

Distribution bathymétrique des thécamoebiens au large de Lausanne (Lac Léman, Suisse)

Christiane BÉNIER¹

Manuscrit reçu le 28 août 2004, accepté le 22 octobre 2004

■ Résumé

Huit petites carottes (32 à 45 cm de long) ont été récoltées entre 25 et 200 m de profondeur le 12 février 1999 au large de Lausanne grâce au sous-marin Forel. Parmi les vingt-deux échantillons prélevés, nous avons recensé dix-neuf espèces de thécamoebiens qui sont toutes actuelles et d'âge holocène. Deux espèces dominent largement (*Diffugia lemani* et *D. oblonga*) et cinq autres n'ont pas été prises en considération à cause de leur faible nombre (*Arcella vulgaris*, *D. urcelolata*, *D. urens*, *D. fragosa* et *Euglypha* sp.).

Le nombre de thécamoebiens diminue généralement avec la bathymétrie et à l'intérieur des carottes, sauf dans la carotte de 25 m où il augmente.

Les spécimens vivants, teintés au Rose Bengale, sont présents jusqu'à 200 m de profondeur. Dans les carottes, on en trouve jusqu'à 40 cm dans les sédiments, en faible nombre il est vrai. Les plus abondants se trouvent dans la carotte de 50 m. Différentes considérations sont données concernant les espèces et leur répartition dans les huit carottes et des comparaisons ont été faites avec des travaux utilisant des analyses comparables.

Mots-clés: thécamoebiens, bathymétrie, Lac Léman

■ Abstract

Bathymetric distribution of thecamoebians of Lausanne (Lake Geneva, Switzerland)

Eight small cores (32 to 45 cm length) were collected between 25 and 200 m depth on February 12, 1999 off Lausanne using the Forel submarine. Among the twenty-two samples, we found nineteen thecamoebians species. They all are Recent or of Holocene age. Two species largely dominate (*Diffugia lemani* and *D. oblonga*) and five others were not taken into account because of their low quantity (*Arcella vulgaris*, *D. urcelolata*, *D. urens*, *D. fragosa* and *Euglypha* sp.).

The number of thecamoebians generally decreases with the bathymetry and inside the cores, except in the 25 m core where it increases.

The alive specimens, colored with Rose Bengal, are present down to 200 m depth. In cores, one finds individuals down to 40 cm in the sediments, in low number as a matter of fact. The most abundant are in the 50 m core.

Various considerations are given concerning the species and the eight cores and some comparisons were made with works using comparable analyses.

Keywords: thecamoebians, bathymetry, Lake Geneva

■ Introduction

Les thécamoebiens sont des protozoaires minuscules (0.06-0.50 mm) que l'on classe dans un groupe proche des foraminifères. Ils sont cosmopolites (Beyens et al., 1992; Green, 1975; Nair et Mukherjee, 1968; Smith, 1992) et vivent dans des milieux humides (Charman et Warner, 1992; Mitchell, 1995; Mitchell et al., 1999; Schönborn, 1967; Warner, 1987) ou dans

des lacs et des rivières (Laminge, 1972, 1973; Stepanek, 1968). Ils supportent des eaux plus ou moins saumâtres (Laidler et Scott, 1996) et les individus trouvés en mer ont été amenés par les rivières (Medioli et Scott, 1983).

Leur forme est très variable, sphérique, plus ou moins aplatie, en forme de sac, de bouteille, de béret, avec parfois des épines, et la structure de la paroi de leur test peut être endogène ou exogène. Les théca-

¹ Muséum d'histoire naturelle, case postale 6434, 1211 Genève 6

carotte * bathymétrie (m)	1/top 25.7	1/20 25.7	1/27 25.7	2/top 52.1	2/18 52.1	2/30 52.1	2/40 52.1	3/top 77.6	3/17 77.6	3/25 77.6	4/top 100.5
<i>A.vulgaris</i>	1				2		2				
<i>A.vulgaris col.</i>											
<i>C.aculeata</i>	28	15	12	10	32	11	36	13	5	14	5
<i>C.aculeata col.</i>	8		1	6	7	3	5	2		1	2
<i>C.constricta</i>	29	14	17	15	29	17	47	11	5	7	4
<i>C.constr. col.</i>	3	1	1	10	7	4	3	1	1	2	
<i>Cuc.tricuspis</i>	24	23		1	7	1		2	1		1
<i>Cuc.tricuspis col.</i>	3	2		1				1			
<i>D.bacillarium</i>	10	1		20				11	9	1	5
<i>D.bacill. col.</i>	2			10				3	1		2
<i>D.bidens</i>	4			8		4	9	16	10	25	13
<i>D.bidens col.</i>	2			6				3			4
<i>D.corona</i>	7	2	3	2	4			1			1
<i>D.corona col.</i>	2			2				1			
<i>D.fragosa</i>				1							
<i>D.fragosa col.</i>											
<i>D.globulus</i>		1	1	1	3	7	9	7	26	7	2
<i>D.globulus col.</i>					1		2	1	4	2	
<i>D.hydrostat. lith.</i>	8	12	18	20	30	5	9	16	15	9	8
<i>D.hydro. col.</i>	2	3	3	11	3			3	2		1
<i>D.lemani</i>		3	2	35	35	170	122	51	77	152	75
<i>D.lemani col.</i>			1	26	5	10	4	10		3	9
<i>D.mammillaris</i>	21	6	5	19	24	46	24	20	21	34	26
<i>D.mammill. col.</i>	4		1	13	4	1	2	5		2	3
<i>D.minuta</i>	9	6			1	2	2	3		1	
<i>D.minuta col.</i>	1										
<i>D.oblonga</i>	46	90	91	105	44	28	29	120	113	43	75
<i>D.oblonga col.</i>	7	11	22	44	2		1	23	2	3	6
<i>D.protaeiformis</i>	60	91	126	10	76	4	1	13	8	10	7
<i>D.protaeif. col.</i>	21	14	26	10	19	1		9	2	3	2
<i>D.urceolata</i>	1		15								
<i>D.urceolata col.</i>			2								
<i>D.urens</i>		2		1			3				
<i>D.urens col.</i>				1							
<i>H.sphagni</i>	1		2		3	2			2	3	16
<i>H.sphagni col.</i>											2
<i>P.compressa</i>	42	34	8	56	13	7	13	22	6	5	12
<i>P.compressa col.</i>	3	2	1	27	2		2	4	1		3
<i>Euglypha</i>		1	1					1		1	
<i>Euglypha col.</i>		1									
Total individus	291	301	301	304	303	304	306	307	298	312	250
Total colorés	58	34	58	167	50	19	19	66	13	16	34
% coloré	19.93	11.29	19.27	54.93	16.50	6.25	6.21	21.50	4.36	5.13	13.60

Fig. 2: Distribution quantitative des thécamoebiens.

Le 1^{er} chiffre indique le numéro de la carotte, le second la profondeur dans la carotte. «Col» les individus colorés au Rose Bengale.

4/22 100.5	4/33 100.5	5/top 126.5	5/19 126.5	5/27 126.5	6/top 152.2	6/26 152.2	7/top 175.2	7/20 175.2	8/top 201.0	8/24 201.0	nbr.ind.	nbr.col.
	2					1					8	
												0
8	52	6	2	11	2	6	4	17	1	1	291	
2						1						38
12	46	8	9	6		17	1	25			319	
3		2	3			1		2				44
1						1					62	
												7
3	1	4	1	1	3		2				72	
1												19
17	2	19	9	34	24	30	21	12	6	14	277	
3		2	2	2	4	2	5	1	1	2		39
1					1				1		23	
												5
									1		2	
												0
6	8	8	1		6		10	4			107	
2		1	1				2	2				18
14		6	7	4	8	3	2	5	7	3	209	
1			1				1		1	1		33
132	142	138	200	56	87	177	164	190	18	63	2089	
11	3	12	5	2	12	3	34	9	4	5		168
34	13	37	56	17	52	29	42	37	14	20	597	
1		1	5	1	4	1	5	1		7		61
	6			1		1		4	1	1	38	
												1
44	16	76	5	5	66	9	44	7	28	5	1089	
6	2	8			9		8		7	3		164
14	4	9	3	2	7	8	9			3	465	
3		3		1	2	3	2			1		122
			1		1				2		20	
												2
									1		7	
									1			2
6	6	9	4	2	7	9	1	2		8	83	
		3				1		1				7
3	7	8	4	5	7	8	3	9	5	4	281	
	1	1	2		1	1	1	1		1		54
											4	
												1
295	305	328	302	144	271	299	303	312	85	122	6043	
33	6	33	19	6	32	13	58	17	14	20		785
11.19	1.97	10.06	6.29	4.17	11.81	4.35	19.14	5.45	16.47	16.39		

Fig. 2: Quantitative distribution of the thecamoebians.

The 1st number means the cores' number, the 2nd the cores' depth. «Col.» means colored with Rose Bengale.

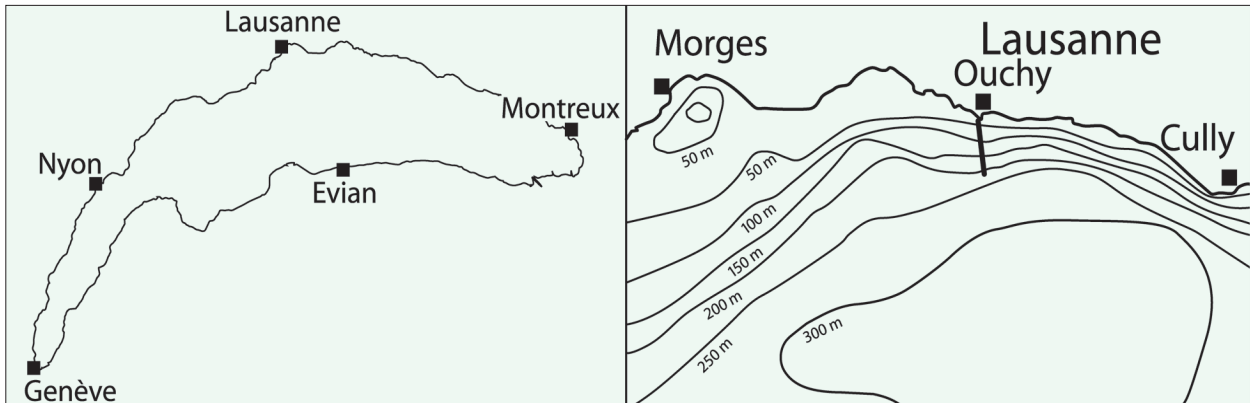


Fig. 1: Localisation des prélèvements des 8 carottes sur un transect au large de Lausanne - Bathymétrie en mètres

Fig. 1: Localisation of the 8 cores on a ligne off Lausanne - Bathymetry in meters

moebiens fossiles appartiennent au second groupe et agglutinent les particules qui se trouvent dans leur environnement. Ce sont généralement des grains plus ou moins gros de quartz ou des frustules de diatomées.

Les espèces étudiées ici proviennent toutes du lac Léman, aux environs de Lausanne.

Cette région a été choisie pour l'importance de sa pente. En effet, nous avons rapidement atteint les 200 m de profondeur pour effectuer les prélèvements des carottes.

Matériel

Le 12 février 1999, par un temps ensoleillé mais glacial à cause d'une forte bise, nous avons effectué une plongée avec le sous-marin Forel au large d'Ouchy (Lausanne). Tout de suite après la sortie du port, il a fallu plonger à cause des vagues. Nous avons atteint 200 m de profondeur et à partir de là, nous avons pris, tous les 25 m, 8 carottes successives, de 32 à 45 cm, au fur et à mesure de la remontée (Fig. 1).

Ce jour-là, l'eau était très claire et la lumière filtrait jusqu'à environ 100 m. Nous avons pu ainsi remarquer une pluie continue de fines particules qui tombent sur le fond. La température de l'eau était constante depuis la surface jusqu'à 200 m et variait entre 6° C et 7° C.

Tout le fond du lac au large de Lausanne est recouvert d'une boue beige avec de ondulations en surface.

Les carottes, d'une longueur de 32 à 45 cm, sont constituées par une boue visqueuse et très molle, beige en surface et noire dès 8 cm de profondeur. Le lendemain de la plongée, nous avons prélevé 2 à 4 échantillons dans la partie centrale de chaque carotte, soit un total de 22 (Fig. 2). Ils ont été pesés et tamisés. Après tamisages, dont le dernier a une maille de 63 microns, il ne reste que peu de sédi-

ments. Celui-ci est mis dans du Rose Bengal (Bernhard, 1988; Lutze, 1964; Martin et Steinker, 1973; Mason et Yevich, 1967; Scott et al., 2001; Walker et al., 1974; Walton, 1952) durant une nuit afin de détecter quels sont les animaux vivants lors du prélèvement. Après séchage, les thécamoebiens sont déterminés et comptés.

Taxonomie

Les thécamoebiens sont des protozoaires dont la classification est proche de celle des foraminifères. Les déterminations ont été faites selon la méthode de Medioli et Scott (1983) basée uniquement sur la morphologie du test, car les parties molles des fossiles ne sont pas conservées. Nous avons utilisé les travaux de Loeblich et Tappan (1964), Medioli et Scott (1983, 1985), Medioli et al. (1994) et Kumar et Dalby (1998). Le détail des descriptions et des figures se trouve dans Bénier (sous presse).

Nous avons trouvé les espèces suivantes:

Arcella vulgaris EHRENBERG, 1832

- *Arcella vulgaris* EHRENBERG, 1832, p. 40, pl. 1, fig. 6, J. 1830.

Centropyxis aculeata (EHRENBERG, 1832)

- *Arcella aculeata* EHRENBERG, 1832, p. 40, J. 1830.
- Centropyxis aculeata*. - STEIN, 1859, p. 43.

Centropyxis constricta (EHRENBERG, 1843)

- *Arcella constricta* EHRENBERG, 1843, p. 368 et 410, pl. 4.1, fig. 35; pl. 4.5, fig. 1, J. 1841.
- *Centropyxis constricta*. - DEFLANDRE, 1929, p. 340-342, fig. 60-67.

Cucurbitella tricuspis (CARTER, 1856)

- *Diffflugia tricuspis* CARTER, 1856, p. 221, pl. 7, fig. 80.
- *Cucurbitella tricuspis*. - MEDIOLI, SCOTT et ABBOTT, 1987, p. 28-47, pl. 1-4 (lectotype).

Heleopera sphagni (LEIDY, 1874)

- *Diffflugia (Nebela) sphagni* LEIDY, 1874, p. 157.

Diffflugia bacilliarum PERTY, 1849

■ *Diffflugia bacilliarum* PERTY, 1849, p. 27.

Diffflugia bidens PENARD, 1902

■ *Diffflugia bidens* PENARD, 1902, p. 264, fig. 1-8.

Diffflugia corona WALLICH, 1864

■ *Diffflugia proteiformis* (EHRENBERG) subspecies *D. globularis* (DUJARDIN) var. *D. corona* WALLICH, 1864, p. 241, pl. 15, fig. 4b, 4c; pl. 16, fig. 19-20.

Diffflugia fragosa HEMPEL, 1898

■ *Diffflugia fragosa* HEMPEL, 1902, p. 320-321, fig. 1, 2.

Diffflugia globulus (EHRENBERG, 1848)

■ *Arcella ? globulus* EHRENBERG, 1848, p. 379.

■ *Diffflugia globulus*. - CASH et HOPKINSON, 1909, p. 33-37, fig. 51-54, pl. 21, fig. 5-9.

Diffflugia hydrostatica lithophila PENARD, 1902

■ *Diffflugia hydrostatica lithophila* PENARD, 1902, p. 274-276, fig. 1-5.

Diffflugia lemani BLANC, 1892

■ *Diffflugia lemani* BLANC, 1892, p. 5-6, fig. 13-14.

Diffflugia mammillaris PENARD, 1893

■ *Diffflugia mammillaris* PENARD, 1893, p. 12, fig. 18, 19.

Diffflugia minuta RAMPI, 1950

■ *Diffflugia minuta* RAMPI, 1950, fig. 23-24.

Diffflugia oblonga EHRENBERG, 1832

■ *Diffflugia oblonga* EHRENBERG, 1832, p. 90, J. 1831.

Diffflugia protaeiformis LAMARCK, 1816

■ *Diffflugia protaeiformis* LAMARCK, 1816, vol. 2, p. 93-95.

Diffflugia urceolata CARTER, 1864

■ *Diffflugia urceolata* CARTER, 1864, p. 27, pl. 1, fig. 7.

Diffflugia urens PATTERSON, MACKINNON, SCOTT et MEDIOLI, 1985

■ *Diffflugia urens* PATTERSON, MACKINNON, SCOTT et MEDIOLI, 1985, p. 135, pl. 3, fig. 5-14.

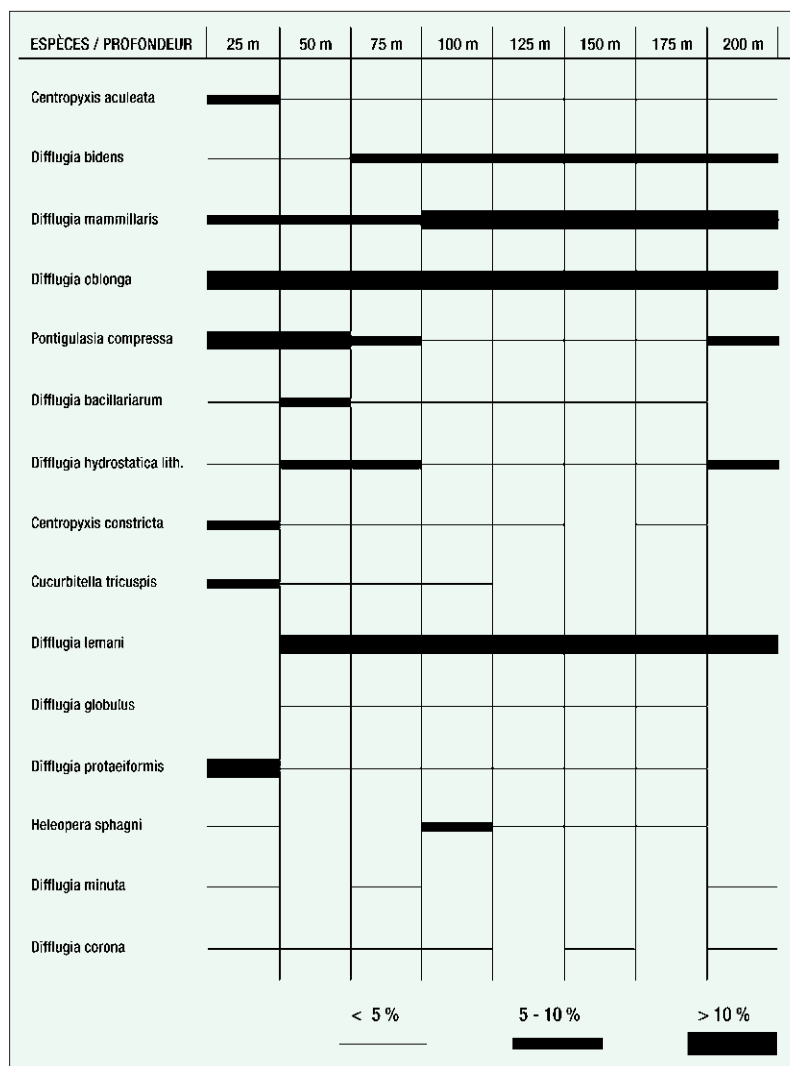
Pontigulasia compressa (CARTER, 1864)

■ *Diffflugia compressa* CARTER, 1864, p. 22-27, pl. 1, fig. 5, 6.

■ *Pontigulasia compressa*. - RHUMBLER, 1895, p. 105, pl. 4, fig. 13 a, b.

Euglypha sp.

Fig. 3: Répartition des espèces à la surface des carottes, selon la bathymétrie
Fig. 3: Species 'distribution on the cores' surface, according to bathymetry



■ Distribution

Distribution des thécamoebiens à la surface des carottes en fonction de la bathymétrie

Nous avons déterminé 6043 individus dont 785 étaient colorés. Parmi les vingt espèces trouvées, deux dominent largement les échantillons, ce sont *Diffflugia lemani* et *D. oblonga*. A l'autre extrémité, cinq espèces sont faiblement représentées, il s'agit de *Arcella vulgaris*, *Diffflugia urceolata*, *D. urens*, *D. fragosa* et *Euglypha* sp. et celles-ci n'ont pas été prises en considération pour les comparaisons.

Le nombre de spécimens de thécamoebiens diminue avec la bathymétrie et à l'intérieur des carottes, sauf pour la carotte de 25 m où il augmente. Ce nombre est situé entre 11.6 et 0.8 spécimens par gramme de sédiment humide.

Pour les échantillons pris à la surface des carottes, le nombre d'individus est à peu près constant et varie entre 250 et 350 jusqu'à 175 m de profondeur, puis il diminue nettement et atteint 85 individus à 200 m (Fig. 2).

Le répartition des espèces en fonction de la bathymétrie montre 9 groupes (Fig. 3):

- 5 espèces présentes partout: *Centropyxis aculeata*, *Diffflugia bidens*, *D. mammillaris*, *D. oblonga* et *Pontigulasia compressa*
- 2 espèces présentes partout sauf à 200 m: *Diffflugia bacillariarum* et *D. hydrostatica lithophyla*
- *Centropyxis constricta* présente entre 25 et 125 m et à 175 m
- *Cucurbitella tricuspis* n'apparaît qu'entre 25 et 100 m
- *Diffflugia lemani* présente entre 50 et 200 m
- *Diffflugia globulus* entre 50 et 175 m
- *Diffflugia protaeiformis* et *Heleopera sphagni* présentes à 25 m et entre 100 et 175 m
- *Diffflugia minuta* présente à 25, 75 m et 200 m
- *Diffflugia corona* entre 50 et 100 m, puis entre 150 et 200 m.

En considérant quantitativement chaque espèce, nous avons trois possibilités:

- une diminution rapide du nombre d'individus avec la bathymétrie pour *Centropyxis aculeata*, *C. constricta*, *Diffflugia protaeiformis*, *D. corona*, ainsi que *Cucurbitella tricuspis*. Cette dernière n'est plus représentée à partir de 100 m et elle a une corrélation négative avec la profondeur (Bénier, sous presse).
- une augmentation du nombre d'individus avec la bathymétrie pour *Diffflugia bidens* (corrélation positive avec la profondeur (Bénier, sous presse)), *Diffflugia globulus*, *D. lemani* et *D. mammillaris*.
- les autres espèces ont un acmé à différentes bathymétries: à 50 m pour *Diffflugia bacillariarum* (corrélation positive, Bénier, sous presse) et *Pontigulasia compressa*, à 75 m pour *D. oblonga*, à 100 m pour *Heleopera sphagni* (corrélation positive, Bénier, sous presse).

Diffflugia hydrostatica lithophyla ne semble pas avoir d'habitat particulier, *D. minuta* a une corrélation négative (Bénier, sous presse), mais nous n'avons trouvé que 13 spécimens en surface, provenant de 3 profondeurs différentes, ce qui n'est pas concluant.

Distribution des thécamoebiens dans les carottes

Plusieurs méthodes existent pour reconnaître si les protozoaires sont vivants lors de leur prélèvement. La méthode au Rose Bengal est souvent employée et très aisée. Green (1960) en mentionne quelques inconvénients. Nous l'avons choisie car cela donne une indication de l'état de l'échantillon.

En examinant l'ensemble des thécamoebiens provenant de la surface des carottes (Fig. 2), nous voyons que le nombre d'individus vivants est à peu près

constant, entre 30 et 70, excepté à 50 m de profondeur où celui-ci est nettement plus important avec 167 spécimens.

Si nous considérons les animaux colorés, donc vivants, on les trouve jusqu'à 200 m de profondeur, sauf pour *Diffflugia minuta* qui n'a plus d'individus vivants dès 50 m, *Cucurbitella tricuspis* dès 100 m, *Centropyxis aculeata* et *D. bacillariarum* dès 125 m.

Les échantillons des 8 carottes ont été pris à différentes bathymétries:

■ Carotte 1, bathymétrie 25.7 m, longueur 32 cm:

Trois échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte, à 20 et 27 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 291, 301 et 301, les individus colorés représentent les 19.93, 11.29 et 19.27% de l'échantillon.

■ Carotte 2, bathymétrie 52.1 m, longueur 45 cm:

Quatre échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte, à 18, 30 et 40 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 304, 303, 304 et 306, les individus colorés représentent les 54.93, 16.50, 6.25 et 6.21% de l'échantillon.

■ Carotte 3, bathymétrie 77.6 m, longueur 35 cm:

Trois échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte, à 17 et 25 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 307, 298 et 312, les individus colorés représentent les 21.50, 4.36 et 5.13% de l'échantillon.

■ Carotte 4, bathymétrie 100.5 m, longueur 43 cm:

Trois échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte, à 22 et 33 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 250, 295 et 305, les individus colorés représentent les 13.60, 11.19 et 1.97% de l'échantillon.

■ Carotte 5, bathymétrie 126.5 m, longueur 35 cm:

Trois échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte, à 19 et 27 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 328, 302 et 144, les individus colorés représentent les 10.06, 6.29 et 4.17% de l'échantillon.

■ Carotte 6, bathymétrie 152.2 m, longueur 42 cm:

Deux échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte et à 26 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 271 et 299, les individus colorés représentent les 11.81 et 4.35% de l'échantillon.

■ Carotte 7, bathymétrie 175.2 m, longueur 40 cm:

Deux échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte et à 20 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 303 et 312, les individus colorés représentent les 19.14 et 5.45% de l'échantillon.

■ Carotte 8, bathymétrie 201 m, longueur 45 cm:

Deux échantillons ont été prélevés, au sommet de la carotte et à 24 cm. Le nombre d'individus est respectivement de 85 et 122, les individus colorés représentent les 16.47 et 16.39% de l'échantillon.

Nous pouvons faire quelques remarques sur les différentes espèces (Fig. 2 et 4), selon l'ordre décroissant d'abondance, en rappelant que les carottes ont entre 32 et 45 cm de long:



Figure 4: Répartition des espèces dans les carottes

Figure 4: Species' distribution in the cores

- *Diffflugia lemani* (2'089 individus): le pourcentage d'individus augmente généralement vers la base des carottes et les individus vivants se retrouvent presque partout. Cette espèce n'est que très peu représentée à 25 m.
- *Diffflugia oblonga* (1'089 ind.): le pourcentage de spécimens diminue vers la base des carottes, ainsi que le nombre d'animaux vivants, sauf à celle de 25 m où il augmente. Cette espèce est très présente entre 50 et 200 m.
- *Diffflugia mammillaris* (597 ind.): le pourcentage de spécimens diminue vers la base des carottes, sauf à celle de 25 m où il augmente. Les individus vivants se retrouvent presque partout en faible nombre (≤ 13). Le nombre d'individus est le plus élevé entre 150 et 200 m.
- *Diffflugia protaeiformis* (465 ind.): le pourcentage de spécimens augmente avec la profondeur vers la base des carottes de 25 et 50 m. Les individus vivants sont partout, en faible nombre. Le nombre d'individus est également le plus important dans les carottes de 25 et 50 m.
- *Centropxyxis constricta* (319 ind.) n'est plus présente à 200 m. de profondeur. Le nombre

- d'individus croît dans les carottes, sauf dans celles de 25 et 75 m où il décroît. Les spécimens vivants sont peu nombreux (≤ 10). Dans la carotte de 150 m, il n'y a pas de *C. constricta* en surface, mais uniquement à 26 cm.
- *Centropyxis aculeata* (291 ind.): le nombre de spécimens augmente vers la base des carottes sauf dans celles de 25 et 200 m, où il diminue. Les individus vivants disparaissent pratiquement dès 125 m.
 - *Pontigulasia compressa* (281 ind.) a son acmé à 50 m de profondeur, le nombre d'individus diminue régulièrement avec la bathymétrie et vers la base des carottes; les spécimens vivants se retrouvent presque partout.
 - *Diffflugia bidens* (277 ind.) est faiblement représentée à 25 m et n'existe qu'en surface, son abondance maximum se situe entre 75 et 200 m. Les individus vivants sont présents presque partout, en faible quantité (≤ 6). Le pourcentage de cette espèce diminue dans les carottes, sauf dans celle de 125 m où il augmente fortement.
 - *Diffflugia hydrostatica lithophila* (209 ind.): le pourcentage d'individus augmente ou diminue selon les carottes. Les spécimens vivants se retrouvent à toutes les profondeurs. Cette espèce n'existe pas à 33 cm dans la carotte de 100 m.
 - *Diffflugia globulus* (107 ind.) n'est plus présente à 200 m. Le nombre d'individus diminue vers la base des carottes, sauf dans celle de 50 m où il augmente. Les spécimens vivants sont en faible quantité (≤ 4). Dans la carotte de 25 m, *D. globulus* n'existe qu'à 20 et 27 cm, dans celle de 150 m, elle n'existe qu'en surface.
 - *Heleopera sphagni* (83 ind.): le nombre d'individus est faible dans les 3 premières carottes, il augmente à partir de 100 m de profondeur. Le pourcentage d'*H. sphagni* est constant ou diminue vers la base des carottes; les individus vivants sont peu présents. Il n'y a pas de spécimens en surface dans les carottes de 75 et 200 m, dans celle de 25 m, il n'y a rien à 20 cm et dans celle de 50 m, rien en surface et à 40 cm.
 - *Diffflugia bacilliarum* (72 ind.) n'est plus présente à 200 m. Le nombre d'individus diminue vers la base des carottes et on trouve des spécimens vivants entre 25 et 100 m uniquement. *D. bacilliarum* se retrouve uniquement en surface dans les carottes de 50, 150 et 175 m; dans celle de 25 m, elle est présente en surface et à 20 cm.
 - *Cucurbitella tricuspis* (62 ind.) n'est bien représentée qu'à 25 m, il n'y a pas d'individus à 125, 175 et 200 m; les individus vivants sont occasionnels (≤ 3). Le pourcentage des individus diminue dans les carottes, sauf dans la carotte de 150 m où il augmente. Dans cette dernière, il n'y a pas d'individus en surface.

- *Diffflugia minuta* (38 ind.): les carottes ne contiennent que peu de spécimens, généralement à leur base et l'unique spécimen vivant se trouve à 25 m de profondeur, en surface.
- *Diffflugia corona* (23 ind.): il n'y a aucun individu dans les carottes de 125 et 175 m. Les individus vivants ne sont qu'en surface, dans les carottes de 50 et 75 m. Le pourcentage d'individus augmente légèrement dans la carotte de 50 m.

Discussion

Le taux de sédimentation dans le Léman est variable. Girardclos (2001) l'a mesuré à 2.44 mm/an dans le Petit Lac durant le 20^e siècle, Serruya (1969) à 1 mm/an à 100 m de fond dans le Grand Lac. Par contre, Meybeck et al. (1969) l'ont estimé à 1 cm/an au centre du lac. Cela nous donnerait un âge situé entre 40 et 400 ans pour l'échantillon le plus profond (40 cm), à la base de la carotte 2 (bathymétrie 52 m).

Des thécamoebiens vivants ont été trouvés jusqu'à 1.20 m dans les sédiments en Gironde (Chardez et Thomas, 1980), jusqu'à 1.10 m en Mer Noire (Golemansky, 1974) ou à 10 cm dans des sphagnums (Meisterfeld, 1977). Les résultats observés dans cette étude, soit des thécamoebiens vivants jusqu'à 40 cm de profondeur dans les sédiments, ne paraissent pas impossible. Cela pose le problème des thécamoebiens fossiles. Sont-ils en place ou ont-ils été remaniés, car sur le plan stratigraphique, le principe de superposition n'est plus respecté.

Des comparaisons ont été faites avec les travaux servant globalement des mêmes principes de détermination que les nôtres. Les études de certains protozoologistes auraient pu être prises en considération, comme ceux de Laminger dans le Lac de Constance (1972, 1973), mais les déterminations, effectuées sur des animaux vivants, sont très différentes, beaucoup plus fractionnées, donc peu comparables.

Nous avons confronté nos résultats avec les travaux de Asioli et al. (1996), Burbridge et Schröder-Adams (1998), Kliza et Schröder-Adams (1999), Kumar et Patterson (2000), McCarthy et al. (1995), Patterson et al. (1985) et Scott et Medioli (1983).

Dans le travail de Patterson et al. (1985) au Nouveau Brunswick et en Nouvelle Ecosse, l'espèce la plus abondante est *Diffflugia oblonga*, ce qui n'est pas le cas pour nous. En examinant de plus près les planches, nous nous sommes rendus compte que la *Diffflugia oblonga* de ce travail englobait *Diffflugia lemani*, *D. fragosa* et certaines *D. protaeiformis* de nos déterminations.

Pour Kumar et Patterson (2000), au Lac James en Ontario, les espèces dominantes sont *Arcella vulgaris*, *Centropyxis* sp. et *Cucurbitella tricuspis*, ce qui n'est pas du tout le cas dans notre travail.

Chez McCarthy et al. (1995), en Nouvelle Ecosse et à Terre Neuve, les déterminations semblent plus proches des nôtres. Les espèces qui prédominent près du sommet des carottes sont *Centropyxis aculeata*, *Diffflugia oblonga*, *D. corona* et *Pontigulasia compressa*. Cela correspond relativement bien à nos résultats.

Pour Scott et Medioli (1983), *Diffflugia urceolata* et *D. tricuspis* sont très présentes dans le Lac Erié, alors que ce n'est pas le cas pour nous. Les autres espèces, *Diffflugia oblonga*, *Pontigulasia compressa* et *D. acuminata* (= *D. protaeiformis*) sont aussi bien représentées dans nos échantillons.

La sédimentation du Léman est semblable à celle trouvée par Asioli et al. (1996) pour le lac Orta (Italie), c'est-à-dire une argile noire très fine. Selon les figures de cette publication, notre *Diffflugia mammillaris* correspondrait à *D. oblonga* «magna», notre *D. oblonga* à *D. oblonga* «parva», notre *D. hydrostatica lithophyla* à *Cucurbitella tricuspis* et notre *D. lemani* à *D. viscidula*. Nous n'avons pas fait de subdivision pour *Diffflugia tricuspis*. En comparant les résultats du lac Orta avec les nôtres, la répartition de nos *D. mammillaris* et *D. hydrostatica lithophyla* correspondrait bien à celles d'Asioli et al. (1996), mais ce n'est pas le cas pour *D. oblonga*, *D. globulus*, *D. protaeiformis*, *D. lemani* et *Pontigulasia compressa*.

En considérant les 40 premiers centimètres de carottes de Burbridge et Schröder-Adams (1998) dans le Lac Winnipeg, nous nous retrouverions dans les assemblages *Diffflugia manicata* et *Cucurbitella tricuspis*. D'après les figures, *D. manicata* et *D. viscidula* correspondraient à notre *D. lemani*, *D. ampullata* à notre *D. bidens*, *Cucurbitella tricuspis* à notre *D. urens*. *Diffflugia lemani* augmente avec la profondeur alors que *D. manicata* diminue et elles sont toutes deux très abondantes. *Diffflugia viscidula* diminue aussi dans la carotte. *Centropyxis aculeata* a un comportement identique au Canada et dans le Léman et pour *Diffflugia oblonga*, c'est l'inverse. Quant à *Cucurbitella tricuspis* qui correspondrait à notre *Diffflugia urens*, nous avons dû l'éliminer car elle est en trop faible quantité.

Les déterminations du travail de Kliza et Schröder-Adams (1999), dans des lacs des îles Bylot et Baffin, au Canada, sont très proches des nôtres, sauf pour *Diffflugia urceolata*. Dans les carottes, nous avons, pour les deux travaux, une diminution de *Diffflugia*

oblonga et une augmentation de *Centropyxis constricta*; une diminution du pourcentage de notre *Diffflugia globulus*, alors que celui-ci est stable ou augmente avec la profondeur au Canada; *D. minuta* est également en faible nombre; *D. urens* et *Arcella vulgaris*, en trop faible quantité, ont été éliminées de nos échantillons.

Ces comparaisons avec d'autres travaux montrent que les thécamoebiens ont une variabilité importante selon les régions.

Conclusion

Cette étude a permis de déterminer les différentes espèces de thécamoebiens et de montrer leur répartition bathymétrique dans le Léman.

Diffflugia lemani et *D. oblonga* sont les espèces les plus abondantes, suivies par *D. mammillaris*, *D. protaeiformis*, *Centropyxis constricta*, *C. aculeata*, *Pontigulasia compressa*, *D. bidens*, *D. hydrostatica lithophyla*, *D. globulus*, *Heleopera sphagni*, *D. bacillariarum*, *Cucurbitella tricuspis*, *D. minuta*, *D. corona*. D'autres espèces sont présentes, mais en si faible nombre qu'elles n'ont pas été prises en considération, ce sont: *Arcella vulgaris*, *D. urcelolata*, *D. urens*, *D. fragosa* et *Euglypha* sp.

Nous avons pu démontrer que le nombre de thécamoebiens diminue avec la bathymétrie et dans les carottes, sauf pour la carotte de 25 m où ce nombre augmente.

La répartition des espèces à la surface des carottes indique que *Centropyxis aculeata*, *Diffflugia bidens*, *D. mammillaris*, *D. oblonga* et *Pontigulasia compressa* se retrouvent partout, *Diffflugia bacillariarum* et *D. hydrostatica lithophyla* n'apparaissent plus à 200 m, *Centropyxis constricta* est présente irrégulièrement, *Cucurbitella tricuspis* est présente entre 25 et 100 m, *Diffflugia lemani* entre 50 et 200 m, *Diffflugia globulus* entre 50 et 175 m, *Diffflugia protaeiformis* et *Heleopera sphagni* à 25 m et entre 100 et 175 m, *Diffflugia minuta* à 25, 75 et 200 m, *Diffflugia corona* entre 50 et 100 m, puis entre 150 et 200 m.

La répartition bathymétrique des espèces à la surface des carottes montre 4 cas de figures:

- les espèces qui diminuent avec la bathymétrie: *Centropyxis aculeata*, *C. constricta*, *Diffflugia protaeiformis*, *D. corona* et *Cucurbitella tricuspis*,
- les espèces qui augmentent avec la bathymétrie: *Diffflugia bidens*, *Diffflugia globulus*, *D. lemani* et *D. mammillaris*.

- les espèces qui ont un acmé à diverses bathymétrie: *Diffflugia bacillariarum* et *Pontigulasia compressa* à 50 m, *D. oblonga* à 75 m et *Heleopera sphagni* à 100 m.
- *Diffflugia hydrostatica lithophyla* qui n'a pas de préférence particulière.

On ne peut rien dire de *Diffflugia minuta*, avec 13 spécimens provenant de 3 bathymétries différentes.

Les animaux vivants représentent 13% de l'assemblage. On les retrouve dans toutes les carottes, entre 25 et 200 m de profondeur, sauf pour certaines espèces qui disparaissent rapidement, soit à 50 m pour *Diffflugia minuta*, à 100 m pour *Cucurbitella tricuspis*, à 125 m pour *Centropyxis aculeata* et *D. bacillariatum*. Enfin la carotte de 50 m est celle qui contient le plus de thécamoebiens vivants.

Finalement, nous avons pu remarquer que la profondeur de 50 m est la plus favorable pour l'habitat des thécamoebiens du Léman.

■ Remerciements

Ma reconnaissance va à Monsieur le Professeur Jacques Picard, de la Fondation pour l'étude et la protection de la mer et des lacs, grâce à qui nous avons pu utiliser le sous-marin Forel pour prélever les carottes dans le lac. Je remercie également le Dr. Roland Wernli pour ses commentaires à la lecture du manuscrit, Florence Marteau et Gilles Roth pour les illustrations.

Références

- ASIOLI A, MEDIOLI FS, PATTERSON RT. 1996. Thecamoebians as a tool for reconstruction of paleoenvironments in some Italian lakes in the foothills of the Southern Alps (Orta, Varese and Candia). *Journal of Foraminiferal Research*, 26/3: 248-263.
- BÉNIER C. (sous presse) Distribution des thécamoebiens holocènes et actuels du Lac Léman. *Revue de Paleobiologie*.
- BERNHARD JM. 1988. Postmortem vital staining in benthic foraminifera: Duration and importance in population and distributional studies. *Journal of Foraminiferal Research*, 18: 143-146.
- BEYENS L, CHARDEZ D, de BAERE D. 1992. The Testate Amoebae from the Sondre Stromfjord Region (West-Greenland): Their Biogeographic implications. *Archiv für Protistenkunde*, 142: 5-13.
- BURBRIDGE SM, SCHRÖDER-ADAMS CJ. 1998. Thecamoebians in Lake Winnipeg: a tool for Holocene paleolimnology. *Journal of Paleolimnology*, 139: 309-328.
- CHARDEZ D, THOMAS R. 1980. Thécamoebiens du mesopsammon des plages de Lacanau et Leporge-Ocean (Gironde, France). *Acta Protistologica*, 19/3: 277-285.
- CHARMAN DJ, WARNER BG. 1992. Relationship between testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) and the microenvironmental parameters on a forested peatland in northeastern Ontario. *Canadian Journal of Zoology*, 70: 2474-2482.
- GIRARD-CLOS S. 2001. Sismostratigraphie et structure sédimentaire en 3D d'un bassin lacustre, du retrait glaciaire à nos jours (Lac Léman, Suisse). Thèse no 3275 de l'Université de Genève.
- GOLEMANSKY V. 1974. Sur la composition et la distribution horizontale de l'association thécamoebienne (Rhizopoda, Testacea) des eaux souterraines littorales de la mer Noire en Bulgarie. *Bulletin de l'Institut de Zoologie et Musée*, 40: 195-202.
- GREEN J. 1960. Ecology of some Arctic foraminifera. *Micropaleontology*, 6: 57-78.
- GREEN J. 1975. Freshwater ecology in the Mato Grosso, Central Brazil, IV: Associations of testate Rhizopoda. *Journal of natural History*, 9: 545-560.
- KLIZA DA, SCHRÖDER-ADAMS CJ. 1999. Holocene Thecamoebians in freshwater lakes on Bylot Island, Northwest Territories. *Canada Journal of Foraminiferal Research*, 29: 26-36.
- KUMAR A, DALBY AP. 1998. Identification key for Holocene lacustrine Arcellacean (Thecamoebian) taxa. *Paleontologica Electronica*, 1.
- KUMAR A, PATTERSON RT. 2000. Arcellaceans (thecamobians): new tools for monitoring long- and short-term changes in lake bottom acidity. *Environmental Geology*, 39/6: 689-697.
- LAIDLER RB, SCOTT DB. 1996. Foraminifera and Arcellacea from Porters Lake, Nova Scotia: modern distribution and paleodistribution. *Canadian Journal Earth Sciences*, 33: 1410-1427.
- LAMINGER H. 1972. Die profundale Testaceenfauna (Protozoa, Rhizopoda) älterer und jüngerer Bodensee-Sedimente. *Archiv für Hydrobiologie*, 70/1: 108-129.
- LAMINGER H. 1973. Quantitative Untersuchung über die Testaceenfauna (Protozoa, Rhizopoda) in den jüngsten Bodensee-Sedimenten. *Biologisches Jahrbuch Dodonaea*, 41: 126-146.
- LOEBLICH AR, TAPPAN H. 1964. Sarcodina, chiefly «Thecamoebians» and Foraminiferida. In: RC Moore (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Lawrence, C/1: 16-54.
- LUTZE G. 1964. Zum Färben rezenter Foraminiferen. *Meyniana*, 14: 43-47.

- **McCarthy FMG, Collins ES, McAndrews JH, Kerr HA, Scott DB, Medioli FS.** 1995. A comparison of postglacial Arcellacean («Thecamoebian») and pollen succession in Atlantic Canada, illustrating the potential of Arcellaceans for paleoclimatic reconstruction. *Journal of Paleontology*, 69/3: 980-993.
- **Mason W, Yevich PP.** 1967. The use of Phloxine B and Rose Bengal stains to facilitate sorting benthic samples. *Transactions of the American Microscopical Society*, 86/2: 221-223.
- **Martin ER, Steinker DC.** 1973. Evaluation of techniques for recognition of living foraminifera. *The Compass of Sigma Gamma Epsilon*, 50: 26-30.
- **Medioli FS, Scott DB.** 1983. Holocene Arcellacea (Thecamoebians) from Eastern Canada. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, special publication* 21: 62 p.
- **Medioli FS, Scott DB.** 1985. Designation for one genus and nine species of Arcellaceans (Thecamoebians), with additional original reference material for four other species. *Journal of Foraminiferal Research*, 15/1: 24-37.
- **Medioli FS, Ascoli A, Parenti G.** 1994. Manuale per l'identificazione e la classificazione delle tecamebe con informazioni sul loro significato paleoecologico e stratigrafico. *Palaeopelagos*, 4: 317-364.
- **Meisterfeld R.** 1977. Die horizontale und vertikale Verteilung der Testaceen (Rhizopoda, Testacea) in Sphagnum. *Archiv für Hydrobiologie*, 79/3: 319-356.
- **Meybeck M, Hubert P, Olive P, Siwertz E, Glangeaud L.** 1969. Nouvelles données obtenues par sismique continue sur la structure de la cuvette lémanique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 269, 2503-2508.
- **Mitchell EAD.** 1995. The postglacial developmental history of the Praz-Rodet bog, vallée de Joux, Swiss Jura. *Diplôme de l'Université de Neuchâtel, Institut de Botanique*, 112 p.
- **Mitchell EAD, Buttler AJ, Warner BG, Gobat JM.** 1999. Ecology of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in Sphagnum peatland in the Jura mountains, Switzerland and France. *Ecosciences*, 6/4: 565-576.
- **Nair KN, Mukherjee RN.** 1968. On some testacean rhizopods (Protozoa: Sarcodina) of the ground and tree mosses from Calcutta and its environs. *Proceedings of Natural Academy of Sciences, India*, 38 (B), 3/4: 185-192.
- **Patterson RT, Mackinnon KD, Scott DB, Medioli FS.** 1985. Arcellaceans («Thecamoebians») in small lakes of New Brunswick and Nova Scotia: Modern distribution and Holocene stratigraphic changes. *Journal of Foraminiferal Research*, 15/2: 114-137.
- **Smith HG.** 1992. Distribution and ecology of the testate rhizopod fauna of the continental Antarctic zone. *Polar Biology*, 12: 629-634.
- **Schönborn W.** 1967. Taxozönotik der beschalteten Süßwasser-Rhizopoden. Eine raumstrukturanalytische Untersuchung über Lebensraumerweiterung und Evolution bei der Mikrofauna. *Limnologica*, 5/2: 159-207.
- **Scott DB, Medioli FS.** 1983. Agglutinated rhizopods in Lake Erie: Modern distribution and stratigraphic implications. *Journal of Paleontology*, 57/4: 809-820.
- **Scott DB, Medioli FS, Schafer CT.** 2001. *Monitoring in coastal environments using Foraminifera and Thecamoebian Indicators.* Cambridge University Press, Cambridge.
- **Serruya C.** 1969. Quelques données nouvelles sur la structure profonde du lac Léman. *Archives des Sciences*, 18/1: 108-113.
- **Stepanek M.** 1968. Die Rhizopoden des Tiefenschlammes im Bodensee. *Archiv für Hydrobiologie, supplement* 33/3-4: 442-450.
- **Walker DA, Linton AE, Schafer CT.** 1974. Sudan Black B: a superior stain to Rose Bengal for distinguishing living from non-living foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 4: 205-215.
- **Walton WR.** 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contribution of the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 3: 56-60.
- **Warner BG.** 1987. Abundance and diversity of testate amoebae (Rhizopoda, Testacea) in sphagnum peatlands in Southwestern Ontario, Canada. *Archiv für Protistenkunde*, 133: 173-189.

