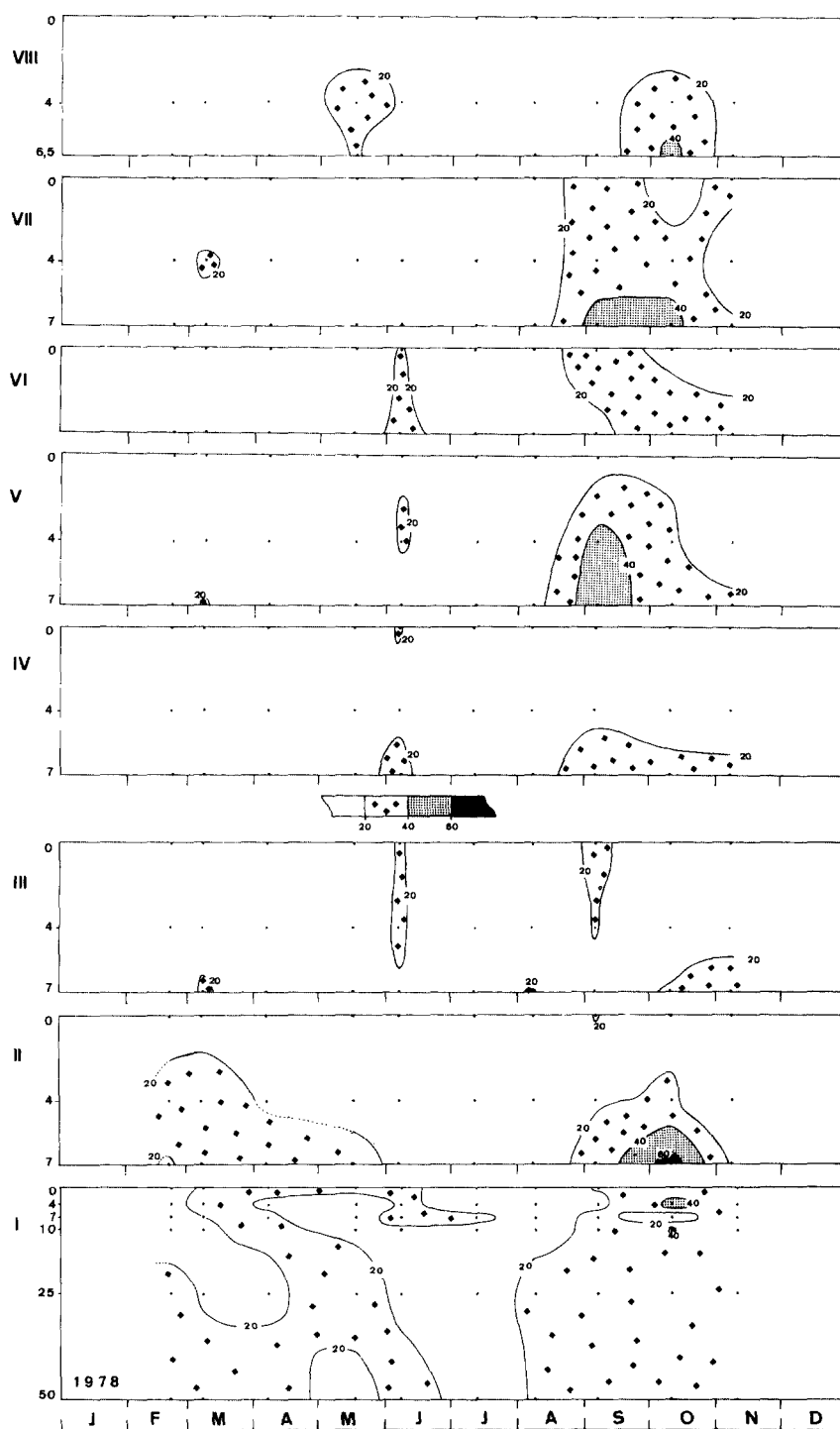


Figure 19. Evolution annuelle du taux de phéopigments (%) aux stations VIII-I au cours de l'année 1978 (noter l'échelle de profondeurs particulière à la station I).

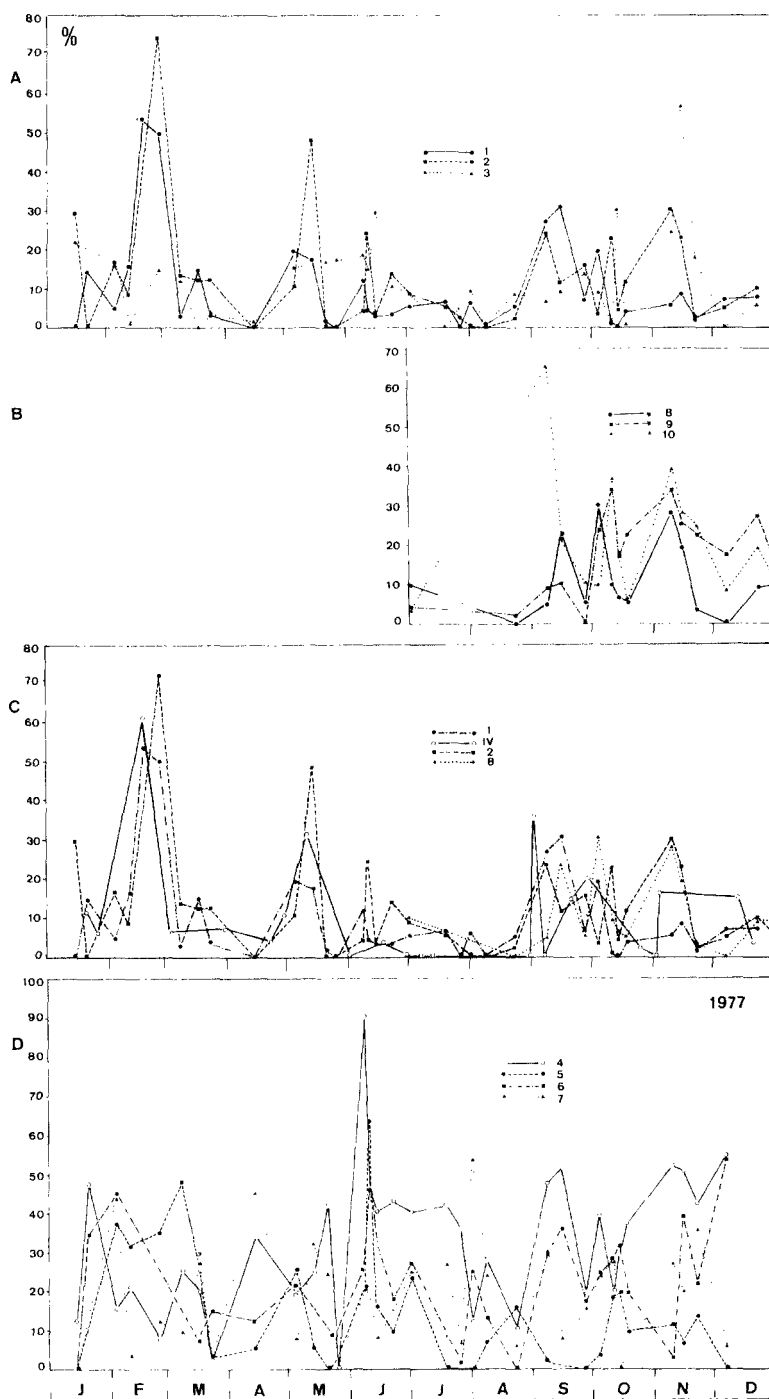


Figure 20. Evolution annuelle du taux de phéopigments (%) de surface au cours de l'année 1977 aux stations: 1, 2 et 3 (A); 8, 9 et 10 (B); 1, IV et 8 (C); 4, 5, 6 et 7 (D).

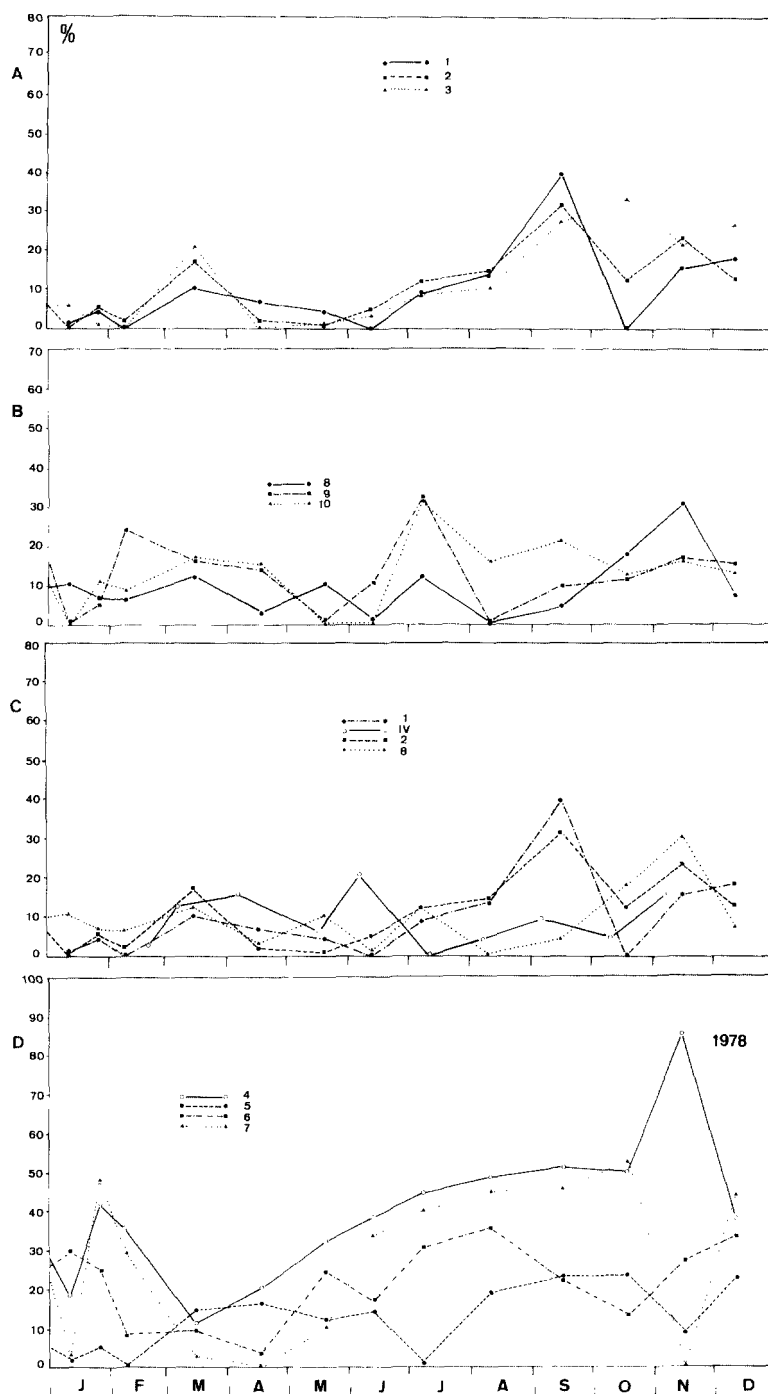


Figure 21. Evolution annuelle du taux de phéopigments (%) de surface au cours de l'année 1978 (voir légende de la Figure 20).

4. Les phéopigments en mer

Une fois encore, on va constater des résultats bien différents pour les deux stations étudiées : la station typiquement marine des abords de Carry-le-Rouet et la station très partiellement marine située en face de l'embouchure du chenal de Caronte.

A cette station II, la teneur moyenne pondérée en phéopigments est de $0,34 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ et le taux moyen atteint 16% (on a vu plus haut que la station 2, voisine, mais uniquement superficielle, en contenait $1,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ en moyenne, soit un taux de 12%).

A la station I, la teneur moyenne n'est que de $0,15 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ et le taux atteint 22% environ. Il y a donc bien un gradient moyen très marqué entre ces trois stations.

A la station II, il existe souvent pour les teneurs un gradient vertical prononcé, dû à la superposition des eaux saumâtres et marines. Un tel gradient est plus rare et généralement moins brutal à la station I où les fortes teneurs accidentelles sont évidemment liées à l'arrivée d'eaux dessalées. On y a mesuré jusqu'à $15,6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (le 6 juin 1978 en surface), alors que les valeurs sont le plus souvent inférieures à 0,5. Dans ce prélèvement, le taux de phéopigments atteignait alors 25%, en raison de l'abondance de phytoplancton d'eau douce, vraisemblablement sénescents sinon déjà morts.

La teneur en phéopigments des eaux marines présente des variations saisonnières généralement assez comparables à celles de la chlorophylle *a* (Figures 14 et 15). Déterminé de façon irrégulière par ces deux paramètres, le taux de phéopigments est lui-même très variable (Figures 16 et 17) et ne présente guère de cycle annuel cohérent, quoiqu'il semble souvent plus élevé après certaines poussées phytoplanctoniques (par exemple à la station II, au début et à la fin du printemps, puis en septembre et au début de novembre 1977).

Au point de vue répartition verticale, on constate le plus souvent des taux plus faibles en surface que dans les eaux sous-jacentes.

Les valeurs exceptionnellement élevées du taux correspondent à des concentrations de chlorophylle très faibles tandis que les valeurs basses ou nulles de ce taux sont dues à des quantités minimales ou indosables de phéopigments.

Conclusion

La Figure 2 offre une sorte de résumé comparatif des milieux en ce qui concerne les principaux pigments étudiés. On retrouve avec la chlorophylle *a* des graphiques d'allure assez comparable à ceux qui résumaient de même les résultats des numérations cellulaires (Kim et Travers, 1985 b) : même richesse des étangs par rapport aux milieux d'eau douce ou marine; même supériorité, mais encore plus marquée, de l'étang de Vaine sur l'étang de Berre; situation intermédiaire des stations 2 et II, entre les stations des étangs et la seule station vraiment marine, la station I; dans les eaux douces, pauvreté de la Durançole et richesse de l'Arc. On constate surtout des ressemblances, mais on peut noter que la Durance semble plus riche en chlorophylle qu'en cellules, alors que ce serait plutôt l'inverse pour la Touloubre.

Les teneurs en phéopigments des divers milieux se classent de façon assez semblable à leurs contenus en chlorophylle ou en cellules phytoplanctoniques. On peut cependant remarquer que les stations de l'étang de Berre diffèrent entre elles plus qu'il n'est habituel, avec des valeurs élevées aux stations VI, VII et III, et que dans eaux douces contrairement à ce que l'on vient de voir pour la chlorophylle, la Durance est plus pauvre en phéopigments que la Durançole, tandis que la Touloubre en est presque aussi chargée que l'Arc.

Il en résulte des conséquences notables pour les taux de phéopigments. Ils sont bas dans la Durance, seul cours d'eau comparable aux eaux saumâtres à cet égard, tandis qu'ils sont très élevés dans la Touloubre, peut-être à cause de l'incidence des importantes pollutions urbaines

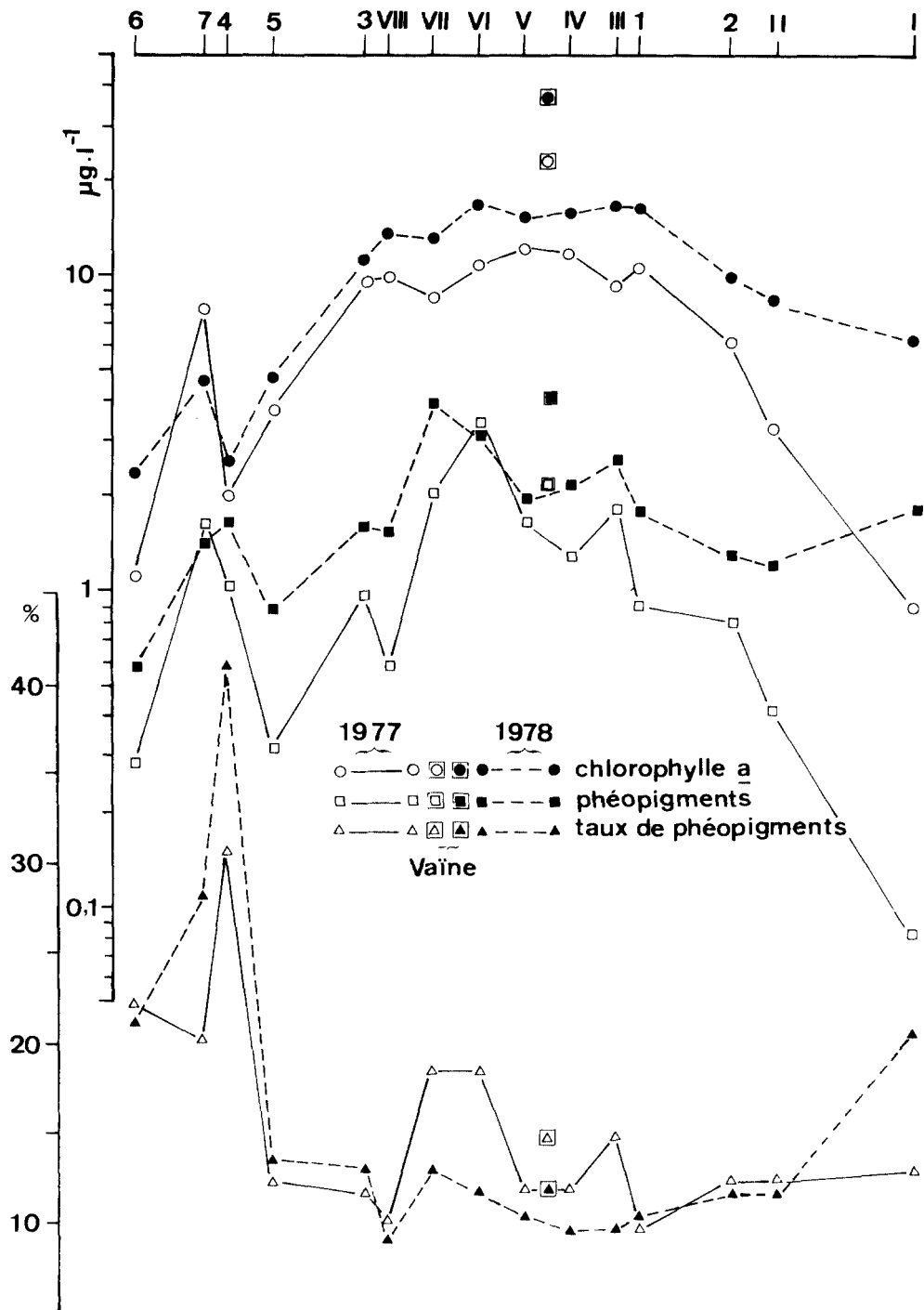


Figure 22. Chlorophylle *a*, phéopigments et taux de phéopigments dans la plupart des stations étudiées au cours des années 1977 et 1978 (moyennes annuelles de surface).

qui affectent cette rivière.

L'Arc et la Durançole, rivières davantage soumises à des pollutions rurales, ont un taux de phéopigments sensiblement plus faible mais encore important par rapport aux eaux des étangs. En mer, ce taux remonte un peu, surtout à la station 1.

La dosage des autres chlorophylles a surtout permis de mettre en relation la présence de chlorophylle *b* avec l'abondance relative des Chlorophycées.

En conclusion, il est évident que tous ces dosages de pigments confirment ou complètent utilement et à plusieurs points de vue les études quantitatives selon la méthode d'Utermöhl.

Références bibliographiques

- Benon P., Bourgade B., Kantin R., 1977. Impact de la pollution sur les écosystèmes marins côtiers. Aspects planctoniques. Thèse 3^e cycle. Univ. Aix-Marseille 2: 1-400.
- Blanc F., Leveau M., 1973. Plancton et eutrophie : aire d'épandage rhodanienne et golfe de Fos (traitement mathématique des données). Thèse Doct. ès-Sc., Univ. Aix-Marseille: 1-681.
- Boto K.-G., Bunt J.S., 1978. Selective excitation fluorometry for the determination of chlorophylls and pheophytins. *Anal. Chem.*, 50(3): 392-395.
- Dowidar N.M., Hamza W.R., 1985. Chlorophylls and pheopigments of the phytoplankton in lake Manzalah Egypt. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 29(9): 141-153.
- Hallegraeff G.M., 1977. Pigment diversity in freshwater phytoplankton. II. Summer-succession in three Dutch lakes with different trophic characteristics. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 62(1): 19-39.
- Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., Strickland J.D.H., 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 30: 3-15.
- Holm-Hansen O., Riemann B., 1978. Chlorophyll *a* determination : improvements in methodology. *Oikos*, 30: 438-447.
- Jeffrey S.W., 1976. A report of green algal pigments in the central North Pacific Ocean. *Mar. Biol.*, 37(1): 33-37.
- Kim K.-T., 1980. Contribution à l'étude de l'écosystème pélagique dans les parages de Carry-le-Rouet (Méditerranée nord-occidentale). 3. Composition spécifique, biomasse et production. *Téthys*, 9(4): 317-344.
- Kim K.-T., 1981. Le phytoplancton de l'étang de Berre : composition spécifique, biomasse et production; relations avec les facteurs hydrologiques, les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin (Méditerranée nord-occidentale). Thèse Doct. ès-Sc., Univ. Aix-marseille 2: 1-474.
- Kim K.-T., Travers M., 1984. Le phytoplancton des étangs de Berre et Vaïne (Méditerranée Nord-Occidentale). *Intern. Rev. ges. Hydrobiol.*, 69(3): 361-388.
- Kim K.-T., Travers M., 1985 a. Evolution de la composition spécifique du phytoplancton de l'étang de Berre (France). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 29(4): 97-99.
- Kim K.-T., Travers M., 1985 b. L'étang de Berre : un bassin naturel de culture du phytoplancton. *Ibid.*, 29(4): 101-103.
- Kim K.-T., Travers M., 1988. La salinité et la densité des eaux des Etang de Berre et de Vaïne (Méditerranée Nord-Occidentale). Relations avec les affluents et le milieu marin voisin. *Mar. Nat.*, 1(1): 37-58.
- Kim K.-T., Travers M., 1990. Un modèle intéressant : les étangs saumâtres de Berre et Vaïne (Méditerranée Nord-Occidentale) : l'hydrologie, le phytoplancton et la production. *Ibid.*, 3: 61-73.
- Kim K.-T., Travers M., 1995. Utilité des mesures dimensionnelles et des calculs de surface et biovolume du phytoplancton. Comparaisons entre deux écosystèmes différents. *Ibid.*, 4: 43-71.

- Lium B.W., Shoaf W.T., 1978. The use of magnesium carbonate in chlorophyll determinations. *Water Resour. Bull.* 14(1): 190-194.
- Loftus M.E., Carpenter J.H., 1971. A fluorometric method for determining chlorophylls *a*, *b* and *c*. *J. mar. Res.*, 29(3): 319-338.
- Minas M., 1973. Sur la synthèse et la dégradation de la matière organique dans l'écosystème de l'étang de Berre. Dynamique et bilans. Rapports avec le régime hydrologique. Univ. Aix-Marseille, Thèse Doct. Etat: 1-339.
- Minas M., 1976. Evolution saisonnière de plusieurs paramètres indicateurs de la biomasse dans les eaux de l'étang de Berre et leurs relations. *Téthys*, 7(2-3): 115-130.
- Persoone G., Sorgeloos C., Grolière, Omaly N., 1968. Sur la limnologie de quelques lacs du Puy-de-Dôme : physico-chimie et plancton de surface. *Ann. Sta. biol. Besse-en-Chandesse*, 3: 43-114.
- Riemann B., 1978. Absorption coefficients for chlorophylls *a* and *b* in methanol and a comment on interference of chlorophyll *b* in determinations of chlorophyll *a*. *Vatten*, 3: 187-194.
- Saijo Y., Lizuka S., Asoaka O., 1969. Chlorophyll maxima in Kuroshio and adjacent area. *Mar. Biol.*, 4: 190-196.
- Sautriot D., 1977. Recherches sur les produits dérivés de la chlorophylle dans l'eau et les sédiments marins. Univ. d'Aix-Marseille, Thèse 3^e cycle: 1-105.
- Travers M., 1976. Le microplancton du golfe de Marseille: pigments phytoplanctoniques, estimations de production. *Téthys*, 7(2-3): 137-168.
- Travers M., Kim K.-T., 1985. Le phytoplancton apporté par l'Arc à l'étang de Berre (côte méditerranéenne française) : dénombrement, composition spécifique, pigments et adénosine 5'triphosphate. *Ecol. medit.*, 11(4): 43-60.
- Travers M., Kim K.-T., 1988. Le phytoplancton du Golfe de Fos (Méditerranée nord-occidentale). *Mar. Nat.*, 1(1): 21-35.
- Travers A., Travers M., 1962. Recherches sur le phytoplancton du golfe de Marseille. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, 41(Bull. 26): 7-139.
- Yentsch C.S., Menzel D.W., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep. Sea Res.*, 10: 221-231.

This article was presented by professor M. Travers.

It was accepted for printing on 30 September 1994.