

## DYNAMIQUE DES PEUPELEMENTS ALGAUX DANS LE LAC DE TUNIS

par

**Moheiddine BELKHIR \***

### ملخص

خلال الفترة الممتدة من شهر جويلية 1974 الى شهر جانفي 1977 كانت بحيرة تونس الشمالية مصبا لجميع المياه العمرانية وغيرها من المياه الملوثة مسجلة تأثيرات جذرية على الكائنات الحيوانية والنباتية .

بصردنا لهذه الدراسة نحاول استنباط وصف للتأثير الحاصل من صب فواضل المياه في البحيرة على كل من النباتات المجهرية والكبيرة منها وذلك في الزمان والمكان .

### RESUME

Durant la période allant de juillet 1974 à janvier 1977, le lac nord de Tunis n'a pas cessé de recevoir la totalité des eaux urbaines et pluviales dont les incidences sur l'écosystème lagunaire sont diverses, touchant aussi bien la faune que la flore.

Dans cet article, nous essayons de décrire, l'impact de ces rejets très riches en matières fertilisantes sur la dynamique spatio-temporelle du phytoplancton et des macrophytobenthos.

### ABSTRACT

From July 1974 to January 1977, the north lake of Tunis was still receiving all sewage (domestic and rainfall) which, affecting both fauna and flora.

By this study, we are trying to describe the impact of sewage input upon the dynamic in space and time, of phytoplankton and macroalgae.

\* Institut national scientifique et technique d'océanographie et de pêche - Salammbô.

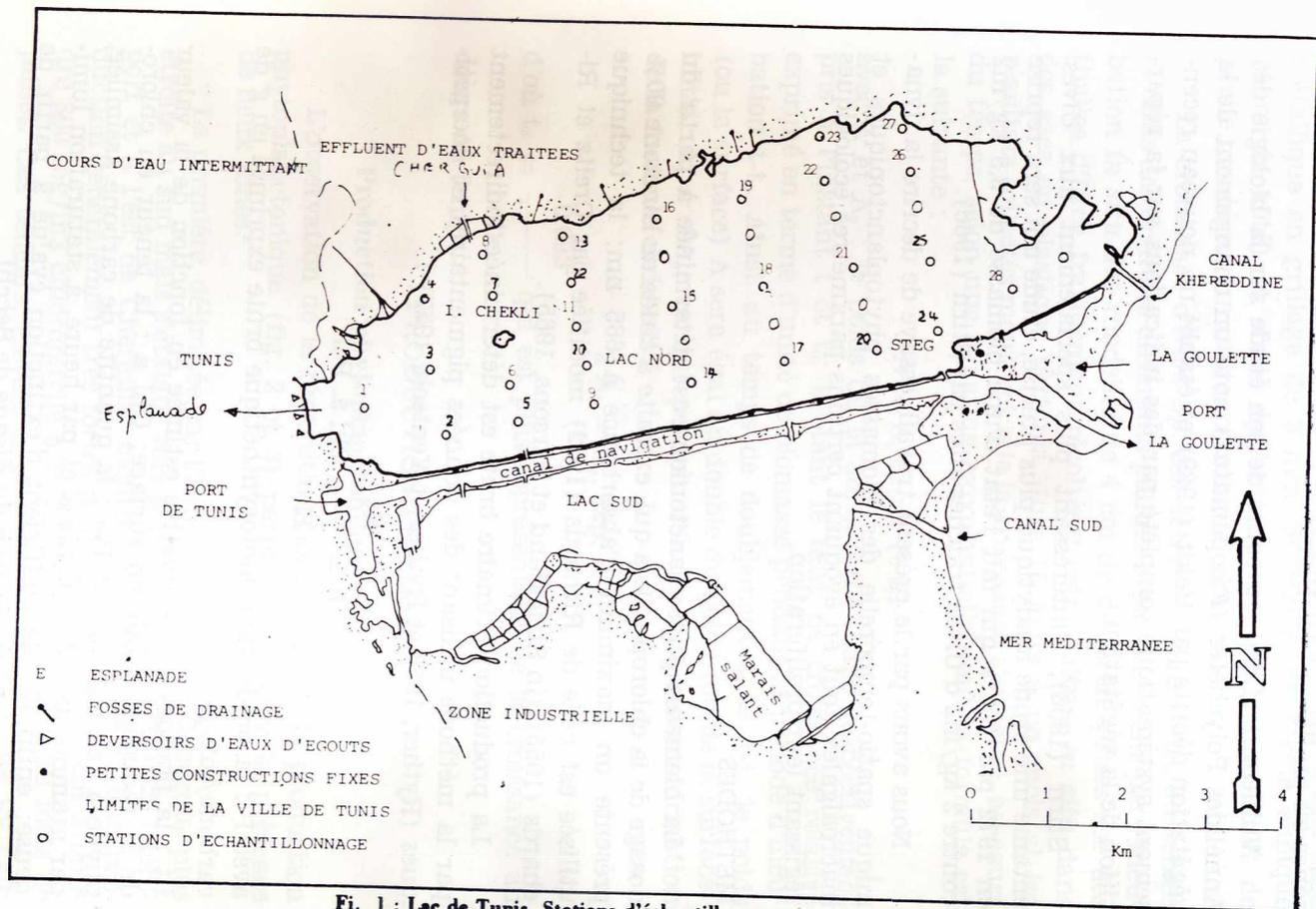
## INTRODUCTION

Le lac de Tunis est le lac le plus pollué organiquement et le plus productif de tous les lacs en Tunisie; avec une superficie de 24 km<sup>2</sup> et une profondeur moyenne de 1 m, la production moyenne est de 130 kg/ha/an de poissons, pour la période 1968-1977 (statistiques de l'Office national des pêches); cette productivité représentée essentiellement par les mulets, les anguilles, les lousps et les daurades, est généralement supportée par le maillon primaire de la chaîne alimentaire.

L'état de richesse en algues, aussi bien micro que macrothalliques, est supporté essentiellement par la présence, en excès de sels nutritifs (Belkhir et al., 1982) et en grande partie, par la reminéralisation par les organismes hétérotrophes des composés organiques tapissant le fond, en période de fortes radiations solaires (Zobel, 1946).

Malgré cette productivité très souvent qualifiée d'excessive, les algues n'ont jamais fait l'objet de travaux d'envergure; par ailleurs, certaines études permettent de se faire une idée fragmentaire quant à leur composition et leur distribution quantitative. Heldt (1929), note dans ses récoltes, pauvres en individus, la présence de certaines diatomées *Ceratium* (*Bidulphia* et *Chaetoceros*) et des péridiniens (*Ceratium*). Stirn (1966) est le premier à pouvoir rapporter des renseignements aussi bien qualitatifs que quantitatifs et à mettre en évidence l'impact de la pollution organique sur la prolifération algale. A cet égard cet auteur indique dans la zone polluée (côté ville de Tunis : rejet d'eaux usées urbaines et pluviales), un maximum de 6 milliards de cellules par litre contre près de 3 millions de cellules par litre dans la zone peu polluée (côté mer), le peuplement étant essentiellement composé de Coccoloidae, *Navicula Sinenisis*, *Nitzschia* et *Gymnodinium*.

En ce qui concerne l'étude des algues macrothalliques le mérite revient à Heldt (1929) qui est le premier auteur à s'intéresser aux algues dans la lagune et à établir la première carte de végétation. Sur cette carte, sont consignés les endroits où croissent *Ruppia* et *Zostera*, les régions les plus recouvertes



Fi. 1 : Lac de Tunis. Stations d'échantillonnage dans le lac Nord.

d'*Enteromorpha*: les fonds où poussent les *Acetabularia* et les zones où prolifèrent les Ulves.

Vuillemin (1965) au cours de son étude sur la biologie des Annélides Polychètes (*Ficopomatus*) note un changement de la végétation décrite par Heldt (1929) et établit un nouveau recensement systématique complété par des indications sur la répartition de la végétation.

Stirn (1966), s'intéressant plus spécialement aux Ulves, entame une étude analytique plus précise, étude qui sera reprise en 1972 par Bjork qui fait l'état d'une biomasse de 3,5 kg/m<sup>2</sup> contre 2 kg/m<sup>2</sup> d'Ulves fraîches cités par Stirn (1966).

Nous avons par le présent travail, essayé de décrire la dynamique spatio-temporelle des biomasses phytoplanctoniques et macroalgales, tout en évoquant certains paramètres écologiques régissant leur prolifération.

#### METHODES

La biomasse phytoplanctonique est déterminée à partir du dosage de la chlorophylle a qui, extraite à l'aide de l'acétone 90% présente un maximum d'absorbance à 665 nm; la technique utilisée est celle de Richards (1952) modifiée par Creitz et Richards (1955) (in Strickland et Parsons, 1965).

La production primaire brute est déterminée indirectement par la méthode utilisant des données pigmentaires et énergétiques (Ryther, 1956 et Ryther et Yentsch, 1957) :

$$P = \frac{R_t}{K} \cdot \text{Chl a} \cdot P_{\text{sat}}$$

avec P : la production photosynthétique brute exprimée en g de carbone/m<sup>2</sup>/jour;

R<sub>t</sub> : la photosynthèse relative estimée en fonction de la valeur de la radiation totale en surface; Chl a : la teneur en chlorophylle a (en mg/m<sup>3</sup>) et P<sub>sat</sub> : la quantité de carbone assimilée, par gramme de chlorophylle a et par heure, à saturation lumineuse; enfin K : le coefficient d'extinction évalué à partir de la profondeur de disparition du disque de Secchi.

La biomasse macroalgale, exprimée en poids frais par unité de surface est déterminée à chaque station à l'aide d'une cage métallique en grillage de 3 mm de maille, de forme cubique (1 m de côté) et d'une épaisseur constituée par un filet de pêche monté sur un cadre métallique triangulaire.

La croissance d'*Ulva Sp.* est déterminée au cours du temps et dans des endroits différents pollués organiquement par l'incubation *in situ* des rondelles de 4 cm de diamètre prises sur des thalles d'*Ulva* fraîchement récoltées; cette culture *in situ* dans des sacs en plastique perforés, dure 15 jours à un mois et les résultats collectés montrent que la croissance s'effectue, au cours du temps, selon une équation exponentielle dont la formule est la suivante :

$$A = A_0 \exp k (t-t_0)$$

avec A et  $A_0$  : le poids ou la surface du thalle respectivement pris à l'instant t et  $t_0$ ; k étant le taux de croissance relative exprimé en terme d'unité de biomasse pendant la période d'incubation  $t-t_0$ . Ainsi, au temps de doublement  $t_x = t-t_0$  le poids (ou la surface) A sera égal au double du poids (ou de la surface) initial  $A = 2A_0$ ; ce qui permet d'écrire après transformation de la formule ci-dessus :

$$2 A_0 = A_0 \cdot \exp. k. t_x$$

0,693

d'où  $t_x = \frac{0,693}{k}$  qui est plus représentatif de la croissance au cours du temps.

## PRODUCTION PRIMAIRE

### Production phytoplanctonique

L'observation de la répartition horizontale de la production phytoplanctonique (fig. 2 et 3) permet de repérer la présence de deux zones.

La première, délimitée par l'Esplanade-Chekli-Cherguia, plus étroite au sud mais s'étalant vers le nord-est au niveau de l'aéroport et à l'est de Cherguia, montre une biomasse et une production généralement très fortes pouvant respectivement atteindre 800 mg/m<sup>3</sup> chlorophylle a et 22 617 mg c/m<sup>2</sup>/j, au mois de juillet. Ces teneurs, élevées sont irrégulières au cours de l'an-

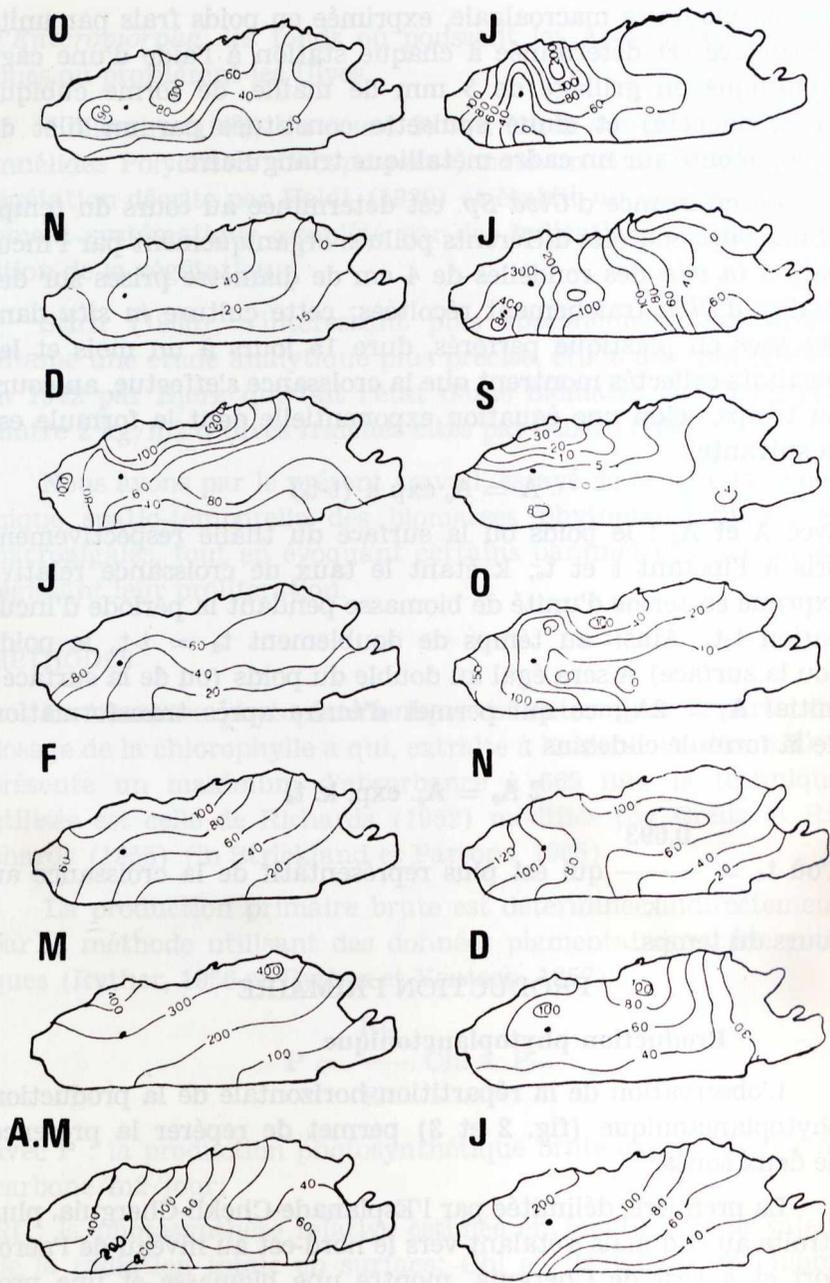


Fig. 2. Variation spatio - temporelle des biomasses phytoplanctoniques (en terme de mg de chlorophylle a/m<sup>3</sup> durant la période allant d'octobre 1975 à janvier 1977 dans le lac nord de Tunis

Fig. 3

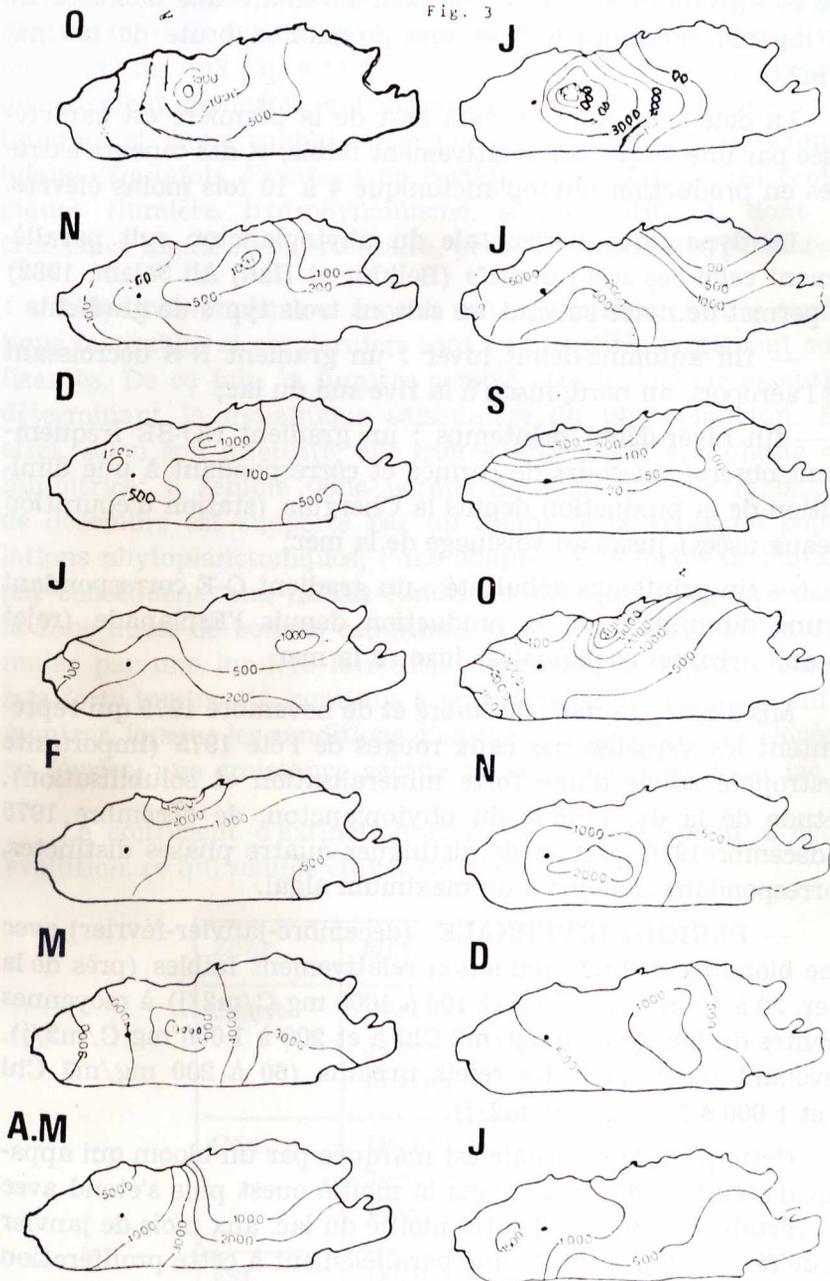


Fig. 3. Variation spatio-temporelle de la production primaire brute (en terme de mgde C/m<sup>2</sup>/j) durant la période allant d'octobre 1975 à janvier 1977 dans le lac nord de Tunis

née et s'affaiblissent l'automne pour atteindre une biomasse de 15 mg/m<sup>3</sup> chlorophylle a et une production brute de 100 mg C/m<sup>2</sup>/j.

La deuxième zone située à l'est de la première est caractérisée par une amplitude relativement faible, et des teneurs extrêmes en production phytoplanctonique 4 à 10 fois moins élevées.

La dynamique horizontale du phytoplancton suit parallèlement celle des sels nutritifs (Belkhir et Hadj Ali Salem, 1982) et permet de noter suivant les saisons trois types de gradients :

— fin automne-début hiver : un gradient N-S décroissant de l'aéroport, au nord, jusqu'à la rive sud du lac;

— fin hiver-début printemps : un gradient NO-SE fréquemment observé au cours de l'année et correspondant à une diminution de la production depuis la Cherguia (station d'épuration d'eaux usées) jusqu'au voisinage de la mer;

— fin printemps-début été : un gradient O-E correspondant à une diminution de la production depuis l'Esplanade (rejet d'eaux urbaines et pluviales) jusqu'à la mer.

Mis à part, les mois d'octobre et de novembre 1975 qui représentent les séquelles des eaux rouges de l'été 1975 (importante dystrophie suivie d'une forte minéralisation et solubilisation), l'étude de la dynamique du phytoplancton, de décembre 1975 à décembre 1976, permet de distinguer quatre phases distinctes, correspondant chacune à un maximum algal.

— PERIODE HIVERNALE (décembre-janvier-février) avec une biomasse et une production relativement faibles (près de la mer, 20 à 40 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 100 à 1000 mg C/m<sup>2</sup>/j) à moyennes (centre du lac, 40 à 80 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 200 à 1 000 mg C/m<sup>2</sup>/j), devenant fortes près des rejets urbains (60 à 200 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 1 000 à 2 000 mg C/m<sup>2</sup>/j).

Cette période hivernale est marquée par un bloom qui apparaît d'abord en décembre dans la moitié ouest puis s'étend avec un certain retard dans l'autre moitié du lac, aux mois de janvier et de février. On constate que parallèlement à cette prolifération de janvier et février à l'est, dans la zone ouest le phytoplancton n'évolue pas et montre plutôt une certaine chute atteignant 80 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 1 000 mg C/m<sup>2</sup>/j en janvier. Cette chute est

suivie d'une phase ascendante en février (sauf au niveau de l'Esplanade) où biomasse et production atteignent respectivement 100 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 2 000 mg C/m<sup>2</sup>/j. Ce phénomène est difficilement explicable en l'absence de numérations phytoplanctoniques et d'une connaissance précise de la structure taxonomique. Toutefois, l'examen de certaines caractéristiques écologiques (lumière, hydrodynamisme, sels nutritifs,...), dont la croissance algale reste tributaire, permet certaines hypothèses.

L'hydrodynamisme et les sels nutritifs présentent des conditions favorables et ces derniers sont en quantités largement suffisantes. De ce fait, la lumière semble être le facteur essentiel déterminant la dynamique saisonnière du phytoplancton. En effet, selon son intensité, elle exerce une action stimulante ou inhibitrice; il semble donc permis de supposer que le bloom de décembre est supporté par au moins deux types de populations phytoplanctoniques; l'une adaptée à de fortes turbidités, par conséquent, aux faibles conditions de lumière, trouve dans la zone ouest de bonnes conditions pour proliférer; l'autre, stimulée par une lumière faible en décembre, mais plus adaptée à la forte luminosité, continue à proliférer en janvier pour enfin montrer, lorsque les conditions d'ensoleillement sont plus élevées, en février, une croissance accrue au centre et à l'est du lac.

Le coefficient d'extinction K évolue parallèlement à cette évolution, ce qui semble étayer cette explication.

| <i>Zone</i> | <i>Mois</i> | <i>K (m<sup>-1</sup>)</i> |
|-------------|-------------|---------------------------|
| Ouest       | Décembre    | 12                        |
|             | Janvier     | 9                         |
|             | Février     | 10                        |
| Centre      | Décembre    | 9                         |
|             | Janvier     | 6                         |
|             | Février     | 7                         |
| Est         | Décembre    | 4                         |
|             | Janvier     | 3                         |
|             | Février     | 6                         |

— PERIODE PRINTANIERE (mars-avril-mai)

Le phytoplancton présente le maximum le plus élevé de l'année (100 à 400 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 3000 à 9000 mg C/m<sup>2</sup>/j), avec une explosion spectaculaire en fin d'hiver — début printemps, explosion d'ailleurs notée dans l'ensemble du lac. Les plus fortes teneurs sont notées dans l'ensemble du lac. Les plus fortes teneurs sont notées en mars; elles varient de 300 à 400 mg Chl a et 3 000 à 5 000 mg C/m<sup>2</sup>/j au nord et à l'ouest et 100 à 200 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 3 000 à 9 000 mg C/m<sup>2</sup>/j au centre et à l'est.

Les quantités relativement plus faibles en avril-mai, montrant d'ouest vers l'est une amplitude plus forte de la biomasse et de la production, permettent de retrouver les deux zones (ouest, est) caractéristiques de la lagune, délimitées par une ligne N E - S O. passant à l'est et à quelques centaines de mètres de l'île de Checkli. Les effets combinés de la lumière, des eaux de ruissellement et des vents très forts expliquent en avril-mai la forte biomasse et la forte production dans la zone ouest (100 à 400 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 3.000 à 5.000 mg C/m<sup>2</sup>/j. Au contraire dans la zone est, les vents très forts d'ouest semblent freiner la croissance algale : 40 à 80 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 1.000 à 3.000 mg C/m<sup>2</sup>/j; ces vents favorisent l'entrée massive, par le canal de Khéreddine, d'eaux marines qui s'étendent jusqu'au centre de la lagune; ces eaux marines aux caractéristiques physicochimiques différentes se mélangent difficilement aux eaux lagunaires qu'elles poussent vers l'ouest; ce phénomène, souvent observé en période de vents forts, s'accompagne toujours d'une élévation du niveau d'eau (30 à 50 cm) dans le lac.

Le phytoplancton introduit, trouvant un milieu propice, peu profond et riche en sels nutritifs, y prolifère plus vite.

— PERIODE ESTIVALE (juin-juillet-août)

On note une chute générale à l'échelle du lac :

● zone ouest : déclin atteignant 100 à 40 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 3 000 à 5 000 mg C/m<sup>2</sup>/j;

● zone est : déclin plus accentué et spectaculaire atteignant des teneurs nulles donc traduisant une disparition totale du phytoplancton;

● au centre subsistent des teneurs relativement fortes, de 60 à 200 mg/m<sup>3</sup> Chl a et de 3 000 à 10 000 mg C/m<sup>2</sup>/j, les plus fortes quantités se localisant plus au nord.

Le déplacement avec réduction du pic de 400 à l'ouest en mai à 200 au nord ouest en juin, rappelle la présence de deux courants (BAIER et al., 1977) décrivant chacun un trajet circulaire, l'un circulant dans la zone ouest, au niveau du pont Chekli se dirige vers l'ouest, monte plus au nord entre Chekli et la Cherguia puis redescend pour être amorti au niveau des récifs au centre et à l'est de Chekli; il en résulte une sorte de piègeage des eaux fertiles qui est d'ailleurs favorisé par le deuxième système de courant; celui-ci correspond à la circulation, en sens contraire, des eaux marines venant de l'est et se dirigeant de Khéreddine vers la rive nord; ce courant descend au centre du lac au niveau des récifs et à l'est de Chekli puis il est dévié vers l'est en longeant les rives sud du lac.

En définitive l'action combinée des vents d'ouest et d'une entrée d'eau marine à l'est, juxtaposée à l'existence d'une zone moins profonde au centre (récifs), donne naissance à deux systèmes de circulations se faisant en sens contraire : l'un dans la zone ouest (pont Chekli-Esplanade-Cherguia-récifs centraux pont Chekli), l'autre dans la zone est (mer-rives nord-aéroport-récifs centraux-rives sud-mer).

Les eaux marines venant de l'est et celles entrant par les canaux de communication entre le lac et le canal de navigation, se mélangent difficilement avec les eaux lagunaires plus fertiles et plus ou moins salées. Ce phénomène est mis en évidence, lorsqu'une période de sécheresse est suivie de pluies, par l'existence fréquente de masses d'eaux emprisonnées qui s'individualisent sous forme de lentilles ou de noyaux (de juin à décembre 1976 ou par des isolines très rapprochées (d'octobre à décembre 1975) (fig. 2 et 3).

La très forte radiation estivale explique la destruction totale de la chlorophylle en juin, dans la zone est. Par contre en milieu turbide, à l'ouest, cette action inhibitrice de la lumière est réduite comme le montre l'existence de fortes biomasses. Ainsi, malgré les fortes radiations de juillet, on note un bloom impor-

tant en juillet variant de l'ouest (200 à 800 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 5 000 à 22 617 mg C/m<sup>2</sup>/j) vers la mer (40 à 100 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 500 à 5 000 mg C/m<sup>2</sup>/j).

#### — PERIODE AUTOMNALE

En septembre, la biomasse et la production sont toutes deux faibles au nord-ouest (5 à 3 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 50 à 500 mg C/m<sup>2</sup>/j) mais nulles dans le reste du lac; cette pauvreté traduit l'action inhibitrice des fortes radiations solaires aux mois de juillet et août.

La biomasse et la production timides (4 à 8 mg/m<sup>3</sup> Chl a et 124 à 230 mg C/m<sup>2</sup>/j) près de la STEG et au canal du pont Chekli traduisent, à ces niveaux, une entrée d'eau marine un peu plus riche en phytoplancton; de ce fait, la mer peut, en période de crise, constituer une source de ravitaillement en phytoplancton pour les eaux lagunaires.

Si le bloom phytoplanctonique, d'octobre, se produit dans la zone de rejet d'eaux communales et reste moins accentué dans le reste de la lagune, celui de novembre est plus généralisé et laisse voir un décalage dans la prolifération phytoplanctonique se faisant plus rapidement à l'ouest qu'à l'est et au centre du lac.

Ce décalage peut être expliqué par la présence d'une succession d'espèces; d'autre part les faibles teneurs en Chl a correspondant aux plus fortes teneurs en carbone sont en accord avec un début de croissance d'une population phytoplanctonique.

#### CONCLUSION

Avec une forte biomasse et une production brute primaire élevée, le lac de Tunis constitue un écosystème très productif et riche en phytoplancton. Celui-ci, montre, sur un cycle d'une année et sur l'ensemble de la lagune, au moins un bloom tous les deux mois. Les effets combinés des vents et des pluies jouent un rôle important dans la distribution et l'homogénéisation du phytoplancton dans toute la lagune.

Ces blooms successifs, enregistrés sur une courte durée semblent étroitement dépendre de la périodicité du maximum d'éclairement.

Les nitrates et les phosphates, principaux éléments trophiques, étant constamment présents et en quantités très suffisantes au cours de l'année, (Belkhir et Hadj Ali Salem, 1982) semblent jouer un rôle secondaire sur le phytoplancton.

La salure et la température, selon qu'elles restent constantes ou variables, semblent plutôt favoriser tantôt le phytoplancton sténotherme sténohalin, tantôt celui de type eurytherme euryhalin; compte tenu de la profondeur du lac, le phytoplancton peut être, en plus de la lumière, tributaire d'autres facteurs dont dépendent les processus photosynthétiques :

- l'oxygène dissous qui, présent en fortes concentrations (Belkhir et Hadj Ali Salem, 1981) peut exercer, en période de conditions favorables et d'ensoleillement, une action inhibitrice sur le métabolisme (Dowton et al. 1976);

- les récifs à *Ficopomatus* reconnus pour leur broutage intense, l'été;

- l'auto-ombrage comme l'ombrage respectivement dû au phytoplancton et aux macroalgues peuvent favoriser les microalgues benthiques au dépend des planctoniques.

Enfin, en raison de la variabilité, au cours du temps des teneurs en Chl a et en carbone phytoplanctonique le lac de Tunis peut présenter :

- une production du type eutrophe dans les périodes de bloom et dans la zone ouest du lac (avec une P.P.B  $> 2\ 400$  mg C/m<sup>2</sup>/j);

- une production du type mésotrophe dans les périodes qui précèdent les blooms et dans la zone centrale du lac (600 mg C/m<sup>2</sup>/j  $< P.P.B < 2\ 400$  mg C/m<sup>2</sup>/j).

- une production du type oligotrophe dans les périodes qui suivent les blooms et dans la zone est au voisinage de la mer (P.P.B  $< 600$  mg C/m<sup>2</sup>/j).

## Biomasse macroalgale et croissance in situ d'*Ulva* sp.

La distribution dans l'espace des biomasses macro-algales (fig. 4a et 4b), montre que ces dernières sont essentiellement supportées par la zone centrale constituée par une abondance en récifs à *Ficopomatus* et séparant deux zones, à caractéristiques hydrodynamiques et topographiques différentes (Baier et al., 1977).

L'étude de la dynamique des macroalgues sur un cycle de juillet 1974 à novembre 1976 (fig. 5) permet de noter trois périodes distinctes.

Une période hivernale, d'octobre à avril, avec des biomasses moyennes mensuelles de toutes les algues relativement fortes (185 à 616 g/m<sup>2</sup> et 5 464 à 18 195 tonnes pour l'ensemble du lac) et un minimum de recouvrement au mois d'avril. Cette production est due aux *Enteromorpha*, *Chaetomorpha* et *Cladophora*. Cette période constitue une période de latence pour l'algue verte *Ulva*.

Une période printanière, d'avril à juillet, avec des biomasses moyennes mensuelles de l'ensemble des algues légèrement plus faibles et variant de 185 à 435 g/m<sup>2</sup> soit 5 464 à 12 894 tonnes. Cette « production » printanière dépend essentiellement des *Ulves*; la faible diminution globale est la résultante de la diminution des *Enteromorpha*, *Chaetomorpha* et *Cladophora* d'une part, du début de prolifération des *Ulves*, d'autre part.

Une période estivale, de juillet à septembre, avec des biomasses très élevées de 435 à 1 479 g/m<sup>2</sup> et 12 849 à 43 685 tonnes. Ces biomasses moyennes, en l'absence d'apparition d'eaux rouges durant l'été 1976, ont atteint un maximum de 1980 g/m<sup>2</sup> correspondant à 58 483 tonnes au mois de novembre 1976. Par ailleurs en août, période de crise, il a été noté une biomasse minimale de 72 g/m<sup>2</sup> d'algues.

Les écarts types se rapportant aux biomasses moyennes annuelles (Belkhir et Hadj Ali Salem, 1981) sont très élevés ce qui montre que le fond du lac n'est pas tapissé de façon homogène et que chacune des stations présente des variations algales aussi bien qualitatives que quantitatives au cours de l'année.

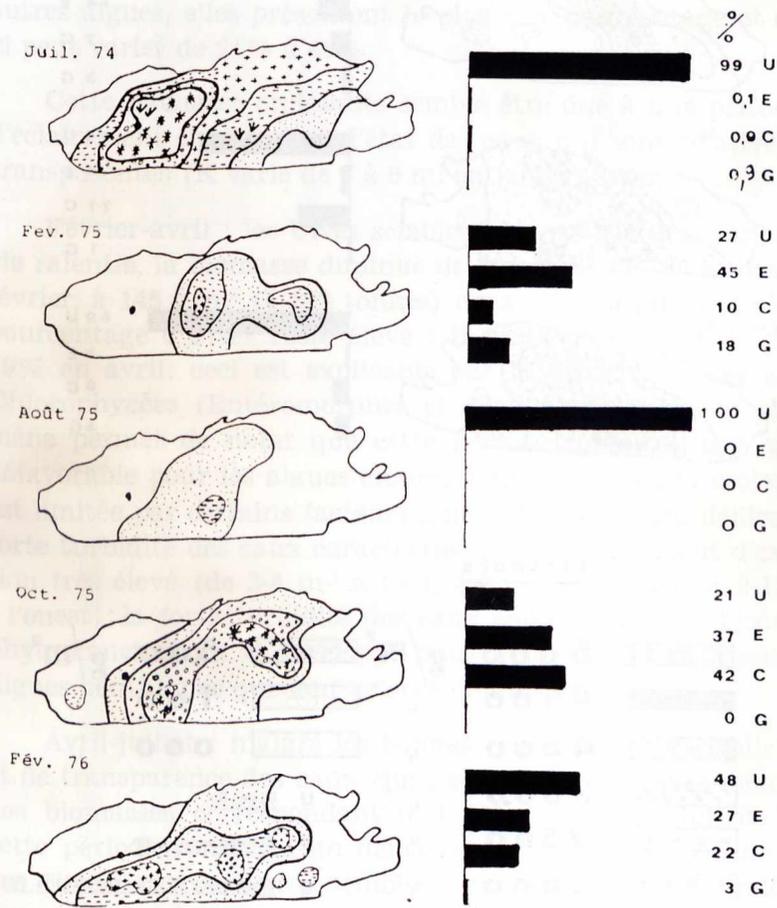
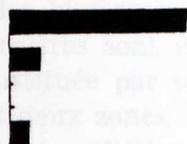
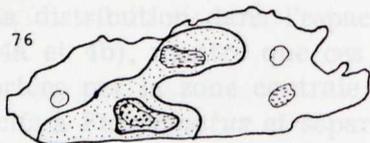


Fig. 4b. Dynamique des coraux sur un cycle allant de juillet 1974 à novembre 1976 dans le lac nord de Tunis

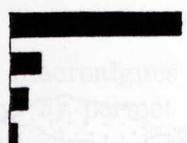
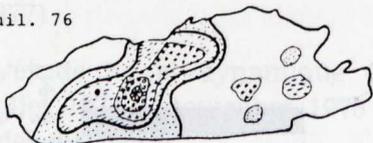
Fig. 4b

Av. 76



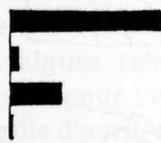
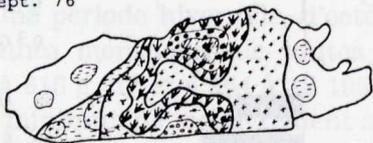
%  
79 U  
13 E  
0 C  
8 G

Juil. 76



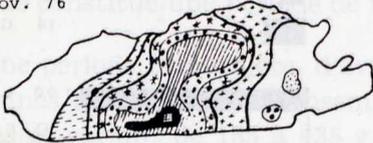
76 U  
14 E  
7 C  
3 G

Sept. 76



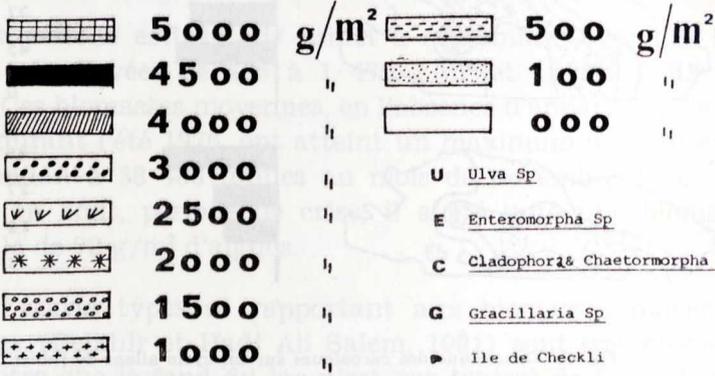
74 U  
4 E  
21 C  
1 G

Nov. 76



69 U  
1 E  
6 C  
4 G

LEGENDES



L'examen des variations macroalgales au cours du temps, permet de relever que cette dynamique est spécifique pour une espèce donnée et diffère d'une saison à l'autre.

ULVA sp.

Octobre-février : les Ulves présentent une biomasse variant de 146 à 264 g/m<sup>2</sup> ce qui correspond respectivement à 4 312 tonnes en octobre et 7 798 tonnes en février; par rapport aux autres algues, elles présentent le plus fort pourcentage et celui-ci peut varier de 21% à 48%.

Cette biomasse croissante semble être due à une périodicité d'éclairement et surtout à l'état des eaux qui sont relativement transparentes (K varie de 3 à 6 ml en janvier 1976).

Février-avril : les Ulves semblent passer par une période de vie ralentie, la biomasse diminue de 264 g/m<sup>2</sup> (7 798 tonnes) en février, à 145 g/m<sup>2</sup> (4 293 tonnes) en avril; malgré ce déclin, le pourcentage d'Ulves reste élevé : il passe de 48% en février à 79% en avril; ceci est explicable par la disparition des autres Chlorophycées (Entéromorphes et Cladophoracées); ce phénomène permet de noter que cette période constitue une saison défavorable pour les algues chlorophylliennes dont la croissance est limitée par certains facteurs ambiants (faible ensoleillement, forte turbidité des eaux caractérisée par un coefficient d'extinction très élevé (de 3-4 m<sup>-1</sup> à l'est, 4-9 m<sup>-1</sup> au centre et 9-12 m<sup>-1</sup> à l'ouest); la forte turbidité des eaux coïncide avec le bloom du phytoplancton qui se développe plus rapidement aux dépens des algues benthiques qui sont privées de lumière.

Avril-juillet : malgré les bonnes conditions d'ensoleillement et de transparence des eaux (juin et juillet), les Ulves montrent des biomasses correspondant à 9 865 tonnes en juillet 1976; cette période constitue un démarrage de la croissance massive des Ulves; ces dernières semblent y subir un certain ralentissement engendré par les pluies de mai et juin et surtout par la périodicité de vents forts portant les Ulves vers les rives du lac; aussi on note une diminution du pourcentage d'Ulves (79% avril à 76% en juillet); ceci coïncide avec la répartition des Cladophoracées qui passe de 0% en avril à 7% en juillet.

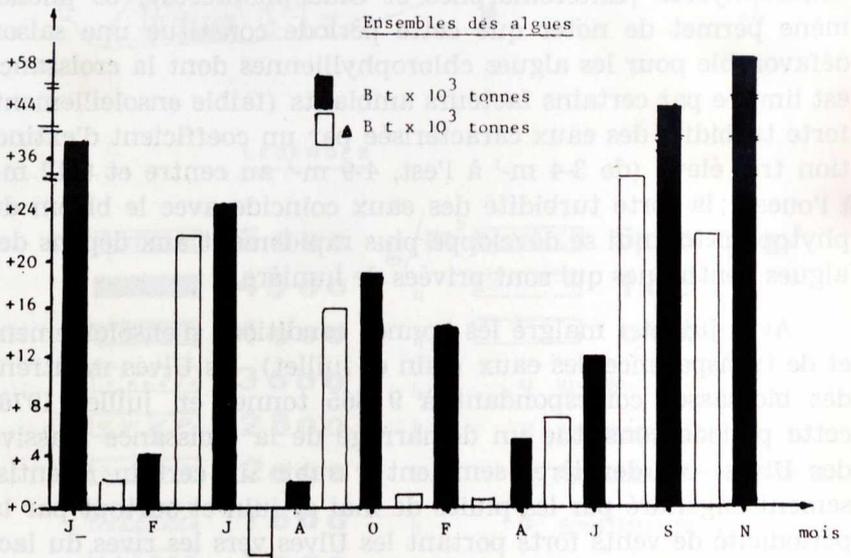
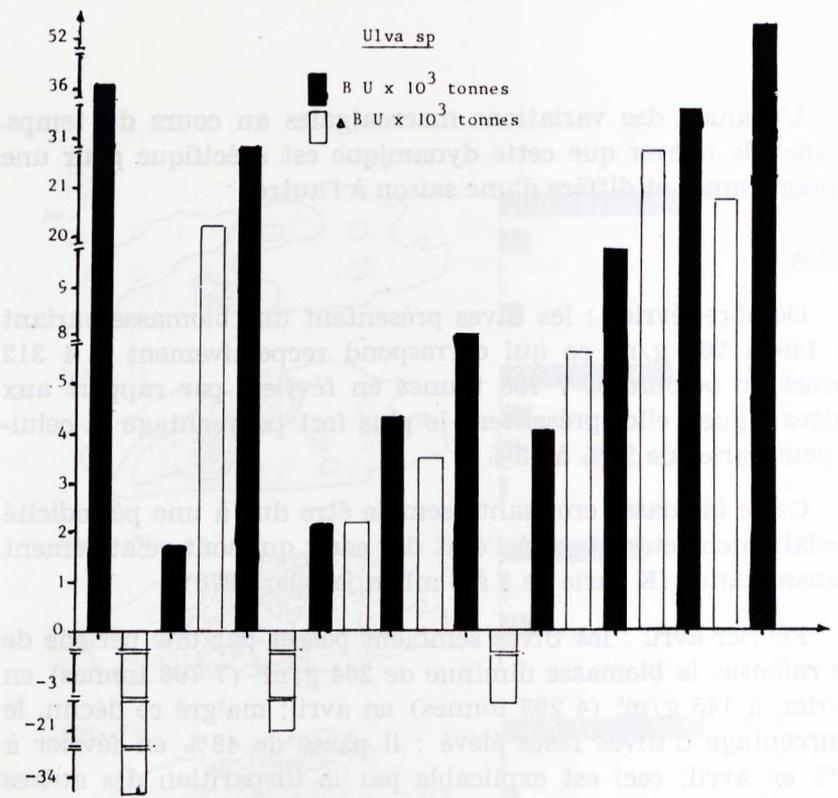


Fig. 5 a : Production mensuelle des algues macrothalliques durant la période allant de juillet 1974 à novembre 1974 dans le lac nord de Tunis

Juillet-septembre : les conditions favorables (maximum d'ensoleillement, vents faibles à modérés, bonne transparence et faibles précipitations) amènent des biomasses moyennes très élevées, 1 072 g/m<sup>2</sup> correspondant à 31 663 tonnes en septembre.

Septembre-novembre : malgré les fortes précipitations d'octobre-novembre et les faibles radiations, les Ulves ont montré une croissance continue et présentent les biomasses les plus élevées de l'année : 1 773 g/m<sup>2</sup> et 52 369 tonnes en novembre; le fort pourcentage (89%) qu'elles présentent alors indique un pouvoir colonisateur très élevé; le taux de recouvrement qui est de 76% en juillet 1976 et de 74% en septembre passe à 98% en novembre 1976; les Ulves occupant toute la colonne d'eau dans la zone centrale du lac constituent, au cours de cette période, un obstacle à toute navigation.

#### ENTEROMORPHA sp

Comme les Ulves, les Entéromorphes sont présentes durant toute l'année; d'octobre à avril leurs biomasses restent très réduites à faibles, variant de 238 g/m<sup>2</sup> et 7 030 tonnes en octobre, 101 g/m<sup>2</sup> et 2 983 tonnes en février à 25 g/m<sup>2</sup> et 778 tonnes en avril; cette réduction semble être due essentiellement au phénomène de turgescence excessive durant cette période de fortes pluies (40 à 230 mm). En effet, les Entéromorphes dont le thalle est généralement mou et creux (Dangeard, 1933) sont plus vulnérables au phénomène d'osmose que les Ulves dont le thalle est relativement plus résistant; ceci expliquerait leur régénération tardive, d'avril à septembre, où les Entéromorphes montrent une croissance accrue avec des biomasses croissantes allant de 25 g/m<sup>2</sup> et 778 tonnes en avril, à 59 g/m<sup>2</sup> et 1 743 tonnes en juillet jusqu'à 61 g/m<sup>2</sup> et 1 802 tonnes en septembre. Cependant, malgré ce développement, les pourcentages correspondants des Entéromorphes diminuent de 13%, 14% à 4% pour atteindre seulement 1% en novembre 1976. Cette diminution est en rapport avec la croissance massive des autres Chlorophycées et plus particulièrement de *Ulva sp.*; la biomasse minimale enregistrée pour *Enteromorpha* est de 15 g/m<sup>2</sup> correspondant à 443 tonnes, en novembre 1976; ce minimum, coïncidant avec les pluies d'octobre-novembre, met en évidence, une fois de plus, l'effet néfaste des pluies sur les Entéromorphes.

Fig. 5 b

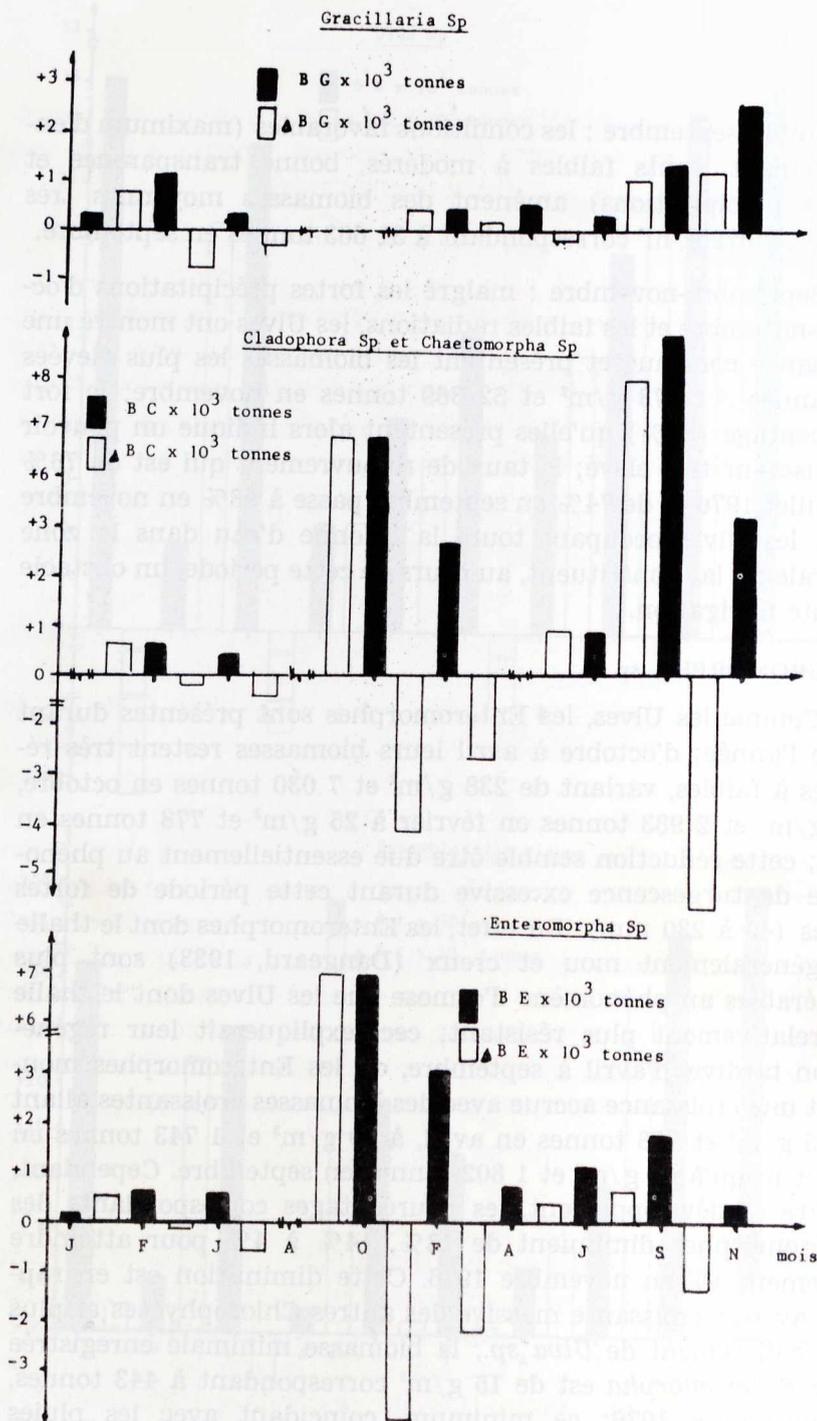


Fig. 5b. : Production mensuelle des algues macroholliques  
durant la période allant de juillet 1974 à novembre 1976

dans le lac nord de Tunis

## CLADOPHORACEES

Représentées par les deux genres *Cladophora* et *Chaetomorpha*, elles montrent une évolution identique à celle des Entéromorphes; leurs biomasses diminuent graduellement de 232 g/m<sup>2</sup> et 6 853 tonnes en octobre, à 91 g/m<sup>2</sup> et 2 688 tonnes en février pour être nulle en avril. Cette disparition illustre la plus grande fragilité des Cladophoracées par rapport aux Entéromorphes, et surtout aux Ulves. Toutefois, les Cladophoracées semblent avoir un pouvoir colonisateur plus élevé que les Entéromorphes; leur régénération rapide marquée dès juillet par des biomasses de 31 g/m<sup>2</sup> et 916 tonnes est suivie d'une prolifération importante atteignant des biomasses de 301 g/m<sup>2</sup> et 8 891 tonnes en septembre; les Cladophoracées s'adaptent donc plus rapidement que les Entéromorphes aux changements hydrologiques du milieu. Cependant, les Cladophoracées comme les Entéromorphes n'entrent pas en compétition avec les Ulves et déclinent en novembre où leur biomasse ne correspond plus qu'à 107 g/m<sup>2</sup> et 3 160 tonnes.

## GRACILARIA SP.

Quoique présentes durant toute l'année, les algues rouges ne se rencontrent que dans la zone est de la lagune nord; sur un cycle d'octobre 1975 à novembre 1976, il a été constaté une croissance continue sauf d'avril à juillet où les fortes radiations semblent être néfastes. Les biomasses minimales sont notées l'été, en juillet 1976 (11 g/m<sup>2</sup> et 325 tonnes de *Gracilaria*), les plus fortes sont observées successivement en septembre et en novembre avec respectivement 45 g/m<sup>2</sup> ou 1 329 tonnes et 85 g/m<sup>2</sup> ou 2 511 tonnes de *Gracilaria*.

La comparaison avec les facteurs climatiques et hydrodynamiques permet de noter que les algues rouges préfèrent les périodes de faible éclaircissement et de vents modérés. Elles craignent les fortes élévations de température, de salinité et de pH. ce qui expliquerait, en partie, les faibles biomasses enregistrées fin hiver-début printemps et correspondant respectivement à 13 g/m<sup>2</sup> et 384 tonnes de *Gracilaria* en février contre 15 g/m<sup>2</sup> et 443 tonnes en avril 1976.

En conclusion, la biomasse et la production macrothalliques sont supportées essentiellement par la zone centrale du lac : la plus grande partie revient aux Ulves qui montrent un développement spectaculaire durant les périodes d'ensou'eillement et de transparence des eaux. Les Entéromorphes viennent au second rang et représentent la plus grande partie de la biomasse macroalgale durant la période d'octobre à avril. Les Cladophoracées l'emportent, l'été, de mai à septembre. Quant aux algues rouges, elles supportent la production totale de façon négligeable durant la période allant de juillet à novembre.

Pour évaluer les pertes d'algues causées par l'apparition des eaux rouges, il a été nécessaire de posséder des données es rapportant à la production macroalgale juste avant et après le phénomène d'eaux rouges. A ce sujet, ne connaissant que les quantités d'algues juste après les eaux rouges (août 1975), on a essayé d'estimer la quantité d'algues juste avant les eaux rouges, en juillet 1975, et ce de la façon suivante :

$$\text{Biomasse (juil. 75)} = [\text{biom. (juil. 74)} + \text{biom. (juil. 76)}] \cdot 1/2$$

on a trouvé une biomasse moyenne totale de 24 619 tonnes pour juillet 1975.

Connaissant, ainsi la biomasse moyenne totale, juste avant (juillet 1975) et après les eaux rouges (août 1975), on peut calculer la quantité d'algues détruites pendant la période de crise dystrophique, soit 22 482 tonnes de macroalgues, dont 21 343 tonnes (95%) d'Ulves; cette mortalité algale massive serait accompagnée d'une décomposition journalière totale de 750 tonnes dont 700 tonnes pour *Ulva sp.* Les Entéromorphes et les Cladophoracées, plus fragiles, seraient complètement détruites pendant les eaux rouges de l'été 1975.

#### CROISSANCE, IN SITU, D'ULVA sp.

En raison de son abondance et de la facilité de manipulation expérimentale présentée par son thalle, il a été procédé à l'étude de la croissance végétative, *in situ* de l'algue verte *Ulva sp.* Durant la période d'incubation plusieurs difficultés dans le contrôle régulier de la croissance ont été rencontrées : les sacs

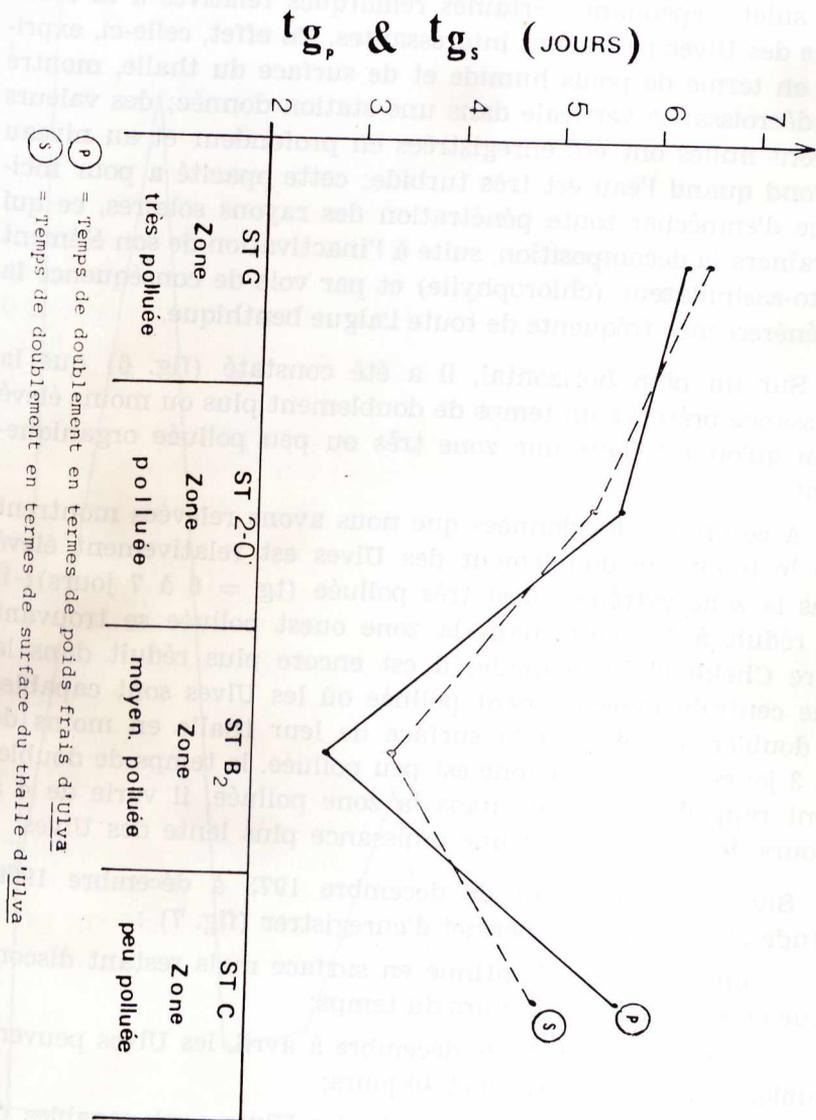


Fig. 6 : Variation temporelle de la croissance, in Situ d'Ulve sp. dans le lac nord de Tunis

à incubation contenant les rondelles d'Ulves mises à croître *in situ* sont très souvent soit perdus, soit déchirés par des poissons (muges, anguilles); ceci explique le peu de résultats recueillis à ce sujet; cependant, certaines remarques relatives à la croissance des Ulves paraissent intéressantes. En effet, celle-ci, exprimée en terme de poids humide et de surface du thalle, montre une décroissance verticale dans une station donnée; des valeurs souvent nulles ont été enregistrées en profondeur et au niveau du fond quand l'eau est très turbide; cette opacité a pour incidence d'empêcher toute pénétration des rayons solaires, ce qui entraînera la décomposition, suite à l'inactivation de son élément photo-assimilateur (chlorophylle) et par voie de conséquence la dégénérescence fréquente de toute l'algue benthique.

Sur un plan horizontal, il a été constaté (fig. 6) que la croissance présente un temps de doublement plus ou moins élevé selon qu'on est dans une zone très ou peu polluée organiquement.

A ce propos, les données que nous avons relevées montrent que le temps de doublement des Ulves est relativement élevé dans la zone extrême ouest très polluée ( $t_g = 6$  à 7 jours); il est réduit à 5-6 jours dans la zone ouest polluée se trouvant entre Chekli et l'Esp'anade; il est encore plus réduit dans la zone centrale moyennement polluée où les Ulves sont capables de doubler le poids ou la surface de leur thalle en moins de 2 à 3 jours; quant à la zone est peu polluée, le temps de doublement rappelle celui noté dans la zone polluée, il varie de 4 à 6 jours définissant ainsi une croissance plus lente des Ulves.

Sur un cycle allant de décembre 1975 à décembre 1976, l'étude de la croissance permet d'enregistrer (fig. 7) :

— une croissance continue en surface mais restant discontinue en profondeur, au cours du temps;

— durant la période de décembre à avril, les Ulves peuvent doubler leur thalle entre 10 et 40 jours;

— pendant la période estivale, les Ulves sont capables de doubler leur thalle en moins de 4 à 10 jours.

Cette démonstration expérimentale explique bien la rapidité avec laquelle, l'été, le lac est susceptible d'être presque

$t_{2w} =$  Temps de doublement (j)

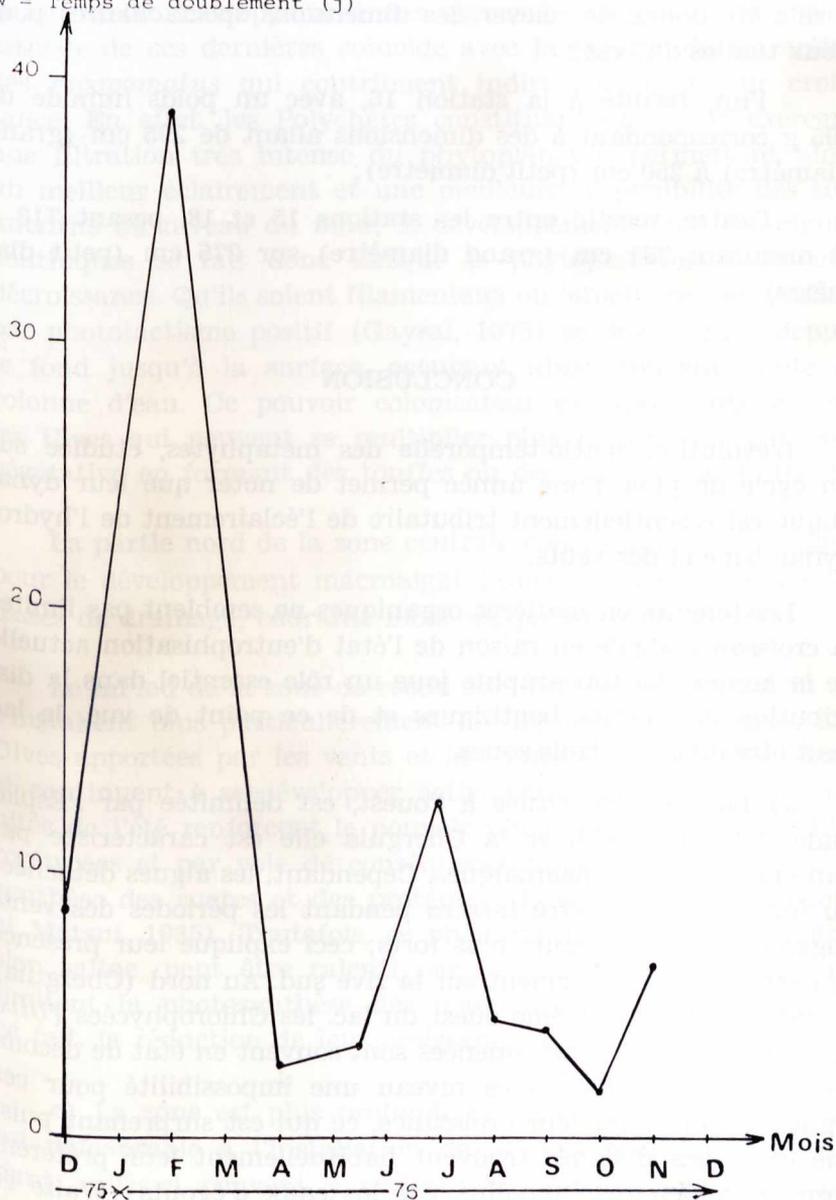


Fig. 7 : Variation temporelle de la croissance, *in Situ* d'*Ulve* sp. dans le lac nord de Tunis (décembre 1975-1976)

complètement recouvert par les Ulves. Ces dernières y présentent des thalles gigantesques dépassant de beaucoup les dimensions citées dans la littérature; en effet, le 12 novembre 1976, il m'a été donné de relever des dimensions spectaculaires pour deux thalles d'Ulves :

- l'un, récolté à la station 16, avec un poids humide de 595 g correspondant à des dimensions allant de 295 cm (grand diamètre) à 250 cm (petit diamètre);

- l'autre, récolté entre les stations 15 et 18, pesant 713 g et mesurant 331 cm (grand diamètre) sur 275 cm (petit diamètre).

## CONCLUSION

L'évolution spatio-temporelle des métaphytes, étudiée sur un cycle de plus d'une année permet de noter que leur dynamique est essentiellement tributaire de l'éclairement de l'hydrodynamisme et des vents.

Les teneurs en matières organiques ne semblent pas limiter la croissance algale en raison de l'état d'eutrophisation actuelle de la lagune. La topographie joue un rôle essentiel dans la distribution des algues benthiques et de ce point de vue, le lac peut être divisé en trois zones.

a) La première située à l'ouest, est délimitée par l'Esplanade, l'île de Chekli et la Cherguia elle est caractérisée par l'absence totale de macroalgues. Cependant, les algues détachées du fond peuvent y être tassées pendant les périodes des vents engendrant des courants plus forts; ceci explique leur présence et parfois leur entassement sur la rive sud. Au nord (Cherguia) et dans la partie extrême ouest du lac, les Chlorophycées (*Ulva* et *Enteromorpha*) ainsi amenées sont souvent en état de décomposition; il y a donc à ce niveau une impossibilité pour ces algues de continuer leur croissance, ce qui est surprenant puisque ces types d'algues trouvent habituellement leur préférandum en milieu marin pollué par les eaux d'égouts (Waite et Mitchell, 1972) et on peut penser que les rejets urbains renferment certains facteurs inhibiteurs ou toxiques.

b) La deuxième zone occupe toute la partie centrale du lac nord; elle correspond, par la présence des récifs de *Ficopomatus* installés sur un fond vaseux, aux meilleures conditions d'installation et de développement des algues benthiques. L'explosion estivale de ces dernières coïncide avec la période de vie active des *Ficopomatus* qui contribuent indirectement à leur croissance. En effet, les Polychètes constituant ces récifs exercent une filtration très intense du phytoplancton permettant ainsi un meilleur éclaircissement et une meilleure disponibilité des sels nutritifs au niveau du fond; le développement actif des algues benthiques se fait donc lorsque le phytoplancton subit une décroissance. Qu'ils soient filamenteux ou lamellaires, les thalles, par phototactisme positif (Gayral, 1975) se développent depuis le fond jusqu'à la surface, occupant ainsi, souvent, toute la colonne d'eau. Ce pouvoir colonisateur est spectaculaire chez les Ulves qui peuvent se multiplier plus rapidement par voie végétative en formant des touffes ou des bancs épais flottants.

La partie nord de la zone centrale constitue le secteur idéal pour le développement macroalgal (apport d'eau douce par les fosses de drainage, courants modérés, présence des récifs).

Le milieu de la zone de récifs est une zone de transition où s'installent plus particulièrement des algues filamenteuses. Les Ulves apportées par les vents et les courants s'y adaptent bien et continuent à se développer activement. Les plus fortes salinités de l'été renforcent le pouvoir photosynthétique des Chlorophycées et par voie de conséquence augmentent les taux de synthèse des sucres et des protéines (Legendre, 1921; Eizogota et Matsui, 1965). Toutefois, ce phénomène, qualifié de respiration saline, peut être ralenti par les fortes températures qui limitent la photosynthèse des macroalgues et entraînent, de ce fait, la réduction de leur croissance (Mohsen et al., 1972).

c) La zone est plus profonde et généralement plus agitée, est défavorable à l'installation des algues benthiques. Cependant, celles-ci peuvent y croître normalement en dehors des périodes de vents fortes le pH relativement faible (8 à 9) et la nature du fond sont favorables à la prolifération des algues

rouges qui sont cependant éliminées en présence des Ulves dans la partie extrême est, à proximité du canal de Khéreddine.

Toutes ces algues étant à la fois enryhalines et enrythermes, les variations temporaires de la salinité et de la température ne semblent pas leur être préjudiciables.

Par ailleurs, l'état d'eutrophisation accentuée impose à la lagune une évolution unidirectionnelle, en créant des dégâts irrémédiables et des pertes au sein de l'écosystème qui demeure, depuis des dizaines d'années, très vulnérable aux changements climatiques.

Le présent travail rappelle cette évolution de la flore lagunaire et reflète, en plus, le pouvoir colonisateur des Ulves qui tendent à conquérir l'espace aux dépens des autres Chlorophycées et surtout des algues rouges.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BAIER R., BELKHIR M., JOHNSON R., KEEN W. ET PILKEY O. 1977. Recherche sur l'eutrophisation du lac de Tunis. Etude chimique, biologique, hydrologique et géologique, (2) : 1-65.
- BELKHIR M. ET HADJ ALI SALEM M. (1981). — Contribution à l'étude des mécanismes d'eutrophisation dans le lac de Tunis. Evolution des paramètres physico-chimiques et biologiques. *Bull. Inst. scient. techn. Océanogr. Pêche. Salammbô*, 8 : 81-98.
- BELKHIR M. ET HADJ ALI SALEM M. (1982). — Variations spatio-temporelles des nitrites, des nitrates, des phosphates inorganiques et du rapport N/P dans le lac de Tunis. *Bull. Inst. natn. scient techn. Océanogr. Pêche Salammbô*, 9 : 71-88.
- BJORK S. (1972). — Projet de restauration du lac de Tunis (Rapport au Ministère de l'Agriculture) 29 p.
- DANGEARD P; (1933). — Traité d'algologie. Introduction à la biologie et à la systématique des algues. Paris : Lechevalier. 428 p.
- DOWTON W.J.S., BISHOP D.G., LARKUM A.W.D. et OSMOND C. B. (1976). — Oxygène inhibition of photosynthetic. Oxygène evolution in marine plantes. *Aust. J. Plant Physiol.*, 3 : 73-79.
- EIZIOGATA & MATSUI T. (1965). — Photosynthesis in several marine plants of Japan as affected by salinity, drying and pH with attention to their growth habitats. *Botanica Marina*; 8 :
- HELDT J. (1929). --- Le lac de Tunis, résultat des pêches au filet fin. *Bull. Stn. océanogr. Salammbô*, 2 : 1-76.

- LEGENDRE R. (1921). — Influence de la salinité de l'eau de mer sur l'assimilation chlorophyllienne des algues, *C. R. Soc. Biol.*, 85-222.
- MOHSEN A.F., NASR A.H. et METWELLI A.M., (1972). — Effet of different salinities on growth, reproduction amino-acid synthesis; fat and sugar content in *Ulva fasciata* Delile. *Botanica Marina*, 15 : 177-181.
- RYTHER J.H. (1956). — Photosynthesis in the ocean as a function of the light intensity. *Limnol. Oceanogr.*, 1 (1) : 61-70.
- RYTHER J. H. & YENTSCH C.S. (1957). — The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. *Limnol. Oceanogr.*, 2 (2) : 281-286.
- STRICKLAND J.D.M ET PARSONS T.R. (1965). — A manuel of sea water analysis. Sec. ed. *Bull. Fish. Res. Bd Canada*, 125 : 1-203.
- VUILLEMINI S. (1962). — Contribution à l'étude écologique du lac de Tunis. Biologie de *Mercierella enigmatica* Fauvel. Paris : Cedex : 1-556.
- ZOBEL C.E. (1961). — Importance of microorganism in the sea. *Rep. Low temperature microbiology Symposium, Camden, N.J., Proceedings* : 107-132.