

Distribution du picoplancton autotrophe dans la zone pélagique d'un lac méromictique (Lac Czarne, Pologne)

Distribution of pelagic autotrophic picoplankton in a meromictic lake (Lake Czarne, Poland)

E. SZELAG-WASIELEWSKA*

Reçu le 18 novembre 2003, accepté le 22 juin 2004**.

SUMMARY

The composition, density and biomass of autotrophic picoplankton communities (PPA, 0.2–2 μm) were investigated in the meromictic and mesotrophic Lake Czarne (area 19.6 ha, water volume $2.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, max. depth 28 m, mean depth 11.2 m). It is located within the Drawa National Park (NW Poland), in extensive lowlands, at an altitude of 55 m. Water samples were taken in the deepest part of the pelagic zone, in 1-m intervals from surface to bottom, in late March and July 1998. The organisms were analysed by means of an epifluorescence microscope after collection by filtration on black Nuclepore filters of 0.2 μm pore size.

Pelagic autotrophic picoplankton (PPA) taxa occurred in all water samples and the community was composed of cyanobacteria and eukaryotes (i.e. small chlorophytes). The cyanobacteria (Pcy) included *Synechocystis*, *Aphanothece* and *Aphanocapsa* species. Among eukaryotes (PAE), *Choricystis minor* (Skuja) Fott and *Pseudodictyosphaerium jurisii* (Hindák) Hindák were identified. These two chlorophytes were characterized by a larger mean cell size than Pcy. The most abundant species was the eukaryotic *P. jurisii* in spring and the prokaryotic *Aphanothece bachmannii* Komárková-Legnerová et Cronberg in summer (both species formed colonies). All PPA taxa in Lake Czarne are common, found in various lake types.

The total abundance of PPA varied within three orders of magnitude: from $1 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ to $3 \cdot 10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$. During both sampling sessions, the PPA communities were characterized by a substantial variation in abundance within the water column and mean values were $8.5 \cdot 10^4 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ in spring and $5.4 \cdot 10^4 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ in summer. In March, at a depth of 0–11 m, cell numbers were never lower than $10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$. The highest density was observed at a depth of 9 m in March ($2.1 \cdot 10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$) but at 5 m in July ($3.1 \cdot 10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$). In the deeper, anoxic water layers, PPA abundance was

Faculté de biologie, Institut de Protection des Eaux, Université Adam Mickiewicz, rue Drzymaly 24, 60-613 Poznań, Pologne.

* Correspondance : rgold@amu.edu.pl

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 31 mai 2006.

lower and less variable with about 10^3 cells·mL⁻¹ in March and about 10^4 cells·mL⁻¹ in July. The presence of PPA deep in the pelagic zone (in the aphotic and anoxic zones) during both sampling sessions may result from sedimentation, although its importance in the case of the small cells of PPA was probably lower than in the case of the larger organisms. In the study lake, because of the stability of the lower layers of water (i.e. lack of mixing with the overlying layers), that layer was not a source enriching the upper layers with PPA.

At all depths Pcy were the most numerous components of the PPA community. This confirms the numerous reports about the dominance of Pcy within PPA. Single-celled picoplanktonic cyanobacteria (S-Pcy) dominated in spring, accounting for 82-98% (mean for the water column : approximately 90%) of the total Pcy abundance, whereas cells forming colonies (C-Pcy) prevailed in summer, reaching over 89% (mean for the water column : about 30%) of the total Pcy abundance. PAE were much less numerous or even absent in some water samples. In March, PAE abundance varied between $1.1 \cdot 10^2$ cells·mL⁻¹ and $1.5 \cdot 10^4$ cells·mL⁻¹ (mean for the water column : $4.6 \cdot 10^3$ cells·mL⁻¹), and was the highest in the middle part of the water column. The contribution of PAE to the total PPA abundance ranged widely but did not exceed 20%. In July, PAE were less numerous and their presence was detected only in the bottom layer of water (≤ 9 m). Their contribution to the total PPA abundance did not exceed 10% (mean about 3%). Hence those results confirm that PEA prefer colder and nutrient-rich waters.

The total biomass of PPA varied in March from $0.2 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$ to $31 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$ (mean value for the water column: $12 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$) and in July from $0.8 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$ to $49 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$ (mean: $8 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$). Thus the mean PPA biomass was 1.5 times higher in March than in July. During both sampling sessions PPA biomass was higher in the upper and middle layers of water than in the monimolimnion. During the first sampling session, values $>10 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$ were recorded to the depth of 14 m, while during the second session biomass clearly concentrated in the upper part of the water column, to a depth of 7 m. Within PPA, usually Pcy dominated in terms of biomass. In March their contribution to the total PPA biomass varied from 35% to 88% (mean: 67%) and in July from 65% to 100% (mean: 88%). PEA biomass was higher in March than in July and mean values were respectively $3.0 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$ and $0.3 \mu\text{g C}\cdot\text{L}^{-1}$, accounting for 33% and 12% of the total PPA biomass. In July, PAE biomass was everywhere lower than Pcy biomass. In contrast, in March, PAE biomass exceeded Pcy biomass at some depths in the lower part of the water column. The contribution of PAE to the total PPA biomass was higher than to the total PPA abundance, especially in March, when PAE were the most numerous. Generally, the contribution of eukaryotic cells was smaller in terms of abundance and much higher in terms of biomass, because of the larger mean size of cells.

Keywords : *autotrophic picoplankton, cyanobacteria, eukaryotes, meromictic lakes.*

RÉSUMÉ

La composition, l'abondance et la biomasse de la communauté du picoplankton autotrophe (PPA, 0,2–2 μm) ont été examinées dans un lac situé en Pologne et récemment considéré comme méromictique, le lac Czarne. Les échantillons d'eau ont été prélevés tous les mètres dans la colonne d'eau, en mars et en juillet 1998. Pendant ces deux dates, le PPA se caractérisait par des changements significatifs de densité dans la colonne d'eau. Au printemps, l'abondance la plus forte a été observée à 9 m ($2,1 \cdot 10^5$ cellules·mL⁻¹) tandis qu'en été elle est observée à 5 m ($3,1 \cdot 10^5$ cellules·mL⁻¹). À toutes les profondeurs, le PPA était dominé par des Cyanobactéries. Au printemps, dominent les cellules libres de picocyanobactéries, contrairement à l'été où les cellules

coloniales étaient prépondérantes. La contribution des cellules eucaryotes était faible en termes d'abondance (< 20 %) et bien plus élevée en termes de biomasse, avec une valeur moyenne de 33 % au printemps. La biomasse moyenne du PPA était plus élevée au printemps ($12 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$) qu'en été ($8 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$) et des différences nettes sont observées entre les saisons dans sa distribution en fonction de la profondeur.

Mots clés : *picoplancton autotrophe, cyanobactéries, eucaryotes, lacs méromictiques.*

1 – INTRODUCTION

Le phénomène de la méromicticité et ses implications biologiques a été décrit dans la littérature (DUSSART, 1966 ; CRAIG, 1984 ; MIRACLE *et al.*, 1992). Cependant en Pologne, en raison d'un petit nombre de lacs de ce type, il est peu étudié. De plus, on a analysé surtout des traits physico-chimiques de ces lacs, peu d'analyses phycologiques ayant été effectuées (TEODOROWICZ *et al.*, 2003). En 1997, on a décelé le phénomène de la méromicticité dans le lac Czarne, situé dans une vaste plaine au nord-ouest de la Pologne, dans le Parc National de Drawa (Drawieński Park Narodowy). On y a alors initié des recherches concernant particulièrement la composition chimique des eaux et des biocénoses aquatiques. Certaines caractéristiques physiques, chimiques, micro- et macrophytiques de ce lac avaient été décrites antérieurement par KRASKA *et al.* (2001). Parmi les microphytes, de petites cellules de 0,2 à 2 μm , c'est-à-dire le picoplancton autotrophe (PPA) est largement répandu. Il est maintenant reconnu que le PPA contribue significativement à la biomasse et la productivité biologique particulièrement dans les lacs oligo- et mésotrophiques, et qu'il joue un rôle prépondérant dans la boucle microbienne des écosystèmes lacustres (AMBLARD *et al.*, 1998). Leur distribution dans la zone pélagique est examinée depuis quelques décennies (par exemple PICK et AGBETI 1991 ; AMBLARD *et al.*, 1995 ; PINEL-ALLOUL *et al.*, 1996 ; PADISÁK *et al.*, 1997). Cependant leur distribution dans les lac méromictiques est peu connue (CRAIG 1984).

L'objectif de cette étude était de déterminer la structure, l'abondance et la biomasse de la communauté du picoplancton autotrophe (PPA) dans le lac méromictique Czarne. Cette étude a été effectuée aux mois de mars et juillet 1998, à partir d'échantillons d'eau prélevés tous les mètres, de la surface au fond du lac.

2 – LE MILIEU ÉTUDIÉ

Le lac Czarne est situé au nord-ouest de la Pologne (latitude $53^{\circ}15'N$, longitude $15^{\circ}48'E$) à une altitude de 54,8 m, dans la plaine de Równina Drawska. La surface du lac est de 19,6 ha, le volume des masses d'eau de $2,2\cdot 10^6 \text{ m}^3$, les

profondeurs maximale et moyenne respectivement de 28 m et de 11,2 m et la longueur du tracé littoral de 1935 m. Dans la zone littorale dominant les *Charales* (*Chara tomentosa*, *Nitella flexilis* et *N. opaca*). La surface du bassin-versant du lac est de 33,6 ha et elle est peuplée de forêt mixte. Les apports en azote (N) et en phosphore (P) exprimés en kg/an sont de 846 kg N et de 24 kg P (SZYPER et KRASKA, 1999 ; KRASKA *et al.*, 2000, 2002).

Comme l'affirme KRASKA *et al.* (2001), dans le lac Czarne, on observe des déficits permanents d'oxygène dissous aussi bien au cours de la période d'homothermie que pendant la stratification thermique d'été. Au printemps, la zone anaérobie s'étend du fond jusqu'à 20 m de la surface. Elle remonte jusqu'à 16 m en été. Les variations saisonnières des caractéristiques physiques et chimiques, ainsi que la composition de la biocénose de ce lac sont présentées dans des travaux antérieurs et démontrent un faible niveau trophique du mixolimnion, par rapport au monimolimnion. En général, le Lac Czarne est méromictique (mixo-monimolimnion dans les limites de 10 à 13 m relativement à la saison), dimictique (c.a.d. avec la circulation partielle) et mésotrophe. L'origine de la méromicticité de ce lac est biogénique, la surface du lac est protégée par de écrans naturels (KRASKA *et al.*, 2001, 2002).

3 – MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les échantillons d'eau ont été prélevés le 18 mars et le 28 juillet 1998 à chaque mètre de profondeur et à l'aide d'un hydrocapter de type Torń dans la zone la plus profonde du lac. Ils sont ensuite immédiatement fixés avec l'aldéhyde glutarique jusqu'à l'obtention d'une concentration finale de 1 %. Au laboratoire, pour l'analyse du picoplancton autotrophe, des sous-échantillons (5 mL) sont retenus par filtration (avec une pression très faible) sur des filtres en polycarbonate (Nuclepore noirs, porosité 0,2 μm), et colorés par le fluochrome DAPI (4,6-diamidino-2-phénylindol) (PORTER et FEIG, 1980). Les filtres ont été observés à des agrandissements de 600x et 1500x à l'aide d'un microscope à épifluorescence (microscope Olympus BX-60) muni de filtres optiques correspondant à la lumière ultraviolette (UV : BP 330-385, DM 400, BA 420), bleue (B : BP 450-480, DM 500, BA 515) et verte (G : BP 510-550, DM 570, BA 590) (MACISAAC et STOCKNER, 1993). Les cellules de picoplancton ont été examinées suivant le caractère de la fluorescence, la taille et la forme, la présence ou l'absence de chloroplastes et la position du noyau cellulaire pour les cellules eucaryotes. Pour identifier les organismes, on a profité surtout des travaux de HINDÁK (1977), KRIENITZ *et al.*, (1996), KOMÁREK et ANAGNOSTIDIS (1999). Le dénombrement des cellules, en général, a été effectué dans deux ou trois répliquats. Le biovolume des taxons a été calculé à partir de la taille moyenne et du nombre d'organismes dans les échantillons. La biomasse, exprimée en carbone, a été estimée à l'aide du facteur de conversion 0,22 $\text{pgC}\cdot\mu\text{m}^3$ (BOOTH, 1993).

4 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Composition taxonomique

Pour les deux dates d'échantillonnage, nous avons mis en évidence des cyanobactéries du genre *Synechocystis* et des algues vertes de deux genres : *Choricystis* et *Pseudodictyosphaerium*. De plus, en juillet, nous avons observé de grandes colonies de cellules picoplanctoniques de taille parfois supérieure à 100 μm , composées de dix à environ 200 cellules. Conformément à leurs caractéristiques morphologiques, nous les avons classées dans les genres *Aphanocapsa* et *Aphanothece*, dont *Aphanothece bachmannii* Komárková-Legnerová et Cronberg dont le volume cellulaire moyen est de 0,785 μm^3 . Le diamètre cellulaire des représentants du genre *Synechocystis* a varié de 0,7 à 1,3 μm , et le biovolume cellulaire de 0,180 à 1,151 μm^3 .

Les picoeucaryotes avaient une taille plus grande que les cyanobactéries. Le *Choricystis minor* (Skuja) Fott avaient des cellules ovales et isolées, d'une taille moyenne de 1,3 \times 1,6 μm . Le *Pseudodictyosphaerium jurisii* (Hindák) Hindák apparaissait sous forme de colonies de 2, 4 ou 8 cellules. Toutefois, on a souvent observé des cellules isolées de la taille et à l'aspect identiques à ceux des cellules en colonies. Des colonies impaires ont également été observées, sans doute en raison du détachement des cellules de colonies paires ou même de la décomposition des colonies de *P. jurisii*. C'est une espèce communément trouvée dans des réservoirs de différents types : lacs (HEHMANN et KRIENITZ, 1996 ; PADISÁK *et al.*, 1997 ; HEPERLE et KRIENITZ, 2001), étangs, glaciers et rivières (HINDÁK, 1977).

Dans le lac Czarne, *P. jurisii* apparaissait en forte abondance au mois de mars, avec une abondance maximale de 13,1 \cdot 10³ cellules \cdot mL⁻¹, à la profondeur de 10 m. Souvent, cette espèce était accompagnée de *C. minor*, mais en plus faible abondance. Ces deux espèces étaient également faiblement représentées en juillet, dans les couches profondes du lac, notamment à partir de 8 m.

Il est à mentionner que, de manière générale, la composition taxonomique du PPA est peu connue, la liste des taxons étant constamment élargie (KRIENITZ *et al.*, 1996, 1999, 2000 ; PADISÁK *et al.*, 1997 ; HEPERLE et KRIENITZ, 2001 ; LEWIN *et al.*, 2000). Ces difficultés taxonomiques résultent, avant tout, de la très petite taille de ces organismes dont l'identification précise exige souvent l'utilisation d'un microscope électronique ou des techniques de biologie moléculaire (CORPE et JENSEN, 1992 ; AMBLARD *et al.*, 1998).

4.2 Abondance

En mars, l'abondance du picoplancton autotrophe (PPA) variait de 1,1 \cdot 10³ à 2,1 \cdot 10⁵ cellules \cdot mL⁻¹ (8,5 \cdot 10⁴ cellules \cdot mL⁻¹ en moyenne) et, jusqu'à 11 m de profondeur elle dépassait toujours 1,0 \cdot 10⁵ cellules \cdot mL⁻¹ (figure 1). Dans cette couche d'eau, sont apparus 2 maximums d'abondance : le premier à la profondeur 4-5 m et le second à la profondeur de 9-10 m. Une telle répartition a également été rapportée dans le petit lac méromictique Little Round, Canada (CRAIG, 1984). Par contre, dans les couches d'eau inférieures du lac Czarne, le nombre du PPA était beaucoup plus faible qu'en surface. À partir de 21 m jusqu'au fond

du lac où règnent des conditions anoxiques, l'abondance du PPA était d'environ $1,0 \cdot 10^3$ cellules·mL⁻¹. Les cellules plus représentées étaient des cyanobactéries libres avec 82 à 98 % (89 % en moyenne) de l'abondance totale. Les cellules coloniales étaient, en effet, très rares dans les couches inférieures du lac. Le picoplancton eucaryote était moins abondant que les cyanobactéries, avec des concentrations variant entre $1,1 \cdot 10^2$ et $1,5 \cdot 10^4$ cellules·mL⁻¹ ($4,6 \cdot 10^3$ cellules·mL⁻¹ en moyenne) et une contribution < 20 % de l'abondance totale. Elle était la plus élevée dans la partie centrale de la colonne d'eau.

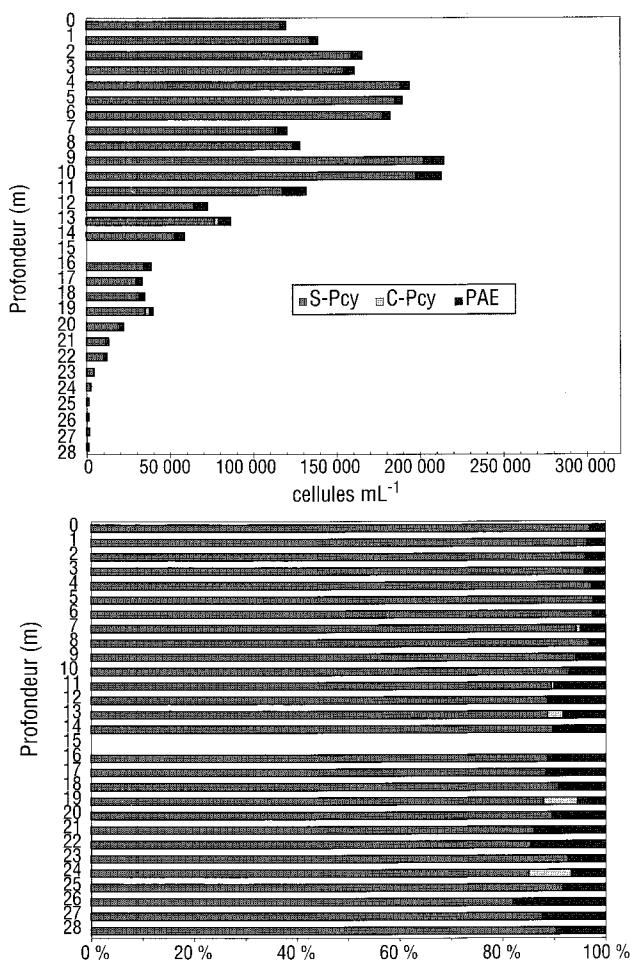


Figure 1 Distribution verticale de l'abondance (Partie supérieure A, cellules mL⁻¹) des picocyanobactéries libres (S-Pcy) et coloniales (C-Pcy) et du picoplancton autotrophe eucaryote (PAE) et leurs contributions (Partie supérieure B, %) à l'abondance totale du picoplancton autotrophe dans le lac Czarné en mars 1998.

Figure 1 Vertical distribution of the abundances (A, cells mL⁻¹) of single-celled picocyanobacteria (S-Pcy), colonial picocyanobacteria (C-Pcy), and eukaryotic picoplankton (PAE) and their relative contributions (B, %) to the total autotrophic picoplankton abundance in Lake Czarné during March 1998.

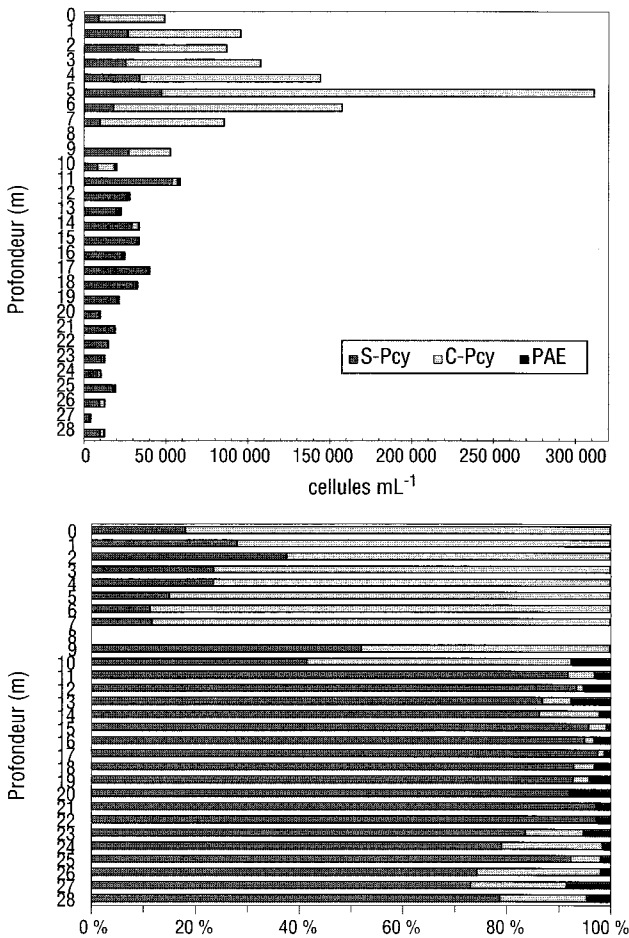


Figure 2 Distribution verticale de l'abondance (Partie supérieure A, cellules mL⁻¹) des picocyanobactéries libres (S-Pcy) et coloniales (C-Pcy) et du picoplancton autotrophe eucaryote (PAE) et leurs contributions (Partie supérieure B, %) à l'abondance totale du picoplancton autotrophe dans le lac Czarne en juillet 1998.

Figure 2 Vertical distribution of the abundances (A, cells mL⁻¹) of single-celled picocyanobacteria (S-Pcy), colonial picocyanobacteria (C-Pcy), and eukaryotic picoplankton (PAE) and their relative contributions (B, %) to the total autotrophic picoplankton abundance in Lake Czarne during July 1998.

En juillet, malgré une abondance maximale plus élevée qu'en mars l'abondance moyenne dans la colonne d'eau était plus faible, $5,4 \cdot 10^4$ cellules·mL⁻¹. Le PPA se concentrait dans la couche de brassage de surface (mixolimnion et chemocline) où comme en mars, dominaient des cyanobactéries picoplanctoniques (figure 2). Cela confirme la dominance générale des picocyanobactériés dans la communauté du PPA (STOCKNER, 1988, 1991 ; PICK, 2000 ; STOCKNER *et al.*, 2000). La communauté picoplanctonique au mois de juillet était en grande partie composée de colonies qui représentaient à 89 % (31 % en

moyenne) de l'abondance totale. Les causes de l'apparition de colonies dans la communauté du PPA sont en général liées à la limitation par la nourriture dans l'épilimnion de lacs en été et/ou par la pression de prédation (FAHNENSTIEL et CARRICK, 1992 ; STOCKNER et SHORTREED, 1994 ; PASSONI et CALLIERI, 2000 ; STOCKNER *et al.*, 2000). À partir de la profondeur de 9 m, l'abondance totale du PPA était plus faible et moins variable. Dès cette profondeur, apparaissait le picoplancton autotrophe eucaryote, dont la participation à l'abondance totale ne dépassait cependant pas 10 % (2,6 % en moyenne). Les picoeucaryotes étaient, en général, plusieurs fois moins abondants que les picocyanobactéries en juillet. De plus, ils étaient plus abondants qu'en mars quand l'eau était plus froide. Ces résultats sont donc conformes aux informations sur la préférence des eaux froides et riches en nourriture par les picoeucaryotes (PICK et AGBETI, 1991 ; SONDERGAARD, 1991 ; SZELAG-WASIELEWSKA, 1999).

4.3 Biomasse

Les valeurs extrêmes de la biomasse du PPA totale, exprimées en carbone sont $0,2 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ et $31 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ en mars et $0,8 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ et $49 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ en juillet, avec des moyennes respectivement de $11,5 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ et $7,8 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$. Au mois de mars, on note des valeurs généralement au-dessus de $10 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ jusqu'à la profondeur de 14 m, alors qu'en juillet, on a observé une augmentation nette de la biomasse du PPA dans les 7 premiers mètres de la colonne d'eau (tableau 1). Les valeurs moyennes que nous rapportons sont inférieures à celles notées dans les lacs du Québec (PINEL-ALLOUL *et al.*, 1996), mais proches ou même supérieures à celles observées dans le lac Vassivière (AMBLARD *et al.*, 1995).

En termes de biomasse, les cyanobactéries dominaient le plus souvent le PPA. En mars, leur contribution à la biomasse totale variait de 35 % à 88 % avec une moyenne de 67 %, et en juillet de 65 à 100 % avec une moyenne de 88 %. La biomasse des cyanobactéries était plus élevée dans les couches d'eau supérieures et/ou intermédiaires que dans le monimolimnion. La présence du PPA dans cette dernière couche, anaérobie et aphotique, peut être expliquée par la sédimentation, malgré qu'elle ait une importance plus faible que dans le cas du phytoplancton de plus grande taille. Le PPA peut survivre dans l'obscurité et dans les sédiments lacustres et constituer une source d'enrichissement en PPA pour les couches d'eau supérieures. Cela a été rapporté dans le lac Biwa (EGUCHI *et al.*, 1996). Mais dans le lac Czarne, à cause de la stabilité de l'eau du monimolimnion, le PPA qui y vit ne remonte sans doute plus en surface.

En juillet, la biomasse des picoeucaryotes n'a jamais dépassé celle formée par les cyanobactéries, contrairement au mois de mars où elle l'a dépassée à quelques profondeurs au fond du lac (tableau 1). La biomasse des picoeucaryotes était plus élevée en mars qu'en juillet, avec des valeurs moyennes respectivement de $3,0 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ et $0,3 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$, ce qui représente 33 % et 12 % de la biomasse totale. En raison de leur taille, l'importance relative de la biomasse des picoeucaryotes était plus élevée que dans le cas de l'abondance, surtout en mars quand les picoeucaryotes étaient plus abondants. Des résultats similaires ont été rapportés par PICK et AGBETI (1991) et par FAHNENSTIEL *et al.*, (1991).

Tableau 1 Biomasse ($\mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$) des picocyanobactéries (Pcy), du picoplancton autotrophe eucaryote (PAE) et leurs contributions (C, %) à la biomasse totale du picoplancton autotrophe dans le lac Czarne en 1998.

Table 1 Biomass ($\mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$) of picocyanobacteria (Pcy), eucaryotic picoplankton (PAE) and their contributions (C, %) to the total autotrophic picoplankton biomass of the Lake Czarne in 1998.

Prof. (m)	Pcy	Mars PAE	C	Pcy	Juillet PAE	C
0,2	12,5	2,4	15,8	7,1	0	0
1	14,0	3,2	18,8	13,6	0	0
2	16,5	4,4	20,9	12,5	0	0
3	16,6	4,3	20,4	16,3	0	0
4	20,3	3,4	14,2	21,3	0	0
5	19,5	2,8	12,5	48,6	0	0
6	18,5	2,8	13,2	24,7	0	0
7	12,3	3,9	23,9	12,6	0	0
8	13,5	2,7	16,3	*		
9	21,4	8,1	27,4	5,3	0,01	0,2
10	21,3	9,4	30,6	3,1	1,0	24,5
11	11,7	8,8	42,7	6,2	1,2	16,1
12	7,0	5,5	44,0	2,8	1,0	25,5
13	8,3	4,7	36,0	2,2	1,1	33,0
14	5,8	4,0	40,8	3,7	0,5	10,8
15	*			3,7	0,2	3,9
16	3,6	2,9	45,0	2,6	0,5	16,8
17	3,1	2,5	44,4	4,2	0,3	6,3
18	3,3	2,1	38,9	3,4	0,7	16,0
19	4,0	1,4	27,1	2,3	0,6	20,8
20	2,0	1,5	43,1	1,0	0,5	35,3
21	1,2	1,2	49,6	1,9	0,3	13,6
22	1,1	1,2	50,9	1,3	0,3	17,0
23	0,4	0,2	34,9	1,4	0,4	23,8
24	0,2	0,1	34,3	1,3	0,1	7,4
25	0,1	0,1	33,3	1,5	0,2	13,1
26	0,1	0,2	53,3	1,4	0,1	8,9
27	0,1	0,2	65,2	0,5	0,3	32,1
28	0,1	0,1	38,9	1,4	0,4	20,9

* donnée manquante

5 - REMERCIEMENTS

Les études ont été effectuées à l'aide du microscope à épifluorescence acquis par la Fondation pour la Science Polonaise (projet SUBIN). Nous remercions M. Kraska (chef d'Institut de protection des eaux) pour les échantillons d'eau utilisés lors de nos études.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMBLARD C., CARRIAS J.-F., BOURDIER G., MAURIN N., 1995. The microbial loop in a humic lake: seasonal and vertical variations in the structure of the different communities. *Hydrobiologia* 300/301, 71-84.
- AMBLARD C., BOISSON J.C., BOURDIER G., FONTVIEILLE D., GAYTE X., 1998. Ecologie microbienne en milieu aquatique : des virus aux protozoaires. *Rev. Sci. Eau, n° spécial*, 145-162.
- BOOTH B.C., 1993. Estimating cell concentration and biomass of autotrophic picoplankton using microscopy. In "Handbook of methods in aquatic microbial ecology". KEMP P.F., Sherr B.F., Sherr E.B. and Cole J.J. [Ed.], Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 199-205.
- CORPE W.A., JENSEN T.E., 1992. An electron microscopic study of picoplanktonic organisms from a small lake. *Microb. Ecol.*, 24, 181-197.
- CRAIG S.R., 1984. Productivity of algal picoplankton in a small meromictic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22, 351-354.
- DUSSART B., 1966. Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars. Paris.
- EGUCHI M., OKETA T., MIYAMOTO N., MAEDA H., KAWAI A., 1996. Occurrence of viable phytoautotrophic picoplankton in the aphotic zone of Lake Biwa, Japan. *J. Plankton Res.*, 18, 539-550.
- FAHNENSTIEL G.L., CARRICK H.J., 1992. Phototrophic picoplankton in Lakes Huron and Michigan: abundance, distribution, composition, and contribution to biomass and production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 379-388.
- FAHNENSTIEL G.L., CARRICK H.J., ROGERS C.E., SICKO-GOAD L., 1991. Red fluorescing phototrophic picoplankton in the Laurentian Great Lakes: what are they and what are they doing? *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 76, 603-616.
- HEHMANN A., KRIENITZ L., 1996. The succession and vertical distribution of phytoplankton of the experimentally divided naturally acidic lake "Große Fuchskuhle" (Brandenburg, Germany). *Limnologica* 26, 301-309.
- HEPPERLE D., KRIENITZ L., 2001. Systematics and ecology of chlorophyte picoplankton in German inland water along a nutrient gradient. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 86, 269-284.
- HINDÁK F., 1977. Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae). I. *Biologické Práce*, Bratislava, 23, 1-195.
- KOMÁREK J., ANAGNOSTIDIS K., 1999. Cyanoprokaryota 1. In Teil: Chroococcales. "Susswasserflora von Mitteleuropa 19/1". Ettl H., Gärtner G. and Heynig H. [Ed.], Gustav Fischer Verlag Jena, 548 p.
- KRASKA M., BORYSIK J., DANIELAK K., DOMEK P., GOLDYN R., JONIAK T., KLIMASZYK P., KUJAWA-PAWLACZYK J., PIOTROWICZ R., RADZISZEWSKA R., ROMANOWICZ W., SZELAG-WASIELEWSKA E., SZYPER H., 2001. Jeziora dystroficzne i jezioro meromiktyczne w Drawieńskim Parku Narodowym. In "Szata roślinna Wielkopolski i Pojezierza Pomorskiego", WOJTERSKA M. [Ed.], pp. 369-400.
- KRASKA M., PIOTROWICZ R., RADZISZEWSKA R., BORYSIK J., RAKOWSKI W., STACHNOWICZ W., 2000. Diversity of vegetation versus trophic state of lakes in the Drawieński National Park. In "Physicochemical problems of natural waters ecology", Gurgula H. [Ed.], pp. 129-140.
- KRASKA M., PIOTROWICZ R., SZYPER H., SZELAG-WASIELEWSKA E., GOLDYN R., KLIMASZYK P., 2002. Variability of trophic state and vegetation in lake of Drawieński National Park (Northern Poland). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 28, 900-904.
- KRIENITZ L., HEPPERLE D., STICH H.-B., WEILER W., 2000. *Nannochloropsis limnetica* (Eustigmatophyceae), a new species of picoplankton from freshwater. *Phycologia*, 39 (3), 219-227.
- KRIENITZ L., HUSS A.R., HÜMMER C., 1996. Picoplanktonic *Choricystis* species (Chlorococcales, Chlorophyta) and problems surrounding the morphologically similar *Nannochloris*-like algae. *Phycologia*, 35, 332-341.

- KRIENITZ L., TAKEDA H., HEPPELLE D., 1999. Ultrastructure, cell wall composition, and phylogenetic position of *Pseudodictyosphaerium jurisii* (Chlorococcales, Chlorophyta) including a comparison with other picoplanktonic green algae. *Phycologia*, 38 (2), 100-107.
- LEWIN R.A., KRIENITZ L., GOERICKE R., TAKEDA H., HEPPELLE D., 2000. *Picocystis salinarum* gen. et sp. nov. (Chlorophyta) – a new picoplanktonic green alga. *Phycologia*, 39 (6), 560-565.
- MACISAAC E. A., STOCKNER J.G., 1993. Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy. In "Handbook of methods in aquatic microbial ecology", KEMP P.F., SHERR B.F., SHERR E.B. and COLE J.J. [Ed.], Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 187-197.
- MIRACLE M.R., VICENTE E., PEDRÓS-ALIÓ C., 1992. Biological studies of Spanish meromictic and stratified karstic lakes. *Limnetica*, 8, 59-77.
- PADISÁK J., KRIENITZ L., KOSCHEL R. & NEDOMA J. 1997. Deep-layer autotrophic picoplankton maximum in the oligotrophic Lake Stechlin, Germany: origin, activity, development and erosion. *Eur. J. Phycol.*, 32, 403-416.
- PASSONI S., CALLIERI C., 2000. Picocyanobacteria single forms, aggregates and microcolonies: survival strategy or species succession? *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27, 1879-1883.
- PICK F.R., 2000. Predicting the abundance and production of photosynthetic picoplankton in temperate lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27, 1884-1889.
- PICK F.R., AGBETI M., 1991. The seasonal dynamics and composition of photosynthetic picoplankton communities in temperate lakes in Ontario, Canada. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 76, 565-580.
- PINEL-ALLOUL B., BOURBONNAIS N., DUTILLEUL P., 1996. Among-lake and within-lake of autotrophic pico- and nanoplankton biomass in six Quebec lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53, 2433-2445.
- PORTER K.G., FEIG Y.S., 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 943-948.
- SONDERGAARD M., 1991. Phototrophic picoplankton in temperate lakes: seasonal abundance and importance along a trophic gradient. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 76, 505-522.
- STOCKNER J.G., 1988. Phototrophic picoplankton: an overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 33, 765-775.
- STOCKNER J.G., 1991. Autotrophic picoplankton in freshwater ecosystems: the view from the summit. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 76, 483-492.
- STOCKNER J.G., CALLIERI C., CRONBERG G., 2000. Picoplankton and other non-bloom-forming cyanobacteria in lakes. In "The Ecology of Cyanobacteria", WHITTON B.A. and POTTS M. [ed.], Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 195-231.
- STOCKNER J.G., SHORTREED K.S., 1994. Autotrophic picoplankton community dynamics in a pre-alpine lake in British Columbia, Canada. *Hydrobiologia*, 274, 133-142.
- SZELAG-WASIELEWSKA E., 1999. Autotrophic picoplankton dynamics in a shallow lake. *Hydrobiologia* 408/409, 301-306.
- SZYPER H., KRASKA M., 1999. Ocena zewnętrznej obciążenia związkami biogennymi jezior Drawieńskiego Parku Narodowego. In "Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior. Konferencja Limnologiczna", CHOŃSKI A. and JANCZAK J. [Ed.], pp. 254-264.
- TEODOROWICZ M., DUNALSKA J., GÓRNIAK D., 2003. Hydrochemical properties of a meromictic Lake Zapadle. *Limnological Review*, 3, 249-254.