

# PICOPLANKTON PHOTOSYNTHETIQUE

Daniel VAULOT et Dominique MARIE  
Station Biologique, BP 74 29682 Roscoff FRANCE  
e-mail : vaulot@sb-roscoff.fr

## Introduction

Au cours de la campagne OLIPAC, trois aspects du picoplancton photosynthétique ont été étudiés:

- abondance, taille et fluorescence des pigments mesurées par cytométrie en flux
- variabilité nyctémérale des paramètres de fluorescence et de photosynthèse de *Prochlorococcus* (en collaboration avec l'équipe du LPCM)
- caractérisation des picoeucaryotes photosynthétiques (isolement de souches, HPLC en collaboration avec le LPCM, biologie moléculaire)

## Prélèvements et méthodes d'analyses

### a - Stations radiales (Stations 1 à 11)

Au cours de la radiale, nous nous sommes attachés à décrire les différentes populations du picoplancton, en particulier en ce qui concerne sa composante eucaryote. A chaque station les mesures et expériences suivantes ont été effectuées:

- Analyse d'un profil vertical en cytométrie en flux (FACSort) pour la détermination des paramètres concentration cellulaire, diffusion (taille) et fluorescence de la chlorophylle et de la phycoérythrine sur les trois populations de picoplancton:
  - \* *Prochlorococcus*
  - \* *Synechococcus*
  - \* picoeucaryotes
- Fixation d'échantillons d'un profil vertical pour la détermination au laboratoire des mêmes paramètres sur:
  - \* bactéries hétérotrophes
- Filtrations fractionnées à deux profondeurs (5 et 90 m en général) de 4 litres à travers des filtres de 3mm, 1mm, 0.6 µm et GF/F et détermination des paramètres suivants:
  - \* Abondance des trois populations du picoplancton
  - \* Pigments photosynthétiques (HPLC, H. Claustre)
  - \* FRR (section efficace, efficacité photosynthétique, M. Behrenfeld)
  - \* Caractérisation génétique des picoeucaryotes et des *Prochlorococcus* (au laboratoire)
- Mise en culture des fractions < 3 et 0.8 µm pour isoler des *Prochlorococcus* et des picoeucaryotes.
- Filtration tangentielle à deux profondeurs (5 et 90 m en général) pour concentrer 10 litres en 20 ml résultant en un facteur d'enrichissement en cellules de 100 à 200 fois.
  - \* Fixation d'un échantillon de 10 ml pour caractérisation des picoeucaryotes avec des sondes moléculaires (au laboratoire)
  - \* Spectre d'absorption (A. Bricaud, K. Allali)

### b - Stations fixes (Stations 12 à 21)

Pendant les stations fixes, l'accent a été mis sur l'étude de la variabilité circadienne. Au cours des journées 2 et 4, des CTD ont été effectués toutes les deux heures entre 6:00 et 22:00. Les paramètres suivants ont été déterminés sur 12 à 15 profondeurs:

- \* Abondance et fluorescence des trois populations du picoplancton
- \* FRR (section efficace, efficacité photosynthétique, M. Behrenfeld)
- \* Cycle cellulaire de *Prochlorococcus* (au laboratoire)

En même temps des CTD optiques ont été effectuées avec la même périodicité (R. Zaneveld et C. Moore).

De plus, deux profondeurs ont été sélectionnées (5 et 55 m à 5°S et 5 et 110 m à 16°S) pour étudier plus en détail la variabilité diurne de *Prochlorococcus*. Les mesures suivantes ont été effectuées sur 8.5 L préfiltrés sur 0.8 µm.

- \* Abondance et fluorescence des trois populations du picoplancton
- \* FRR (section efficace, efficacité photosynthétique, M. Behrenfeld)
- \* Spectre absorption (K. Allali)
- \* Spectre fluorescence (A. Bricaud)
- \* Pigments photosynthétiques (HPLC, H. Claustre)
- \* Courbes P vs I (M. Babin, N. Sadoudi)

### c - Transect en surface en 1° N et 16° S

Profitant d'un système de pompage en continu prélevant de l'eau à 5 m de profondeur pour les mesures de CO<sub>2</sub> (N. Metzl, B. Brés) nous avons échantillonné toutes les demi-heures en route (à peu près tous les 6 miles nautiques) et toutes les heures pendant les stations fixes et mesuré:

- \* Abondance et fluorescence des trois populations du picoplancton photosynthétique.

## Résultats

Nous ne présentons ici que des résultats préliminaires concernant (1) la structure des populations picoplanctoniques dans la zone étudiée et (2) la variabilité nycthémerale du picoplancton telle qu'observée par cytométrie en flux. Pour les autres points que nous avons abordés pendant la campagne OLIPAC, tels que la nature des picoeucaryote photosynthétiques ou bien la variabilité des paramètres photosynthétiques de *Prochlorococcus*, soit les analyses sont encore en cours, soit une synthèse doit être faite entre les différentes mesures faites.

### a - Structure de la communauté picoplanctonique entre l'Equateur et le Gyre Sud-Pacifique

Dans la zone intertropicale, une grande partie de la biomasse et de la production photosynthétique est due à des cellules de très petites tailles (<3 µm, picoplancton). La zone équatoriale est particulièrement intéressante pour comprendre comment ces communautés sont influencées par les facteurs nutritifs, car de forts gradients horizontaux existent en raison de l'upwelling équatorial. La question de savoir comment est contrôlée la production photosynthétique est encore ouverte: contrôle par des éléments nutritifs traces (fer; bottom-up) ou bien par la prédation (top-down).

Au cours de la campagne OLIPAC, nous nous sommes attachés à décrire les grandes lignes de la distribution du picoplancton aux échelles à la fois horizontales et verticales. Les trois types cellulaires classiquement rencontrés (*Prochlorococcus*, *Synechococcus*, et picoeucaryotes) ont été discriminés et mesurés par cytométrie en flux (FACSort).

#### Variabilité spatiale

Profitant d'un système de pompage en continu prélevant de l'eau à 5 m de profondeur pour les mesures de CO<sub>2</sub> (N. Metzl, B. Brés) nous avons pu échantillonner avec une résolution de l'ordre de 6 miles nautiques. Schématiquement, trois zones différentes sont repérables par leur salinité:

- La zone proprement équatoriale au Nord de 2° S (salinité 35.3)
- La zone de transition entre 12° et 2° S (salinité 35.5)
- Le gyre Sud-Pacifique (salinité 36.0)

C'est seulement dans les deux premières zones que les nitrates sont détectables en surface. Ces trois zones sont caractérisées par des peuplements picoplanctoniques différents. Par exemple les cyanobactéries de type *Synechococcus* ont une abondance de 20,000 cellules par ml à l'Equateur, augmentent dans la zone de transition et chutent aux alentours de 1000 par ml dans le gyre. Des zones de fort gradient sont clairement visibles (entre 2 et 4 ° S, entre 10 et 12 ° S). Les picoeucaryotes ont une répartition analogue, si ce n'est qu'ils ont un maximum d'abondance dans la zone équatoriale. Les zones de gradient ne coïncident pas exactement avec celles de *Synechococcus* (par exemple vers 14°S). Les *Prochlorococcus* quant à eux exhibent beaucoup moins de variation en surface.

A ce schéma à grande échelle vient se superposer une variabilité à plus petite échelle, dont une partie est attribuable au cycle journalier (voir ci-dessous). Par contre, une partie de la variabilité est liée à la structure hydrologique. Par exemple, au voisinage immédiat de l'atoll de Caroline's island vers 10° S, les concentrations de cyanobactéries augmentent, ce qui est probablement dû à un effet local d'enrichissement créé par l'atoll.



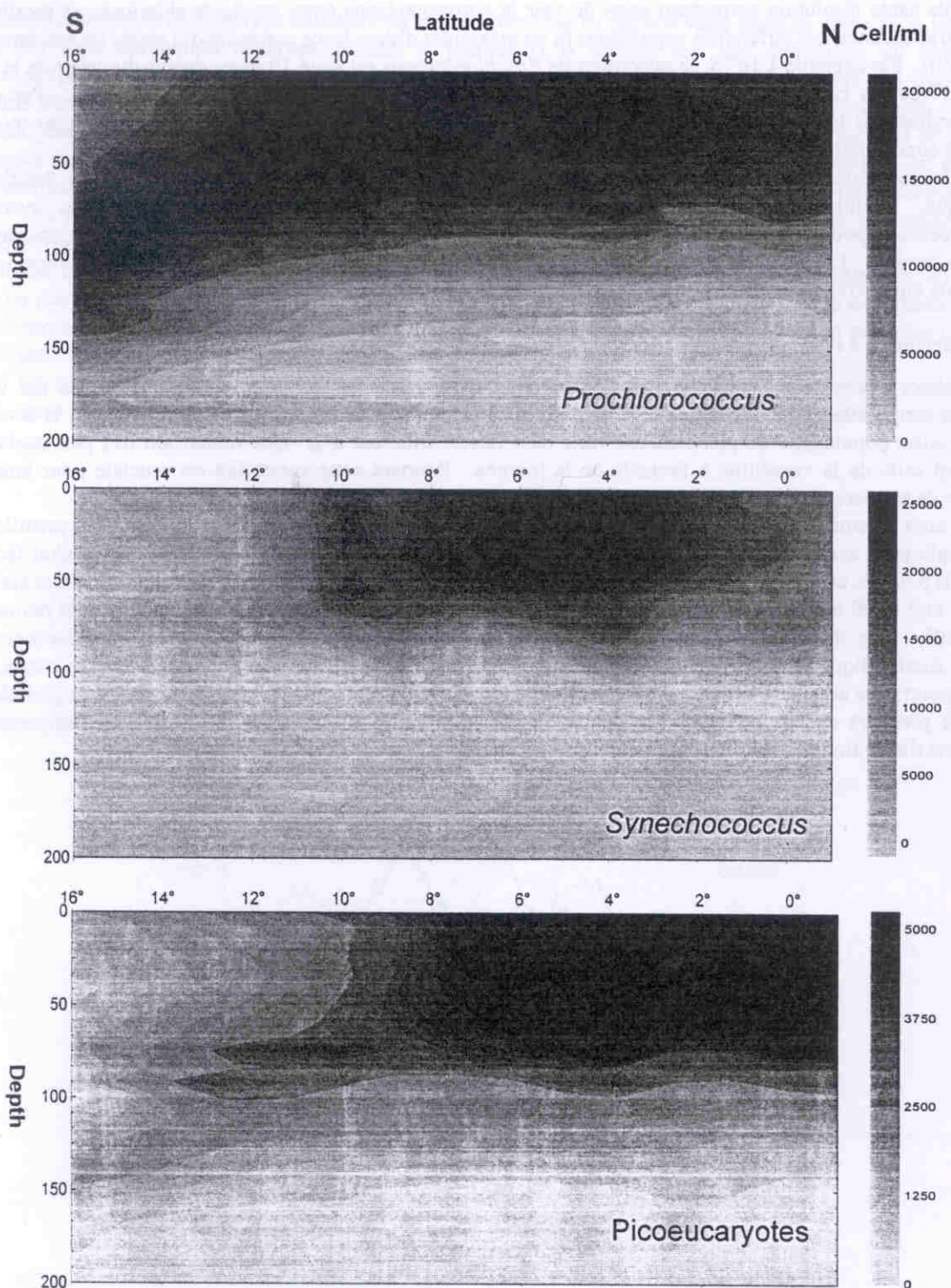


Fig. 1: Abondances des 3 populations du picoplancton le long de la radiale OLIPAC mesurées par cytométrie en flux (données Vaultot et Marie).

#### Structure verticale

Les gradients observés en surface correspondent aussi à des structures verticales différentes. Les coupes effectuées sur 150° W (Fig. 1) illustrent les changements qui s'opèrent entre 1° N et 16° S. En particulier, les maxima de concentrations de *Prochlorococcus* et de picoeucaryotes s'enfoncent en allant vers le Sud. Pour les cyanobactéries, il n'a pas d'enfoncement mais un maximum bien marqué autour de 4° S.

La relation entre la structure verticale et les éléments nutritifs est bien illustrée en examinant 2 profils verticaux haute résolution (24 bouteilles) obtenus lors de points fixes à 5° S (zone de transition) et 16° S (gyre). A 5° S, les nitrates sont abondants en surface (2 µM) alors qu'à 16° S, la nitracine est observée à 150 m. A cet approfondissement des nitrates correspond un approfondissement des populations picoplanctoniques particulièrement bien visible pour *Prochlorococcus* qui présente à 16° S un profil pratiquement identique à celui à 5° S mais décalé vers le bas de 60 m.



Ces profils haute résolution permettent aussi de voir la correspondance entre gradients chimiques et localisation des maxima d'abondance des différentes populations (à un maximum d'abondance correspond *a priori* un maximum de taux de division). Par exemple à 16° S, le maximum de *Prochlorococcus* est situé 10 m au dessus du début de la nitracline suggérant que ces cellules peuvent se satisfaire de concentration sub-nanomolaire d'azote minéral. Par contre les picoeucaryotes ont leur maximum là où les nitrates dépassent 100 nM, indiquant qu'ils ont besoin au moins de ce niveau de concentration pour se diviser.

Ces données confirment les grandes tendances déjà observées dans les zones oligotrophes du Pacifique et de l'Atlantique: dominance des *Prochlorococcus* en milieu très oligotrophe; enfoncement du maximum de *Prochlorococcus* pour suivre la nitracline; accroissement des *Synechococcus* et des picoeucaryotes dans des milieux plus mésotrophes. Les données acquises pendant OLIPAC se caractérisent par une très bonne résolution verticale et horizontale qui devrait nous permettre d'affiner les relations existant avec la structure hydrologique.

#### b - Variabilité à l'échelle de la journée.

En dehors des régions de fort gradient hydrologique, les zones oligotrophes sont caractérisées par une faible variabilité temporelle à l'échelle annuelle. Par exemple à la station ALOHA dans le Pacifique Nord, la concentration des différentes populations du picoplancton varie d'un facteur inférieur à 2. Une dimension très peu étudiée jusqu'à présent est celle de la variabilité à l'échelle de la journée. Pourtant cette variabilité est cruciale pour interpréter et modéliser de manière réaliste les phénomènes biologiques dans ces zones.

Nous nous sommes intéressés à cette variabilité au cours des 2 points fixes à 5° S et 16° S. A la première station, par exemple nous avons observé que la concentration de *Prochlorococcus* en surface varie presque d'un facteur 2 au cours de la journée, avec une périodicité clairement liée au cycle jour-nuit (Fig. 2). Les concentrations sont stationnaires en fin de nuit (0:00 à 6:00), commencent à décroître fortement deux heures après l'aube et finalement remontent vers 16:00-18:00. Ces données confirment la très bonne synchronisation de la division chez *Prochlorococcus*, mais semblent aussi indiquer que les phénomènes qui causent la disparition des cellules (broutage, attaque virale, mélange vertical) pourraient aussi être synchronisés par l'alternance jour-nuit. La tendance croissante observée globalement sur les quatre premiers cycles indiquent que pendant cette période, les phénomènes de croissance l'emportaient ceux causant une disparition des cellules. Cet équilibre s'est manifestement inversé le dernier jour.

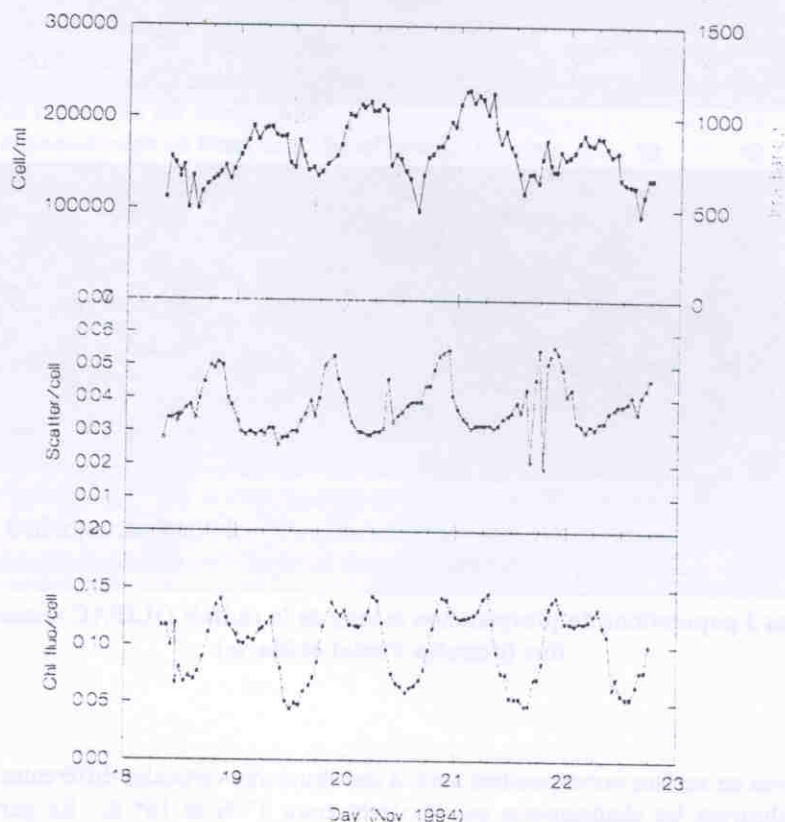


Fig. 2: Variabilité pendant cinq jours des concentrations de *Prochlorococcus*, de leur diffusion (taille) et de leur fluorescence chlorophyllienne dans le Pacifique Équatorial à 5° S mesurées par cytométrie en flux. La courbe en pointillé du panneau supérieur correspond à l'irradiance en surface

(mission OLIPAC, données Vaultot, Marie et Metzl).



La fluorescence de la chlorophylle cellulaire de *Prochlorococcus* en surface varie aussi au cours de la journée (Fig. 2). La très forte diminution observée pendant la journée (1/3) indique soit une diminution du rendement de fluorescence (photoinhibition) soit une dégradation de la chlorophylle intracellulaire. De manière très frappante cette diminution diurne, est parallèle à celle observée avec le fluorimètre Turner sur un échantillon total. La faible diminution observée en début de nuit est, quant à elle, indubitablement liée à la division des cellules et donc à une décroissance du contenu intracellulaire de chlorophylle. En profondeur, le rythme observé en surface est modifié. A 25 m, l'oscillation est plus faible et à 55 m, la phase est inversée avec une croissance de la fluorescence durant la journée. Ces rythmes opposés se traduisent par une modification de la structure verticale de fluorescence qui est uniforme le matin et présente un fort gradient en milieu de journée.

De même que les populations de différentes profondeurs ne répondent pas de la même manière, les différents groupes du picoplancton ne répondent pas à l'identique. Par exemple, alors que la fluorescence de la chlorophylle de *Prochlorococcus* présente une dépression en milieu de nuit, celle de *Synechococcus* n'en présente pas, sans doute parce que sa division n'a pas lieu exactement en même temps.

Enfin les conditions nutritives jouent aussi un rôle sur ces oscillations. La fluorescence de la chlorophylle de *Synechococcus* ne présente pas la même variation à 5° et à 16° S, en zone beaucoup plus oligotrophe.