

Say Rei

Sommaire + résumé -

T P6 (1988)

THESE DE DOCTORAT D'ETAT

66 / 677 39 ès SCIENCES NATURELLES

SPECIALITE : Ecologie

présentée

à l'Université Pierre et Marie Curie

- Paris 6 -

par

Josette GARNIER

pour obtenir le grade de DOCTEUR ès SCIENCES

Sujet de la thèse :

PEUPLEMENT PHYTOPLANCTONIQUE

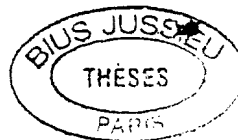
et BACTERIES HETEROTROPHES

d'un LAC PEU PROFOND

(LAC DE CRETEIL, REGION PARISIENNE)

PRODUCTION, FONCTIONNEMENT, EVOLUTION

soutenue le 3 MARS 1989



devant le jury composé de :

MM.	M. LAMOTTE	Président
	G. BILLEN	Rapporteur
	J. CAPBLANCO	Rapporteur
	N. NIVAL	Examineur
	R. POURRIOT	Examineur
	P. TESTARD	Examineur
	M. TILZER	Examineur

G. 10980

## AVANT-PROPOS

Cette étude a été menée au sein de l'Equipe d'Hydrobiologie du Laboratoire d'Ecologie de l'Ecole Normale Supérieure (U.A. 258, C.N.R.S.) sous la direction de M. Maxime Lamotte, Professeur à l'Université de Paris VI; je tiens à lui exprimer toute ma respectueuse gratitude.

L'étude du Lac de Créteil a été réalisée à l'initiative de M. Paul Testard, Maître de Conférences à l'Université de Paris VI; il m'a communiqué son enthousiasme pour la Limnologie dès le début de mes recherches et m'a guidée par de fructueuses discussions tout au long de ce travail. Qu'il veuille bien trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance. C'est avec plaisir que je le remercie de participer au jury de cette thèse.

Cette étude s'inscrit depuis 1984 dans le cadre des recherches du GRECO-Lacs. Mes plus vifs remerciements vont aussi à M. Roger Pourriot, Directeur de Recherches au CNRS et Directeur du GRECO-Lacs, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail et pour toute la confiance qu'il m'a accordée au cours de cette étude. Je le remercie d'accepter de juger ce travail.

J'ai bénéficié depuis 1985, de l'assistance de Mme Danielle Benest. Son aide tant au laboratoire que sur le terrain m'a été plus que précieuse. Qu'elle soit assurée de toute ma reconnaissance.

G 10980

Mes remerciements vont également à MM. les Professeurs Gilles Billen, de l'Université de Bruxelles, Jacques Capblancq, de l'Université de Toulouse, Paul Nival, de l'Université de Paris VI, et Max Tilzer, de l'Université de Constance qui me font l'honneur de juger ce travail.

Que Philippe Boët, Gérard Lacroix, Françoise Lescher-Moutoué, Spiros Mourelatos, Claude Rougier trouvent ici l'expression de mon amicale reconnaissance pour les informations et les encouragements qu'ils m'ont apportés.

Je ne saurais oublier les chercheurs du GRECO-Lacs et tout particulièrement ceux du groupe d'Ecologie Microbienne (Philippe Dufour, Pierre Lavandier et Olivier Marvalin) pour leur collaboration.

De nombreuses facilités m'ont été accordées pour le déroulement de ce travail.

M. René Lafont (Laboratoire de Biochimie et Physiologie du développement de L'Ecole Normale Supérieure) m'a permis d'accéder librement au compteur à scintillation liquide et M. Patrick Blandin (Laboratoire d'Ecologie du Muséum d'Histoire Naturelle) m'a permis la libre utilisation du microscope à épifluorescence. M. André Chesterikoff (Laboratoire d'Hydrologie de Paris VI) m'a toujours chaleureusement accueillie pour effectuer les dosages des éléments nutritifs et M. Pierre Bourrelly (Laboratoire de Cryptogamie du Muséum National d'Histoire Naturelle) m'a reçue dans son laboratoire et c'est avec une grande aimabilité qu'il m'a aidée à la détermination des algues. M. J.-M. Andry (Laboratoire de la Direction Départementale de l'Equipement) m'a communiqué de nombreuses informations. Le personnel de la Base de Loisirs de Créteil a toujours montré une grande disponibilité. J'adresse à tous mes sincères remerciements.

Je suis très reconnaissante à l'ensemble des membres du laboratoire de n'avoir ménagé ni leur temps, ni leur courtoisie; je remercie tout particulièrement M. Robert Burdeau pour son concours sur le terrain, Mme Yvonne Schach pour la réalisation des figures de ce manuscrit ainsi que M. Yves Picard pour la reprographie du texte.

Mes proches et ami(e)s m'ont constamment été d'un immense soutien. Je tiens à leur exprimer ici toute mon affectueuse reconnaissance.

## SOMMAIRE

RESUME	1
LISTE DES PRINCIPALES ABREVIATIONS	5
INTRODUCTION	9
Chapitre 1	
Caractéristiques physico-chimiques du lac de Créteil (1979-1986)	
1. Introduction	11
1.1. Eléments de morphométrie	11
1.2. Environnement climatique	11
1.3. Origine et alimentation	17
2. Méthodologie	19
2.1. Mesures <u>in situ</u>	20
2.2. Eléments nutritifs	21
2.3. PH et carbone organique total	23
3. Résultats	23
3.1 Limnologie générale	23
3.1.1. Température, vent et stratification	23
3.1.2. Transparence (Zds) et coefficient d'atténuation vertical (K)	27
3.1.2.1. Relation entre K et Zds	27
3.1.2.2. Relation entre K et la concentration en chlorophylle $a$ (Chl $a$ )	29
3.2. Composition ionique et éléments nutritifs	33
3.2.1. Composition en éléments majeurs	33
3.2.2. Concentration en éléments nutritifs	35
3.2.2.1. Phosphore	35
3.2.2.2. Azote	39
3.2.2.3. Rapport azote/phosphore du milieu	41

3.2.3. Source des éléments nutritifs	43
3.2.4. Teneur en oxygène	45
3.2.5. pH et concentration en carbone inorganique	47
4. Discussion	49
Evolution saisonnière	49
Evolution à long terme	51

## Chapitre 2

### Evolution saisonnière et interannuelle du peuplement phytoplanctonique (1979-1986)

1. Introduction	61
2. Méthodologie	62
2.1. Détermination de la composition du phytoplancton, de son abondance et de sa biomasse	62
2.2. Analyse des concentrations en chlorophylle <i>a</i> et en phéopigments	63
2.3. Mesure au $^{14}\text{C}$ de l'activité assimilatrice du phytoplancton	64
3. Résultats	65
3.1. Le phytoplancton: abondance, biomasse et composition	65
3.1.1. Caractéristiques saisonnières du phytoplancton	65
3.1.2. Evolution interannuelle des caractéristiques du phytoplancton	75
3.1.3. Analyse des séquences spécifiques saisonnières	86
3.2. Activité photosynthétique du phytoplancton	93
3.2.1. Caractéristiques saisonnières de la production primaire et du taux optimal de la photosynthèse	93
3.2.2. Variations spatio-temporelles de l'activité photosynthétique	97

3.3. Interactions entre le phytoplancton et l'environnement physico-chimique et biologique	103
3.3.1. Réponse du phytoplancton à des modifications en ressources nutritionnelles	103
3.3.2. Rôle des consommateurs sur l'évolution du phytoplancton	105
3.3.3. Conséquence sur le climat lumineux et sur l'oxygénation du lac	106
3.3.4. Analyses intervariables et détermination des périodes-clé de l'évolution du lac de Créteil	106
4. Discussion	111
Evolution interannuelle de l'activité et de la biomasse du phytoplancton	111
Facteurs de contrôle de la taille du phytoplancton et réponses structurelles de la microflore à ces facteurs	117

### Chapitre 3

#### Caractéristiques de l'activité photosynthétique in situ au cours des 8 années d'étude

1. Introduction	125
2. Caractéristiques du taux spécifique de photosynthèse	127
2.1. Répartition verticale	127
2.2. Evolution interannuelle et saisonnière	127
3. Analyse des courbes de photosynthèse-lumière	135
3.1. Nature des courbes	135
3.2. Détermination de $IK$ et $\alpha$	141
3.2.1. Evolution interannuelle et saisonnière de $IK$	143
3.2.2. Evolution interannuelle et saisonnière de $\alpha$	147
4. Efficacité d'utilisation de la lumière	150
4.1. Efficacité écologique d'utilisation de la lumière ( $E$ )	151
4.2. Efficacité physiologique d'utilisation d'utilisation de la lumière ou rendement quantique ( $\Phi$ )	154

5. Estimation de la production primaire	161
5.1. Estimation de IK et PBm	163
5.2. Estimation de la production journalière de la colonne d'eau	163
5.3. Estimation des profils d'assimilation	165
6. Discussion	170

#### Chapitre 4

##### Production et pertes du phytoplancton au cours d'un cycle annuel (avril 1985 - avril 1986)

1. Introduction	177
2. Méthodologie	179
2.1. Environnement physico-chimique	180
2.2. Composition du phytoplancton, abondance et biomasse	180
2.3. Concentration en chlorophylle <u>a</u> et en phéopigments	181
2.4. Carbone, azote et phosphore particuliers	181
2.5. Production phytoplanctonique particulaire et dissoute	181
3. Résultats	183
3.1. Evolution saisonnière des caractéristiques physico-chimiques	183
3.2. Evolution saisonnière de la composition du phytoplancton, de l'abondance et de la biomasse	185
3.3 Concentrations en pigments et contenu en chlorophylle <u>a</u> des algues	189
3.4 Caractéristiques chimiques des cellules: analyse des rapports C/N/P	193
3.5. Relations entre le carbone particulaire du seston et les paramètres du phytoplancton	195
3.5.1. Relation entre le carbone particulaire et la biomasse du phytoplancton	195
3.5.2. Relation entre le carbone particulaire et la chlorophylle	197



3.6. Evolution saisonnière de la production du phytoplancton	201
3.6.1. Production particulaire	201
3.6.2. Production dissoute	205
3.7. Pertes et taux de pertes du phytoplancton	208
3.7.1. Considérations théoriques	208
3.7.2. Variations du taux de renouvellement du carbone, des pertes et taux de pertes du phytoplancton	209
4. Discussion	215

## Chapitre 5

### Variations saisonnières de l'abondance et biomasse du bactérioplancton Assimilation hétérotrophe du glucose et des acides aminés (avril 1985 - avril 1986)

1. Introduction	225
2. Méthodologie	227
2.1. Abondances cellulaires et biomasses	227
2.2. Activités des bactéries hétérotrophes	229
2.2.1. Considérations théoriques	229
2.2.2. Protocole expérimental	231
2.2.3. Détermination de la durée d'incubation	234
2.2.3.1. Méthodologie	234
2.2.3.2. Résultats	235
2.2.3.3. Discussion	239
3. Résultats	244
3.1. Abondances et biomasses bactériennes	244
3.1.1. Signification des comptages	244
3.1.2. Variations spatio-temporelles des abondances et biomasses bactériennes	245
3.2. Activités bactériennes	251
3.2.1. Signification des mesures	251
3.2.2. Variations spatio-temporelles des paramètres cinétiques	253

3.2.3. Pourcentage de minéralisation	255
4. Discussion	258
Abondances et biomasses bactériennes	258
Paramètres cinétiques	262

## Chapitre 6.

### Relations entre le phytoplancton et le bactérioplancton Estimation des flux et stocks de carbone

1. Introduction	265
2. Méthodologie	266
2.1. Biomasse et production phytoplanctonique	266
2.2. Biomasse et activité hétérotrophe	266
2.3. Estimation de la production bactérienne	267
2.3.1. Protocole expérimental	267
2.3.2. Variations des abondances biomasses et activités des bactéries en culture	269
2.3.3. Signification et limites du facteur de conversion	271
3. Résultats et discussion	272
3.1. Réponses des bactéries hétérotrophes au phytoplancton	272
3.1.1. Cadre saisonnier	272
3.1.2. Relation avec la nature des substrats utilisés	276
3.2. Estimations des flux et stocks de carbone	278
3.2.1. Evaluation de la production bactérienne	278
3.2.2. Evaluation de la production phytoplanctonique	283
3.2.3. Flux et stocks de carbone dans la colonne d'eau	284
3.3. Conclusions	292
DISCUSSION GENERALE	293
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	303

## RESUME

D'une superficie de 42 ha et d'une profondeur moyenne de 4 m, le lac de Créteil, présente, comme tous les milieux peu profonds, une forte réactivité aux contraintes de l'environnement. Il est bien exposé aux vents de sorte que son régime polymictique entraîne une homogénéité de la répartition verticale des éléments nutritifs et des organismes phyto- et bactérioplanctoniques.

Le lac est essentiellement alimenté par une nappe superficielle qui traverse des alluvions récentes mêlées à des remblais d'origine diverse. Il reçoit en outre, par un collecteur, des eaux de ruissellement de la zone urbanisée environnante. Si la composition en éléments majeurs de ses eaux est restée stable de 1979 à 1986, une tendance à la diminution des formes assimilables des éléments nutritifs s'est manifestée. Elle est à la fois liée à la diminution progressive de leur teneurs dans les eaux de la nappe par suite du lessivage des remblais et à la réduction des apports par le collecteur d'eaux pluviales après une intervention humaine en 1981.

Les changements les plus significatifs ont été l'augmentation de la transparence et la diminution de la biomasse algale. L'augmentation de la transparence est en partie liée à la diminution de la biomasse algale, mais cette évolution, ayant débuté dès la fin de l'exploitation des sables en 1976, s'explique surtout par la stabilisation progressive des berges et du fond.

La diminution de la biomasse phytoplanctonique amorcée dès 1982, résulte vraisemblablement de la réduction, en 1981, des apports en éléments nutritifs par le collecteur d'eaux pluviales mais a du être amplifiée par une augmentation du

temps de renouvellement des eaux du lac à partir de 1983 et par un phénomène de compétition pour les éléments nutritifs entre le phytoplancton et les macrophytes qui ont colonisé le milieu à partir de 1984.

Il s'est produit en même temps une nette évolution de la répartition verticale de l'activité photosynthétique des algues entre 1979 et 1986. La réduction de la biomasse algale s'est traduite par une diminution régulière des taux maximaux d'activité, la réduction de l'activité dans la couche superficielle étant partiellement compensée par son extension en profondeur, par suite de l'augmentation de la transparence. En moyenne annuelle, la production phytoplanctonique a ainsi d'abord augmenté d'environ 850 à 1250 mgC m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup> puis diminué à la fin de l'étude à 530 mgC m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup>. La biomasse algale, exprimée en quantité de chlorophylle *a* a diminué de 16 à 5 mg m<sup>-3</sup> pendant cette période.

Les paramètres de la photosynthèse P<sub>Bm</sub> et I<sub>K</sub> ont été reliés à des variables de l'environnement facilement mesurables. Relativement stables à l'échelle interannuelle malgré les changements observés par ailleurs, ils présentent un grand intérêt pour l'élaboration de modèles prédictifs de la production phytoplanctonique.

Banal dans sa composition, le peuplement algal est invariablement dominé par des espèces de petite taille (nanoplancton), plus actives en raison de leur rapport surface/volume élevé et facilement consommables par le zooplancton. Les Chlorophycées (*Oocystis parva*), les diatomées (diatomées centriques non coloniales) et les Cryptophycées (*Cryptomonas* et *Chroomonas* spp.) sont bien représentées. Une dérive de la composition du peuplement algal s'est produite au cours de l'étude. Dans un contexte d'oligotrophisation du milieu, la proportion des Chlorophycées a diminué au profit des Cryptophycées, plus opportunistes.

Contrairement à ce qui se passe dans les milieux stratifiés, il n'existe pas dans le lac de Créteil, en raison de l'intermittence des brassages estivaux, de progression

saisonnière conduisant à l'apparition de grandes espèces à taux de croissance lent (succession autogénique). Les séquences algales observées au cours d'un cycle annuel sont caractéristiques des stades initiaux des successions classiques observées dans les grands lacs.

La constance de la forte représentation d'espèces de petite taille, à vitesse de croissance élevée, montre que le lac de Créteil s'est maintenu dans un état juvénile. Cependant, l'apparition et le développement récent de macrophytes témoignent d'une complexification du réseau trophique caractéristique des successions écologiques aboutissant à la maturité de ce type d'écosystème.

.....

Les valeurs des abondances et biomasses du bactérioplancton sont comparables à celles observées dans des milieux très productifs ( $6 \cdot 10^6$  cell.  $\text{ml}^{-1}$  et  $16,2 \text{ ng ml}^{-1}$ ). Il est dominé, de manière constante, par de petites formes coccoides de diamètre inférieur à  $0,3 \mu\text{m}$  ( $0,03 \mu\text{m}^3 \text{ cell.}^{-1}$ ). De même que pour le phytoplancton, l'absence de réelle stratification, par suite des brassages par le vent, ainsi que le recyclage continu des éléments nutritifs pourraient s'opposer au développement de cellules plus grandes.

Les variations saisonnières de l'activité bactérienne ne semblent pas contrôlées seulement par la température; elles dépendent également de la disponibilité en substrats issus de l'activité algale. Les mesures de l'activité hétérotrophe effectuées in situ avec deux substrats, le glucose et les acides aminés, montrent une variation saisonnière qualitative de l'activité bactérienne. L'assimilation du glucose est prédominante quand l'activité algale s'accroît, alors que l'assimilation des acides aminés est relativement plus importante au moment des phases de déclin des populations phytoplanctoniques.

Le rôle des bactéries dans le lac de Créteil est quantitativement très important. Estimée à  $190 \text{ mgC m}^{-2} \text{ j}^{-1}$  en moyenne annuelle, la production bactérienne représente plus de la moitié de la production phytoplanctonique (en valeurs nettes), alors que la biomasse bactérienne ne représente que moins de 10 % de la biomasse phytoplanctonique (exprimées en carbone).

Le transfert de la matière organique vers les niveaux trophiques supérieurs est d'autant plus aisé et rapide que le phytoplancton est constamment ingérable en raison de sa petite taille. Le broutage par le zooplancton constitue ainsi le facteur essentiel des pertes algales. La part de biomasse algale non exploitée par le zooplancton, donc laissée aux bactéries, est moins importante que dans les autres milieux de production similaire.

Les taux d'excrétion apparents du phytoplancton, faibles ou nuls quand l'activité bactérienne est la plus importante, confirment le couplage entre les compartiments phyto- et bactérioplanctoniques.

Malgré la tendance à l'oligotrophisation, les niveaux d'activité phytoplanctonique et bactérienne montrent que le lac de Créteil est un milieu productif, en rapport avec la présence de petites espèces à taux de croissance élevé et d'un recyclage permanent en éléments nutritifs lié à sa faible profondeur.