

17

ROLE DES BACTERIES PHOTOTROPHES ANOXYGENIQUES DANS UNE PARTIE STRATIFIÉE D'UNE LAGUNE TROPICALE (LAGUNE EBRIE, COTE D'IVOIRE)

P. CAUMETTE

Laboratoire de Microbiologie, Faculté St-Jérôme, 13397 MARSEILLE Cedex 13.
(FRANCE)

RÉSUMÉ - La lagune Ebrié (5°N, 4°W) présente dans les zones profondes de sa partie estuarienne des conditions de stratification des eaux pendant les périodes de pluies et de crues, liées aux différences de salinité entre l'épilimnion aéré et l'hypolimnion anoxique. A leur interface, il a été observé une population de bactéries phototrophes formant une couche brune due au mélange de différents genres (*Chromatium*, *Chlorobium* et *Pelodictyon*). Ces bactéries, dont la production peut atteindre 41 % de la production photosynthétique totale, étaient consommées par des organismes zooplanctoniques (copépodes, rotifères). Au cours de la saison sèche, la colonne d'eau devient homogène et bien aérée (janvier à mai). La couche brune disparaît tandis que les activités des bactéries hétérotrophes et du phytoplancton augmentent rapidement et restent élevées pendant toute cette période. Ainsi, pendant la période de stratification, la matière organique qui sédimente, est transformée par des organismes anaérobies dans l'hypolimnion et recyclée dans la chaîne trophique par les bactéries phototrophes, alors que, pendant l'homogénéisation des eaux, elle est surtout recyclée par les bactéries hétérotrophes aérobies et le phytoplancton dont les activités augmentent parallèlement.

Mots clés : lagune tropicale, milieu stratifié, bactéries photosynthétiques, populations bactériennes, prédation.

ABSTRACT - In the deepest parts of the estuarine region of Ebrié Lagoon (Abidjan Africa, (5°N, 4°W) stratified conditions have been observed during the rainy season (May to November), owing to salinity differences between oxic and anoxic layers. At the interface, between 3 and 4 m depth, phototrophic bacteria (*Chromatium*, *Chlorobium* and *Pelodictyon*) developed, forming a brown layer due to their different pigments. Their production has been estimated at 41 % of the total photosynthetic production during the high stratification of waters (September 1981) and their biomass was used by the copepod population for 40 to 60 % of its diet. During the dry season, the water column became homogeneous and oxygen was detected to 6 m depth, one meter above the sediment. The brown layer of phototrophic bacteria disappeared, as well as sulfate reducers, from the hypolimnion, whereas aerobic heterotrophic bacterial activity and phytoplankton production increased. Thus, they recycled organic and mineral compounds that accumulated in the hypolimnion during stratification. During this stratification, a part of organic and mineral compounds was recycled, by means of anaerobic processes and phototrophic bacteria, thereby making a contribution to the carbon budget and the food chain which developed in this lagoon.

Key words : tropical lagoon, stratified conditions, phototrophic bacteria, bacterial populations, zooplankton feeding.

INTRODUCTION

Les milieux aquatiques stratifiés ont très souvent été étudiés et considérés comme de bons exemples pour comprendre les relations qui peuvent se développer entre les communautés bactériennes aérobies dans les eaux de surface et les communautés bactériennes anaérobies dans les eaux profondes. Dans la plupart des cas, les eaux profondes riches en sulfates favorisent la sulfato-réduction, et, de ce fait, le gradient d'oxydo-réduction établi entre la

surface et le fond permet la stratification d'activités bactériennes différentes et une meilleure compréhension des cycles biogéochimiques. De tels milieux ont fait l'objet d'études ponctuelles et détaillées sur le plan des relations entre les organismes et leurs activités, mais rares sont les travaux décrivant ces milieux pendant des cycles annuels (Cohen *et al.*, 1977 ; Van Gemerden, 1967 ; King et Tyler, 1983 ; Montesinos, 1982). Dans certains de ces milieux, des proliférations de bactéries phototrophes ont été observées à l'interface entre l'épilimnion aérobie et l'hypolimnion anoxique. Certaines études ont été réalisées en milieu tropical (Mac Intyre et Melack, 1982) et, récemment, une étude semblable a été entreprise dans une lagune tropicale (baie de Biétri) dont les zones profondes présentaient de longues périodes de stratification. Cette baie située dans l'agglomération d'Abidjan, est polluée par d'importants effluents domestiques et industriels qui augmentent la charge organique (Dufour et Maurer, 1979 ; Guiral, 1984).

Dans les zones stratifiées de la baie, différentes études ont été réalisées au niveau des activités bactériennes (Carmouze et Caumette, 1984), au niveau des proliférations de bactéries phototrophes (Caumette, 1984) ainsi qu'au niveau des relations bactéries/zooplancton (Caumette *et al.*, 1983). L'évolution des populations bactériennes qui se développent en fonction des conditions physicochimiques, a été suivie au cours d'un cycle annuel. L'étude de leurs relations a été détaillée au cours de la période de stratification de façon à comprendre le rôle des bactéries phototrophes dans le recyclage de la matière et de l'énergie via les processus anaérobies dans l'hypolimnion.

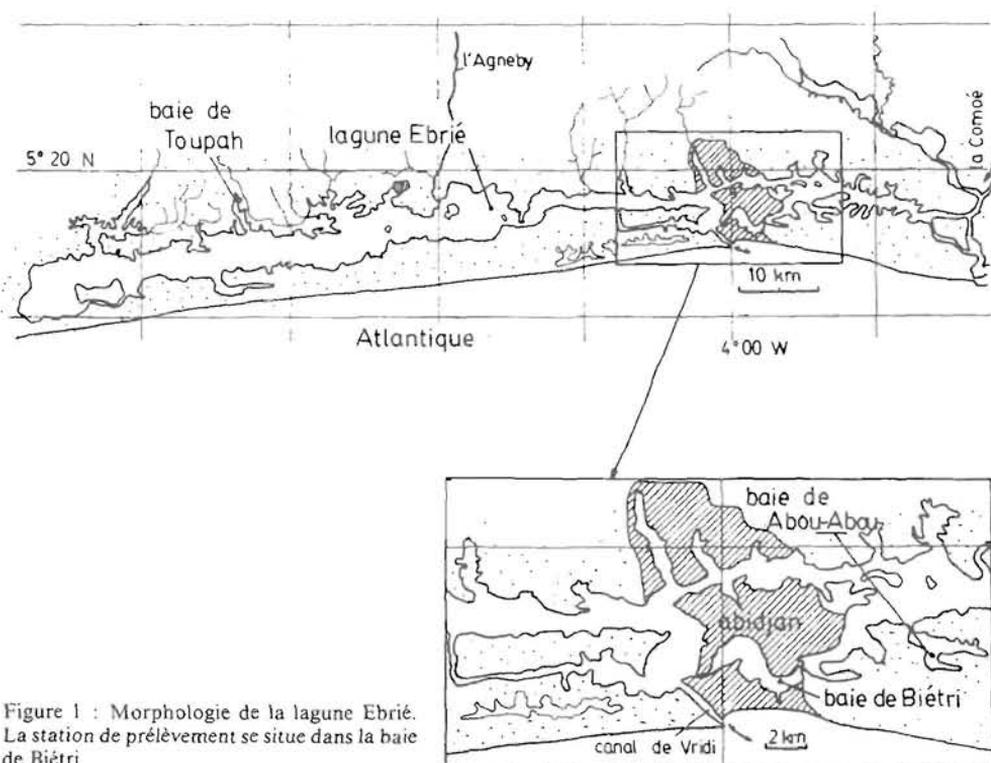


Figure 1 : Morphologie de la lagune Ebré. La station de prélèvement se situe dans la baie de Biétri.

MATERIEL ET METHODES

Description du site et méthodes de prélèvements.

La baie de Biétri fait partie de la région estuarienne de la lagune Ebrié (fig. 1). Entourée par la ville d'Abidjan, elle se situe proche de la communication avec la mer. La station de prélèvement se trouve dans une des parties les plus profondes de la baie, au sud-est. Elle a 7 à 8 mètres de profondeur et est soumise à des conditions hydroclimatiques variables en fonction des saisons. Pendant la saison des pluies et des crues des fleuves (mai à novembre), les eaux étaient stratifiées à cause de changements de salinité entre l'épilimnion contenant l'eau de pluie et l'hypolimnion essentiellement formé d'eau de mer.

Les prélèvements d'eau en vue des analyses chimiques et bactériologiques ont été réalisés au moyen d'une bouteille Hydrobios (GBH, Germany) ou, pour plus de précision dans certains cas, au moyen d'une pompe péristaltique raccordée à un tube plastique de 1 cm de diamètre dont l'extrémité permettait des prélèvements d'une lame d'eau horizontale.

Le zooplancton a été récolté par traction verticale ou horizontale d'un filet cylindro-conique de 30 cm de diamètre et de 60 μm de vide de maille.

Analyses des paramètres physiques et chimiques.

L'oxygène dissous et la salinité ont été mesurés *in situ*, à l'aide d'un oxymètre YSI 51 et d'un salinomètre YSI SCT 33 dont les électrodes étaient plongées en même temps à chaque profondeur. Les sulfures ont été analysés par la méthode de formation de bleu de méthylène (Cline, 1969), après fixation des échantillons dans une solution d'acétate de zinc à 2 %.

Analyses bactériologiques.

Pour les bactéries hétérotrophes aérobies, les dénombrements ont été réalisés par le comptage des colonies sur les milieux Marine Agar (Difco) et Nutrient Agar (Difco) ensemencés par étalement et incubés à 30°C pendant 48 h. Pour les bactéries sulfoxydantes aérobies (Thiobacilles), ils ont été effectués sur le milieu S de Postgate (1966), incubé à 30°C pendant 8 jours. Pour les bactéries sulfato-réductrices, ils ont été réalisés en gélose profonde dans le milieu C de Postgate (1966) incubé à 30°C pendant 8 jours (colonies noires). Pour les bactéries phototrophes, le milieu de Pfennig (Pfennig et Trüper, 1981) a été utilisé, ensemencé en gélose profonde, à 30°C, 500 lux, pendant 15 jours (colonies rouges, vertes et brunes). Le dosage des bactériochlorophylles a été réalisé selon la méthode de Takahashi et Ishimura, 1968 ; le dosage de la chlorophylle *a* selon la méthode de Holm-Hansen *et al.* (1975). Les productions de bactéries hétérotrophes aérobies ont été estimées par incubation dans des sacs à dialyse (Sorokin et Kadota, 1972) ; les productions de bactéries phototrophes ont été obtenues par consommation du sulfure dans des bouteilles claires et sombres. La production algale a été estimée par la production d'oxygène.

Les analyses relatives au zooplancton ont été réalisées selon les méthodes décrites par Caumette *et al.* (1983).

RESULTATS ET DISCUSSION

Variations saisonnières des conditions physiques et chimiques

Dans cette partie de la baie de Biétri, les eaux ont été stratifiées pendant la majeure partie

de l'année d'étude, à cause des différences de salinité entre les eaux de surface et les eaux profondes plus salées. La figure 2 présente l'évolution de la salinité dans la colonne d'eau entre juin 1981 et mai 1982. Les eaux de surface sont peu salées (8 à 10‰) pendant toute la période de pluies et de crues (juin 1981 à novembre 1981 et mai 1982). Pendant la saison sèche, entre janvier et avril 1982, la salinité augmente et la colonne d'eau devient homogène. Ce milieu peut être considéré comme un milieu monomictique avec une longue période de stratification et une période chaude holomictique. Pendant la période de stratification, l'halocline qui se situe entre 2,50 et 3,50 mètres de profondeur, délimite un épilimnion aérobie et un hypolimnion anoxique.

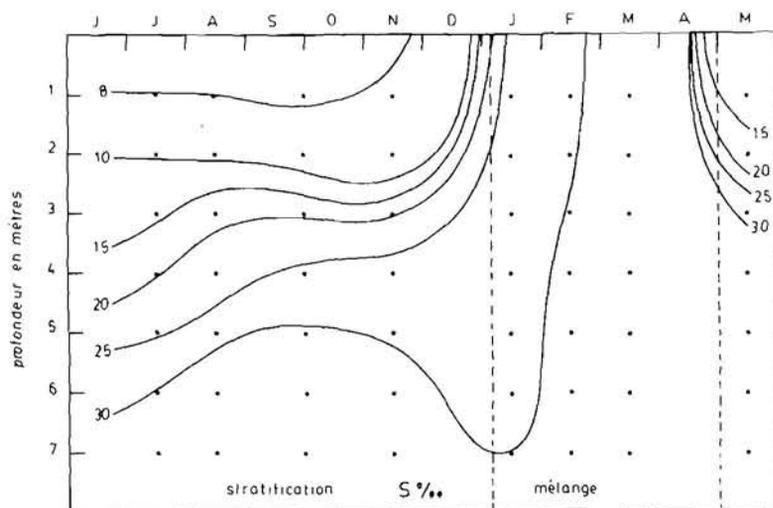


Figure 2: Courbes isohalines dans l'eau de la station de prélèvement, en baie de Biétri, de juin 1981 à mai 1982. Les valeurs sont exprimées en mg/l.

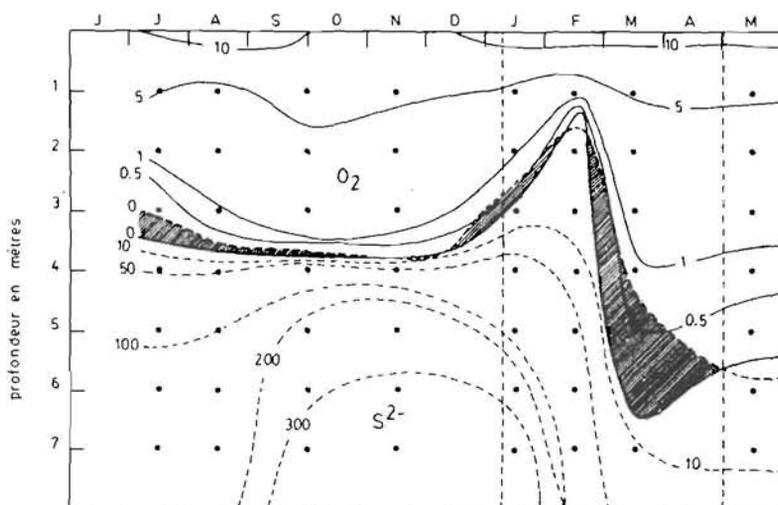


Figure 3: Isoclines d'oxygène et de sulfure dans l'eau de la station de prélèvement, de juin 1981 à mai 1982. Les valeurs sont exprimées en mg/l. La zone grisée correspond à la présence des deux composés en même temps.

En octobre et novembre 1981, l'oxygène a été détecté jusqu'à 3,50 mètres de profondeur (fig. 3). L'oxycline et l'halocline coïncidaient, mais toutefois, le sulfure a été analysé à l'état de traces à partir de 3,25 mètres de profondeur, laissant suggérer une faible diffusion de ces deux composés à travers l'halocline. Dès la période holomictique, le sulfure qui s'était accumulé dans l'hypolimnion est mélangé dans toute la colonne d'eau, au détriment de l'oxygène dissous qui n'est détecté que dans les eaux de surface. La colonne d'eau est totalement aérée lorsque le sulfure est oxydé ; celui-ci n'est détecté que dans le dernier mètre de profondeur et ses valeurs sont très faibles.

Variations saisonnières des biomasses et activités

Pendant la période de stratification, une population dense de bactéries phototrophes a été observée à l'interface entre l'épilimnion et l'hypolimnion tandis que les bactéries hétérotrophes aérobies (B.H.A.) et les bactéries sulfo-oxydantes aérobies étaient surtout abondantes dans l'épilimnion (fig. 8). La figure 4 présente l'évolution, entre juin 1981 et avril 1982, du nombre de B.H.A. dans toute la colonne d'eau. Les nombres les plus élevés ont été enregistrés pendant la période de stratification, dans les eaux de surface. Au cours de la période sèche, ce nombre diminue fortement, laissant suggérer un "lavage" par l'eau de mer qui pénètre en lagune. Effectivement, le rapport entre les dénombrements sur le milieu salé et le milieu doux (MA/NA) augmente à cette période (fig. 5). De même, l'activité des B.H.A., mise en évidence par le temps de doublement cellulaire, augmente pendant la saison sèche, dès la période de mélange des eaux (fig.6). Pendant cette période,

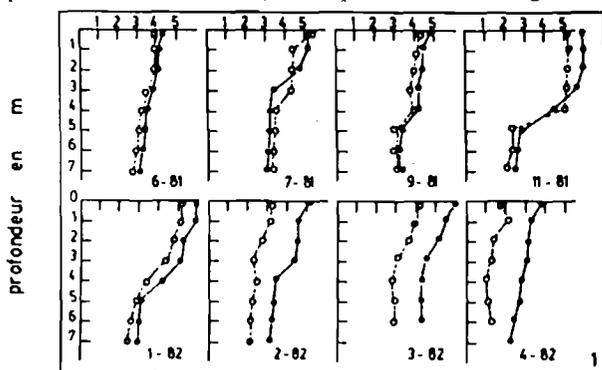


Figure 4 : Répartition verticale des bactéries hétérotrophes aérobies de juin 1981 à avril 1982, dans l'eau de la station de prélèvement en baie de Biétri. Les ronds noirs correspondent aux dénombrements sur milieu Marine Agar, les ronds blancs aux dénombrements sur milieu Nutrient Agar.

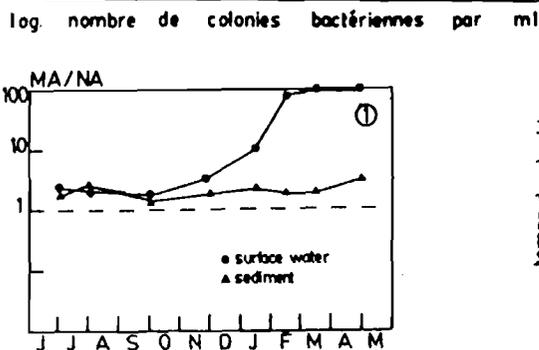


Figure 5 : Evolution du rapport des dénombrements sur milieu salé (MA) et sur milieu doux (NA), de juin 1981 à mai 1982, dans l'eau de surface (ronds) et le sédiment (triangles) de la station de prélèvement en baie de Biétri.

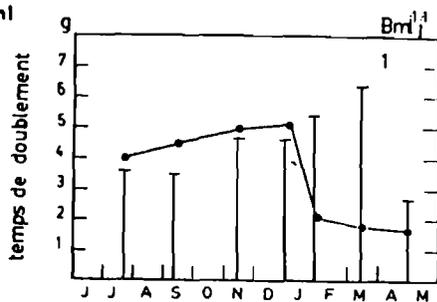


Figure 6 : Evolution de la production de bactéries hétérotrophes aérobies (diagrammes) exprimée en log. du nombre de cellules produites par ml et par jour, et temps de doublement cellulaire (ronds noirs) exprimé en heures, dans l'eau de surface de la station de prélèvement en baie de Biétri, de juin 1981 à mai 1982.

le temps de doublement cellulaire est de 1 à 2 heures et se situe parmi les temps de génération les plus courts observés en milieu naturel (Sieburth et Lavoie 1978). Cette augmentation de l'activité bactérienne coïncide avec l'augmentation de l'activité algale (fig. 7). Elles sont stimulées par les apports massifs de produits organiques et minéraux qui s'étaient accumulés dans l'hypolimnion pendant la période de stratification (Carrouze et Caumette, en préparation).

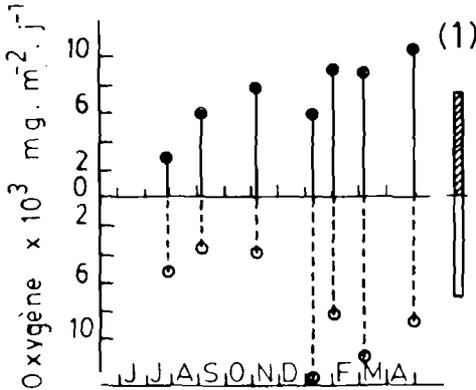


Figure 7 : Production d'oxygène (traits pleins) et consommation d'oxygène (traits pointillés) rapportée à toute la colonne de la station de prélèvement en baie de Biétri, de juin 1981 à mai 1982. Les valeurs sont exprimées en mg d'oxygène par mètre carré et par jour. (1) : valeurs moyennes.

Dans l'hypolimnion, le nombre de bactéries sulfato-réductrices est très élevé (fig. 8) surtout en profondeur, à la surface des sédiments. Au cours de l'homogénéisation des eaux, les BSR sont distribuées dans toute la colonne d'eau, mais leur activité devient nulle à cause de conditions défavorables. De ce fait, leur nombre décroît rapidement en mars et avril 1982. La majeure partie des sulfures est produite par la sulfato-réduction au niveau de l'hypolimnion (Caumette, en préparation) Ces sulfures sont en partie consommés par les bactéries phototrophes sulfo-oxydantes dont le nombre est très élevé à l'interface entre l'épilimnion et l'hypolimnion (fig. 8). Ces bactéries ont été identifiées sur des critères de morphologie, de pigmentation et de physiologie (Caumette, 1984). Les espèces isolées sont : *Rhodopseudomonas palustris*, *Chromatium violascens*, *Chr. vinosum*, *Chr. gracile*, *Chlorobium vibrioforme* et *Chl. phaeobacteroides*. Ces différentes espèces forment une couche brune, alors que dans l'hypolimnion, il n'a été isolé que des Chlorobiaceae vertes et brunes. Dans la couche brune, des bactéries brunes possédant une vacuole de gaz ont été observées. Leur étude physiologique est en cours. Elles ont été morphologiquement rapprochées du genre *Pelodictyon*.

ROLE DES BACTÉRIES PHOTOTROPHES PENDANT LA STRATIFICATION

Au sein de la couche brune, les bactéries phototrophes se distribuèrent selon une stratification des genres. Les bactéries pourpres non sulfureuses *Rhodopseudomonas* ont été abondantes, surtout dans la partie supérieure de la couche brune, ainsi que les bactéries pourpres sulfureuses (*Chromatium*). Leur abondance peut être mise en évidence par les teneurs en bactériochlorophylle *a* (BChl *a*) (fig. 9). Les bactéries vertes et brunes contenant des BChl *c*, *d*, *e*, se situent en dessous et sont les plus abondantes dans l'hypolimnion (*Chlorobium*, *Pelodictyon*). Cette stratification est dépendante de la pénétration lumineuse et du gradient de sulfure au sein de la couche brune (Caumette, 1984).

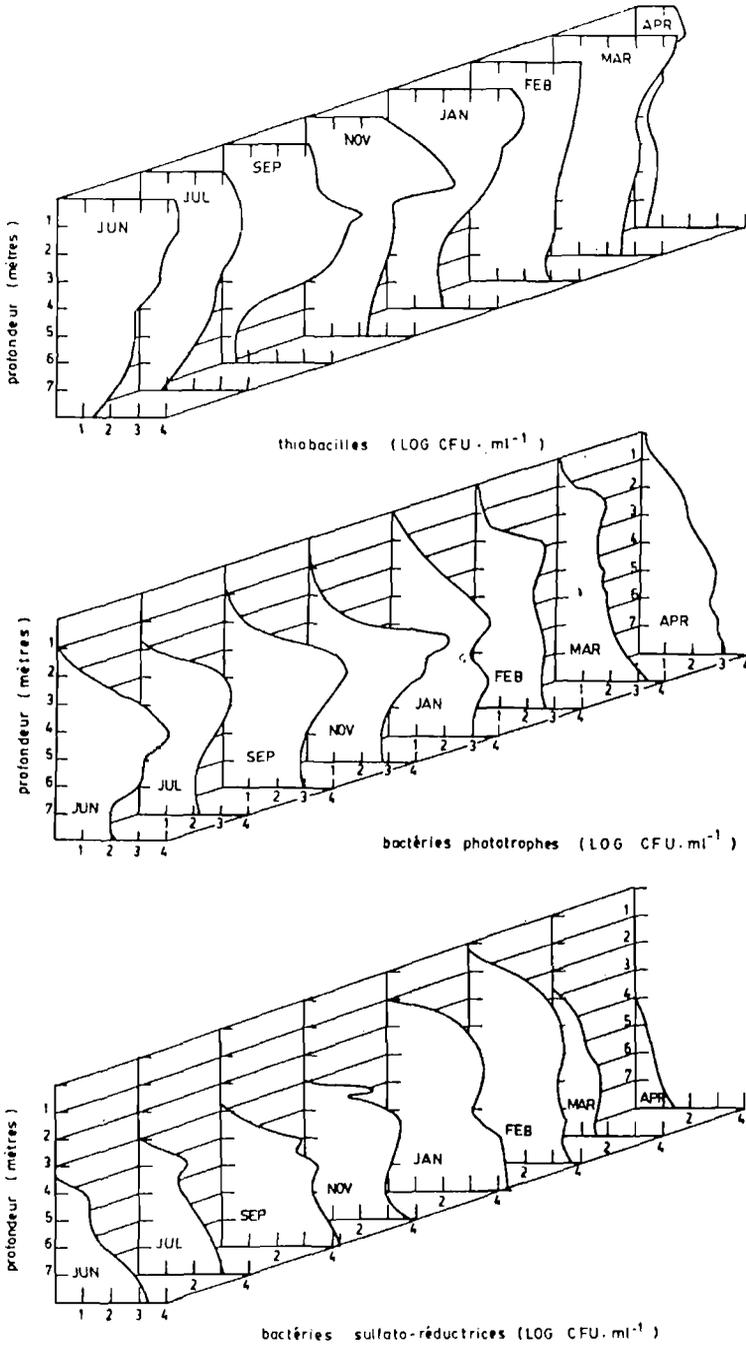


Figure 8 : Répartitions verticales des Thiobacilles, des bactéries phototrophes et sulfato-réductrices dans la colonne d'eau de la station de prélèvement en baie de Biétri, de juin 1981 à avril 1982.

La production de bactéries phototrophes a été comparée à la production algale (fig. 10). La production maximale se situe entre 3,50 et 4 m de profondeur ($160 \mu\text{mole C.l}^{-1}\text{j}^{-1}$). Leur production globale rapportée à la colonne d'eau a été estimée à 41 % de la production photosynthétique totale (phytoplancton et bactéries phototrophes). Comme elles utilisent des longueurs d'ondes différentes et des intensités lumineuses plus faibles, elles peuvent être considérées comme un complément de la production algale et elles forment une biomasse non négligeable dans cet écosystème.

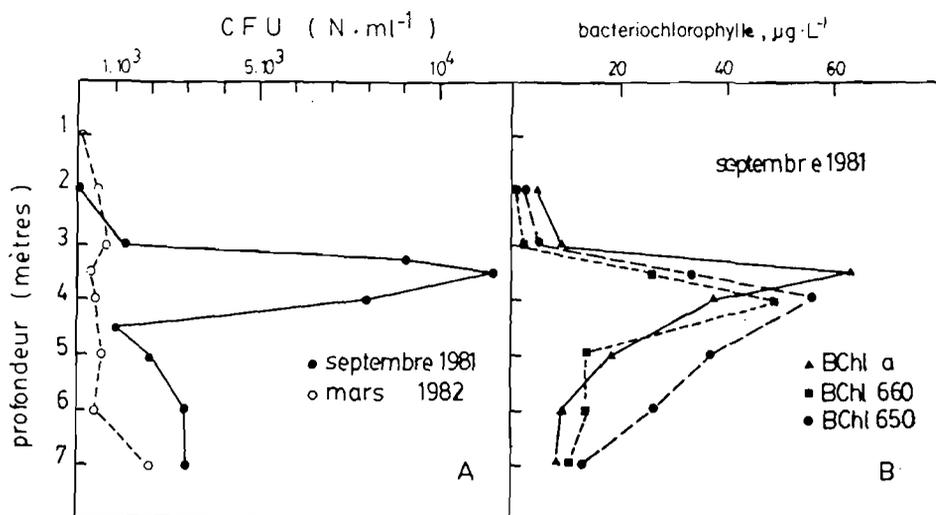


Figure 9 : Répartition verticale des bactéries phototrophes et des bactériochlorophylles dans la colonne d'eau de la station de prélèvement en baie de Biétri, pendant la stratification des eaux, en septembre 1981. Les bactéries phototrophes formaient une couche brune entre 3 et 4 m de profondeur (Caumette, 1984).

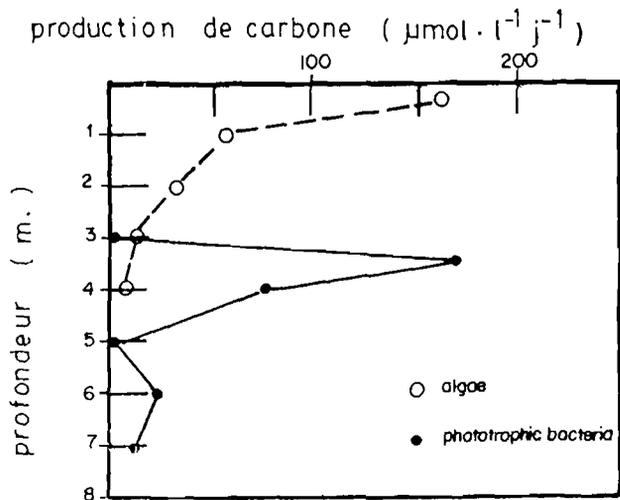


Figure 10 : Productions algales et de bactéries phototrophes dans la colonne d'eau de la station de prélèvement en baie de Biétri, en septembre 1981. Les productions sont exprimées en µmoles de carbone produit par litre et par jour.

Leur biomasse produite est en partie utilisée par des organismes du zooplancton qui sont localisés en permanence au voisinage de la couche brune. Il s'agissait de copépodes de l'espèce *Acartia clausi* et de rotifères. Leur distribution verticale fait apparaître une accumulation de ces organismes juste au dessus de la couche brune (fig. 11). Les bactéries phototrophes sont utilisées comme nourriture et peuvent représenter jusqu'à 60 % de l'alimentation des copépodes adultes (Caumette *et al.*, 1983). Ainsi les bactéries pourraient constituer une nourriture de choix appréciée par les copépodes comme cela a été déjà mis en évidence par Ustach (1982). Les bactéries phototrophes qui se développent en utilisant les composés issus des métabolismes anaérobies dans l'hypolimnion contribuent au premier maillon de la chaîne trophique développée dans ce milieu lagunaire. Pendant cette période de stratification (longue dans ce milieu tropical), la matière organique qui sédimente dans l'hypolimnion est en partie recyclée par les bactéries phototrophes via les métabolismes anaérobies dans l'hypolimnion. En participant à la chaîne trophique, ces bactéries permettent de réintroduire une partie de l'énergie dans l'écosystème aérobie, alors que le restant de matière et d'énergie qui s'accumule dans l'hypolimnion est en partie perdu pour l'écosystème et ne peut être recyclé que par les bactéries aérobies des eaux de surface, lors du mélange des eaux.

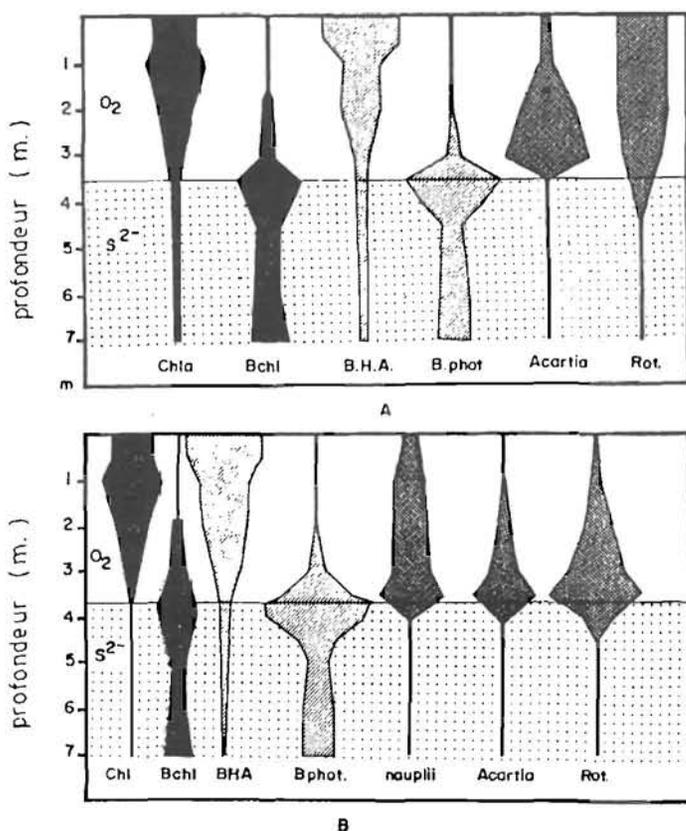


Figure 11: Répartition verticale de la chlorophylle *a* (Chl *a*), des bactériochlorophylles (BChl), des bactéries hétérotrophes aérobies (BHA), des bactéries phototrophes (B. Phot.) et du zooplancton (copépodes : nauplii et *Acartia* adultes ; rotifères : Rot) dans l'eau de la station de prélèvement, en septembre 1981. (d'après Caumette *et al.*, 1983).

CAUMETTE P., 1984. Distribution and characterization of phototrophic bacteria isolated from Biétry Bay (Ebrie Lagoon, Ivory Coast). *Can. J. Microbiol.* 30 : 273-284.

CAUMETTE P. PAGANO M. et SAINT-JEAN L., 1983. Répartition verticale du phytoplancton des bactéries et du zooplankton dans un milieu stratifié en baie de Biétry. *Hydrobiologia* 106 : 135-148.

CLINE J.D., 1969. Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. *Limnol. Oceanogr.* 14 : 454-458.

COHEN., Y. KRUMBEIN WE., GOLDENBERG M. and SHILO M., 1977. Solar Lake (Sinai). Physical and chemical limnology. *Limnol Oceanogr.* 22 : 597-608.

DUFOUR P. et MAURER D., 1979. Pollution organique et eutrophysation en milieu tropical saumâtre. *Rev Biol. Ecol. Medit.* 6 : 252.

GUIRAL D., 1984. Devenir de la matière organique particulaire dans un milieu eutrophe tropical. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 17 : 191-206

KING R.D. and TYLER P.A., 1983. Sulphide pool and Lake Morrison, meromictic lakes of south-west Tasmania. *Arch Hydrobiol.* 96 : 139-163.

MACINTYRE S. and MELACK J.M., 1982. Meromixis in an equatorial soda lake. *Limnol. Oceanogr.* 27 : 595-609.

MONTESINOS E., 1982. Ecofisiologia de la fotosintesis bacteriana. *Doctoral Thesis, Universidad autonoma de Barcelona, Barcelone, Espagne.*

PFENNIG N. and TRUPER H.G., 1981. Isolation of members of the families Chromatiaceae and Chlorobiaceae. In "*The Procarvates*" (MP. Starr et al. eds). Springer-Verlag, Berlin, pp 279-289.

POSTGATE J.R., 1966. Media for sulphur bacteria. *Lab. Pract.* 15 : 12-39.

SIEBURTH J. McN. and LAVOIE D.M., 1978. A non standard approach to heterotrophic activity. First symposium on the biological effects of pollution on marine organisms. *EPA 600/9-78-007* : 77-86.

SOROKIN Y.I. and KADOTA H., 1972. Techniques for the assesment of microbial production and decomposition in fresh waters. *IBP. Handbook 23*, Blackwell Sci. Pub.

TAKAHASHI M. and ISHIMURA S., 1968. Vertical distribution and organic matter production of photosynthetic sulfur bacteria in japanese lakes. *Limnol. Oceanogr.* 13 : 644-655.

TRUPER H.G. and SCHLEGEL HG., 1964. Sulphur metabolism in Thiorhodaceae. *Antonie van Leevenhoek* 30 : 225-238.

USTACH J.F., 1982. Algae, bacteria and detritus as food for the harpacticoid copepod *Heteropsillus pseudonunni*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 64 : 203-214.

VAN GEMERDEN H. 1967. On the sulfur cycle of inland waters. *Doctoral thesis, Université de Leiden, Leiden, Hollande.*