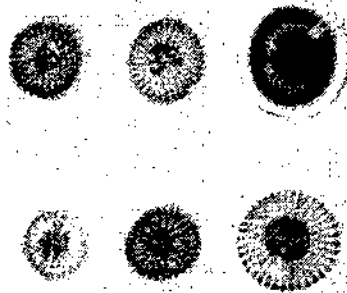


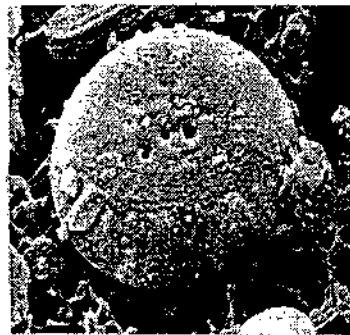
1087

Application de l'écologie des diatomées
littorales de lacs carbonatés à la
reconstitution des environnements
préhistoriques d'un site
archéologique :
Hauterive-Champréveyres (Lac de Neuchâtel)

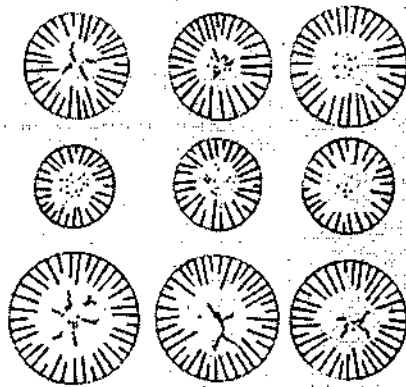
par F. Straub, Laboratoire d'algologie, Gymnase cantonal,
2300 La Chaux-de-Fonds



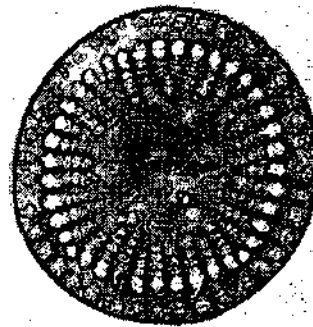
3000x



10 000x



4000x



10 000x

Version réduite de thèse déposée à l'Université de Neuchâtel pour
l'obtention du titre de docteur ès sciences, orientation biologie.

Octobre 1990

IMPRIMATUR POUR LA THÈSE

Application de l'écologie des diatomées
littorales de lacs carbonatés à la reconsti-
tution des environnements préhistoriques d'un
site archéologique: Hauterive-Champréveyres
(Lac de Neuchâtel)

de Monsieur François Straub

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL

FACULTÉ DES SCIENCES


La Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel
sur le rapport des membres du jury,

Messieurs M. Aragno, J.-M. Gobat, M. Egloff,
Mme M. Wüthrich, MM. F. Schanz (Université
de Zurich) et P. Compère (Meise, Belgique)

autorise l'impression de la présente thèse.

Neuchâtel, le 12 septembre 1990

Le doyen:


Cl. Mermod



Hauterive – Champréveyres

4

diatomées et reconstitution
des environnements préhistoriques

François Straub

Diatomées et reconstitution
des environnements préhistoriques

Mode de citation préconisé:

Straub F., 1990. *Hauterive-Champréveyres, 4. Diatomées et reconstitution des environnements préhistoriques*. Saint-Blaise, Editions du Ruau (Archéologie neuchâteloise, 10).

Cette monographie reprend la plus grande partie de la thèse de doctorat de l'auteur, intitulée:

«Application de l'écologie des diatomées littorales de lacs carbonatés à la reconstitution des environnements préhistoriques d'un site archéologique: Hauterive-Champréveyres (lac de Neuchâtel)».

Coédité par:

Musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel;
Service cantonal de la conservation des monuments et des sites, Neuchâtel;
Editions du Ruau, Saint-Blaise.

Publié avec le concours du Centre de recherche en archéologie protohistorique de l'Université de Neuchâtel.

Direction scientifique:

Michel Egloff
Béat Arnold

Rédaction technique et maquette:

Ewa Gadomski

© 1990 by Editions du Ruau, Saint-Blaise.

Diffusion:

Editions du Ruau, Chemin de la Plage 12, CH-2072 Saint-Blaise.

Couverture:

Cyclotella distinguenda Hust. vue en microscopie électronique à balayage.

Au dos de l'ouvrage:

Fourreau d'épée de La Tène (détail; largeur 5,3 cm).

Décor: deux chevaux affrontés, surmontés d'un cerf.

Le site de La Tène, dans le canton de Neuchâtel, a donné son nom à la civilisation celtique du 2^e âge du Fer.

Illustrations:

Béat Arnold: p. 26; Eric Gentil: p. 40.

Les autres documents, y compris la photo de couverture, sont de l'auteur.

Cette monographie est dédiée

*à Marguerite Wüthrich, Dr.h.c.,
qui m'a patiemment communiqué son enthousiasme
pour les algues et en particulier les diatomées;
grâce à ses nombreux travaux et à son fonds
de recherche, une tradition algologique
se maintient en terre neuchâteloise ;*

*à Hélène Leuba, ma compagne,
qui a contribué à la réalisation de ce travail
par sa présence et ses nombreuses remarques
ou suggestions.*

Table des matières

Préface	9
Introduction	11
Le monde caché des diatomées	12
Composition de la monographie	12
Glossaire des termes techniques et des abréviations	13
PREMIÈRE PARTIE	
Résumé des principaux résultats	17
Méthodes de travail	23
Echantillonnage	23
Préparation du matériel	23
Méthode d'analyse diatomique	24
Critères d'interprétation des résultats	24
Description des échantillons	27
Localisation	27
Numérotation	28
Dates	31
Description sédimentologique	31
Reconstitutions paléoécologiques	33
Niveaux trophiques des eaux	33
Les variations d'alcalinité des eaux	35
Reconstitution des mouvements de l'eau	37
Essai de description des paysages riverains au cours du temps	41
Mise en garde	41
Description	41
Résumé des reconstitutions par échantillons	42
DEUXIÈME PARTIE	
Analyse de la végétation diatomique	45
Classement des espèces selon leur adaptation biologique	45
Classement des communautés en fonction de leur ressemblance	52
Description des zones diatomiques et interprétations paléoécologiques	52
Répartition des végétations dans l'espace et dans le temps	58
Postface	63
Apports de l'étude des diatomées à l'archéologie des zones littorales lacustres et développement souhaitable de cette approche	63
Addenda	64
Annexe	66
Bibliographie	67
Résumé	72
Catalogue floristique	75

Entre le moment où ce texte a été rédigé et son édition, la recherche s'est poursuivie sur les gisements d'Hauterive-Champréveyres. Il en résulte quelques modifications et précisions d'ordre chronostratigraphique remettant en question ou confirmant certaines des interprétations présentées ci-dessous. Ces compléments sont développés dans l'addenda (p. 64).

Préface

La connaissance de notre passé n'est plus concevable sans l'apport des sciences naturelles. La complexité, la diversité presque infinie des données que l'on pourrait recueillir nécessitent l'appui d'une équipe pluridisciplinaire. Mais des choix s'imposent.

Dans le cadre de fouilles archéologiques aussi vastes que celles entreprises à Hauterive-Champréveyres, il n'est pas pensable de se borner à un simple travail de routine. C'est l'occasion inespérée d'explorer des voies nouvelles, de poser des questions originales pour obtenir des réponses parfois inattendues, voire contradictoires.

En 1964 et 1965 déjà, un travail de précurseur fut réalisé par Marguerite Wüthrich dans le cadre des fouilles archéologiques d'Auvernier (chantiers de la route nationale 5) : il s'agissait d'analyser les diatomées contenues dans les couches sédimentaires, c'est-à-dire d'identifier des algues microscopiques munies d'un squelette siliceux aux formes harmonieuses et variées. Dépendant d'un milieu précis, ou s'adaptant au contraire à des conditions très diverses, elles offrirent des perspectives d'étude particulièrement originales. Les connaissances relatives à leur écologie étaient cependant encore largement insuffisantes. Ce dernier aspect, qui constitue depuis plusieurs années l'objet de recherches menées par François Straub, nous a paru susceptible d'apporter des éléments originaux aux reconstitutions des environnements préhistoriques du site d'Hauterive-Champréveyres en raison de l'abondance et de la diversité des dépôts lacustres ou anthropiques couvrant toute la période qui suivit le retrait des glaciers.

Au travers de cette monographie, il sera possible de suivre non seulement la succession des diatomées marquée, depuis le passage des Magdaléniens (chasseurs de chevaux sauvages et de rennes il y a plus de 12 000 ans), par un réchauffement progressif des eaux et leur eutrophisation, mais aussi la dégradation du milieu aquatique résultant de l'installation d'une importante communauté villageoise au Bronze final, vers 1000 av. J.-C.

Béat Arnold

dates ¹⁴ C, non calibrées, BP		chronozones		époques standardisées pour le Plateau suisse (WELTEN 1982, GAILLARD 1984)		zones Firbas (RÖSCH 1983, AMMANN 1985, LOTTER 1988)		Hauterive - Champréveyres		zones polliniques locales et essences dominantes		niveaux archéologiques		dates dendrochronologiques		dates ¹⁴ C, non calibrées, BP		
		Holocène		Postglaciaire		HrCh		(d'après M.-J. Gaillard)										
1000						X												
2000				Subatlantique		IX												
3000				Subboréal		VIII	9	chêne, noisetier, sapin, hêtre, céréales	<i>Quercus, Corylus, Abies, Fagus, Cerealia</i>			■	Bronze final	880 av. J.-C.	1050 av. J.-C.			
4000																		
5000				Atlantique		VII	8	chêne, sapin, hêtre	<i>Quercus, Abies, Fagus</i>				■	Horgen	3110 av. J.-C.	3200 av. J.-C.		
6000																		
7000				Atlantique		VI	7	b: sapin	b: <i>Abies</i>									
8000										chênaie mixte	<i>Quercetum mixtum</i>							
9000				Boréal		V	6											
10000											a: tilleul	a: <i>Tilia</i>						
11000				Préboréal		IV	5	pin	b: noisetier	<i>Pinus</i>	b: <i>Corylus</i>							
12000											a: bouleau	a: <i>Betula</i>						
13000				Dryas (III) récent		III	4	b: genévrier	b: <i>Juniperus</i>									
14000											pin, bouleau	<i>Pinus, Betula</i>						
15000				Allerød		II	3	b: saule	b: <i>Salix</i>									
16000											a: genévrier	a: <i>Juniperus</i>						
17000				Bølling		Ic	2	genévrier, argousier	<i>Juniperus, Hippophaë</i>			■	Azilien	12300 BP				
18000																		
19000				Dryas (I) ancien inférieur		Ia	1	saule, armoise	<i>Salix, Artemisia</i>			■	Magdalénien	12700 BP				

Fig. 1. Tableau synoptique des données chronologiques.

Introduction

La construction de la route nationale 5, le long de la rive nord du lac de Neuchâtel, a permis de lancer une vaste campagne de fouilles de sauvetage touchant plusieurs villages pré- et protohistoriques. Dans ce contexte, le site archéologique d'Hauterive-Champréveyres a été endigué et asséché (fig. 6), puis fouillé de 1983 à 1986. Le centre a été occupé pendant deux siècles au Bronze final. A l'ouest, ce village est bâti en partie sur les restes d'un site néolithique attribué au Cortaillod classique. Au nord du gisement subsistent également les vestiges d'un autre village néolithique, attribué à la civilisation de Horgen. Enfin, en cours de fouilles a été découvert un gisement de chasseurs du Paléolithique supérieur, composé d'un horizon azilien et d'un horizon du Magdalénien supérieur.

L'absence de sources écrites et l'importance de la connaissance du milieu naturel pour mieux approcher l'homme préhistorique ont nécessité l'intervention d'une équipe de naturalistes couvrant les domaines de la sédimentologie, la palynologie, la botanique, la dendrologie, la malacologie, l'ostéologie et l'algologie. Ces branches apportent d'une part des informations d'ordre archéologique (nourriture, datation, structuration de l'espace habité); d'autre part, elles permettent de reconstituer partiellement l'histoire des biotopes et de situer l'impact de l'homme sur son milieu. Dans ce cadre, j'ai été chargé depuis septembre 1984 d'étudier les populations de diatomées subfossiles sur l'ensemble de la stratigraphie du site, s'étalant du Dryas ancien inférieur à l'Actuel.

Un accent particulier a été donné aux couches archéologiques du Bronze final, avec une tentative d'étude horizontale, pour comprendre la constitution des couches riches en débris organiques. Un effort particulier a aussi été porté aux sédiments du Dryas ancien inférieur, et particulièrement aux strates du gisement paléolithique. Je n'ai pas pu m'attacher aux sites néolithiques car les couches d'habitat ont été érodées et tout le mobilier a été déposé sur des limons plus anciens.

J'ai bénéficié, au cours de cette recherche, de nombreuses données et de conseils pertinents des personnes suivantes, que j'aimerais remercier.

– Bernard Moulin, géologue, chargé de l'analyse sédimentologique du site. De ce fait, et vu sa grande disponibilité, il fut le lien essentiel entre naturalistes et archéologues. S'il m'a guidé tout particulièrement dans l'échantillonnage et dans la compréhension spatiale et temporelle des événements observés, mon travail repose entièrement sur son étude géomorphologique et stratigraphique du site.

– Marie-José Gaillard, palynologue, de qui proviennent toutes les données chronostratigraphiques.

– L'équipe de dendrochronologues, formée de Nathalie Burri, Heinz Egger et Patrick Gassmann, qui a fourni les dates absolues.

– L'équipe des archéologues, et plus particulièrement Françoise Bachmann, Alain Benkert, Denise Leesch, Daniel Pillonel, Jacques Reinhard et Anne-Marie Rychner-Faraggi, pour les nombreux conseils, questions et critiques qu'ils m'ont formulés et pour leurs patientes tentatives de me transmettre leurs connaissances.

– Jacqueline Moret, statisticienne du Centre de calcul de l'Université de Neuchâtel, pour le traitement informatique des données.

– Le Centre de microscopie électronique de l'Institut de zoologie de l'Université de Neuchâtel, pour l'utilisation de son microscope électronique à balayage.

– Michel Egloff, archéologue cantonal, et Bêat Arnold, son adjoint, qui m'ont confié ce travail et avec lesquels j'ai eu de nombreuses discussions orientant mes réflexions, également pour leurs lectures détaillées et critiques des manuscrits successifs.

– Pierre Compère, algologue au Jardin botanique national de Belgique, pour les nombreuses suggestions apportées au cours d'une lecture attentive de ce texte.

– Maryse Forney et Maryline Meyrat pour la saisie du texte, et Ewa Gadomski, pour la réalisation de l'ouvrage.

— Mes collègues de l'Association des diatomistes de langue française et du Groupe de travail pour les recherches pré- et protohistoriques en Suisse, à qui j'ai présenté plusieurs communications orales et qui, par leurs critiques et leurs suggestions, ont aussi participé aux interprétations que je propose ici.

Le monde caché des diatomées

Les diatomées sont des algues microscopiques unicellulaires, vivant dans une logette de nature siliceuse, formée de deux valves. Ces valves sont percées par des structures (trous, tubes ou fentes), qui permettent à la cellule d'être en contact avec le milieu environnant. On en distingue plus de 20 000 espèces (VANLANDINGHAM 1967-79), colonisant toutes sortes de milieux humides ou aquatiques, marins et d'eau douce. En mer, la plus grande partie du plancton végétal (ROUND 1975) est constituée de diatomées. C'est dire l'importance de ce groupe d'algues pour la production planétaire d'oxygène, et comme nourriture pour les organismes marins herbivores. Dans le domaine continental, de nombreux travaux (cités par : CHOLNOKY 1968, LOWE 1974, SALDEN 1978, FABRI et LECLERCQ 1984) ont montré que les milieux aquatiques (lacs, étangs, flaques, rivières, ruisseaux, suintements rocheux), les sols humides, l'eau de rosée ou de pluie imprégnant les mousses ou s'accumulant dans les creux d'arbres possèdent une riche flore diatomique, souvent particulière. Dans ces milieux, des populations spécialisées colonisent par exemple le fond sableux, d'autres la vase organique ou les cailloux balayés par les vagues. Elles y forment des feutrages, véritables prairies à disposition des insectes, vers, mollusques, poissons et batraciens brouteurs.

En biologie appliquée, on utilise ces algues surtout pour le diagnostic de la qualité des eaux (COSTE 1978, LANGE-BERTALOT 1978, 1979a et 1979b, DESCY 1980). Mais d'autres destinées s'ouvrent actuellement pour ces magnifiques organismes, par exemple en recherches architecturales (BACH et BURKHARDT 1984), ou en médecine légale pour le diagnostic du décès par noyade (PEABODY et BURGESS 1984).

Dans les systèmes aquatiques, une part importante des sédiments est formée par les valves de ces algues, qui se déposent sur le fond dès la mort de leur cellule. Ces restes sont en général bien conservés; ce sont de précieux témoins des conditions aquatiques passées (paléoécologie). On les emploie dans le cadre des études sédimentologiques en géologie minière (dépôts de diatomite et recherche pétrolière), en hydrogéologie (structuration d'anciens réseaux hydrologiques) et en archéologie (par exemple WÜTHRICH 1971, BRADBURY 1975, BATTARBE 1983 et FOGED 1985). Dans ce domaine, très récemment, JANSMA (1984) a montré que les argiles contiennent aussi des diatomées subfossiles et fossiles, qui résistent à la cuisson. L'observation des flores contenues dans les poteries aide à retrouver l'origine de la matière première utilisée.

Composition de la monographie

Ce volume est constitué de deux parties, dont l'ordonnance rompt les liens méthodologiques de la recherche, mais vise à faciliter l'accès aux informations pour deux catégories de lecteurs (la structure de la recherche est donnée par l'organigramme de la figure 2).

Dans la première partie, l'amateur et l'archéologue trouveront la présentation du site étudié, les méthodes utilisées, suivies directement par l'exposé des reconstitutions paléoenvironnementales proposées.

La seconde partie, destinée plus particulièrement aux naturalistes, comprend l'analyse des végétations et la bibliographie, sur lesquelles se fondent les reconstitutions paléoécologiques ainsi que le catalogue floristique avec les données autoécologiques retenues.

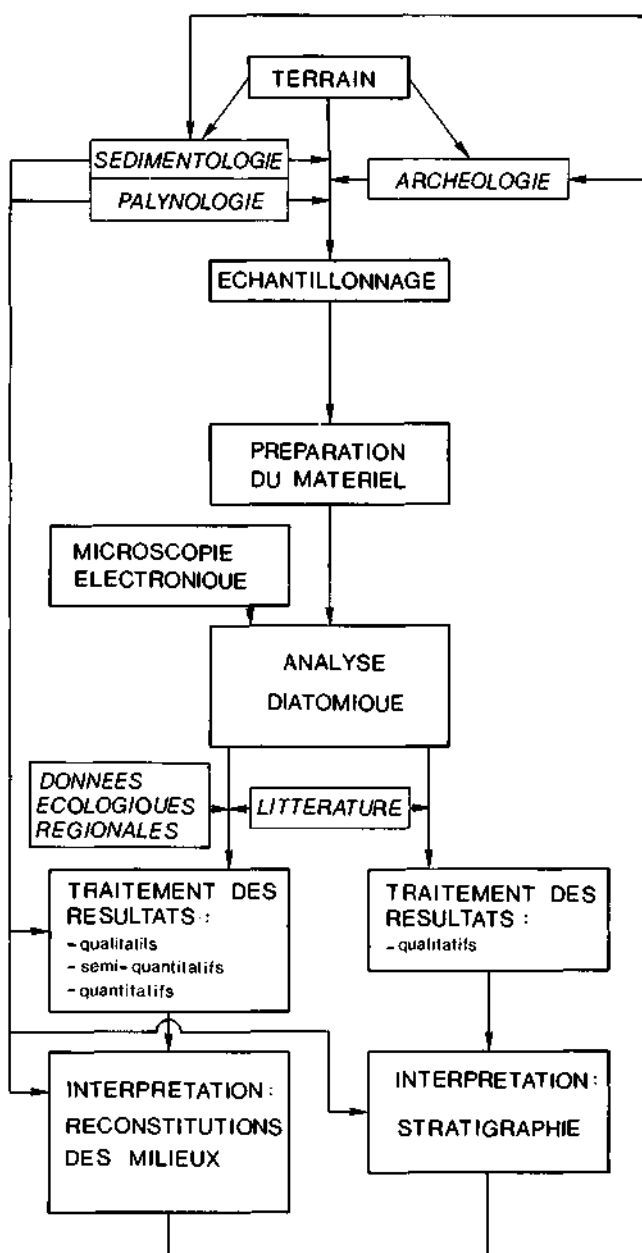


Fig. 2. Organigramme de recherche.

Glossaire des termes techniques et des abréviations

Acidobionte:

s'applique aux espèces vivant à un pH inférieur à 7, avec un développement optimal à pH=5,5 et en dessous, aimant les eaux franchement acides.

Acidophile:

s'applique aux espèces qui apparaissent à un pH d'environ 7, mais avec un développement optimal à un pH plus bas, aimant une certaine acidité.

Aérophile:

se dit d'espèces périphtiques adaptées à vivre quelque temps hors de l'eau. Groupe d'espèces qui se rencontrent au bord des lacs et des rivières dans la zone de fluctuation du niveau de l'eau (zone eulittorale). Certaines espèces peuvent résister au battement des vagues (par exemple dans les genres *Gomphonema* et *Cymbella*).

Alcalibionte:

s'applique aux espèces qui n'apparaissent qu'à un pH plus élevé que 7, aimant les eaux franchement basiques.

Alcaliphile:

s'applique aux espèces qui apparaissent à un pH d'environ 7, mais avec un développement optimal à un pH plus élevé, aimant une certaine basicité.

Anaérobiose:

terme désignant des conditions de vie sans oxygène.

Araphidée:

désigne une valve de diatomée qui ne possède pas de raphé.

Assemblage:

composition floristique d'une végétation, en terme de fréquence relative.

Autoécologie:

par opposition à la synécologie, se rapporte aux connaissances écologiques concernant une espèce prise isolément.

Benthos:

communauté d'organismes adaptés à vivre sur le fond des milieux aquatiques. La partie végétale du benthos est le phytobenthos.

Biomasse:

masse de matière vivante présente dans un écosystème.

Biotecton:

communauté d'organismes vivant autour des objets immergés. Suivant le substrat, cette communauté se divise en épilithon, épipélon, épipsammon, épiphyton et épizoon.

Characées:

algues vertes macroscopiques qui accumulent de la calcite (CaCO_3), dont on retrouve les organes femelles de reproduction dans certains sédiments lacustres.

Chronozones polliniques:

périodes de l'ère quaternaire définies par les spectres polliniques résultant des végétations ayant existé à ces époques (fig. 1).

Cymbelloïde:

adjectif désignant la forme en croissant de certaines espèces de diatomées.

Diatomées:

algues unicellulaires portant, comme pigments photosynthétiques les chlorophylles a, c1 et c2, le β -carotène et plusieurs xanthophylles. Pendant toute leur vie végétative, les cellules restent enfermées dans un kyste silicaté formé de deux valves, qu'on appelle frustule. Dans les sédiments, on retrouve ces valves.

Diatomite:

roche lacustre ou marine, de nature siliceuse, plus ou moins consolidée, formée uniquement de frustules de diatomées. Cette roche poreuse est utilisée comme isolant thermique, comme abrasif, comme absorbant de la nitroglycérine dans la fabrication de la dynamite ou encore pour la fabrication de filtres. Des gisements importants se trouvent surtout au Brésil, en Corée, au Japon, aux U.S.A., en Australie, en France et en Islande.

Dystrophe:

se dit d'eaux, dont la composition chimique est fortement déséquilibrée par un de ses composants. S'applique plus particulièrement aux eaux de tourbières acides, pauvres en sels minéraux et très riches en matières humiques.

Elittorale (zone):

zone littorale profonde.

Epilithon:

communauté d'êtres vivants qu'on trouve sur les cailloux, galets et rochers submergés.

Epipélon:

communauté d'êtres vivants qu'on trouve sur le fond meuble.

Epipsammon:

communauté d'êtres vivants colonisant les grains de sable.

Epiphyton:

communauté d'êtres vivants, qu'on trouve accrochés aux tiges et feuilles immergées des macrophytes aquatiques.

Epizoon:

communauté d'êtres vivants colonisant la surface des animaux aquatiques.

Espèce dominante:

espèce qui apparaît dans un assemblage à un taux de plus de 5%.

Espèce compagne:

espèce qui apparaît dans un assemblage à un taux entre 1 et 4,95%.

Espèce accidentelle:

espèce qui apparaît dans un assemblage à un taux plus petit que 1%.

Eulittorale (zone):

partie de la zone littorale affectée par les battements du niveau de l'eau.

Euplancton:

voir sous plancton.

Euryèce:

qualificatif général d'espèces peu exigeantes, qui peuvent s'adapter à de nombreux milieux.

Eurytherme:

qualificatif d'espèces peu exigeantes envers la température et qui supportent de grandes amplitudes thermiques.

Eutrophe:

se dit d'une eau ou d'un sol riche en matières nutritives.

Eutrophication:

enrichissement artificiel des eaux et des sols en substances nutritives.

Eutrophisation:

enrichissement naturel des eaux et des sols en substances nutritives.

Flore:

liste des espèces trouvées dans un milieu.

Flore significative:

liste des espèces relevée lors du comptage de 500 valves dans un échantillon.

- Frustule:**
logette siliceuse ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) des diatomées, formé de deux valves (fig. 3), unies par une ceinture formée de deux ou plusieurs bandes.
- Halophobe:**
qualificatif d'espèces réfractaires à l'eau salée.
- Hypertrophe:**
se dit d'un milieu extrêmement chargé en substances organiques et minérales réduites, pouvant être toxiques envers les êtres vivants non bactériens.
- Indice B:**
indice d'acidité (RENBERG et HELLBERG 1982) ; p. 36.
- Indice E:**
indice d'eutrophie représentant, pour un assemblage donné, la somme des fréquences relatives de tous les taxons vivant en eau eutrophe (SALDEN 1978).
- Limnophile:**
adjectif désignant les espèces aimant les eaux stagnantes.
- Littoral:**
zone lacustre côtière subdivisée en zones supralittorale, eulittorale et élittrale (THIENEMANN 1925).
- Littorale (zone):**
zone de bordure des lacs, s'étendant de la limite supérieure des eaux, jusqu'à la limite inférieure d'enracinement des plantes aquatiques.
- Mésotrophe:**
se dit d'une eau ou d'un sol moyennement riche en substances nutritives.
- Naphrax:**
résine synthétique utilisée en microscopie pour monter les diatomées entre lame et lamelle. Cette résine a un indice de réfraction de 1,7.
- Naviculoïde:**
adjectif désignant la forme en petit bateau de certaines espèces de diatomées, qui ressemblent par ce caractère, aux espèces du genre *Navicula*.
- Neutrophile:**
s'applique aux espèces dont l'optimum de développement se trouve à un pH d'environ 7, aimant les eaux neutres.
- N-hétérotrophe:**
se lit azote-hétérotrophe. Se dit d'un être vivant qui se nourrit d'azote organique. En général les algues se nourrissent d'azote minéral sous la forme de nitrates (NO_3^-).
- Oligotrophe:**
se dit d'une eau ou d'un sol pauvre en substances nutritives.
- Oncolithe:**
concrétion calcaire en forme de sphère plus ou moins régulière se formant sur certains sédiments littoraux.
- Ostracodes:**
groupe de crustacés microscopiques vivants enfermés dans une coquille bivalve.
- Pélagique:**
zone lacustre de pleine eau.
- Périphyton:**
de *peri* = autour et *phytos* = croître, désigne la communauté d'êtres vivants (animaux et végétaux) colonisant la surface des objets immergés. Ce terme, bien que largement utilisé en français et en anglais prête à confusion à cause de l'autre étymologie de *phytos* = végétal, comme dans épiphyte. Pour cette raison, DUSSART 1966 a proposé de le remplacer par le mot biotecton.
- Plancton:**
communauté d'êtres vivant en suspension dans l'eau. L'euplancton (vrai plancton) regroupe les espèces spécialement adaptées à rester activement en suspension dans l'eau.
- Polytrophe:**
se dit d'une eau ou d'un sol très riche en matières nutritives, principalement sous forme de matières organiques.
- Processus renforcé:**
pore complexe renforcé par deux ou trois tubes, perforant de part en part les valves de certaines espèces de diatomées (fig. 3).
- Processus labié:**
pore complexe renforcé par deux crêtes internes, perforant de part en part les valves de certaines espèces de diatomées.
- Pseudoraphé:**
nom anciennement donné à l'aire axiale (fig. 3) des diatomées pennées ne possédant pas de raphé.
- Raphé:**
canal longitudinal ou circulaire ornant les valves des diatomées évoluées (fig. 3).
- Raphidée:**
désigne une valve de diatomée possédant un raphé.
- Saprobionte:**
organisme ne vivant qu'en eaux très polluées.
- Saprophile:**
organisme d'eaux polluées, mais qu'on trouve aussi dans d'autres situations. Organisme peu sensible à la pollution.
- Saprophobe:**
organisme incapable de se développer dès la moindre pollution.
- Saproxène:**
organisme d'eaux non polluées, mais pouvant supporter une légère pollution.
- Stauroïde:**
désigne l'aire centrale d'une diatomée pennée, lorsque cette surface s'étend jusqu'au bord de la valve.
- Striation:**
ornementation à base de stries (qui sont elles-mêmes formées d'aréoles) des valves de diatomées.
- Supralittorale (zone):**
région située en-dessus du niveau supérieur maximal des eaux, affectée uniquement par les embruns.
- Synécologie:**
par opposition à l'autoécologie, se rapporte aux connaissances écologiques concernant les communautés.
- Tampon:**
pouvoir de certaines solutions aqueuses permettant de conserver le pH entre des limites déterminées, malgré les acides ou bases qu'on y ajoute en faible quantité. Une telle solution contient en général un acide faible et un de ses sels. Ainsi dans les régions karstiques, les eaux sont tamponnées vers un pH de 8,2 à 8,4 par l'acide carbonique (H_2CO_3) et la calcite (CaCO_3).
- Taxon:**
unité systématique représentée en histoire naturelle par une famille, un genre, une espèce, etc.
- Trophique:**
qui est relatif à la nutrition. Les eaux sont qualifiées d'oligotrophes, de mésotrophes, d'eutrophes ou de dystrophes, selon la quantité et/ou la qualité de nutriments qu'elles mettent à disposition des êtres vivants.
- Trophogène:**
se dit de la couche supérieure des eaux d'un lac, dans laquelle l'activité photosynthétique produit la matière organique.
- Tychoplancton:**
plancton littoral enrichi de beaucoup d'espèces en principe périphytiques, arrachées à leur substrat et pouvant vivre momentanément en suspension dans l'eau.

Ubiquistes:

s'applique à des espèces à large spectre écologique. Utilisé ici spécialement à propos de leurs habitats, dans le sens qu'elles peuvent supporter tous les habitats lacustres, de l'aérophilie à la vie planctonique.

Valve:

structure siliceuse en forme de couvercle ou de fond de boîte, constituant la paroi d'une diatomée, en s'emboîtant. L'ornementation des valves permet de reconnaître les différentes espèces de diatomées (fig. 3).

Végétation:

structure floristique d'un peuplement. Les végétations sont exprimées ici quantitativement sous forme d'assemblages.

Abréviations:

- Acb: abréviation de acidobionte
- Acp: abréviation de acidophile
- Alcb: abréviation d'alcalibionte
- Alcp: abréviation d'alcaliphile
- Cell/gss: nombre de cellules de diatomées par gramme de sédiment sec
- I_s*: indice de similarité (MOUNTFORD 1962)
- LM: microscopie optique
- µm: micromètre ou 10⁻⁶ m
- Neu: abréviation de neutrophile
- pH: mesure chiffrée de 1 à 14 de l'acidité/basicité d'un milieu. Le pH est inversement proportionnel à la concentration en ion H⁺ selon l'équation: $pH = -\log[H^+]$
- SEM: microscopie électronique à balayage

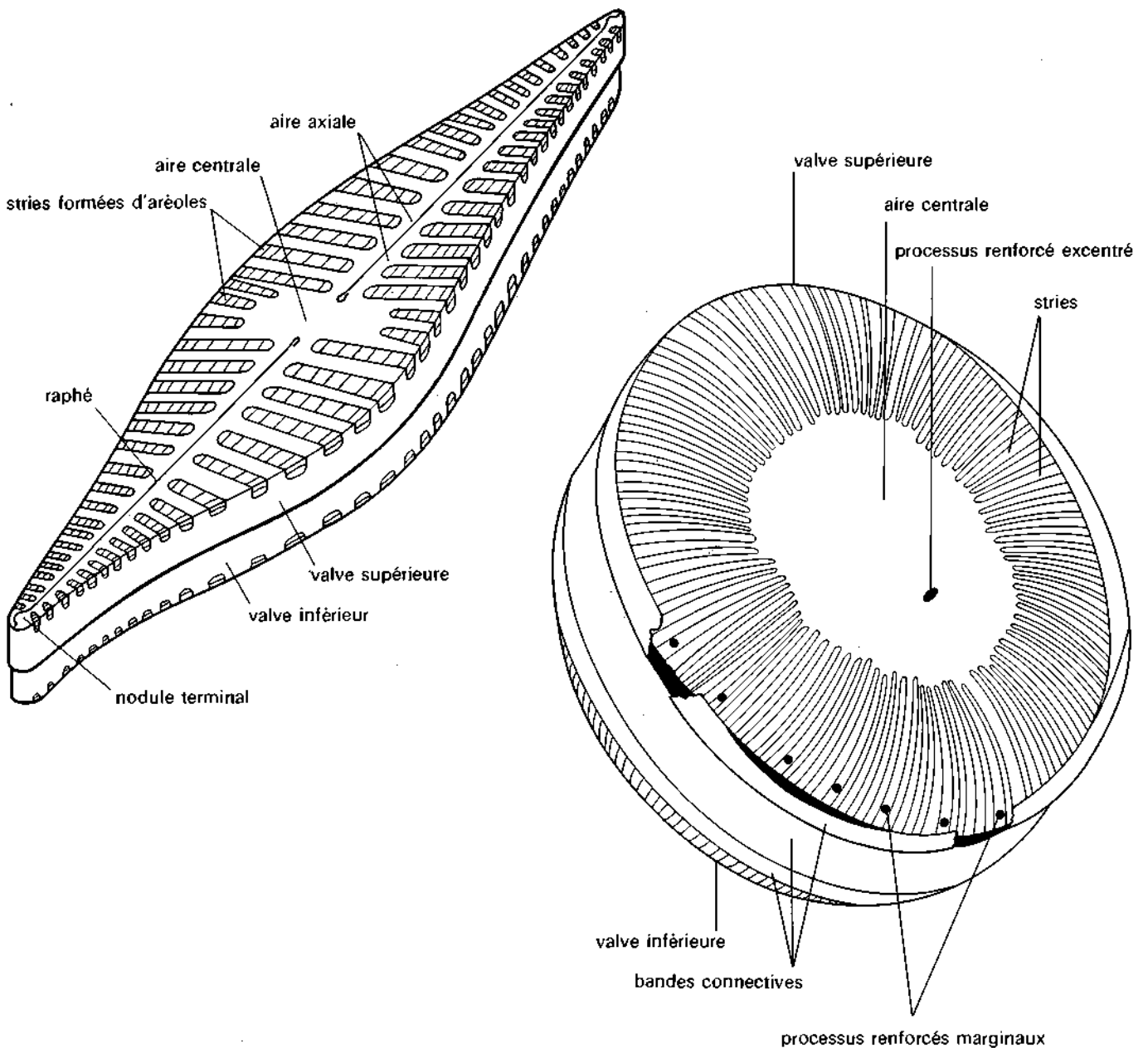


Fig. 3. Anatomie générale d'une diatomée pennée et d'une diatomée centrique.

Résumé des principaux résultats

L'étude des restes de diatomées dans des sédiments se fonde sur l'examen au microscope optique d'échantillons traités chimiquement. Dans les sédiments lacustres bruts, de grandes quantités de calcite (carbonate de calcium cristallisé ou CaCO_3) et de matières organiques empêchent d'observer directement les restes de diatomées. C'est pourquoi divers traitements aux acides et à l'eau oxygénée, qui dissolvent ces matières tout en ménageant les diatomées, sont indispensables. Le matériel nettoyé est monté entre lame et lamelle, pour être analysé au microscope optique (grossissement de 1250 fois).

Dans un premier examen, chaque type de diatomée observé est déterminé, certains sont dessinés ou photographiés. L'identification de plusieurs formes difficiles à reconnaître nécessite parfois un examen du matériel en microscopie électronique (grossissements utilisés de 10 000 à 30 000 fois). Le résultat de cette première approche est la liste des espèces relevées, soit dans chaque échantillon, soit sur l'ensemble du site prospecté. Dans le cas d'organismes végétaux comme les diatomées, cet inventaire constitué finalement d'une série de noms en latin, s'appelle la flore. Le lecteur courageux trouvera la liste complète des 274 espèces, variétés et formes, réparties en 35 genres, trouvés à Hauterive-Champréveyres, dans un catalogue floristique dressé aux pages 75 à 96.

La composition de cette flore (nombre d'espèces par genre) est représentée et comparée aux flores d'autres stations littorales du lac de Neuchâtel à la figure 4 de manière synoptique. La première colonne de ce tableau n'a qu'un intérêt floristique et indique de manière synthétique ce qu'a pu abriter cette station littorale comme flore de diatomées au cours de plus de 14 000 ans: une flore variée, dont les quatre genres les mieux représentés (fig. 5) sont typiques des feutrages tapissant les habitats immergés (périphyton et/ou benthos) du littoral: *Navicula*, *Cymbella*, *Achnanthes* et *Nitzschia*. Les deux genres suivants, *Fragilaria* et *Cyclotella*, sont formés d'espèces sans préférence particulière: elles sont capables

soit de rester en suspension dans l'eau (plancton), soit de vivre dans le périphyton ou le benthos. Elles sont qualifiées d'ubiquistes. De vraies espèces planctoniques sont aussi présentes dans les genres *Asterionella*, *Fragilaria*, *Stephanodiscus* et *Tabellaria*.

Plus intéressantes sont les compositions relevées par époques. On y voit que la flore a varié qualitativement au cours du temps. Au Dryas ancien inférieur était présente une flore essentiellement formée par des espèces littorales du genre *Fragilaria*. Actuellement, sur le lac de Neuchâtel, cette flore d'eau pauvre en matières nutritives (oligotrophe) n'existe plus. Dès le Bølling jusqu'à l'Atlantique, la flore reste tout d'abord riche en *Fragilaria*, mais se complète progressivement en espèces plus typiques des lacs alcalins à teneurs moyennes en matières nutritives (mésotrophes), appartenant aux genres *Navicula*, *Cymbella*, *Achnanthes* et *Cyclotella*. Cette flore ressemble étrangement à la flore du littoral neuchâtelois citée par Marguerite Wüthrich, tout en ayant proportionnellement moins d'espèces du genre *Navicula*.

Dès l'apparition de l'homme sédentaire sur le site, la flore change, avec un net recul du genre *Fragilaria* et une augmentation du nombre d'espèces du genre *Navicula*. Ce phénomène a d'ailleurs été signalé dans des séries sédimentaires préhistoriques américaines, comme signe d'eutrophication (BRADBURY 1975).

Le genre *Gomphonema* (genre aérophile, aux cellules fixées sur le substrat par des pédicelles muqueux) est proportionnellement peu représenté sur le site d'Hauterive-Champréveyres en comparaison avec le site néolithique d'Auvernier-La Saunerie (WÜTHRICH 1971) et les feutrages couvrant les galets littoraux (épilithon) actuels de Colombier-Robinson (STRAUB 1989). En fait, ce genre est plutôt typique des rivières. Dans les lacs, on le rencontre préférentiellement en zone de battement des vagues, où il résiste à leur action mécanique. Ce constat permet déjà de supposer que l'eau présente sur le site d'Hauterive-Champréveyres était globalement peu agitée.

Genre	Hauterive-Champréveyres				Auvergnier	Baie d'Auvergnier, ports de Neuchâtel et Hauterive	Colombier- Robinson
	Toutes époques confondues	Dryas I (Paléolithique sup.)	Bølling à Atlantique	Subboréal à Subatlantique (Néolithique, Bronze final à l'Actuel)	Néolithique WÜTHRICH 1971	Périphyton et benthos littoraux WÜTHRICH 1960	Epilithon STRAUB 1989
<i>Navicula</i>	59	4	30	58	55	68	44
<i>Cymbella</i>	34	1	23	31	25	28	11
<i>Achnanthes</i>	25	3	12	24	17	18	17
<i>Nitzschia</i>	22	3	11	18	8	17	16
<i>Fragilaria</i>	25	15	24	18	13	28	14
<i>Cyclotella</i>	19	2	11	16	13	14	5
<i>Gomphonema</i>	13	1	7	9	13	13	11
<i>Amphora</i>	7	5	7	7	5	3	4
<i>Cocconeis</i>	7		5	6	5	9	6
<i>Diploneis</i>	6		2	6	4	4	2
<i>Diatoma</i>	5		2	5	1	8	4
<i>Epithemia</i>	9	1	6	6	6	4	1
<i>Stephanodiscus</i>	4		1	4	3	3	4
<i>Caloneis</i>	6		5	4	4	8	4
<i>Anomoeoneis</i>	4		3	4	3	2	
<i>Denticula</i>	2		2	2	1	2	1
<i>Mastogloia</i>	3	1	3	2	2	2	
<i>Neidium</i>	3		2	2	3	9	
<i>Surirella</i>	2			2	2	9	1
<i>Amphipleura</i>	1		1	1	1	1	
<i>Asterionella</i>	1		1	1		1	
<i>Cymatopleura</i>	2		1	2	4	7	2
<i>Eunotia</i>	1		1	1	1	2	1
<i>Gyrosigma</i>	1	1	1	1	2	4	1
<i>Hantzschia</i>	1			1	1	1	
<i>Melosira</i>	1			1	2	5	3
<i>Meridion</i>	1		1	1		2	
<i>Opephora</i>	1	1	1	1		1	1
<i>Pinnularia</i>	1		1	1	3	3	
<i>Rhopalodia</i>	2		2	1	1		
<i>Stauroneis</i>	2		2	2	2	5	2
<i>Tabellaria</i>	1			1	1	2	
<i>Rhaphoneis</i>	1		1	1			
<i>Oestrupia</i>						2	
<i>Rhoicosphenia</i>	1		1		1	1	1
<i>Campylodiscus</i>						2	
<i>Frustulia</i>	1		1				
Nombre d'espèces, variétés et formes	274	38	171	240	202	288	156
Nombre de genres	35	12	31	33	30	34	23
Nombre d'échantillons	78	13	30	35	12	25	9

Fig. 4. Flores significatives d'Hauterive-Champréveyres comparées aux flores totales d'autres stations littorales du lac de Neuchâtel, données en nombre d'espèces par genre. Dans chaque colonne, sont entourés les six genres les mieux représentés.

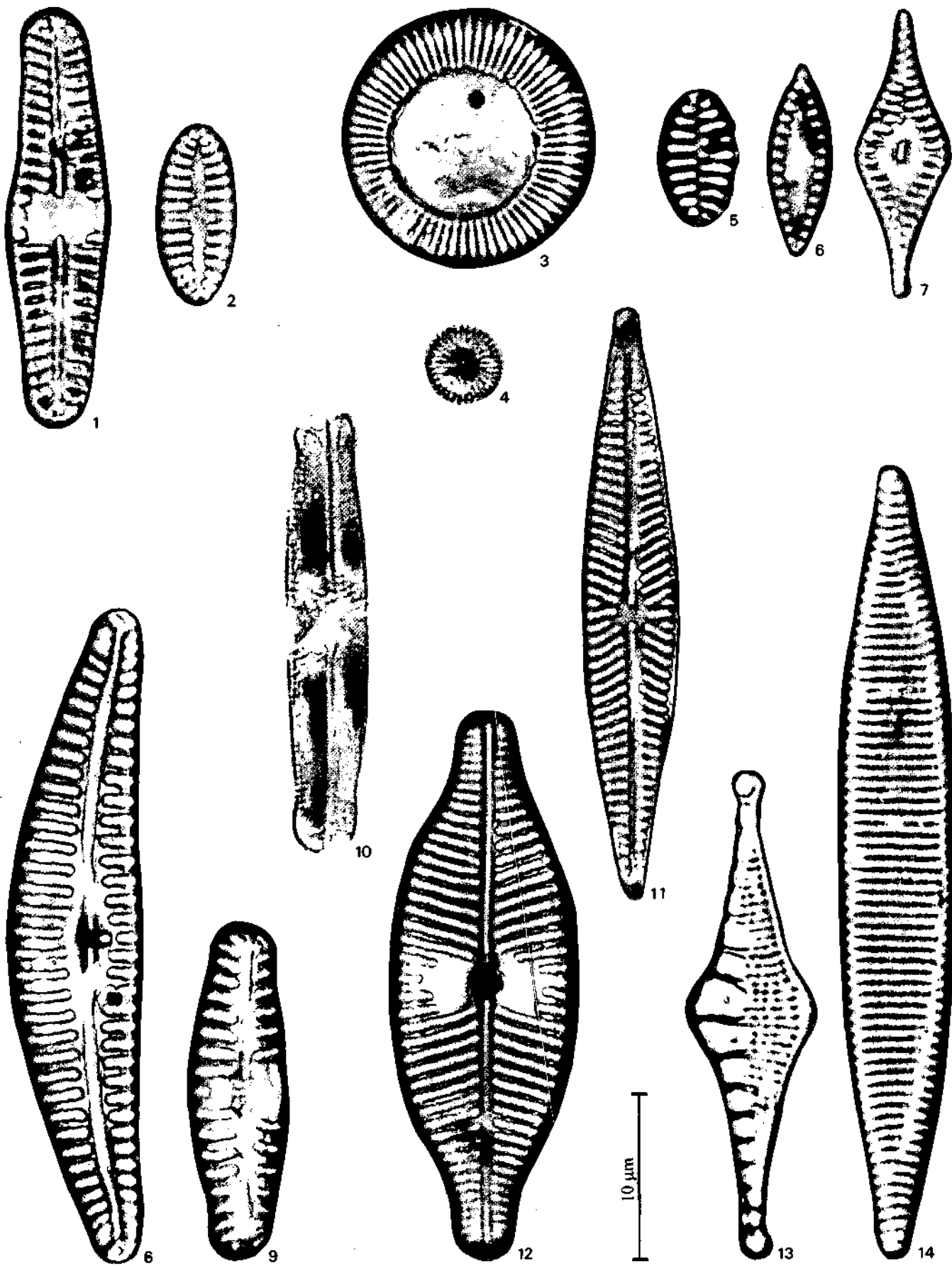


Fig. 5. Principaux genres de diatomées trouvés à Hauterive-Champréveyres. 1, 2: *Achmanthes*; 3, 4: *Cyclotella*; 5-7: *Fragilaria*; 8, 9: *Cymbella*; 10-12: *Navicula*; 13, 14: *Nitzschia*.

D'un échantillon à l'autre (révélateur finalement chaque fois d'un environnement à reconstituer), les espèces peuvent apparaître à des fréquences variables. En simplifiant pour les besoins de l'explication, on trouvera par exemple dans un échantillon 80% de restes de diatomées appartenant à l'espèce *Achnanthes minutissima* et 20% de restes attribués à *Stephanodiscus alpinus*. Cette communauté particulière révélerait plutôt un milieu très littoral car *Achnanthes minutissima* préfère vivre très près du bord, dans les feutrages recouvrant les galets ou les plantes aquatiques. On peut imaginer au contraire une autre communauté formée que de 10% d'*Achnanthes minutissima* et de 90% de *Stephanodiscus alpinus*. Celle-ci révélerait plutôt une localité de pleine eau car *Stephanodiscus alpinus* est une espèce vivant en suspension dans l'élément liquide (plancton).

On appelle assemblage la composition en pour-cent (fréquences relatives) des différentes espèces formant une communauté. C'est une manière statistique de décrire les végétations de diatomées, constituant la base de la méthode algosociologique pratiquée ici. Ces assemblages et les connaissances acquises par ailleurs de la biologie et de l'écologie des espèces de diatomées, permettent de fonder l'interprétation en termes d'environnements, connaissances utiles à l'archéologie (reconstitutions paléocéologiques).

Pour obtenir ces assemblages, il faut procéder à un second examen au microscope optique du matériel nettoyé, au cours duquel est effectué un comptage. Avec une certaine habitude et dans le cadre d'une flore connue globalement par l'opérateur, les deux examens microscopiques sont effectués simultanément. Dans la flore de 274 unités décrite ci-dessus, seules 60 espèces et variétés peuvent dominer les assemblages: elles apparaissent au moins dans un échantillon avec une fréquence relative de plus de 5%. C'est avec ces 60 diatomées que l'interprétation environnementale est ici véritablement fondée. D'autre part, 62 espèces sont compagnes: elles n'apparaissent dans les assemblages observés qu'à des taux compris entre 1 et 4,95%. L'analyse diatomique tient compte de ces espèces, notamment dans les reconstitutions quantitatives de l'état nutritif de l'eau (p. 33-35) et du pH (p. 35-37). Enfin les 152 espèces restantes sont accidentelles, car leur fréquence relative est toujours inférieure à 1%. Leur présence n'est qu'aléatoire (dérive, apports éoliens ou déplacements par les animaux aquatiques) ainsi que l'a montré Marguerite Wüthrich (WÜTRICH et MATTHEY 1980). Aucune interprétation sur la nature du milieu ne peut être proposée à partir de ces espèces.

Les assemblages trouvés à Hauterive-Champréveyres sont constitués en moyenne de 20 à 60 espèces et non pas seulement de 2 espèces comme dans les exemples didactiques inventés ci-dessus avec *Achnanthes minutissima* et *Stephanodiscus alpinus*. Le nombre de variables à intégrer est si grand, particulièrement lorsqu'elles doivent être suivies au cours du temps (représenté par l'amoncellement des sédiments) ou dans l'espace (à travers tout le site archéologique), que des systèmes

de classements s'imposent. Deux systèmes d'ordination décrits aux pages 45 à 52 ont été utilisés.

Le premier consiste pour chaque échantillon, représenté par un assemblage, à réduire le nombre de variables (fréquences relatives de chaque espèce présente) en un système constitué de sept variables. Ces variables sont sept adaptations biologiques schématiques (ou modes de vie) habituellement reconnues dans le domaine littoral des lacs. Ces modes de vie sont décrits à la page 45. Pratiquement, cela revient à connaître la préférence écologique de chaque espèce (dans la littérature à disposition ou par des observations en bordure des lacs actuels) et à additionner ensemble les fréquences relatives de toutes les espèces ayant schématiquement le même mode de vie. Les valeurs ainsi obtenues permettent de dresser les stratigraphies données aux figures 15 à 18. Ces graphiques se lisent de gauche à droite pour chaque échantillon, le côté gauche représentant les modes de vie les plus riverains (aérophiles), tandis que le côté droit reprend les modes de vie les plus lacustres (plancton). Ainsi, de manière visuelle, on peut mettre en évidence les végétations qui témoignent d'environnements subaériens ou partiellement terrestres, des communautés ayant vécu plutôt dans des biotopes immergés. En lisant ces graphiques de bas en haut pour chaque série sédimentaire, on peut suivre les fluctuations écologiques de chaque localité au cours du temps.

Avec le second système de classement présenté à la page 52, la plupart des variables constituant les assemblages trouvés sont conservées. Une fonction mathématique permettant de calculer un indice de similarité conduit à comparer chaque végétation (exprimée en terme d'assemblage) avec toutes les autres. Ce traitement statistique donne la possibilité de grouper toutes les végétations qui se ressemblent et de séparer celles qui diffèrent. Ce genre de pratique nécessite l'emploi d'un ordinateur. Les résultats (groupements et séparations) sont fournis sous forme d'un dendrogramme, indiquant même les degrés de groupement ou de séparation (haut de la figure 20). Sur la base du dendrogramme, un tableau de végétations est construit (bas de la figure 20), regroupant en catégories les différents assemblages de diatomées trouvés. Ces catégories sont appelées zones (ou sous-zones) diatomiques. A ces catégories correspondent *grosso modo* des conditions écologiques globales s'appliquant à tous les assemblages d'un même groupe.

Sur le site d'Hauterive-Champréveyres, dix-huit zones diatomiques ont été trouvées. La zone diatomique B (végétations des terrains riverains où furent établis les campements de chasseurs-cueilleurs paléolithiques) est formée de deux sous-zones. La zone diatomique R (végétations des terrains périodiquement inondés, occupés par le village d'agriculteurs-éleveurs du Bronze final) est constituée de sept sous-zones. L'interprétation environnementale de ces catégories de végétations est donnée aux pages 45 à 58.

Finalement, ces zones diatomiques sont replacées dans leur contexte spatial et temporel sur un tableau biostratigraphique (fig. 21), doublant la description

sédimentologique (fig. 7) du site étudié. Cette stratigraphie des diatomées d'Hauterive-Champréveyres montre que les végétations les plus riveraines sont les plus variées. Au contraire, les assemblages trouvés dans les sédiments lacustres sont normalisés. Cette répartition correspond bien aux modèles de zones littorales habituellement reconnus (DUSSART 1966, THIENEMANN 1925): activité terrestre diversifiante et activité lacustre banalisante. Sur le plan méthodologique, ce résultat bien peu original permet de vérifier la véracité des groupements produits par le système de classement.

Ces deux systèmes de classement (par adaptation biologique des espèces et par indice de similarité entre végétations) sont nécessaires à la reconstitution des mouvements de l'eau (p. 37) et à la description de la succession des paysages riverains (p. 41-42).

De manière complémentaire, deux facteurs environnementaux quantifiables peuvent être reconstruits à partir des assemblages de diatomées: la quantité de matières nutritives à disposition dans les milieux (p. 33-35) et le pH, expression de l'acidité et de la basicité de l'eau (p. 35-37). Ces deux grandeurs permettent de consolider ou de pondérer l'interprétation paysagiste.

De l'ensemble des résultats, les interprétations les plus fiables, entrant en meilleure corrélation avec les résultats des autres disciplines, se rapportent à deux périodes préhistoriques (fig. 1): du Dryas ancien inférieur au début du Bølling, époques d'installation des campements magdaléniens et aziliens, ainsi qu'au Subboréal, pendant l'existence du village du Bronze final. Entre ces périodes, les sédiments sont moins bien conservés, les végétations de diatomées sont souvent mélangées, si bien que les interprétations proposées sont à prendre avec réserve.

L'essentiel des paysages riverains existant au Dryas ancien inférieur puis au Bølling lors de l'établissement des chasseurs-cueilleurs magdaléniens et aziliens est décrit à la page 41. En résumé, il s'agit d'une rive lacustre émergée caillouteuse, pauvre en végétation, agrémentée par quelques flaques d'eau riche en matières nutritives. Sur cette plage se sont établis successivement plusieurs campements. Les niveaux moyens du lac étaient bas (entre 424 et 425 m), ses eaux étaient pauvres en matières nutritives. Au cours du Bølling,

le changement le plus remarquable est l'augmentation progressive des niveaux moyens du lac vers 426 et 427 m, puis au-delà de 429 m, le plan d'eau submergeant finalement tout l'espace occupé périodiquement par l'homme. Pour plus de détails, le lecteur est prié de se reporter à la page 52, où sont interprétées les zones diatomiques A et B, ainsi qu'à la page 58, où l'importance écologique et stratigraphique de *Fragilaria pseudoconstruens* est discutée.

Ce qu'on peut dire de l'environnement du village du Bronze final, à l'aide de l'analyse diatomique, est présenté de manière synthétique à la page 42. Dans le détail, ces informations sont diffusées dans le texte; elles méritent donc d'être résumées. Une grande part d'entre elles se trouvent cependant aux pages 55 et 56 à 58 sur lesquelles sont décrites les zones diatomiques J, R et S. Le lac à cette époque s'était stabilisé autour d'un niveau moyen de 427 m. Les crues inondaient l'espace construit, laissant à peine quelques terre-pleins à sec, tandis que les étiages libéraient la rive, laissant tout loisir aux habitants de se déplacer entre les maisons à pied sec. Cette rive n'était pas uniforme mais constituée de bosses et de dépressions formant autant de milieux en mosaïque, offrant à de multiples végétations algales des conditions de développement variées et idéales au point de vue nutritif et énergétique. En période d'étiage s'accumulaient peu à peu sur le sol beaucoup de débris d'origine humaine et animale, desquels se dégageaient probablement des odeurs peu idylliques. Les traces de ces dépôts, visibles dans la nature des sédiments (fumiers anthropiques) découverts en cours de fouille, se marquent particulièrement sur deux facteurs écologiques reconstitués: le pH (fig. 13) et le niveau trophique des milieux (fig. 11). L'espace habité n'abritait que peu de végétaux supérieurs contrairement aux rives naturelles des lacs. Cela est sans doute lié au piétinement intensif de toute cette surface. Les crues du lac effaçaient partiellement ces traces d'activité humaine, rendant l'espace nettoyé pour l'étiage suivant. A la fin de cette période, le village s'est étendu en direction du lac. L'analyse diatomique suggère que la construction s'est faite au cours d'étiages prolongés, c'est-à-dire lors de fluctuations particulièrement importantes du plan d'eau, plutôt que durant un abaissement marqué du niveau moyen du lac.

Méthodes de travail

Echantillonnage

N'ayant été engagé que plus d'une année après le début des travaux, je n'ai pas pu prélever tous les échantillons dans le site en cours de fouille.

Ainsi, certains prélèvements ont donc été effectués dans les collections sédimentologiques existantes, pour les secteurs fouillés avant septembre 1984 (secteurs 2554, 2449 et carotte B). Cette solution n'est pas idéale car, pour la sédimentologie, les échantillons parfois encore humides sont conservés dans des sachets en plastique, à température ambiante. L'observation rapide d'un peu d'eau de condensation de plusieurs échantillons m'a montré qu'une grande quantité de diatomées vivantes des sections des *Naviculae lineolatae*, des *Nitzschiae lanceolatae* et quelques *Cymbella prostrata* s'y étaient développées. Par chance, l'essentiel de ce matériel était sous forme de mottes, du centre desquelles j'ai pu isoler des fractions supposées non contaminées. Ces sous-échantillons ont été directement traités, ainsi que je le propose ci-dessous. Par la suite, lors de l'analyse floristique, je n'ai retrouvé les taxons précités qu'en faible quantité. Ainsi, le doute qu'on pouvait avoir concernant la qualité de ces échantillons semble levé.

La carotte A (secteur 1953) était encore disponible, mais couverte de mousses et d'algues! J'ai alors préféré sous-échantillonner également dans les prélèvements sédimentologiques; les corrélations avec les études sédimentologiques et palynologiques sont ainsi assurées.

Tous les autres échantillons ont été prélevés *in situ*, sur les flancs des tranchées de fouille, couche après couche, avec les précautions suivantes:

- avant d'échantillonner, nettoyer la stratigraphie sur au moins un centimètre de profondeur pour enlever la surface susceptible de contenir des diatomées vivantes;

- avec une spatule fine, prélever du matériel en profondeur selon l'axe de la couche et l'introduire dans un tube à échantillons étiqueté;

- mettre les tubes à l'étuve à 90°C pour sécher le matériel;

- boucher les tubes et les conserver à l'abri de la lumière et des poussières;

- lorsqu'on ne peut pas sécher tout de suite le matériel, lui ajouter un peu de formol à 20%.

Une collection de 174 échantillons a ainsi été constituée et conservée. En outre, une partie de la carotte A, régulièrement varvée, entre les cotes 409 et 421 cm, a été récupérée. Cette portion a été débarrassée de la végétation qui s'y était développée et mise au congélateur. Sur ce stock, 78 échantillons ont été préparés pour l'étude des diatomées. Les autres restent à disposition au Laboratoire d'algologie, Gymnase cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds, pour toute poursuite éventuelle de l'étude. Les échantillons à étudier ont été choisis selon plusieurs critères:

- correspondance avec les autres disciplines biologiques ou sédimentologiques;

- couvrir au moins une à deux fois tous les types de dépôts du Bronze final décrits par Bernard Moulin (secteurs 2554, 2449 et 1954);

- suivre les grandes époques chronostratigraphiques relevées par la palynologie en milieu eulittoral profond (carottes A et B) et en milieu eulittoral riverain (secteurs 2556 et 2557);

- répondre à des vœux particuliers des archéologues: transition entre les deux phases d'habitat du Bronze final (secteur 2248) et habitat paléolithique (secteurs 2660 et 2760).

Préparation du matériel

Un gramme d'échantillon sec est attaqué à l'acide chlorhydrique à 16% pendant 12 h pour nettoyer les frustules de diatomées et dissoudre le carbonate de calcium. Le matériel jugé suffisamment propre est lavé sur membranes en téflon (STRAUB 1981), repris et mis en suspension dans des volumes connus d'eau distillée,

puis vigoureusement mélangé. De chaque suspension diatomifère, des fractions de 0,3 ml sont pipetées et déposées sur des couvre-objets ronds de 15 mm de diamètre (six par suspension). Les couvre-objets sont soumis à évaporation à température ambiante, à l'abri de la poussière, et montés sur lames dans du Naphrax.

Méthode d'analyse diatomique

Pour chaque échantillon, en principe, on compte si possible 500 valves de diatomées en balayant les lames microscopiques au grossissement $100 \times 12,5$. Simultanément, elles sont réparties dans les différents groupes taxonomiques. Pour chaque taxon, les fragments sont aussi comptés et répartis selon leur importance, à savoir les trois-quarts, demi et quart de valve. Les fragments plus petits sont traités arbitrairement comme seizième de valve et mis dans les classes des *indeterminata* (diatomées non identifiables). En cours d'observation, l'état de dissolution des valves de chaque espèce est noté sur le relevé. Les trois critères suivants servent de base d'estimation: toutes les valves (ou fragments de valves) de l'espèce sont en bon état; 50 ou 100% des valves de l'espèce présentent des traces d'érosion. Le comptage terminé, la surface balayée est relevée. Par un tel procédé, on obtient les informations suivantes:

- la liste floristique des principaux taxons (flore significative);

- la composition de la végétation en fréquence relative;

- un taux absolu indicatif de diatomées par gramme de sédiment sec (cell/gss); ce taux est soumis à une erreur probable de 50 à 60%, mais peut être utilisé comme tel; seule une augmentation du nombre de comptages par fraction et du nombre de particules comptées (PATRICK et STRAWBRIDGE 1963) peut améliorer ce taux; une telle approche sort totalement du cadre de cette étude;

- le taux relatif de valves fragmentées; pour calculer ce dernier, seuls les moitiés, quarts et seizièmes de valves sont considérés; les trois-quarts de valves sont intégrés aux valves entières, cela pour tenter de compenser la fragmentation inhérente à la méthode de nettoyage du matériel (HÜRLIMANN 1984);

- le taux de valves érodées par espèce.

En cours de comptage, les diatomées intéressantes, nouvelles ou posant des problèmes d'identification sont mesurées, dessinées et/ou photographiées selon les besoins. Le microscope utilisé est un appareil Leitz-Dialux en éclairage annulaire à fond noir, muni d'un tube à dessin et d'un tube photographique. Les prises de vue ont été effectuées sur pellicule Kodak Tech. Pan F 2415, révélée au HC-110.

Certaines espèces, difficiles à identifier, ont dû être reprises en microscopie électronique à balayage. Le matériel nettoyé est transféré sur membrane nitrocellulosique de $0,45 \mu\text{m}$ de porosité. Des portions de ces membranes sont fixées au papier collant double face sur des porte-objets en aluminium. Les préparations ainsi obtenues sont dorées sous vide. L'observation a été

faite au moyen d'un microscope Philips P-500 à 12 kV. Les prises de vue ont été faites sur pellicule Ilford Pan F.

Critères d'interprétation des résultats

La liste floristique trouvée dans un échantillon de sédiment permet de situer celui-ci plus ou moins précisément par rapport aux grandes zones biologiques d'un lac (zone supralittorale, zone littorale ou zone pélagique), et indique globalement l'état trophique et le pH de l'eau dans laquelle il s'est déposé.

Cependant, la description précise des environnements passés et la mise en évidence de sédiments non homogènes nécessitent l'examen des fréquences avec lesquelles les taxons apparaissent dans les échantillons, ainsi que l'état de conservation de leurs squelettes. De plus, seule la comparaison entre échantillons, associée à une connaissance des conditions actuelles de développement des diatomées (en général et si possible dans le lac étudié), permettent de dégager les biotopes ayant pu exister dans le passé.

Pour pouvoir maîtriser toutes les variables simultanément, divers traitements des résultats bruts sont proposés, faisant ressortir chaque fois un aspect environnemental particulier. Un premier traitement (p. 45-46) convertit les assemblages floristiques en valences écologiques se rapportant aux diverses communautés pouvant vivre sur les rives des lacs: le phytoplancton, le tychoplancton et les sortes de périphyton. L'importance relative de la représentation des différentes communautés dans un échantillon permet de situer celui-ci dans la topographie lacustre. Ainsi, un assemblage riche en plancton indique une situation immergée sous une certaine quantité d'eau, tandis qu'une végétation riche en périphyton aérophile signale plutôt la bordure d'eau ou les sites supralittoraux.

Un autre traitement consiste à comparer tous les assemblages floristiques deux à deux à l'aide d'un indice de similarité (p. 52), afin de les grouper par affinité. Cela permet d'associer parmi la masse d'observations, d'une part les échantillons contenant des végétations banales, caractérisées par des espèces ubiquistes, fréquentes et abondantes. Ce type de végétation témoigne, sur le littoral, du facteur environnemental normalisant, c'est-à-dire de l'action du lac lui-même au cours de ses crues. D'autre part, certains échantillons résistent au groupement, car ils contiennent des végétations peu communes, constituées d'espèces vivant dans des conditions écologiques particulières. Ils marquent plutôt l'aspect terrestre du littoral et ses facteurs environnementaux diversifiés, dans lesquels s'inscrit l'impact de l'homme. Certains échantillons isolés ou intermédiaires, à végétations mélangées, signalent des sédiments non homogènes, dont l'interprétation peut être sujette à caution.

Le taux absolu de diatomées est utilisé pour étayer les interprétations tirées des deux traitements précédents. En effet, en pleine eau, la productivité et/ou la sédimentation du système aquatique sont fortes.

Les échantillons provenant de telles conditions sont en général très riches en diatomées (10^7 cell/gss et plus en zone profonde; 10^4 à 10^6 cell/gss en zone littorale immergée). Au contraire, en zone de battement des vagues et en zone supralittorale, le dépôt de diatomées est moins important, voire nul. Les échantillons révélateurs de ces conditions ne contiennent que 0 à 10^3 cell/gss. La stérilité d'un échantillon, en général considérée comme indicatrice d'assèchement (WÜTHRICH 1971), est paradoxalement difficile à certifier. Car un échantillon très pauvre peut, de prime abord, sembler stérile. Ce n'est qu'après de longues et fastidieuses heures d'observation qu'un tel diagnostic peut être affirmé. Or, dans le cas d'une fouille d'un site littoral, ces échantillons sont les plus intéressants du point de vue interprétatif, les zones subterrestres étant les plus diversifiées et les plus sujettes à fournir des informations d'ordre archéologique. Ainsi, dans le cadre de ce travail, j'ai approfondi l'étude de ces échantillons, pour finir par n'en trouver que trois stériles. Dans deux d'entre eux, 774 et 777 [2760-N22], la stérilité peut être imputable à un lessivage total du sédiment, constitué de graviers et galets mal colmatés. La stérilité du troisième, 247 [2660-H20], provient probablement de la dissolution secondaire des squelettes de diatomées, car il est issu de limons organiques très acides. Ce phénomène est bien connu des diatomistes (CORNET 1981; Wüthrich, com. orale) étudiant les tourbes.

L'état de conservation des frustules est relevé selon deux aspects: leur taux de fragmentation et leur état de dissolution. Ces deux formes ne semblent pas obligatoirement liées. En effet, on trouve parfois des populations dont les valves sont entières, mais visiblement attaquées par les agents dissolvants (elles sont très amincies, leurs bords sont érodés et leurs ornements élargies). D'autre part, il n'est pas rare de trouver beaucoup de valves brisées, dont les morceaux ne portent pas de traces de dissolution, et qui restent identifiables sur le plan spécifique. Les taux de fragmentation sont utilisés de manière complémentaire aux interprétations floristiques, visant à reconstituer plus particulièrement l'importance de l'action mécanique des vagues (fig. 14). Le taux de dissolution, plus précisément rapporté aux

groupes d'adaptation biologique (fig. 15-19), a permis, dans les assemblages mélangés, de discerner la population en place de celle amenée par les courants et par l'activité fluviale (par exemple p. 55). Cela, en se fondant sur le constat que la probabilité de conservation des diatomées est proportionnelle à leur vitesse de sédimentation (BATTARBEE 1986).

La distribution altitudinale et horizontale des biotopes ainsi reconstitués rend possible des indications bathymétriques qui, replacées dans leur contexte temporel grâce aux datations, constituent une histoire des fluctuations du lac (p. 37-39).

En plus de ces tentatives synthétiques d'interprétation, deux types de reconstitutions analytiques sont proposés, à partir d'indications autoécologiques liées aux espèces rencontrées: le niveau trophique de l'eau (p. 33-35) et le pH (p. 35-37). L'impact terrigène se signale par un niveau trophique élevé et un pH à la baisse. L'action lacustre se traduit par un comportement inverse de ces deux variables.

Finalement, la distribution au cours du temps des niveaux trophiques (fig. 11) permet de suivre l'eutrophisation de l'eau (phénomène naturel lié au vieillissement du lac) et de situer, dans ce cadre, l'impact de l'homme (eutrophication), plus particulièrement au Bronze final.

Dans les reconstitutions graphiques, les lacunes sédimentaires sont signalées par des pointillés, les incertitudes stratigraphiques par des points d'interrogation et les incertitudes d'interprétations par une ligne discontinue.

L'interprétation, visant à la reconstitution du milieu par l'analyse de la végétation diatomique subfossile, repose avant tout sur l'idée actualiste, c'est-à-dire sur les préférences écologiques des taxons observés actuellement. Cette hypothèse de travail est basée sur le vieil adage de la forme et de la fonction, et oublie partiellement la capacité d'adaptation des espèces. Pour essayer de pallier ce défaut, l'interprétation est nuancée lors de la présence d'espèces adaptables, présentant actuellement plusieurs écotypes. Dans ces cas tout particulièrement, j'ai utilisé préférentiellement les données autoécologiques régionales (WÜTHRICH 1960, 1975, STRAUB 1989).



Vue aérienne du polder d'Hauterive-Champréveynes en cours d'assèchement. La zone visible de pilotis correspond à la première époque de construction du village du Bronze final. En aval à droite, le carroyage constitué de tubulures métalliques apparaît à la surface de l'eau. La ligne du rivage déterminée à l'intérieur du polder par l'eau résiduelle correspond approximativement au niveau moyen du lac (427 m) vers 1050 av. J.-C.

Description des échantillons

Localisation

L'emplacement planimétrique des profils échantillonnés est donné sur la figure 6 par les points noirs.

Les profils sont aussi situés dans la stratigraphie générale du site, par les coupes fictives de la figure 7. Les axes de ces coupes rive-lac sont reportés sur la figure 6. Les cotes altimétriques sont données à gauche des profils des figures 8 à 10.

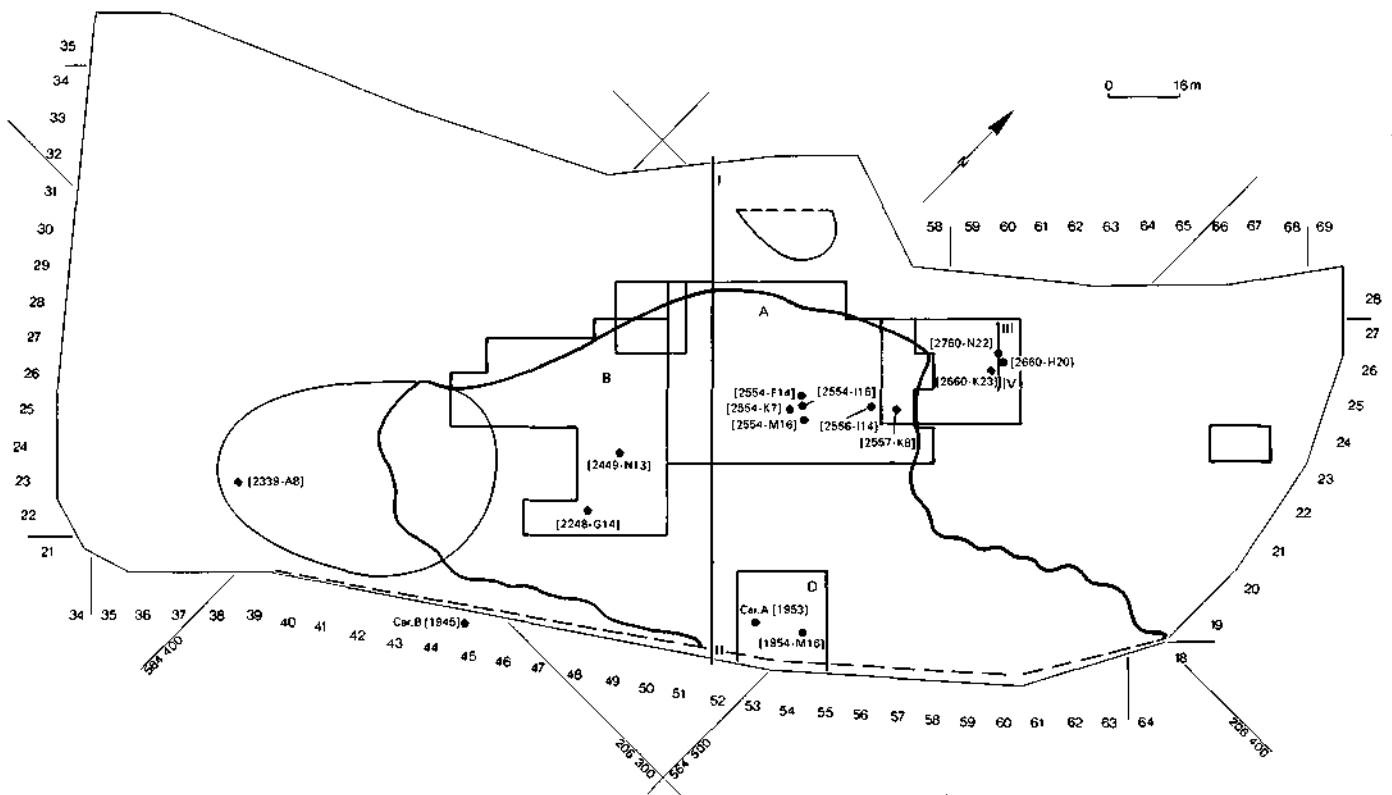


Fig. 6. Plan du site archéologique d'Hauterive-Champrevèyres avec les zones de fouille, l'emplacement des profils étudiés par l'analyse diatomique et les axes des stratigraphies fictives de la figure 7.

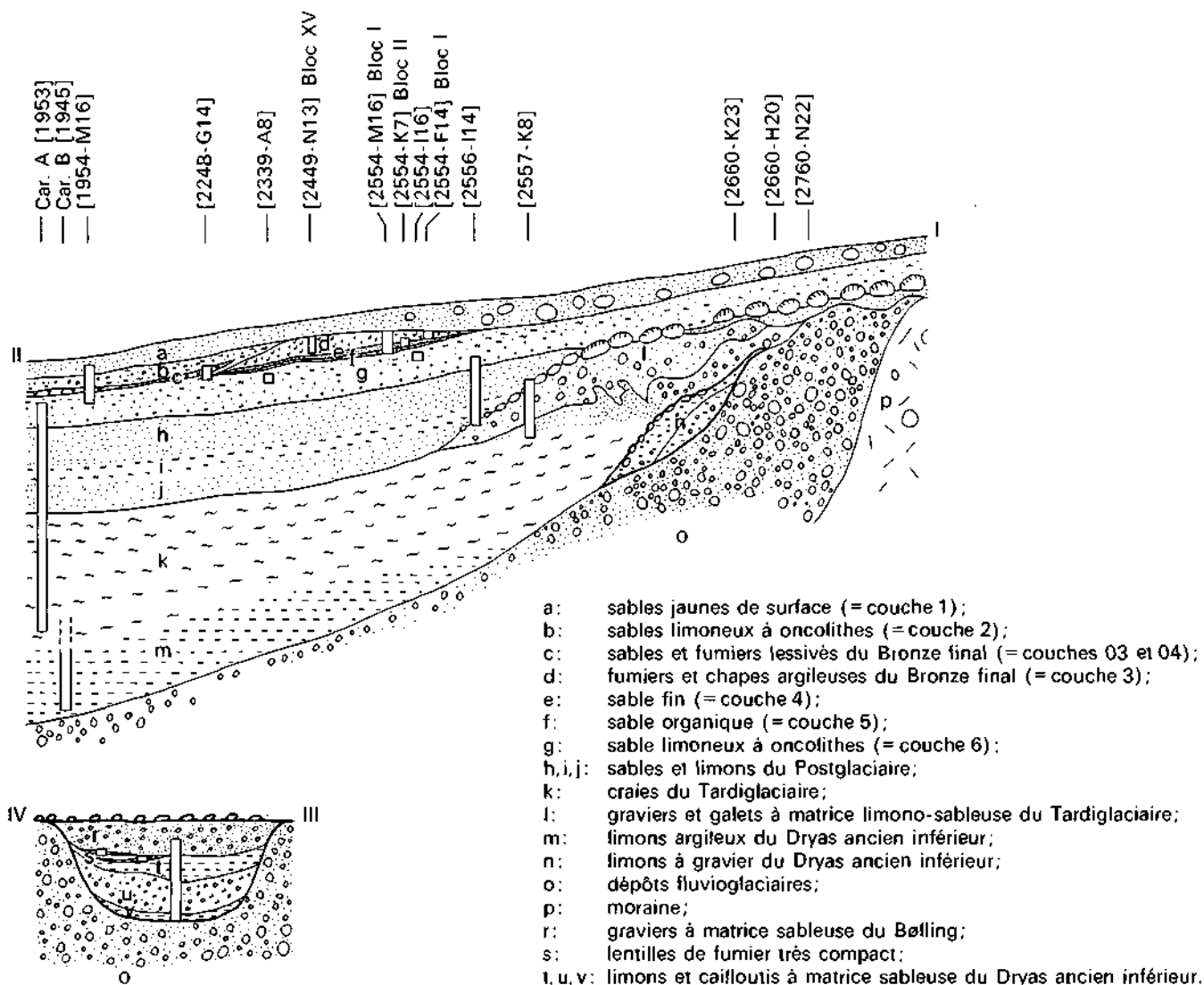


Fig. 7. Coupes stratigraphiques fictives du site archéologique d'Hauterive-Champréveyres et projection des profils étudiés. L'échelle verticale est fortement agrandie.

Numérotation

Les échantillons ont été prélevés sur des profils (séries sédimentaires découvertes en cours de fouille) ou sur des carottes (séries sédimentaires verticales forées). Chaque profil est désigné (code entre crochets) par son emplacement, d'après le quadrillage (secteurs de 8×8 m) donné en figure 6, et d'après le carré de fouille (chaque secteur était divisé en 256 carrés de 0,5 m de côté). Par exemple, le profil [2557-K8] a été dégagé dans le secteur 2557 sur le carré de fouille K8. Pour les carottes A et B, seul le secteur de forage est indiqué.

Devant les crochets figurent les désignations des échantillons dont la numérotation a, en général, été donnée en cours de prélèvement; elle est arbitraire.

Dans le domaine du Bronze final par contre, les échantillons reprennent la numérotation des couches. Les couches 3, 4 et 5 sont celles de la première époque de construction, en haut du site (zones A et B). La

sédimentation de la couche 3 n'est pas uniforme horizontalement, mais forme une mosaïque de structures stratifiées appelées « blocs stratigraphiques ». Les contours de certains de ces blocs correspondent en partie aux limites des constructions (travaux en préparation de F. Bachmann et A. Benkert). Ces blocs sont numérotés en chiffres romains. Chaque strate, de chaque bloc, est désignée par une lettre majuscule. Il n'y a pas de correspondance stratigraphique entre ces lettres, d'un bloc sédimentaire à l'autre. Dans le bas du site (zones D et C), aucun bloc sédimentaire n'a été mis en évidence. La couche 04 représente un vestige érodé postérieur à la couche 3 du haut du site. La couche 03 correspond à la seconde période de construction du Bronze final.

La couche 6 est le substrat sablo-limoneux à oncolithes, à la surface duquel on trouve le mobilier en zone néolithique (secteur 2339), ou sur lequel reposent les couches archéologiques du Bronze final. Il faut signaler que l'échantillon 29 [2556-114] est situé en fait dans cette couche.

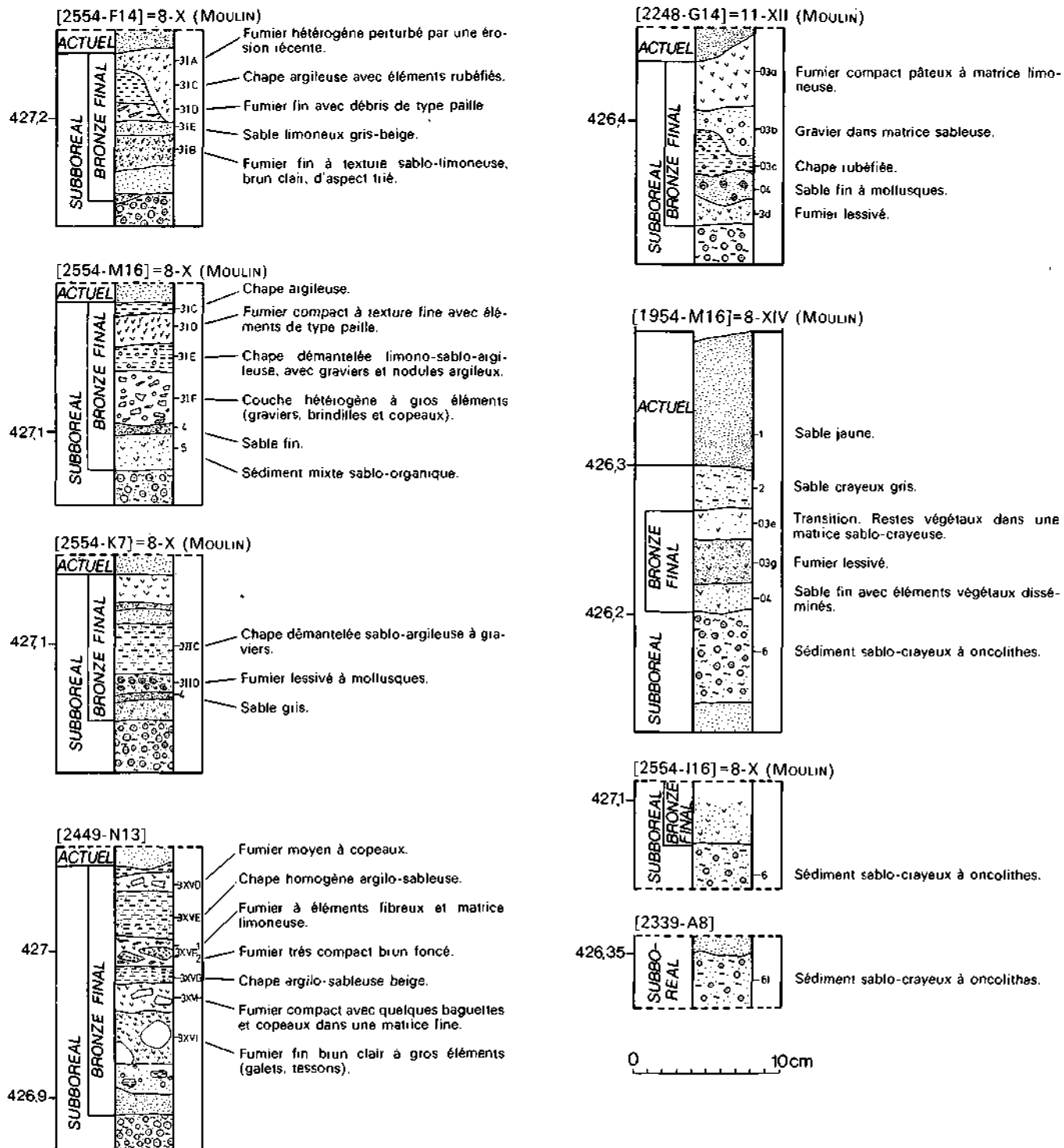
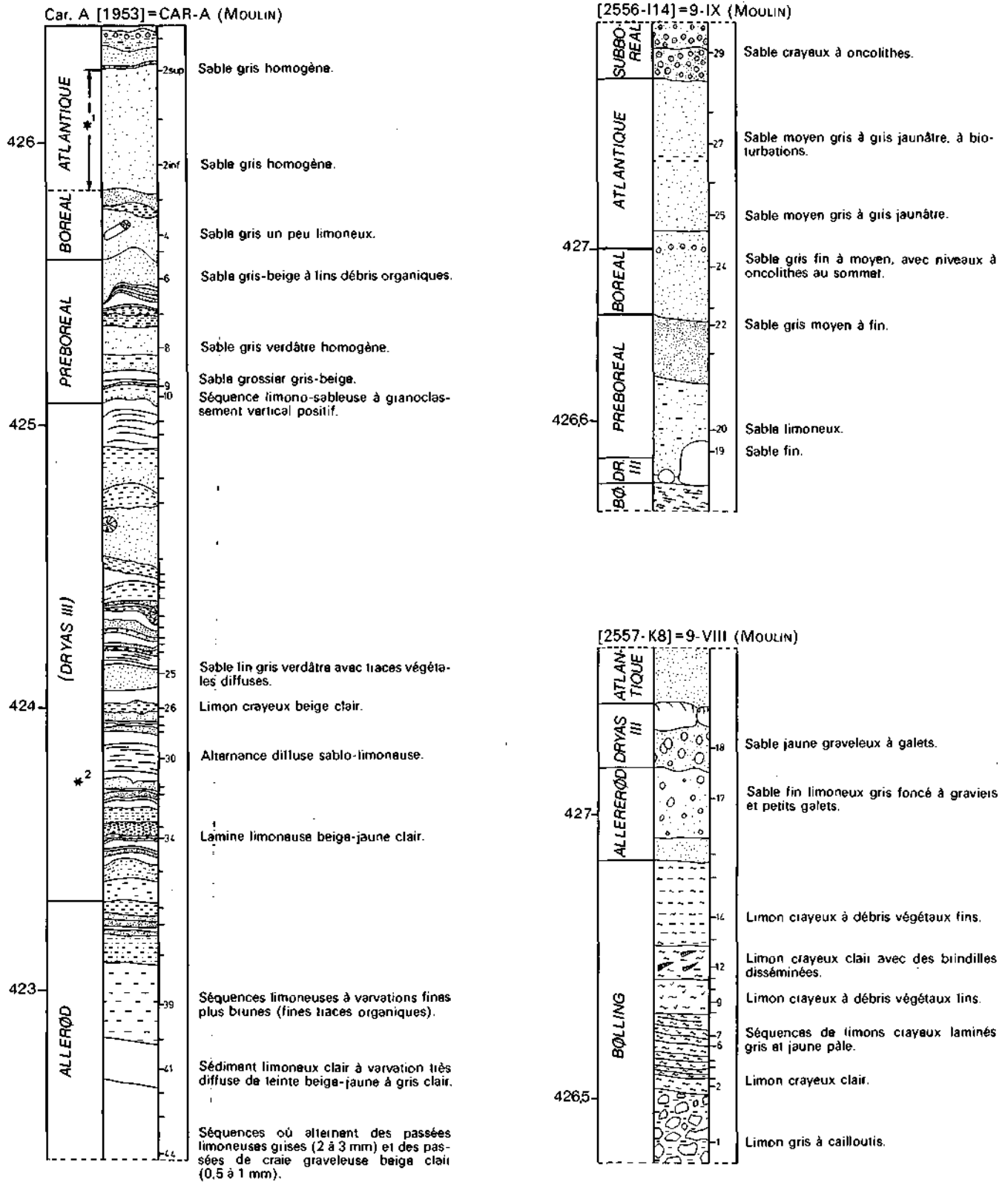


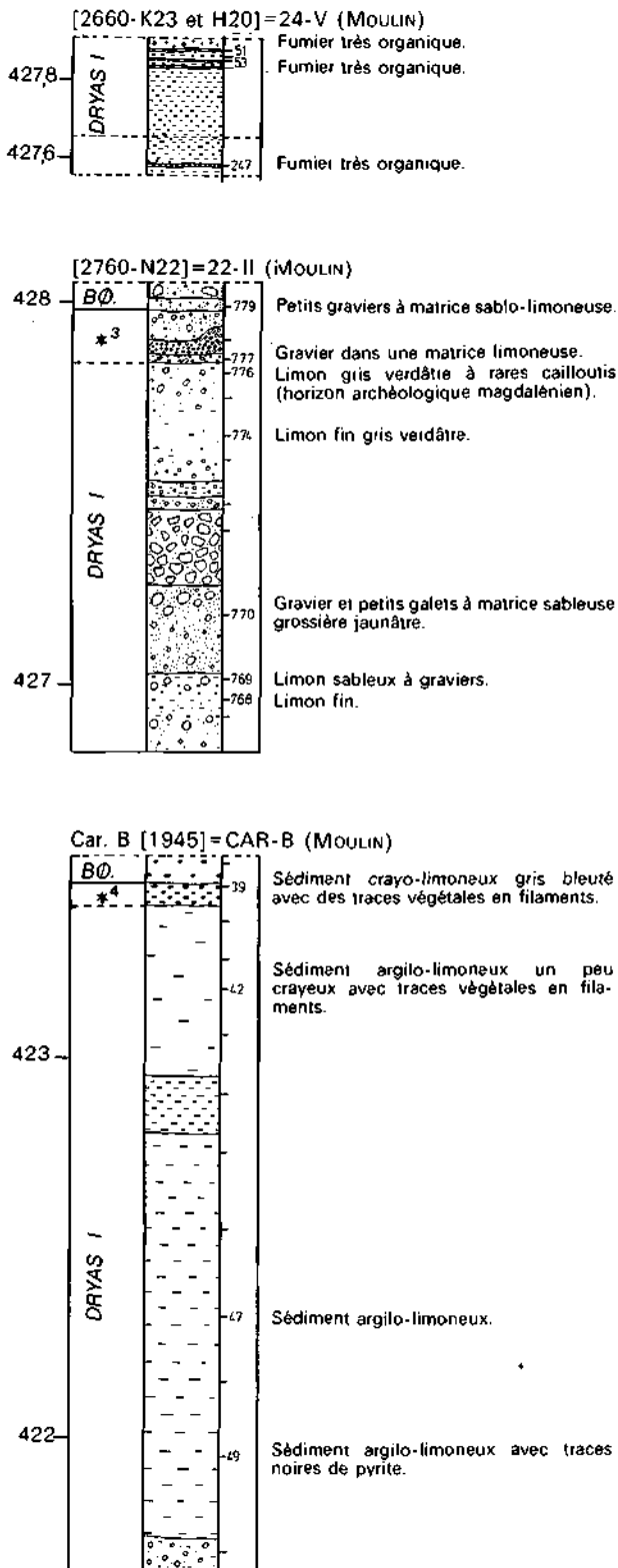
Fig. 8. Description lithostratigraphique des profils étudiés dans le Bronze final et dans la couche 6.



*1 cette partie appartient encore au Boréal

*2 cette séquence sédimentaire pourrait cependant encore appartenir à l'Allerød

Fig. 9. Description lithostratigraphique de la carotte A et des profils tardiglaciaires et postglaciaires riverains.



- *3 cet ensemble appartient déjà au Bølling
*4 cette strate appartient à l'extrême fin du Dryas I, voire au début du Bølling (phase à genévrier)

Fig. 10. Description lithostratigraphique des profils étudiés dans le site paléolithique et du bas de la carotte B.

Dates

Les sédiments étudiés ont été datés par divers moyens : palynologie, radiocarbone 14, dendrochronologie et corrélations sédimentaires. Les dates citées dans ce travail sont reprises de manière synoptique sur la figure 1. Les chronozones polliniques standardisées (WELTEN 1982) sont utilisées comme référence sur les profils (fig. 8-10) et sur les graphiques des reconstitutions (fig. 11, 14 et 21). Les zones polliniques locales citées dans le texte, permettant l'attribution des sédiments aux chronozones standardisées, ont été étudiées par M.-J. Gaillard. Ses travaux font le point des résultats et incertitudes rencontrés dans ce domaine.

Quelques dates absolues, obtenues par dendrochronologie de bois horizontaux et chutes de taille (BENKERT et EGGER 1986, BURRI et al. 1987) sont utilisées ici.

- Les couches 5, 4 et 3 : de 1050 à 1030 av. J.-C. ;
- la couche 03 : aux alentours de 960 av. J.-C. ;
- le gisement néolithique Cortaillod : de 3810 à 3793 av. J.-C. ;
- le gisement néolithique Horgen : de 3200 à 3110 av. J.-C.

La couche 04 a été située entre 1030 et 990 av. J.-C., par positionnement stratigraphique (MOULIN, à paraître).

Les niveaux archéologiques du Magdalénien et de l'Azilien ont été datés au radiocarbone 14 sur charbons de bois, par le Laboratoire ¹⁴C des Instituts de géographie de l'Université de Zurich et de physique de l'École polytechnique fédérale de Zurich.

Ces dates sont données en années BP (*before present*), signifiant qu'elles sont relatives à l'époque actuelle. Pour des raisons de précision de mesure et de comparaison, les laboratoires ont choisi 1950 après J.-C. comme repère fixe pour l'époque actuelle (LABEYRIE 1976). BP signifie donc avant 1950. Le niveau magdalénien, évoqué ici, date d'environ 12 700 BP et le niveau azilien d'environ 12 300 BP.

Description sédimentologique

La description lithologique des échantillons étudiés se trouve sur les figures 8 à 10, en regard, à droite de la représentation des profils. Une description plus détaillée des profils échantillonnés est donnée dans les travaux de Bernard Moulin.

Reconstitutions paléocéologiques

Niveaux trophiques des eaux

Etats trophiques

L'état trophique de l'eau exprime sa charge de matières nutritives (qualitativement et quantitativement), mesure indirecte de la biomasse qu'elle peut produire. Une eau pauvre en matières nutritives (sels minéraux et matières organiques) est dite oligotrophe. Une eau riche est dite eutrophe. Au cours de son histoire, un lac alcalin passe naturellement du premier état au second par un enrichissement dû aux apports des eaux de ruissellement (érosion). Dans certaines conditions géologiques, des lacs peuvent subir le processus inverse. L'état trophique d'une eau est donc un équilibre dynamique, dont les deux extrêmes, dans les lacs naturels, sont l'oligotrophie et l'eutrophie. Dans un lac oligotrophe, la biomasse produite étant faible, le taux d'oxygène consommé par les processus de minéralisation est faible également. Dans un lac eutrophe, au contraire, à cause de la masse d'organismes vivants produite, les phénomènes de minéralisation consomment de très grandes quantités d'oxygène. En général même, la quantité d'oxygène utilisée est plus grande que celle amenée à l'eau (photosynthèse et bilan des échanges air/eau). Il s'ensuit un déficit d'oxygène dissous pouvant même, dans les eaux profondes, conduire à une anaérobiose. Dans cette tendance, la sédimentation est plus intense, entraînant un comblement plus rapide du lac. On reconnaît un état intermédiaire (mésotrophie), dans lequel le déficit d'oxygène est faible (0,5 à 1 mg O₂ dissous par cm² et par mois selon DUSSART 1966). Globalement, le lac de Neuchâtel serait encore dans cet état actuellement.

En région littorale (partie riveraine de la zone trophogène), les eaux sont en général plus eutrophes qu'en région pélagique, par contact direct avec le sédiment et les terrains riverains émergés.

L'eutrophisation des eaux peut également être provoquée par l'homme (eutrophication), par introduction

de substances fertilisantes (matières fécales et décharges). C'est le phénomène principal résultant actuellement de ce qu'on appelle communément « pollution » par les eaux résiduelles urbaines. Des eaux très riches en matières organiques sont qualifiées de polytrophes ou même d'hypertrophes lorsqu'elles contiennent des substances inorganiques réduites comme NH₄⁺ ou H₂S (SLADECECK 1973). Dans ces cas, la biomasse algale est même limitée au profit d'une biomasse bactérienne diversifiée.

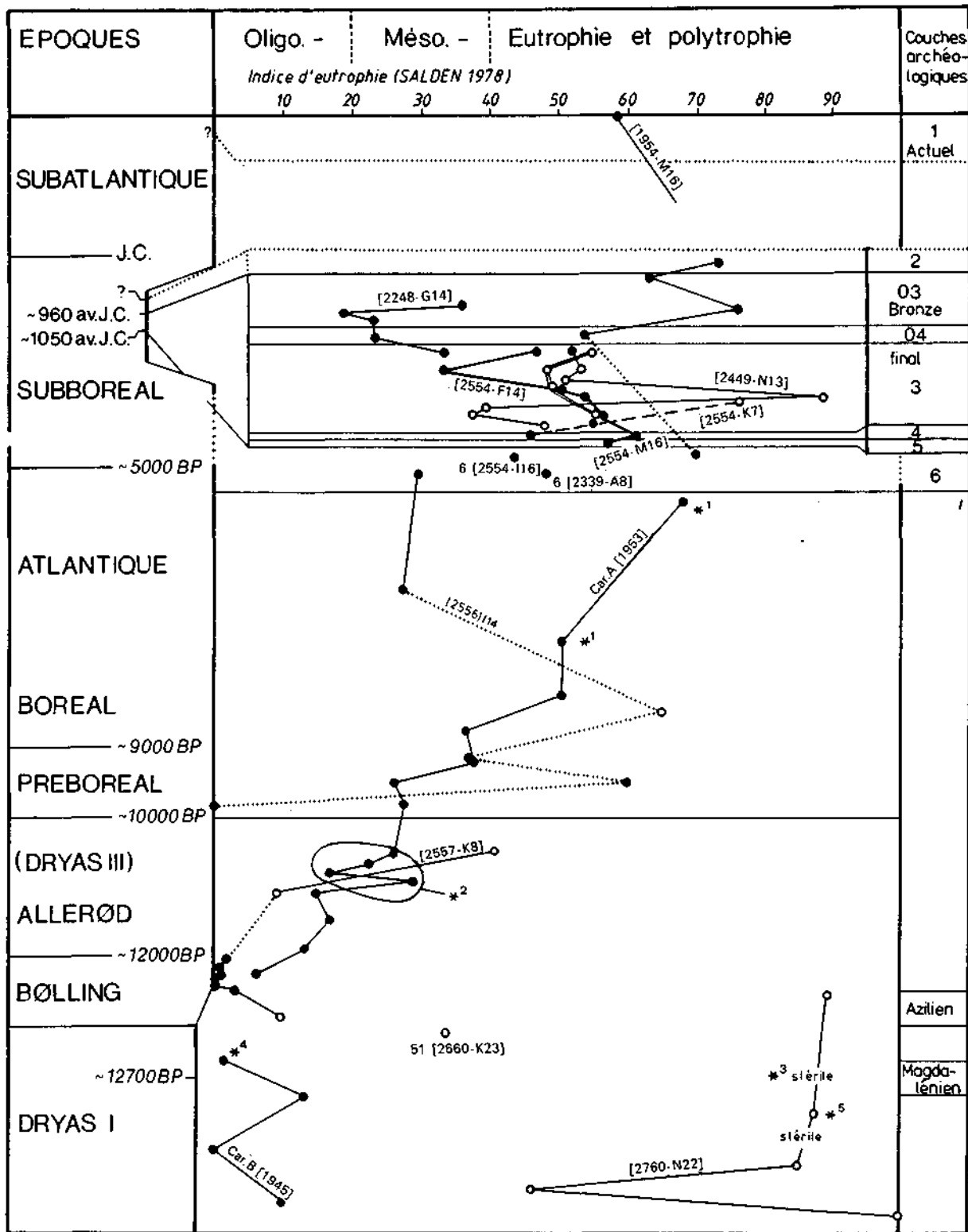
En paléocéologie des eaux littorales, le niveau trophique révélé par l'étude des sédiments sera donc tributaire de quatre facteurs intimement liés :

- âge du lac ;
- proximité de la rive ;
- impact humain ;
- climat.

Histoire des niveaux trophiques sur le site

Pour suivre les variations de cet aspect de la qualité des eaux, j'ai choisi l'indice E d'eutrophie (SALDEN 1978), consistant simplement en la somme des fréquences relatives, dans chaque assemblage observé, des espèces communément trouvées en eaux eutrophes. Les valeurs particulières de cet indice sont distribuées par rapport au temps sur la figure 11. La tendance générale d'eutrophisation est donnée particulièrement par l'évolution de l'indice au sein des végétations limniques (cercles pleins) : d'oligo-mésotrophes au Tardiglaciaire, les eaux littorales deviennent progressivement eutrophes au cours de l'Holocène, jusqu'à l'époque actuelle.

Cette progression de l'eutrophie, plutôt liée au vieillissement du lac et au réchauffement global du climat, n'est pas affectée par les oscillations froides reconnues pour le Tardiglaciaire. Cela pour deux raisons possibles : soit les sédiments de ces époques (Dryas ancien et Dryas récent) manquent ; soit l'inertie des systèmes



- *1 cette partie appartient encore au Boréal
 - *2 cette séquence sédimentaire pourrait cependant encore appartenir à l'Allerød
 - *3 cet ensemble appartient déjà au Bølling.
 - *4 cette strate appartient à l'extrême fin du Dryas I, voire au début du Bølling (phase à genévrier)
 - *5 horizon magdalénien
 - végétations limniques
 - végétations aérophiles eu littorales à supralittorales
- Epoques: la subdivision est basée sur les zones polliniques locales élaborées par M.-J. Gaillard.

Fig. 11. Distribution (au cours du temps) des indices E d'eutrophie calculés à partir des végétations diatomiques des sédiments.

aquatiques alcalins empêche ces fluctuations climatiques de s'exprimer sur le plan trophique de l'eau. Cela permet, en outre, d'indiquer que les végétations trouvées ici semblent être de meilleurs indices de niveaux trophiques que de températures. En effet, elles sont formées essentiellement d'espèces cosmopolites eurythermes. Pour aborder les questions de fluctuations thermiques, les mesures isotopiques O^{18}/O^{16} des silicates de ces organismes (BINZ 1984, LABEYRIE et al. 1984) paraissent être mieux adaptées, bien qu'elles posent encore de nombreux problèmes, en particulier dans le domaine lacustre.

L'oligotrophie relevée au Dryas ancien inférieur, dans le bas de la carotte B, correspond au type de sédiments limono-argileux pauvres en concrétions biocarbonatées. Ce genre d'état trophique de l'eau est certainement lié à des eaux froides, ne recevant que peu de nutriments (phosphates et nitrates) du bassin versant. Ces observations correspondent aux modèles climatiques reconnus en général pour cette période, à savoir un climat continental froid (BIRKS 1986).

Les pH relevés par ces flores oligotrophes sont très variables (zone diatomique A et fig. 13). Ce phénomène peut être mis en relation avec la pauvreté ionique des eaux, en particulier avec les taux bas de carbonates, n'assurant pas un bon pouvoir tampon. Ces variations sont aussi liées, probablement, à de fortes variations des populations d'ostracodes et de characées, observées dans les mêmes sédiments par Bernard Moulin et Jacques Léopold Brochier.

Bien que les valeurs obtenues par les échantillons prélevés sur le gisement paléolithique n'aient aucune valeur statistique (populations comptées beaucoup trop faibles), elles indiquent, en corrélation avec l'interprétation générale proposée, les fortes eutrophies des milieux émergés. Cette eutrophie semble naturelle, liée aux détritiques végétaux, car les taxons trouvés (*Amphora montana*, *Achnantes lanceolata*, *Nitzschia dissipata* et *Nitzschia pusilla*) ne sont pas typiques des milieux dégradés par les animaux et l'homme.

Les échantillons du Bronze final témoignent d'une eutrophie moyenne, indiquant que les sédiments fortement anthropiques de cette époque ont été aussi influencés par le lac. Les échantillons 311C [2554-K7], 3XVF₂ [2449-N13] et 04 [1954-M16] révèlent, particulièrement par leur composition floristique (*Nitzschia palea*, *Nitzschia gandersheimiensis*, *Nitzschia frustulum*, *Diatoma vulgare* et *Surirella ovata*), des conditions de polytrophie liées aux déjections humaines et animales. Ces observations permettent de se faire une assez bonne idée des odeurs qui devaient parfois planer dans le village, réalités souvent difficiles à appréhender en archéologie! La présence de pupes de mouches fossilisées et de coprolithes confirme ces interprétations (Moulin, com. orale).

La moins grande eutrophie de l'échantillon 04 [1954-M16], corrélée aux autres échantillons pris dans les couches 03 et 04 indiquerait une certaine influence lacustre (les eaux du large, moins eutrophes, venant diluer celles du bord, en contact avec les sédiments anthropiques). Ce constat met en question l'hypothèse

d'un abaissement du niveau moyen du lac pendant la construction de la zone basse du village Bronze final.

La très grande variabilité des valeurs obtenues dans les couches 5 à 03 reflète la structure en mosaïque des sédiments de ce village, plus ou moins terrestres, phénomène typique de la région littorale située en plein intervalle de fluctuation de niveaux du lac.

Les phases limniques achevant la sédimentation du Bronze final (03e et 2 [1954-M16]) indiquent de très fortes eutrophies, liées probablement au remaniement des derniers niveaux anthropiques que ces transgressions ont érodés.

Les variations d'alcalinité des eaux

Le pH en eaux alcalines

Dans les eaux des régions calcaires, le pH est basique, tamponné vers 8,2 à 8,4 par l'équilibre des carbonates tributaire de la pression de CO_2 dissous (DUSSART 1966). L'activité photosynthétique tend à augmenter ce pH par consommation du CO_2 , produisant des pH de 8,5 à 9,0 particulièrement en été, lors de la croissance des populations d'algues. En hiver au contraire, l'activité respiratoire étant plus intense que l'activité photosynthétique, le pH a tendance à baisser, même jusqu'à 7,5, grâce au dégagement de CO_2 . En zone littorale, l'apport terrigène et anthropique est constitué en bonne partie de matière organique, favorisant la respiration et les fermentations. Cette influence a donc tendance à abaisser le pH. L'activité lacustre, au contraire, amenant de l'eau bien tamponnée du large, riche en organismes photosynthétiseurs, aura tendance à augmenter le pH.

Les diatomées et le pH

Les diatomées sont sensibles au pH. Un classement des espèces en fonction de leur préférence face à ce paramètre avait déjà été proposé par HUSTEDT 1937-38. Beaucoup d'auteurs nordiques ont repris et affiné ce système au cours de ces dix dernières années, dans le cadre de leurs recherches sur l'acidification des lacs, en rapport avec les problèmes de pollution atmosphérique. Ils ont montré que les assemblages actuels de diatomées sont des témoins très précis des pH mesurés. Plusieurs indices, calculables à partir des végétations, ont été proposés et utilisés pour reconstruire l'histoire du pH dans des sédiments lacustres récents. Une revue de leurs travaux a été publiée en 1984 par Richard Batterbee, où il propose d'employer l'indice B de RENBERG et HELLBERG 1982. Une révision critique détaillée du classement des espèces, des différences régionales et des possibilités d'utilisation est amorcée au sein d'un groupe de travail, fondé au VII^e Symposium International sur les diatomées, Paris, août 1984, présidé par R. Batterbee. Un document provisoire, qui reflète ces travaux, a déjà été publié (BATTERBEE 1985). Plus récemment, une série d'articles originaux, traitant des

acidifications secondaires des lacs, ont été réunis (SMOL et al. 1986). Pour reconstruire le pH à partir d'un assemblage de diatomées, il faut d'abord répartir les espèces en cinq classes, en fonction de leur comportement reconnu empiriquement dans la nature :

1) Acidobiontes (Acb): espèces qui apparaissent à un pH plus petit que 7, avec un développement optimal à un pH de 5,5 et en-dessous.

2) Acidophiles (Acp): espèces qui apparaissent à un pH d'environ 7, mais avec un développement optimal à un pH plus bas.

3) Neutrophiles (Neu): espèces dont l'optimum de développement se trouve à un pH d'environ 7.

4) Alcaliphiles (Alcp): espèces qui apparaissent à un pH d'environ 7, mais avec un développement optimal à un pH plus élevé.

5) Alcalibiontes (Alcb): espèces qui n'apparaissent qu'à un pH plus élevé que 7.

Pour calculer le pH, RENBERG et HELLBERG 1982 proposent l'indice suivant :

$$\text{Indice B} = \frac{\% \text{ Neu} + 5 (\% \text{ Acp}) + 40 (\% \text{ Acb})}{\% \text{ Neu} + 3,5 (\% \text{ Alcp}) + 108 (\% \text{ Alcb})}$$

qui est proportionnel au pH selon la relation suivante :

$$\text{pH} = 6,40 - 0,85 \log \text{ indice B}$$

Cette fonction de transfert comporte une erreur standard de + 0,3 unité de pH, dans les sites étudiés par ces auteurs. L'application de cette formule aux végétations d'Hauterive-Champréveyres est sans doute moins bonne, car elle n'est pas calibrée régionalement sur des observations récentes. D'autre part, interviennent dans plusieurs végétations subfossiles certains taxons dont on ne connaît pas l'autoécologie. Cela est particulièrement le cas dans les échantillons 24 [2556-I16], 39 et 42 [1945] de la carotte B et 776, 769 et 768 [2760-N22]. Les résultats obtenus dans ces cas sont indiqués entre parenthèses sur la figure 13. Enfin, certaines populations résultent de mélanges de flores, souvent en bonne partie érodées (profils tardiglaciaires). Dans ces cas, les résultats sont à prendre sous toute réserve.

En cours de fouilles, des pH ont été mesurés dans les sédiments par le laboratoire de préhistoire de l'Université de Bâle, sur 1 g d'échantillon tamisé à 0,5 mm (fraction fine), mélangé à 2,5 ml de KCl 1M, laissé au repos pendant trois heures. Ces pH actuels — qui manquent pour les carottes A et B et pour le profil [2449-N13] — ont été distribués (fig. 12) par rapport aux pH reconstitués (= pH de l'époque de sédimentation) à partir des végétations diatomiques.

Les pH mesurés dans les fumiers et chapes peu remaniés au Bronze final sont en général — sauf 31C [2554-F14] — de 0,0 à 0,3 degrés moins basiques que les pH anciens. Dans les sables, limons et fumiers remaniés, l'écart est un peu plus important, la diminution de la basicité au cours du temps étant marquée par des écarts de 0,3 à 1,0 degrés de pH.

Il est intéressant de constater que, paradoxalement, les sédiments les moins riches en carbonates semblent

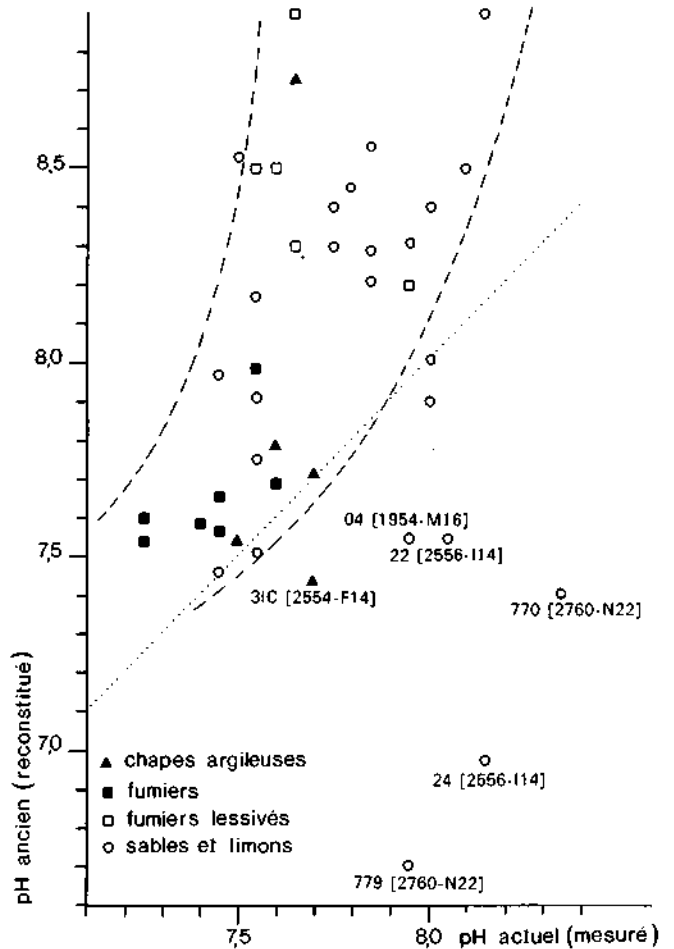


Fig. 12. Distribution des pH reconstitués (pH anciens) face aux pH mesurés (pH actuels) dans les sédiments. Une déviation régulière et générale vers l'acidification est mise en évidence.

avoir été les plus stables au cours du temps, au point de vue du pH. D'autre part, il est étonnant que la déviation de pH des sédiments limniques riches en carbonates se soit produite plutôt vers l'acidification. Est-ce une particularité des sédiments littoraux influencés par les lessivages terrestres? La question reste ouverte; seules des études sédimentologiques plus détaillées de cette région des lacs apporteront une réponse.

Quelques échantillons, par contre, présentent une déviation laissant supposer une basification de 0,5 à 1,5 degrés de pH au cours du temps. Les positions des échantillons 31C [2554-F14] et 770 [2760-N22] sont probablement sans signification, car les pH anciens ont dû y être calculés sur des populations résiduelles très petites. Les échantillons 04 [1954-M16] et 22 [2556-I14] contiennent des flores mélangées et résiduelles, qui rendent leur signification aléatoire. Seule la déviation de l'échantillon 779 [2760-N22] a probablement une signification. C'est la présence, en très grande quantité (69%), de *Nitzschia pusilla*, reconnue comme neutrophile, qui abaisse le pH reconstitué vers l'acidité. Cette valeur correspond à l'interprétation terrestre faite de cette végétation, témoin d'un microhabitat de flaque supralittorale. La déviation indique que ce sédiment a été alcalinisé secondairement par le lac, lorsque le site paléolithique a été inondé.

Les pH des paléomilieux

Sur la figure 13, les pH reconstitués sont distribués selon l'ordre des échantillons obtenus par analyse de similitude des végétations observées (fig. 20), de laquelle j'ai dégagé les zones diatomiques, représentées par des lettres majuscules. Le modèle de variation du pH, évoqué à la page 35, s'applique bien à toutes les interprétations proposées (p. 39) pour les phases de sédimentation subboréale et subatlantique. Les phases de sédimentations anthropiques, aérophiles (R1-R6, fig. 20) se sont déroulées dans l'intervalle de pH de 7,5 à 7,8, c'est-à-dire à presque 1 degré de pH plus bas que celui de l'équilibre des carbonates; il indique de plus que ces sédiments se sont déposés très près de la surface, ou même à l'air libre, que les flores diatomiques qu'ils contiennent sont originelles et que le lac les a peu remaniés.

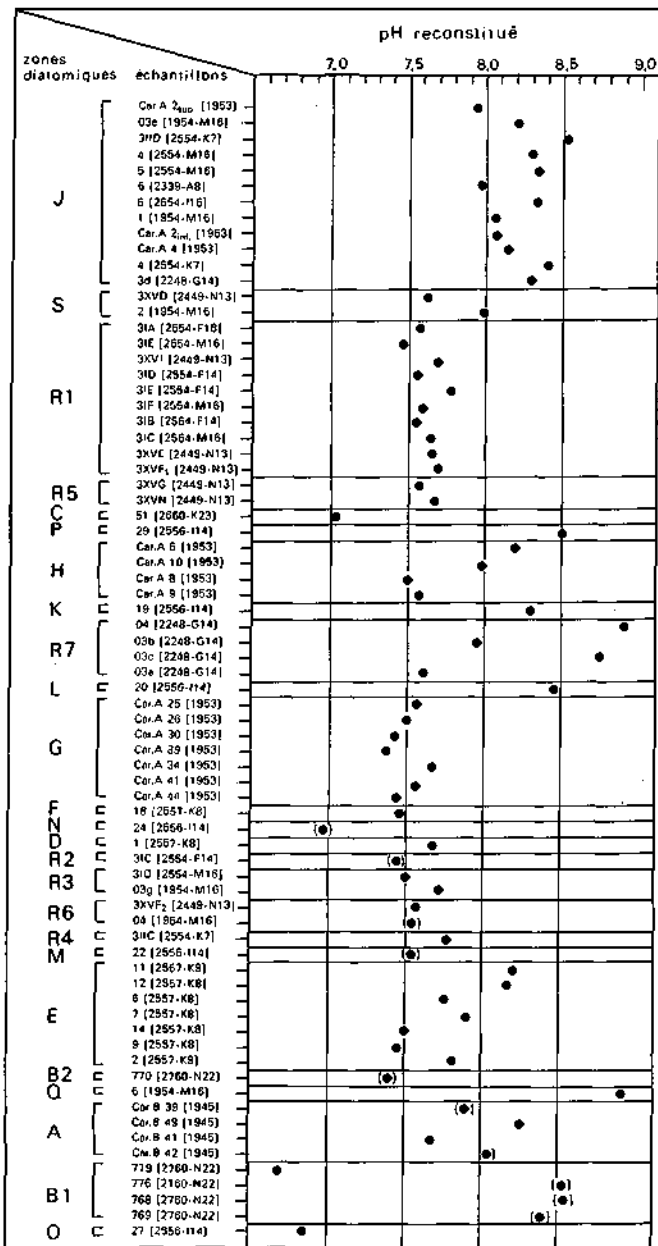


Fig. 13. Distribution des pH reconstitués par zones diatomiques.

Au contraire, les zones diatomiques, témoins de transgressions lacustres (J, S, P et Q) pendant cette période, révèlent des pH situés entre 7,9 et 9,0. L'apport basique du lac est ainsi bien mis en évidence. La zone diatomique R7 comprend des végétations démontrant une forte activité lacustre. Cela correspond à l'interprétation floristique et indique ainsi que ces fumiers, datant de la seconde phase de construction du Bronze final (couche 03), se sont probablement déposés dans l'eau; l'hypothèse d'un abaissement supplémentaire du niveau du lac à cette époque est remise en cause.

Les zones diatomiques plus anciennes sont moins cohérentes au point de vue du pH. Dans les cas soupçonnés de mélanges révélateurs de forts hydrodynamismes (E, M, L et G), les pH très variables ou contraires au modèle (dérive d'espèces aérophiles), renforcent l'interprétation. Les zones C, K, F, D, B2 et l'échantillon 779 [2760-N22] de la sous-zone B1 présentent des pH en accord avec l'interprétation. Les pH variables de la zone diatomique A (Dryas ancien inférieur de la carotte B) sont expliqués à la page 35. Par contre, les interprétations terrestres de certains échantillons de la sous-zone B1 ou limniques de la zone H (Préboréal et Boréal de la carotte A) sont en complète contradiction avec les pH reconstitués. Ces interprétations sont donc à prendre avec réserve.

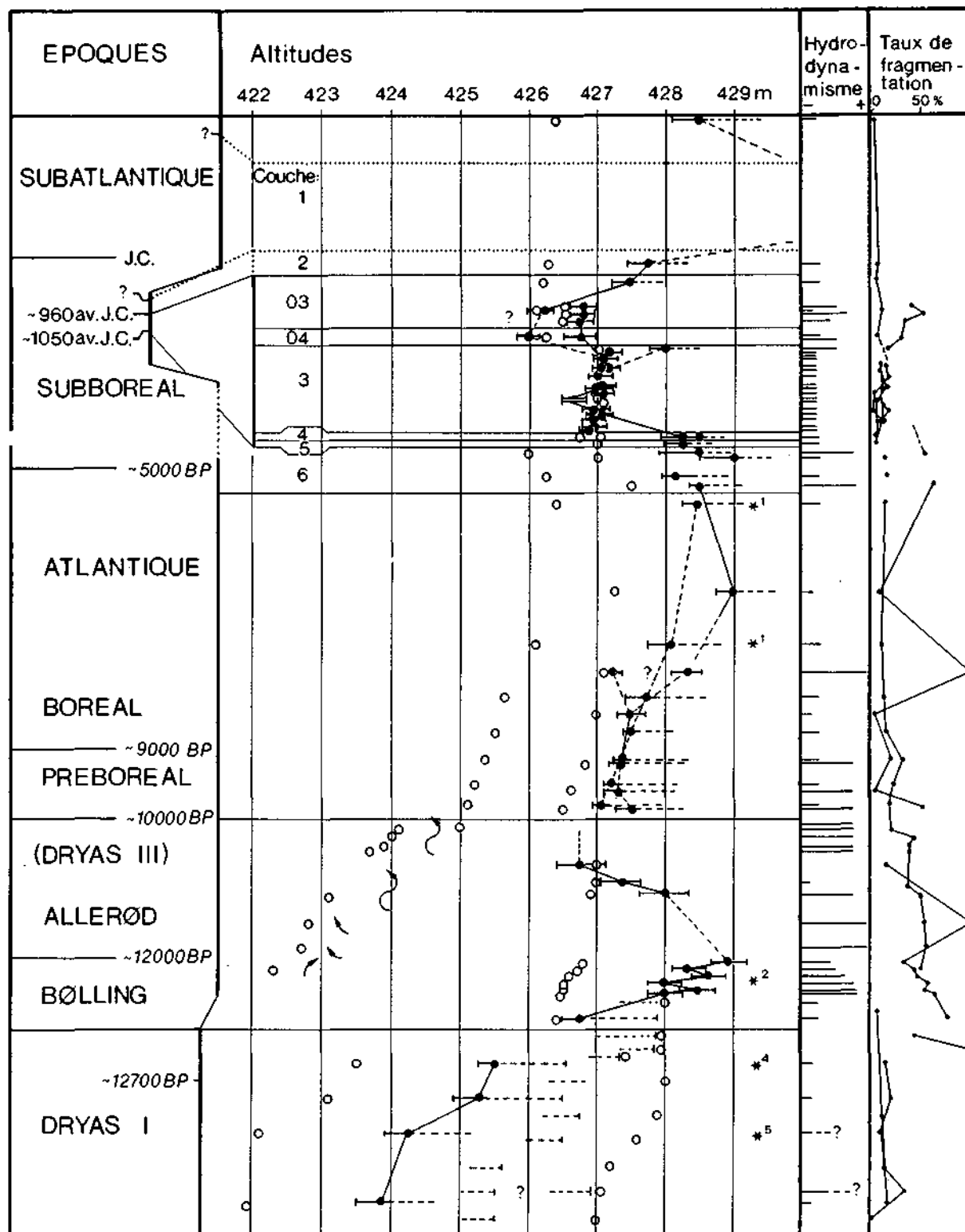
Le cas de la zone O, observée une seule fois dans l'échantillon 27 [2556-I14] datant de l'Atlantique, est particulier. Cette zone représente une végétation à *Cyclotella comta*, interprétée d'habitude comme nettement limnique; or, elle livre un pH reconstitué de 6,85 — signifiant dans le contexte d'Hauterive-Champréveyres une influence terrestre! Cela, une fois de plus, met en cause les connaissances autoécologiques que nous possédons sur les cyclotelles.

Reconstitution des mouvements de l'eau

Les interprétations bathymétriques et hydrodynamiques obtenues par l'analyse des végétations diatomiques sont résumées et distribuées par rapport au temps sur la figure 14. Les niveaux moyens du lac sont représentés par un point situé dans un intervalle. Cet intervalle ne représente pas l'amplitude des fluctuations, mais le niveau d'incertitude de l'interprétation. En reliant ces points, on obtient l'allure schématique des fluctuations du lac au cours des phases polliniques reconnues.

Au cours du Dryas ancien inférieur, d'un niveau situé très bas — vers 424 à 425 m — laissant le site paléolithique à l'air libre, le lac passe à une cote supérieure, située vers 426 m. A la fin de cette époque, les fluctuations maximales atteignent probablement 428 m, contribuant ainsi au recouvrement des restes du campement magdalénien. Ces eaux paraissent calmes, car les populations de diatomées sont peu mélangées. Ces conclusions s'accordent bien avec celles de la sédimentologie.

Pendant le Bølling, cette hausse s'accroît, le lac recouvrant tout le site paléolithique pour atteindre une cote située entre 428 et 429 m. L'hydrodynamisme est



- *1 cette partie appartient encore au Boréal
 - *2 cette séquence sédimentaire pourrait cependant encore appartenir à l'Allerød
 - *4 cette strate appartient à l'extrême fin du Dryas I, voire au début du Bølling (phase à genévrier)
 - *5 horizon magdalénien
 - niveau moyen du lac proposé avec l'intervalle d'incertitude
 - altitude des échantillons
 - interprétations en terme de tendance pour le bas de la carotte A.
- Epoques: la subdivision est basée sur les zones polliniques locales élaborées par M.-J. Gaillard.

Fig. 14. Fluctuations proposées du niveau du lac de Neuchâtel et variations d'hydrodynamisme, du Dryas ancien inférieur à l'époque actuelle, sur la base des analyses diatomiques.

fort, témoin possible d'un climat changeant, pluvieux et orageux. Après une comparaison détaillée entre les propositions bathymétriques de B. Moulin pour cette époque, et les interprétations obtenues à partir de l'analyse diatomique, les deux points de vue entrent en corrélation de la manière suivante: les basses eaux évoquées ici correspondent aux maxima des basses eaux déduits par B. Moulin, et les hautes eaux dont il est question ici équivalent aux minima des hautes eaux qu'il propose (MOULIN, à paraître). Cela revient à dire que les fluctuations de niveau sont relevées dans le même sens par les deux approches, mais leur amplitude est probablement sous-estimée par l'analyse diatomique.

A la fin du Tardiglaciaire, la situation est moins nette, car les eaux sont probablement fort agitées. Localement, la zone littorale est influencée par plusieurs cours d'eau comblant successivement de petites criques. Cette activité est sans doute à l'origine des taux de fragmentation très élevés (environ 50%) des frustules de diatomées, même en sédimentation profonde; responsable, aussi, des fréquences élevées de diatomées aérophiles et épiphytiques sédimentant si loin du rivage (carotte A).

Il semble cependant qu'un abaissement (brusque ou progressif?) ait eu lieu et que le lac ait fini par se stabiliser autour d'une cote moyenne, située vers 426,5 à 427 m. Cette dernière cote est en particulier donnée par l'altitude d'une plage de galets, masquant la transition stratigraphique entre le Tardiglaciaire et l'Holocène.

Du Préboréal à l'Atlantique, les restitutions des anciens niveaux du lac ne sont que très hypothétiques. D'une part, les végétations H et J, trouvées dans le haut de la carotte A, sont trop banales pour permettre une interprétation précise. D'autre part, le profil plus riverain [2556-114] présente trop de lacunes et contient des végétations en mauvais état de conservation ou mélangées. Tout au plus, on peut relever un lac haut, avec un niveau moyen vers 428,5 m (interprétation sédimentologique de B. Moulin), fluctuant. L'hydrodynamisme paraît relativement fort.

La transition Atlantique/Subboréal est figurée par une couche limonosableuse à oncolithes (couche 6), témoin d'un niveau du lac élevé. La végétation diatomique (zone diatomique J) observée se développe sous au moins 2 m d'eau, ce qui indiquerait une cote moyenne située au moins à 428,5 m. D'après la sédimentologie, cet horizon indique une cote moyenne située au moins à 430 m.

Si, au début du Bronze final (couches 5 et 4), le lac est encore haut (vers 428 à 429 m), remaniant probablement les vestiges d'une première installation humaine (en accord avec les macrorestes végétaux), son niveau moyen baisse brusquement jusqu'à 426,5 à 427 m pendant la première phase de construction du village (couche 3, zones A et B, 1050 à 1030 av. J.-C.). Plusieurs signes d'assèchement sont visibles: végétations diatomiques très aérophiles, liées aux déjections animales et humaines; traces de piétinement; eaux de ruissellement riches en matières organiques. Un autre signe, révélateur d'assèchement possible à cette époque,

est la comparaison entre les échantillons 3XVF₁ et 3XVF₂ [2449-N13]. En effet, l'échantillon 3XVF₂ provient des restes de bouses de ruminants. Il porte une végétation (R6) de milieux polytrophes. Or, le sédiment organique 3XVF₂, dans lequel se trouvent ces vestiges très fertiles ne porte qu'une végétation normale, révélant que les nutriments des bouses n'ont pas diffusé aux alentours. Cela ne se serait pas produit si ce type de dépôt s'était réalisé directement dans l'eau.

Mais l'assèchement n'a probablement pas été général ou constant, car les végétations-types (R1) des sédiments anthropiques sont trop luxuriantes et encore trop riches en indices limniques. Elles indiquent une présence de 0 à 0,5 m d'eau calme. La répartition en mosaïques des végétations trouvées révèle une forte irrégularité des conditions microécologiques, ce qui situe la zone de fluctuation du niveau de l'eau. Cette zone est en général irrégulièrement occupée par des dépressions et atterrissements en forme de buttes. Lors d'une petite inondation, certaines buttes restent émergées, tandis qu'alentour les dépressions se remplissent d'eau et deviennent le siège d'un développement algal massif, particulièrement au contact de matériaux eutrophes.

La couche 04, déposée ultérieurement (entre 1030 et 990 av. J.-C.), de caractère plus limnique, montre qu'au bas du site l'activité lacustre est plus marquée et que les eaux s'y enrichissent de nutriments provenant du lessivage par ruissellement des dépôts anthropiques situés en amont.

Pendant la deuxième phase d'habitat (couche 03, environ 960 av. J.-C.), les fluctuations de niveau sont moins précises, car un regain d'hydrodynamisme se marque sur l'état des végétations subfossiles. La proposition la moins audacieuse fixerait la cote moyenne du lac vers 426,75 m, bien que des traces de végétations aérophiles soient présentes et en bon état à 426,1 m. Il semble de toute manière qu'un certain abaissement du niveau du lac se soit produit après l'an 1030 av. J.-C., pendant une courte période. On peut aussi imaginer que les fluctuations lacustres aient été plus grandes, permettant la construction au bas du site, pendant les périodes d'étiage.

Cette période prend fin par une élévation marquée du niveau du lac, autour de 428 m au moins, non datée (couche 2). Entre cette couche et la couche sableuse 1, datant de notre siècle, une lacune sédimentaire couvre toute la période historique. Le lac atteignait la cote moyenne de 432 m avant les corrections des eaux du Jura (SOLLBERGER 1974), alors qu'actuellement il est stabilisé à 429,30 m. Si l'on essaie de comparer les propositions de niveaux du lac de Neuchâtel présentées ici avec celles de LÜDI 1935, reprises par MÜLLER 1973 qui tente de les justifier, on ne trouvera pas beaucoup de points communs. La seule corrélation est le bas niveau du lac à l'époque du Bronze final, encore que la cote moyenne proposée ici soit de 0,5 à 1 m plus basse que celle de Lüdi (427,5 m). Pour les époques précédentes, les datations polliniques de LÜDI 1935 sont dépassées et ne peuvent pas être utilisées comme repères. Les cotes proposées ici au Bronze final sont plus basses que celles données par MAGNY 1979 pour les mêmes périodes.



Vue latérale de l'emplacement du village du Bronze final et de la tubulure métallique définissant les secteurs de fouilles. A l'arrière-plan gauche, se trouve la plage actuelle de galets (429 m) et la forêt riveraine.

Essai de description des paysages riverains au cours du temps

Mise en garde

Les paysages décrits dans ce chapitre proviennent des images mentales qui se sont constituées peu à peu en cours de recherche, grâce en particulier aux nombreuses discussions que j'ai eues avec les autres membres de l'équipe de fouille, dont les observations m'ont permis de tester la probabilité de mes reconstitutions.

Dans ce chapitre ne figurent cependant que les données paysagères liées à l'étude des diatomées. En particulier, le lecteur fera bien de se tourner vers le texte de Bernard Moulin (à paraître), dans lequel il trouvera toutes les données concernant l'évolution géomorphologique de la plage d'Hauterive-Champréveyres. En outre, ces propositions sont à prendre sous toute réserve, tant l'imagination de structures paysagères repose sur un vécu, avant de pouvoir se fonder sur une connaissance objective.

Description

D'environ 14 000 à 12 500 ans BP, au Dryas ancien inférieur (phase à saule et herbacées), les niveaux moyens du lac étaient bas (entre 424 et 425 m). La plage immergée avait une forte pente (environ 10%), tandis que la rive, abritant à la fin le campement magdalénien, était moins raide. Cet espace exondé était occupé par des sols humides, des surfaces de ruissellement et de petites flaques piégeant les débris végétaux. Dans ces pièces d'eau, le développement algal était déterminé par une forte eutrophie du milieu. Certaines de ces retenues pouvaient être parfois en contact avec le lac, en période de hautes eaux. Le lac lui-même, plutôt calme, avait des eaux pauvres en nutriments mais, bien que plutôt basiques, encore mal équilibrées par les carbonates.

Le fait de trouver, à si faible distance, des conditions aussi différentes que l'oligotrophie et l'eutrophie

peut choquer la personne habituée aux paysages riverains actuels des lacs alcalins de plaine. Ces lacs, par le degré d'eutrophie qu'ils ont atteint, sont entourés de zones de végétations qui assurent un continuum de milieux entre la forêt riveraine et la pleine eau. Les niveaux trophiques des environnements tendent à se normaliser. Or, au début du Tardiglaciaire, la bordure de ce lac semble plutôt constituée de deux milieux franchement distincts, faisant penser à celle des lacs oligotrophes d'altitude. Leurs eaux froides, dissolvant mal les minéraux, sont peu productives (DUSSART 1966). Au contraire, les flaques supralittorales, surchauffées dès les premiers rayons de soleil (même lorsque le lac est encore gelé), sont riches en nutriments, par apport direct des sols environnants. Elles sont le siège d'une vie animale intense, dépendante d'une forte production algale typique de l'eutrophie.

A la fin de cette période et au début du Bølling (phase à genévrier), il apparaît que les conditions riveraines étaient relativement semblables. Cependant, les niveaux moyens du lac montèrent jusqu'à 426 et 427 m. Le nombre trop faible d'échantillons étudiés empêche de savoir si le passage du Dryas ancien inférieur au Bølling fut brusque ou progressif, au point de vue hydrologique. En tout cas, à la fin du Bølling (phase à bouleau), les eaux du lac ont changé de nature: elles étaient bien équilibrées par les carbonates et commençaient à s'enrichir en nutriments. Le lac entra en crue de manière fluctuante, avec des cotes atteignant au moins 429 m, ce qui eut pour effet d'immerger complètement l'espace occupé par le campement azilien. L'activité fluviale était intense, ce qui, conjointement à l'augmentation de productivité des eaux lacustres, contribua à augmenter le taux de sédimentation, donc à réduire la pente de la plage.

Pendant la fin du Tardiglaciaire (jusqu'à environ 10 000 ans BP), la situation est confuse, car les sédiments sont très remaniés ou ont été érodés. Un fort hydrodynamisme et une activité fluviale intense caractérisaient alors le site. Finalement, un certain retrait du

lac a dû se produire, abaissement confirmé seulement à la fin du Dryas récent, laissant à nouveau la rive exondée. Pendant ce temps, les eaux littorales s'enrichissent progressivement en nutriments, pour devenir franchement mésotrophes. Rien ne semble venir altérer cette tendance, ce qui ferait penser que les oscillations froides au Tardiglaciaire n'ont pas été enregistrées dans la colonne sédimentaire, ou qu'elles ont échappé à nos investigations.

Du début de l'Holocène (environ 10 000 ans BP) jusqu'à l'établissement du village du Bronze final, aucun paysage précis ne se dessine, tant la sédimentation est lacunaire ou influencée par l'activité de ruissellement. Si aucune indication précise des cotes du lac ne peut être donnée, celles-ci devaient globalement dépasser de loin 427,5 m.

Pendant la première phase de construction du village du Bronze final (environ 1050 à 1000 ans av. J.-C.), les niveaux du lac étaient à nouveau bas (vers 427 m), laissant à sec la portion habitée de la rive pendant les périodes d'étiage, et inondant celle-ci lors des crues. Lorsque le lac se retirait, les habitants et les animaux pouvaient parcourir cet espace à pied sec, entre les dépressions remplies d'eaux troubles. Le piétinement empêchait la végétation de se développer. A certains endroits, des déchets et des déjections animales jonchaient le sol. Les périodes de crues, pas très violentes, nettoyaient tout cela et restituaient un sol partiellement autoépuré pour l'étiage suivant.

Plus tard, pendant la seconde période de construction (environ 960 ans av. J.-C.), l'impact du lac semble avoir été plus fort. Soit les eaux de crue séjournèrent plus longtemps sur le site, soit l'amplitude des fluctuations des niveaux du lac était plus grande. La qualité biologique de ces eaux était alors mauvaise, résultant sans doute d'une pollution locale (eutrophication), due à plus d'un siècle de présence humaine. Enfin, une augmentation non datable des niveaux moyens du lac à 428 m, provoque l'inondation de tout ce paysage.

Les sédiments liés à la période historique ayant été érodés, rien ne peut être proposé jusqu'aux descriptions datant du siècle passé, présentant parfois le lac à 432 m (SOLLBERGER 1974), ou les cotes très basses qu'ont connues les lacs du Plateau suisse, et qui ont permis la découverte générale des villages palafittiques (PÉTREQUIN 1984).

Résumé des reconstitutions par échantillon

Carotte B [1945]

- 49 [1945]: zone diatomique A avec un peu d'*Amphora pediculus*. Au moins 2 m de profondeur, eau calme oligotrophe.
- 47 [1945]: zone diatomique A, assemblage à *Opephora martyi*. Sédimentation influencée par les macrophytes, mais calme, à au moins 2 m de profondeur en eau oligotrophe. Le pH peu basique est signe d'un mélange.
- 42 et 39 [1945]: zone diatomique A, assemblages à *Fragilaria pinnata*. Sédimentation profonde, en eau calme oligotrophe. Les pH basiques sont concordants.

Profil [2760-N22]

- 768 [2760-N22]: zone diatomique B1, à *Amphora montana*. Sol eutrophe émergé. Le pH très basique est en contradiction avec cette interprétation.
- 769 [2760-N22]: zone diatomique B1, à *Achnanthes lanceolata* et *Gomphonema*. Environnement terrestre humide avec eau de ruissellement ou proximité de la zone de battement des vagues. Le pH est très basique.
- 770 [2760-N22]: zone diatomique B2 à *Navicula exilis* et *Nitzschia romana*. Environnement subterrestre, eau de ruissellement ou herbes un peu humides. Conditions eutrophes. Le pH restitué est de 7,4.
- 774 [2760-N22]: niveau stérile. Lessivage.
- 776 [2760-N22]: zone diatomique B1, à *Navicula cryptocephala* et *Amphora montana*. Même interprétation qu'en 770. Le pH très basique entre en contradiction avec cette proposition.
- 777 [2760-N22]: niveau stérile (au point de vue des diatomées), correspondant à la couche magdalénienne. Signe de lessivage.
- 779 [2760-N22]: zone diatomique B1, à *Nitzschia pusilla*. Flaque supralittorale eutrophe. Le paléo-pH reconstruit est de 6,7. C'est le paléo-pH le plus acide observé sur l'ensemble du site. Il confirme la nature terrigène de ce sédiment. Ce niveau, chronologiquement proche du gisement azilien, ne peut pas être attribué à cette époque avec certitude, car il est situé entre deux hiatus.

Profil [2557-K8]

- 1 [2557-K8]: zone diatomique D. Interprétation incertaine, faisant plutôt penser à un endroit immergé sous peu d'eau, indiquant un niveau moyen du lac vers 426,7 m. Un certain mélange de flores, l'influence des macrophytes aquatiques et l'interprétation sédimentologique laissent supposer un niveau plus élevé. Eaux calmes oligo-mésotrophes.
- 2 [2557-K8]: zone diatomique E. Environ 1,5 m d'eau, influencée par les macrophytes à cause d'un fort hydrodynamisme. Niveau moyen du lac: vers 428 m. Oligotrophie (?).
- 6 [2557-K8]: zone diatomique E. Environ 2 m d'eau; sinon, semblable à l'échantillon 2. Niveau du lac: vers 428,5 m.
- 7 [2557-K8]: zone diatomique E. Environ 1 m d'eau; sinon, semblable à l'échantillon 2. Niveau du lac: vers 428 m.
- 9 [2557-K8]: zone diatomique E. Comme l'échantillon 6. Légère augmentation du niveau du lac.
- 12 [2557-K8]: zone diatomique E. Comme l'échantillon 7. Niveau du lac: vers 428,2 m.
- 14 [2557-K8]: zone diatomique E. Comme l'échantillon 6. Niveau du lac: vers 429 m.
- 17 [2557-K8]: zone diatomique E. Végétation très érodée et mélangée, liée peut-être à un très fort hydrodynamisme influençant la sédimentation de ce sable, seul représentant de l'Allerød dans ce profil. Niveau du lac: vers 428 m, en accord avec la sédimentologie.
- 18 [2557-K8]: zone diatomique F. Végétation en bon état, aérophyte et épiphyte, de faible profondeur d'eau, révélant un niveau moyen (à maxima) du lac vers 427,5 m. Faible hydrodynamisme. Interprétation en accord avec la sédimentologie, à 0,5 m d'eau près.

Profil [2556-I14]

- 19 [2556-I14]: zone diatomique K. Végétation mélangée, à indices limniques et diatomées rélictuelles, tellement érodées qu'elles en sont méconnaissables, probablement importées. Indique un niveau du lac élevé, à relativement fort hydrodynamisme. Correspond aux observations sédimentologiques.

Profils [2660-K23 et H20]

- 51 [2660-K23]: zone diatomique C. Flaque supralittorale, peut-être en contact avec le lac en période de hautes eaux. Paléo-pH de 7,0. Interprétation sous toute réserve, car la flore est en partie dissoute.

- 53 [2660-K23]: végétation résiduelle non identifiable. Voir le niveau 51 par analogie sédimentaire.
- 247 [2660-H20]: stérile, par suite de dissolution probable des restes de diatomées, car le pH mesuré est de 5,5. L'état du sédiment est plus limoneux que dans les deux échantillons précédents, à cause d'une fermentation secondaire plus active. La grande quantité de matière organique est un bon indice de bordure de l'eau.
- 20 [2556-I14]: zone diatomique L. Végétation contenant en mélange des traceurs d'activité limnique et terrigène. Sédiment remanié. Activité lacustre fluctuante.
- 22 [2556-I14]: zone diatomique M. Même interprétation que 20 [2556-I14].
- 24 [2556-I14]: zone diatomique N. Sédiment formé près du bord de l'eau. Faible hydrodynamisme. Fort indice d'eutrophie.
- 25 [2556-I14]: végétation totalement érodée, non identifiable, témoin d'un regain d'hydrodynamisme.
- 27 [2556-I14]: zone diatomique O. Végétation à Cyclotelles planctoniques, signe d'une incursion lacustre. Conditions hydrologiques particulières, sans précisions possibles pour l'instant, révélées aussi par un pH de 6,8.
- 29 [2556-I14]: zone diatomique P. Couche 6. Activité limnique fluctuante, proche du bord de l'eau (environ 0,5-1 m de profondeur), situant la cote du lac au début du Subboréal, entre 428 et 429 m. D'après la sédimentologie, le niveau moyen se situerait plus haut, vers 430 m au moins.
- Echantillon 6 [2339-A8]: zone diatomique J. Couche 6. Transgression limnique. Niveau élevé de l'eau, en corrélation avec 29 [2556-I14].
- Echantillon 6 [2554-I16]: zone diatomique J. Couche 6. Même interprétation que 6 [2339-A8].

Carotte A [1953]

- 48 [1953]: zone diatomique G, à *Mastogloia smithii* var. *lacustris* (faciès a).
- 44 et 41 [1953]: zone diatomique G, à *Gomphonema angustum* (faciès b).
- 39 à 25 [1953], probablement jusqu'à 12 [1953]: zone diatomique G, à *Achnanthes minutissima* (faciès c). Zone diatomique à fort caractère aérophile, dont la flore a probablement été importée par un fort hydrodynamisme fluvial et grâce à un fond en forte pente. Interprétations bathymétriques très hypothétiques, utilisables uniquement en terme de tendance, mais laissant supposer un abaissement important du niveau du lac à la fin du Tardiglaciaire.
- 10 à 2_{sup.} [1953]: zone diatomique H se transformant progressivement en zone diatomique J, par remplacement de *Amphora inariensis* par *Amphora pediculus* et diminution du caractère aérophile au profit des ubiquistes à tendance périphytique. Le remplacement est révélateur d'une augmentation d'eutrophie, tandis que la diminution du taux d'aérophiles est à mettre en relation avec la fin de l'activité deltaïque, sans qu'on puisse donner d'indications bathymétriques précises. Ces assemblages apparaissent sous 2 m d'eau au moins, ce qui situerait le niveau du lac en tout cas en-dessous de 427,5 m. D'après les données sédimentologiques, le niveau moyen se situerait vers 428,5 m. Les pH peu basiques des échantillons 8 et 9 sont en contradiction avec ces déductions.

Profil [2554-M16]

- 5 et 4 [2554-M16]: zone diatomique J, faciès à *Cocconeis thumensis*, lié aux sables. Phase limnique eutrophe à hydrodynamisme faible. Niveau moyen du lac: plus de 428 m.
- 31C, E et F [2554-M16]: zone diatomique R1, typique des fumiers moyennement remaniés du Bronze final. Conditions eutrophes. Présence de 0 à 0,5 m d'eau calme.
- 31D [2554-M16]: sous-zone diatomique R3, plus riche en *Cyclotella wuethrichiana* que R1. Taux d'azote très marqué, provenant de la dégradation de matières organiques végétales. Cette interprétation correspond bien à la nature du sédiment, constitué par un fumier riche en débris végétaux figurés.

Profil [2554-K7]

- 4 et 311D [2554-K7]: zone diatomique J, faciès à *Cocconeis thumensis*. Même interprétation que 5 et 4 [2554-M16].
- 311C [2554-K7]: sous-zone diatomique R4. Milieu aérien riche en matières organiques (conditions eutrophes à polytrophes). Ruissellement sur terre battue.

Profil [2554-F14]

- 31A, D, E, B [2554-F14]: zone diatomique R1. Même interprétation que 31C [2554-M16].
- 31C [2554-F14]: sous-zone diatomique R2. Flaque sur terre battue ou sédiment légèrement remanié par le lac?

Profil [2449-N13]

- 3XVI [2449-N13]: zone diatomique R1. Même interprétation que 31C [2554-M16].
- 3XVG et H [2449-N13]: sous-zone diatomique R5. Sédiments lessivés secondairement par le lac. Conditions mésotrophes. Hydrodynamisme à peine plus fort.
- 3XVF₂ [2449-N13]: zone diatomique R6. Conditions hypertrophes d'eaux riches en déjections humaines ou animales. Milieu terrestre humide.
- 3XVF₁ et E [2449-N13]: zone diatomique R1 partiellement simplifiée, probablement par un léger lessivage secondaire. Sinon, même interprétation qu'en 31C [2554-M16].
- 3XVD [2449-N13]: zone diatomique S typique de la couche 2 sur fond de végétation R1 des couches anthropogènes de la couche 3. Mélange, signe d'un remaniement par la phase limnique terminant la sédimentation du Bronze.

Profil [2248-G14]

- 3d [2248-G14]: zone diatomique J témoin d'une activité limnique. Cet échantillon représente probablement les sédiments anthropogènes, les plus marqués par le lac s'étant déposés pendant la première phase de construction du village. Les conditions mésotrophes en témoignent (dilution des nutriments habituellement présents dans les sédiments anthropiques). Léger abaissement du niveau moyen de l'eau, vers 426,7 m.
- 04, 03c, 03b et 03a [2248-G14]: sous-zone diatomique R7, constituée de végétations mélangées, en partie limnique et en partie aérophile de type R1. Signe d'un regain d'hydrodynamisme. Effet de dilution des matières nutritives, marqué par des flores plutôt mésotrophes. Niveau moyen du lac: entre 426,5 et 427 m.

Profil [1954-M16]

- 6 [1954-M16]: zone diatomique Q. Sédiment mélangé avec l'échantillon suivant (traceur = *Nitzschia palea*). Contient beaucoup de fragments très érodés (remaniements) de *Navicula scutelloides*, indice lacustre de fond et d'eutrophie. Niveau du lac: élevé.
- 04 [1954-M16]: sous-zone diatomique R6 d'eaux très dégradées sur fond de végétation limnique. Sédiment plutôt lacustre, formé sous une eau recevant probablement des matières fécales, provenant du lessivage des dépôts anthropiques situés plus en amont.
- 03g [1954-M16]: sous-zone diatomique R3, témoin d'eaux riches en nitrates. Phase plus avancée du lessivage, avec minéralisation en cours des apports provenant des dépôts anthropiques situés plus en amont.
- 03e [1954-M16]: zone diatomique J. Augmentation du niveau moyen du lac à plus de 427 m, amorçant l'inondation du site.
- 2 [1954-M16]: zone diatomique S. Phase lacustre poursuivant l'inondation amorcée. Eau très eutrophe, dont la charge provient probablement du remaniement partiel des sédiments supérieurs de la couche 3. Niveau du lac élevé, probablement à plus de 429 m.
- 1 [1954-M16]: zone diatomique J. Phase lacustre actuelle déposant des sables jaunes, recouvrant tout le site archéologique. Niveau moyen du lac: 429 m. Eau eutrophe.

Analyse de la végétation diatomique

Les structures brutes des végétations diatomiques trouvées sont rassemblées dans des tableaux de végétation, trop abstraits pour être publiés ici, mais la figure 20 en donne l'essentiel. Ces tableaux sont disponibles avec les doubles de collections déposées dans les musées (p. 66) et auprès de l'auteur, à l'état de photocopies. La participation de chaque espèce aux assemblages y est exprimée en pour-cent (fréquence relative). On obtient ces valeurs par comptage au microscope de 500 valves (c'est-à-dire 250 frustules) par échantillon, en les répartissant directement dans les différentes espèces.

La lecture détaillée de ces tableaux permet déjà de se faire une idée des traits les plus caractéristiques des assemblages de diatomées présentes. Mais la masse de chiffres disponibles (plus de 15 000 informations) ne peut être appréhendée globalement. J'ai alors eu recours à deux classements qui, utilisés simultanément, permettent de bien décrire les végétations et, par là même, d'avoir une idée des milieux dans lesquels elles se sont développées.

Classement des espèces selon leur adaptation biologique

Si, *grosso modo*, toutes les diatomées ont besoin d'eau pour vivre, les espèces sont plus ou moins exigeantes par rapport à ce facteur. Ainsi, il existe des diatomées franchement aériennes ou terrestres (LUND 1946, BOCK 1963, 1970 et CAMBURN 1982), qui se contentent de la rosée et de l'humidité de l'air. D'autres espèces ne vivent qu'en milieu aquatique. Là, elles préfèrent croître soit autour des objets immergés ou sur le fond (périphyton), soit en eau libre (plancton = P).

Ces trois types d'adaptation se répartissent topographiquement sur la rive, la zone littorale et la zone pélagique des lacs. Dans les zones de transition entre ces trois milieux, certaines végétations spécialisées se forment à partir d'espèces du périphyton ayant quelques aptitudes particulières. Ainsi, à l'interface rive/littoral,

on trouve des assemblages formés d'espèces aérophiles (A), qui peuvent résister à un certain assèchement ou au battement des vagues. L'observation et la localisation exacte de ce type de végétation sont très utiles en bathymétrie, car elles signalent le niveau moyen de fluctuation du plan d'eau. Parmi les espèces périphytiques, certaines sont particulièrement adaptées à vivre à la surface des plantes aquatiques. On les qualifie d'épiphytes (Ey). D'autres, dites épipéliques (Ep), préfèrent ramper activement à la surface du sédiment meuble. J'ai introduit, dans ce groupe également, les espèces vivant autour des grains de sable (épipsammon), telles que *Cocconeis thumensis*.

Les espèces périphytiques dont on ne connaît pas encore précisément l'autoécologie, sont classées dans un groupe (Pé) qui a tendance à perdre de l'importance avec l'avance de la recherche.

Il existe enfin une série d'espèces peu exigeantes, qualifiées d'ubiquistes. Certaines se fixent dans tous les habitats périphytiques (Up). D'autres ayant aussi des aptitudes à rester en suspension dans l'eau forment sur le littoral une végétation intermédiaire (tycho-plancton = Ut) entre la vie fixée et la vie planctonique. Dans le domaine littoral, l'augmentation du nombre d'ubiquistes à tendance périphytique (Up) au sein des assemblages constitue une banalisation des végétations (STRAUB 1989). C'est le signe d'un impact limnique. A Hauterive-Champréveyres, il s'agit tout particulièrement d'*Amphora pediculus* et *Amphora inariensis*, ou d'espèces du genre *Fragilaria*.

Sur les figures 15 à 19, ces groupes d'adaptations biologiques sont disposés de gauche à droite, respectivement du plus terrestre au plus aquatique. L'importance de ces groupes dans l'interprétation paléocologique n'est cependant pas linéaire. Ainsi, le groupe des ubiquistes est en général surabondant dans les sédiments, car les espèces qui le forment sont opportunistes et produisent rapidement de grandes populations. Les végétations plus spécialisées (particulièrement dans l'aérophilie) sont nettement moins productives; leur

impact sera donc atténué par le processus de sédimentation. Quant aux espèces planctoniques, elles manquent souvent, car elles sont très fragiles (*Asterionella formosa* et *Fragilaria ulna* var. *acus*) et sujettes à une rapide dissolution en cours de sédimentation. L'interprétation se fera donc préférentiellement à partir des groupes spécialisés.

Plus à droite de ces figures, on trouve une colonne recevant les taux des espèces non classées (ncl.) par manque de connaissances autoécologiques, et une colonne indiquant la part non étudiable (nét.) des végétations, constituée d'individus trop fragmentés ou trop érodés pour être reconnus. Ces deux colonnes permettent de relativiser la valeur des interprétations et reconstitutions paléocéologiques proposées.

D'autre part, dans ces graphiques, les traits pleins représentent les diatomées en bon état, les traits vides la part de diatomées érodées. Le relevé de l'état de conservation de la flore diatomique est riche en informations concernant le mouvement de l'eau et le mélange de végétations.

Tout à droite figure l'abondance absolue, exprimée en nombre de cellules de diatomées relevées par gramme de sédiment sec (cell/gss), donnée sur une échelle exponentielle. En principe, les fortes populations de diatomées se rencontrent en zone eulittorale, entre 0,5 et 2 m de profondeur. Le manque d'eau, de lumière par excès de turbidité (STRAUB 1989), l'agitation de l'eau et la toxicité du milieu (échantillon 3XVF₂ [2449-N13]), se marquent par des diminutions de populations (en plus de la spécialisation qualitative des assemblages).

L'interprétation détaillée des figures 15 à 19 est donnée aux pages 52 à 58, avec la description floristique des végétations. Ici, je me borne à signaler au lecteur quelques généralités bien mises en évidence par ce type de classement, ou quelques cas dont l'explication est sujette à caution.

On remarque, premièrement, que bien des profils n'ont été étudiés que partiellement. Cela est dû aux limites de cette étude, qui ne pouvait porter que sur environ 70 échantillons. Une étude plus détaillée est encore possible et souhaitable, particulièrement pour la carotte A et les profils [2556-I14] et [2557-K8].

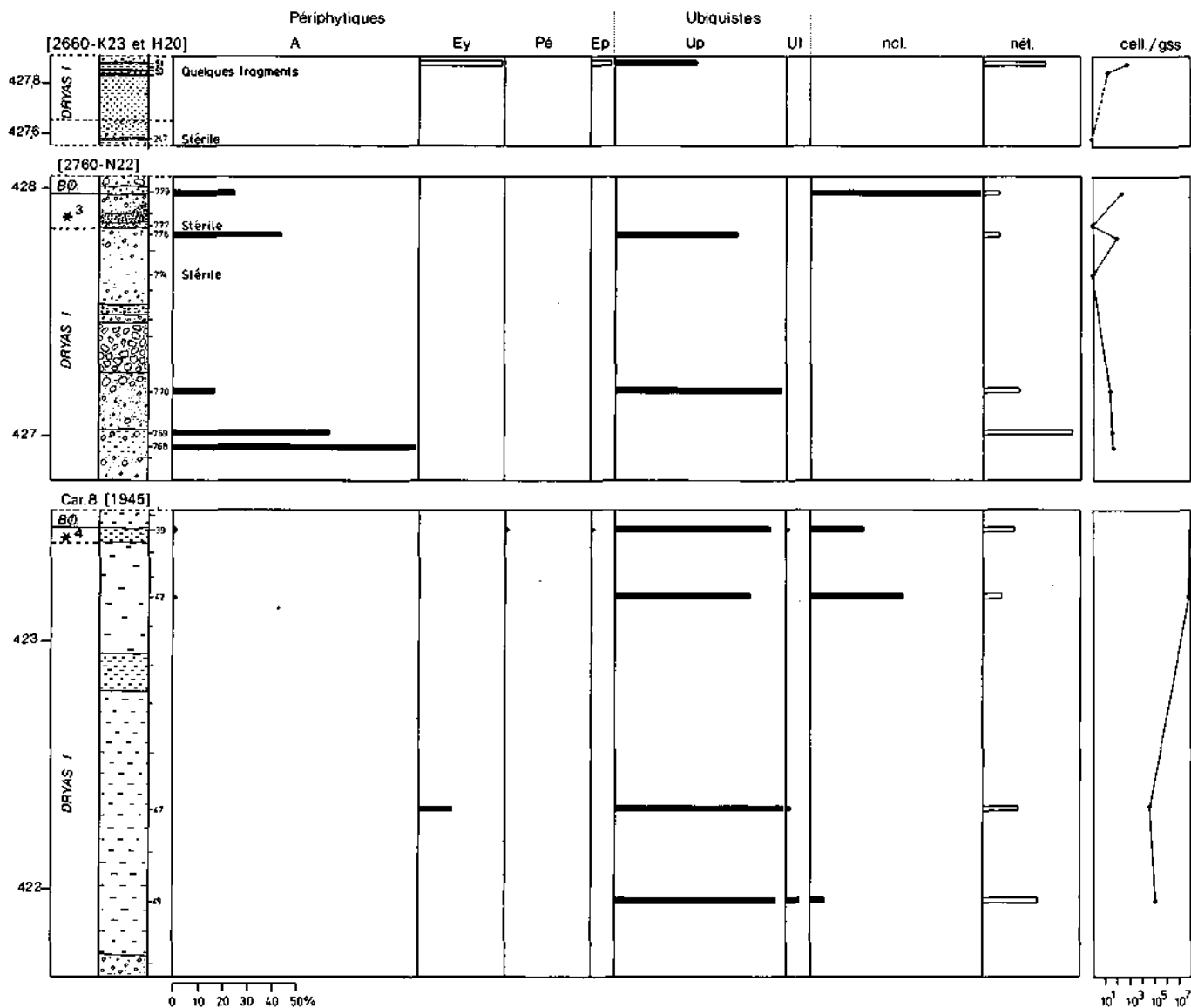
Le groupe des ubiquistes à tendance périphtique (Up) est en général bien représenté, même dans les sédiments anthropiques du Bronze final (fig. 18 et 19). Cela indique que les conditions de développement des végétations diatomiques étaient souvent très bonnes, c'est-à-dire, pour le moins, que l'eau se trouvait en suffisance.

Les assemblages les plus spécialisés ont été observés au Dryas ancien inférieur et sont donnés sur la figure 15. Des niveaux stériles ou des végétations clairsemées ($0-10^3$ cell/gss), essentiellement formées par les groupes spécialisés du périphton, ont été trouvés dans les profils échantillonnés [2660-K23 et H20] et [2760-N22] sur le site paléolithique, révélant un environnement plutôt terrestre. Par contre, dans le bas de la carotte B [1945], les végétations sont totalement banalisées par le groupe des espèces ubiquistes à tendance

périphtique et sont parfois foisonnantes (10^8 cell/gss!). Elles indiquent un fort impact limnique.

Sur le profil [2558-K8], dans les niveaux 2 à 14 (fig. 16) datant du Bølling, un mélange de populations est clairement mis en évidence: une végétation aérophile très érodée est mêlée à une végétation d'ubiquistes en bon état de conservation, constituée par plusieurs espèces de *Fragilaria*. Ces ubiquistes, dominants en zone littorale profonde, semblent donc en place, tandis que la végétation d'aérophiles paraît y avoir été amenée (p. 54: zone diatomique E). En haut du même profil, l'augmentation des taux d'aérophiles et la diminution globale de la population attestent un abaissement du niveau du lac. Plus précisément, la mauvaise conservation des diatomées de l'échantillon 17 révèle un fort hydrodynamisme, signe de la proximité de la zone de battement des vagues: l'altitude de ce sédiment (427 m) nous donne approximativement le niveau moyen du lac pendant l'une des phases de l'Allerød. Le profil [2556-I14], couvrant l'Holocène, se caractérise par une alternance de végétations extrêmement variables, peu normalisées. Par unités sédimentologiques, cela apparaît globalement sur l'ensemble du site d'Hauterive-Champréveyres plutôt typique des environnements variés du bord de l'eau (p. 58). Ces deux profils, très littoraux, sont à comparer à la carotte A (fig. 17) qui couvre la même période, mais en version sédimentologique plus limnique. Les variations des conditions hydrologiques se dégagent aussi des fluctuations des végétations diatomiques, mais de manière moins tranchée. L'analyse de sédiments très littoraux, malgré le mauvais état de conservation fréquent des microfossiles, offre donc un champ d'étude plus avantageux pour la paléocéologie des diatomées qu'en zone profonde, particulièrement dans les reconstitutions bathymétriques.

Les figures 18 et 19 expriment les végétations relevées dans les couches du Bronze final, constituées de sédiments anthropiques plus ou moins marqués par l'action de l'eau. Le caractère très riverain de ces horizons ressort de la bonne représentation de tous les groupes d'espèces périphtiques. Malgré cela, les forts taux d'ubiquistes à tendance périphtique (Up), constitués en grande partie d'*Amphora pediculus* et la taille des populations (10^5 à 10^6 cell/gss) traduisent la présence d'une certaine quantité d'eau. Le groupe des tychoplanctoniques (Ut) est principalement représenté par *Cyclotella wuethrichiana*. Cette petite espèce pouvant envahir le périphton, même en zone de battement des vagues (STRAUB 1986), sa présence n'a pas de signification bathymétrique mais est liée à l'état d'eutrophie avancée de l'eau.

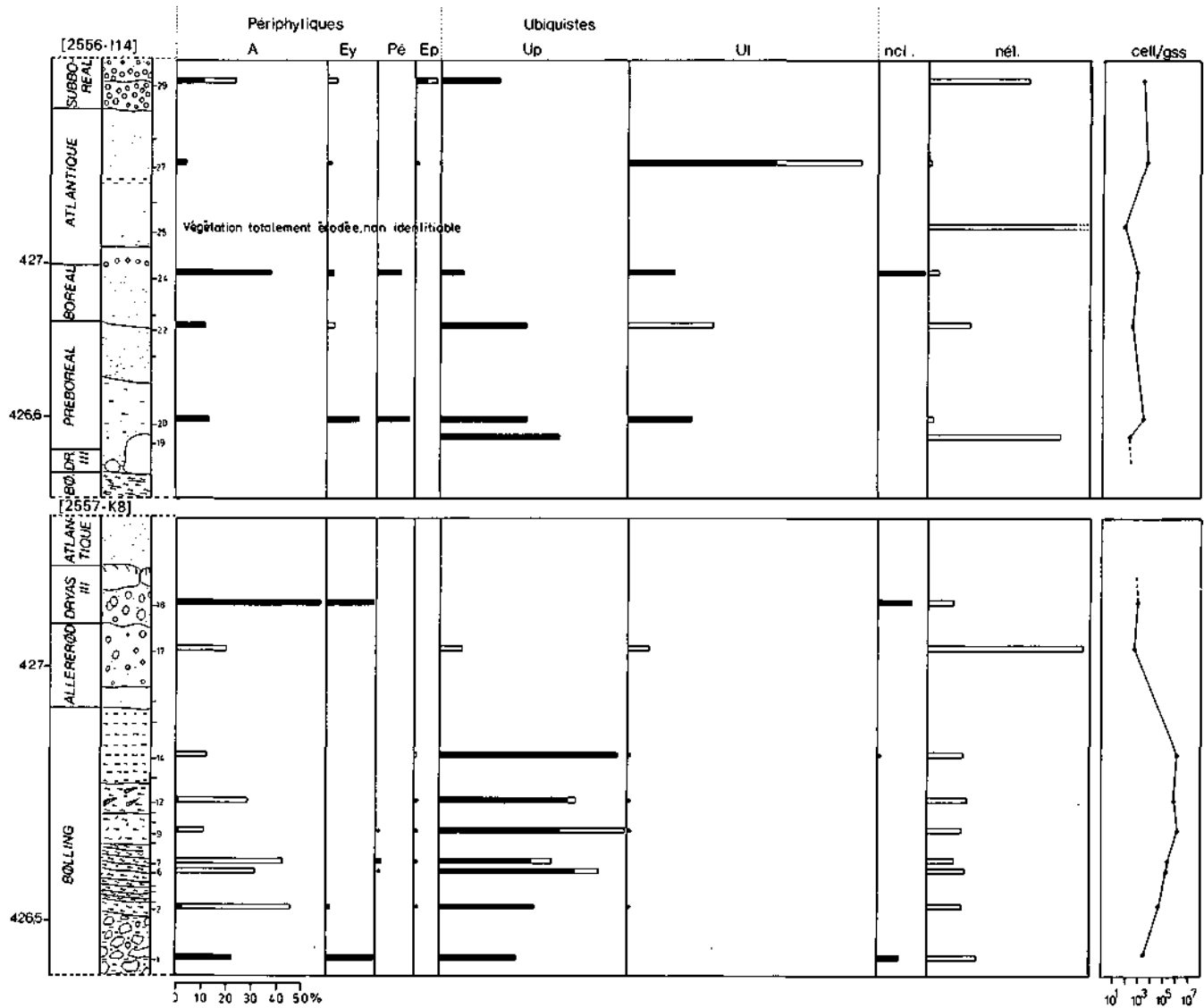


A: aérophiles
 Ey: épiphytiques
 Pé: périphytiques sans précision
 Ep: épipéliques
 Up: ubiquistes à tendance périphytique
 Ut: ubiquistes à tendance tychoplanctonique
 ncl.: non classé
 nét.: non étudié
 cell/gss: nombre de cellules par gramme de sédiment sec
 — diatomées en bon état
 — diatomées érodées

⁻³ cet ensemble appartient déjà au Bølling

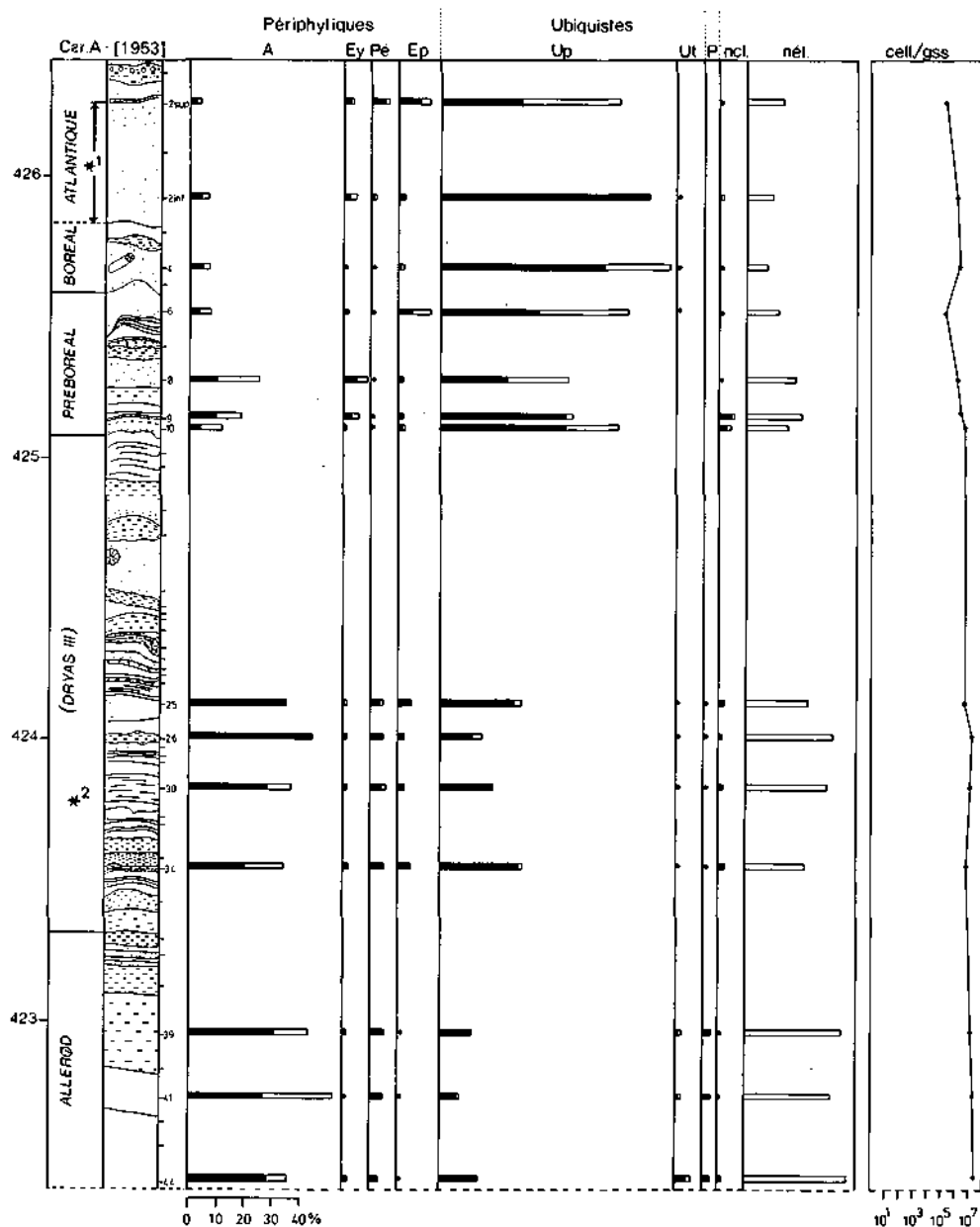
⁻⁴ cette strate appartient à l'extrême fin du Dryas I, voire au début du Bølling (phase à genévrier)

Fig. 15. Végétations diatomiques des profils [2660-K23 et H20], [2760-N22] et du bas de la carotte B [1945], classées par groupes d'adaptations biologiques.



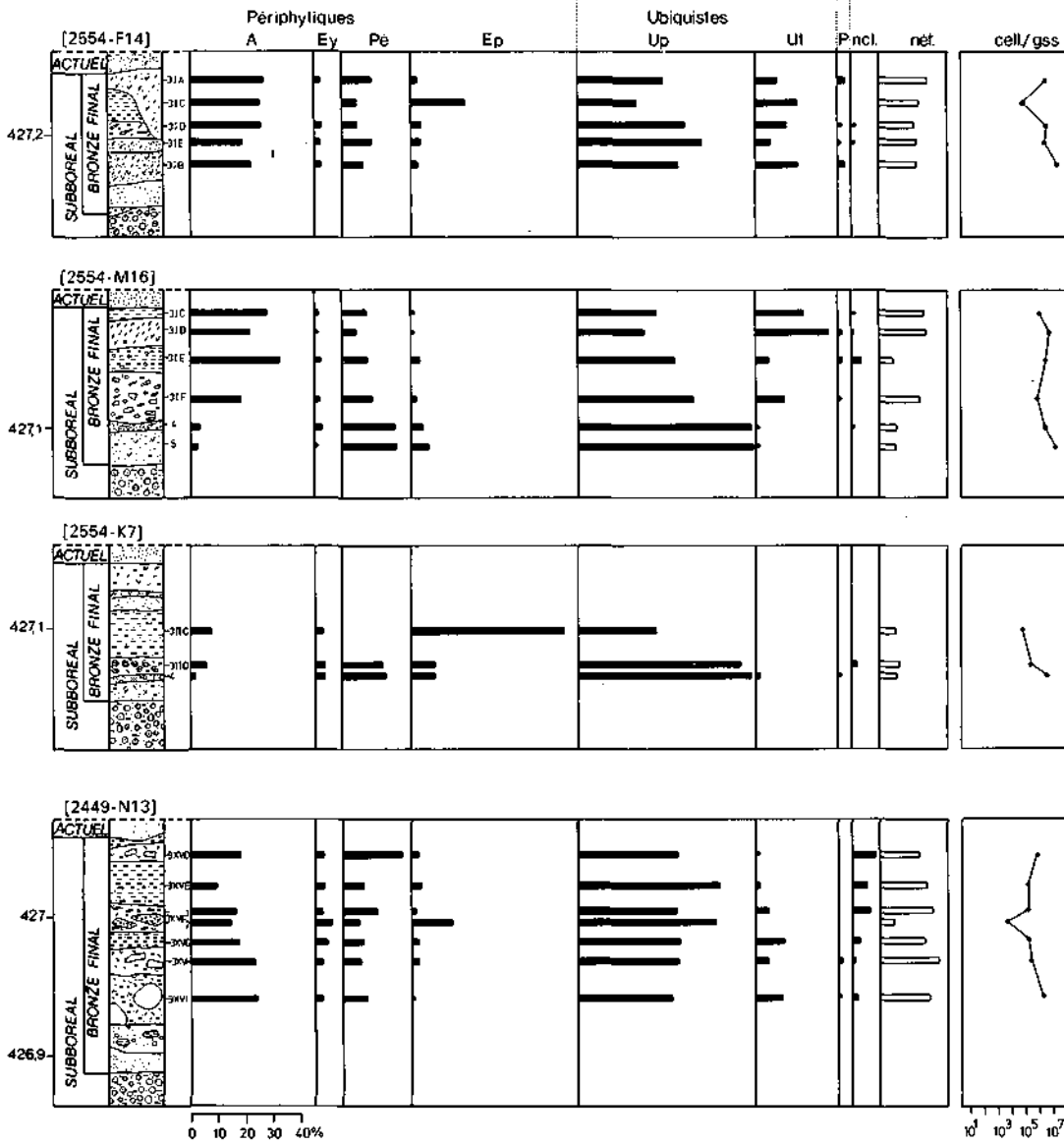
- A: aérophiles
- Ey: épiphytiques
- Pé: périphytiques sans précision
- Ep: épipéliques
- Up: ubiquistes à tendance périphytique
- Ut: ubiquistes à tendance tychoplanctonique
- ncl.: non classé
- nél.: non étudié
- cell/gss: nombre de cellules par gramme de sédiment sec
- diatomées en bon état
- diatomées érodées

Fig. 16. Végétations diatomiques des profils [2556-I14] et [2557-K8], classées par groupes d'adaptations biologiques.



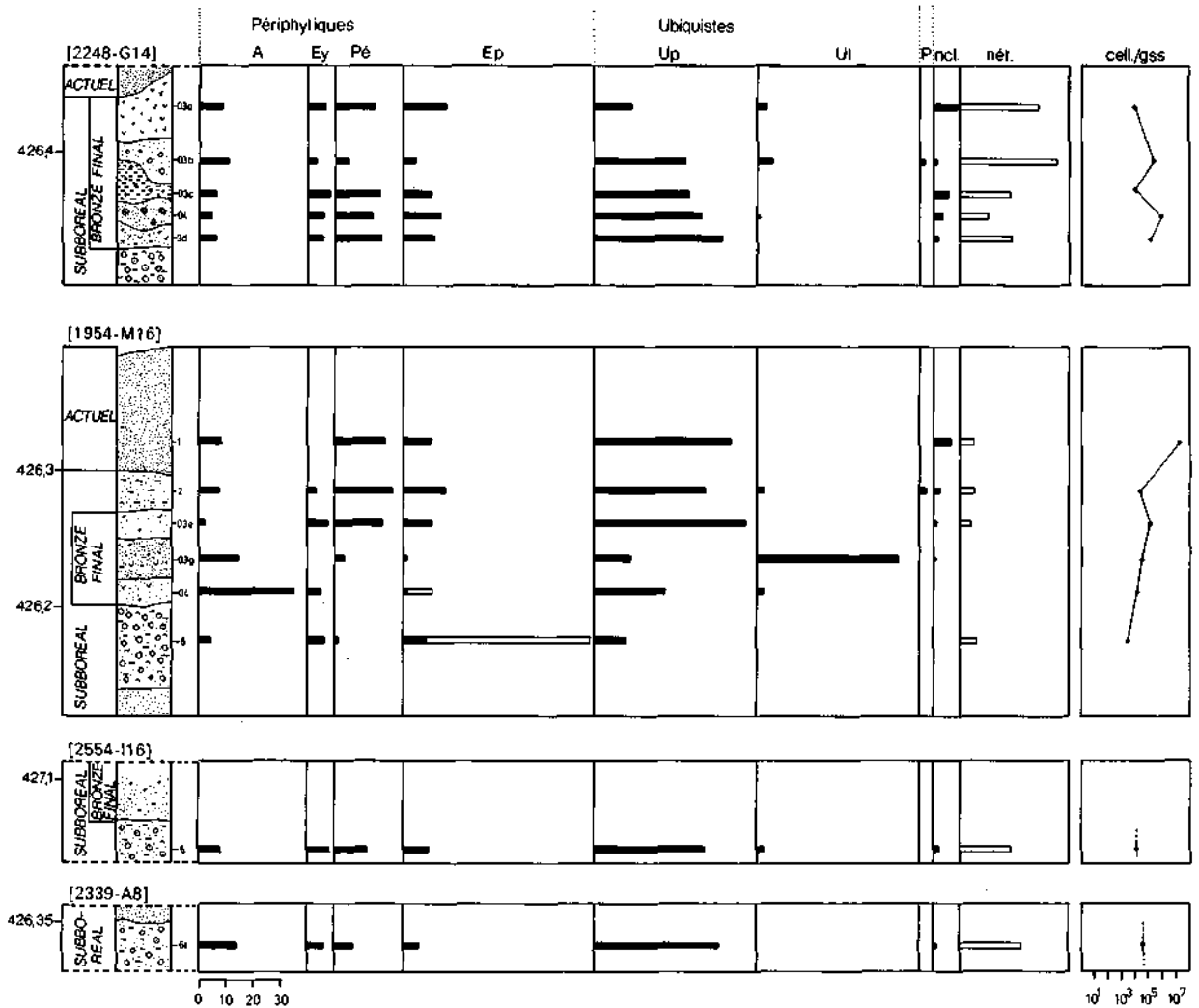
- A: aérophiles
- Ey: épiphytiques
- Pé: périphytiques sans précision
- Ep: épipéliques
- Up: ubiquistes à tendance périphytique
- Ut: ubiquistes à tendance tychoplanctonique
- P: plancton
- ncl.: non classé
- nét.: non étudié
- cell/gss: nombre de cellules par gramme de sédiment sec
- diatomées en bon état
- diatomées érodées
- *1 cette partie appartient encore au Boréal
- *2 cette séquence sédimentaire pourrait cependant encore appartenir à l'Allerød

Fig. 17. Végétations diatomiques du haut de la carotte A [1953], classées par groupes d'adaptations biologiques.



- A: aérophiles
- Ey: épiphytiques
- Pé: périphytiques sans précision
- Ep: épipêliques
- Up: ubiquistes à tendance périphytique
- Ut: ubiquistes à tendance tychoplanctonique
- P: plancton
- ncl.: non classé
- nêt.: non étudié
- cell/gss: nombre de cellules par gramme de sédiment sec
- diatomées en bon état
- diatomées érodées

Fig. 18. Végétations diatomiques du Bronze final (zones A et B), classées par groupes d'adaptations biologiques.



- A: aérophiles
 Ey: épiphytiques
 Pé: périphytiques sans précision
 Ep: épipéliques
 Up: ubiquistes à tendance périphytique
 Ut: ubiquistes à tendance tychoplanctonique
 P: plancton
 ncl: non classé
 nét: non étudié
 cell/gss: nombre de cellules par gramme de sédiment sec
 — diatomées en bon état
 □ diatomées érodées

Fig. 19. Végétations diatomiques du Bronze final (bas de la zone B et zone D), ainsi que de la couche 6, classées par groupes d'adaptations biologiques.

Classement des communautés en fonction de leur ressemblance

Pour faire ressortir les principaux ensembles de végétations diatomiques, j'ai choisi d'utiliser l'indice de similarité I_s de MOUNTFORD 1962.

$$I_s = \frac{\sum(m_i, n_i)^2}{\sum m_i^2 \cdot \sum n_i^2}$$

Cet indice permet de comparer deux à deux des assemblages différents formés de mêmes objets, où m correspond à la fréquence relative de l'espèce i dans l'assemblage m , et n correspond à la fréquence relative de l'espèce i dans l'assemblage n .

Des valeurs proches de un sont obtenues pour les assemblages les plus semblables et des valeurs proches de zéro pour les assemblages les plus différents. La matrice est ordonnée par un groupement à liens moyens (average linkage) pour construire un dendrogramme (haut figure 20). Je renvoie le lecteur à l'article de MOUNTFORD 1962 pour les détails de cette ordination.

Dans ce programme, seuls les taxons dominant au moins une fois (60 taxons) ont été introduits. Cela ne reprend donc que la part essentielle de chaque végétation observée: plus précisément le 78 à 94,5% de chacune d'elles. Pour rendre le dendrogramme plus lisible, un tableau représentant graphiquement la fréquence relative des taxons dominants (bas figure 20) y a été accolé.

La lecture détaillée de ce tableau de végétation permet de séparer 25 groupes d'assemblages, constituant des zones (ou sous-zones) diatomiques, correspondant chacune à des conditions écologiques particulières. A gauche du tableau, plusieurs zones diatomiques s'articulent autour d'*Amphora pediculus*, qui est le dénominateur commun de 63% des assemblages observés, marquant ainsi le caractère littoral de ces sédiments. A droite en bas, deux zones à *Fragilaria* se détachent. Elles correspondent aux sédiments limniques d'eau oligotrophe du Tardiglaciaire. En haut à droite, plusieurs zones regroupent des assemblages très aérophiles ou terrestres, d'eau eutrophe à polytrophe, des sites paléolithiques et du Bronze final.

Description des zones diatomiques et interprétations paléoécologiques

Zone diatomique A

Végétations du Dryas ancien inférieur de la carotte B (fig. 15), presque exclusivement formées d'espèces de *Fragilaria*, en particulier *Fragilaria elliptica* et *Fragilaria brevistriata*, dans lesquelles ont été trouvées, avec de bonnes fréquences, *Fragilaria pseudoconstruens* et sa variété *bigibba*. Ces dernières, décrites par MARCINIAK 1982 dans des sédiments oligotrophes tardiglaciaires de lacs des Tatra (Pologne), et retrouvées par E. Haworth (com. pers.) en Grande-Bretagne dans des sédiments de la même époque, ont disparu ici dès le

Bølling, ce qui a probablement une signification stratigraphique (p. 58). Certains assemblages de cette zone peuvent s'enrichir de *Fragilaria cf. virescens*, *Fragilaria pinnata* et d'*Opephora martyi* ou d'*Amphora pediculus*.

En zone littorale, les végétations diatomiques les plus riches en *Fragilaria* se trouvent à plus de 2 m de profondeur. La taille des populations de cette zone (10^6 - 10^8 cell/gss) confirme leur caractère limnique. Les besoins nutritionnels de la plupart des espèces de ce genre sont controversés, également pour des raisons de difficultés d'identification. Bien que certaines espèces vivent aussi dans des conditions d'eutrophie, HAWORTH 1976 est d'avis que ces flores très spécialisées, non accompagnées d'autres espèces indicatrices d'eutrophie, sont caractéristiques d'eaux pauvres en nutriments. Ainsi, je me permets de considérer cette zone comme indicatrice d'oligotrophie.

L'échantillon 47 [1945] de la carotte B, riche en *Opephora martyi* qui vit préférentiellement en épiphyte, indique probablement une plus grande influence de la végétation aquatique, peut-être liée à un niveau légèrement plus bas du lac à la fin du Dryas ancien inférieur, et/ou à un hydrodynamisme un peu plus actif (taux de fragmentation de 21,7%) que dans les autres échantillons (taux de fragmentation de 10,4 à 18,7%). Le très bon état de conservation des diatomées, révélé par ces taux de fragmentation très faibles, indique globalement des conditions calmes de sédimentation. Ce caractère limnique est encore souligné par les paléo-pH très basiques (7,9 à 8,3) reconstitués à partir des végétations diatomiques.

Zone diatomique B

Végétations aérophiles (B2) à terrestres (B1) du Dryas ancien inférieur et du début du Bølling, trouvées sur le gisement paléolithique (profil [2760-N22], fig. 15). Les fréquences relatives données sont à prendre avec toutes les réserves nécessaires, car elles n'ont pu être établies que sur 2 à 30 individus selon l'échantillon! Ces végétations très clairsemées, mais en bon état de conservation (env. 10^2 cell/gss), sont entrecoupées de niveaux stériles. Considérées en bloc, les espèces trouvées sont pour la plupart aérophiles (*Achnanthes lanceolata*, *Nitzschia dissipata*, *Nitzschia pusilla*, *Gomphonema* spp.) ou même terrestres (*Amphora montana*), pouvant vivre en environnement humide ou dans les flaques supralittorales. Tous ces critères confirment la nature terrigène de ces sédiments, parfois marqués par de l'eau (probablement de ruissellement) dans les échantillons 770 (faciès à *Navicula exilis* et *Amphora pediculus*) et 776 (faciès à *Navicula cryptocephala*). Ces types de végétations révèlent des conditions d'eutrophie, liées en général dans ces stations aux débris végétaux se déposant sur le sol ou dans les flaques. Par leur altitude, ces sédiments indiquent que le niveau moyen du lac était plus bas que 427 m, ce qui correspond aux observations faites sur la carotte B et aux interprétations sédimentologiques de Bernard Moulin.

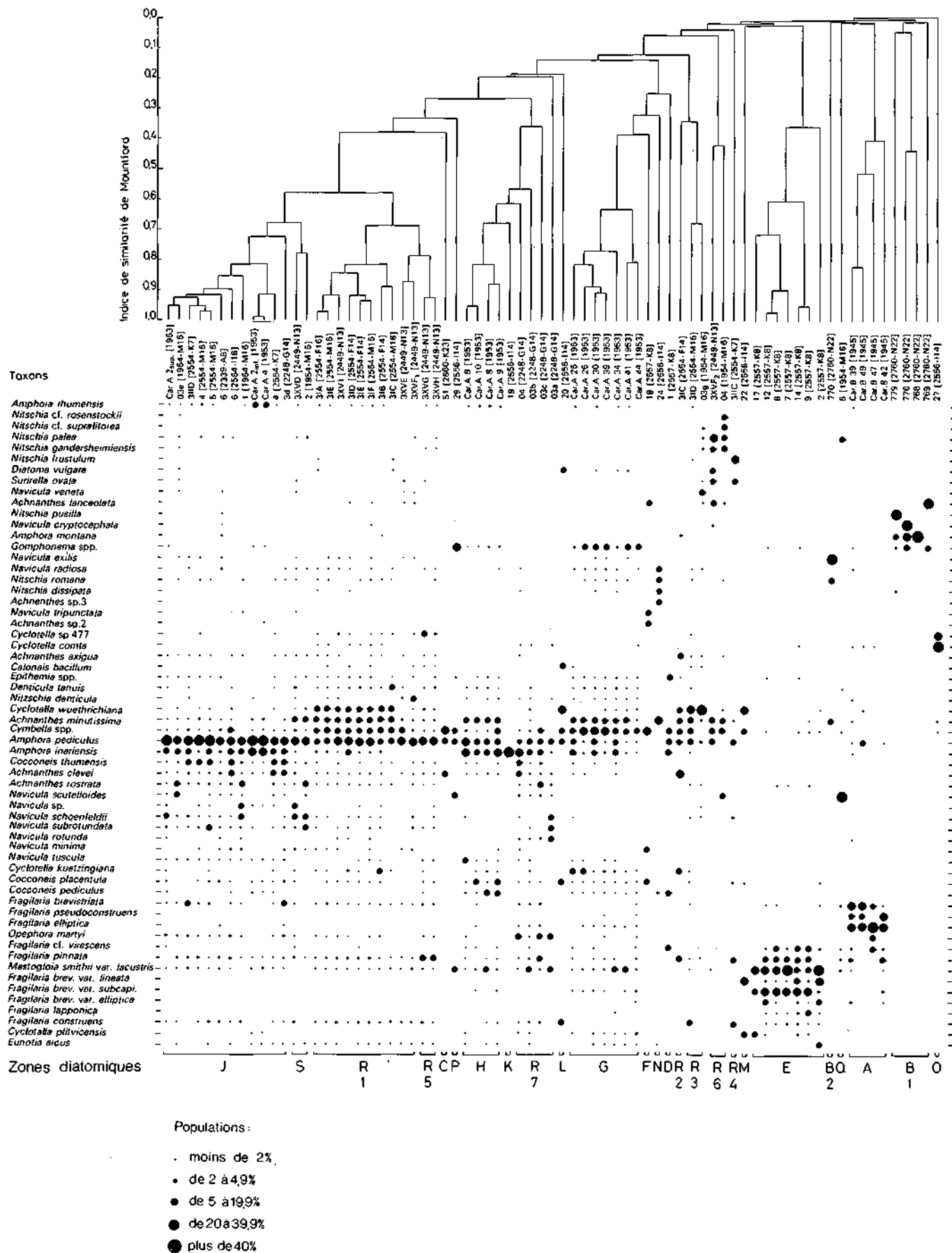


Fig. 20. Tableau de végétation. Les échantillons sont classés par degré de similarité (indice de MOUNTFORD 1962). La fréquence relative des 60 taxons retenus pour ce classement est exprimée graphiquement par 5 classes d'abondance. Au bas du tableau, les 25 zones diatomiques reconnues sont symbolisées par des lettres majuscules, les sous-zones par des chiffres.

Zone diatomique C

La végétation est formée de cellules de *Cymbella minuta* érodées et d'*Achnanthes clevei*. Cette zone n'est représentée que par un seul assemblage, trouvé dans la lentille très organique 51 [2660-K23] située entre les horizons magdalénien et azilien (fig. 15). Mon interprétation en est limitée, à cause de la mauvaise conservation des diatomées due probablement à une acidification secondaire de ces strates emprisonnées dans des bancs de limon vert décarbonaté. Dans la lentille 53 [2660-K23] ne subsistent que quelques fragments non identifiables. La lentille 247 [2660-H20] s'est révélée stérile. Cette absence ou cette pauvreté sont aussi imputables à une dissolution secondaire des squelettes de diatomées. Elles n'indiquent pas obligatoirement un assèchement, d'autant plus qu'au niveau 51 se trouve tout de même une assez forte proportion d'*Amphora pediculus*, espèce liée aux transgressions limniques; *Achnanthes clevei* vit sur le fond meuble immergé, tandis que *Cymbella minuta* (espèce neutrophile) donne à cette zone un caractère plutôt aérophile.

Sous toute réserve, on peut interpréter ce niveau (et les deux autres, par extrapolation) comme la trace de flaques supralittorales piégeant des débris organiques terrestres, mais en contact avec le lac en période de hautes eaux. Cela confirme qu'à cette époque, le niveau du lac devait se situer en dessous de 427 m.

Zone diatomique D

Cette zone, formée par un seul assemblage trouvé dans l'échantillon 1 [2557-K8] daté du Bølling (phase à Genève), est constituée principalement de *Cymbella microcephala*, *Cocconeis pediculus* et *Epithemia* spp. en petite population de 5.10^3 cell/gss (fig. 16). Ce faible taux, les caractères aérophile et épiphyte des espèces principales et le paléo-pH de 7,6 indiquent un endroit immergé sous peu d'eau (0-0,5 m), probablement envahi de plantes paludéennes ou aquatiques. La présence d'eau est cependant marquée par une certaine proportion d'*Amphora pediculus*, *Amphora inariensis* et *Fragilaria cf. virescens*.

Les diatomées de cet assemblage sont peu érodées, mais très fragmentées (76,3%). Cela ne semble pas révéler un fort hydrodynamisme, car le genre *Gomphonema* manque totalement, mais provient peut-être simplement d'un mélange de flores, comme le suggère la description lithologique. Le sédiment est constitué d'un mélange polyphasé de cailloutis (terrigènes), englobés dans une matrice limoneuse (lacustre). Ainsi, mon interprétation sous-estime probablement la hauteur moyenne de l'eau, située vers 428 m par le sédimentologue. Cette végétation indique en outre des conditions oligo-mésotrophes.

Zone diatomique E

Cette zone comporte des végétations à *Mastogloia smithii* var. *lacustris* très érodées et à *Fragilaria brevis-triata* var. *subcapitata*; elle regroupe les échantillons 2 à 14, et peut-être 17, du profil [2557-K8] datant du Bølling (et de l'Allerød) présenté à la figure 16. Cet

ensemble est un mélange de végétations à *Fragilaria* en bon état de conservation (en place), vivant sur le fond sous au moins 1,5 m d'eau, et de végétations d'espèces aérophiles principalement représentées par *Mastogloia smithii* var. *lacustris* et d'autres *Naviculaceae* (nodules centraux) très érodées. Ces taxons moins limniques proviennent certainement de l'épiphyton ou de l'épipélon du bord, ou des feuilles nageantes de certains macrophytes. Un tel mélange atteste un fort hydrodynamisme. Les populations progressant régulièrement, de 10^4 à 10^6 cell/gss, les paléo-pH variant de 7,5 à 8,2 et le groupe des *Fragilaria*, gagnant en importance, indiquent une augmentation régulière du niveau de l'eau pendant cette période, marquée par des fluctuations. Le niveau moyen du lac passe d'environ 428 à 429 m. L'eau semble cependant rester à un niveau trophique très bas, cela sous toute réserve, vu l'absence probable de bien des taxons due à l'érosion.

L'échantillon 17 [2557-K8] contient une végétation du même type, mais totalement érodée, ne laissant subsister que 5.10^2 cell/gss, spécialisée sur *Mastogloia smithii* var. *lacustris* et contenant 9% de *Cyclotella plitvicensis*. Cet état de conservation ne permet pas de tirer de conclusion, si ce n'est un soupçon de grand remaniement et d'apports d'algues par dérive, liés à un fort hydrodynamisme. Cela correspond aux indications sédimentologiques relevant des graviers (terrigènes), noyés dans une matrice sablo-limoneuse (limnique). L'état des diatomées laisse supposer une influence du bord plus grande que pour les assemblages de la zone diatomique E, ce qui est interprété ici comme un abaissement du niveau du lac vers 428 m.

Zone diatomique F

Cette zone n'est représentée que par un seul assemblage dominé par *Cymbella microcephala* et *Cocconeis placentula* (fig. 16), trouvé dans l'échantillon 18 [2557-K8], dont le caractère aérophile est renforcé par la présence d'*Achnanthes lanceolata*, *Navicula minima* et *Navicula tripuuctata*. Le paléo-pH bas de 7,4, le faible taux de diatomées (10^3 cell/gss) et l'indice de mésotrophie renforcent l'idée d'une végétation croissant à très faible profondeur d'eau (0-0,5 m). Le bon état de conservation des squelettes et l'absence du genre *Gomphonema* indiquent un hydrodynamisme faible. La présence de macrophytes est signalée par l'abondance de *Cocconeis placentula*. A cet endroit, ce type d'activité lacustre s'est achevé par la formation d'une plage de galets, qui confirme l'interprétation bathymétrique de cette zone diatomique. Cet échantillon est situé à 427,2 m d'altitude; il donne le niveau moyen (ou maximal) du lac à la fin du Tardiglaciaire. Cette cote n'a probablement pas été dépassée jusqu'au début de l'Holocène, car le profil [2557-K8] est lacunaire et le Dryas récent ne semble pas y avoir été enregistré.

Zone diatomique G

Ces végétations peu spécialisées forment de grosses populations (10^7 - 10^8 cell/gss) pendant tout le Tardiglaciaire de la carotte A. Le dénominateur commun de

ces assemblages est le genre *Cymbella*, représenté par beaucoup d'espèces, accompagnant la plus fréquente: *Cymbella microcephala*. Trois faciès peuvent être reconnus.

— Le faciès Ga, trouvé dans l'échantillon 48 [1953] de la carotte A, datant de la fin du Bølling, est dominé par *Mastogloia smithii* var. *lacustris* et *Fragilaria construens* var. *venter*. Ce faciès a une forte parenté avec la zone diatomique E, ce qui confirme les datations.

— Le faciès Gb, trouvé dans les échantillons 41 et 44 [1953] de la carotte A, datés de l'Allerød, est essentiellement dominé par *Gomphonema angustum*, qui lui donne un caractère plus aérophile que le précédent.

— Le faciès Gc, recueilli dans les échantillons 39 à 25 [1953], subsiste jusqu'à l'échantillon 12 [1953] de la carotte A, comme l'a montré un examen rapide des prélèvements non étudiés dans ce travail. Il reste donc présent pendant toute la fin du Tardiglaciaire (fig. 17). Dans ce cas, les végétations sont dominées par *Achnanthes minutissima* et *Gomphonema angustum*.

L'interprétation de ces végétations pose un problème, car elles comportent toutes une forte proportion d'espèces aérophiles laissant supposer qu'elles se sont formées sous peu d'eau. Cette constatation est en complète contradiction avec les niveaux du lac proposés pour la fin du Tardiglaciaire (zones diatomiques D, E et F), à partir de l'étude du profil [2557-K8]: niveaux étayés par les autres observations sédimentologiques (craies, limons crayeux). Tout au plus, les variations relatives du plan d'eau concorderaient; les faciès Gb et Gc étant les plus aérophiles des trois, ils révèlent un niveau du lac plus bas à la fin du Tardiglaciaire qu'au Bølling.

Le seul caractère limnique de ces végétations est donné par les forts taux d'érosion des aérophiles et le fait qu'on y trouve les taux les plus élevés de phytoplancton de toute la carotte A. La présence de telles végétations, en conditions de sédimentation profonde, peut s'expliquer par la dérive au large des espèces périphtiques, favorisée par une pente de la plage plus forte qu'actuellement (ce qui était le cas lorsque ces sédiments se sont formés) et un hydrodynamisme élevé, d'origine fluviale. Cet impact fluvial est particulièrement mis en évidence par le faciès Gb, riche en *Gomphonema*, ce qui confirme l'hypothèse proposée pour l'échantillon 17 [2557-K8] à végétation de type E, très érodé et datant aussi de l'Allerød (phase à pin et bouleau).

Les fluctuations du groupe d'aérophiles pendant cette fin de Tardiglaciaire correspondent certainement à des fluctuations lacustres, liées probablement à des conditions climatiques variables. De l'échantillon 39 au 12 [1953] de la carotte A, au fur et à mesure du remplissage sédimentaire, les taux de fragmentation et d'érosion diminuent. Cela indique que progressivement, les assemblages sont moins influencés par la dérive, c'est-à-dire qu'ils témoignent de situations de plus en plus littorales. Ce phénomène n'est pas dû à un abaissement du niveau de l'eau, mais à l'élévation progressive du fond, qui passe à la fin du Tardiglaciaire, à cet endroit, de 423 à 425 m!

Zone diatomique H

Les végétations sont dominées par *Amphora inariensis* et *Amphora pediculus*, et contiennent en plus petites proportions quelques espèces aérophiles comme *Achnanthes minutissima* et *Cocconeis pediculus* ou *Mastogloia smithii* var. *lacustris*. Cette zone a été relevée dans les échantillons 10 à 6 [1953] de la carotte A, c'est-à-dire du Préboréal au début du Boréal. L'indice de niveau trophique se situe dans la mésotrophie. Ces végétations, à bon indice limnique, se développent sous 2 m d'eau au moins.

Zone diatomique J

Des végétations banales à *Amphora pediculus* dominante, marquent toutes les transgressions lacustres depuis le Boréal jusqu'à l'époque actuelle: échantillons 4 à 2^{sup.} [1953] de la carotte A (fig. 17); couche 6 dans les secteurs 2339 et 2554 (fig. 19); couches 4 et 5 du Bronze final (fig. 18) en zone A (secteur 2554); couche 3d du Bronze final en zone B (secteur 2243); couche 03e du Bronze final en zone D (secteur 1954) et couche 1 de sables actuels (fig. 19). Ces végétations indiquent des conditions de franche eutrophie. Sur le plan bathymétrique, on ne doit pas en tirer grand chose de précis, à part le fait qu'elles peuvent se développer sous 2 m d'eau au moins. Les taux de fragmentation sont toujours bas (4,5-19,5%), quel que soit l'emplacement de l'échantillon, ce qui confirme le caractère limnique de ces sédiments, en accord avec les descriptions sédimentologiques.

Selon les cas, cette structure très normalisée peut s'enrichir d'*Amphora inariensis* dans les situations les moins eutrophes, de *Cocconeis thumensis* liée aux sables, d'espèces de fond (*Achnanthes clevei*, *Achnanthes rostrata*) ou des petites *Navicula* liées à l'eutrophie.

Zone diatomique K

Cette zone comprend une végétation très pauvre (10² cell/gss), résiduelle, trouvée dans l'échantillon 19 [2556-114], formée de fragments non identifiables et de quelques frustules d'*Amphora inariensis* en très bon état. Son interprétation est aléatoire et indique éventuellement une sédimentation sous une certaine quantité d'eau, à fort hydrodynamisme ayant entraîné par dérive des individus très fragmentés.

Zone diatomique L

Cette zone comprend la végétation mélangée de l'échantillon 20 [2556-114], formée à la fois d'indices limniques (*Amphora pediculus*, *Fragilaria construens*), d'espèces aérophiles et épiphytes (*Cocconeis placentula*, *Cymbella* spp., *Caloneis bacillum*) et d'indicateurs de matières organiques (*Cyclotella wuethrichiana*, *Diatoma vulgare*). Ce mélange est signe de remaniements, révélant une activité lacustre probablement fluctuante, dont on ne peut pas situer exactement l'amplitude.

Zone diatomique M

La végétation mélangée de l'échantillon 22 [2556-114] est proche de la précédente, mais sans *Amphora*

pediculus, dans laquelle l'indicateur limnique est *Fragilaria brevistriata* var. *linearis* et les indicateurs d'eutrophie *Cyclotella wuethrichiana* et *Cyclotella plitvicensis*. Même interprétation que précédemment.

Zone diatomique N

Cette zone comprend une végétation aérophile à *Achnanthes minutissima*, *Navicula radiosa* et *Nitzschia dissipata*, ne subsistant qu'en petite population (10^3 cell/gss) dans l'échantillon 24 [2556-I14]. La forte proportion d'aérophiles bien conservés indiquerait que ce sable fin s'est déposé à faible profondeur (env. 0,5 m), donc dans des conditions hydrodynamiques modérées. Vu l'altitude de cet échantillon, le niveau du lac se situerait à 427,5 m, en complète contradiction avec les observations sédimentologiques situant celui-ci plutôt vers 428,5 m. Un pH plutôt bas (env. 7,0) et un indice d'eutrophie élevé (vers 65%), soutiennent l'interprétation d'un niveau du lac relativement bas.

Zone diatomique O

Cette zone désigne la végétation de l'échantillon 27 [2556-I14], formée de 60% de *Cyclotella comta* (dans sa forme plutôt planctonique souvent nommée *Cyclotella quadrijuncta*, pl. 16/2-8) et 22% de *Cyclotella* sp. 477, petite forme ubiquiste à écologie mal connue à cause de confusions taxonomiques. Traditionnellement (HUBER-PESTALOZZI 1942), un tel assemblage très spécialisé est considéré comme typiquement planctonique, donc signe d'une forte immersion lacustre. J'ai cherché à retrouver ce niveau dans la carotte A, entre les échantillons 2_{sup.} et 4, mais sans succès, car les prélèvements ont été effectués de manière trop lâche. Indice de niveau trophique: 27,5%.

Les végétations à cyclotelles s'observent parfois (WÜTHRICH 1961, POLLINGER et al. 1984, STRAUB 1986) dans des conditions hydrologiques particulières encore mal définies bien que souvent interprétées comme signe d'oligotrophie.

Zone diatomique P

Cette zone comprend la végétation à *Gomphonema angustum* dominant, présente dans l'échantillon 29 [2556-I14]. Les autres indices aérophiles sont *Cymbella* spp. et *Mastogloia smithii* var. *lacustris*, tandis que *Navicula scutelloides* et *Amphora pediculus* sont des indices limniques. Cette zone aurait pu être associée à la zone J, dont elle représenterait l'extrême le plus aérophile. La présence de *Gomphonema*, couplée à un taux de fragmentation élevé de 63,5%, la mettent à part, en tant que témoin d'une situation plus proche du bord de l'eau. Cet échantillon fait partie de la couche 6, couche à oncolithes recouvrant tout le site avant l'installation des premiers agriculteurs. Les échantillons 6 [2339-A8] et 6 [2554-I16] ont également été pris dans cette couche; ils contiennent une végétation de type J. Cependant, vu l'altitude respective de chacun d'entre eux, les interprétations des niveaux de l'eau tirées de ces trois échantillons concordent et situeraient la cote moyenne du lac, au début du Subboréal, entre 428 et 429 m.

Zone diatomique Q

Cette zone comprend la végétation mélangée de l'échantillon 6 [1954-M16], contenant *Navicula scutelloides*, indicateur limnique de fond et d'eutrophie. Cette espèce est représentée par beaucoup d'individus très érodés (pl. 20/11-14), montrant le remaniement ayant présidé à la formation de la couche 6. Cette zone contient aussi en grande proportion l'espèce aérophile *Nitzschia palea*, typique de la sous-zone diatomique R6, liée aux déjections animales et humaines. La présence de ce taxon dans cet échantillon est à mettre sur le compte d'un mélange, car, directement en dessus, dans l'échantillon 04 [1954-M16] daté du Bronze final, on le retrouve en grande quantité. L'interprétation concorde avec celle des autres échantillons de la couche 6 (zones diatomiques J et P).

Zone diatomique R

Cette zone regroupe toutes les végétations à grande variété floristique, trouvées dans les sédiments anthropiques du Bronze final. Cette zone est représentée par sept sous-zones (R1-R7), dont R1 représente le prototype (fig. 18), formant la base des végétations des chapes et des fumiers peu remaniés des zones A et B. Les six autres sous-zones relèvent toutes de R1, mais sont soit simplifiées, soit modifiées, révélant des conditions écologiques très particulières, fort intéressantes pour l'archéologie.

Sous-zone R1

Des végétations dominées par *Amphora pediculus*, *Cymbella* spp., *Achnanthes minutissima* et *Cyclotella wuethrichiana* ont été trouvées dans les échantillons 3IA, D, E, B [2554-F14], 3IC, E, F [2554-M16] et 3XVE, F₁, I [2449-N13]. *Cymbella* spp. et *Achnanthes minutissima* donnent le caractère très aérophile de ces assemblages, tandis que *Cyclotella wuethrichiana* indique leur adaptation à des conditions eutrophes. Cette petite espèce, que l'on doit classer (fig. 18) parmi les ubiquistes à tendance tychoplanctonique (Ut), n'a pas obligatoirement besoin de beaucoup d'eau pour vivre. La présence d'eau lors de la genèse des dépôts anthropogènes, est bien mieux marquée par les forts taux d'*Amphora pediculus* et par la taille des populations, variant entre 10^3 et 10^7 cell/gss. Cette zone est typique de végétations riveraines situées sous 0 à 0,5 m d'eau, dont la présence n'est pas obligatoirement constante. Lors de l'installation des zones A et B, le lac oscillait alors probablement autour de 427 m. Les faibles taux de fragmentation (entre 7 et 21%) et de diatomées fixées (*Gomphonema* et certaines espèces de *Cymbella*), lorsqu'elles étaient présentes, permettent d'imaginer que les eaux étaient calmes. Les très faibles taux d'espèces épiphytiques (en particulier du genre *Cocconeis* et *Epithemia*) sont intéressants. Ils laissent supposer que la végétation macrophytique était peu développée sur le site. Cela concorde avec les observations botaniques faites sur les macrorestes végétaux par Ch. Jacquat et sur les pollens par M.-J. Gaillard. Une telle situation est surprenante sur un littoral lacustre, en présence d'eau calme et dans des conditions d'eutrophie.

Sous-zone R2

Une végétation comprenant les quatre espèces typiques de la zone R, enrichie de deux indicateurs benthiques (*Fragilaria pinnata* et *Achnanthes clevei*) et d'un indicateur limnique littoral (*Cyclotella kuetzingiana*), a été trouvée dans l'échantillon de chape 3IC [2554-F14]. Cette composition floristique, l'état relativement fragmenté (20%) des frustules de diatomées et la faible population (10^4 cell/gss) font penser soit à un remaniement ayant causé un mélange de flores, soit à une retenue d'eau (flaque sur terre battue), ayant favorisé des espèces vivant sur le fond des pièces d'eau. L'idée de remaniement correspond le mieux à la description sédimentologique.

Sous-zone R3

Deux végétations sont groupées, l'une dominée par *Cyclotella wuethrichiana*, comme en 3ID [2554-M16], l'autre totalement spécialisée autour de cette espèce, comme en 03g [1954-M16]. Dans le premier cas, l'interprétation est proche de la sous-zone R1, sauf que la dominance de *Cyclotella wuethrichiana*, conjuguée avec une bonne proportion de *Fragilaria construens*, indiquerait un impact d'eau un peu plus important.

Dans le second cas, la très forte dominance de *Cyclotella wuethrichiana* (57,2%) révèle un déséquilibre trophique d'une eau riche en nitrates. En aval du site, cette végétation témoigne d'eaux en train d'être épurées par le lac, recevant probablement des apports de sédiments organiques de la couche 3 située plus en amont.

Sous-zone R4

Elle ne comprend qu'un assemblage trouvé dans la chape 3IIC [2554-K7], ressemblant vaguement à la zone R1, mais dominée par *Nitzschia frustulum* et *Diatoma vulgare*, témoins d'eaux dégradées. La réunion d'une espèce benthique et d'une espèce très avide d'oxygène, dans une petite population (5.10^4 cell/gss), fait penser à une situation émergée correspondant, par exemple, à un ruissellement sur terre battue. Cela entre en accord avec les observations archéologiques (A. Benkert, com. orale) qui ont mis en évidence, à la surface de cette chape, des traces de balayage et une concentration particulièrement grande de meules, indiquant l'emplacement d'une aire de mouture.

Sous-zone R5

Des assemblages simplifiés se regroupent, ne conservant de R1 qu'*Amphora pediculus* et, de ce fait, se rapprochent sensiblement de ceux de la zone diatomique J. Ils abritent par ailleurs *Fragilaria pinnata*, espèce benthique et/ou *Cyclotella comta*, indice limnique. J'ai trouvé ces assemblages banalisés dans les échantillons 3XVG et H [2449-N13]; par leur position dans le tableau de végétation, tout laisse supposer que la végétation originelle a été en partie éliminée par une action lacustre secondaire (lessivage). Leurs indices trophiques (37,4 et 48% respectivement) sont un peu plus faibles que ceux des autres assemblages de fumiers lacustres, ce qui renforce l'interprétation.

Sous-zone R6

Les végétations à *Nitzschia palea* et *Nitzschia gandersheimiensis* trouvées dans les échantillons 3XVF₂ [2449-N13] et 04 [1954-M16] sont témoins d'eaux très dégradées (polytrophes) par des déjections animales et humaines. Selon l'échantillon, d'autres espèces résistantes accompagnent les deux premières: *Diatoma vulgare*, *Surirella ovata*, *Achnanthes lanceolata*, *Nitzschia* cf. *rosenstockii* et *Nitzschia supralittorea*. Ces trois dernières espèces sont d'ailleurs aussi des témoins aérophiles. Il est connu, en outre, (LANGE-BERTALOT 1979a) que ce type de végétation ne supporte des eaux dégradées et toxiques qu'en présence de beaucoup d'oxygène. Elles sont donc simultanément témoins d'assèchements (en tout cas partiels), ce qui correspond au fait qu'elles ne sont représentées qu'en petites populations (10^3 - 10^4 cell/gss).

L'échantillon 3XVF₂ [2249-N13] est un fumier très compact, désigné par les archéologues comme restes de bouses de ruminants. Il y a donc une très bonne corrélation entre les deux interprétations. Le sol pouvait être exondé à 427 m. L'échantillon 04 [1954-M16] pose par contre un problème car, étant constitué d'un sable fin, il serait plutôt d'origine limnique; or il contient une végétation aérophile avec peu d'espèces limniques associées habituellement à ce type de sédiment. La végétation trouvée est toutefois en très bon état (8,8% de fragmentation) et forme un assez fort peuplement (5.10^5 cell/gss): ces critères algosociologiques seraient eux plutôt limniques. Concilier les deux aspects pourrait se faire en imaginant que cette communauté riveraine a été amenée à cet endroit (ruissellement d'eau sale et accumulation sur le fond, en bas du site, sous une certaine quantité d'eau). L'échantillon 04 [2248-G14] situé un peu plus en amont, témoin aussi d'une certaine activité lacustre, confirme cette hypothèse.

Sous-zone R7

Ce sous-groupe constitue un ensemble artificiel de végétations mélangées, ne se ressemblant que peu ($I_s = 0,7-0,35$), mais toutes trouvées dans le haut du profil [2248-G14] correspondant à la seconde phase de construction du Bronze final. Par sa richesse en *Cocconeis thumensis* et *Achnanthes clevei*, l'assemblage trouvé dans l'échantillon 04 [2248-G14] ressemble beaucoup à certains assemblages de la zone diatomique J, relevés dans les sédiments sableux des couches 4 et 5. Il indiquerait plutôt une phase limnique, en parfait accord avec la description sédimentologique. Le seul indice de relative aérophilie, dans cet assemblage, est *Opephora martyi*, espèce épiphytique. Ce sédiment étant situé à 426,50 m d'altitude et s'étant probablement formé sous 0,5 à 1 m d'eau, l'hypothèse d'un léger abaissement du niveau moyen du lac peut être évoquée.

Les trois autres échantillons s'inscrivant dans cette sous-zone s'enrichissent à parts égales soit d'aérophiles (*Navicula subrotundata*, *Mastogloia smithii* var. *lacustris* et *Opephora martyi*), soit d'indices limniques comme *Achnanthes rostrata*, *Navicula schoenfeldii*, *Navicula rotunda* ou *Fragilaria pinnata*. Ces assemblages sont la

résultante de mélanges dus à une plus forte activité de l'eau que pour les assemblages de la sous-zone R1. Ce phénomène est encore renforcé par le fait que leurs indices E d'eutrophie sont très bas (entre 20 et 30%), ce qui, dans des sédiments anthropiques, indique un impact lacustre. Ces trois assemblages révéleraient aussi un niveau moyen du lac situé plus près de 427 que de 426 m. L'hypothèse limnique liée à cette sous-zone est quelque peu nuancée, car tous ces assemblages ont de forts taux de fragmentation (de 31,8 à 53%), démontrant plutôt la proximité de la zone de battement des vagues. On pourrait tout au plus admettre que le niveau moyen du lac se soit trouvé à peu près à cet endroit, c'est-à-dire vers 426,5 m.

Zone diatomique S

Cette zone regroupe des végétations simplifiées intermédiaires entre R1 et J, riches en petites espèces de *Navicula*, indicatrices d'eutrophie. Ces végétations ressemblent fort à celles que l'on trouve actuellement dans le lac de Morat à 1 m de profondeur et plus. Cette phase limnique, dont l'eau a probablement été enrichie par l'eutrophie des sédiments du Bronze, correspond à une élévation du niveau du lac, d'amplitude indéterminable. Le fait de trouver en 3XVD [2249-N13] ce type d'assemblage typique de la couche 2 indique que le sommet des stratigraphies du Bronze a été érodé par les premières phases lacustres submergeant les restes du village.

Répartition des végétations dans l'espace et dans le temps

Sur la figure 21, les profils et carottes étudiés sont répartis selon l'axe rive-lac du site archéologique, comme sur la figure 7, mais simultanément développés par rapport au temps donné par les phases polliniques standardisées (WELTEN 1982).

Sur les profils figurent les numéros des échantillons étudiés et les zones diatomiques retenues par la comparaison des assemblages (fig. 20).

Cette répartition permet de constater que les séries, qualifiées précédemment de sédimentation limnique (carotte B; carotte A; profil [2557-K8] et couches 6, 5 et 4), comportent peu de zones diatomiques différentes. C'est bien là la marque de l'effet normalisateur du lac sur les végétations diatomiques qu'on observe actuellement en zone littorale profonde.

Au contraire, les séries traduisant la proximité de la rive ou l'assèchement (profil [2760-N22], couches 3 et 03 du Bronze final) relèvent de zones diatomiques très variées, témoins des nombreux biotopes typiques des zones eulittorales et supralittorales, souvent répartis en mosaïques (petites flaques et petits terre-pleins). Cette distribution est particulièrement marquée dans la couche 3, qui a été suivie horizontalement: chaque bloc stratigraphique (p. 28), révélateur d'un cloisonnement anthropogène, se distingue des autres par la répartition

des zones diatomiques. Les couches 04 et 03 sont aussi occupées par des végétations variables; c'est, là encore, un argument permettant de conclure à un certain abaissement du niveau moyen du lac pendant la phase d'habitat du Bronze final en zone D. Sur le plan stratigraphique, les échantillons 49 à 39 du bas de la carotte B [1945] semblent très importants. Ils ont livré des végétations dominées par plusieurs espèces du genre *Fragilaria*, principalement *Fragilaria elliptica* Schum. Parmi elles, nous avons eu la chance de trouver en excellent état de très fortes proportions de *Fragilaria pseudoconstruens* Marciniak, et de sa variété *bigibba* Marciniak. Ces taxons, peu connus, ont été découverts et décrits dans des sédiments lacustres tardiglaciaires uniquement parmi des flores d'eaux oligotrophes, provenant des Tatra polonais (MARCINIAK 1982). Ils ont été retrouvés dans des conditions analogues en Ecosse (E. Haworth, com. orale), également en compagnie de *Fragilaria elliptica* Schum.

Tout récemment, Barbara Marciniak a montré qu'en haute altitude, dans les sédiments de l'Hobschensee (Alpes suisses), ces nouveaux taxons, ainsi que l'assemblage accompagnant caractéristique à *Fragilaria elliptica*, disparaît dès l'Allerød au profit de flores d'eaux plus productives (MARCINIAK 1988). En outre, dans sa publication de 1982, elle laisse supposer que *Fragilaria pseudoconstruens* vit encore actuellement dans des conditions arctiques, mais qu'elle a toujours été confondue avec *Fragilaria construens*, espèce largement répandue en eaux alcalines, tempérées, mésotrophes à eutrophes; preuve à l'appui, les photos publiées par Niels Foged dans ses flores d'Islande et d'Irlande (1974 et 1977) sous les noms de *Fragilaria construens* var. *binodis* ou *Fragilaria construens* var. *binodis* fo. *borealis*.

Dans l'état actuel de nos connaissances, *Fragilaria pseudoconstruens* semble donc liée à des eaux arctiques, conditions probables des lacs suisses de plaine au Dryas ancien inférieur. A Hauterive-Champréveyres, dès le Bølling (phase à genévrier), les assemblages s'enrichissent en espèces de la famille des *Naviculaceae*, et *Fragilaria pseudoconstruens* disparaît totalement, ce qui témoigne d'une augmentation de la productivité des eaux, liée sans doute à des conditions météorologiques plus clémentes. La transition est nette. Elle correspond aux données lithologiques de la carotte B: sédiments argilo-limoneux au Dryas ancien inférieur et crayo-limoneux dès le Bølling.

Dans le cas de la carotte A, la datation palynologique réalisée par M.-J. Gaillard est incertaine et débouche sur deux hypothèses: l'une au Tardiglaciaire très développé, l'autre au Tardiglaciaire court, et à l'Holocène très développé. Ici, la première hypothèse a été retenue, car elle est la plus vraisemblable sur le plan sédimentologique (Brochier et Moulin, com. orale). En suivant cette idée, la répartition des zones diatomiques se corrèle bien, de cette carotte aux profils plus riverains [2557-K8] et [2556-I14] datés par les pollens. La sous-zone Ga correspond à la zone E, datée du Bølling, toutes deux très riches en *Mastogloia smithii* var. *lacustris*.

Les sous-zones Gb et Gc sont témoins de sédimentation limnique fortement influencée par la rive (érosion différentielle des aérophiles). Cela reflète un très fort hydrodynamisme à ces époques, phénomène marquant aussi les zones diatomiques E et F.

D'autre part, ces quatre zones sont pauvres en *Amphora*, les traceurs limniques étant plutôt du genre *Fragilaria*. Dès l'échantillon 10 [1953] de la carotte A, par contre, les indices limniques appartiennent au genre *Amphora*, petites espèces également présentes dans les végétations mélangées ou résiduelles du profil [2556-114], daté de l'Holocène.

En résumé, on peut tracer brièvement une stratigraphie reprenant les espèces principales observées sur ce site littoral.

Subatlantique Subboréal Atlantique	<i>Amphora pediculus</i>
Boréal Préboréal	<i>Amphora inariensis</i>
(Dryas récent) Allerød	<i>Cymbella microcephala</i>
Bølling	<i>Mastogloia smithii</i> var. <i>lacustris</i>
Dryas ancien inférieur	<i>Fragilaria elliptica</i> et <i>Fragilaria pseudoconstruens</i>

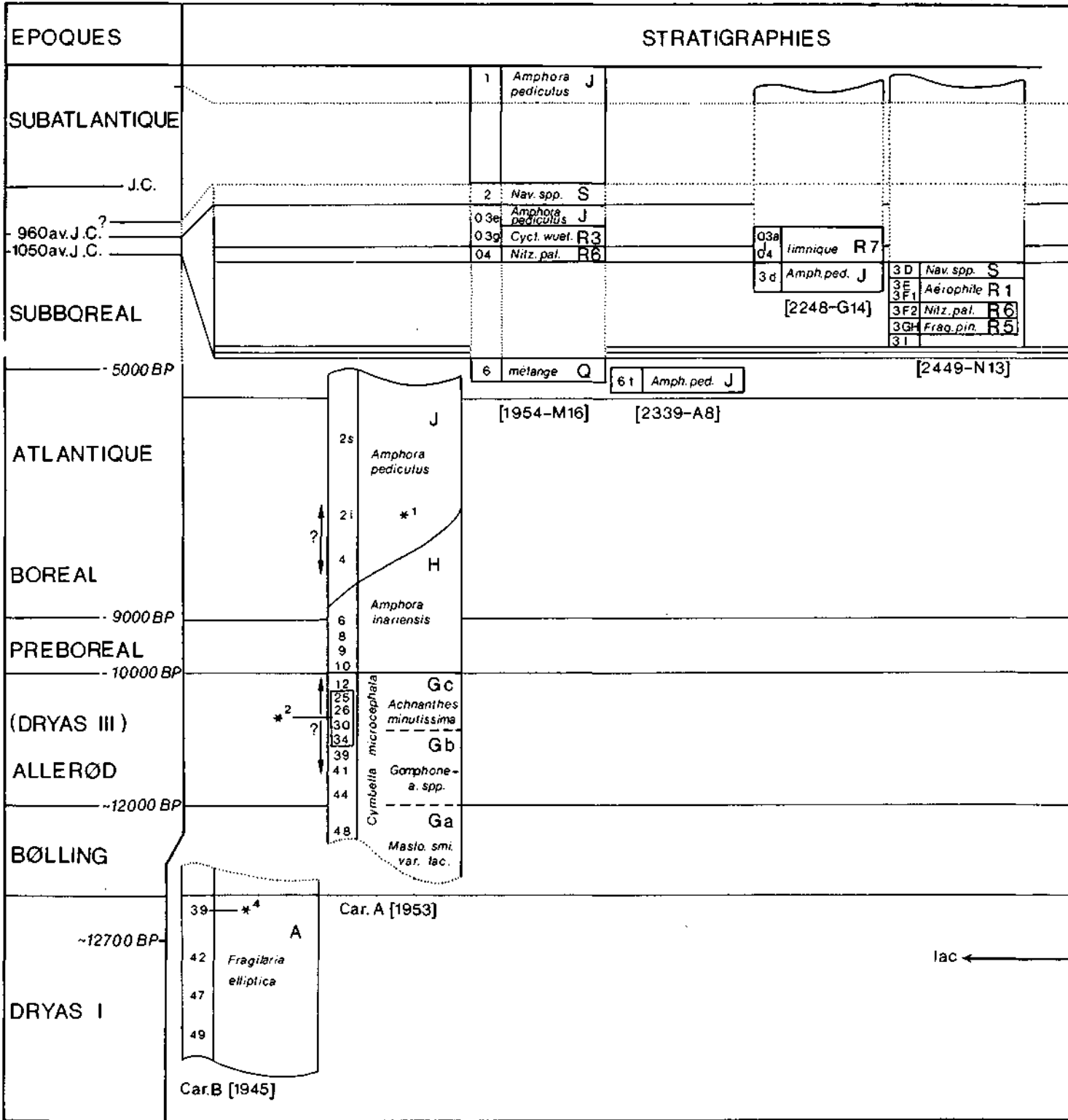
Il est prématuré de comparer cette stratigraphie ayant enregistré tout particulièrement des activités terrigènes (zone littorale, activité de ruissellement et activité humaine) avec d'autres sites d'Europe centrale, et cela pour plusieurs raisons:

— il existe trop peu de stratigraphies;

— le petit nombre de stratigraphies existantes est issu essentiellement de stations profondes et de domaines géologiques différents: travaux sur le Rotsee près de Lucerne par LOTTER 1988; travaux en cours sur le Hobschensee dans le massif du Simplon par MARCINIAK 1988; CORNET 1980 pour les Vosges; KRASSKE 1937, FJERDINGSTADT 1954 et MARCINIAK 1979 pour le Nord du continent;

— je n'ai pas trouvé de référence concernant la stratigraphie de diatomées littorales.

Une seule comparaison immédiate peut être établie avec un carottage du lac de Neuchâtel, publié par Marguerite Wüthrich en 1961. La colonne sédimentaire a été prélevée sur le haut fond de la Motte. A cause de cette situation, soumise à de fréquentes érosions, la séquence présente beaucoup de lacunes (Wüthrich, com. orale). Des niveaux crayeux fertiles, échelonnés du Boréal à l'époque actuelle, reposant sur la moraine de fond, ont été mis en évidence. L'importance pendant l'Holocène d'*Amphora ovalis* var. *pediculus sensu* Hustedt 1930 = (*A. pediculus* (Kütz.) Grun. et *A. inariensis* Krammer), constitue la seule corrélation utilisable. Plusieurs phases importantes à cyclotelles interrompent la continuité de la sédimentation. Elles ne peuvent pas être mises en corrélation avec la sédimentation d'Hauterive-Champrevyres, car elles ne sont pas datées et sont constituées par d'autres espèces.



*1 cette partie appartient encore au Boréal

*2 cette séquence sédimentaire pourrait cependant encore appartenir à l'Allerød

*3 cet ensemble appartient déjà au Bølling

*4 cette strate appartient à l'extrême fin du Dryas I, voire au début du Bølling (phase à genévrier)

*5 horizon magdalénien

Epoques: la subdivision est basée sur les zones polliniques locales élaborées par M.-J. Gaillard

Fig. 21. Répartition des zones diatomiques dans l'espace (rive-lac) et dans le temps (du Dryas ancien inférieur à l'Actuel). Les hiatus sédimentaires, de la stratigraphie générale ou des profils particuliers, sont représentés par des pointillés.

STRATIGRAPHIES				Couches archéologiques
				1 Actuel
				2
				03 Bronze final Zone D
				04
?	3C 3D Cycl. wuei. B3	3A 3C Ach. clav. B2		Bronze final
Nitz. Irus. R4	3E R1	3D R1		3 Zones AB
Amph. ped. J	3F Aérophile	3E Aérophile		4
	4.5 Amph. ped. J	3B Aérophile		5
[2554-K7]	6 Amph. ped. J			6
[2554-M16] [2554-F 16] [2554-I 16]		29 Gompho. angustu. P		
		?		
		27 Cyclotel. comta O		
		?		
		25 érodé		
		N		
		24 Achnanthes minutissima		
		22: mélange M		
		20: mélange L		
		19: résiduel K		
		F		
		18 Cocc. pla. et Cymb. micro.		
		17 (E)		
		résiduel		
		14 E		
		2 Mastogloia smi. var. lac.		
		1 Cym. micr. D		
[2556-I 14]		?	779 Nitz. pus. B1	Azilien (-12500BP)
[2557-K8]	51 Cym. min C		?	
	53 résiduel			
	247 dissous ?			
	[2660-K 23 et H20]		777 stérile *3	Magdalénien (-12700BP)
			776 Navicula clypeoceph. *5	
			774 stérile	
			770 Navicula exilis B2	
			769 Ach. lanc. B1	
			768 Amph. montana	
			[2760-N 22]	

→ rive

Apports de l'étude des diatomées à l'archéologie des zones littorales lacustres et développement souhaitable de cette approche

La possibilité de calculer le pH des milieux naturels anciens à partir des végétations de diatomées fossiles montre que la plupart des sédiments répertoriés ont conservé, *grosso modo* jusqu'à l'heure actuelle, leur pH d'origine. Les mesures de pH appliquées par le sédimentologue, dans le contexte de sédiments carbonatés, sont donc valables, de même que leurs interprétations (alcalinité élevée = sédiment à composante limnique; alcalinité faible ou acidité = sédiment à composante terrigène). Cependant, des modifications de pH que seule l'analyse diatomique peut révéler interviennent parfois au cours du temps. L'analyse de la direction de l'écart (vers une acidification ou vers une alcalinisation secondaire) donne de précieux renseignements quant à la nature de ces sédiments instables.

La compréhension de la déviation générale (fig. 12) entre le pH ancien (calculé à partir des végétations de diatomées) et le pH actuel (mesuré dans les sédiments) sera possible lorsque la fonction de transfert liant les végétations de diatomées au pH sera calibrée dans la région.

La reconstitution des états nutritifs de l'eau au cours du temps (que l'analyse des pigments fossiles d'origine bactérienne et algale pourrait aussi révéler) a permis:

- de confirmer l'importance des transitions climatiques du Dryas ancien inférieur au Bølling et du Tardiglaciaire à l'Holocène, dans le vieillissement naturel du lac de Neuchâtel;

- de mettre en évidence l'impact de l'homme préhistorique sur son environnement littoral direct et le rôle de nettoyage de l'espace habité, assumé par les crues du lac.

La reconstitution des fluctuations des niveaux du lac durant ces 15 000 dernières années, établie grâce à la connaissance des préférences bathymétriques des

communautés de diatomées, entre globalement en accord avec les propositions faites par le sédimentologue concernant les niveaux moyens successifs du lac et les tendances des variations. Quant aux valeurs absolues des minima et maxima, l'analyse granulométrique horizontale des sédiments donne des altitudes respectivement plus basses et plus élevées que celles obtenues par l'analyse diatomique. Vu l'ampleur de son travail, les propositions du sédimentologue sont sans doute plus près de la réalité que les miennes. Une amélioration de cet aspect des études sur les diatomées de sites littoraux consisterait à:

- augmenter le nombre d'échantillons, en particulier sur le plan horizontal;

- étudier dans la région prise en considération la répartition des communautés actuelles de diatomées en fonction de la profondeur;

- saisir quantitativement et qualitativement l'impact de la dérive des ces organismes sur la sédimentation *in situ*;

- étudier l'impact de facteurs physiques, telle l'énergie des vagues ou la vitesse des courants sur les communautés de diatomées.

En tenant compte, dans cette étude, de l'état de conservation des valves de diatomées (fragmentation et degrés de dissolution), l'origine, parfois déterminante pour l'interprétation archéologique, de l'hétérogénéité de certains sédiments a pu être discutée (p. ex. profil [2248-G14]). Les limites de l'interprétation de ces cas, parmi les plus intéressants, sont dues au manque généralisé de connaissances quant à la sélectivité et à la quantification des facteurs de fragmentation et de dissolution des valves de ces algues.

De plus, l'état des valves trouvées dans plusieurs sédiments supralittoraux du site paléolithique (dont la position topographique est attestée par la présence de foyers posés à même le sol), à première vue sans traces de diatomées, a permis de distinguer deux cas de stérilité, apparente ou réelle, qui ne peuvent être interprétés de la même façon:

– la stérilité apparente de sédiments sablo-graveleux (profil [2760-N22]) peut être imputable à l'assèchement (conditions peu favorables au développement des algues), car les diatomées trouvées dans ces niveaux sont toujours en bon état et appartiennent presque toutes à des espèces aérophiles et terrestres;

– la stérilité réelle d'une lentille de sédiments organique limoneux (éch. 247 [2660-H20]) est imputable à une dissolution secondaire des valves de diatomées (action probable des acides humiques); en effet, dans certains prélèvements voisins (éch. 51 et 53 [2660-K23]), corrélés sur le plan stratigraphique et lithologique, quelques valves très fortement érodées chimiquement ont pu être décelées après un effort d'investigation soutenu; ces débris peuvent être attribués à des espèces ayant besoin d'eau libre pour vivre. Cette observation permet de soutenir que ces lentilles de sédiment organique sont les traces de flaques supralittorales, probablement en contact avec le lac en période de crue.

Grâce à la répartition horizontale des prélèvements, certaines mosaïques de micromilieus ont pu être mises en évidence. Les corrélations établies avec d'autres disciplines étudiant les pollens, les macrorestes végétaux, les insectes, les mollusques et la part minérale non diatomique des sédiments ont débouché sur la description d'une succession possible de paysages riverains, permettant à l'archéologie de situer ses propres découvertes.

Une première biostratigraphie des diatomées littorales du lac de Neuchâtel a pu être établie. Les carottes profondes ayant enregistré des événements hydrologiques généraux, l'histoire des flores de diatomées de ce lac peut être maintenant liée à la biostratigraphie des pollens définissant les époques climatiques depuis la dernière glaciation. Par ce biais, les événements localisés (parfois à forte composante humaine) retenus par les profils riverains peuvent être situés dans l'histoire générale du lac.

Il serait souhaitable que l'analyse diatomique soit appliquée à d'autres localités riveraines (archéologiques ou non) de ce lac. De telles études permettraient d'affiner les interprétations proposées ici et de distinguer les phénomènes particuliers rencontrés à Hauterive-Champréveyres des phénomènes probablement communs à toute la zone littorale du lac.

Addenda (décembre 1989)

Entre le moment de la rédaction et la présente édition de ce texte, la recherche s'est fortement développée autour d'Hauterive-Champréveyres, dans les disciplines archéologiques comme dans le domaine des sciences naturelles. En particulier, de nouveaux résultats sont venus enrichir la réflexion et des précisions d'ordre biostratigraphique (malacologie et corrélations sédimentaires) ont permis de résoudre certaines incertitudes ou de modifier l'attribution de plusieurs couches.

Loin de remettre en question les interprétations présentées ici, ces nouvelles informations permettent dans plusieurs cas de dissiper certains doutes ou de préciser des reconstitutions paléoenvironnementales.

Plutôt que de modifier de manière diffuse certains passages du texte, j'ai préféré présenter ces nouveaux résultats brièvement ci-dessous: ainsi, le lecteur situera mieux l'enjeu des questions soulevées et saisira la progression constante de la réflexion au sein de l'équipe pluridisciplinaire chargée de l'étude de ce site archéologique.

Seules les données stratigraphiques spécifiques figurant dans le catalogue floristique sous les rubriques «distribution» ont été directement mises à jour dans le texte.

a) Carotte B [1945]

(fig. 10, p. 31; fig. 11, p. 34; fig. 14, p. 38; fig. 15, p. 47; fig. 21, p. 60; description de la zone diatomique A, p. 52; résumé des reconstitutions, p. 42)

Le sédiment crayo-limoneux dans lequel l'échantillon 39 a été prélevé doit être attribué au Bølling (phase à genévrier). D'après les données sédimentologiques de MOULIN (à paraître), le taux de carbonates de ce sédiment est déjà plus élevé que ceux des sédiments argilo-limoneux sous-jacents: c'est un argument qui justifie la nouvelle datation, en corrélation avec les faunes de mollusques trouvées par N. Thew.

Au point de vue de la végétation de diatomées, la forte similitude de ce prélèvement avec les échantillons sous-jacents (végétations à *Fragilaria elliptica* et *F. pseudoconstruens*, zone diatomique A, fig. 20) semble contredire la nouvelle attribution. En approfondissant l'analyse de cette figure, on constate cependant que cet échantillon, de même que l'échantillon 42, se distingue qualitativement de ceux du bas de la carotte B par la présence en petit nombre de taxons communs depuis le Bølling seulement, tels que *Fragilaria pinnata*, *F. brevis-triata* var. *elliptica*, *Mastogloia smithii* var. *lacustris*, *Navicula rotunda*, *Amphora inariensis*, *Achnanthes minutissima*, *Nitzschia denticula* et *Navicula radiosa*.

Ce fait n'a pas eu beaucoup de poids dans le calcul de l'indice de similarité, du point de vue statistique; néanmoins, il indiquerait que la transition entre le Dryas I et le Bølling fut progressive. Ainsi se trouve levé le doute exprimé en page 41.

Le mélange de flores signalé ci-dessus pour les échantillons 39 et 42 pourrait évoquer un remaniement de sédiments; mais cette hypothèse doit cependant être rejetée, car ceux-ci sont homogènes, et les squelettes de diatomées sont dans un excellent état de conservation.

En résumé, on peut dire que l'échantillon 39, tout en étant attribué au Bølling, porte encore l'empreinte du Dryas ancien inférieur (inertie lacustre) et que l'échantillon 42, attribué à la fin du Dryas I, annonce déjà de manière imperceptible les modifications des conditions hydrologiques et climatiques du Bølling.

De ce fait, la stratigraphie simplifiée proposée en page 59 doit être pondérée. Si *Mastogloia smithii* var. *lacustris* reste typique du Bølling (en tout cas de la phase à bouleau), les flores à *Fragilaria elliptica* et *F. pseudoconstruens* peuvent encore y être présentes, particulièrement au début de cette époque (phase à genévrier).

b) Profil [2760-N22]

(fig. 10, p. 31; fig. 11, p. 34; fig. 14, p. 38; fig. 15, p. 47; fig. 21, p. 60; description de la zone diatomique B, p. 52; résumé des reconstitutions, p. 42)

Sur la base des nouvelles corrélations sédimentaires et des résultats de la malacologie, la transition Dryas I/Bølling (phase à genévrier) doit être placée entre les échantillons 776 et 777. L'échantillon 778 (non analysé) se situe dans une couche appartenant déjà à la phase à bouleau du Bølling.

Dans l'échantillon 777, N. Thew trouve des coquilles d'*Armiger crista* (Linné), mollusque présent dans la région depuis le Bølling seulement. Ce petit gastéropode vit en bordure des lacs, dans les herbiers denses de macrophytes aquatiques enracinés dans moins de 1 m d'eau. Au point de vue algologique, cette zone lacustre abrite de nombreuses diatomées. Or l'échantillon s'est révélé stérile. L'hypothèse d'un lessivage secondaire du sédiment (p. 25) est donc renforcée.

c) Profils [2660-K23 et H20]

(fig. 10, p. 31; fig. 11, p. 34; fig. 14, p. 38; fig. 15, p. 47; fig. 21, p. 60; description de la zone diatomique C, p. 54; résumé des reconstitutions, p. 42)

Dans ces profils, un certain nombre de passées de limon très organique avaient été décrites comme des lentilles emprisonnées dans un limon verdâtre. Suite à une meilleure compréhension du développement horizontal de ces couches, il apparaît qu'il s'agit là des traces d'une couche unique plissée par des déformations plastiques des sédiments (MOULIN, à paraître). Cette strate est déposée sur le niveau archéologique magdalénien et se développe tout au long de la rive du lac.

Plutôt que les traces de flaques supralittorales, le malacologue y voit le vestige du bas marais, la matière organique provenant de la décomposition des macrophytes paludéens.

Ces constats d'ordres paléocéologique et sédimentologique viennent soutenir certaines des hypothèses que j'avais émises pour ces couches: toutes s'étaient formées dans les mêmes conditions de sédimentation. La nouvelle interprétation paléocéologique confirme l'idée de contact avec le lac, exprimée lors de l'analyse de la végétation résiduelle de diatomées trouvée dans cette couche (zone diatomique C, p. 54). La présence de flaques supralittorales doit être rejetée pour ces profils, mais elle subsiste dans l'interprétation de plusieurs échantillons du profil [2760-N22].

d) Profil [2557-K8]

(fig. 9, p. 30; fig. 16, p. 48; fig. 21, p. 60; description des zones diatomiques D et E, p. 54; résumé des reconstitutions, p. 42)

Les échantillons 1 à 14 datent bien du Bølling mais proviennent tous de la phase à bouleau. Les interprétations des flores diatomiques subfossiles de ces échantillons ne concernent donc que la phase la plus récente de cette époque.

e) Profil [2556-K7]

(fig. 9, p. 30; fig. 16, p. 48)

La limite entre le Boréal et l'Atlantique se situe entre les échantillons 24 et 25, mais au niveau de la passée graveleuse.

Cette nouvelle information n'a pas d'incidence sur les interprétations.

f) Carotte A [1953]

(fig. 9, p. 30; fig. 11, p. 34; fig. 14, p. 38; fig. 17, p. 49; fig. 21, p. 60; description des zones diatomiques G, H et J, p. 54-55; résumé des reconstitutions, p. 43)

Deux modifications stratigraphiques interviennent sur cette carotte.

Premièrement, faisant suite aux incertitudes de datation déjà signalées (p. 58), les échantillons 25 à 34 pourraient être encore attribués à l'Allerød. Cette précision vient renforcer l'idée d'une unité biostratigraphique englobant en tout cas les échantillons 25 à 48 (zone diatomique G). Ainsi, la précaution de mettre entre parenthèses le Dryas III (fig. 21, p. 60 et stratigraphie simplifiée de la page 59) est d'autant plus justifiée.

Deuxièmement, en haut de la carotte A, la transition entre le Boréal et l'Atlantique se situe au niveau de la couche située au-dessus de l'échantillon 2_{sup}. Ainsi, l'augmentation graduelle d'eutrophie de l'eau, marquée par le remplacement progressif d'*Amphora inariensis* par *A. pediculus* (zones diatomiques H et J), a lieu en plein Boréal et non pas à cheval sur le Boréal et l'Atlantique (fig. 21, p. 60). Dans la stratigraphie simplifiée, pour plus de précaution, il faut garder *Amphora inariensis* pour le Préboréal, indiquer *A. inariensis* et *A. pediculus* pour le Boréal et mettre l'Atlantique entre parenthèses.

Suite à cette seconde correction, il faut constater que, finalement, seuls deux échantillons datant de l'Atlantique ont été étudiés au point de vue des diatomées: les échantillons 25 et 27 du profil [2556-I14]. Le premier s'est révélé stérile, tandis que le second se rapporte à la zone diatomique O. Cela permet de comprendre pourquoi je n'ai pas retrouvé ce niveau limnique sur la carotte A: il devrait se situer au-dessus de l'échantillon 2_{sup}.

Globalement, toutes ces modifications biostratigraphiques influent peu sur les interprétations proposées ici.

Dans le détail, la courbe de fluctuations des niveaux du lac (fig. 14, p. 38) devrait être modifiée comme suit.

L'augmentation du niveau du lac à la fin du Dryas III est moins précoce. Elle est probablement mieux marquée, le niveau moyen du lac montant vraisemblablement jusqu'à 428 m à la fin du Dryas I et pendant la phase à genévrier du Bølling. Cette crue a amené les sédiments qui ont scellé le gisement magdalénien. Plus tard, le niveau moyen du lac a certainement baissé vers 427 m pendant l'établissement du campement azilien, précédant l'augmentation fluctuante des niveaux à la fin du Bølling, comme cela est indiqué sur la figure 14. En considérant que l'Atlantique n'a pas été étudié dans la carotte A, la probabilité des hauts niveaux proposés pour cette période (429 m et plus), à partir de l'étude des échantillons du profil [2556-I14], est renforcée.

Annexe

Les tableaux des résultats bruts sont disponibles chez l'auteur.

Six séries de 91 préparations microscopiques, doublant la collection de l'auteur, sont déposées auprès des institutions suivantes :

- 1 et 2. Laboratoire d'algologie
Gymnase cantonal
CH-2300 La Chaux-de-Fonds
3. Musée cantonal d'archéologie
Av. DuPeyrou 7
CH-2000 Neuchâtel
4. Conservatoire Botanique
de la Ville de Genève
(Collection Brun)
Case postale 60
CH-1292 Chambésy
5. Muséum National d'Histoire Naturelle
Laboratoire de Cryptogamie
(Collection ADLAF)
Rue Buffon 12
F-75005 Paris
6. Préparations N^{os} BM 81 307 à BM 81 395*bis*
British Museum (Nat. Hist.)
Diatom Section, Dept. of Botany
Cromwell Rd.
GB-London SW7 5BD

Bibliographie

- BACH Klaus et BURKHARDT Berthold (eds)
1984 *Diatomeen I: Schalen in Natur und Technik*. Universität de Stuttgart (Mitteilungen des Institutes für leichte Flächentragwerke, 28).
- BATTARBEE Richard
1978 Observations on the recent history of Lough Neagh and its drainage basin. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London B*, 281, p. 303-345.
1983 *Diatoms analysis of river Thames foreshore deposits exposed during the excavation of a Roman waterfront site at Pudding Lane, London*. University College of London, (Working Papers, 2).
1984 Diatoms analysis and the acidification of lakes. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London B*, 305/1124, p. 451-477.
1985 *Diatoms and acid lakes: proceedings of a workshop. 8th International Diatoms Symposium, Paris 1984*. University College of London, (Working Papers, 11).
1986 Diatom analysis. In: BERGLUND, B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Chichester, Wiley and Sons, p. 527-570.
- BENKERT Alain et EGGER Heinz
1986 Dendrochronologie d'un site Bronze final. Hauterive-Champréveyres (Suisse). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 83/11-12, p. 486-502.
- BINZ Peter
1984 Problems concerning measurements of the stable isotope ratio O^{18}/O^{16} in biogenic silica of recent freshwater diatoms from the lake of Zurich and the lake of Walen. *Abstracts of the 8th symposium on living and fossil diatoms, Paris 1984*, p. 46.
- BIRKS H.J.B.
1986 Late-Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. In: BERGLUND, B.E. (ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Chichester, Wiley and Sons, p. 3-65.
- BOCK Walter
1963 Diatomeen extrem trockener Standorte. *Nova Hedwigia*, Beiheft 5, p. 199-254.
1970 Felsen und Mauern als Diatomeenstandorte. *Nova Hedwigia*, Beiheft 31, p. 395-441.
- BOURELLY Pierre et MANGUIN Emile
1952 *Algues d'eau douce de la Guadeloupe et dépendances*. CNRS, Société d'Édition pour l'Enseignement Supérieur, 99 (Paris).
- BRADBURY J.Platt
1975 *Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota*. Geological Society of America (Special Papers, 191).
- BROCHIER Jacques Léopold et MOULIN Bernard
La sédimentation lacustre tardi- et postglaciaire au large du site de Champréveyres, Lac de Neuchâtel. In: MOULIN B., *Hauterive-Champréveyres*, 3 (à paraître).
- BURRI N., JOYE C., RYCHNER-FARAGGI A.-M. et SCHIFFERDECKER F.
1987 Découverte d'un village littoral de la civilisation de Cortaillod à Hauterive-Champréveyres (Neuchâtel, Suisse). *Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie*, 70, p. 35-50.
- CAMBURN Keith-E.
1982 Subaerial diatoms communities in Eastern Kentucky. *Transactions of the American Microscopical Society*, 101/4, p. 375-387.
- CHOLNOKY B.J.
1968 *Die Ökologie des Diatomeen in Binnengewässer*. Lehre, Cramer.
- CLEVE-EULER Astrid
1951-55 *Die Diatomeen von Schweden und Finnland*. Stockholm, Kunglige Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, Série 4: 2/1, 3/3, 4/1, 4/5, 5/4.
- CORNET Colette
1980 Corrélation pollens-diatomées dominantes fossiles de la transition climatique Pleistocène-Holocène dans les Vosges (France). *Cryptogamie: Algologie*, 1/1, p. 70.
1981 Analyse diatomique de l'oscillation préboréale de Piottino d'un sondage dans le Hinkelsmaar (Eifel Occidental). *Cryptogamie: Algologie*, 2/2, p. 154.
- COSTE Michel
1978 *Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes*. Thèse Université de Franche-Comté, n° 287.
1982 In: BONNARD R. (ed.), *Etude écologique de la Seine. Site de Nogent sur Seine. Etat de référence*. Rapport CEMAGREF. Groupement de Lyon.
- COSTE Michel et RICARD Michel
1980 Observations en microscopie photonique de quelques *Nitzschia* nouvelles ou intéressantes. *Cryptogamie: Algologie*, 1/3, p. 187-212.
- DENEYS Roger
1982 *Etude de la Ronde. Etude du degré de pollution à l'aide des populations de diatomées*. La Chaux-de-Fonds, Gymnase cantonal (travail de baccalauréat, non publié).
- DESCY Jean-Pierre
1980 Utilisation des algues benthiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes. In: PESSON P. (ed.), *La pollution des eaux continentales*. Paris, Gauthier-Villars, p. 169-194.
1983 Contribution à l'étude des diatomées du bassin de la Meuse (période 1975-1980): liste floristique et commentaires sur divers taxons rares ou nouveaux pour la Belgique. *Lejeunia*, nouvelle série 111, 1-33.
- DIGERFELDT G., HÅKANSSON H. et PERSSON Th.
1980 *Palaeoecological studies of the recent development of the Stockholm lakes Långsjörn, Lillsjön and Laduviken*. University of Lund, Department of Quaternary Geology (Report 20).
- DOUGLAS Barbara
1958 The ecology of the attached diatoms and other algae in a small stony stream. *Journal of Ecology*, 46, p. 295-322.

- DRUART Jean-Claude et STRAUB François
1988 Description de deux nouvelles Cyclotelles (*Bacillariophyceae*) de milieux alcalins et eutrophes: *Cyclotella costei* nov. sp. et *Cyclotella wuethrichiana* nov. sp. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 50/2, p. 182-188.
- DUSSART Bernard
1966 *Limnologie*. Paris, Gauthier-Villars.
- ENNIS G.L., NORTHCOTE T.G. et STOCKNER J.G.
1983 Recent trophic changes in Kootenay lake, British Columbia, as recorded by fossil diatoms. *Canadian Journal of Botany*, 61/7, p. 1983-1992.
- FABRI Régine et LECLERCQ Louis
1984 *Etude écologique des rivières du nord du massif ardennais (Belgique): flore et végétation des diatomées et physico-chimie des eaux*, 1. Robertville, Station Scientifique des Hautes-Fagnes.
- FJERDINGSTAD E.
1954 *The subfossil algal flora of the Lake Bolling Sø and its limnological interpretation*. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab (Biologiske Skrifter, 7/6).
- FLORIN Maj-Britt
1970 Late-Glacial diatoms of Kirchner Marsh, Southeastern Minnesota. *Nova Hedwigia*, Beiheft 31, p. 667-756.
- FOGED Niels
1954 On the diatom flora of some Funen lakes. *Folia limnologica scandinavica*, 6.
1964 Freshwater diatoms from Spitsbergen. *Tromsø Museums Skrifter*, 11.
1974 Freshwater Diatoms in Iceland. *Bibliotheca phycologica*, 15.
1977 Freshwater Diatoms in Ireland. *Bibliotheca phycologica*, 34.
1978 Diatoms in Eastern Australia. *Bibliotheca phycologica*, 41.
1979 Diatoms in New Zealand, the North Island. *Bibliotheca phycologica*, 47.
1980 Diatoms in Öland, Sweden. *Bibliotheca phycologica*, 49.
1981 Diatoms in Alaska. *Bibliotheca phycologica*, 53.
1982 Diatoms in Bornholm, Denmark. *Bibliotheca phycologica*, 59.
1984 Freshwater and littoral diatoms from Cuba. *Bibliotheca diatomologica*, 5.
1985 Diatoms in a Tomb from the Early Bronze Age. *Nova Hedwigia*, 41, p. 471-482.
- GERMAIN Henry
1981 *Flore des diatomées*. Paris, Boubée.
- HÅKANSSON Hannelore
1982 The recent diatom Succession of Lake Havgardssjön, South Sweden. In: MANN D.G. (ed.), *Proceedings of the 7th International Diatoms Symposium, Philadelphia 1982*. Koenigstein, Koelz, p. 411-429.
1984 Diatom analysis of profile XVII from the Southwestern bay of Krageholmssjön. In: GAILLARD M.-J. (ed.), *Paleohydrological study of Krageholmssjön (Scania, Southern Sweden)*. Lundqua report, 25 (Lund), p. 37-40.
- HÅKANSSON Hannelore et STOERMER Eugene F.
1984a An investigation of the morphology of *Stephanodiscus alpinus* Hust. *Bacillaria*, 7, p. 159-172.
- 1984b Observation on the type material of *Stephanodiscus Hantzschii* Grun. in Cleve et Grunow. *Nova Hedwigia*, 39, p. 477-495.
- HAWORTH Elisabeth
1975 A scanning electron microscope study of some different frustule forms of the genus *Fragilaria* found in Scottish late-glacial sediments. *British Phycological Journal*, 10, p. 73-80.
1976 Two late-glacial (late Devensian) diatom assemblage profiles from northern Scotland. *New Phytologist*, 77, p. 227-256.
1984 A scanning electron microscope study of *Cyclotella stelligera* and related taxa. In: AASHEIM (ed.), *Rapport fra Diatomisymposium: Bergen, mai 1983*. Bot. Mus., Rapp. 33, p. 15-25.
- HUBER-PESTALOZZI Gottfried
1942 *Das Phytoplankton des Süßwasser 2/2*. Stuttgart, Schweizerbart (Die Binnengewässer, 16).
- HÜRLIMANN Joachim
1984 *Vergleich von zwei Kieselalgenpräparationsmethoden*. Université de Zurich (rapport non publié).
- HUSTEDT Friedrich
1927-66 *Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz I-III*. Leipzig, D' L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora, 7.
1930 *Bacillariophyta. Die Süßwasserflora Mitteleuropas*, 10. Jena, Fischer.
1937-38 Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora von Java, Bali und Sumatra II: Allgemeiner Teil. *Archiv für Hydrobiologie*, Supplement 16, p. 274-394.
1942 Süßwasser-Diatomeen des indomalayischen Archipels und der Hawaii-Inseln. *Internationale Revue für gesamte Hydrobiologie*, 42, 1/3, p. 1-252.
1943 Die Diatomeenflora einiger Hochgebirgseen der Landschaft Davos. *Internationale Revue für gesamte Hydrobiologie*, 43, p. 124-197 et p. 225-280.
1945 Diatomeen aus Seen und Quellgebieten der Balkan-Halbinsel. *Archiv für Hydrobiologie*, 4, p. 867-973.
1950 Die Diatomeenflora norddeutscher Seen mit besonders Berücksichtigung des holsteinischen Seengebiets V-VII. *Archiv für Hydrobiologie*, 43, p. 329-458.
1953 Diatomeen aus dem Naturschutzpark Seon. *Archiv für Hydrobiologie*, 47, p. 625-635.
1955 Neue und wenige bekannte Diatomeen VIII. *Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Verein von Bremen*, 34/1, p. 47-68.
1957 Die Diatomeenflora des Flusssystem der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Verein von Bremen*, 34, p. 181-440.
- JANSMA M.J.
1984 Diatom analysis of prehistoric pottery. In: MANN D.G. (ed.), *Proceedings of the 7th International Diatom Symposium, Philadelphia 1982*. Koenigstein, Koelz, p. 529-536.
- JØRGENSEN Erik G.
1948 *Diatom Communities in some Danish lakes and ponds*. Kongelige Dansk Videnskabernes Selskab (Biologiske Skrifter, 5/2).

- KINGSTON J., LOWE R. et STOERMER E.F.
1980 The frustular morphology of *Amphora thumensis* (Mayer) A. Cl. from northern Lake Michigan and consideration of its systematic position. *Transactions of the American Microscopical Society*, 99/3, p. 276-283.
- KRAMMER Kurt
1982 Valve morphology in the genus *Cymbella* C.A. Ag. *Micromorphology of Diatoms Valves*, 11. Vaduz, Cramer.
- KRAMMER Kurt et LANGE-BERTALOT Horst
1986 *Bacillariophyceae 1: Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 2/1. Stuttgart, Fischer.
- KRASSKE Georg
1932 Beiträge zur Kenntniss der Diatomeenflora der Alpen. *Hedwigia*, 72/3, p. 92-134.
1937 Diatomeen aus den postglacialen Seen auf Rügen II. *Archiv für Hydrobiologie*, 31, p. 38-53.
- KUHN David L., PLAFKIN J.L., CAIRNS J. et LOWE R.L.
1981 Qualitative Characterisation of aquatic environments using diatom life-form strategies. *Transactions of the American Microscopical Society*, 100/2, p. 165-182.
- LABEYRIE Jacques
1976 La datation par le carbone-14. *La Recherche*, 73, p. 1036-1045.
- LABEYRIE L.D., JUILLET A. et DUPLESSY J.-C.
1984 Oxygen Isotopic Stratigraphy: Fossil Diatoms vs Foraminifera. In: MANN D.G. (ed.), *Proceedings of the 7th International Diatom Symposium, Philadelphia 1982*, Koenigstein, Koelz, p. 477-491.
- LANGE-BERTALOT Horst
1976 Eine Revision zur Taxonomie der *Nitzschia lanceolata* Grun. *Nova Hedwigia*, 28, p. 253-307.
1978 Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeigneteres Kriterium des Gewässerbelastung. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement 51, Algologische Studien*, 21, p. 393-427.
1979a Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia, Beiheft 64*, p. 285-304.
1979b Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starke Abwasserbelastung, exemplarisch für den unteren Main. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement 56, Algologische Studien*, 23, p. 184-219.
1980a New species, Combinations and Synonyms in the genus *Nitzschia*. *Bacillaria*, 3, p. 41-77.
1980b Zur systematischen Bewertung der bandförmigen Kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria*. *Nova Hedwigia*, 33, p. 723-787.
- LANGE-BERTALOT Horst et BONIK K.
1976 Massenentwicklung bisher seltener und unbekannter Diatomeen als Indikator starker Abwasserbelastung in Flüssen. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement 49, Algologische Studien*, 16, p. 303-332.
- LANGE-BERTALOT Horst et KRAMMER Kurt
1989 *Achnantes*. Eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung *Cocconeis* und Nachträgen zu den *Naviculaceae*. *Bibliotheca diatomologica*, 18.
- LANGE-BERTALOT Horst et RUPPEL Manfred
1980 Zur Revision taxonomisch problematischer ökologisch jedoch wichtiger Sippen der Gattung *Achnanthes* Bory. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement 60, Algologische Studien*, 26, p. 1-31.
- LANGE-BERTALOT Horst et SIMONSEN Reimer
1978 A taxonomic revision of the *Nitzschia lanceolata* Grun. *Bacillaria*, 1, p. 11-111.
- LE COHU René
1977 Diatom flora in a eutrophic pond in Brittany: Jugon pond. Autoecology of a few species. *Annales d'Hydrobiologie*, 8, p. 1-26.
- LE COHU René et MAILLARD René
1983 Les diatomées monoraphidées des Iles Kerguelen. *Annales de Limnologie*, 19/3, p. 143-167.
- LOTTER A.
1988 Paläoökologische und paläolimnologische Studie des Rotsees bei Luzern. *Dissertationes Botanicae*, 124.
- LOWE Rex L.
1974 *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. Cincinnati (Ohio), National Environmental Research Center.
- LÜDI Werner
1935 Das grosse Moos im westschweizerischen Seeland und die Geschichte seiner Entstehung. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel Zürich*, 11.
- LUND J.W.G.
1946 Observations on soil algae I: ecology, size and taxonomy of soil british diatoms. *The New Phytologist*, 44/2, p. 196-210.
- MAGNY Michel
1979 A propos de l'Aar et des lacs du Seeland: hasards ou rencontres cohérentes? *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est*, 30/1-2, p. 179-182.
- MAILLARD René
1978 Contribution à la connaissance des diatomées d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. *Cahiers ORSTOM, série Hydrobiologie*, 12/2, p. 143-172.
- MANGUIN Emile
1962 Contribution à la connaissance de la flore diatomique de la Nouvelle-Calédonie. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, série B (Botanique, XII/1)*.
- MANNION Antoinette
1978 Late quaternary deposits from southeast Scotland II: the diatom assemblage of a marl core. *Journal of Biogeography*, 5, p. 301-318.
- MARCINIAK Barbara
1979 Dominant diatoms from late glacial and holocene lacustrine sediments in Northern Poland. *Nova Hedwigia, Beiheft 64*, p. 411-426.
1981 Late-Glacial diatom phases in western Pomerania. *Acta Geologica Polonica*, 31/1-2, p. 127-137.
1982 Late glacial and Holocene new diatoms from a glacial Lake Przedni Staw in the Piec Stawow Polskich Valley, Polish Tatra. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 25/1-2, p. 161-171.

- 1988 Late glacial *Fragilaria* flora from lake sediment of the Tatra Mts. and the Alps. In: ROUND, F.E. (ed.), *Proceedings of the 9th International Diatom Symposium, Bristol 1986*. Koenigstein, Koelz p. 233-243.
- MAYER Anton
1936 Die bayerischen Epithemien. *Denkschrift der Bayerischen Botanischen Gesellschaft von Regensburg*, 20, p. 87-108, 8 Taf.
- MERILAINEN Jouko
1967 The diatom flora and the hydrogen ion concentration of the water. *Annales Botanici Fennici*, 4, p. 51-58.
1969 Distribution of diatom frustules in recent sediment of some meromictic lakes. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, 17, p. 186-192.
- MOSS Maurice et CARTER John
1982 The resurrection of *Achnanthes rostrata* Åstrup. *Bacillaria*, 5, p. 157-164.
- MOULIN Bernard
Hauterive-Champréveyres, 3. La dynamique sédimentaire et lacustre. Saint-Blaise, Editions du Ruau (Archéologie neuchâteloise, 9; à paraître).
- MOUNTFORD M.D.
1962 An index of similarity and its application to classificatory problems. *Progress in Soil zoology*. Londres, Butterworth, p. 43-50.
- MÜLLER R.
1973 Les niveaux des lacs du Jura. In: SCHWAB H. et MÜLLER R., *Le passé du Seeland sous un jour nouveau*. Fribourg, Editions Universitaires.
- PATRICK Ruth et REIMER Charles-W.
1966 *The diatoms of the US I*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 13.
1975 *The diatoms of the US II/1*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 13.
- PATRICK Ruth et STRAWBRIDGE Denis
1963 Methods of studying diatoms populations. *Journal of Water Pollution Control*, 25, p. 151-157.
- PEABODY A.J. et BURGESS R.M.
1984 Diatoms in the diagnosis of death by drowning. In: MANN D.G. (ed.), *Proceedings of the 7th International Diatom Symposium, Philadelphia 1982*. Koenigstein, Koelz, p. 537-541.
- PERRAUDIN Romaine
1986 *Etude algologique: les diatomées du Lac de Gèronde. Ecoulement et qualité des eaux*. Rapport Commune de Sierre.
- PÉTREQUIN Pierre
1984 *Gens de l'eau, gens de la terre*. Paris, Hachette.
- POLLINGER U., EHRLICH Aline et SERRUYA S.
1986 The planktonic Diatoms of Lake Kinneret (Israël) during the last 5000 years – their contribution to the Algal biomass. In RICARD M. (ed.): *Proceedings of the 8th International Diatom Symposium, Paris 1984*. Koenigstein, Koelz, p. 459-470.
- REICHARDT Erwin
1979 Diatomeen aus der Fossa Carolina. *Berichte der Bayerischen Botanische Gesellschaft*, 50, p. 99-113.
1980 Einige bemerkenswerte Diatomeenfunde aus Bayern. *Berichte der Bayerischen Botanische Gesellschaft*, 51, p. 117-122.
1982 Die Diatomeenflora der «Steinernen Rinnen» in Mittelfranken. *Berichte der Bayerischen Botanische Gesellschaft*, 53, p. 97-112.
1984 Die Diatomeen der Altmühl. *Bibliotheca diatomologica*, 6.
- RENBERG I. et HELLBERG T.
1982 The pH history of lakes in Southwestern Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora in the sediments. *Ambio*, 11/1, p. 30-33.
- ROUND Frank
1960 The epipellic algal flora of some Finnish lakes. *Archiv für Hydrobiologie*, 57/1-2, p. 161-178.
1975 *Biologie der Algen*. Stuttgart, Thieme.
1981 The diatom genus *Stephanodiscus*: an electron microscopic view of the classical species. *Archiv für Protistenkunde*, 124/4, p. 455-470.
- RUSHFORTH S., KACZMARSKA I. et JOHANSEN J.
1984 The subaerial diatom flora of the Thurston lava tube, Hawai. *Bacillaria*, 7, p. 135-158.
- SALDEN Norbert
1978 Beiträge zur ökologie der Diatomeen (Bacill.) des Süßwassers. *Decheniana*, Beiheft 22.
- SAVOURE B. et LE COHU René
1965 Contribution à l'étude de la flore algologique des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, 1/3, p. 469-482.
- SAY Phil
1978 Le Riou-Mort, affluent du Lot pollué par des métaux lourds I: étude préliminaire de la chimie et des algues benthiques. *Annales de Limnologie*, 14/1-2, p. 113-131.
- SCHIMANSKI Hans
1973 Beitrag zur Diatomeenflora Erlangens. *Nova Hedwigia*, 24, p. 237-334.
1978 Beitrag zur Diatomeenflora des Frankenwaldes. *Nova Hedwigia*, 30, p. 557-633.
- SCHOEMAN F.R.
1973 *A systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference to the water quality*. Pretoria, V. et R. Printers.
- SCHOEMAN F.R. et ASHTON P.J.
1982 The diatom flora in the vicinity of the Pretoria Salt Pan, Transvaal, Rep. of South Africa I. *Nova Hedwigia*, Beiheft 73, p. 21-54.
- SERVANT-VILDARY S.
1984 Les diatomées fluviolacustres Plio-Pléistocènes de la formation Charana (Bolivie). *Cahiers ORSTOM, série Géologie*, 14/1, p. 55-102.
- SLADECEK Vladimir
1973 System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie, Ergebnisse der Limnologie*, 7.
- SMOL J., BATTARBEE R., DAVIS R. et MERILAINEN J. (eds)
1986 Diatoms and lakes acidity. *Developments in Hydrobiology*, 29. D' W. Junk Pub.

- SOLLBERGER Henry
1974 *Le Lac de Neuchâtel (Suisse)*. Thèse Université de Neuchâtel.
- STOCKNER J.G. et ARMSTRONG F.A.J.
1971 Periphyton of the experimental lake area, northwestern Ontario. *Journal Fisheries Research*, 28, p. 215-229.
- STOERMER Eugene F., TAYLOR S.M. et CALLENDER E.
1971 Paleocological interpretation of the holocene diatom succession in Devils Lake, North Dakota. *Transactions of the American Microscopical Society*, 90, p. 195-206.
- STOERMER Eugene F. et HÅKANSSON Hannelore
1984 *Stephanodiscus parvus*: validation of an enigmatic and widely misconstrued taxon. *Nova Hedwigia*, 39, p. 497-511.
- STOERMER Eugene F. et YANG J.J.
1970 *Distribution and relative abundance of plankton diatoms in lake Michigan*. University of Michigan (Great Lakes Research Division, Publication, 16).
- STRAUB François
1976 *Préliminaires à l'étude du phytoplancton du Loclat/NE*. Université de Neuchâtel (travail de licence, non publié).
1981 Utilisation des membranes filtrantes en téflon dans la préparation des diatomées épilithiques. 2^e colloque de l'ADLAF, Liège. *Cryptogamie/Algologie*, 2/2, p. 153.
1984 Note algologique I: Observation de quelques diatomées. *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, 107, p. 5-9.
1985 Variabilité comparée d'*Achnanthes lanceolata* (Breb.) Grun. et d'*Achnanthes rostrata* Østrup (*Bacillariophyceae*) dans huit populations naturelles du Jura suisse I: approche morphologique. *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, 108, p. 135-150.
1986 Présence de plusieurs espèces de Cyclotelles dans le périphyton épilithique de deux lacs du Jura suisse. In: RICARD M. (ed.), *Proceedings of the 8th International Diatom Symposium, Paris 1984*. Koenigstein, Koelz, p. 409-419.
1987 A propos de *Cyclotella comensis* Grun. *Cahiers de biologie marine*, 28, p. 319-322.
1989 *Application de l'écologie des diatomées littorales de lacs carbonatés à la reconstitution des environnements préhistoriques d'un site archéologique: Hauterive-Champréveyres (lac de Neuchâtel)*. Thèse Université de Neuchâtel.
- THIENEMANN August
1925 *Die Binnengewässer Mitteleuropas*. Stuttgart, Schweizerbart (Die Binnengewässer, 1).
- VAN DAM Hermann
1979 Diatoms and water quality in lowland streams in the province of Northern Brabant (the Netherlands). *Hydrobiological Bulletin*, 13/1, (Amsterdam), p. 13-21.
- VANLANDINGHAM Sam
1967-79 *Catalogue of the Fossil and Recent Genera and Species of Diatoms and their Synonyms*, 1-8. Lehre, Cramer.
- WELTEN Max
1982 *Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen: Bern-Wallis*. *Denkschrift der Schweizerischen Naturforschende Gesellschaft*, 95.
- WÜTHRICH Marguerite
1960 Les diatomées du Lac de Neuchâtel. *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, 83, p. 7-40.
1961 Etude des sédiments du Lac de Neuchâtel: les diatomées. *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, 84, p. 5-33.
1965 Le phytoplancton du Lac de Neuchâtel. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 27/1, p. 1-75.
1971 Les diatomées de la station néolithique d'Auvernier (Lac de Neuchâtel). *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 33/2, p. 533-552.
1975 Contribution à la connaissance de la flore algologique du Parc National suisse: les diatomées. *Résultats des recherches scientifiques au Parc National Suisse*, 14/72, p. 273-369.
- WÜTHRICH Marguerite et MATTHEY Willy
1977 Les diatomées de la tourbière du Cachot I. *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, 100, p. 45-60.
1980 Les diatomées de la tourbière du Cachot III: étude de l'apport éolien et du transport par les oiseaux aquatiques. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 42/2, p. 269-284.

Résumé

Le site archéologique d'Hauterive-Champréveyres (lac de Neuchâtel, Suisse) a livré des vestiges d'établissements paléolithiques, néolithiques et du Bronze final. Dans le cadre d'une vaste fouille de sauvetage, les diatomées (*Bacillariophyceae*) subfossiles ont été étudiées, dans des sédiments s'échelonnant du Dryas ancien inférieur jusqu'à l'époque actuelle. Cette recherche, basée sur une méthode floristique et algosociologique, a contribué à la connaissance des environnements lacustres littoraux de ce site préhistorique. En particulier, une courbe de fluctuation des niveaux du lac de Neuchâtel est proposée. Une succession de biotopes riverains est présentée, en confrontation avec les résultats des autres disciplines sédimentologiques. Enfin, la progression de l'eutrophie de l'eau au cours du temps a pu être suivie et l'impact de l'Homme sur cet aspect de l'environnement est mis en évidence.

Les campements paléolithiques de chasseurs-cueilleurs du Magdalénien supérieur (vers 12 700 ans BP) et de l'Azilien (vers 12 300 ans BP) se situaient sur une rive exondée, les niveaux du lac étant bas: en dessous de 426 m. Seules quelques flaques supralittorales d'eau riche en détritux végétaux agrémentaient le paysage.

Le village du Bronze final (vers 1000 ans av. J.-C.) était établi en pleine zone de fluctuation des niveaux du lac, à une altitude de 427 m. En période d'étiage, le sol était exondé, les habitants et le bétail pouvaient alors se déplacer entre les maisons à pied sec. Les détritux s'accumulaient autour des habitations. En période de crues, le lac inondait l'espace habité et épurait le milieu jusqu'à l'étiage suivant.

Zusammenfassung

Der archäologische Fundplatz Hauterive-Champréveyres (Neuenburger See, Schweiz) erbrachte Stationen aus dem Paläolithikum, dem Neolithikum und der späten Bronzezeit. Im Rahmen einer grossangelegten geplanten Notgrabung sind die subfossilen Diatomeen (*Bacillariophyceae*) in den Sedimenten vom älteste Dryas bis zur Gegenwart untersucht worden. Diese Arbeit, die auf einer floristischen und algensoziologischen Methode basiert, leistet einen Beitrag zur Kenntnis der ökologischen Bedingungen im Umfeld dieser prähistorischen Seeuferstationen. Insbesondere wurde eine Kurve der Seespiegelschwankungen erstellt. Ebenso wurde eine Abfolge von benachbarten Biotopen zur Diskussion mit den Resultaten der anderen sedimentologischen Disziplinen vorgestellt. Schliesslich konnte die fortschreitende Eutrophie des Wassers im Verlaufe der Jahrhunderte dokumentiert und der Einfluss des Menschen auf diesen ökologischen Aspekt nachgewiesen werden.

Die paläolithischen Stationen des späten Magdalénien (ca. 12 700 BP) und des Azilien (ca. 12 300 BP) lagen auf einem trockenen Uferstreifen. Das mittlere Seeniveau war niedrig: unter 426 m ü. M. Einzig einige Tümpel, reich an Detritus, oberhalb der Strandlinie können für diese Landschaft angenommen werden.

Die spätbronzezeitliche Siedlung (ca. 1000 v. Ch.) wurde in die Zone mit stark fluktuierenden Wasserständen gebaut, auf eine Höhe von 427 m ü. M. Während der Trockenperioden war die Dorffläche ohne Wasserüberdeckung und die Bewohner wie ihr Vieh konnten sich trockenen Fusses zwischen den Häusern bewegen. Während der Feuchtperioden überschwemmte der See die Dorffläche und reinigte die Umgebung bis zur nächsten Trockenzeit.

Uebersetzung: Martin Kurella

Riassunto

Il sito archeologico di Hauterive-Champréveyres (lago di Neuchâtel, Svizzera) ha consegnato reperti di insediamenti paleolitici, neolitici e del Bronzo recente. Nel quadro di un vasto progetto di scavo, le Diatomee (*Bacillariophyceae*) subfossili sono state studiate in sedimenti ripartiti fra il Dryas I e l'epoca attuale. Questa ricerca, basata su di un metodo floristico-algosociologico, vuole essere un contributo all'approfondimento della conoscenza dell'ambiente lacustre e litorale di questo sito preistorico. In particolare, è proposta una curva delle fluttuazioni del livello del lago. Vengono inoltre proposti, con l'ausilio di altre discipline sedimentologiche, alcuni biotopi rivieraschi. In conclusione, la progressione dell'eutrofizzazione dell'acqua nel corso dei secoli e l'impatto dell'uomo, su questo particolare aspetto dell'ambiente, vengono messi in evidenza.

Gli insediamenti paleolitici dei cacciatori-raccoglitori del Magdaleniano (12 700 anni BP) superiore e dell'Aziliano (12 300 anni BP) si situavano su di una riva emersa, essendo basso il livello del lago, al di sotto di 426 m. Il paesaggio era, dunque, solamente allietato da qualche pozzanghera ricca in detriti vegetali.

Il villaggio del Bronzo recente (circa 1000 anni a. C.) era situato in piena zona di fluttuazione del lago, ad una altitudine di 427 m. In periodo di magra il suolo era asciutto, gli abitanti ed il bestiame potevano quindi spostarsi senza problemi fra le abitazioni, con conseguente accumulazione dei detriti sul suolo. In periodo di piena, invece, il lago inondava il villaggio, depurandolo, fino al periodo di magra seguente.

Traduzione: Stefano Tonini

Summary

The archaeological site of Hauterive-Champréveyres (Lake Neuchâtel, Switzerland) yielded remains of paleolithic, neolithic and late Bronze Age settlements. During large scale emergency excavation, the subfossil diatoms (*Bacillariophyceae*) were studied in the sediments which extend from the oldest Dryas period until modern times. This research, based upon a floristic and algosociological method, contributes to the understanding of the littoral environment of this prehistoric site. In particular, a fluctuation curve of the levels of Lake Neuchâtel is proposed. In confrontation with the results of the other sedimentological disciplines, a succession of riparian biotopes is presented. Finally, it was possible to study the progression of the water eutrophy over time and to demonstrate mankind's impact on this aspect of the environment.

The paleolithic campgrounds of Magdalenian (circa 12 700 BP) and Azilian huntergatherers (circa 12 300 BP) was situated on an emerged shore, the lake levels being lower than 426 m. Only a few supralittoral ponds rich in vegetal detritus embellished the landscape.

The late Bronze Age village (circa 1000 BC) was established fully in the zone of lake level fluctuation at an altitude of 427 m. When the lake level was low, the ground was emerged and the people and livestock could walk around between the houses dry-shod. Detritus built up around the dwellings. When the lake level rose, water flooded the inhabited area purging it until the following low water period.

Uebersetzung: Martin Kurella

Catalogue floristique et informations autoécologiques

Le catalogue reprend tous les taxons observés. Pour chaque taxon, les références bibliographiques ayant permis l'identification sont indiquées. Dans quelques cas incertains ou indéterminés, une description est donnée. Lorsqu'un taxon est illustré par des photographies ou des dessins originaux, le numéro des figures est indiqué entre parenthèses à la suite du nom du taxon. Dans la rubrique « distribution » sont indiquées l'abondance et la fréquence auxquelles le taxon a été observé, et dans quels sédiments.

Enfin, pour les taxons dominants et accompagnants, suivent les données autoécologiques servant à l'interprétation.

Sur les planches, les échelles indiquent 10 µm, sauf indication contraire.

Contrairement au reste du volume, les rubriques « distribution » ont été corrigées dans le catalogue floristique en fonction des données développées dans l'addenda (p. 64).

***Achnanthes austriaca* var. *helvetica* Hust.** (pl. 1/1, 2)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 385.

Distribution
Rare, une fois compagne dans l'échantillon 3d [2248-G14].

Autoécologie
Espèce nordique-alpine (HUSTEDT 1943, CLEVE-EULER 1951-55), aérophile (SCHOEMAN 1973) qu'on trouve en particulier comme épiphyte dans les mousses (HUSTEDT 1927-66). Citée comme halophobe et saproxène (HUSTEDT 1957), elle a été trouvée (WÜTHRICH 1975) avec une abondance moyenne dans les sources et lacs oligotrophes de Macun (canton des Grisons), et régulièrement (mais peu abondante) en tourbières (WÜTHRICH et MATTHEY 1977, GERMAIN 1981). Aime les eaux pauvres en azote total (SCHOEMAN 1973). Sa préférence face au pH est quelque peu contradictoire, car elle est citée comme alcaliphile (HUSTEDT 1957, FOGED (1964), calciphile (HUSTEDT 1957) ou classée comme acidophile à acidobionte (FABRI et LECLERCQ 1984). Or les lacs de Macun sont acides, les eaux de tourbières également et CHOLNOKY 1968 lui attribue un pH optimal situé entre 5,5 et 6. Elle serait donc probablement plutôt acidophile.

***Achnanthes clevei* Grun. et var. *rostrata* Hust.** (pl. 1/3-9)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 391.

Distribution
Régulièrement présente, plutôt dans les sédiments subatlantiques, comme accidentelle et compagne. Dans certains sédiments lessivés du Bronze final, elle peut parfois dominer. Par exemple dans les échantillons 3IC [2554-F14], 3d [2248-G14] et 4 [2554-K7].

Domine aussi dans l'échantillon 5I [2660-K23] du Dryas ancien inférieur.

Autoécologie
Espèce épipélique fréquente et très largement répandue selon HUSTEDT 1927-66, comme forme de profondeur, tandis que FLORIN 1970 la considère comme eulittorale et MANNION 1978 la qualifie simplement de benthique. Alcaliphile (LOWE 1974, FOGED 1978, 1982). HÅKANSSON 1984 la trouve plutôt dans les lacs oligotrophes.

***Achnanthes conspicua* Mayer** (pl. 1/10, 11)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 387.

Distribution
Régulièrement compagne dans les sédiments holocènes.

Autoécologie
Peu connue, semble cependant largement répandue en eau douce (HUSTEDT 1927-66), particulièrement en zone littorale des lacs (FLORIN 1970). Serait alcaliphile selon CHOLNOKY 1968 et FOGED 1980 ou faiblement acidophile (SALDEN 1978). Les données belges d'avant 1983 sont à prendre avec précaution car plusieurs auteurs confondaient cette espèce avec *Achnantes saxonica* (DESCY 1983, FABRI et LECLERCQ 1984).

***Achnanthes exigua* Grun.** (pl. 1/12, 13)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 386.

Distribution
En général accidentelle ou compagne au Subboréal et au Subatlantique.

Autoécologie

Espèce littorale considérée comme périphtyque par LOWE 1974 et SERVANT-VILDARY 1984, plus précisément épiphytique et épipélique par STOERMER et al. 1971. Pour FLORIN 1970 elle est littorale mais encore avec une certaine aérophilie. Alcaliphile (STOERMER et al. 1971, LOWE 1974, divers auteurs cités par FABRI et LECLERCQ 1984), elle ne résiste pas à un déficit en oxygène dissous (CHOLNOKY 1968) et serait probablement sensible à la pollution (LANGE-BERTALOT 1979).

Achnanthes flexella (Kütz.) Brun. et var. *alpestris* Brun. (pl. 1/14)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 415.

Distribution

Parfois accidentelle dans les sédiments holocènes, mais présente dès le Bølling.

Achnanthes grischuna Wüthrich

(pl. 1/19)

Description

WÜTHRICH 1975, p. 303.

Distribution

Une fois accidentelle dans l'échantillon 4 [2248-G14].

Achnanthes hungarica Grun.

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 383.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 03b [2248-G14].

Achnanthes lanceolata (Bréb.) Grun.

(pl. 1/15)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 408.

Distribution

Rare, mais domine dans quelques sédiments témoins de conditions écologiques particulières: 3XVF₂ [2449-N13], 18 [2557-K8] et 769 [2760-N22].

Autoécologie

Espèce aérophile (FLORIN 1970, LANGE-BERTALOT 1979a, LOWE 1974), résistante (LANGE-BERTALOT 1979a, GERMAIN 1981) pour autant qu'elle soit dans des conditions de bonne aération. Supporte relativement bien les toxines d'eaux usées de l'industrie chimique. Il existe probablement des biotypes adaptés à des eaux de qualité différente. HUSTEDT 1927-66, 1930 et GERMAIN 1981 la désignent comme ubiquiste; LE COHU 1977 également, mais fréquente seulement dans des eaux à tendance eutrophe. VAN DAM 1979 la cite comme tolérante face à l'azote organique. Elle est enfin alcaliphile d'après LOWE 1974 et BATTARBEE 1978.

Achnanthes lanceolata var. *lanceolatoides* (Sov.) Reimer (pl. 1/16)

Description

PATRICK et REIMER 1966, p. 272. Cette forme décrite en 1958 par Sovereign et réduite au rang de variété par Ch.W. Reimer (PATRICK et REIMER 1966) est nouvelle pour la Suisse. Au sens de MOSS et CARTER 1982, elle possède une tache en fer à cheval plus ou moins bien définie, formée d'un simple sinus. Elle appartient donc bien à cette espèce.

Distribution

Rare et accidentelle dans les sédiments du Bronze final.

Achnanthes lapponica Hust.

(pl. 2/1, 2)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 414.

Distribution

Rare et accidentelle dans l'Holocène.

Achnanthes laenburgiana Hust.

(pl. 1/20)

Description

HUSTEDT 1950, p. 394.

Distribution

Accidentelle dans les échantillons 03b [2248-G14] et 03d [2248-G14].

Achnanthes marginulata Grun.

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 404.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 03e [1954-M16].

Achnanthes minuscula Hust.

(pl. 2/3)

Description

HUSTEDT 1945, p. 907.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne dans les fumiers du Bronze final.

Autoécologie

Semble totalement méconnue. Dans la région, je ne l'ai trouvée de manière significative qu'au lac de Morat, en stations littorales, préférentiellement dès 0,5 m ou plus de profondeur, plutôt en hiver qu'en été. Elle semble aimer des eaux eutrophes bien oxygénées comme l'indiquent les paramètres suivants: 10 à 13 mg KMnO₄/l, 90 à 130 mg O₂/l, 41 à 98 µg P-tot./l, 1,1 à 2,2 mg N-tot./l, 0,6 à 1,8 mg N-NO₃⁻/l et 15,2 à 21,1 mg Cl⁻/l. Les pH mesurés étaient de 8,1 à 8,9 (STRAUB 1989).

Achnanthes minutissima Kütz.

(pl. 2/4-6)

Description

LANGE-BERTALOT et RUPPEL 1980, p. 18.

Distribution

Très fréquente, plutôt dans l'Holocène, où elle domine souvent les populations.

Autoécologie

Espèce à grande amplitude écologique, fréquente en zone littorale dans toutes les formes de périphtyon (HUSTEDT 1927-66, STOCKNER et AMSTRONG 1971, LOWE 1974, REICHARDT 1979, GERMAIN 1981, KUHN et al. 1981, SERVANT-VILDARY 1984). Elle a une nette tendance aérophile (FLORIN 1970, LOWE 1974, CAMBURN 1982, REICHARDT 1982). Neutrophile (LOWE 1974, BATTARBEE 1984). LANGE-BERTALOT 1979a la considère comme sensible aux pollutions urbaines. Cependant, elle est souvent citée comme résistante aux pollutions organiques (FJERDINGSTAD 1954, EVANS et MACAN 1976, LE COHU 1977, GERMAIN 1981) et très résistante aux métaux lourds (SAY 1978). Préfère des eaux riches à

très riches (LÖWE 1974, STRAUB 1989), mais peut croître également en eaux oligotrophes (SLADECEK 1973, KUHN et al. 1981). VAN DAM 1979 la considère comme tolérante à l'azote organique. Cette espèce à très grand spectre écologique est probablement composée d'écotypes locaux adaptés à des eaux de qualités différentes. A part le fait qu'elle soit typique de la zone eulittorale, cette espèce se prête mal aux reconstructions paléocéologiques.

Achnanthes oestrupii (A. Cleve) Hust.
(pl. 2/10)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 411.

Distribution
Une valve trouvée dans l'échantillon 4 [2248-G14], datant du Bronze final.

Achnanthes rosenstockii Lange-Bertalot
(pl. 1/17, 18)

Description
LANGE-BERTALOT et KRAMMER 1989.

Distribution
De temps en temps, accidentelle ou compagne dans les sédiments holocènes.

Autoécologie
Quasiment pas connue. Serait, sous toute réserve, plutôt alcaliphile.

Achnanthes rostrata Østr.
[= *Achnanthes lanceolata* var. *rostrata* (Østr.) Hust.]
(pl. 2/7-9)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 410, MOSS et CARTER 1982, STRAUB 1985.

Distribution
Pas rare, mais préférentiellement dans les sédiments limniques actuels ou dans les fumiers lessivés du Bronze final. Compagne ou dominante. Présente dès le Bølling.

Autoécologie
Pour beaucoup d'auteurs, cette espèce a les mêmes exigences que *Achnanthes lanceolata*. Réhabilitée depuis peu par MOSS et CARTER 1982 en tant qu'espèce indépendante, son écologie est encore mal connue. Sous le nom d'*Achnanthes lanceolata* var. *rostrata*, FLORIN 1970 la qualifie d'eulittorale et LOWE 1974 d'alcaliphile. Personnellement, je ne la trouve en grande quantité, dans les lacs de la région, que dès 0,5 à 1 m de profondeur. Il semble qu'elle ne soit pas aérophile, contrairement à *Achnanthes lanceolata* (STRAUB 1989). Aime probablement une certaine eutrophie.

Achnanthes trinodis (W. Sm.) Grun.
(pl. 2/11)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 381.

Distribution
Rare et accidentelle dès le Bølling. Compagne dans l'échantillon 9 [1953] de la carotte A.

Autoécologie
Peu connue. Plutôt montagnarde (HUSTEDT 1930, SAVOURE et LE COHU 1965, WÜTHRICH 1975). Serait alcaliphile (FOGED 1977).

Achnanthes sp. 1
(pl. 2/14)

Description
Valve linéaire à terminaisons capitées, de 18 µm de longueur et de 4 µm de largeur. Raphé flexueux, pseudoraphé linéaire, un peu élargi au centre. On compte 18 à 19 stries par 10 µm sur les deux valves, distinctement aréolées en microscopie optique.

Distribution
Accidentelle dans l'échantillon 31C [2554-M16].

Achnanthes sp. 2
(pl. 2/15, 16)

Description
Valve lancéolée à terminaisons légèrement étirées, de 11 à 14 µm de longueur et de 3,5 à 4,2 µm de largeur. On compte 24 à 28 stries par 10 µm, parallèles. Sur la valve raphidée, une strie est raccourcie d'un côté au niveau des nodules centraux. Sur la valve non raphidée, les lignes du centre sont écartées. Aires axiales étroites.

Distribution
Accidentelle dans l'échantillon 2_{inf} [1953] de la carotte A, et dominante dans les échantillons 18 [2557-K8] et 24 [2556-I14].

Achnanthes sp. 3

Description
D'après des observations complémentaires, cette petite forme, citée sur la figure 20 et illustrée à la planche 2/16, s'est révélée faire partie des variations décrites sous *Achnanthes* sp. 2.

Achnanthes sp. 4
(pl. 2/13)

Description
Valves elliptiques de 14 µm de longueur et de 4,2 µm de largeur. Valve raphidée stauroïde. Sur la valve sans raphé, les stries sont raccourcies, écartées au centre, déterminant un pseudoraphé en amande. Stries radiales, 22 à 26 par 10 µm.

Distribution
Accidentelle dans l'échantillon 3d [2248-G14].

Achnanthes sp. 5
(pl. 2/12)

Description
Valve linéaire-elliptique. Stries radiales, 22 à 24 par 10 µm, délimitant une aire centrale en losange. Raphé filiforme, avec nodules centraux très rapprochés.

Distribution
1 valve raphidée dans l'échantillon 3d [2248-G14].

Amphipleura pellucida (Kütz.) Kütz.

Description
KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 264.

Distribution
Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Amphora inariensis Krammer
(pl. 2/17-26 et pl. 3/1)

Description
KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 345.

Distribution

Fréquente en grandes populations dès le Bølling, domine les végétations non aérophiles, limniques du Préboréal au Subatlantique. Régresse en faveur d'*Amphora pediculus* dans les couches anthropiques eutrophes du Bronze final.

Autoécologie

Encore mal connue. Serait probablement cosmopolite à biogéographie nordique-alpine. Préférerait l'oligotrophie avec de faibles à moyennes teneurs en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Dans la région, je la trouve dans toutes les situations littorales, sans préférence. Est probablement neutrophile ou alcaliphile.

Amphora libyca Ehr.

(pl. 3/9, 12-14)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 345.

Distribution

Accidentelle ou compagne dès le Bølling.

Autoécologie

Espèce fréquente dans le périphyton littoral (HUSTEDT 1930, CLEVE-EULER 1951-55, FLORIN 1970) plutôt épipélique (FLORIN 1970) que saprophile. Aime les eaux eutrophes (HÅKANSSON 1982) et les eaux à teneurs moyennes à élevées en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Alcaliphile (LOWE 1974, FOGED 1980, 1982).

Amphora montana Krasske

(pl. 3/6)

Description

STRAUB 1984, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 349.

Distribution

Rare, mais compagne dans les échantillons 31C [2554-F14] et 6 [2339-A8], ou même dominante dans plusieurs niveaux du profil [2760-N22] datant du Dryas ancien inférieur et du Bølling.

Autoécologie

Espèce aérophile (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986) qu'on trouve dans les mousses mouillées près des chutes d'eau (KRASSKE 1932), dans les flaques d'eau de pluie ou dans des canaux (SCHIMANSKI 1973, 1978), en zone de battement des vagues (STRAUB 1989) ou même, occasionnellement, en grand nombre dans des sols riches en calcaire (LUND 1946). Alcaliphile (HUSTEDT 1937-38, LOWE 1974, FOGED 1979). Ses besoins trophiques ne sont pas connus. Dans la région, je n'ai trouvé de population dense qu'au Loclat. Cela laisse supposer que cette espèce aime une certaine eutrophie et qu'elle n'est en tout cas pas sensible aux fortes teneurs en azote organique et nitrique (STRAUB 1989).

Amphora normannii Rab.

(pl. 3/5)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 352.

Distribution

Rare, accidentelle dès l'Allerød.

Amphora ovalis (Kütz.) Kütz.

(pl. 3/10, 11)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 344.

Distribution

Rare, accidentelle dès l'Allerød.

Amphora pediculus (Kütz.) Grun.

(pl. 3/1-4)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 346.

Distribution

Toujours en grande quantité dans les végétations aérophiles dès le Dryas ancien inférieur, mais les plus fortes dominances n'apparaissent qu'à la fin de l'Atlantique, où elle semble peu à peu remplacer *Amphora inariensis*. J'ai aussi observé de fortes dominances de cette espèce dans les fumiers anthropiques du Bronze final.

Autoécologie

Espèce très ubiquiste vivant dans toutes les stations littorales des lacs alcalins (FLORIN 1970, STOERMER et al. 1971, GERMAIN 1981). HÅKANSSON 1982 la cite même comme abondante dans du plancton. Alcaliphile (JØRGENSEN 1948, STOERMER et al. 1971, LOWE 1974, FOGED 1984). Croît en masse dans les eaux mésotrophes et eutrophes. Vu sa grande amplitude écologique, cette espèce est peu utilisable en paléo-écologie. Par contre, lorsqu'elle manque en situation littorale, on peut s'attendre à des conditions écologiques très particulières.

Amphora thumensis (A. Mayer) A. Cleve-Euler

(pl. 3/7, 8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 351.

Distribution

Fréquente mais peu abondante dès l'Holocène. Parfois dominante au Boréal, par exemple dans les échantillons 2_{inf} et 4 [1953] de la carotte A.

Autoécologie

Peu connue. KINGSTON et al. 1980 la considèrent comme typique de flores d'eau douce relictuelles du Glaciaire, en zone subalpine, dans des eaux de faible conductivité. KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986 signalent qu'elle est parfois fréquente, également dans les sédiments des lacs subalpins, mais dans des eaux à taux moyen en sels minéraux. Eulittorale (FLORIN 1970) et alcaliphile (FOGED 1981).

Anomoeoneis brachysira (Bréb. in Rab.) Grun. in Cl.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 254.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 04 [2248-G14].

Anomoeoneis brachysira var. *zellensis* (Grun.) Krammer

(pl. 4/3)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 254.

Distribution

Rare et accidentelle, dès l'Allerød.

Anomoeoneis vitrea (Grun.) Ross et var. *lanceolata*

(A. Mayer) Fabri

(pl. 4/1, 2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 256.

Distribution

Fréquente dès le Bølling, mais seulement en petites populations (accidentelle ou compagne).

Autoécologie

Les données de la littérature sont contradictoires tant par rapport à ses exigences en nutriments que face au pH. Semble préférer les eaux oligotrophes (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), mais peut aussi vivre en eaux eutrophes (LOWE 1974), même un peu polluées. Mais le même auteur la qualifie quand même de saproxène. Le point de vue de HUSTEDT 1957, qui la qualifiait d'alcalibionte, a été critiqué par BATTARBEE 1984 qui, lui, la classe parmi les acidophiles. LOWE 1974 reste plus vague en la qualifiant de neutrophile à alcalibionte. Enfin, plus récemment, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986 indiquent qu'elle préfère les eaux acides et dystrophes du nord de l'Europe. Dans la région, en eaux riches en calcaire, elle est toujours présente, mais à des taux très faibles. Elle ne semble pas très sensible à l'augmentation de pH, mais son optimum se situe probablement en eau légèrement acide. Elle est en effet fréquente dans la tourbière du Cachot (WÜTHRICH 1977) et dans des prélèvements que j'ai faits aux lacs de Macun (canton des Grisons) en 1981. Plusieurs auteurs (LOWE 1974, KUHN et al. 1981) se mettent d'accord en indiquant qu'elle est strictement périphtyque, en zone littorale peu profonde et même aérophile (SAVOURE et LE COHU 1965). Si elle est souvent citée comme cosmopolite, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986 la situent plutôt dans les domaines montagnards et dans les lacs subalpins.

Asterionella formosa Hass.

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 251.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne, dès le Bølling. Espèce probablement sous-estimée car fragile, jamais entière dans les sédiments et sujette à une érosion rapide, même pendant la sédimentation.

Autoécologie

Espèce planctonique (HUBER-PESTALOZZI 1942), mais qu'on rencontre souvent en zone littorale par dérive. Espèce à large amplitude écologique, mais aimant plutôt les lacs méso- à eutrophes (ENNIS et al. 1983, BATTARBEE 1978, J.-C. Druart, com. orale). Alcaliphile (BATTARBEE 1978).

Caloneis alpestris (Grun.) Cl.

(pl. 4/7)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 386.

Distribution

Rare et accidentelle, dès le Bølling.

Caloneis bacillum (Grun.) Cl. et var. *lancettula*

(Schulz) Hust.

(pl. 4/4, 5)

Description

HUSTEDT 1930, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 390.

Distribution

En général accidentelle ou compagne, peu fréquente dès l'Allerød.

Autoécologie

D'après KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, cette espèce des plus communes dans les Alpes est très fréquente aussi en plaine et en montagne de moyenne altitude. Spécialement fréquente dans les mousses immergées en bordure des eaux, son caractère aérophile est aussi relevé par FLORIN 1970. LOWE 1974 la qualifie d'alcaliphile et saproxène. D'après les indices que lui donnent DESCY 1980 et COSTE 1982 et d'après

mes propres observations, on peut dire qu'elle préfère les eaux propres et oligotrophes, mais qu'elle supporte bien une légère augmentation de leur niveau trophique.

Caloneis obtusa (W. Sm.) Cl.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 386.

Distribution

Rare et accidentelle, dès le Bølling.

Caloneis schumanniana (Grun.) Cl.

(pl. 4/6)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 387.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 2_{nr} [1953] de la carotte A.

Caloneis silicula (Ehr.) Cl.

(pl. 4/8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 388.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 25 [1953] de la carotte A.

Cocconeis disculus Pant.

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 345 et K. Krammer (com. pers.).

Distribution

Rare, dans le Bronze final; accidentelle.

Cocconeis pediculus Ehr.

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 350.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne, dès le Bølling. Dominante dans l'échantillon 1 [2557-K8].

Autoécologie

Espèce épiphytique (LOWE 1974), qu'on rencontre par exemple souvent sur les nervures d'*Elodea canadensis*. Espèce d'eau propre, mais qui tolère une petite charge organique et un peu de sel. Alcaliphile (LOWE 1974).

Cocconeis placentula (Ehr.) Cl., var. *euglypta* (Ehr.) Cl.

et var. *lineata* (Ehr.) Cl.

(pl. 4/9-14 et pl. 5/1-3)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 347.

Distribution

Espèce régulièrement présente dès le Bølling, comme accidentelle, compagne ou dominante selon les cas.

Autoécologie

Espèce épiphytique à grand pouvoir d'adaptation (DOUGLAS 1958, STOERMER et al. 1971, LOWE 1974, LE COHU 1977, SERVANT-VILDARY 1984) sur les plantes immergées ou les mousses. Peut vivre en lacs oligotrophes, mais préfère une certaine eutrophie (JØRGENSEN 1948, STOERMER et al. 1971). Alcaliphile (STOERMER et al. 1971, LOWE 1974, BATTARBEE 1978, VAN DAM 1979). Ne semble pas sensible au courant (LOWE 1974); en effet, cette espèce se fixe en général au substrat par sa valve raphidée.

Cocconeis pseudothumensis Reichardt

(pl. 5/4, 5)

Description

REICHARDT 1982, p. 99.

Distribution

Rare et accidentelle.

Cocconeis thumensis Mayer

(pl. 5/6-12)

Description

K. Krammer (com. pers.), REICHARDT 1984, p. 26.

Distribution

Fréquente dès le Tardiglaciaire, mais ne domine que dans les sédiments limniques ou lessivés du Subatlantique.

Autoécologie

Peu connue suite à de nombreuses confusions taxonomiques. Sous toutes réserves, LOWE 1974 donne les caractéristiques suivantes: alcalibionte, saproxène et limnophile. Il faut noter que cette espèce se trouve souvent fixée aux grains de sable. Elle fait donc partie de l'épissammon et marque les incursions limniques en zone littorale. Il n'y a pas de connaissance précise concernant ses besoins trophiques.

Cyclotella antiqua W. Sm.

(pl. 5/14)

Description

HUSTEDT 1927-66 I, p. 349.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 41 [1953] de la carotte A de cette espèce typique du Tardiglaciaire en Europe centrale (divers auteurs cités par MARCINIAK 1981).

Cyclotella atomus Hust.

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 398.

Distribution

Rare et accidentelle.

Cyclotella austriaca (Perag.) Hust.

(pl. 5/13)

Description

HUSTEDT 1927-66 I, p. 337.

Distribution

Rare et accidentelle dans des couches organiques du Bronze final.

Cyclotella bodanica Eul. et var. **boralis** A. Cleve

(pl. 5/15, 16)

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 402; CLEVE-EULER 1951-55, p. 46.

Distribution

Pas rare, accidentelle ou compagne.

Autoécologie

Assez peu connue, malgré de nombreux travaux sur le plancton. Pour HUBER-PESTALOZZI 1942, c'est une espèce fréquente et répandue dans les lacs subalpins et qui fait partie de l'euplancton. CHOLNOKY 1968 pense qu'elle a un optimum de développement à un pH plus bas que 7, tandis que pour

FOGED 1981, 1982, elle est neutrophile. Dans le lac de Neuchâtel, c'était une espèce importante au début du siècle, mais qu'on ne trouve plus qu'accidentellement à l'heure actuelle (WÜTHRICH 1965). Ainsi, elle aimerait plutôt les eaux oligotrophes, la variété vivant plutôt en montagne (CLEVE-EULER 1951-55).

Cyclotella comta (Ehr.) Kütz.

(pl. 6/1-8)

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 401. J'ai inclus sous ce taxon des formes qui s'apparentent à *Cyclotella quadrijuncta* (Schroeter) Hust. (pl. 6/2-8), espèce qu'il est probablement superflu de distinguer, tant les caractères morphologiques sont proches.

Distribution

Fréquente dès le Bølling, en petites populations.

Domine dans l'échantillon 27 [2556-114].

Autoécologie

Espèce souvent considérée comme euplanctonique (HUSTEDT 1930, 1927-66, HUBER-PESTALOZZI 1942, DIGERFELDT et al. 1980, HÅKANSSON 1984), mais qu'on rencontre parfois en très grandes masses dans le périphyton également (GERMAIN 1981, STRAUB 1986). Largement distribuée dans les lacs oligotrophes à mésotrophes (DIGERFELDT et al. 1980, HÅKANSSON 1982, 1984), elle disparaît des stations trop eutrophisées (STOERMER et YANG 1970). Neutrophile (BATTARBEE 1978).

Cyclotella kuetzingiana Thwaites et var. **radiosa** Fricke

(pl. 6/9-18 et pl. 7/1-7)

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 399.

Distribution

Pas rare; dès le Bølling, accidentelle à légèrement codominante. La variété est plus fréquente que l'espèce.

Autoécologie

Serait plutôt littorale (HUSTEDT 1927-66). Plus particulièrement l'espèce, se trouverait aussi fréquemment dans le plancton (MERILAINEN 1969, FLORIN 1970). Aimerait les eaux oligomésotrophes (LOWE 1974, DIGERFELDT et al. 1980), mais avec une certaine possibilité de résistance à la pollution (COSTE 1982). Dans la région, je ne la trouve qu'en très petite quantité en eaux eutrophes. Neutrophile (LOWE 1974, BATTARBEE 1978).

Cyclotella ocellata Pant.

(pl. 7/8-11)

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 398. Certains individus semblent faire le passage entre cette espèce et *Cyclotella kuetzingiana* var. *radiosa* (pl. 7/7).

Distribution

Pas rare, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Plutôt littorale (LOWE 1974) des lacs oligotrophes à mésotrophes (DIGERFELDT et al. 1980, ENNIS et al. 1983), qu'on peut rencontrer aussi en eaux eutrophes (HUBER-PESTALOZZI 1942), mais en petites populations (STRAUB 1989). Alcaliphile (CHOLNOKY 1968, LOWE 1974, REICHARDT 1980).

Cyclotella plitvicensis Hust.

(pl. 7/12-14)

Description

HUSTEDT 1945, p. 899; H. Håkansson (com. pers.).

Distribution

Fréquente, particulièrement du Bølling au Boréal où elle est souvent compagne ou dominante.

Autoécologie

Peu connue, car souvent ignorée ou confondue avec *Cyclotella kuetzingiana*. D'après HUSTEDT 1945, serait probablement alcaliphile. PERRAUDIN 1986 la trouve en très grandes masses, parfois même en populations monospécifiques dans le lac de Géronde (canton du Valais), excessivement riche en NO_3^- . Ici, je la trouve en petites à moyennes populations dans le Loclat, lac eutrophe aussi très riche en azote organique et nitrique. Ne semble pas préférer le littoral ou la pleine eau.

Cyclotella pseudostelligera Hust.

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 397.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Cyclotella stelligera Cl. et Grun.

(pl. 7/16, 17)

Description

HAWORTH 1984.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Cyclotella stelligerioides Hust.

(pl. 7/15)

Description

HAWORTH 1984.

Distribution

Très rare, dès le Bølling.

Cyclotella styriaca Hust.

Description

HUBER-PESTALOZZI 1942, p. 403.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 31B [2554-F14].

Cyclotella tecta Håk. et Ross

[= *Cyclotella operculata* (Ag.) Kütz.]

(pl. 7/18, 19)

Description

HUSTEDT 1927-66 I, p. 351; WÜTHRICH 1960, pl. 1/6.

Distribution

Rare et accidentelle dans le Bronze final.

Cyclotella wuethrichiana Druart et Straub

(pl. 8/1-16)

Description

DRUART et STRAUB 1988. En vue interne, la valve apparaît entourée par une bordure très épaisse, sur laquelle s'ouvrent les processus renforcés du manteau. A la base de cette bordure s'ouvrent les chambres marginales. L'aire centrale est lisse. Elle porte un processus renforcé excentrique. Cette vue correspond à mes figures II/5-8 in STRAUB 1985. En vue externe, les stries radiales sont formées de deux rangées d'aréoles qui bordent une série de ponctuations plus petites. La surface aréolée n'est pas formée de côtes. Les stries sont plus ou moins

courtes et bordent une aire centrale bosselée. On voit bien, sur le manteau (pl. 8/15; grande flèche) les ouvertures externes des processus renforcés. Un peu plus haut, sur la courbure de la valve, on voit (pl. 8/15; petite flèche) une couronne de ponctuations plus grosses que les aréoles. Il s'agit probablement des ouvertures externes des processus labiés. Cette structure correspond en fait beaucoup au groupe de *Cyclotella comta*, comme l'a fait remarquer H. Håkansson. L'apparement de cette cyclotelle reste encore en suspens. L'identité de cette forme avec une cyclotelle que j'ai trouvée dans le lac du Loclat, près de Neuchâtel (STRAUB 1976, 1985, DRUART et STRAUB 1988), constitue la seule certitude, d'ailleurs utile pour cerner son autoécologie.

Distribution

Dès le Bølling, mais ne domine que dans les fumiers du Bronze final peu lessivés.

Autoécologie

Forme ubiquiste vivant en masse au Loclat, tant dans le plancton que sur le littoral et même dans la zone de battement des vagues. Les plus grandes populations se développent à des pH de 7,85 à 8,2. On peut donc la qualifier d'alcaliphile. Les eaux du Loclat dans lesquelles elle croît sont marquées par une forte eutrophie: 30 à 46 $\mu\text{g P-tot/l}$, 0,36 à 3,29 mg N-tot/l , DCO = 14 à 27 $\text{mg KMnO}_4/\text{l}$, 11,4 à 13,2 $\text{mg Cl}^-/\text{l}$, déficit en O_2 dissous jusqu'à 33%. Peut vivre dans le plancton, mais ne forme de grosses populations qu'en zone littorale, dans le biotecton.

Cyclotella sp. 477

(pl. 8/17, 18)

Description

STRAUB 1987.

Distribution

Assez fréquente, accidentelle en général. Domine dans les échantillons 27 [2556-J14] et 3XVG [2449-N13].

Autoécologie

Parfois en très grande quantité au Loclat, plutôt en hiver, sur le littoral, entre 0,5 et 1 m. de profondeur. Trouvée dans les conditions physico-chimiques suivantes: pH = 7,7 à 7,8, 26 à 144 $\mu\text{g P-tot/l}$, 3 à 320 $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{l}$, 2 à 2,5 $\text{mg N-NO}_3^-/\text{l}$, 14 à 22 $\text{mg KMnO}_4/\text{l}$ et déficit de 0 à 23 $\text{mg O}_2/\text{l}$.

Cyclotella sp. 3

(pl. 8/19, 20)

Description

Cette forme difficile à identifier avec précision, car isolée, se rapproche du groupe de *Cyclotella planctonica*/*Cyclotella socialis*. Elle semble plus proche de la première par l'absence de « pores marginaux », mais ce critère ne semble pas déterminant, ainsi que l'indique HUBER-PESTALOZZI 1946. On notera la présence d'un pore excentrique bien visible.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Cymatopleura elliptica (Bréb.) W. Sm.

(pl. 8/21)

Description

HUSTEDT 1930, p. 426.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 03b [2248-G14].

Cymatopleura solea (Bréb.) W. Sm.

Description

HUSTEDT 1930, p. 425.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Holocène.

Cymbella Ag.

Distribution

Fréquent et souvent dominant en tant que genre. Représenté toujours par beaucoup d'espèces différentes, mais qui ne forment que rarement de fortes populations. Dans l'analyse de végétation, j'ai considéré pour cette raison la somme des fréquences des espèces de ce genre.

Ecologie

FLORIN 1970 résume bien les habitudes de l'ensemble du genre: «Commun en eau douce, particulièrement en zone littorale, formé d'espèces vivant libres ou fixées. Apparaît aussi en habitats humides et secs comme espèces s'ajoutant à la flore aérophile. KRASSKE 1932 note 36 taxons de ruisseaux, mousses sèches, rochers et mousses sur suintements rocheux.»

Cymbella affinis Kütz.

(pl. 9/1)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 314.

Distribution

Fréquente, en général accidentelle ou compagne dès l'Allerød. Légèrement dominante dans l'échantillon 29 [2556-I14].

Autoécologie

D'après KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, cette espèce montagnarde vit en eaux stagnantes ou courantes comme épiphyte ou épilithe. FLORIN 1970 souligne son aérophilie. Ne supporterait pas trop les matières organiques (LOWE 1974) et se développe, dans la région, plutôt en eaux mésotrophes (STRAUB 1989). Alcaliphile (LOWE 1974, BATTARBEE 1978).

Cymbella amphicephala Naegeli

(pl. 9/2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 335.

Distribution

Pas rare, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce cosmopolite montagnarde (SAVOURE et LE COHU 1965), mais qu'on trouve aussi en plaine (HUSTEDT 1930, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). D'après ces derniers auteurs, elle préfère les eaux oligotrophes, comportement relevé aussi par SALDEN 1978 qui souligne également ses forts besoins en oxygène dissous. Ses préférences face au pH ont été résumées par FABRI et LECLERCQ 1984: faiblement alcaliphile.

Cymbella ancylii Cl.

(pl. 9/3, 4)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 341.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella angustata (W. Sm.) Cl.

(pl. 9/7)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 328.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella caespitosa (Kütz.) Brun

(pl. 9/5, 6)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 310.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Peu connue en raison de confusions taxonomiques. Fréquente en eau oligotrophe à eutrophe, mais préfère les eaux à forte teneur en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Probablement plutôt épiphyte et alcaliphile (STRAUB 1989).

Cymbella cesatii (Rab.) Grun.

(pl. 9/8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 325.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès le Bølling.

Autoécologie

Espèce montagnarde (HUSTEDT 1930, SAVOURE et LE COHU 1965, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), aérophile qui vit en tubes muqueux. Neutrophile (MERILAINEN 1967, FOGED 1980, 1982). On ne connaît pas ses besoins trophiques. Serait plutôt inféodée aux eaux propres (COSTE 1982).

Cymbella cistula (Ehr.) Kirchner

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 316.

Distribution

Rare, accidentelle. Quelques individus dans l'échantillon 31C [2554-M16].

Cymbella cymbiformis Ag.

(pl. 9/9, 10)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 317.

Distribution

Pas rare, accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella delicatula Kütz.

(pl. 10/1, 2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 330.

Distribution

Fréquente, accidentelle à légèrement dominante dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce neutrophile (FOGED 1982), montagnarde, typiquement aérophile (FLORIN 1970) et qui aime les eaux oligotrophes, où elle se développe en masse sur les rochers littoraux, fixés à eux par des sécrétions mucilagineuses (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Cymbella ehrenbergii Kütz.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 337.

Distribution

Rare et accidentelle dès le Bølling.

Cymbella helvetica Kütz. et var. **compacta** (Østr.) Hust.
(pl. 10/3-6)

Description

HUSTEDT 1955, p. 50; KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 324. La variété a été maintenue, bien qu'actuellement considérée comme faisant partie du spectre de variation de l'espèce, car elle apparaît parfois seule, ce qui a peut-être une signification écologique.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Alcaliphile (MERILAINEN 1967, SALDEN 1978, FOGED 1982). Aime les eaux littorales des lacs alpins et subalpins riches en sels minéraux, du domaine oligotrophe à eutrophe (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Cymbella lanceolata (Ehr.) Kirchner

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 319.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 31B [2554-F14].

Cymbella leptoceros (Ehr.) Kütz.

(pl. 10/12, 13)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 336.

Distribution

Accidentelle à compagne dès le Bølling, commune.

Autoécologie

Mal connue. GERMAIN 1981 la signale dans des masses d'eau restreintes, bassins et petits étangs non pollués. Préférerait les eaux calmes, moyennement riches en calcaire, oligotrophes du domaine alpin à subalpin selon KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986.

Cymbella mesiana Cholnoky

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 304.

Distribution

Très rare, accidentelle au Bronze final.

Cymbella microcephala Grun.

(pl. 10/9, 10)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 327.

Distribution

Très commune, compagne ou dominante dès le Bølling.

Autoécologie

Espèce périphtyque aérophile (LOWE 1974, REICHARDT 1982, RUSHFORTH et al. 1984, STRAUB 1989) et alcaliphile (LOWE 1974, BATTARBEE 1978). Selon KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, elle se complait en eau à teneur basse ou

élevée en sels minéraux. Se développe en masse dans les eaux karstiques des Alpes et des Balkans. Dans la région, elle est toujours dominante à la limite air-eau sur le littoral du lac des Taillères (canton de Neuchâtel), caractérisé par une teneur relativement faible en électrolytes fertilisants, une charge moyenne en calcaire, mais de très fortes teneurs en matières organiques d'origine tourbeuse.

Cymbella minuta Hilse et var. **semicircularis** (Lag.) Foged

(pl. 10/7, 8)

Description

KRAMMER 1982, p. 22.

Distribution

Espèce commune, accidentelle à dominante, également au Dryas ancien inférieur.

Autoécologie

Espèce à grande amplitude écologique, qu'on trouve aussi bien en eaux oligotrophes qu'eutrophes (LE COHU 1977), mais qui préférerait les eaux oligotrophes (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Dans la région, elle est caractéristique d'eaux mésotrophes bien oxygénées (STRAUB 1989). Serait sensible à la pollution (LANGE-BERTALOT 1979b, GERMAIN 1981). Epiphyte (GERMAIN 1981), mais qu'on trouve également sur parois rocheuses suintantes (RUSHFORTH et al. 1984). Neutrophile (BATTARBEE 1978, VAN DAM 1979).

Cymbella naviculiformis Auerswald

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 338.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella perpusilla Cleve-Euler

(pl. 10/11)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 306.

Distribution

Rare et accidentelle dans le bloc I [2554-M16].

Cymbella prostrata (Berk.) Cl.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 312.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Cymbella sinuata Greg.

(pl. 11/1, 2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 341.

Distribution

Commune et accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella subaequalis Grun. in Van Heurck
(pl. 11/3-6)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 334.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella subcuspidata Krammer

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 339.

Distribution

Très rare, accidentelle au Bronze final.

Cymbella sp. 1

(pl. 11/8, 9)

Description

Valve fusiforme, très renflée au centre, étirée aux extrémités. Raphé complexe, dont les branches sont alignées. Longueur 27 à 39 µm, largeur 10 à 12 µm; 9 à 10 stries nettement linéées par 10 µm.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Cymbella sp. 2

(pl. 12/1-3)

Description

Valve naviculoïde à terminaisons largement arrondies. 13 à 15 stries par 10 µm, régulièrement disposées; celles des terminaisons semblent arquées, à ponctuation indistincte. Raphé complexe. Longueur de 38 à 55 µm et largeur de 7,5 à 9 µm.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Cymbella sp. 7

(pl. 11/10-12)

Description

Valve naviculoïde à terminaisons étirées d'environ 25 µm de longueur et de 6 à 7 µm de largeur. Côté ventral un peu bombé. Stries légèrement radiales (14 à 16 en 10 µm), plus resserrées aux extrémités, à peine raccourcies au centre, délimitant une petite aire centrale. Raphé filiforme à une torsion.

Distribution

Commune, accidentelle à compagne dès le Bølling.

Cymbella sp. 8

(pl. 11/7)

Description

Petite valve naviculoïde, dont les deux côtés sont renflés, de 11 µm de longueur sur 3,8 µm de largeur. 23 stries radiales en 10 µm. Raphé filiforme se terminant en crochets.

Distribution

Rare, compagne dans l'échantillon 04 [1954-M16].

Cymbella sp. 9

Description

Valve correspondant à celle de *Cymbella ehrenbergii*, mais dont les stries sont formées d'une double rangée d'aréoles visibles en microscopie optique.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3XVF₁ [2249-N13].

Cymbella sp. 11

(pl. 12/5-7)

Description

Valve cymbelloïde à côté ventral légèrement bombé et côté dorsal arrondi. Terminaisons légèrement proéminentes. Longueur de 28 à 49 µm et largeur de 7,5 à 13,5 µm. On compte 12 à 13 stries un peu radiales en 10 µm. Raphé complexe, dont les branches sont légèrement arquées. Pas d'aire centrale.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 41 [1953] de la carotte A.

Cymbella sp. 14

(pl. 12/4)

Description

Valve fusiforme plutôt naviculoïde à terminaisons effilées, renflées au centre, de 48 µm de longueur et de 9,5 µm de largeur. 12 à 14 stries radiales en 10 µm, plus serrées sur le côté ventral. Petite aire centrale en amande. Raphé complexe à branches légèrement arquées.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 34 [1953] de la carotte A.

Denticula tenuis Kütz. et var. **crassula** (Naeg.) Hust.

(pl. 12/8-10)

Description

HUSTEDT 1930, p. 381.

Distribution

Commune, accidentelle à légèrement dominante dès le Bølling.

Autoécologie

Alcalibionte (FOGED 1964, MERILAINEN 1967). Espèce fréquente en Europe centrale (HUSTEDT 1930), mais dont les besoins sont mal connus, hormis sa prédilection pour les zones littorales. Dans la région, je ne la trouve jamais en très grosses populations, dans des eaux mésotrophes à très eutrophes. D'après DESCY 1980 et COSTE 1982, elle préférerait les eaux propres.

Diatoma elongatum Ag.

Description

HUSTEDT 1930, p. 127.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3IA [2554-F14].

Diatoma hiemale var. **mesodon** (Ehr.) Grun.

(pl. 12/11, 12)

Description

HUSTEDT 1930, p. 129.

Distribution

Rare et accidentelle au Tardiglaciaire.

Diatoma vulgare Bory, var. **ehrenbergii** (Kütz.) Grun.

et var. **linearis** Grun.

(pl. 13/1)

Description

HUSTEDT 1930, p. 127.

Distribution

Peu commune, accidentelle à dominante dès l'Allerød.

Autoécologie

Préfère le littoral des eaux courantes (HUSTEDT 1930). Selon LOWE 1974, elle fait partie du périphyton, particulièrement comme épiphyte. Alcalibionte (LOWE 1974). Pour LANGE-BERTALOT 1978, cette espèce est plus sensible au déficit d'oxygène qu'à la dégradation de la qualité de l'eau. C'est la raison pour laquelle on la trouve en général plutôt en hiver qu'à la belle saison. LOWE 1974 la relève comme caractéristique d'eaux eutrophes, tandis qu'HUSTEDT 1930 la trouve dans les exutoires de canalisations urbaines.

Diploneis elliptica (Kütz.) Cl.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 285.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Diploneis oculata (Bréb.) Cl.

(pl. 13/3)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 293.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Diploneis ovatis (Hilse) Cl.

et var. **oblongella** (Naegeli) Cl.

(pl. 13/2)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 671. Des deux taxons sont considérés ici ensemble car ils ont encore été comptés l'un avec l'autre, contrairement aux propositions de KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986 qui en font deux espèces.

Distribution

Commune, accidentelle et compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Alcaliphile (MERLAINEN 1967, BATTARBEE 1978, FOGED 1982). Espèce épipélique qui aime les eaux bien aérées et qu'on trouve aussi sur suintements rocheux et dans les mousses (SAVOURE et LE COHU 1965, FLORIN 1970, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Il y a peu de connaissance concernant ses besoins trophiques. Selon DESCY 1980, elle aime les eaux propres et, d'après KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, les eaux à teneur moyenne à élevée en sels minéraux, même les eaux saumâtres.

Diploneis puella (Schum.) Cl.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 289.

Distribution

Très rare au Bronze final.

Epithemia adnata (Kütz.) Lagerst., var **saxonica** (Kütz.)

Patr. et var. **porcellus** (Kütz.) Patr.

(pl. 13/5)

Description

PATRICK et REIMER 1975, p. 179.

Distribution

Communes, accidentelles ou compagnes dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce épiphytique à tendance aérophile, qui supporte les eaux eutrophes (LOWE 1974). Alcalibionte (MERILAINEN 1967, BATTARBEE 1978, HÅKANSSON 1984).

Epithemia argus Kütz. et var. **alpestris** Grun.

(pl. 13/8, 9)

Description

HUSTEDT 1930, p. 383.

Distribution

Rare et accidentelle dès le Bølling.

Epithemia cistula (Ehr.) Ralfs

Description

MAYER 1936, p. 106.

Distribution

Commune et accidentelle dès le Bølling. Dominante dans l'échantillon I [2557-K8].

Autoécologie

Peu connue. Alcaliphile (CHOLNOKY 1968).

Epithemia muellerii Fricke

(pl. 13/4)

Description

HUSTEDT 1930, p. 384.

Distribution

Rare et accidentelle dès le Bølling.

Epithemia sorex Kütz.

(pl. 13/6, 7)

Description

HUSTEDT 1930, p. 388.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès le Bølling.

Autoécologie

Espèce épiphytique à tendance aérophile (LOWE 1974), répandue sur le littoral des eaux stagnantes, où elle peut croître en masse (HUSTEDT 1930). Espèce s'accommodant bien des eaux eutrophes (LOWE 1974). Alcaliphile (LOWE 1974, HÅKANSSON 1984).

Epithemia turgida (Ehr.) Kütz.

Description

HUSTEDT 1930, p. 733.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3XVD [2249-N13].

Eunotia arcus Ehr.

(pl. 14/1)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 282.

Distribution

Fréquente, accidentelle ou compagne dès le Bølling.

Autoécologie

Contrairement aux autres espèces du genre, elle est répandue dans les eaux riches en calcaire (HUSTEDT 1927-66) comme épiphyte (MANNION 1978). FABRI et LECLERCQ 1984 donnent, à partir de divers auteurs, les besoins suivants: légèrement acidophile à neutrophile, une des rares espèces calciphiles du genre, saproxène. COSTE 1982 constate ainsi une préférence pour les eaux propres.

Fragilaria spp.

Description

25 espèces et variétés décrites chez HUSTEDT 1927-66, HAWORTH 1975, LANGE-BERTALOT 1980b, MARCINIAK 1982.

Ce genre, tel qu'il est conçu ici englobe des espèces de *Synedra*, sous-genre *Synedra*, comme le propose LANGE-BERTALOT 1980b.

Distribution

Très communes, également au Dryas ancien inférieur, accidentelles ou compagnes. *Fragilaria brevistriata* et ses variétés, *F. construens* var. *venter*, *F. elliptica*, *F. lapponica*, *F. pinnata*, *F. pseudoconstruens* et sa variété *bigibba*, ainsi que *Fragilaria* cf. *virescens* peuvent dominer.

Ecologie

Toutes les espèces rencontrées sont ubiquistes de la zone littorale, mais leur fréquence à l'intérieur des végétations tend à augmenter avec la profondeur, à la suite de la disparition des espèces plus aérophiles (STRAUB 1989). Elles n'apportent pas d'indications plus précises pour la reconstruction du milieu, ne serait-ce que leur légère préférence pour l'épipélie (FOGED 1954, ROUND 1960). Pour cette raison et, à cause de leurs fortes fréquences, certains paléolimnologues (MANNION 1978, HÅKANSSON 1984) les comptent à part dans leurs tableaux de végétation. Ici, leurs variations de fréquences entre végétations me semblent caractéristiques de certaines époques de l'histoire du lac; c'est pour cela que je les ai laissées avec les autres genres dans les graphiques de végétations et dans les traitements statistiques.

Toutes les espèces sont alcaliphiles (sauf *Fragilaria lapponica*, *F. leptostauron* et *F. cf. virescens*, qui sont neutrophiles), d'après divers auteurs. La plus grande controverse dans la littérature concerne leurs besoins trophiques. La plupart sont citées en eaux eutrophes ou même typiques d'eaux eutrophes. Cela me paraît peu correspondre à ce que j'observe localement, sauf pour *Fragilaria ulna*. Dans les lacs eutrophes de la région, ces espèces de *Fragilaria* sont communes, mais peu abondantes. En général, elles accompagnent tout au plus les végétations. Une augmentation de l'eutrophie a même tendance à les faire régresser, phénomène signalé par BRADBURY 1975, parfois au profit de certaines *Navicula*. D'autre part, HAWORTH 1976 est d'avis que des assemblages dominés par *Fragilaria* dans le Tardiglaciaire et au début de l'Holocène sont révélateurs d'eaux pauvres en nutriments. Dans la reconstitution du niveau trophique, par calcul de l'indice d'eutrophie (p. 33), je ne les ai pas fait intervenir bien que, d'après la littérature, il faudrait (pour la plupart) leur donner une valence d'eutrophie.

Fragilaria atomus Hust.

(pl. 14/2, 3)

Fragilaria brevistriata Grun.

(pl. 14/4-10)

Fragilaria brevistriata var. *elliptica* Hérib.

(pl. 14/12-17)

Fragilaria brevistriata var. *linearis* Mayer

(pl. 14/11)

Fragilaria brevistriata var. *subcapitata* Grun.

(pl. 14/18-25)

Fragilaria capucina Dem.

Fragilaria capucina var. *vaucheriae* (Kütz.)

Lange-Bertalot

(pl. 15/19, 20)

Fragilaria construens (Ehr.) Grun.

(pl. 14/26-30)

Fragilaria construens var. *binodis* (Ehr.) Grun.

(pl. 14/35-37)

Fragilaria construens var. *subsalina* Hust.

(pl. 14/33, 34)

Fragilaria construens var. *venter* (Ehr.) Grun.

(pl. 14/31, 32)

Fragilaria elliptica Schum.

(pl. 15/1-16)

Fragilaria lapponica Grun.

(pl. 15/17, 18)

Fragilaria leptostauron (Ehr.) Hust.

(pl. 15/25, 26)

Fragilaria leptostauron var. *dubia* Grun.

(pl. 15/21-24)

Fragilaria parasitica (W. Sm.) Grun.

(pl. 16/2)

Fragilaria pinnata Ehr.

(pl. 15/31-35 et pl. 16/1)

Fragilaria pinnata var. *lancettula* (Schum.) Hust.

(pl. 15/36, 37)

Fragilaria pseudoconstruens Marciniak

(pl. 16/3-7)

Fragilaria pseudoconstruens var. *bigibba* Marciniak

(pl. 16/8, 9)

Fragilaria tabulata var. *truncata* (Grév.) Lange-Bertalot

(pl. 16/10-13)

Fragilaria ulna (Nitzsch) Lange-Bertalot

(pl. 16/14-16)

Fragilaria ulna var. *acus* (Kütz.) Lange-Bertalot

Fragilaria cf. *virescens* Ralfs

Fragilaria cf. *virescens* var. *elliptica* Hust.

(pl. 16/17-19)

Fragilaria cf. *virescens* var. *subsalina* Grun.

(pl. 16/20-24)

Frustulia spicula Amossé

(pl. 17/1, 2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 260.

Distribution

Rare et accidentelle au début de l'Holocène.

Gomphonema acuminatum Ehr.

(pl. 17/3)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 365.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 26 [1953] de la carotte A.

Gomphonema abbreviatum sensu Hustedt

Description

HUSTEDT 1930, p. 379, fig. 722.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3XVG [2449-N13]

Gomphonema angustatum var. productum Grun.

Description

PATRICK et REIMER 1975, p. 127.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Gomphonema angustum Ag.

(pl. 17/9-14)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 370.

Distribution

Fréquente, en général accidentelle ou compagne. Peut dominer certaines végétations dès le Dryas ancien inférieur.

Autoécologie

Selon KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986 elle n'est relativement fréquente qu'en eau oligotrophe. Elle recule devant l'augmentation de la pollution. Ne serait pas dépendante du pH, ni du taux de sels minéraux. Les autres données de la littérature ne sont pas utiles à cause de nombreuses confusions taxonomiques. Comme les autres espèces du genre, elle est épiphyte à tendance aérophile et résiste bien à l'action mécanique des vagues, par le fait qu'elle est fixée au substrat par un pédicelle muqueux. Dans la région, elle ne vit que dans les eaux à pH alcalin.

Gomphonema helveticum Brun

(pl. 17/6-8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 373.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Holocène.

Gomphonema minutum (Ag.) Ag.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 370.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne au Bronze final.

Autoécologie

Espèce fréquente en eaux eutrophes, mais sensible à une augmentation de la pollution (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), cependant trouvée également en cours d'eau très propres (REICHARDT 1984). Probablement alcaliphile, d'après ce qu'on observe dans la région (STRAUB 1989).

Gomphonema olivaceoides Hust.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 375.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 26 [1953] de la carotte A.

Gomphonema olivaceum (Horn.) Bréb.

et var. **calcareum (Cl.) Cl.**

(pl. 17/15)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 374.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne au Bronze final.

Autoécologie

Espèce des plus fréquentes dans les eaux oligotrophes à eutrophes (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), mais préférant les eaux pas trop pauvres en nutriments (LOWE 1974). Espèce alcalibionte (BATTARBEE 1978).

Gomphonema parvulum (Kütz.) Kütz.

(pl. 17/4, 5)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 358.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Gomphonema tergestium Fricke

(pl. 18/1-3)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 373.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 30 [1953] de la carotte A.

Gomphonema truncatum Ehr.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 369.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3XVH [2249-N13].

Gyrosigma sp.

Description

Indéterminable, car trouvée seulement à l'état de fragments, constitués en général par le nodule central.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Hantzschia amphioxys (Ehr.) Grun.

Description

HUSTEDT 1930, p. 394.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Mastogloia grevillei W. Sm.

(pl. 18/4, 5)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 435.

Distribution

Pas rare, accidentelle dès le Bølling.

Mastogloia smithii var. lacustris Grun.

(pl. 18/6-11)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 434.

Distribution

Fréquente, souvent compagne ou dominante dès le Bølling.

Autoécologie

Variété littorale d'eau douce ou de sources (HUSTEDT 1930, PATRICK et REIMER 1966), épiphytique (FLORIN 1970), particulièrement dans les mousses de la zone supralittorale ou épipélétique (STOERMER et *al.* 1971), à tendance aérophile. Alcaliphile (LOWE 1974, MANNION 1978). Vit en eaux à teneur moyenne ou élevée en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986) et ne semble pas être confinée à un seul niveau trophique. Dans la région, en eaux eutrophes, je ne la trouve jamais en grande quantité (STRAUB 1989).

Melosira varians Ag.

Description

HUSTEDT 1927-66 I, p. 240.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3XVG [2249-N13].

Meridion circulare (Grév.) Ag.

(pl. 18/12)

Description

HUSTEDT 1927-66 II, p. 93.

Distribution

Rare, accidentelle à compagne dès le Bølling.

Autoécologie

Espèce périphytique ou tychoplanctonique (LOWE 1974), d'eau eutrophe tolérant l'azote organique (VAN DAM 1979), mais sensible à la pollution (DESCY 1980, COSTE 1982). Alcaliphile (LOWE 1974, VAN DAM 1979).

Navicula atomus (Kütz.) Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 216.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 03e [1954-M16].

Navicula atomus var. *excelsa* (Krasske) Lange-Bertalot

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 217.

Distribution

Rare, compagne dans l'échantillon 3IID [2554-K7].

Autoécologie

Variété aérophile, qu'on trouve souvent aussi sur les détritiques de phanérogames, sur la vase en décomposition ou en eau d'épuration. Vit aussi dans des milieux terrestres humides ou dans les flaques (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Je l'ai trouvée une fois en très grande quantité en compagnie de *Navicula atomus* dans une flaque souillée par de l'huile de vidange. Probablement alcaliphile.

Navicula bryophila Pet.

(pl. 18/14)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 181.

Distribution

Rare, accidentelle à compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce aérophile (GERMAIN 1981) qu'on rencontre souvent dans les mousses (HUSTEDT 1927-66, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), mais peu connue. Neutrophile (FABRI et LECLERCQ 1984). Vit en milieu oligotrophe à faible teneur en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula capitatoradiata Germain

(pl. 18/13)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 105.

Distribution

Rare et accidentelle à l'Allerød.

Navicula cari Ehr.

(pl. 19/9)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 96.

Distribution

Pas rare, accidentelle dès le Boréal.

Navicula cincta (Ehr.) Ralfs

(pl. 19/1)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 98.

Distribution

Pas rare, accidentelle à compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce littorale ubiquiste à tendance aérophile (FABRI et LECLERCQ 1984, SERVANT-VILDARY 1984, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Préfère les eaux eutrophes (STOERMER et *al.* 1971, FABRI et LECLERCQ 1984) et résiste bien à la pollution (LANGE-BERTALOT 1979a). Alcaliphile (STOERMER et *al.* 1971, FOGED 1982, FABRI et LECLERCQ 1984).

Navicula clementis Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 139.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3IE [2554-F14].

Navicula contenta Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 219.

Distribution

Rare, une valve dans l'échantillon 3IE [2254-M16].

Navicula cryptocephala Kütz.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 102.

Distribution

Rare, accidentelle ou dominante (Dryas ancien inférieur!).

Autoécologie

Mal connue à cause des mélanges taxonomiques. D'après KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, elle aimerait les eaux pauvres en sels minéraux et même les eaux humiques. Résisterait bien à la pollution organique, même au-delà de la charge critique, en situation bien aérée. Se rencontre dans tous les habitats périphytiques littoraux. Alcaliphile (FABRI et LECLERCQ 1984).

Navicula cryptotenella Lange-Bertalot

(pl. 19/14-17 et pl. 21/8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 106.

Cette espèce a encore été considérée comme la variété *tenella* (Bréb.) Van Heurck de *Navicula radiosa* Kütz. et, aux comptages, intégrée sous son ancien nom.

Navicula cuspidata var. **ambigua** (Ehr.) Cl.

Description

HUSTEDT 1927-66 III, p. 62.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 03e [1954-M16].

Navicula decussis Østr.

(pl. 19/2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 141.

Distribution

Rare, accidentelle à compagnie dès l'Holocène.

Autoécologie

Selon KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, serait une espèce épipèlique en eaux peu profondes, à tendance aéro-phile. Vit en eaux à teneurs élevées en sels minéraux, mais avec peu de matières organiques. Probablement alcaliphile (CHOLNOKY 1968).

Navicula diluviana Krasske

(pl. 19/4-6)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 144.

Distribution

Rare, compagne au début de l'Holocène et accidentelle au Bronze final.

Autoécologie

Peu connue car observée surtout dans des sédiments glaciaires et holocènes (HUSTEDT 1953, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Actuellement rare et peu abondante dans les lacs alpins et les lacs du nord de l'Allemagne. N'aime probablement pas les matières organiques (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula elginensis (Greg.) Ralfs in Pritchard

(pl. 19/3).

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 136.

Distribution

Rare, accidentelle dès l'Holocène.

Autoécologie

Peu connue à cause des mélanges taxonomiques.

Navicula exigua (Greg.) Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 138.

Distribution

Très rare et accidentelle dès le Boréal.

Navicula exilis sensu Lange-Bertalot 1979 **pro parte** [= *Navicula* sp. 2 *sensu* KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986]

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 108.

Distribution

Commune, accidentelle à dominante dès le Dryas ancien inférieur.

Autoécologie

Peu connue à cause des difficultés de détermination. Fréquente en eaux riches en carbonates. Moyennement sensible à la pollution (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Dans la région, elle est fréquente et aime la franche eutrophie qu'on trouve au lac de Morat. Probablement alcaliphile.

Navicula gastrum (Ehr.) Kütz.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT, p. 143.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Navicula gottlandica Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 122.

Distribution

Fréquente et accidentelle au Bronze final.

Navicula ignota var. **palustris** (Hust.) Lund

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 180.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 5 [2554-M16].

Navicula joubaudii Germain

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 231.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Navicula menisculus Schum.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 105.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Navicula minima Grun.

(pl. 19/10, 11)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 229.

Distribution

Fréquente, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce ubiquiste des zones littorales et des petites pièces d'eau, nettement aéro-phile. Résiste bien à la pollution, même aux fortes charges organiques (FABRI et LECLERCQ 1984, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Selon VAN DAM 1979, elle serait même N-hétérotrophe facultative. Alcaliphile (LOWE 1974, VAN DAM 1979, FABRI et LECLERCQ 1984).

Navicula minuscula var. **muralis** Lange-Bertalot
(pl. 19/13)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 207.

Distribution

Rare, compagne dans l'échantillon 3XVF₂ [2249-N13], dans un dépôt interprété comme bouse de ruminant.

Autoécologie

Espèce d'eau très eutrophe, riche en sels minéraux et très chargée en matières organiques. Elle peut résister à l'assèchement (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula molestiformis Hust.

(pl. 19/12)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 130.

Distribution

Rare, accidentelle dans l'échantillon 3IID [2554-K7] et compagne dans l'échantillon 4 [2554-M16].

Autoécologie

Espèce aérophile d'eaux très eutrophes à polytrophes (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), probablement alcaliphile.

Navicula placentula (Ehr.) Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 145.

Distribution

Rare et accidentelle dès le Boréal.

Navicula protracta (Grun.) Cl.

(pl. 19/8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 163.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Navicula pseudanglica Lange-Bertalot

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 137.

Distribution

Rare, accidentelle à compagne au Bronze final.

Autoécologie

Espèce périphtyque d'eau stagnante. Aime les teneurs moyennes en sels minéraux, assez sensible à la charge organique (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Alcaliphile (JØRGENSEN 1948, FOGED 1964, CHOLNOKY 1968).

Navicula pseudoscutiformis Hust.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 159.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 1 [1954-M16].

Navicula pupula Kütz.

(pl. 19/7)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1982, p. 190.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce plutôt épipélique (REICHARDT 1979, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), en eaux eutrophes (LOWE 1974, SALDEN 1978) et qui résiste bien à la pollution (COSTE 1978, LANGE-BERTALOT 1979a, VAN DAM 1979, FABRI et LECLERCQ 1984). Espèce neutrophile (divers auteurs cités par FABRI et LECLERCQ 1984).

Navicula radiosa Kütz.

(pl. 19/18)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 99. J'ai inclus sous ce nom-là également *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot, que je prenais encore pour l'ancienne variété *tenella* (Bréb.) Van Heurck.

Distribution

Commune, en général accidentelle ou compagne. Dominante dans l'échantillon 24 [2556-114].

Autoécologie

Sous toute réserve, à cause de la confusion taxonomique, cette espèce est périphtyque (LOWE 1974), d'eau calme (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), plutôt d'eau oligotrophe, assez sensible à la pollution (DESCY 1980, COSTE 1982, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Neutrophile (LOWE 1974, BATTARBEE 1978, FABRI et LECLERCQ 1984).

Navicula reinhardtii Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 120.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 30 [1953] de la carotte A.

Navicula rhynchocephala Kütz.

(pl. 20/1)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 101.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Navicula rotunda Hust.

(pl. 20/3-6)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 194.

Distribution

Commune, accidentelle à dominante dès le Bølling.

Autoécologie

Peu connue, de lacs alcalins (HUSTEDT 1927-66). Une observation de FOGED 1974 dans un lac à pH 9. Vit en eaux pauvres en matières organiques, pauvres à moyennement riches en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Actuellement, dans la région, je ne l'ai pas suffisamment observée pour pouvoir m'en faire une idée.

Navicula schoenfeldii Hust.

(pl. 20/9)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 178.

Distribution

Commune, compagne ou dominante dès l'Holocène.

Autoécologie

Peu connue. Si FOGED 1964, 1984 la considère comme neutrophile, MERILAINEN 1967, CHOLNOKY 1968 et SALDEN 1978 lui donnent le qualificatif d'alcaliphile. Cela correspond mieux aux observations que j'ai faites. SALDEN 1978 cite un fort développement de cette espèce dans une eau eutrophe riche en matières organiques. KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986 la qualifient d'euryèce à ce point de vue et la trouvent tant en eaux oligotrophes qu'eutrophes. Dans la région, j'ai pu observer qu'elle gagne en importance avec l'augmentation de l'eutrophie (STRAUB 1989). Espèce littorale, mais qui s'adapte bien à la profondeur (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula scutelloides W. Sm.

(pl. 20/10-14)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 160.

Distribution

Commune, accidentelle à dominante dès la fin du Boréal. Particulièrement fréquente dans la couche 6 datant du Subboréal.

Autoécologie

Espèce épipélique (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986) aimant une certaine profondeur (HÅKANSSON 1984). Plutôt en eaux eutrophes (LOWE 1974, HÅKANSSON 1984, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Alcalibionte (LOWE 1974, BATTARBEE 1978).

Navicula seminulum Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 230.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne au Bronze final.

Autoécologie

Espèce du périphyton des lacs ou des rivières alcalins (LOWE 1974, HÅKANSSON 1984). Neutrophile (LOWE 1974, FABRI et LECLERCQ 1984) à alcaliphile (VAN DAM 1979). Aime les eaux eutrophes et résiste très bien à la pollution urbaine (LANGE-BERTALOT 1979a, GERMAIN 1981, DENEYS 1982). Serait même N-hétérotrophe facultative.

Navicula slesvicensis Grun.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 102.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Navicula subhamulata Grun.

(pl. 20/2)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 192.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Navicula subrotundata Hust.

(pl. 20/7, 8)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 204.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès le Boréal.

Autoécologie

Peu connue, bien qu'elle forme de grandes populations dans le littoral des lacs alcalins (HUSTEDT 1927-66, CHOLNOKY 1968). Neutrophile (MERILAINEN 1967, FOGED 1974, 1982).

Vit en eaux riches en sels minéraux, pauvres en matières organiques (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Dans la région, elle aime particulièrement les eaux eutrophes (STRAUB 1989).

Navicula tantula Hust.

Description

HUSTEDT 1927-66 III, p. 250. Je garde cette forme sous ce nom, sans l'intégrer à *Navicula minima* comme le proposent KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, car dans la région, les deux formes s'observent toujours en populations distinctes, sans formes intermédiaires.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès le Bølling.

Autoécologie

Espèce aérophile (GERMAIN 1981) qui vit dans toutes sortes d'eaux stagnantes. Aime les eaux eutrophes, mais n'est pas très résistante à la pollution (COSTE 1982). Neutrophile (MERILAINEN 1967, CHOLNOKY 1968).

Navicula tripunctata (O.F. Müll.) Bory

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 95.

Distribution

Rare, accidentelle ou dominante dès l'Holocène.

Autoécologie

Espèce littorale d'eau stagnante et courante (BOURELLY et MANGUIN 1952), qui peut supporter l'action mécanique du battement des vagues (SALDEN 1978) car elle vit en tubes mucilagineux accrochés au substrat (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Alcaliphile (LOWE 1974, SALDEN 1978, FABRI et LECLERCQ 1984). Vit en eaux mésotrophes à eutrophes (FABRI et LECLERCQ 1984), mais son optimum se situe en eaux eutrophes (CHOLNOKY 1968) riches en sels minéraux (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986). Moyennement sensible à la pollution (FABRI et LECLERCQ 1984, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula tuscula (Ehr.) Grun.

(pl. 21/1-4)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 234.

Distribution

Commune, accidentelle à dominante dès l'Allerød.

Autoécologie

Espèce épipélique (HUSTEDT 1930, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986), alcalibionte (BATTARBEE 1978, HÅKANSSON 1984). Vit dans des eaux oligotrophes à eutrophes et résiste moyennement à la pollution (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula veneta Kütz.

(pl. 21/5-7)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 104.

Distribution

Rare, compagne ou dominante dans certains sédiments du Bronze final.

Autoécologie

Cette espèce d'eau saumâtre s'est développée dans les eaux continentales, favorisée par la dégradation de leur qualité. Elle est donc très tolérante et supporte des variations extrêmes de pression osmotique (LANGE-BERTALOT 1979a). LOWE 1974 la relève comme alcaliphile, d'eau eutrophe, aérophile dans les lacs et les étangs.

Navicula viridula (Kütz.) Ehr.
(pl. 21/9)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 114.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Navicula vitabunda Hust.
(pl. 21/12)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 199.

Distribution

Commune, accidentelle ou compagne dès le Boréal.

Autoécologie

Espèce périphtyque d'eaux stagnantes (HUSTEDT 1927-66, FLORIN 1970), alcalines. Peut être fréquente en eau oligo-mésotrophe à taux de sels minéraux variable (KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986).

Navicula sp. 1
(pl. 21/13)

Description

Valve lancéolée elliptique à terminaisons étirées, de 10 µm de longueur sur 5 µm de largeur; 30 stries radiales par 10 µm, alternativement courtes et longues au centre. Raphé filiforme à terminaisons courbées latéralement.

Distribution

Rare et accidentelle dans le bloc 1 [2554-F14].

Navicula sp. 3
(pl. 21/10, 11)

Description

Longueur 12,2 µm, largeur 2,3 µm, valve ornée de 35 stries par 10 µm. Raphé courbé aux extrémités dans la même direction.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 3IF [2554-M16] et une autre dans l'échantillon 29 [1953] de la carotte A.

Navicula sp. 4
(pl. 21/14, 15)

Description

Valve elliptique de 8 µm de longueur et de 4,2 µm de largeur. 20-22 stries radiales par 10 µm. Raphé filiforme se terminant en crochets (?).

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne au Bronze final.

Navicula sp. 5
(pl. 21/16)

Description

Valve rhomboïde de 8 µm de long sur 3,8 µm de large. Stries légèrement radiales grossièrement ponctuées. Raphé filiforme. Pas d'aire centrale.

Distribution

Rare et accidentelle dans l'échantillon 3IF [2554-M16].

Navicula sp. 7
(pl. 22/1)

Description

Valve elliptique peu silicifiée de 10 µm de long sur 5 µm de large. Stries marginales radiales, 24 en 10 µm. Aire centrale large en amande. Raphé filiforme.

Distribution

Rare, compagne dans l'échantillon 4 [1954-M16].

Navicula sp. 8
(pl. 22/2)

Description

Petite valve de 9 µm de long sur 3,2 µm de large, capitée à zone médiane renflée; 36 stries radiales par 10 µm. Raphé filiforme. Pas d'aire centrale.

Distribution

Rare et accidentelle dans le bloc 1 [2554-M16].

Navicula sp. 9
(pl. 22/3)

Description

Valve elliptique de 7,5 µm de long sur 3,8 µm de large. On compte 30 stries radiales par 10 µm raccourcies au centre, délimitant une aire centrale vaguement rectangulaire. Raphé filiforme et nodule central renforcé.

Distribution

Rare et accidentelle dans l'échantillon 3XVF, [2249-N13].

Navicula sp. 15
(pl. 22/4)

Description

Longueur 6 à 7 µm, largeur 4,5 à 5 µm, 37 à plus de 40 stries par 10 µm. Valves allongées elliptiques à terminaisons arrondies. Raphé flexueux à terminaisons courbées du même côté. En LM les nodules terminaux ne sont pas spécialement visibles. Le raphé est renforcé par deux crêtes siliceuses comme dans les *Naviculae bacillares*. Lignes formées d'une simple rangée d'aréoles, plus ou moins raccourcies au centre, ce qui détermine une aire centrale plus ou moins rectangulaire à stauroïde. Aire axiale étroite s'ouvrant progressivement sur l'aire centrale. Je pensais tout d'abord qu'il s'agissait de *Navicula permitis*. Un examen en SEM montre qu'il ne s'agit en fait pas de cette espèce. J'ai envoyé ce matériel au D' Lange-Bertalot, de Frankfurt, qui pour le moment m'a confirmé mon erreur d'identification. Pour lui, il est possible que cette forme se rapproche plutôt du groupe de *Navicula harderi*/*Navicula subseminulum*. Pour reconnaître définitivement cette espèce, un examen plus approfondi reste nécessaire.

Distribution

Rare, accidentelle ou compagne dès le Boréal. Dominante dans les échantillons 1 [1954-M16] et 3XVD [2249-N13].

Neidium affine (Ehr.) Pfitzer
(pl. 22/5)

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 280. En général la var. *amphirhynchus* (Ehr.) Cl.

Distribution

Rare et accidentelle au Bronze final.

Neidium dubium (Ehr.) Cl.

Description

KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 267.

Distribution

Rare et accidentelle dès l'Holocène.

Neidium ampliatum (Ehr.) Krammer versus **Neidium iridis** fo. **vernalis** Reichelt ex Hust.
(pl. 22/6)

Description
HUSTEDT 1930, fig. 380; KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 279.

Distribution
Une valve dans l'échantillon 8 [1953] de la carotte A.

Nitzschia amphibia Grun.

Description
HUSTEDT 1930, p. 414.

Distribution
Rare et accidentelle au Bronze final.

Nitzschia angustata (W. Sm.) Grun. et var. **acuta** Grun.
(pl. 22/11)

Description
HUSTEDT 1930, p. 402.

Distribution
Commune, accidentelle dès l'Allerød.

Nitzschia denticula Grun.
(pl. 22/12, 13)

Description
HUSTEDT 1930, p. 407; SCHOEMAN et al. 1982.

Distribution
Pas rare, accidentelle à compagne dès le Bølling.

Autoécologie
Espèce très répandue, mais dont l'écologie n'est pratiquement pas connue. Alcaliphile (LOWE 1974, FOGED 1984). Littorale, cette espèce n'est que rarement rencontrée sur suintements rocheux (GERMAIN 1981).

Nitzschia dissipata (Kütz.) Grun.

Description
HUSTEDT 1930, p. 412.

Distribution
Rare, accidentelle à dominante dès l'Allerød.

Autoécologie
Espèce périphtyque caractéristique d'eaux courantes et bien oxygénées (CHOLNOKY 1968, COSTE et RICARD 1980, GERMAIN 1981). Alcaliphile (BATTARBEE 1978, divers auteurs cités par FABRI et LECLERCQ 1984). Vit plutôt en eaux eutrophes, mais est sensible à la pollution (LANGE-BERTALOT 1979b, COSTE et RICARD 1980, GERMAIN 1981).

Nitzschia frustulum Kütz.

Description
LANGE-BERTALOT 1976, p. 262.

Distribution
Rare et accidentelle au Bronze final. Dominante dans l'échantillon 3IIC [2554-K7].

Autoécologie
Espèce benthique (STOERMER et al. 1971), mais qu'on trouve aussi dans le périphtyton et le tychoplancton (LOWE 1974). Alcaliphile (LOWE 1974, divers auteurs cités par FABRI et LECLERCQ 1984, FOGED 1984). Espèce d'eau eutrophe (CLEVE-EULER 1951-55, STOERMER et al. 1971, LOWE 1974), mais sensible aux fortes pollutions (LANGE-BERTALOT 1979b), bien qu'elle semble N-hétérotrophe (LOWE 1974).

Nitzschia gandersheimiensis Krasske
(pl. 22/14)

Description
LANGE-BERTALOT et SIMONSEN 1978, p. 31.

Distribution
Rare, accidentelle à dominante dans certains sédiments du Bronze final.

Autoécologie
Espèce ubiquiste du périphtyton littoral, parmi les plus résistantes à la pollution industrielle et urbaine (LANGE-BERTALOT et SIMONSEN 1978, LANGE-BERTALOT 1979a, REICHARDT 1984). Alcaliphile (FOGED 1982).

Nitzschia hantzschiana Rab.

Description
LANGE-BERTALOT 1976, p. 263.

Distribution
Rare et accidentelle au Bronze final.

Nitzschia inconspicua Grun.

Description
LANGE-BERTALOT 1976, p. 265.

Distribution
Rare et accidentelle dès le Boréal.

Nitzschia lacuum Lange-Bertalot

Description
LANGE-BERTALOT 1980a, p. 49.

Distribution
Accidentelle à compagne, rare au Bronze final.

Autoécologie
Espèce épipélique ou épilitique décrite en milieu oligotrophe (LANGE-BERTALOT 1980a), mais qu'on trouve aussi en bonnes populations dans des eaux eutrophes (STRAUB 1986). Plutôt sensible à la pollution (COSTE 1982). Probablement alcaliphile (STRAUB 1989).

Nitzschia palea (Kütz.) W. Sm.
et var. **debilis** (Kütz.) Grun.
(pl. 22/15, 16)

Description
LANGE-BERTALOT 1976, p. 271 et 1980, p. 51.

Distribution
L'espèce est assez commune au Bronze final, accidentelle ou fortement dominante dans les échantillons 04 [1954-M16] et 3XVF₂ [2249-N13]. J'ai observé la variété plutôt dans les sédiments tardiglaciaires et holocènes précédant le Subboréal.

Autoécologie
Espèce ubiquiste de la zone littorale (LOWE 1974, SERVANT-VILDARY 1984), neutrophile (LOWE 1974, BATTARBEE 1978, VAN DAM 1979, divers auteurs cités par FABRI et LECLERCQ 1984). Vit en eaux polytrophes à hypertrophes car elle est extrêmement résistante à la pollution urbaine (LANGE-BERTALOT et BONIK 1976, LANGE-BERTALOT 1979a, FABRI et LECLERCQ 1984, REICHARDT 1984). Souvent citée comme N-hétérotrophe (CHOLNOKY 1968, LOWE 1974), même obligatoire (VAN DAM 1979). La variété serait plus sensible à la pollution (LANGE-BERTALOT 1980).

Nitzschia paleacea Grun.

Description
LANGE-BERTALOT 1976, p. 257.

Distribution

Rare, accidentelle à compagne dès le Subboréal.

Autoécologie

Espèce ubiquiste de la zone littorale. Aime les eaux riches en matières organiques (LANGE-BERTALOT 1976, 1978, COSTE et RICARD 1980, REICHARDT 1984), un peu plus sensible que la précédente à la pollution (LANGE-BERTALOT 1976, COSTE et RICARD 1980). N-hétérotrophe obligatoire (LANGE-BERTALOT 1978, VAN DAM 1979). Alcaliphile (VAN DAM 1979, FOGED 1982).

Nitzschia pusilla (Kütz.) Grun. em. Lange-Bertalot (pl. 23/1-4)

Description

LANGE-BERTALOT 1976, p. 273.

Distribution

Rare, accidentelle dans l'échantillon 6 [2339-A8] et dominante dans l'échantillon 779 [2760-N22].

Autoécologie

Espèce probablement formée de plusieurs écotypes car on la trouve soit en milieu oligotrophe, soit dans des flaques et des petites pièces d'eau polluées (COSTE et RICARD 1980, GERMAIN 1981, FABRI et LECLERCQ 1984). Plutôt d'eau froide (LANGE-BERTALOT 1976, LANGE-BERTALOT et BONIK 1976, REICHARDT 1984). Neutrophile (LANGE-BERTALOT 1976, FABRI et LECLERCQ 1984).

Nitzschia recta Hantzsch

Description

HUSTEDT 1930, p. 411.

Distribution

Rare et accidentelle à l'Holocène.

Nitzschia romana Grun.

(pl. 22/8-10)

Description

LANGE-BERTALOT 1976, p. 269.

Distribution

Commune, accidentelle à dominante dès le Dryas ancien inférieur.

Autoécologie

Espèce d'eau eutrophe (CHOLNOKY 1968, LANGE-BERTALOT 1976), mais sensible à la pollution (LANGE-BERTALOT 1979b). Vit partout dans la zone littorale, mais GERMAIN 1981 cite un développement important en flaques temporaires. Alcaliphile (FOGED 1964, 1980).

Nitzschia cf. *rosenstockii* Lange-Bertalot

(pl. 23/5)

Description

LANGE-BERTALOT 1980, p. 52. L'identification n'est pas certaine, car le matériel est trop clairsemé pour pouvoir être vérifié en microscopie électronique.

Distribution

Rare, dominante dans l'échantillon 04 [1954-M16].

Autoécologie

Inconnue.

Nitzschia sinuata var. *tabellaria* Grun.

(pl. 22/7)

Description

HUSTEDT 1930, p. 409.

Distribution

Rare et accidentelle au Tardiglaciaire.

Nitzschia cf. *supralitorea* Lange-Bertalot

(pl. 22/17)

Description

LANGE-BERTALOT 1980, p. 55. L'identification n'est pas certaine, car le matériel est trop clairsemé pour pouvoir être vérifié en microscopie électronique.

Distribution

Rare, compagne et dominante respectivement dans les échantillons 03g [1954-M16] et 04 [1954-M16].

Autoécologie

Espèce aérophile, qui résiste bien à l'action mécanique des vagues, fréquente en eau courante. Supporte de grandes variations de la pression osmotique et la pollution chimique (LANGE-BERTALOT 1979b).

Nitzschia sp. 1

(pl. 23/6)

Description

Valve fusiforme à terminaisons aiguës de 19 µm de long et 2,8 µm de large, portant 27 stries en 10 µm; 13 fibules par 10 µm, sans nodule central.

Distribution

Une valve dans l'échantillon 03e [1954-M16].

Nitzschia sp. 2

(pl. 23/7)

Description

Valve à terminaisons étirées, très renflées au centre de 10 µm de long et 3,5 µm de large. 24 stries finement aérées en 10 µm. 12 fibules par 10 µm, sans nodule central.

Distribution

Rare et accidentelle au Dryas ancien inférieur et au Bølling.

Nodules centraux

Sous ce terme, j'ai introduit dans mes comptages un certain nombre de fragments de diatomées reconnaissables d'entre les autres, mais non identifiables. Il s'agit, dans des populations fortement érodées, de fragments qui se réduisent aux nodules centraux de diatomées pennées. Leur intérêt sur le plan synécologique est d'augmenter la diversité de certaines populations qui, du fait de l'érosion, paraîtraient au contraire extrêmement spécialisées.

Distribution

Accidentels à dominants, en particulier dans les sédiments tardiglaciaires du profil [2557-K8].

Nodule central 1 = probablement *Mastogloia elliptica* Ag.

(pl. 23/9-11)

Nodule central 2 = probablement *Caloneis* sp.

(pl. 23/12-14)

Nodule central 3

(pl. 23/8)

Nodule central 4

(pl. 23/18-20)

Nodule central 6

(pl. 23/16, 17)

Nodule central 7

(pl. 23/15)

Nodule central 8
(pl. 24/1, 2)

Nodule central 10
(pl. 24/3, 4)

Opephora martyi Héríb.
(pl. 15/27-30)

Description
HUSTEDT 1927-66 II, p. 135.

Distribution
Commune, accidentelle ou compagne dès l'Allerød.

Autoécologie
Espèce littorale épiphytique d'eau stagnante (HUSTEDT 1930, STOERMER et al. 1971, HÅKANSSON 1982, 1984). Alcaliphile (CHOLNOKY 1968, LOWE 1974, BATTARBEE 1978). Vit en eaux eutrophes à mésotrophes (HUSTEDT 1930, PATRICK et REIMER 1966, LOWE 1974).

Pinnularia sp.
(pl. 24/5)

Description
En général, des fragments indéterminables de plusieurs espèces. Une valve entière de *Pinnularia biceps* Greg.

Distribution
Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Rhaphoneis sp.
(pl. 24/10, 11)

Taxon non déterminé plus précisément par manque de littérature. Ce genre est formé uniquement d'espèces marines. La présence de quelques individus dans les sédiments de Champréveyres est probablement d'origine détritique. On peut penser qu'ils proviennent de la dégradation des formations géologiques marines, qui constituent en partie la région.

Rhoicosphenia abbreviata (C. Ag.) Lange-Bertalot

Description
KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 381.

Distribution
Une valve dans l'échantillon 41 [1953] de la carotte A.

Rhopalodia gibba var. *ventricosa* (Ehr.) Grun.

Description
HUSTEDT 1930, p. 391.

Distribution
Rare et accidentelle dès l'Allerød.

Rhopalodia parallela (Grun.) O. Müll.

Description
HUSTEDT 1930, p. 389.

Distribution
Rare, accidentelle ou compagne dès le Bølling.

Autoécologie
Espèce alcaliphile (HÅKANSSON 1984) littorale, particulièrement dans le domaine alpin (HUSTEDT 1930) et dans le nord de l'Europe (HUSTEDT 1943), qui vit plutôt comme épipélique. Besoins trophiques non connus.

Stauroneis smithii Grun.
(pl. 24/9)

Description
KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 244.

Distribution
Rare et accidentelle dès le Boréal.

Stauroneis thermicola (Pet.) Lund

Description
KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986, p. 248.

Distribution
Une valve dans l'échantillon 04 [2248-G14].

Stephanodiscus alpinus Hust.
(pl. 24/6-8)

Description
HÅKANSSON et STOERMER 1984a.

Distribution
Commune et accidentelle dès l'Allerød.

Stephanodiscus hantzschii Grun.

Description
HÅKANSSON et STOERMER 1984b.

Distribution
Rare et accidentelle au Bronze final.

Stephanodiscos minutulus (Kütz.) Cl. et Möller

Description
ROUND 1981.

Distribution
Rare et accidentelle au Bronze final.

Stephanodiscus parvus Stoermer et Håk.

Description
STOERMER et HÅKANSSON 1984.

Distribution
Rare, compagne dans l'échantillon 2 [1954-M16].

Autoécologie
Espèce planctonique, mais qu'on trouve aussi en masse sur le littoral (STRAUB 1989). Vit en eaux eutrophes et résiste bien à la pollution (HÅKANSSON 1984, STOERMER et HÅKANSSON 1984).

Surirella ovata Kütz.

Description
HUSTEDT 1930, p. 442.

Distribution
Commune, accidentelle à dominante au Bronze final.

Autoécologie
Espèce littorale épipélique (STOERMER et al. 1971, REICHARDT 1979). Elle se développe massivement dans des eaux de qualités très différentes, allant des eaux propres de sources jusqu'aux eaux très polluées de la classe III (LANGE-BERTALOT 1979b). Résiste également à des pollutions modérées de métaux lourds (SAY 1978). Alcaliphile (LOWE 1974).

Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.

Description
HUSTEDT 1930, p. 122.

Distribution
Rare et accidentelle au Bronze final.

Mise à jour taxonomique (février 1990)

Entre le moment de la constitution du catalogue floristique et sa publication, une avance considérable a été faite dans les révisions taxonomiques ; celles-ci débouchent, depuis quelques années, sur la publication de la nouvelle édition de la *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Ainsi, certaines identifications sont à corriger, soit à cause de confusions maintenant éclaircies, soit pour des raisons purement nomenclaturales. Dans certains cas, l'impact de ces changements sur les interprétations est discuté ci-dessous.

D'après HÅKANSSON 1988 : Les formes présentées sous le nom de *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz. appartiennent maintenant à *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemmermann.

D'après HÅKANSSON 1989 : L'espèce présentée sous le nom de *Cyclotella plitvicensis* Hust. est en réalité *Cyclotella distinguenda* Hust. Cela n'entraîne pas de changement dans l'interprétation car les deux espèces peuvent vivre dans les mêmes milieux. Les formes cataloguées sous le nom de *Cyclotella tecta* Håk. et Ross ne correspondent pas à cette dénomination, ce nom étant un synonyme récent de *Cyclotella distinguenda* Hust. En conséquence, les formes illustrées doivent être désignées sous le nom de *Cyclotella* sp. (pl. 7/18, 19).

D'après KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1988 : Le nom valable pour *Epithemia muelleri* Fricke est maintenant *Epithemia goeppertiana* Hilse. Les individus présentés sous le nom de *Nitzschia denticula* Grun. doivent être attribués maintenant à *Denticula kuetzingii* Grun. Vu le peu de connaissances relatives à l'autoécologie de cette espèce, ce changement n'entraîne pas de modification dans les interprétations. Les formes désignées sous le nom de *Nitzschia gandersheimiensis* Krasske représentent une race de l'espèce *Nitzschia tubicola* Grun. De toute manière, les formes trouvées ici sont identiques à celles que l'on rencontre dans les stations d'épuration de la région. Les interprétations paléocologiques basées en grande partie sur leur présence (échantillons 3XVF₂ [2449-N13] et 04 [1954-M16]) ne sont donc pas remises en question. Après une controverse de plus de dix ans, les formes rassemblées ici sous le nom de *Nitzschia romana* Grun. doivent à nouveau s'appeler *Nitzschia fonticola* Grun. in Cleve et Möller. Les formes présentées sous le nom de *Surirella ovata* Kütz. doivent toutes être attribuées à *Surirella minuta* Bréb. La présence possible de cette espèce en eaux très eutrophes soutient l'interprétation proposée au sujet des échantillons 3XVF₂ [2449-N13] et 04 [1954-M16].

D'après LANGE-BERTALOT et KRAMMER 1989 : Les formes traditionnellement retenues sous le nom de *Achnanthes exigua* Grun. comprennent en fait deux taxons. Les individus à terminaisons brusquement étranglées (pl. 1/12) appartiennent effectivement à cette espèce. En revanche, les individus plus ramassés (pl. 1/13) doivent probablement être attribués à *Achnanthes dau* Foged. Cette seconde forme est la plus fréquente des deux à Hauterive-Champréveyres.

Références

HÅKANSSON Hannelore

1988 A study of species belonging to the *Cyclotella bodanica/comta* complex (Bacillariophyceae). In: ROUND, F.E. (ed.), *Proceedings of the 9th International Diatom Symposium, Bristol*, p. 329-354.

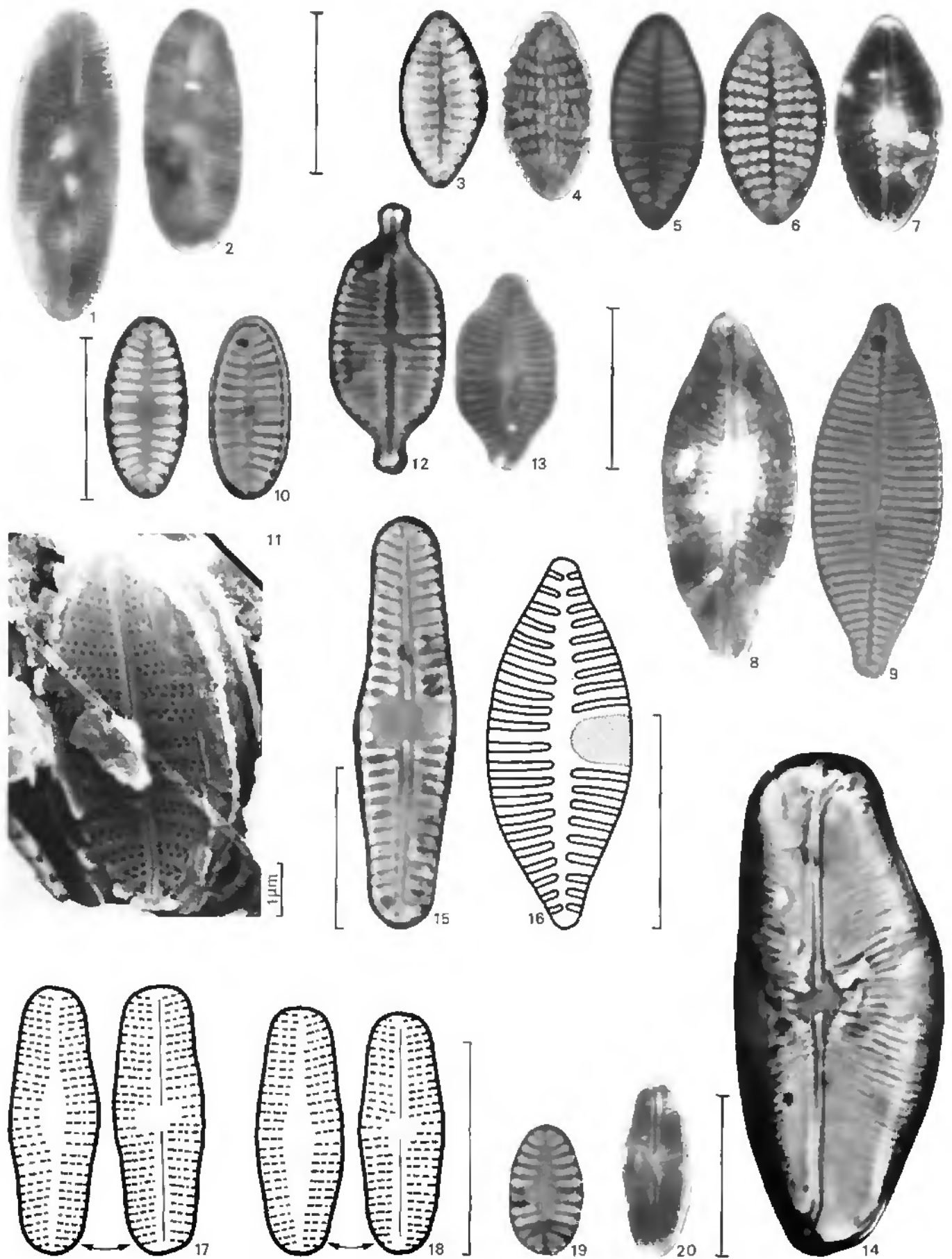
1989 A light and electron microscopical investigation of the type species of *Cyclotella* (Bacillariophyceae) and related forms, using original material. *Diatom Research*, 4 (2), p. 255-267.

KRAMMER Kurt et LANGE-BERTALOT Horst

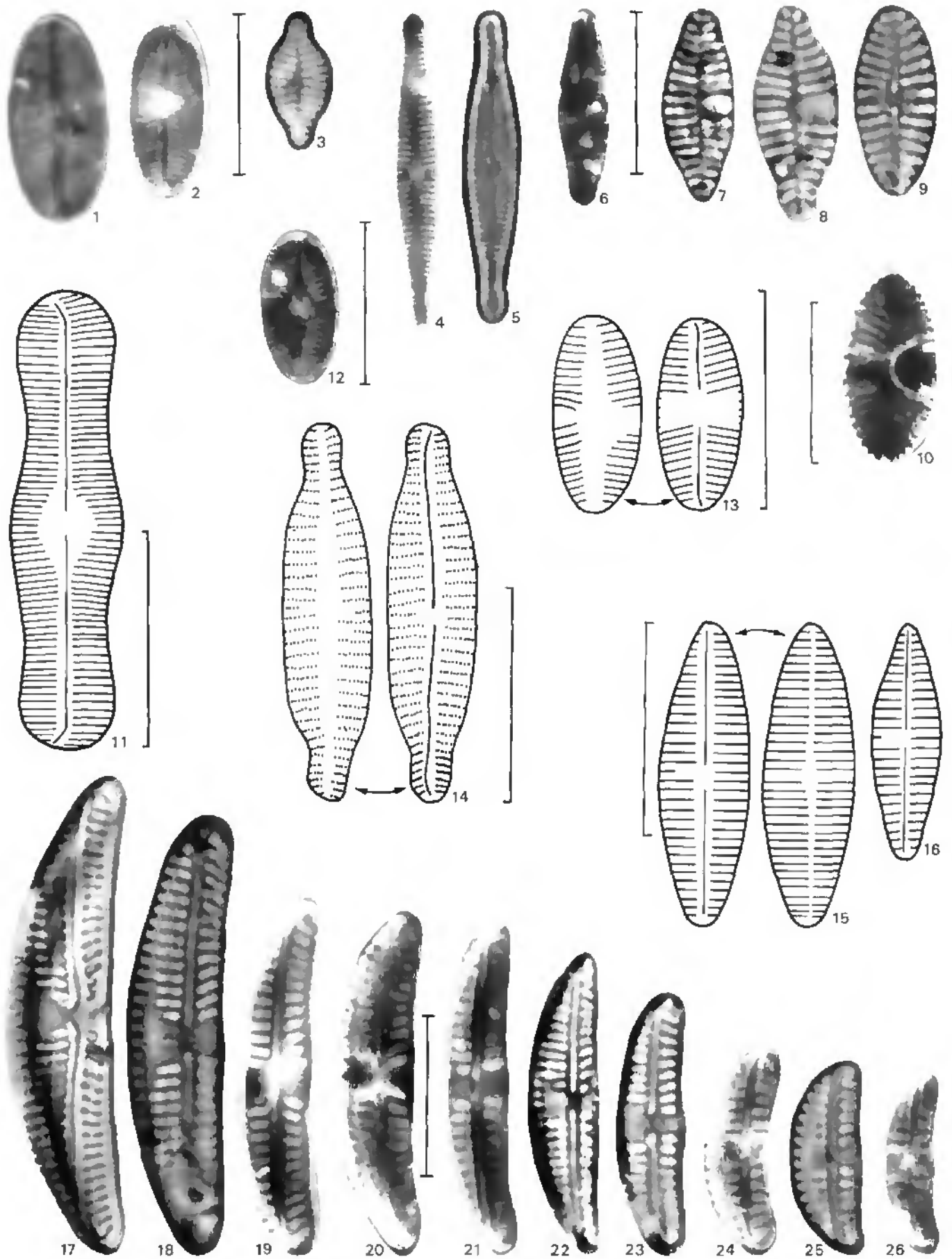
1988 Bacillariophyceae 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H. et al. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 2/2.

LANGE-BERTALOT Horst et KRAMMER Kurt

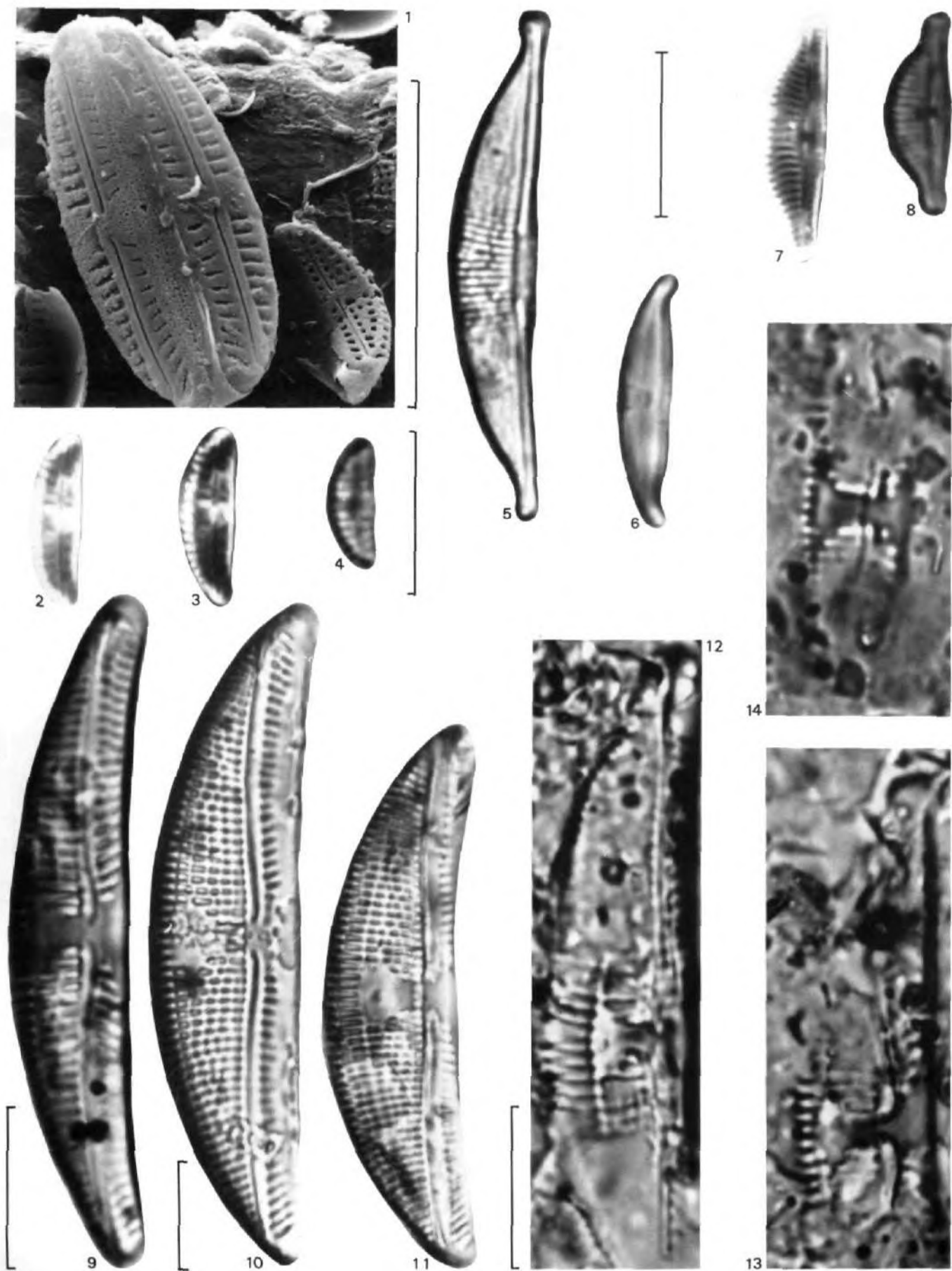
1989 *Achnanthes*, eine Monographie der Gattung. *Bibliotheca Diatomologica*, 18.



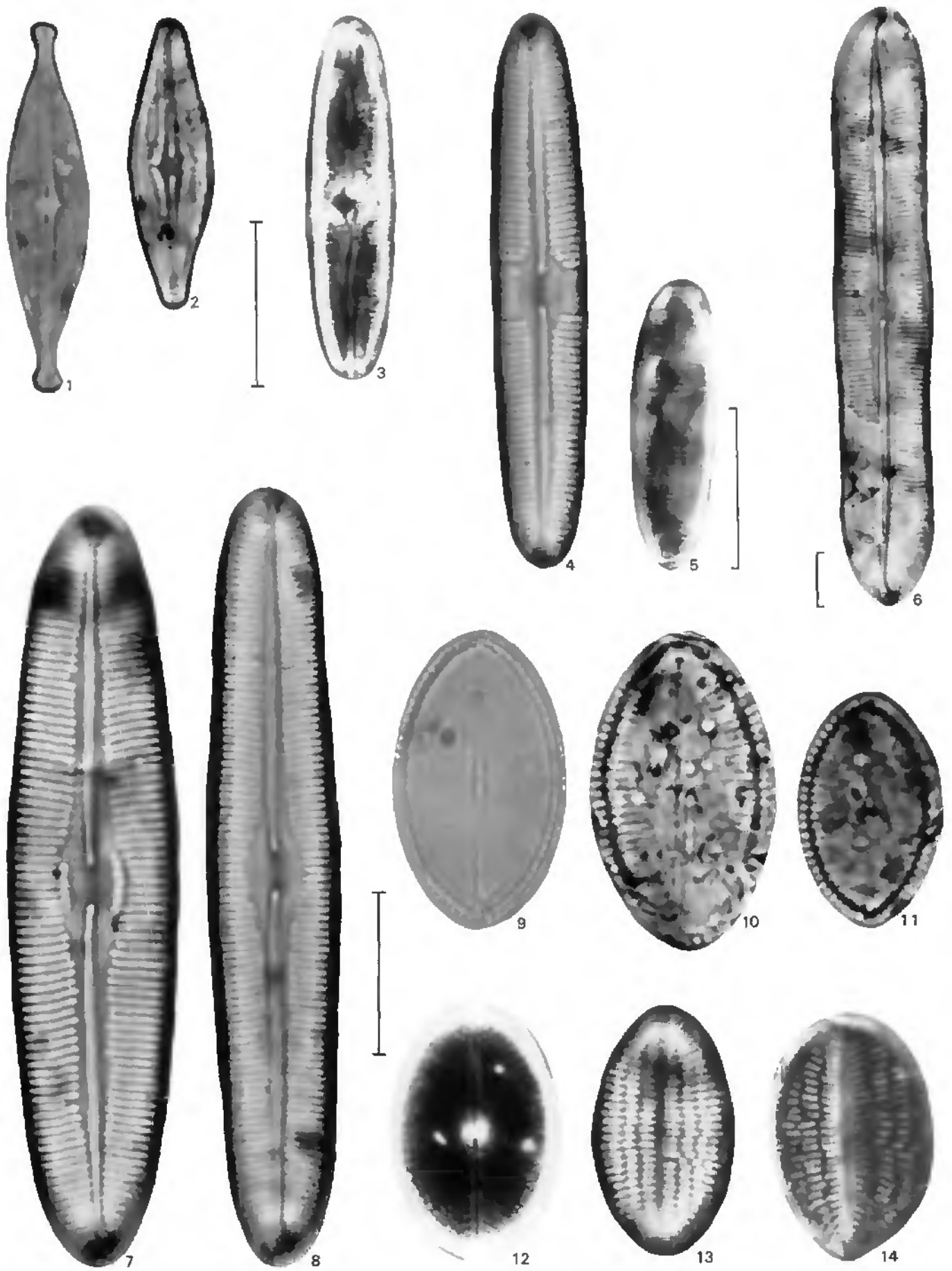
1 1, 2: *Achmanthes austriaca* var. *helvetica* Hust.; 3-7: *Achmanthes rlevei* Grun.; 8, 9: *Achmanthes clevei* var. *rostrati* Hust.; 10, 11: *Achmanthes conspicua* Mayer; 12, 13: *Achmanthes exigua* Grun.; 14: *Achmanthes flexella* (Kütz.) Brun; 15: *Achmanthes lanceolata* (Bréb.) Grun.; 16: *Achmanthes lanceolata* var. *lanceolatoides* (Sov.) Reimer; 17, 18: *Achmanthes rosenstockii* Lange-Bertalot; 19: *Achmanthes grischuna* Wüthrich; 20: *Achmanthes lauenburgiana* Hust.



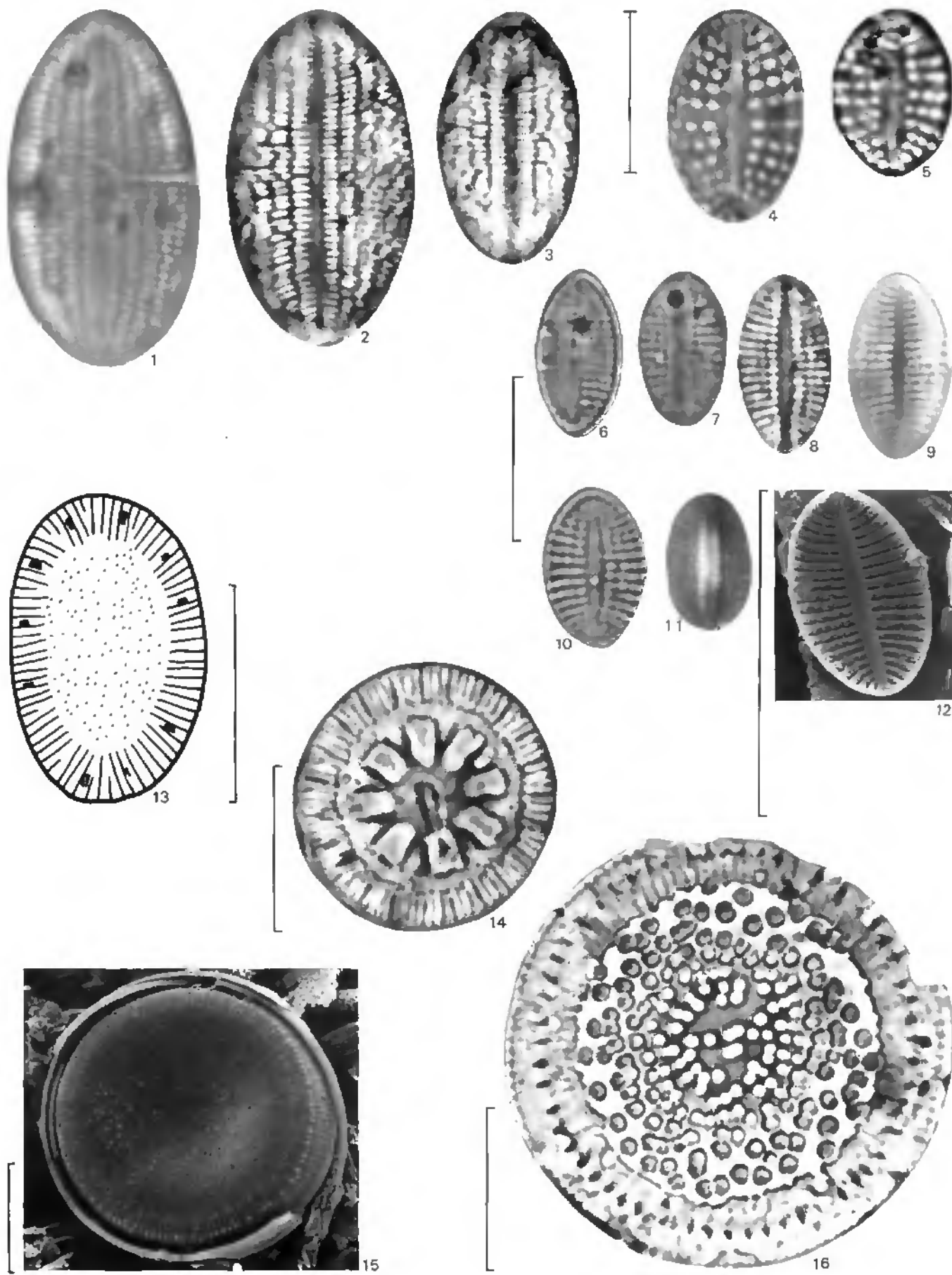
2 1, 2: *Achnanthes lapponica* Hust.; 3: *Achnanthes minuscula* Hust.; 4-6: *Achnanthes minutissima* Kütz.; 7-9: *Achnanthes rufirata* Østr.; 10: *Achnanthes oestrupii* (A. Cleve) Hust.; 11: *Achnanthes irinodis* (W. Sm.) Grun.; 12: *Achnanthes* sp. 5; 13: *Achnanthes* sp. 4; 14: *Achnanthes* sp. 1; 15, 16: *Achnanthes* sp. 2; 17-26: *Amphora inariensis* Krammer.



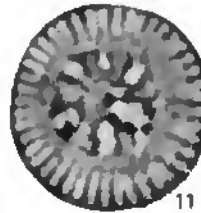
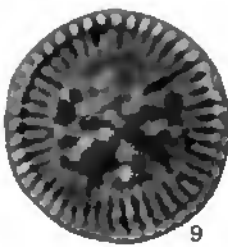
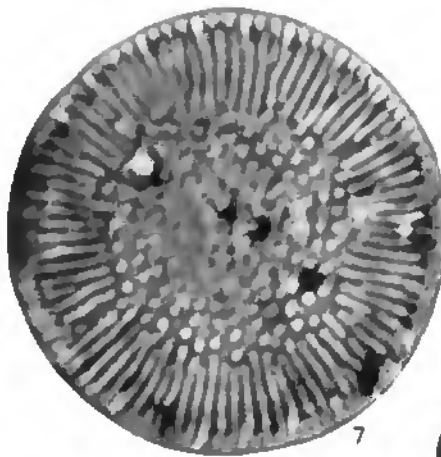
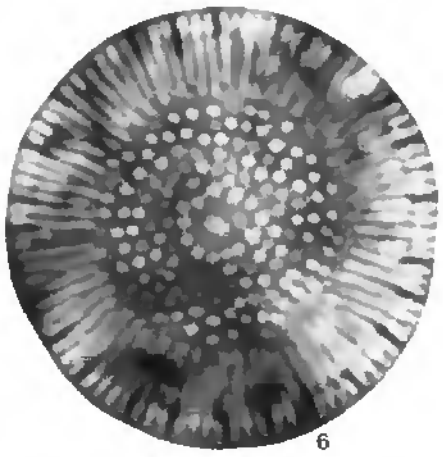
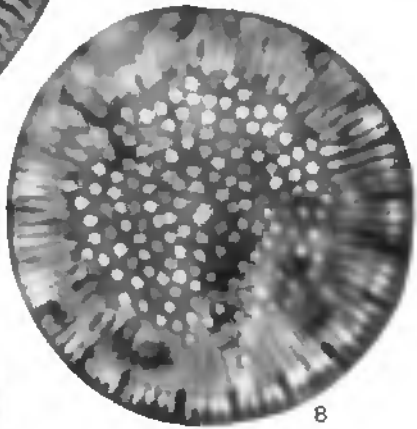
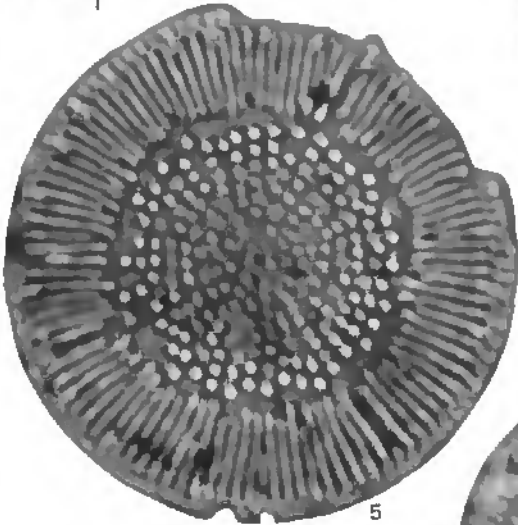
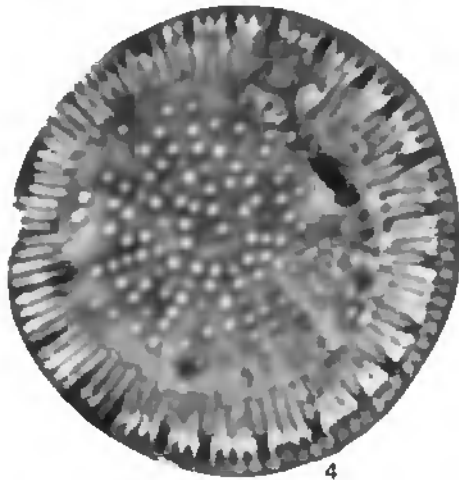
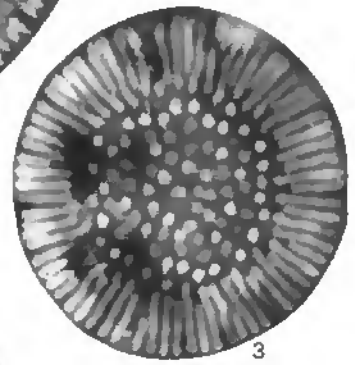
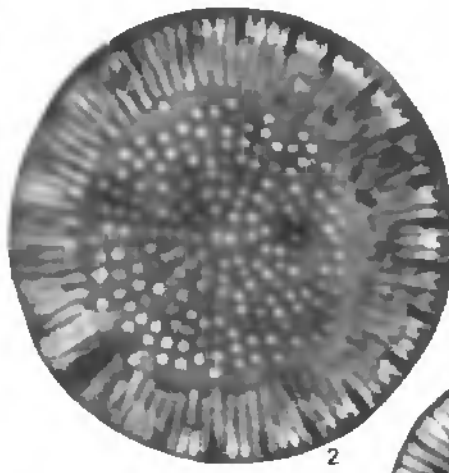
3 1: *Amphora inariensis* Krammer et *A. pediculus* (Kütz.) Grun.; 2-4: *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun.; 5: *Amphora normannii* Rab.; 6: *Amphora montana* Krasske; 7, 8: *Amphora thumensis* (A. Mayer) A. Cleve-Euler; 9: *Amphora libyca* Ehr.; 10, 11: *Amphora ovalis* (Kütz.) Kütz.; 12-14: Formes d'érosion de *Amphora libyca*.



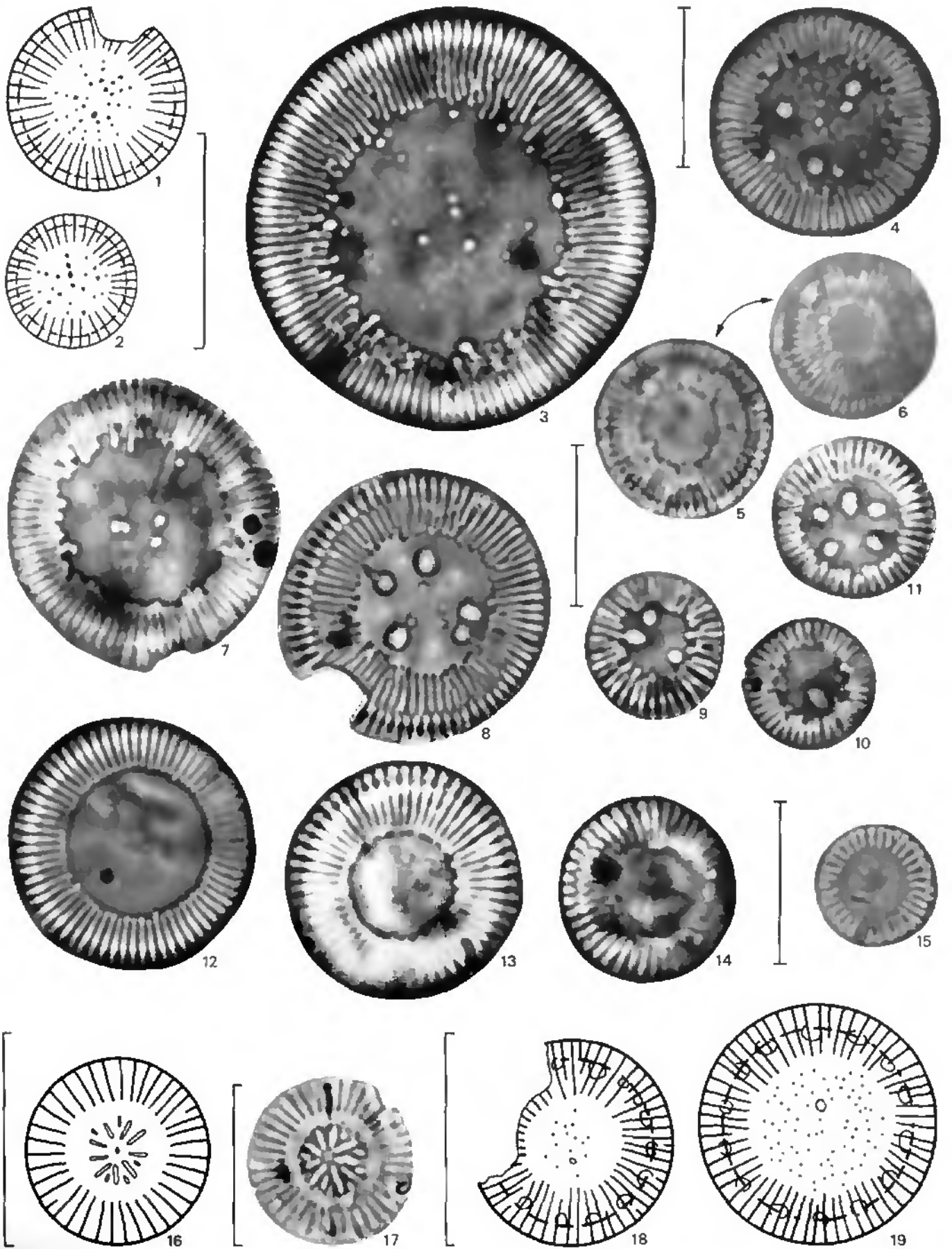
4 1: *Anomoeoneis vitrea* (Grun.) Ross.; 2: *Anomoeoneis vitrea* var. *lanceolata* (A. Mayer) Fabri; 3: *Anomoeoneis brachysira* var. *zellensis* (Grun.) Krammer; 4, 5: *Caloneis bacillum* (Grun.) Cl.; 6: *Caloneis schumanniana* (Grun.) Cl.; 7: *Caloneis alpestris* (Grun.) Cl.; 8: *Caloneis silicula* (Ehr.) Cl.; 9-14: *Cocconeis placentula* var. *englypta* (Ehr.) Cl.



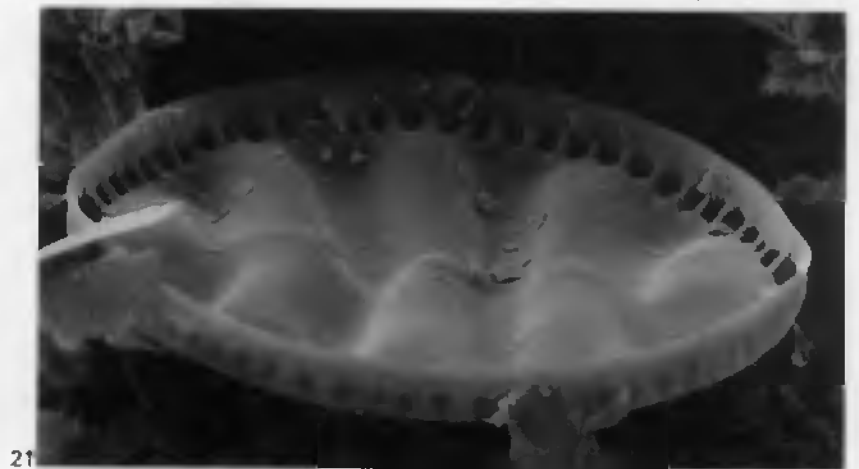
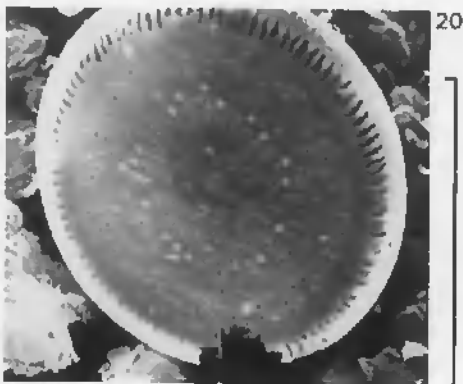
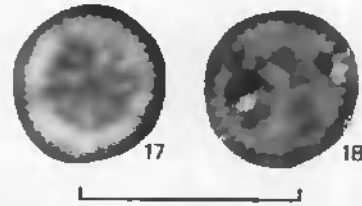
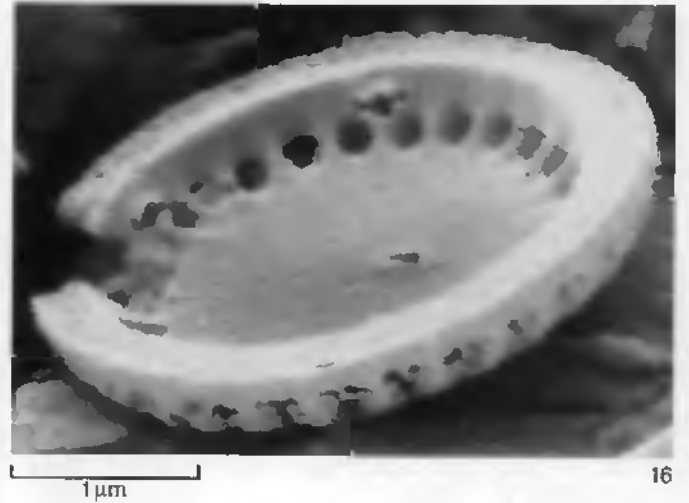
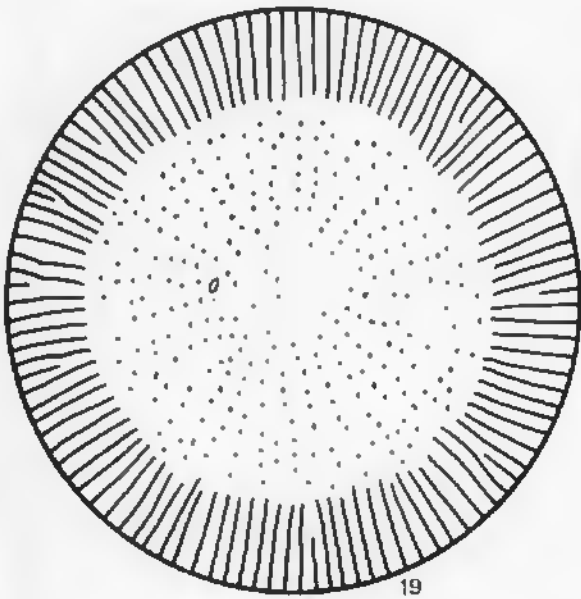
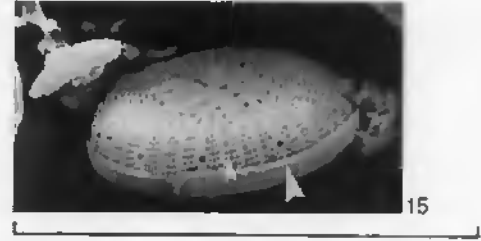
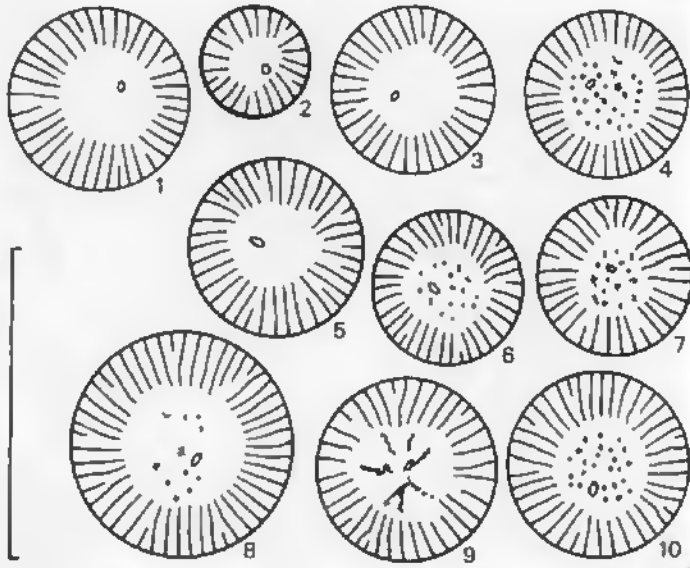
5 1-3: *Cocconeis plaecentula* var. *lineata* (Ehr.) Cl.; 4, 5: *Cocconeis pseudothumensis* Reichardt; 6-12: *Cocconeis thumensis* Mayer; 13: *Cyclotella austriaca* (Perag.) Hust.; 14: *Cyclotella antiqua* W. Sm.; 15, 16: *Cyclotella bodanica* Eul.



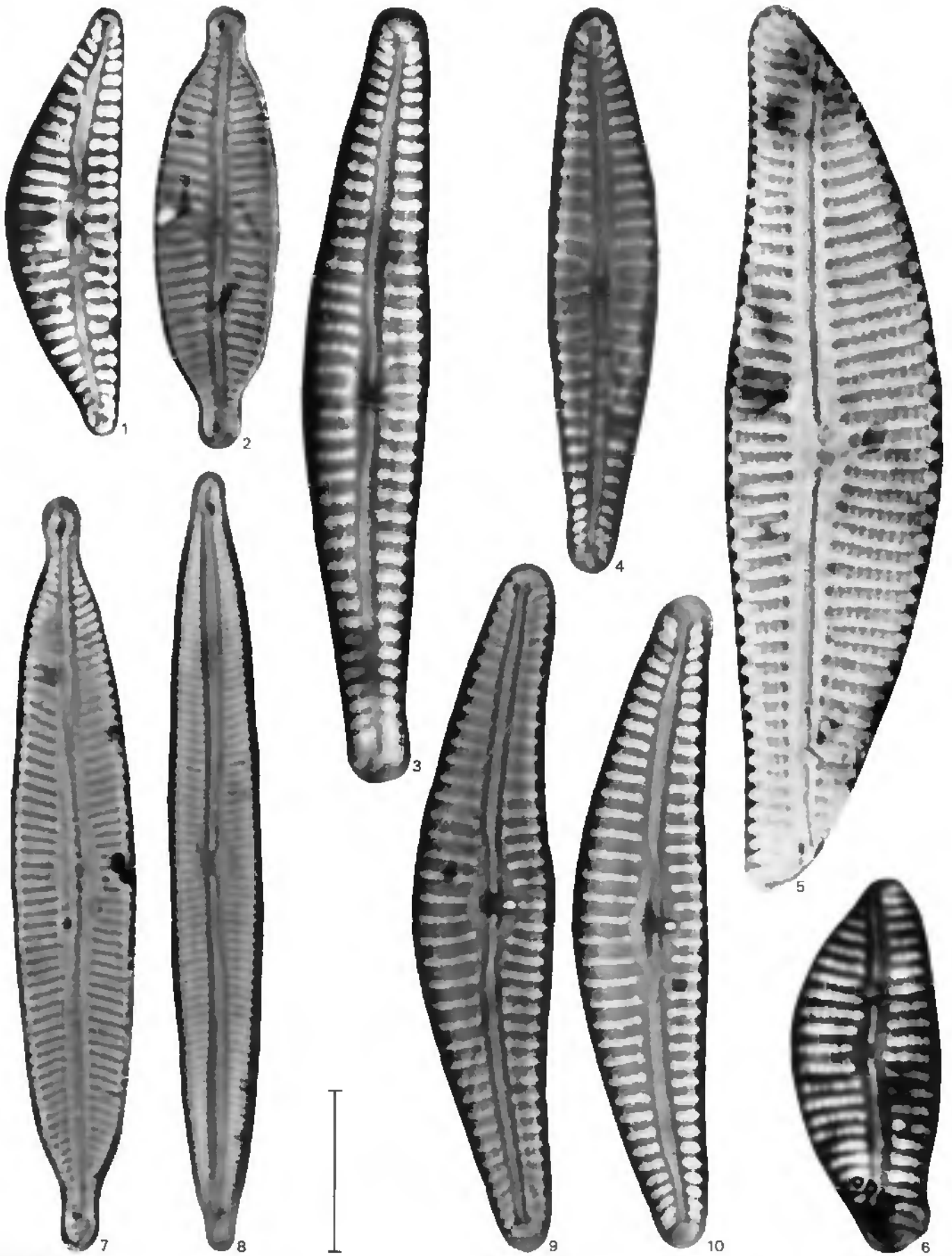
6 1: *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz.; 2-8: *Cyclotella comta* vs. *Cyclotella quadrijuncta* (Schroeter) Hust.; 9-18: *Cyclotella kuetzingiana* var. *radiosa* Fricke.



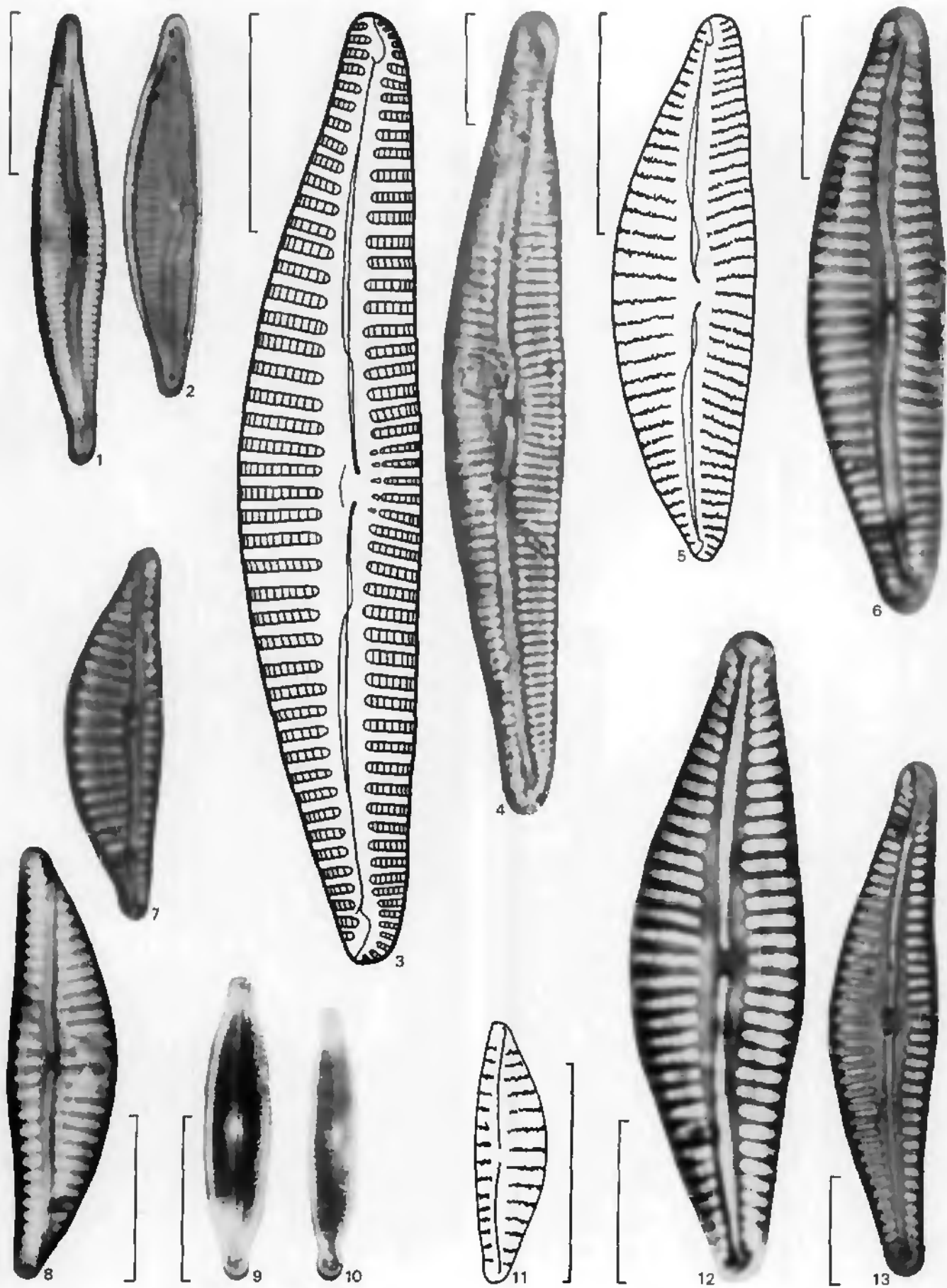
7 1, 2: *Cyclorella kuetzingiana* var. *radiosa* Fricke; 3-7: *Cyclorella kuetzingiana* Thwaites; 8-11: *Cyclorella ocellata* Pant.; 12-14: *Cyclorella plitvicensis* Hust.; 15: *Cyclorella stelligerioides* Hust.; 16, 17: *Cyclorella stelligera* Cl. et Grun.; 18, 19: *Cyclorella tecta* Håk. et Ross.



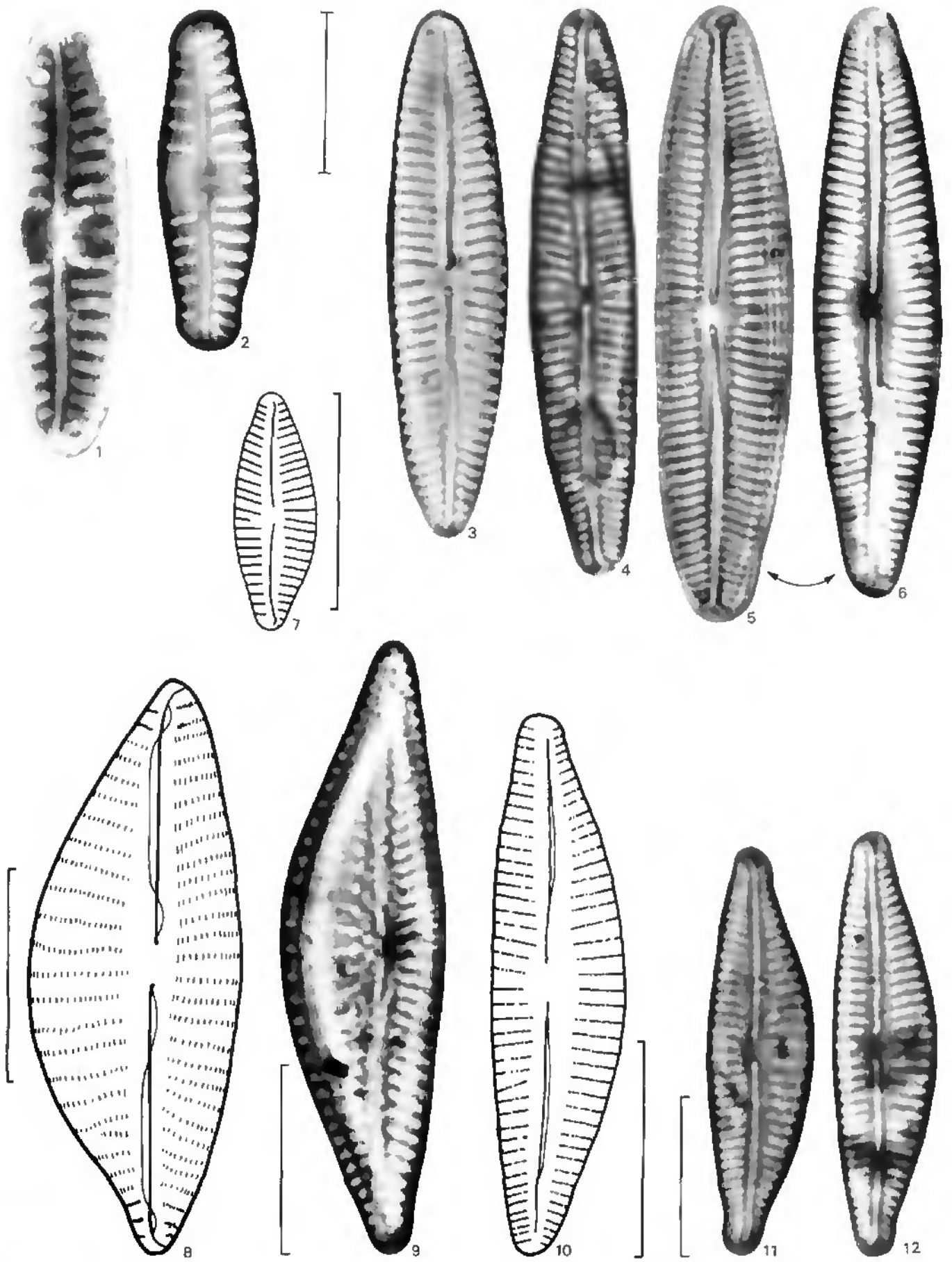
8 1-16: *Cyclotella wuethrichiana* Druart et Straub; 17, 18: *Cyclotella* sp. 477; 19, 20: *Cyclotella* sp. 3; 21: *Cymatopleura elliptica* (Bréb.) W. Sm.



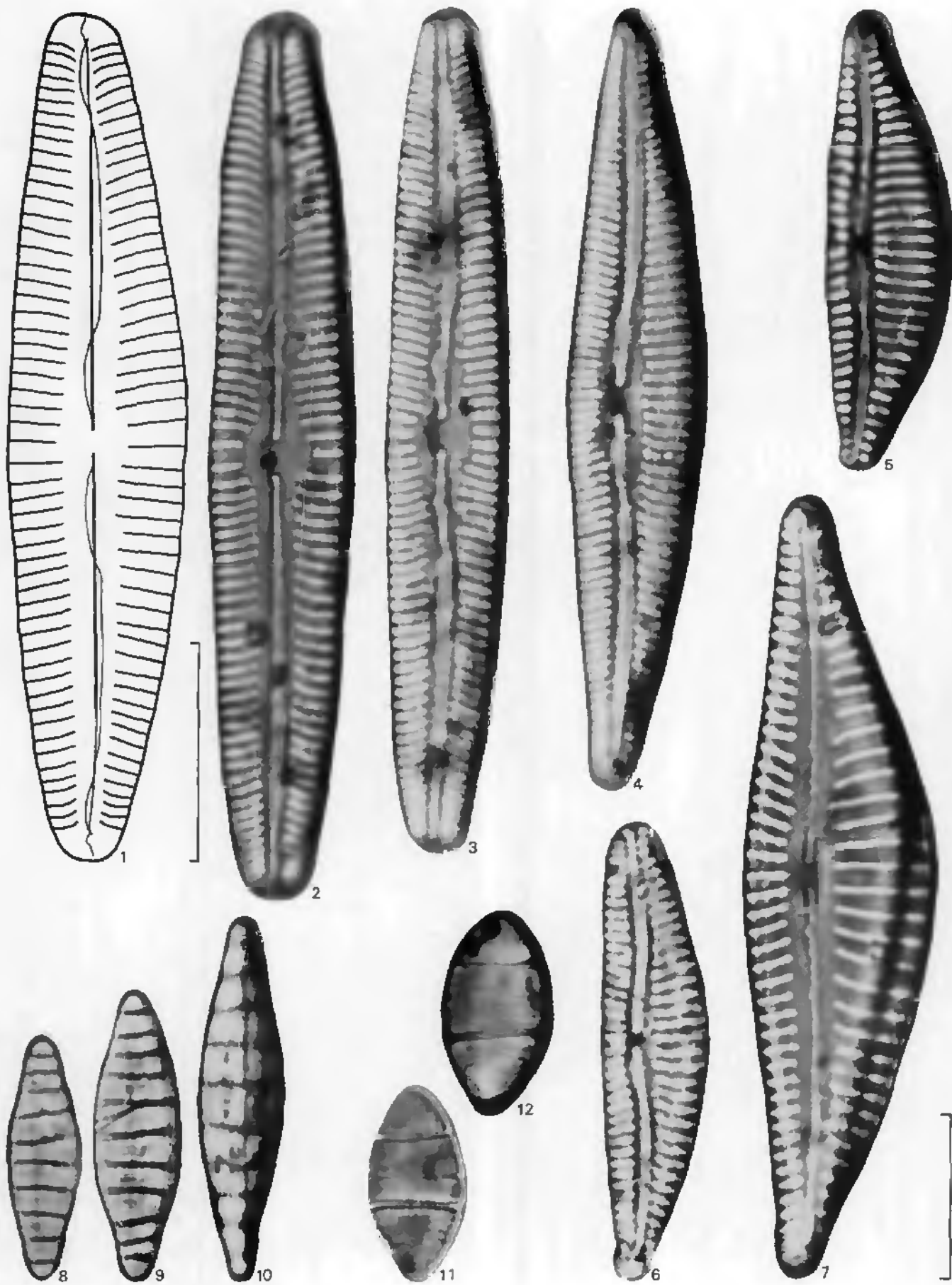
9 1: *Cymbella affinis* Kütz.; 2: *Cymbella amphicephala* Naegeli; 3, 4: *Cymbella ancyltii* Cl.; 5, 6: *Cymbella caespitosa* (Kütz.) Brun; 7: *Cymbella angustata* (W. Sm.) Cl.; 8: *Cymbella cesatii* (Rab.) Grun.; 9, 10: *Cymbella cymbiformis* Ag.



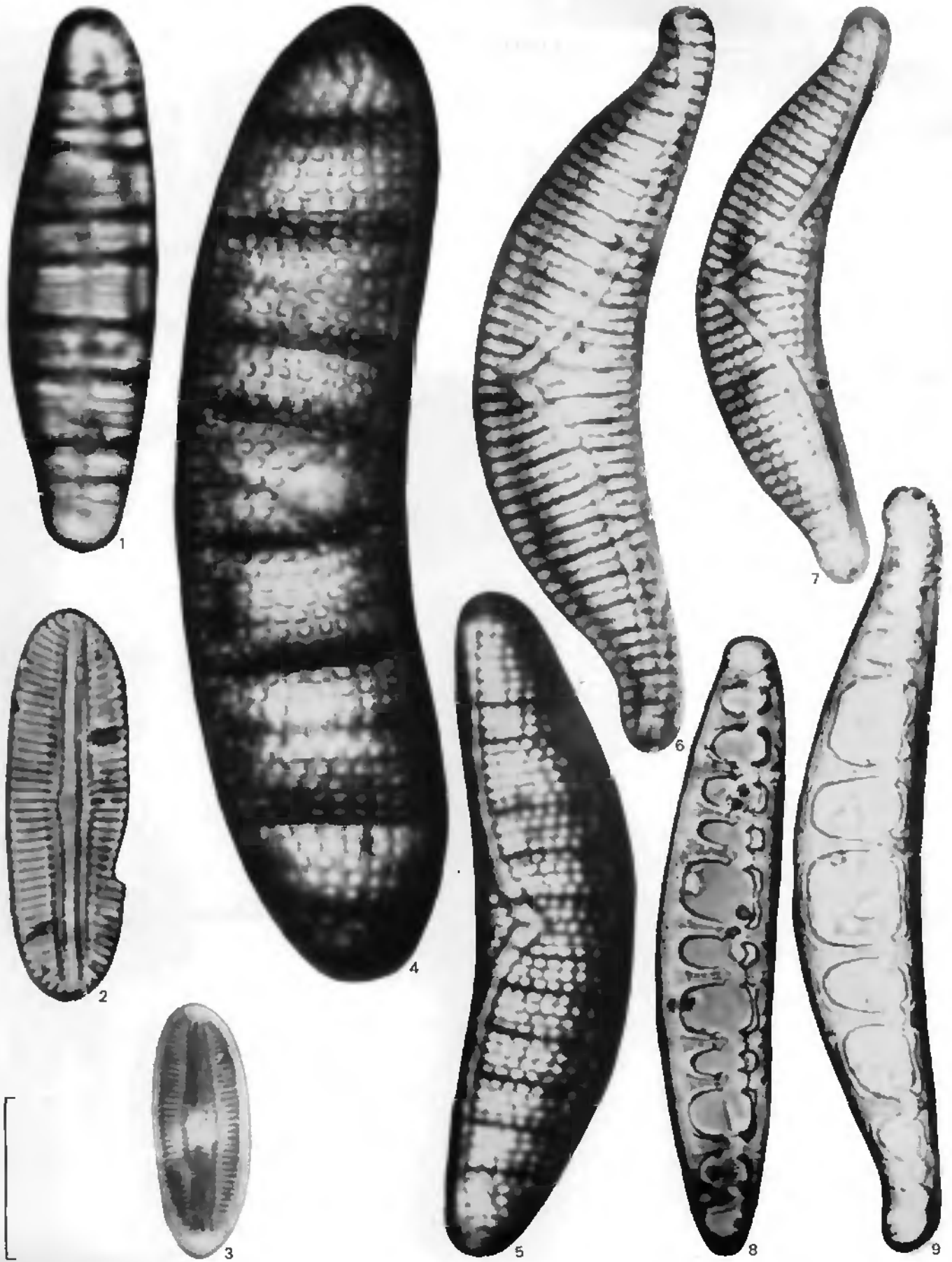
10 1, 2: *Cymbella delicatula* Kütz.; 3, 4: *Cymbella helvetica* Kütz.; 5, 6: *Cymbella helvetica* var. *compacta* (Østr.) Hust.; 7, 8: *Cymbella minuta* Hilse; 9, 10: *Cymbella microcephala* Grun.; 11: *Cymbella perpusilla* Cleve-Euler; 12, 13: *Cymbella leptoceros* (Ehr.) Kütz.



11 1, 2: *Cymbella simata* Greg.; 3-6: *Cymbella subaequalis* Grun. in Van Heuck; 7: *Cymbella* sp. 8; 8, 9: *Cymbella* sp. 1; 10-12: *Cymbella* sp. 7.

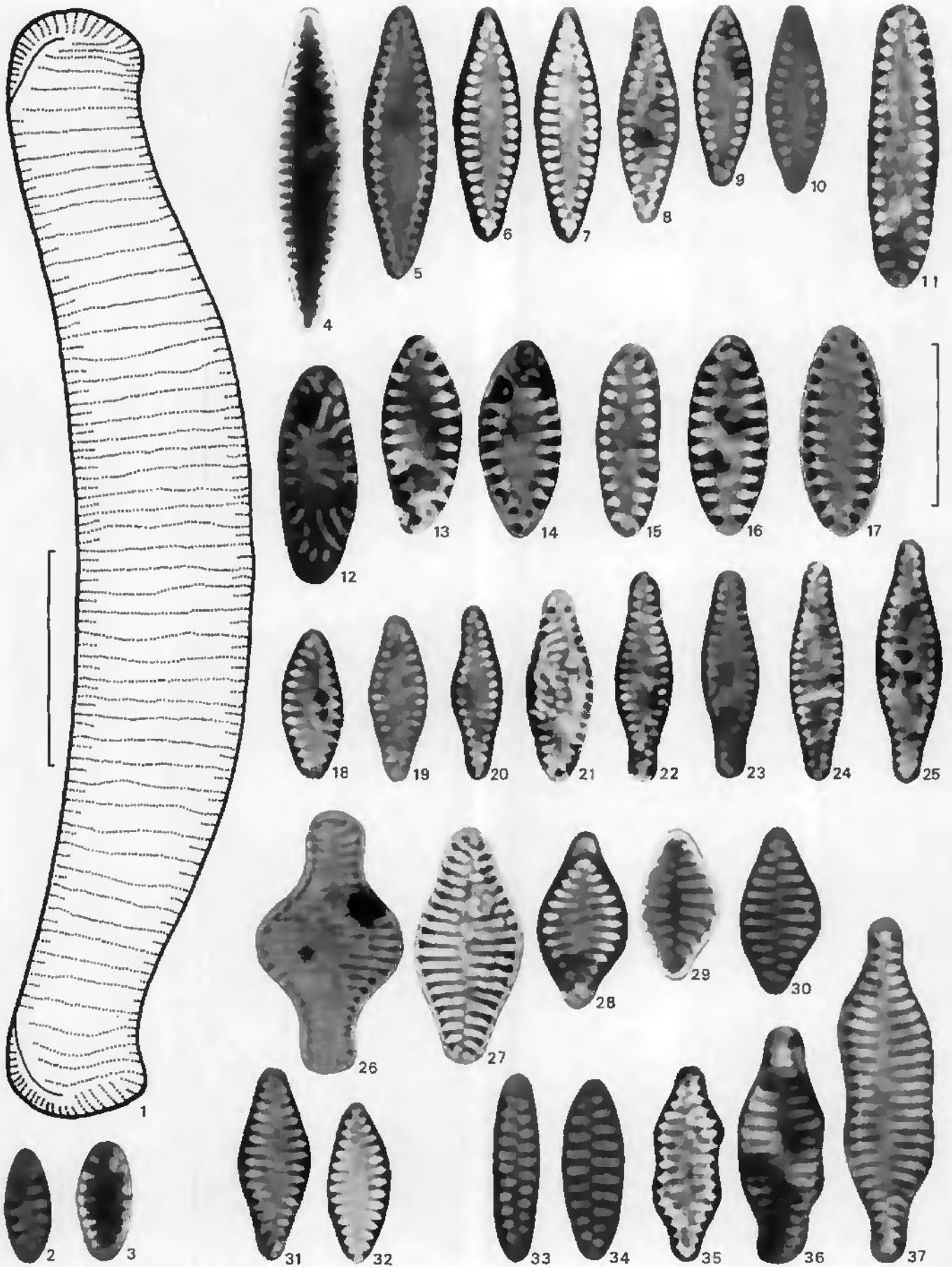


12 1-3: *Cymbella* sp. 2; 4: *Cymbella* sp. 14; 5-7: *Cymbella* sp. 11; 8-10: *Denticula tenuis* Kütz.; 11, 12: *Diatoma hiemale* var. *mesodon* (Ehr.) Grun.

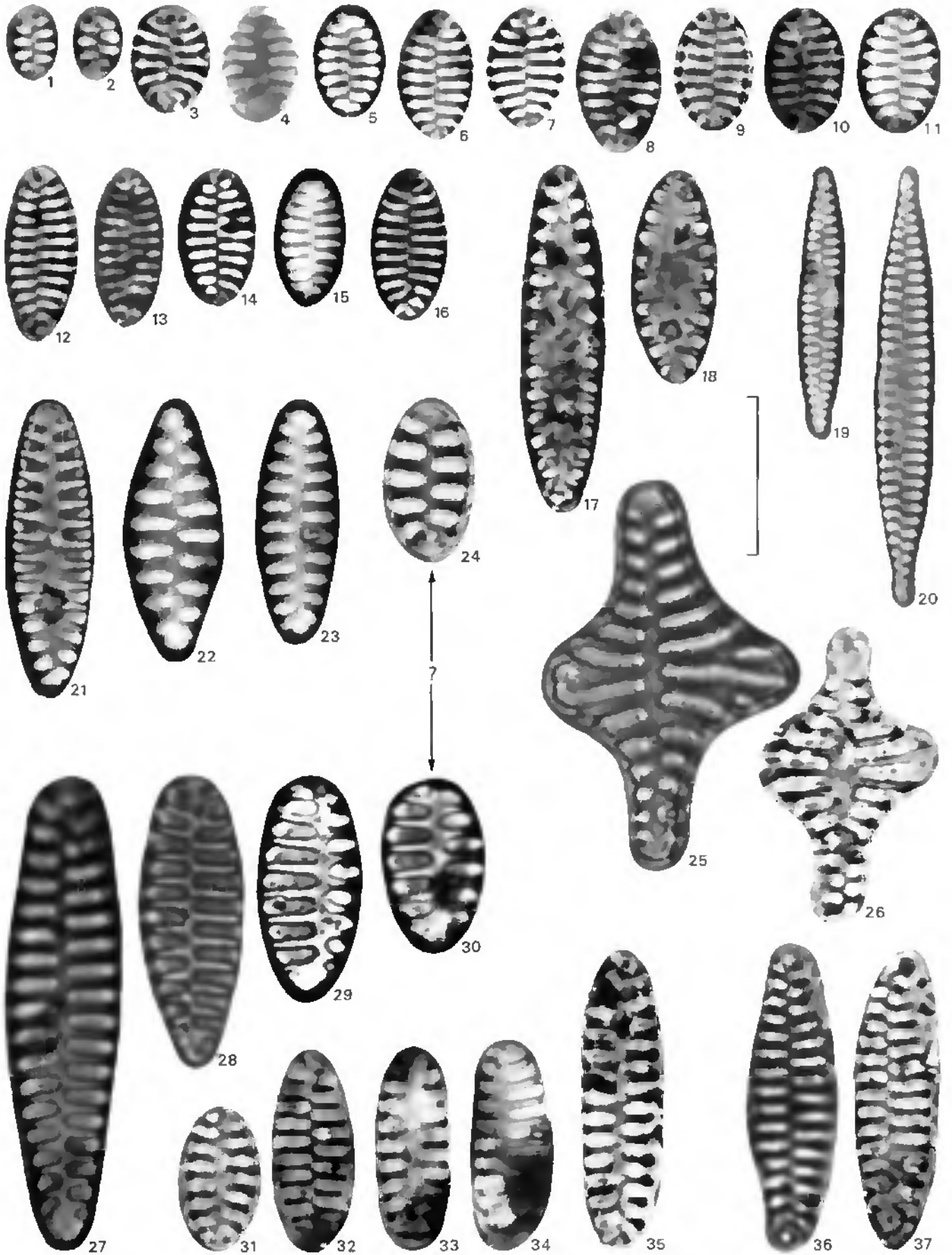


13

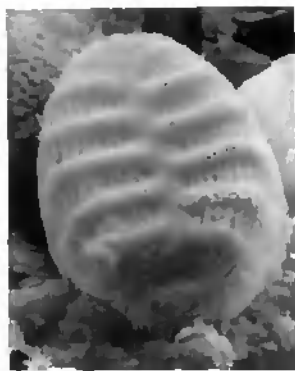
1: *Diatoma vulgare* Bory; 2: *Diploneis ovalis* var. *oblongella* (Naegeli) Cl.; 3: *Diploneis oculata* (Bréb.) Cl.; 4: *Epithemia nuellerii* Fricke; 5: *Epithemia adnata* (Kütz.) Lagerst.; 6, 7: *Epithemia sorex* Kütz.; 8: *Epithemia argus* var. *alpestris* Grun.; 9: *Epithemia argus* Kütz.



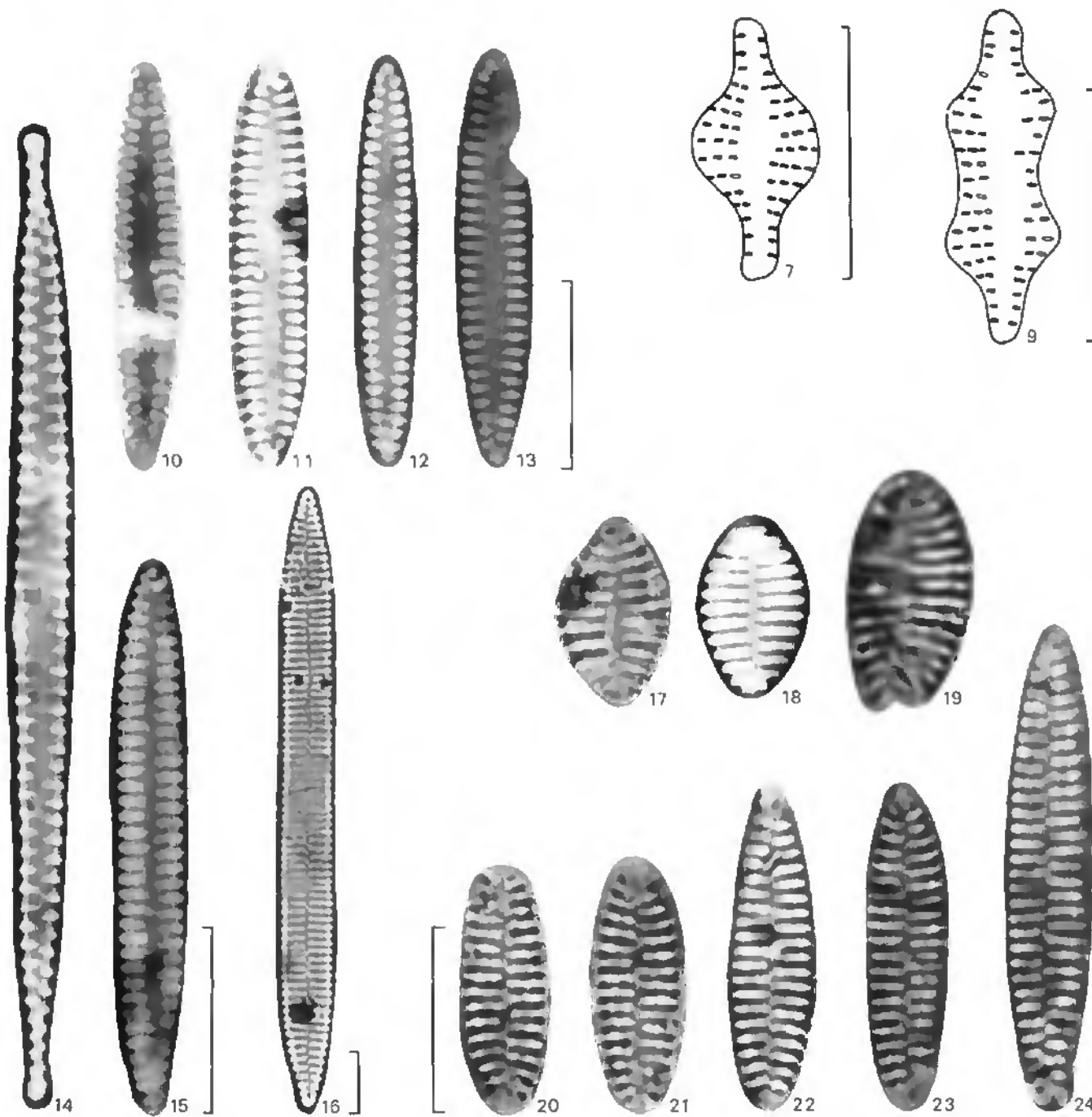
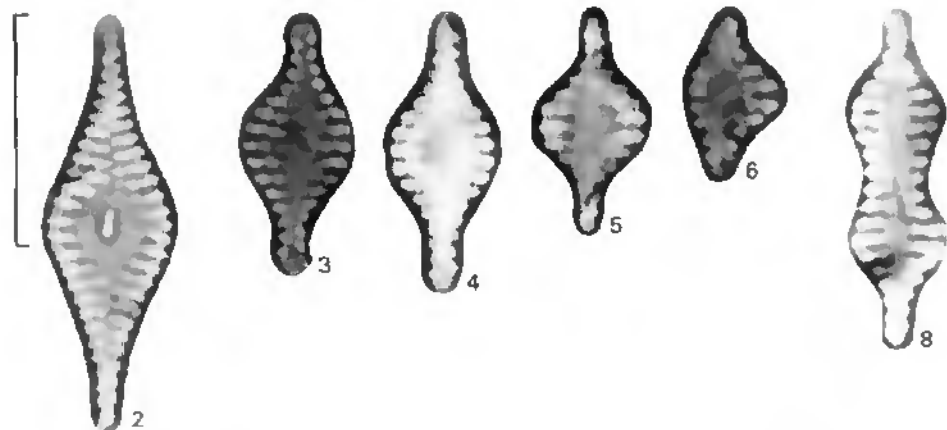
14 1: *Eumotia arcus* Ehr.; 2, 3: *Fragilarium atonum* Hust.; 4-10: *Fragilaria brevistriata* Grun.; 11: *Fragilaria brevistriata* var. *linearis* Mayer; 12-17: *Fragilaria brevistriata* var. *elliptica* Hérib.; 18-25: *Fragilarium brevistriatum* var. *subcapitata* Grun.; 26-30: *Fragilaria construens* (Ehr.) Grun.; 31, 32: *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehr.) Grun.; 33, 34: *Fragilaria construens* var. *subsalina* Hust.; 35-37: *Fragilaria construens* var. *binodis* (Ehr.) Grun.



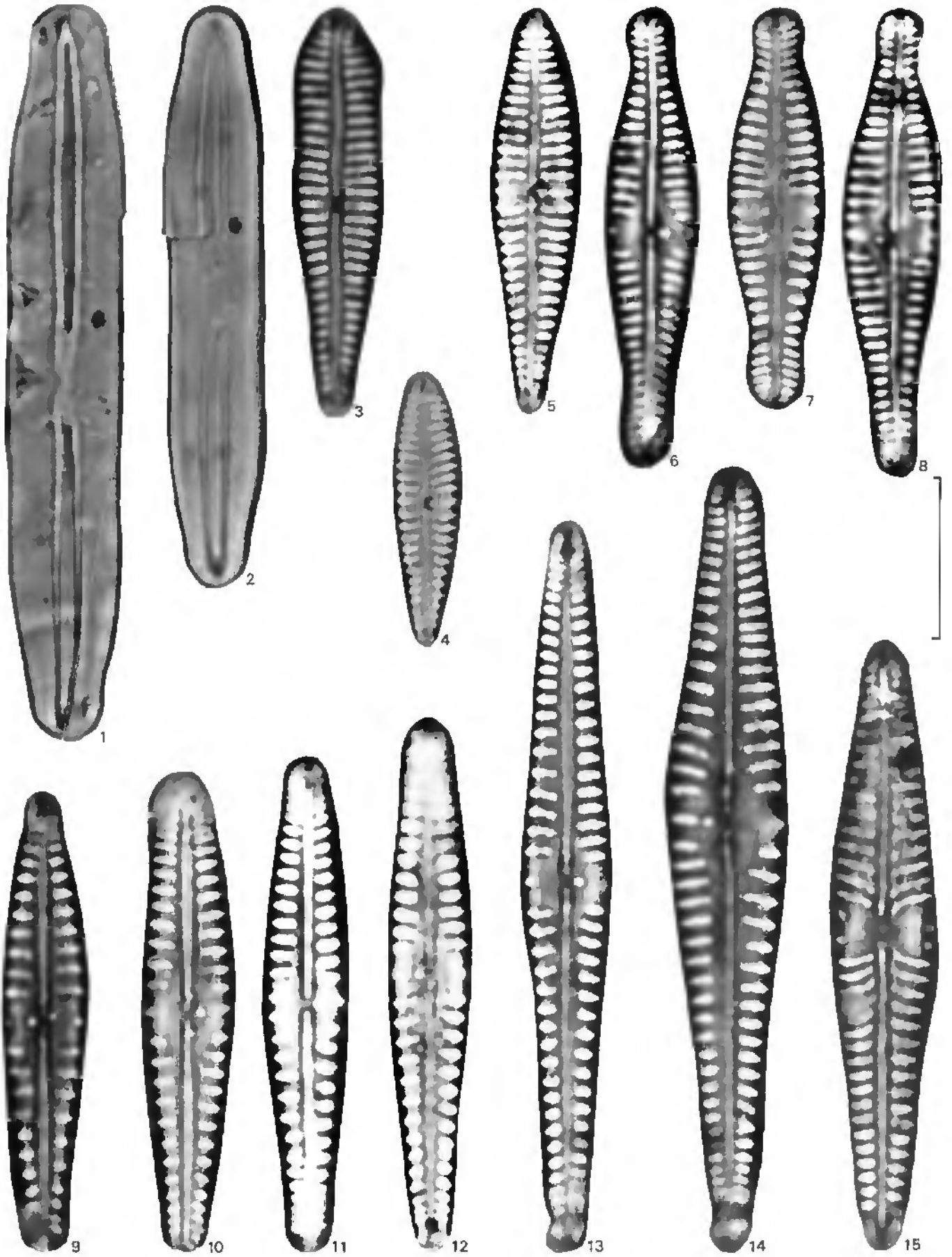
15 1-16: *Fragilaria elliptica* Schum.; 17, 18: *Fragilaria hipponica* Grun.; 19, 20: *Fragilaria capucini* var. *vaucheriae* (Kütz.) Lange-Bertalot; 21-24: *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* Grun.; 25, 26: *Fragilaria leptostauron* (Ehr.) Hust.; 27-30: *Opephoru martyi* Hérib.; 31-35: *Fragilaria pinnata* Ehr.; 36, 37: *Fragilaria pinnata* var. *lanceolata* (Schum.) Hust.



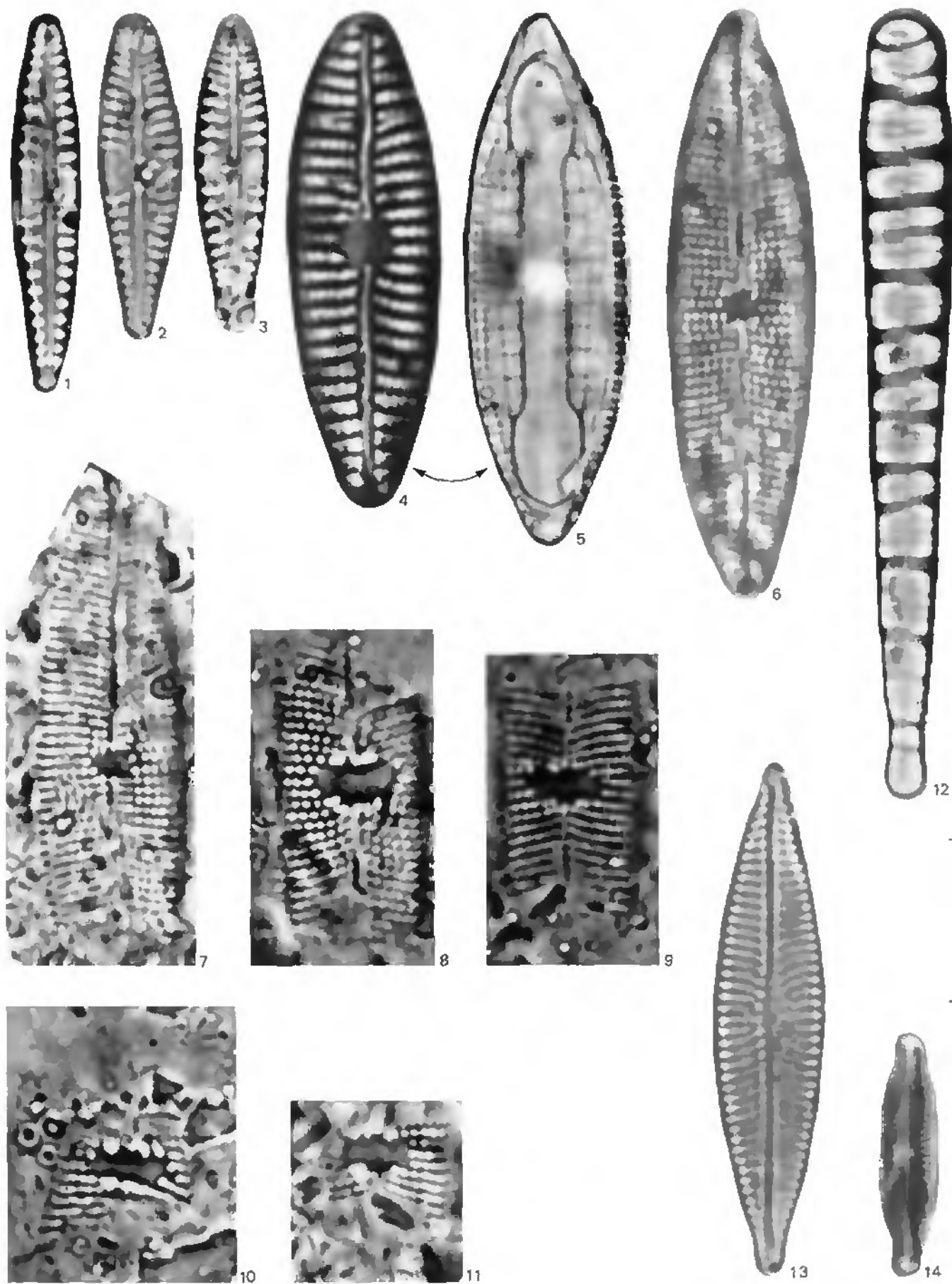
1 μm



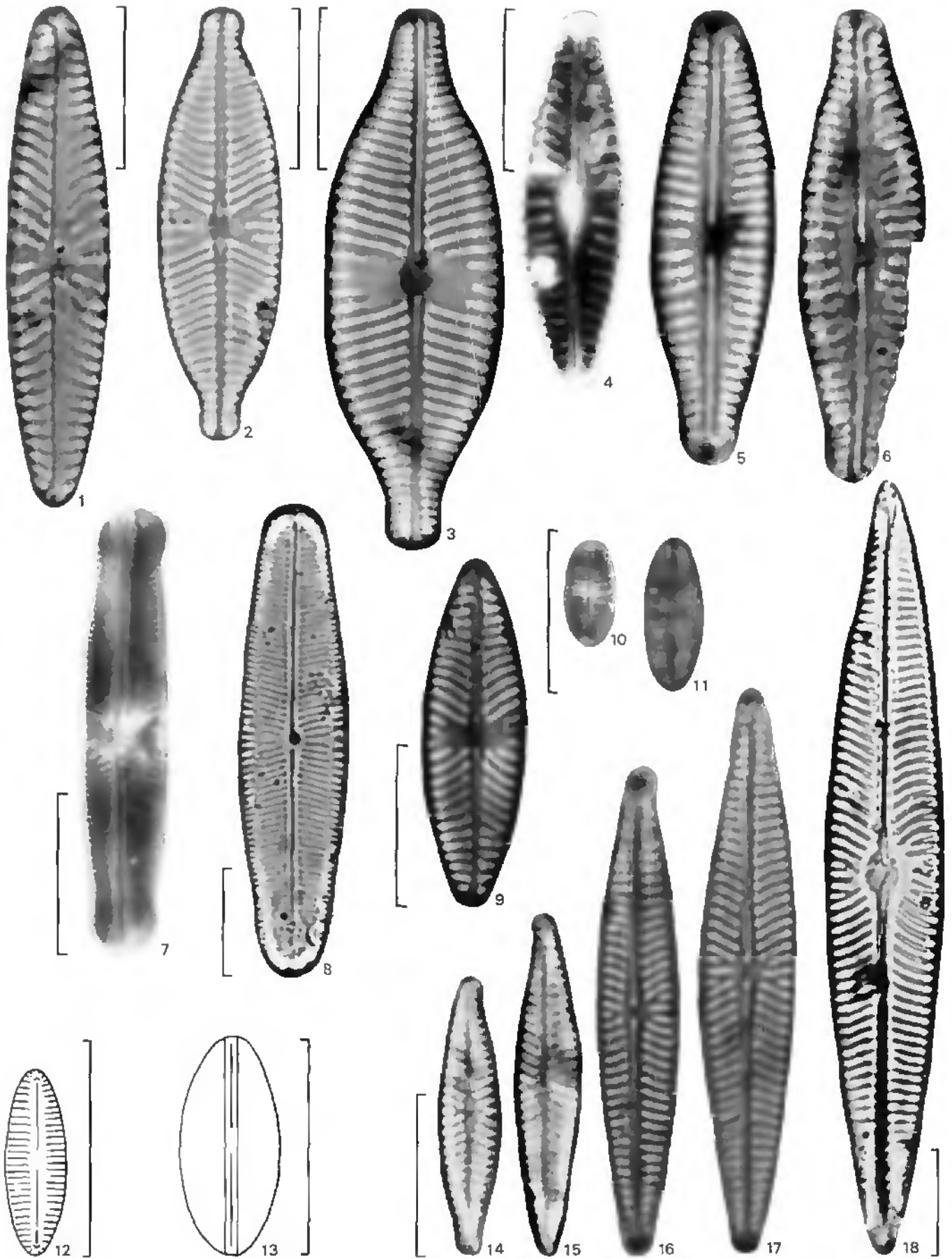
16 1: *Fragilaria pinnata* Ehr.; 2: *Fragilaria parasitica* (W. Sm.) Grun.; 3-7: *Fragilaria pseudoconstruens* Marciniak; 8, 9: *Fragilaria pseudoconstruens* var. *bigibba* Marciniak; 10-13: *Fragilaria tabulata* var. *truncata* (Grév.) Lange-Bertalot; 14-16: *Fragilaria ulna* (Nitzsch.) Lange-Bertalot; 17-19: *Fragilaria* cf. *virescens* var. *elliptica* Hust.; 20-24: *Fragilaria* cf. *virescens* var. *subsalina* Grun.



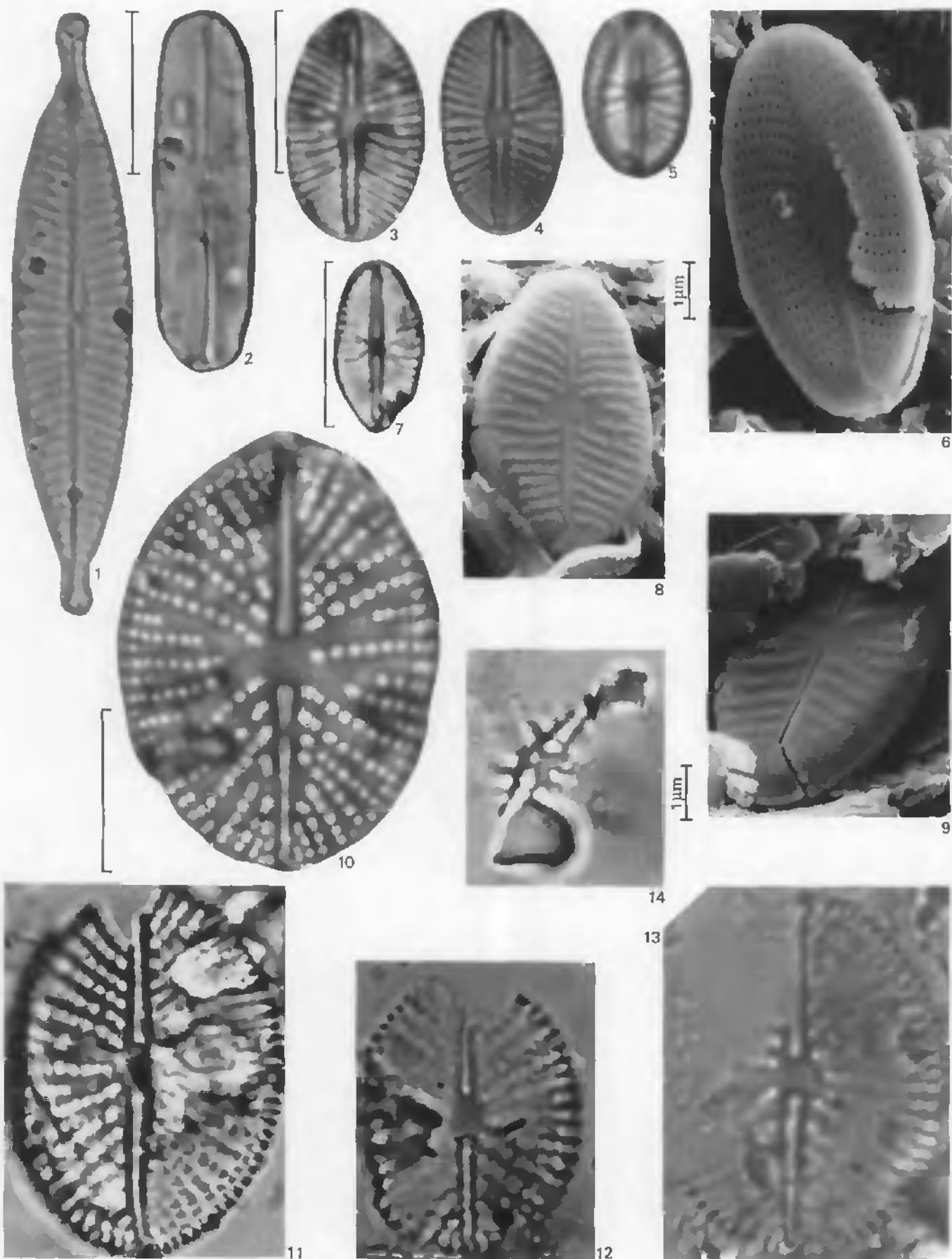
17 1, 2: *Frustulia spicula* Amossé; 3: *Gomphonema acuminatum* Ehr.; 4, 5: *Gomphonema parvidan* (Kütz.) Kütz.; 6-8: *Gomphonema helveticum* Brun; 9-14: *Gomphonema angustum* Ag.; 15: aff. *Gomphonema olivaceum* (Horn.) Bréb.



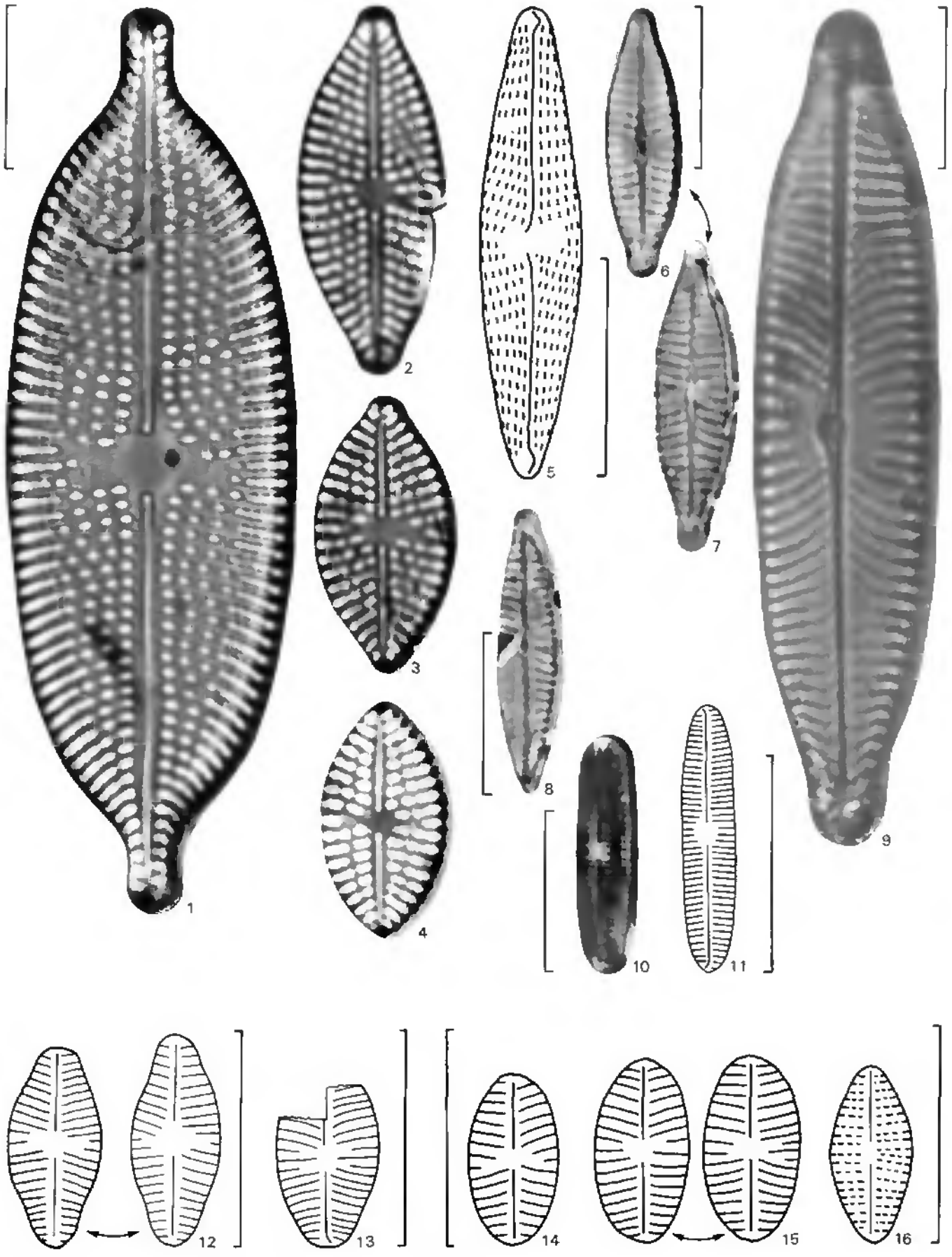
18 1-3: *Gomphonema tergestinum* Fricke; 4, 5: *Mastogloia grevillei* W. Sm.; 6: *Mastogloia smithii* var. *lacustris* Grun.; 7-11: Formes d'érosion de *Mastogloia smithii* var. *lacustris*; 12: *Meridion circulare* (Grév.) Ag.; 13: *Navicula capitatoradiata* Germain; 14: *Navicula bryophila* Pet.



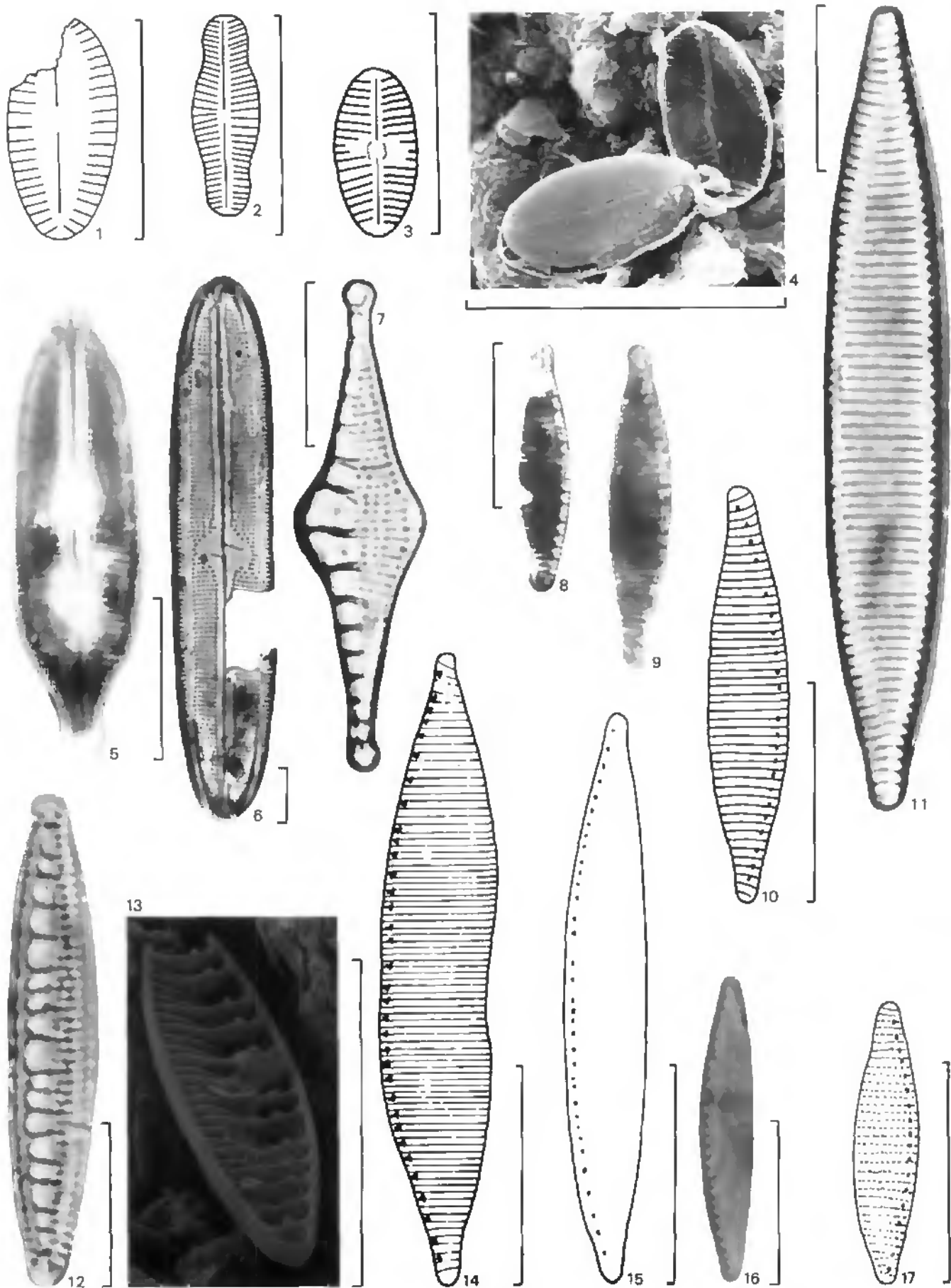
19 1: *Navicula cineta* (Ehr.) Ralfs; 2: *Navicula decussis* Østr.; 3: *Navicula elginensis* (Greg.) Ralfs in Pritchard; 4-6: *Navicula diluviana* Krasske; 7: *Navicula pupula* Kütz.; 8: *Navicula protracta* (Grun.) Cl.; 9: *Navicula cari* Ehr.; 10, 11: *Navicula minima* Grun.; 12: *Navicula molestiformis* Hust.; 13: *Navicula minusculea* var. *muralis* Lange-Bertalot; 14-17: *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot; 18: *Navicula radiosa* Kütz.



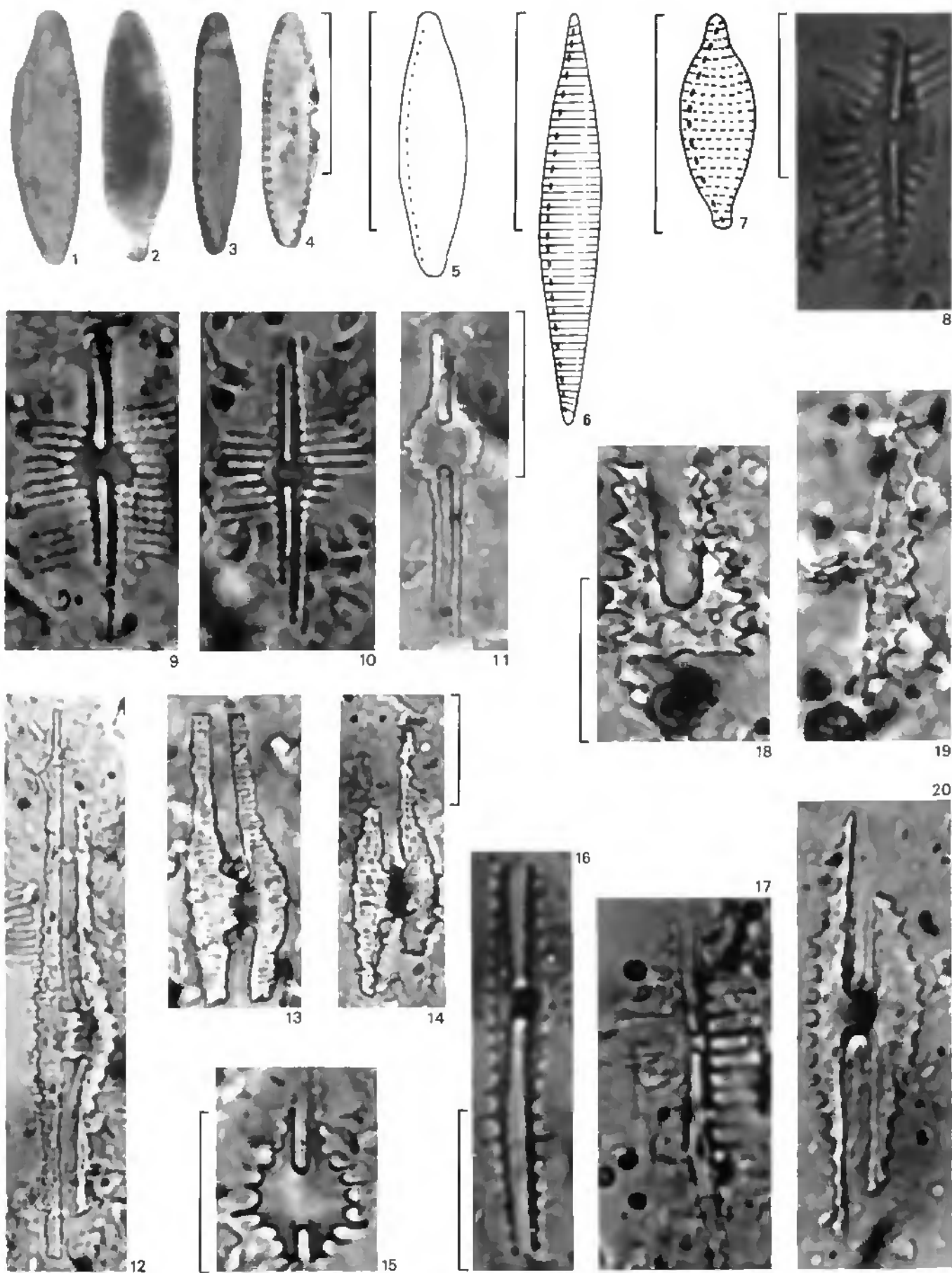
20 1: *Navicula rhynchocephala* Kütz.; 2: *Navicula subhamulata* Grun.; 3-6: *Navicula rotunda* Hust.; 7, 8: *Navicula subrotundata* Hust.; 9: *Navicula schoenfeldii* Hust.; 10: *Navicula scutelloides* W. Sm.; 11-14: Formes d'érosion de *Navicula scutelloides*.



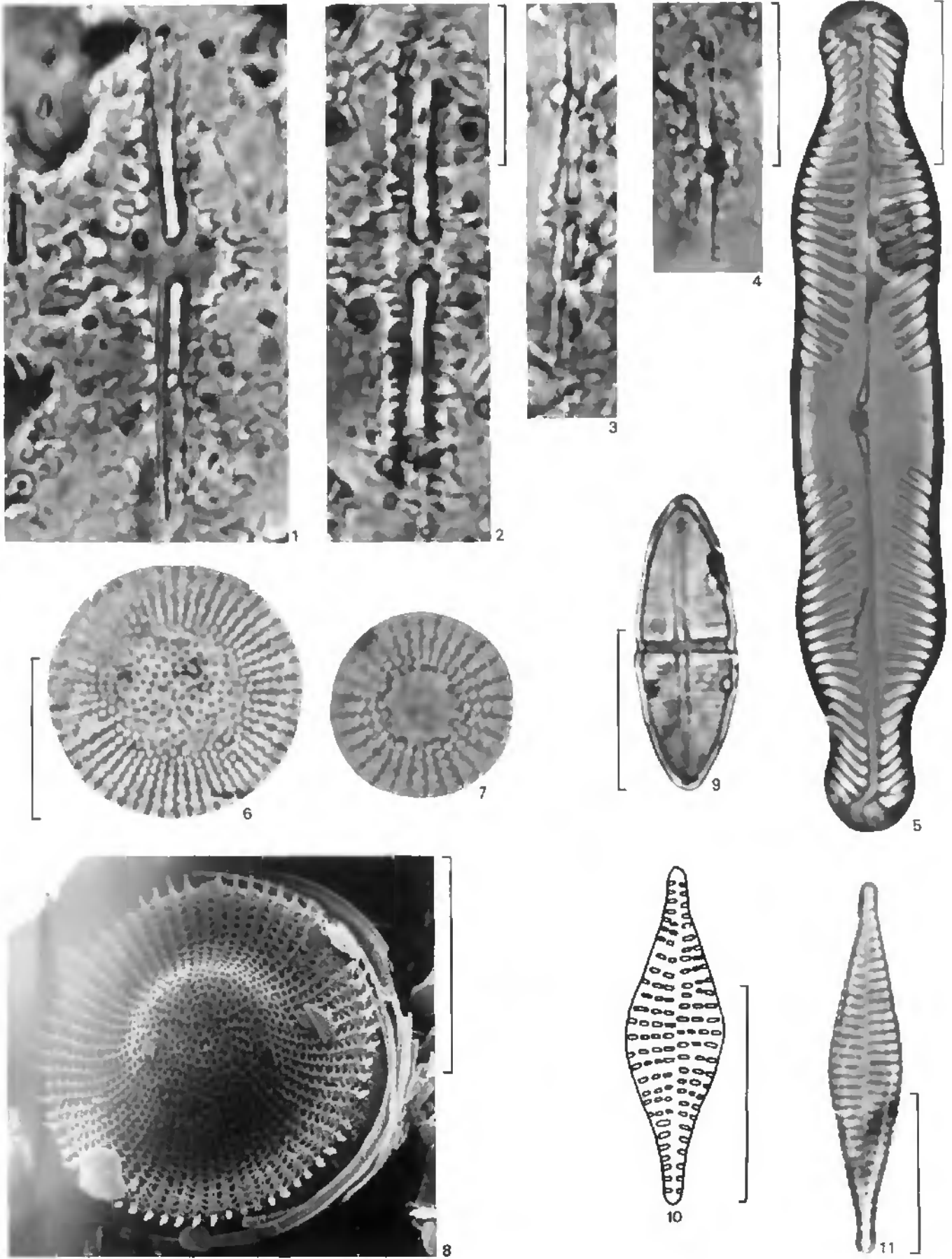
21 1-4: *Navicula tuscula* (Ehr.) Grun.; 5-7: *Navicula veneta* Kütz.; 8: *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot; 9: *Navicula viridula* (Kütz.) Ehr.; 10, 11: *Navicula* sp. 3; 12: *Navicula vitabunda* Hust.; 13: *Navicula* sp. 1; 14, 15: *Navicula* sp. 4; 16: *Navicula* sp. 5.



22 1: *Navicula* sp. 7; 2: *Navicula* sp. 8; 3: *Navicula* sp. 9; 4: *Navicula* sp. 15; 5: *Neidium affine* var. *amphirhynchus* (Ehr.) Cl.; 6: *Neidium ampliatum* (Ehr.) Krammer; 7: *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria* Grun.; 8-10: *Nitzschia romani* Grun.; 11: *Nitzschia angustata* (W. Sm.) Grun.; 12, 13: *Nitzschia denticula* Grun.; 14: *Nitzschia gandersheimiensis* Krasske; 15: *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm.; 16: *Nitzschia palea* var. *debilis* (Kütz.) Grun.; 17: *Nitzschia* cf. *supralitorea* Lange-Bertalot.



23 1-4: *Nitzschia pusilla* (Kütz.) Grun. em. Lange-Bertalot; 5: *Nitzschia* cf. *rosenstockii* Lange-Bertalot; 6: *Nitzschia* sp. 1; 7: *Nitzschia* sp. 2; 8: Nodule central 3; 9-11: Nodule central 1; 12-14: Nodule central 2; 15: Nodule central 7; 16, 17: Nodule central 6; 18-20: Nodule central 4.



24 1, 2: Nodule central 8; 3, 4: Nodule central 10; 5: *Pimularia biceps* Greg.; 6-8: *Stephanodiscus alpinus* Hust.; 9: *Stauroneis smithi* Grun.; 10, 11: *Rhaphoneis* sp.

Achévé d'imprimer le 12 juillet 1990
sur les presses offset de l'Imprimerie Zwahlen
à Saint-Blaise / Neuchâtel.

Imprimé en Suisse.

Photolithographies: Clichés Villars, Neuchâtel
Photocomposition: Imprimerie Centrale, Neuchâtel
Impression: Imprimerie Zwahlen, Saint-Blaise
Reliure: Brun relieur, Neuchâtel

collection

archéologie neuchâteloise

- N° 1 BÉAT ARNOLD, 1986.
Cortailod-Est, un village du Bronze final, 1. Fouille subaquatique et photographie aérienne.
- N° 2 Maria Angelica BORRELLO, 1986.
Cortailod-Est, un village du Bronze final, 2. La céramique.
- N° 3 Philippe RIBAUX, 1986.
Cortailod-Est, un village du Bronze final, 3. L'homme et la pierre.
- N° 4 Maria Angelica BORRELLO, Jacques Léopold BROCHIER, Louis CHAIX et Philippe HADORN, 1986.
Cortailod-Est, un village du Bronze final, 4. Nature et environnement.
- N° 5 BÉAT ARNOLD et Patrick GASSMANN (en préparation). *Cortailod-Est, un village du Bronze final, 5. Evolution de l'habitat et dendrochronologie.*
- N° 6 BÉAT ARNOLD (en préparation). *Cortailod-Est et les villages du lac de Neuchâtel à l'âge du Bronze final. Structure de l'habitat et proto-urbanisme.*
- N° 7 Christiane JACQUAT, 1988.
Hauterive-Champréveyres, 1. Les plantes de l'âge du Bronze. Catalogue des fruits et graines.
- N° 8 Christiane JACQUAT, 1989.
Hauterive-Champréveyres, 2. Les plantes de l'âge du Bronze. Contribution à l'histoire de l'environnement et de l'alimentation.
- N° 9 Bernard MOULIN (à paraître).
Hauterive-Champréveyres, 3. La dynamique sédimentaire et lacustre.
- N° 10 François STRAUB, 1990.
Hauterive-Champréveyres, 4. Diatomées et reconstitution des environnements préhistoriques.

Hauterive – Champréveyres

Suscitées par la construction de la route nationale 5 sur la rive nord du lac de Neuchâtel, les fouilles archéologiques d'Hauterive-Champréveyres (1983-1986) ont été réalisées à l'abri d'une digue longue d'un demi-kilomètre.

Conduits par une équipe pluridisciplinaire, ces travaux concernent trois gisements qui feront l'objet d'études présentées dans cette collection. Au travers de ces dernières, on tentera de mieux connaître l'homme préhistorique, ses activités et le paysage dans lequel il évoluait.

Les plus anciens vestiges trahissent le passage, il y a plus de 12 000 ans, de chasseurs magdaléniens. Vers 3810 avant J.-C., un groupe de paysans néolithiques construit un village délimité par une palissade en chêne. Entre 1070 et 870 avant J.-C., enfin, un vaste village du Bronze final s'étend sur une surface d'au moins 8700 m².

Hauterive-Champréveyres offre l'occasion, unique en Suisse, d'étudier l'homme, ses techniques et son environnement durant douze millénaires.



**STRAUB, F. - 1989 : Application de l'écologie des diatomées littorales de lacs carbonatés à la reconstitution des environnements préhistoriques d'un site archéologique : Hauterive-Champréveyres (lac de Neuchâtel).
Thèse, Université de Neuchâtel.
(Version réduite)**

Note

Des exemplaires complets et corrigés de ce travail sont déposés aux adresses suivantes :

Université de Neuchâtel, Bibliothèque générale, Av. du 1er-Mars 26, 2000 Neuchâtel

Université de Neuchâtel, Institut de Botanique, Bibliothèque, Ch. de Chantemerle 22, 2007 Neuchâtel

Gymnase cantonal, Laboratoire d'algologie, Rue du Succès 45, 2300 La Chaux-de-Fonds

Composition du dossier

STRAUB, F. - 1981 : Utilisation des membranes filtrantes en téflon dans la préparation des diatomées épilithiques. C. R. 2e colloque ADLaF. *Cryptogamie : Algol.*, 2 (2) : p. 153.

STRAUB, F. - 1982 : Diatomées épilithiques de six lacs du Jura suisse : premiers résultats. C. R. 4e colloque ADLaF. *Cryptogamie : Algol.*, 3 (4) : p. 347.

STRAUB, F. - 1984 : Note algologique I : observation de quelques diatomées (*Bacillariophyceae*). *Bull. Soc. neuchât. Sci. nat.* 107, 5-9.

STRAUB, F. - 1985 : Variabilité comparée d'*Achnanthes lanceolata* (Bréb.) Grun. et d'*Achnanthes rostrata* Oestrup (*Bacillariophyceae*) dans huit populations naturelles du Jura suisse I : approche morphologique. *Bull. Soc. Neuch. Sci. Nat.* 108, 135-150.

STRAUB, F. - 1986 : Présence de plusieurs espèces de Cyclotelles dans le périphyton épilithique de deux lacs du Jura suisse in : RICARD, M. (ed.) : *Proc. 8th Int. Diat. Symp., Paris 1984*, 409-419.

STRAUB, F. - 1986 : L'étude des diatomées, actualité d'une recherche : reflets du 5^e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), tenu du 27 au 30. 8. 1985 à La Brévine (Suisse). *Bull. Soc. Neuch. Sci. Nat.* 109, 147-152.

STRAUB, F. - 1987 : A propos de *Cyclotella comensis* Grun. (*Bacillariophyceae*). *Cah. Biol. Mar.* 28, 319-322.

DRUART, J. CL. et STRAUB, F. - 1988 : Description de deux nouvelles Cyclotelles (*Bacillariophyceae*) de milieux alcalins et eutrophes : *Cyclotella costei* n. sp. et *Cyclotella wuethrichtiana* n. sp. *Schweiz. Z. Hydrol.* 50 (2), 2-7.

STRAUB, F. - 1990 : Hauterive-Champréveyres. Diatomées et reconstitutions des environnements préhistoriques. *Archéologie Neuchâteloise.*, Editions du Ruau, St Blaise, 1-120.

COMPTE RENDU DU 2^o COLLOQUE DE L'ASSOCIATION DES DIATOMISTES DE LANGUE FRANÇAISE

STATION SCIENTIFIQUE DES HAUTES-FAGNES

MONT-RIGI, BELGIQUE

17 au 20 mars 1981

Le 2^o colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française s'est déroulé du 17 au 20 mars 1981, à la station scientifique des Hautes-Fagnes (Mont-Rigi) dans les Ardennes belges. Ce colloque a réuni 31 participants – anglais, belges, français et suisses – qui, durant 4 jours, ont pu présenter leurs travaux et mieux connaître les sujets de recherches de leurs collègues dans le cadre idéal de la station des Hautes-Fagnes où salle de réunion et laboratoire étaient parfaitement aménagés.

17 communications et 5 posters ont été présentés, traitant successivement des diatomées marines et continentales, actuelles ou fossiles. Ces présentations ont été complétées par des réunions de travail consacrées aux différentes méthodes et techniques de préparation de montage et d'observation des divers types d'échantillons diatomifères.

The second meeting of the Association des Diatomistes de Langue Française took place from 17th to the 20th March 1981 at the scientific station of Hautes-Fagnes (Mont-Rigi), in the Belgian Ardennes. There were 31 participants – English, Belgian, French and Swiss – who, over the 4 days were able to present their work and become familiar with their colleagues' research projects, in the ideal surroundings of the Hautes-Fagnes station where assembly rooms and laboratory were perfectly equipped.

17 papers and 5 posters were presented, dealing in turn with marine and continental, actual and fossil diatoms. These presentations were completed by workshops devoted to various mounting techniques and microscopical methods of observation of the different types of samples.

6. – UTILISATION DES MEMBRANES FILTRANTES EN TEFLON DANS LA PRÉPARATION DES DIATOMÉES EPILITHIQUES. – Par F. STRAUB (Gymnase Cantonal, CH 2300-La Chaux de Fond, Suisse).

La signification des estimations quantitatives des populations de diatomées est fortement abaissée par les procédés de nettoyage des frustules qui comportent généralement un grand nombre d'opérations successives fastidieuses : attaques aux acides forts à chaud, lavages nombreux, éclaircissement, etc... L'utilisation de membranes filtrantes permet de standardiser ces opérations, de les rendre plus comparables dans leur déroulement et de les simplifier sur le plan des manipulations. En effet ces membranes :

- supportent les solutions concentrées d'acides forts à chaud
- supportent les agents oxydants d'éclaircissement
- simplifient les opérations de lavage.

L'utilisation des membranes d'une porosité de $5 \mu\text{m}$ est conseillée car elle facilite la rétention de toutes les diatomées et l'élimination des particules organiques et minérales de petite taille présentes généralement en grande quantité. Par ailleurs, le caractère hydrophobe du téflon permet une récupération très aisée et complète des frustules nettoyés.

L'article se termine par une comparaison des diverses marques de membranes existantes.

COMPTE-RENDU DU 4^o COLLOQUE DE
L'ASSOCIATION DES DIATOMISTES DE LANGUE FRANÇAISE

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
PARIS

18-19-20 Janvier 1983

Le 4^o colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française s'est déroulé à Paris, du 18 au 20 janvier 1983, au Muséum National d'Histoire Naturelle. Ce colloque, a réuni 43 participants, anglais, belges, français, israéliens et suisses qui, durant trois jours, ont présenté les résultats de leurs travaux et ont échangé leurs idées sur les divers aspects de la recherche fondamentale et appliquée traitant des diatomées.

15 communications et 8 posters ont été présentés : ils traitaient respectivement des diatomées fossiles (paléoclimatologie, paléostratigraphie et paléofloristique), des diatomées actuelles (phytosociologie, écologie, floristique, systématique et ultrastructure, physiologie, valorisation) ainsi que des diverses techniques de montage, d'observation et de microphotographie des préparations microscopiques de diatomées.

The 4th meeting of the «Association des Diatomistes de Langue Française» took place from 18th to 20th January at the Museum National d'Histoire Naturelle in Paris. There were 43 participants – Belgian, English, French, Israeli and Swiss – who, over the three days, were able to present the results of their last works and to discuss fundamental and applied research on diatoms.

17 papers and 8 posters were presented, dealing with fossil diatoms (paleoclimatology, paleostratigraphy and paleofloristic), recent diatoms (phytosociology, ecology, floristic, ultrastructure, physiology and valorization) and methodological aspects of mounting, observing and taking photographs of diatoms samples.

DIATOMÉES ÉPILITHIQUES DE SIX LACS DU JURA SUISSE : PREMIERS RÉSULTATS.

— Par François STRAUB (Gymnase cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds).

Sur chaque lac une plage caillouteuse exempte de végétation macrophyte a été choisie. En août 1979, des échantillons d'eau et de périphyton ont été prélevés selon la méthode de DOUGLAS 1958 à 0, 0,5 et 1 m de profondeur.

Les six lacs drainaient des eaux riches en carbonates, qui proviennent soit du Jura karstique ou des Préalpes calcaires. La composition minérale de ces eaux est toujours de type alcalin. Les lacs se différencient cependant tous par des degrés et/ou des types d'eutrophie divers.

L'analyse floristique des diatomées du périphyton a montré qu'une flore commune de 215 espèces et variétés couvre ces six stations. 58 taxons, 60% dans les six stations à la fois, participent aux peuplements avec un taux de plus de 1 %. Seules 7 espèces, dont 6 présentes aux six stations, dominent avec des taux de participation de plus de 10 %. Dans tous les cas *Achnanthes minutissima* et *Amphora pediculus* dominant. Les six lacs se différencient cependant déjà les uns des autres par l'absence ou la présence d'un 3^{ème} ou d'un 4^{ème} taxon dominant venant accompagner les deux précédents. Ces taxons sont : *Cymbella microcephala*, *Cymbella ventricosa*, *Cyclotella stelligerioides*, *Navicula cryptocephala* ou *Fragilaria construens* var. *venter*. Les deux lacs qui se ressemblent le plus au point de vue physico-chimique présentent le plus de similitude dans la composition du périphyton, à savoir dominé par *Achnanthes minutissima*, *Amphora pediculus* et *Cymbella ventricosa*.

Dans les trois plus grands lacs, où les eaux sont les plus agitées, le périphyton du bord des plages est plus spécialisé que celui qui se trouve à 0,5 m ou 1 m de profondeur. Cela se traduit par une fréquence plus élevée des espèces dominantes.

* *minuta* + var. *semicircularis* * var. *exilis*

NOTE ALGOLOGIQUE I: OBSERVATION DE QUELQUES DIATOMÉES (*BACILLARIOPHYCEAE*)

par
FRANÇOIS STRAUB
AVEC 4 PLANCHES

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les espèces présentées dans cet article proviennent du périphyton épilithique et épiphytique littoral des lacs de Neuchâtel, de Bienne, de Morat, des Brenets, des Taillères et du Loclat. Ces six lacs du Plateau et du Haut-Jura suisses sont tous de type alcalin. Le lac de Neuchâtel est mésotrophe, tandis que les cinq autres sont nettement eutrophes. Les récoltes ont été effectuées en automne 1979 et en janvier 1980. Le matériel est nettoyé par attaque à HCl et H₂SO₄ à chaud. Les lavages nombreux sont faits sur membranes en téflon à porosité de 3µm (STRAUB 1981). Pour les observations en microscopie optique (MO), le matériel propre est monté dans du Naphrax. L'observation est faite sur un appareil Leitz-Dialux en éclairage annulaire à double immersion. Pour la microscopie électronique à transmission (MET), la suspension diatomifère est déposée telle quelle sur des grilles en cuivre (200 mesh) plastifiées au Perlodion puis carbonées sous vide. L'appareil utilisé est un Phillips EM-201.

DISCUSSION

1. *Amphora montana* Krasske, 1932 (pl. I, fig. 1-6), (pl. III, fig. 1 et 2).
Cette espèce décrite dans les Alpes autrichiennes n'a été signalée depuis lors que sporadiquement. HUSTEDT (1945) la mentionne dans la presqu'île balkanique. En Angleterre, LUND (1946) la trouve parfois en grandes quantités dans des sols riches en carbonates. Récemment, FOGED (1977) la signale en Irlande dans des étangs, des rivières et des sources comme occasionnelle. SCHIMANSKI (1973, 1978) et REICHARDT (1979) trouvent quelques exemplaires en Bavière dans un canal, dans des gouilles d'eau de pluie et dans des étangs. Pour la Suisse, elle est nouvelle. Je l'ai observée au lac des Brenets en petit nombre; par contre, au Loclat, elle peut former jusqu'à 8% du peuplement des diatomées épilithiques de préférence en été et dans la zone de battement des vagues. Or ces petits lacs sont tous deux très eutrophes, et leurs populations de diatomées sont dominées partiellement par plusieurs espèces de *Cyclotella*.

Les caractères des frustules observés s'éloignent quelque peu de la diagnose de KRASSKE (1932): plus de 40 lignes par 10 µm non visibles aux extrémités, frustule moins élancé, présence de lignes raccourcies très fines dans la partie dorsale de l'aire centrale. Ces lignes sont très peu visibles en

MO car la silice de cette zone de la valve est renforcée (pl. I, fig. 3) et renvoie plus de lumière. Même en MET ces lignes n'apparaissent que sur des tirages photographiques sous-exposés (pl. III, fig. 1). Ce matériel a été aimablement comparé par le Dr R. Simonsen à des échantillons originaux de Krasske et à des préparations d'une culture pure isolée par Buder. Dans les deux cas, il a trouvé des individus identiques aux exemplaires des Brenets et du Loclat, ce qui confirme l'identification. Le Dr K. Krammer, à qui j'ai également soumis mon matériel, estime que cette espèce est très variable, *Amphora submontana* Hust. 1949 n'étant probablement qu'une expression tropicale de l'espèce, à linaison plus fine, de forme plus élancée et dont le côté ventral de l'aire centrale est plus développé. Le Dr M. Coste a mis à ma disposition une photographie en MET de *Amphora submontana* Hust. provenant de l'île Maurice (pl. III, fig. 3). La comparaison des deux formes met en évidence deux caractères communs. Les rangées d'aréoles sont doublées près du raphé de manière très constante sur le côté dorsal et moins constante sur le côté ventral. Des irrégularités de Voigt apparaissent du côté ventral. Une préparation de matériel provenant du Loclat a été déposée dans la collection Hustedt, à Bremerhaven, sous le N° 428/75.

2. *Achnanthes plönensis* Hustedt, 1930 (pl. I, fig. 7).

Depuis sa description en Allemagne du Nord, quelques auteurs signalent sa présence en Europe: HUSTEOT (1930-66) près de Danzig, FOGED (1977) en Irlande comme rare mais à grande distribution, GERMAIN (1981) dans le massif armoricain. Par ailleurs FOGED (1960, 1962) la trouve au Danemark dans de la diatomite interglaciaire. J'en ai trouvé une valve raphidée dans une population épilithique du lac de Neuchâtel, dominée par *Achnanthes minutissima* Kütz., *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun. et *Cymbella minuta* Hilse ex Rab. Cette espèce n'avait jamais été signalée en Suisse.

3. *Navicula mutica* Kützing, 1844 (pl. I, fig. 8-11).

LANGE-BERTALOT et BONIK (1978), dans une révision de cette espèce polymorphe, notent que l'allongement des branches du raphé en direction du poroïde constitue un caractère distinctif de ce taxon. Sur des individus provenant de mousses à moitié submergées du lac des Brenets, on voit très bien ce caractère en MO. Ainsi il faut ramener à l'espèce type des individus qui auparavant auraient été rattachés à la fo. *Cohnii* (Hilse) Grun. (pl. I, fig. 8) ou à la fo. *Goepfertiana* (Bleisch) Grun. (pl. I, fig. 9).

4. *Navicula Schoenfeldii* Hustedt, 1930 (pl. I, fig. 12-15), (pl. III, fig. 6), (pl. IV, fig. 1).

HUSTEDT (1930) décrit cette espèce sans signaler que les lignes apicales sont interrompues près du raphé et la place dans la section des *Naviculae lineolatae* Cleve. Plus tard, HUSTEDT (1950) remarque ce caractère, le considère comme important et rapproche cette espèce de la section des *Naviculae annulatae* Hust. WUTHRICH (1971, 1975) indique également ce

caractère, qui est parfois peu visible en MO. En MET, cette structure se résout en une série de pores allongés, parallèles au raphé. Ces pores sont entourés d'une couronne régulière de bosses (pl. IV, fig. 1). Des structures identiques ont déjà été illustrées par GERMAIN (1981, pl. 166, fig. 1) pour *Navicula ignota* var. *palustris* Hust.

5. *Navicula twymaniana* Archibald, 1966 (pl. II, fig. 3-4), (pl. III, fig. 5).

Cette espèce très fine, décrite en Afrique du Sud, a été signalée par LANGE-BERTALOT et BONIK (1976) dans la plupart des fleuves européens très pollués, dont le Rhône entre Saint-Maurice et Bex. Dans ces cas, elle fait partie d'une association à *Navicula permitis* Hust., caractéristique d'eaux très chargées en matières organiques. Elle a également été rapportée par BELCHER et SWALE (1981) en Angleterre, GERMAIN (1981) dans le massif armoricain et LECLERCQ et FABRI (1982) en Belgique. Je la trouve dans tous les prélèvements du lac des Brenets et du Loclat, mais sa fréquence n'excède pas 1%.

6. *Nitzschia paleacea* Grun., 1881 (pl. II, fig. 1-2), (pl. III, fig. 4).

Parmi des formes typiques de l'espèce, j'ai trouvé, au lac de Biemme, quelques cellules petites de 10 à 10,5 μm de longueur et de 3,5 à 4 μm de largeur, en forme de losange. Les deux fibules centraux sont écartés. Je n'ai jamais pu résoudre la linaison en MO. COSTE et RICARO (1980) signalent déjà cette forme comme une des limites morphologiques possibles de cette espèce.

7. *Nitzschia lacuum* Lange-Bertalot, 1980 (pl. II, fig. 5-13), (pl. III, fig. 7-8), (pl. IV, fig. 2).

Cette nouvelle espèce, confondue autrefois avec *Nitzschia fonticola* Grun., se caractérise par des fibules petits, équidistants, une linaison très fine à la limite de la perception en MO, dont les aréoles sont doublées sous le raphé (pl. IV, fig. 2), et une forme lancéolée nettement capitée. Les formes que j'observe ont 14-18 fibules et 36-40 lignes par 10 μm . L'identification de ce matériel a été vérifiée par le Dr H. Lange-Bertalot. En Suisse, il ne la mentionne qu'au lac de Lugano; elle est vraisemblablement présente partout. Je la trouve dans les six lacs à des fréquences de 1 à 2%, toujours accompagnée de *Nitzschia romana* Grun.

8. *Cyclotella Kützingiana* fo. *minor* Hustedt, 1950 (pl. II, fig. 14-16).

Cette forme n'est décrite par HUSTEDT (1950) que par un dessin. WUTHRICH (1965) la signale dans le phytoplancton du lac de Neuchâtel. Je l'ai trouvée parmi *Cyclotella Kützingiana* var. *radiosa* Fricke aux lacs des Taillères, des Brenets, de Biemme et au Loclat, à des taux ne dépassant pas 1 à 2%.

Les individus rencontrés ont un diamètre de 6 à 7,2 μm . Les stries sont irrégulièrement courtes et longues, et occupent 70% du rayon du frustule. Le centre de la valve est occupé par quelques points isolés.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers M^{lle} M. Wuthrich, qui m'a aidé patiemment et m'a encouragé dès le début de mes recherches. Je remercie le D^r R. Simonsen (Bremerhaven), le D^r H. Lange-Bertalot (Francfort), le D^r K. Krammer (Düsseldorf) et le D^r M. Coste (Bordeaux). Tous ont eu l'amabilité de consacrer de leur temps à l'observation et à l'identification d'une partie de mon matériel. Je remercie également la Direction de l'Institut de Zoologie de l'Université de Neuchâtel, de m'avoir autorisé à travailler dans son centre de microscopie électronique, et Y. Delamadeleine qui m'a initié à ces techniques.

Résumé

En étudiant les diatomées périphytiques en bordure de six lacs suisses, j'ai eu l'occasion d'observer quelques espèces rares, lesquelles méritent d'être signalées. D'autre part, quelques caractéristiques morphologiques utiles à l'identification de certaines espèces sont décrites en microscopie optique et électronique à transmission.

Zusammenfassung

Im Verlauf der Forschung der Diatomeenflora des Aufwuchses am Rand von sechs schweizerischen Seen habe ich das Glück gehabt, einige seltene Arten zu beobachten. Andererseits sind manche zur Bestimmung nützliche Merkmale unter Licht- und Elektronenmikroskopen beschrieben.

Summary

During the investigation of the periphytic diatoms flora of the littoral zone from six swiss lakes, I had the opportunity to observe some rare species. Otherwise some morphologic characteristics used to the identification of certain species are described under light and electron microscopes.

BIBLIOGRAPHIE

- BELCHER, J. H. et SWALE, E. M. F. — (1981). Records of *Simonsenia delognei* and some interesting species of *Navicula* from english rivers, mainly near Cambridge. *Microscopy* 34 (3): 201-206.
- COSTE, M. et RICARD, M. — (1980). Observation en microscopie photonique de quelques *Nitzschia* nouvelles ou intéressantes. *Cryptogamie: Algologie* 1 (3): 187-212.
- FOGED, N. — (1960). Diatoméfloraen i en interglacial Kieselguraflerjring ved rands Fjord i Østjylland. *Meddelelser fra Dans Geologisk Forening* 14 (3): 197-211.
- (1962). On the diatom flora in interglacial Kieselguhr at Hollerup in east Jutland. *Dansk Geol. Unders. II R.* 14: 1-51, 5 pl.
- (1977). Freshwater diatoms in Ireland. *Bibliotheca phycologica* 34: 221 pp., Vaduz (Cramer).

- GERMAIN, H. — (1981). Flore des diatomées. *Soc. nlle. des éd. Boubée*: 444 pp., Paris.
- HUSTEOT, F. — (1930). Bacillariophyta (diatomeae). In A. Pascher (ed.): *Die Süßwasser-Flora Mitteleuropa* 10: 466 pp., Jena (G. Fischer).
- (1945). Diatomeen aus Seen und Quellgebieten der Balkan-Halbinsel. *Arch. Hydrobiol.* 40: 867-973, 12 Taf.
- (1950). Die Diatomeenflora norddeutscher Seen mit besonders Berücksichtigung des holsteinischen Seengebiets: V-VII. Seen in Mecklenburg, Lauenburg und Nordostdeutschland. *Arch. Hydrobiol.* 43: 329-458.
- (1930-66). Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete I-III. *Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora* 7, Leipzig.
- KRASKE, G. — (1932). Beiträge zur Kenntnis der Diatomeenflora der Alpen. *Hedwigia* 72 (3): 92-134, 2 Taf.
- LANGE-BERTALOT, H. — (1980). New species, combinations and synonymes in the genus *Nitzschia*. *Bacillaria* 3: 41-77.
- LANGE-BERTALOT, H. et BONIK, K. — (1976). Massenentwicklung bisher seltener und unbekannter Diatomeen als Indikator starker Abwasserbelastung in Flüssen. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 49, *Algol. Stud.* 16: 303-332.
- (1978). Zur systematisch-taxonomischen Revision des ökologisch interessanten Formenkreises um *Navicula mutica* Kütz. *Bot. Marina* 21: 31-37.
- LECLERCQ, L. et FABRI, R. — (1982). Flore et végétation algale des eaux oligotrophes du bassin de la Schwalm (Belgique, Prov. de Liège). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 115: 53-68.
- LUND, J. W. G. — (1946). Observations on Soil Algae 1: ecology, size and taxonomy of british soil diatoms. *The New Phytologist* 44 (2): 196-110.
- REICHARDT, E. — (1979). Diatomeen aus der Fossa Carolina. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 50: 99-113.
- SCHIMANSKI, H. — (1973). Beitrag zur Diatomeenflora Erlangens. *Nova Hedwigia* 24: 237-334.
- (1978). Beitrag zur Diatomeenflora des Frankenwaldes. *Ibid.* 30: 557-633.
- STRAUB, F. — (1981). Utilisation des membranes filtrantes en téflon dans la préparation des diatomées épilithiques. *Comptes rendus du 2^e colloque de l'ADLAF. Cryptogamie: Algologie* 2 (2): 153.
- WUTHRICH, M. — (1965). Le phytoplancton du lac de Neuchâtel. *Schw. Zeit. Hydrol.* 27 (1): 1-75.
- (1971). Les diatomées de la station néolithique d'Auvernier (Lac de Neuchâtel). *Ibid.* 33 (2): 533-552.
- (1975). Contribution à la connaissance de la flore algologique du Parc National Suisse. *Les Diatomées. Res. Rech. Sci. Parc Nat. Suisse* 14 (72): 271-369, 41 pl.

Adresse de l'auteur:

F. Straub, Gymnase cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds.

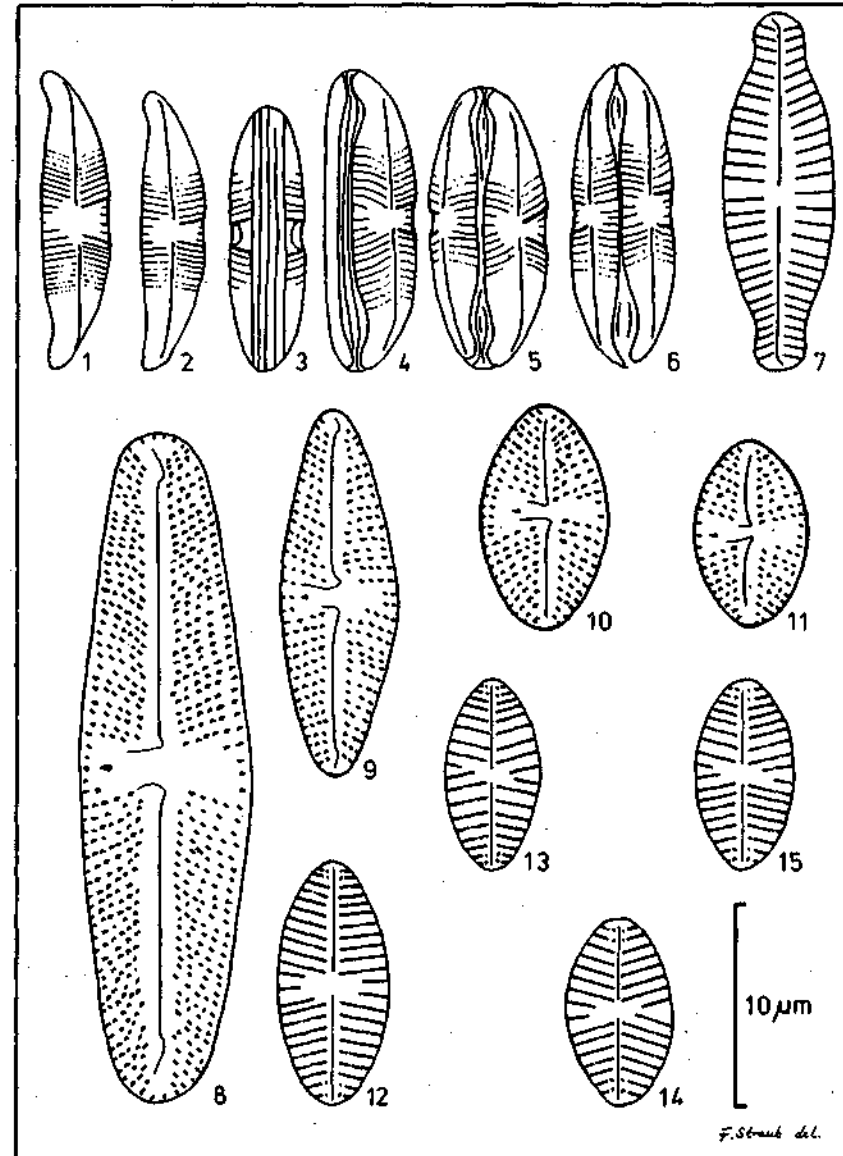


Fig. 1-6: *Amphora montana* Krasske, fig. 7: *Achnanthes plönensis* Hust., fig. 8-11: *Navicula mutica* Kütz., fig. 12-14: *Navicula Schönfeldii* Hust.

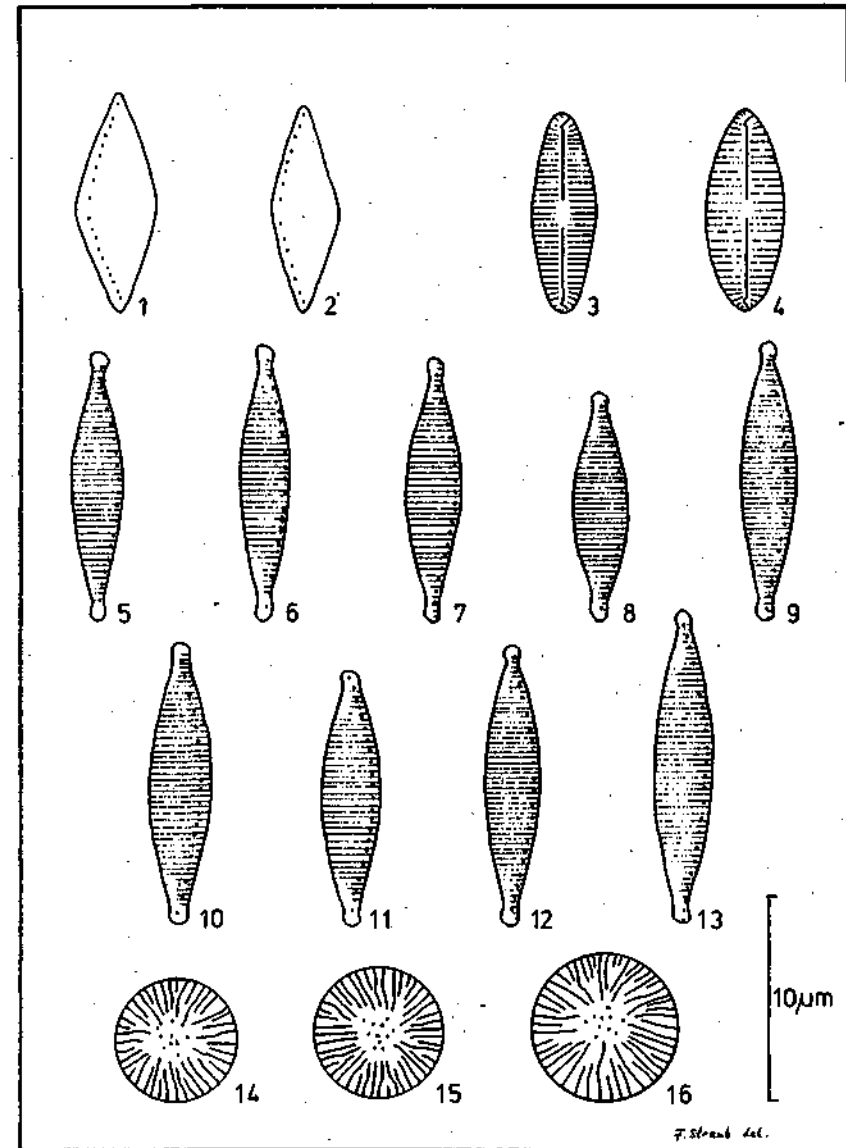


Fig. 1-2: *Nitzschia paleacea* Grun., fig. 3-4: *Navicula twymaniana* Arch., fig. 5-13: *Nitzschia lacuum* Lange-B., fig. 14-16: *Cyclotella Kützingiana* fo. *minor* Hust.

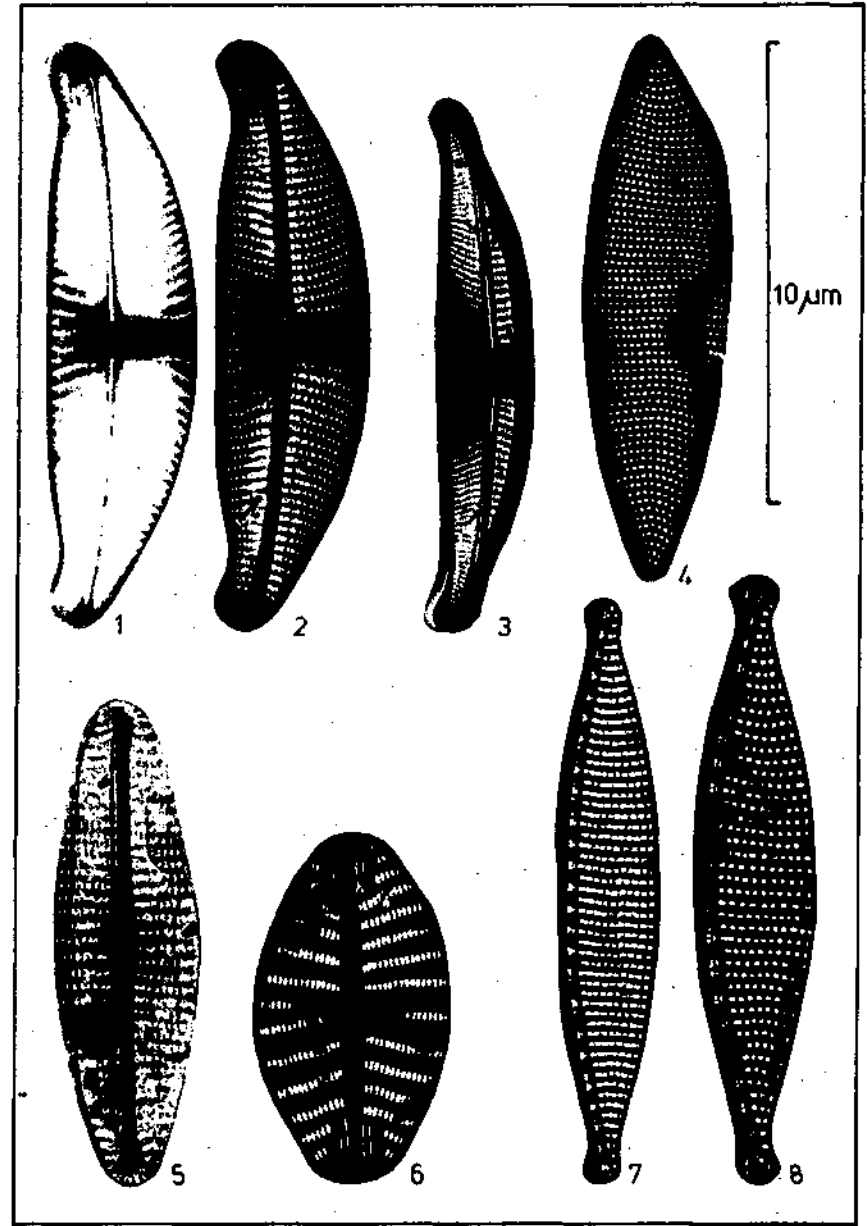


Fig. 1-2: *Amphora montana* Krasske, fig. 3: *Amphora submontana* Hust., fig. 4: *Nitzschia paleacea* Grun., fig. 5: *Navicula twymaniana* Arch., fig. 6: *Navicula Schönfeldii* Hust., fig. 7-8: *Nitzschia lacuum* Lange-B.

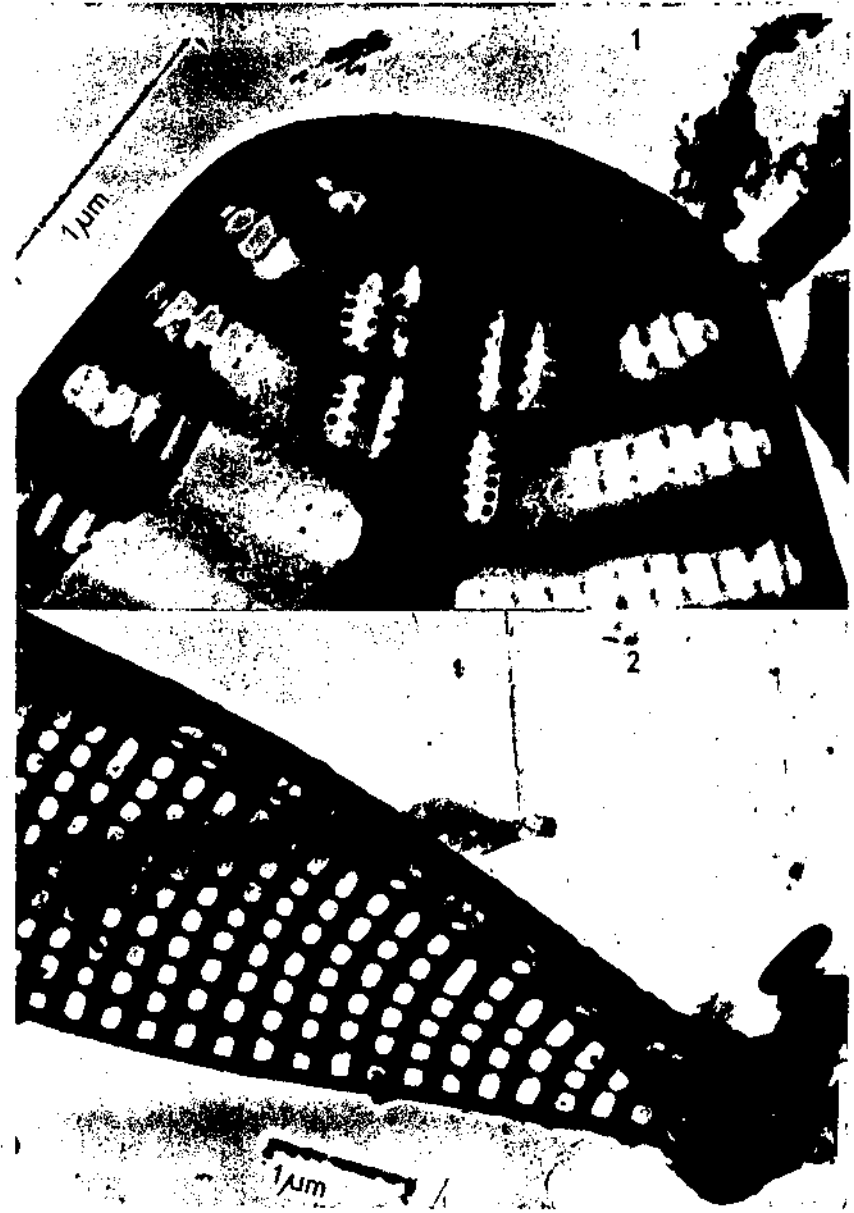


Fig. 1: Détail de l'apex de *Navicula Schönfeldii* Hust. fig. 2: Les rangées d'aréoles sont doublées sous le raphé chez *Nitzschia lacuum* Lange-B.

- (1978a). Zur Zytogenetik der Apomixie bei *R. auricomus*. Habilitationsschrift 916704: 218 H. ETH Zürich, 56 pp.
- (1978b). Diploid apomicts in *Ranunculus auricomus*. Proc. XIV. Int. Congr. Genet. (Moscow). Contributed Paper Sessions Abstracts Part II: 181.
- (1982). How to obtain diploid apomictic *Ranunculus auricomus* plants not found in the wild state. Bot. Helv. 92: 13-22.

ROUSI, A. — (1956). Cytotaxonomy and reproduction in the apomictic *Ranunculus auricomus* group. Ann. Bot. Soc. Zool. Bot. Fennica Vanamo 29: 1-64.

RUTISHAUSER, A. — (1954a). Die Entwicklungserregung des Endosperms bei pseudogamen *Ranunculus*-Arten. Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen 25: 1-45.

— (1954b). Die Entwicklungserregung der Eizelle bei pseudogamen Arten der Gattung *Ranunculus*. Bull. Schweiz. Akad. Med. Wiss. 10: 491-512.

— (1960). Untersuchungen über die Evolution pseudogamer Arten. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 70: 113-125.

— (1961). Apomixis and polyembryony in Angiosperms — Pseudogamous reproduction and evolution. In: Rec. Advances in Botany, Univ. (Toronto Press), pp. 699-702.

— (1965). Genetik der Pseudogamie bei *Ranunculus auricomus* s. l. W. Kocb. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 75: 157-182.

— (1967). Fortpflanzungsmodus und Meiose apomiktischer Blütenpflanzen. In: Protoplasmatologia. Band VI. Wien, New York, 245 pp. (Springer Verlag).

TURALA, K. et SZYBOWSKA, K. — (1978). Cytoembryological studies in self-incompatible population of *Ranunculus pinnatifidus* (Dumort) Bab. from Poland. Acta Biol. Cracov. Ser. Bot. 21/1: 9-21.

Adresse des auteurs: Institut de botanique, Laboratoire de Phanérogamie, Université, CH-2000 Neuchâtel.

VARIABILITÉ COMPARÉE D'ACHNANTHES LANCEOLATA (BRÉB.) GRUN. ET D'ACHNANTHES ROSTRATA ØSTRUP (BACILLARIOPHYCEAE) DANS HUIT POPULATIONS NATURELLES DU JURA SUISSE I: APPROCHE MORPHOLOGIQUE

par

FRANÇOIS STRAUB

AVEC 11 FIGURES

1. INTRODUCTION

Récemment, MOSS et CARTER (1982) ont réhabilité l'espèce *Achnanthes rostrata* Østrup, qui se différencie d'*Achnanthes lanceolata* (Bréb.) Grun., par la présence d'une structure en fer à cheval formée d'un cavum au lieu d'un simple sinus sur la valve sans raphé. En microscopie optique, cette structure particulière est mise en évidence par la trace de l'ouverture du cavum et par le fait que la tache en fer à cheval est toujours bien définie. Chez *Achnanthes lanceolata*, la dépression en forme de sinus se révèle par un contour indéfini (MOSS et CARTER 1982, fig. 8-11) ou peut être imperceptible (GEITLER 1932, fig. 59b). J'ai entrepris cette étude car dans mes collections, ce caractère s'applique à des formes plus variables que celles retenues par MOSS et CARTER (1982). Certaines sont très proches d'*Achnanthes lanceolata* et par conséquent la révision taxonomique doit s'étendre également à des variétés non signalées par ces auteurs.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour situer, dans un cadre connu, les variations observées dans les populations naturelles, j'ai intégré à cette étude les formes présentes dans les préparations 235 et 236 de la collection des Types du Synopsis des diatomées de Belgique de VAN HEURCK (fig. 1 et 2).

Les populations naturelles proviennent des prélèvements suivants:

S-177: Ruisseau du Cornat près de Delémont. Epipéon. Sédiment meuble riche en matières organiques provenant de feuilles et d'herbes en décomposition. Profondeur: 0,2 m. Date: 9.1981. Figure 3.

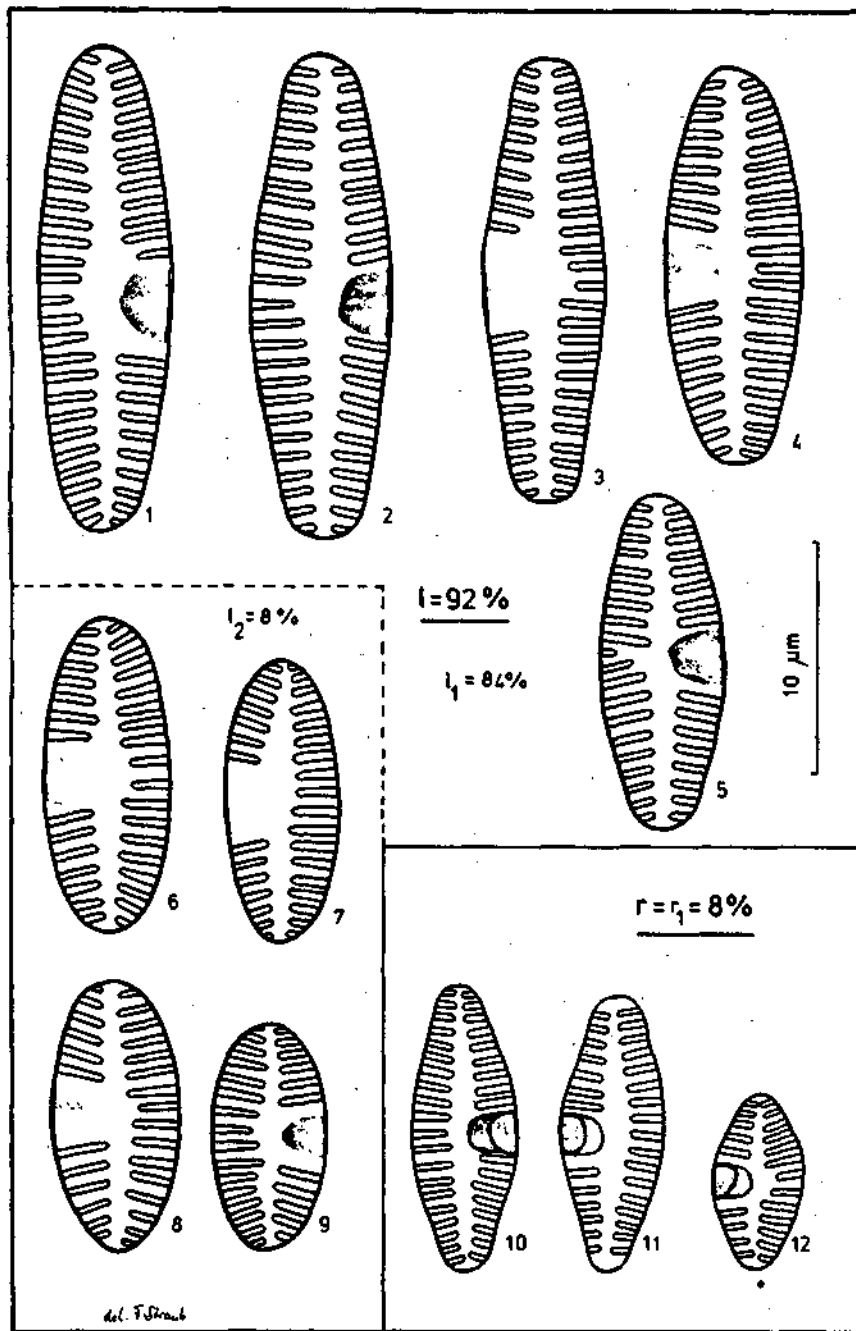


Fig. 1. Préparation 235 de VAN HEURCK. 1-5: *Achnanthes lanceolata*, 6-9: *A. lanceolata* var. *elliptica*, 10-12: *A. rostrata*.

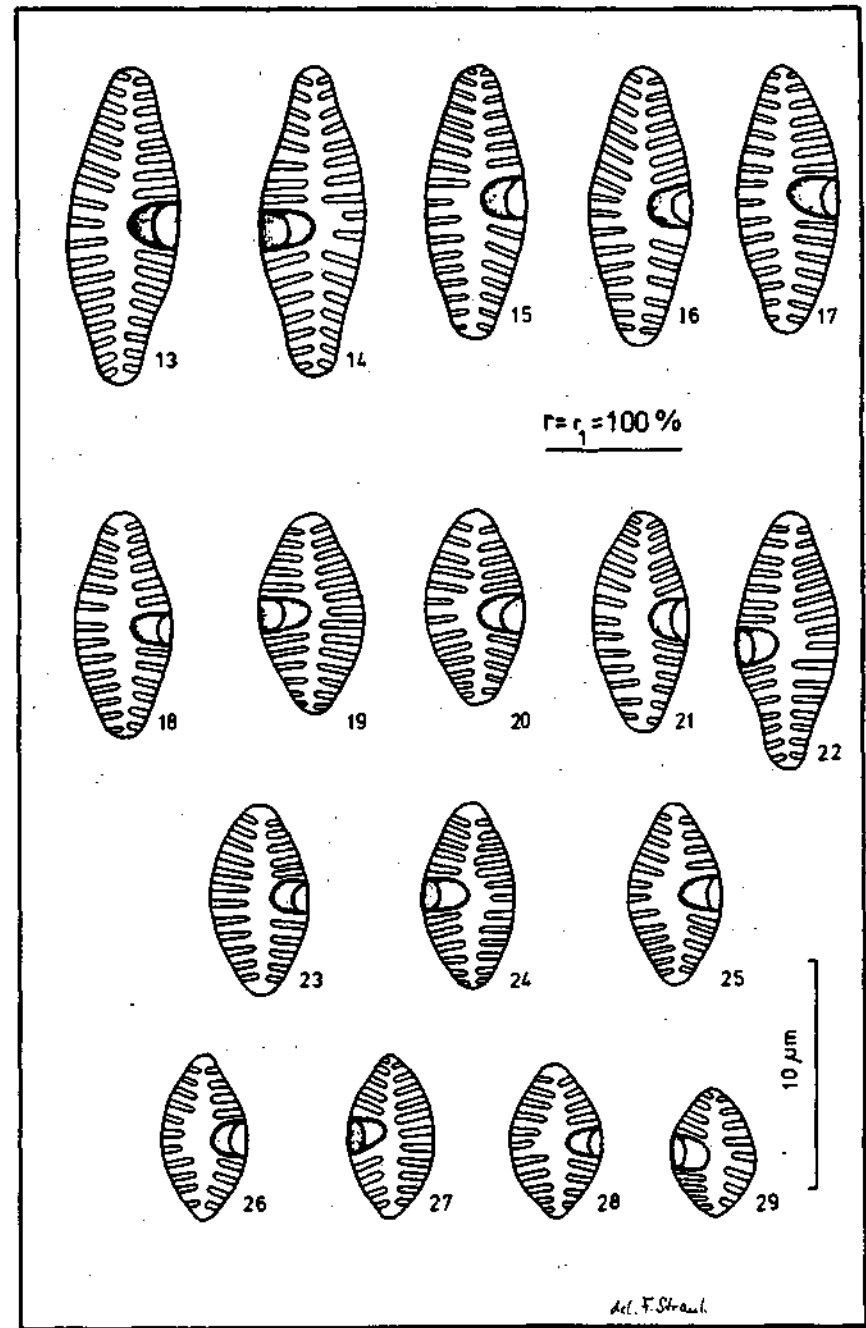


Fig. 2. Préparation 236 de VAN HEURCK. 13-29: *Achnanthes rostrata*.

- S-185: Lac des Tailières. Epilithon. Sédiment tourbeux d'une roselière à *Phalaris arundinacea* L. et *Polygonum amphibium* L. Profondeur: 0,1 m. Date: 23.6.1982. Figure 4.
- P-22: Lac de Bienne, Le Landeron. Epilithon. Plage caillouteuse sans macrophyte. Profondeur: 0,5 m. Date: 6.8.1979. Figure 5.
- P-35: Lac des Tailières. Epilithon. Plage caillouteuse sans macrophyte. Profondeur: 1 m. Date: 8.10.1979. Figure 6.
- P-215: Même station que P-35. Profondeur: 0 m. Date: 17.7.1984. Figure 7.
- P-78: Loclat près de Saint-Blaise. Epilithon. Plage de galets colmatés. Profondeur: 0 m. Date: 14.4.1980. Figure 8.
- P-222: Loclat. Epilithon. Plage de galets colmatés avec quelques touffes de *Sparganium* sp. Profondeur: 0 m. Date: 17.7.1984. Figure 9.
- P-223: Loclat. Epilithon. Plage de galets. Profondeur: 0,5 m. Date: 17.7.1984. Figure 10.

Dans chacune de ces populations j'ai observé 50 valves araphidées en les classant dans plusieurs types morphologiques de l'une ou l'autre espèce. Les figures 1 à 10 reprennent de manière illustrée les formes trouvées dans chaque population, avec une indication de la fréquence des divers types. J'ai opté pour cette solution afin de rendre compte de la variabilité des populations. J'ai retenu uniquement les valves raphidées provenant d'individus complets afin d'éviter des confusions taxonomiques entre les deux espèces. Ces valves sont regroupées sur la figure 11. J'ai préféré le dessin à la photographie car c'est le seul moyen de représenter sur une seule figure, tous les caractères de ces espèces, observables en microscopie optique. Diverses mensurations ont été effectuées simultanément. Elles constituent les matériaux d'un prochain article (STRAUB — en préparation).

3. LISTE DES TYPES MORPHOLOGIQUES

3.1. Type morphologique 1 (tache formée d'un sinus)

1₁: c'est le type le plus fréquent de la préparation 235 de VAN HEURCK et correspond à l'espèce *Achnanthes lanceolata* (Bréb.) Grun. au sens de MOSS et CARTER (1982). La forme est lancéolée, plus ou moins étirée aux extrémités, qui sont largement arrondies. Les grands individus, tel celui de la figure 4-48, ont le centre de la valve renflé, ce qui les rapproche de la fo. *ventricosa* Hust.

1₂: ce type elliptique à ovale ne se trouve qu'en petite quantité dans la préparation 235 de VAN HEURCK. Par sa forme et ses dimensions il correspond à ce que CLEVE-EULER (1953) donne sous le nom de var. *elliptica* Schulz. Il équivaut aux grandes formes (plus grandes que 10 µm de longueur) englobées dans la description de HUSTEDT (1930-1966) de *Achnanthes lanceolata* var. *elliptica* Cleve. En accord avec VAN LANDINGHAM (1967) ce nom doit être maintenu.

3.2. Type morphologique r (tache formée d'un cavum)

r₁: ce type très variable est le plus abondamment représenté dans mes populations. Il constitue la totalité du matériel de la préparation 236 de

VAN HEURCK. J'ai trouvé dans ce matériel de référence un domaine de variations identique à celui des populations naturelles présentées ici. Ce type intègre aussi bien de toutes petites formes rhombiques (fig. 5-73, 74 et 9-135) que des formes de plus en plus arrondies-rostrées (fig. 5-65 à 69), jusqu'aux formes les plus allongées-étirées (fig. 8-109 à 120). D'après MOSS et CARTER (1982), cela correspond à *Achnanthes rostrata* Østr.

r₂: ce type est constitué de petites formes arrondies-elliptiques de 6 à 10 µm de long et 3,5 à 5 µm de large. Elles portent 13 à 20 stries légèrement radiales par 10 µm sur les deux valves. L'aire centrale de la valve raphidée est insignifiante. Par sa forme et ses dimensions, ce type correspond à *Achnanthes lanceolata* var. *elliptica* fo. *minor* Schultz au sens de CLEVE-EULER (1953), laquelle d'ailleurs le représente en figure 527-ä avec un cavum! Ce type comprend les individus plus petits que 10 µm d'*Achnanthes lanceolata* var. *elliptica* Cleve au sens de HUSTEDT (1930-66). Etant donné la présence d'un cavum dans cette variété, je propose la nouvelle combinaison suivante:

Achnanthes rostrata Østrup var. *minor* (Schultz) comb. nov.

Synonymes:

- A. lanceolata* var. *elliptica* fo. *minor* Schultz 1926.
- A. elliptica* var. *minor* (Schultz) Cleve-Euler 1932.
- A. lanceolata* var. *elliptica* Cleve sensus Hust. (1930-66) pro parte.

r₃: ce type est composé de formes de même dimensions que l'espèce (r₁), mais allongées-elliptiques. J'ai considéré séparément ce type, qui devrait éventuellement être associé au précédent. En tous cas sa position taxonomique reste à préciser, également parmi les nombreuses variétés et formes décrites sous l'espèce *Achnanthes lanceolata*.

r₄: ce type diffère de l'espèce par les valves lancéolées à terminaisons légèrement étirées, la longueur de 12 à 20,5 µm, la largeur de 4,3 à 5,9 µm et 14 à 17 stries radiales en 10 µm sur les deux valves. Cette variété d'*Achnanthes rostrata* est celle qui se rapproche le plus d'*Achnanthes lanceolata* et avec laquelle elle a probablement toujours été confondue. Il faut remarquer l'ouverture particulièrement grande du cavum de ce type (fig. 10-140 à 144), caractère sur lequel je reviendrai plus tard (STRAUB — en préparation). Je propose la dénomination suivante pour cette variété:

Achnanthes rostrata var. *magna* nov. var.

A species differt lanceolatis finibus leviter productis valvis et in longitudinem 12-25,5 µm et in latitudinem 4,3-5,9 µm et in 10 µm 14-17 radiatis striis in utraque valve.

Typus: F. Straub 635.

Iconotypus: fig. 10-142 et 11-142 b.

Localité type: Le Loclat

r₅: ce type à valves capitées est peu représenté. Il correspond par sa forme et ses dimensions à la var. *capitata* O. Müller 1909 d'*Achnanthes*

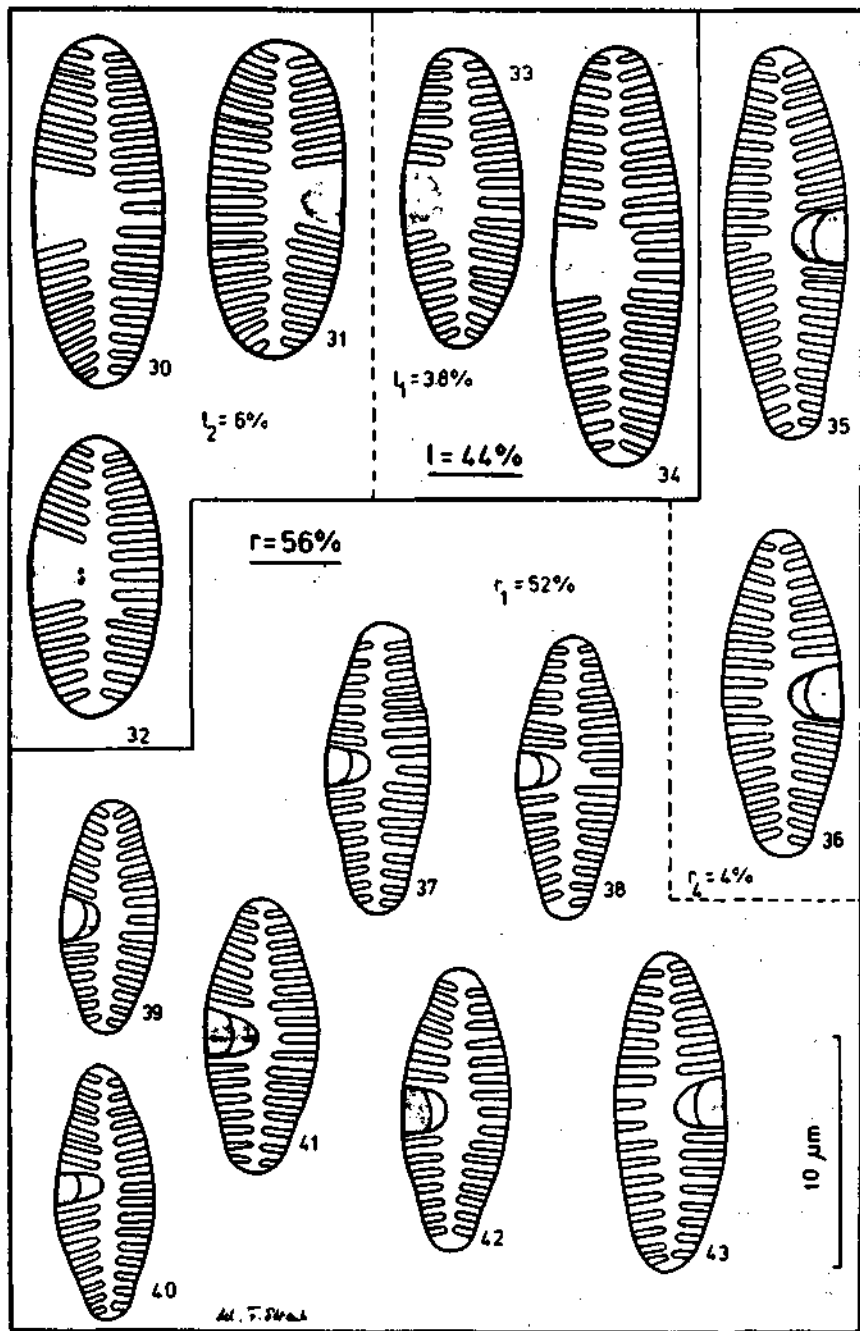


Fig. 3. Ruisseau du Cornat, 9.1981. 30-32: *Achnanthes lanceolata* var. *elliptica*, 33-34: *A. lanceolata*, 35-36: *A. rostrata* var. *magna*, 37-43: *A. rostrata*.

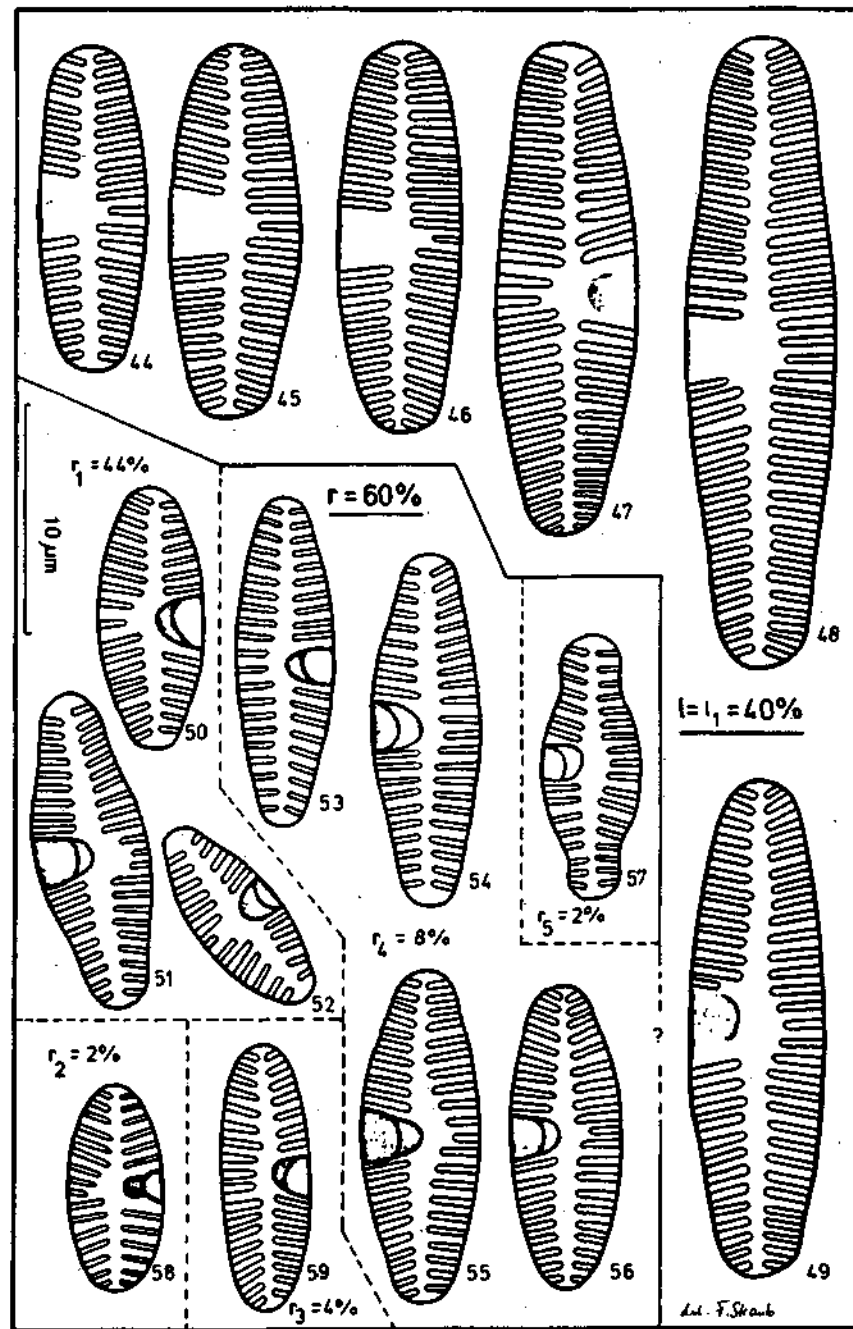


Fig. 4. Lac des Taillères, 23.6.1982. 44-49: *Achnanthes lanceolata*, 50-52: *A. rostrata*, 53-56: *A. rostrata* var. *magna*, 57: *A. rostrata* type *capitè*, 58: *A. rostrata* var. *minor*, 59: *A. rostrata* type *allongé-elliptique*.

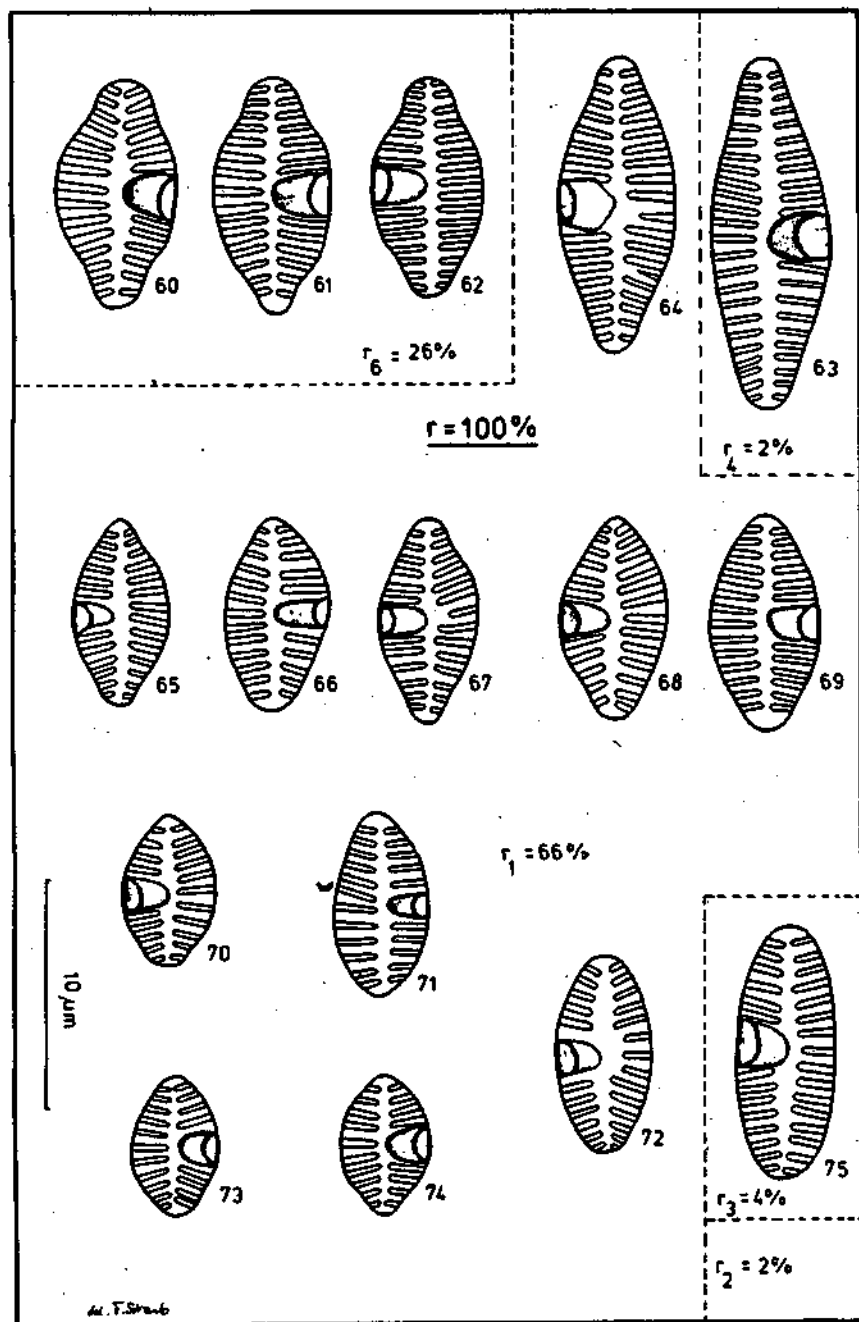


Fig. 5. Lac de Biemme. 6.8.1979. M-62: *Achnanthes rostrata* type quadrangulaire-rostré. 63: *A. rostrata* var. *magna*, 64-74: *A. rostrata*, 75: *A. rostrata* type allongé-elliptique.

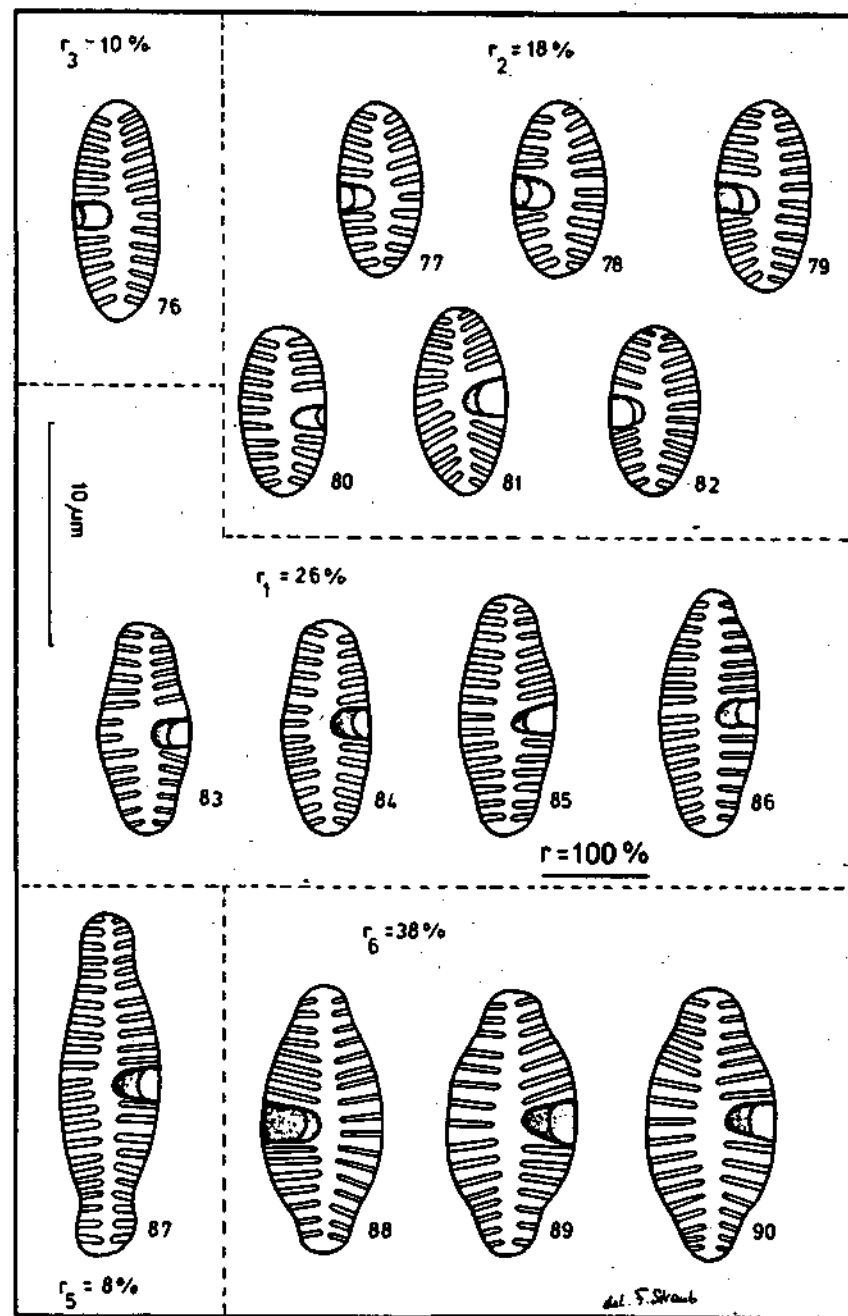


Fig. 6. Lac des Tailferes. 8.III.1979. 76: *Achnanthes rostrata* type allongé-elliptique. 77-82: *A. rostrata* var. *minor*. 83-86: *A. rostrata*, 87: *A. rostrata* type capité, 88-90: *A. rostrata* type quadrangulaire-rostré.

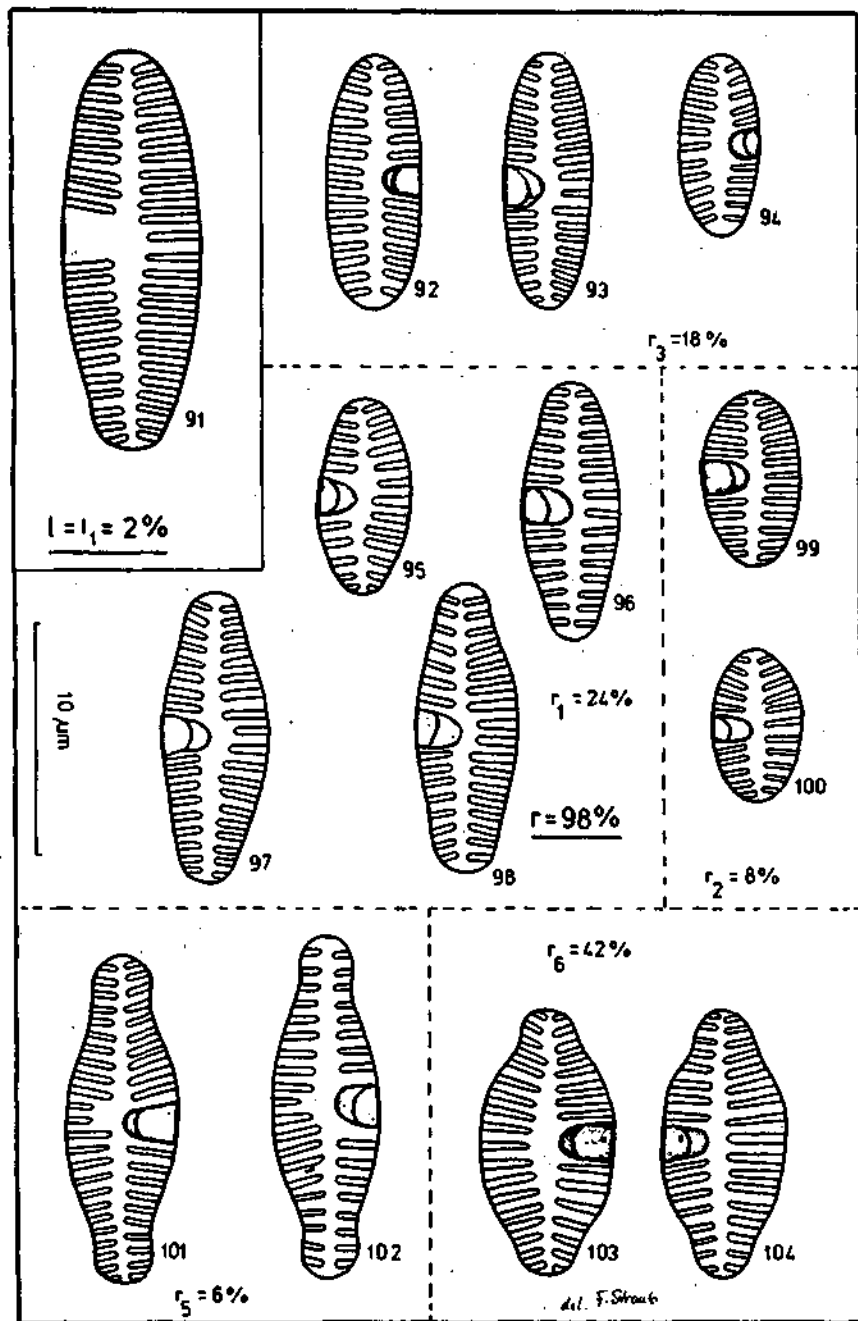


Fig. 7. Lac des Taillères, 17.7.1984. 91: *Achnanthes lanceolata*, 92-94: *A. rostrata* type allongé-elliptique, 95-98: *A. rostrata*, 99-100: *A. rostrata* var. *minor*, 101-102: *A. rostrata* type capité, 103-104: *A. rostrata* type quadrangulaire-rostré.

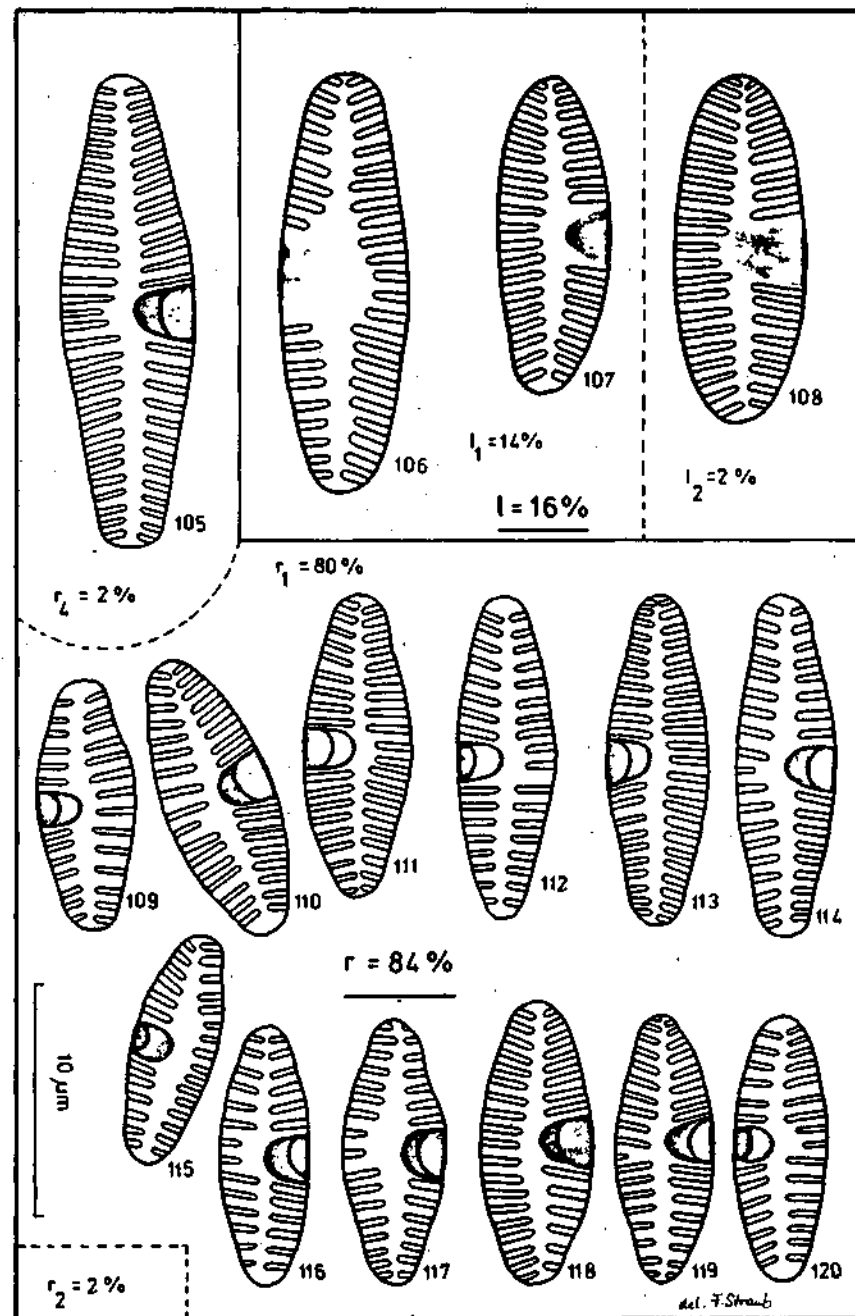


Fig. 8. Loclat, 14.4.1980. 105: *Achnanthes rostrata* var. *magna*, 106-107: *A. lanceolata*, 108: *A. lanceolata* var. *elliptica*, 109-120: *A. rostrata*.

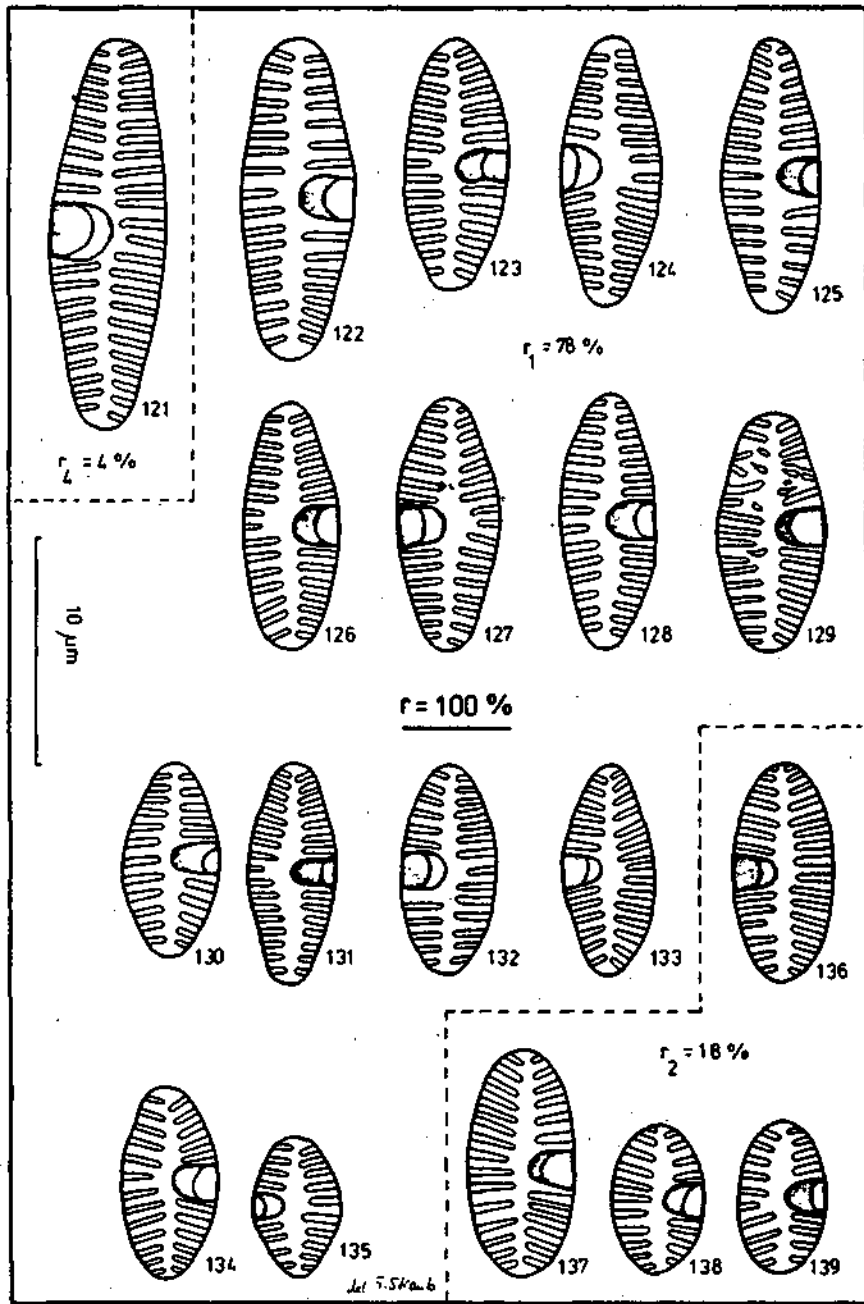


Fig. 9. Loclat, 17.7.1984. 121: *Achnanthes rostrata* var. *magna*, 122-135: *A. rostrata*.
136-139: *A. rastrata* var. *minor*.

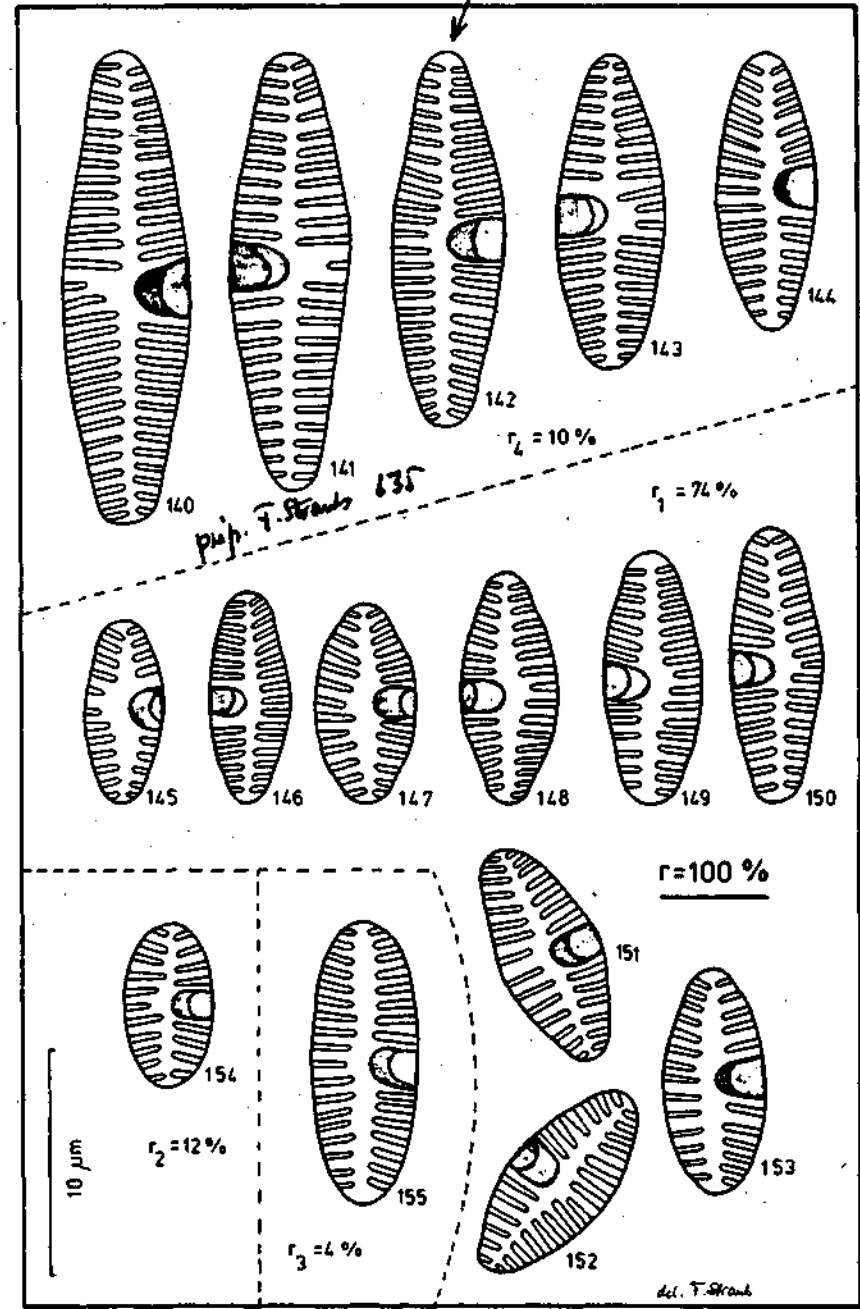


Fig. 10. Loclat, 17.7.1984. 140-144: *Achnanthes rostrata* var. *magna*, 145-153: *A. rostrata*.
154: *A. rostrata* var. *minor*, 155: *A. rostrata* type allongé-elliptique.

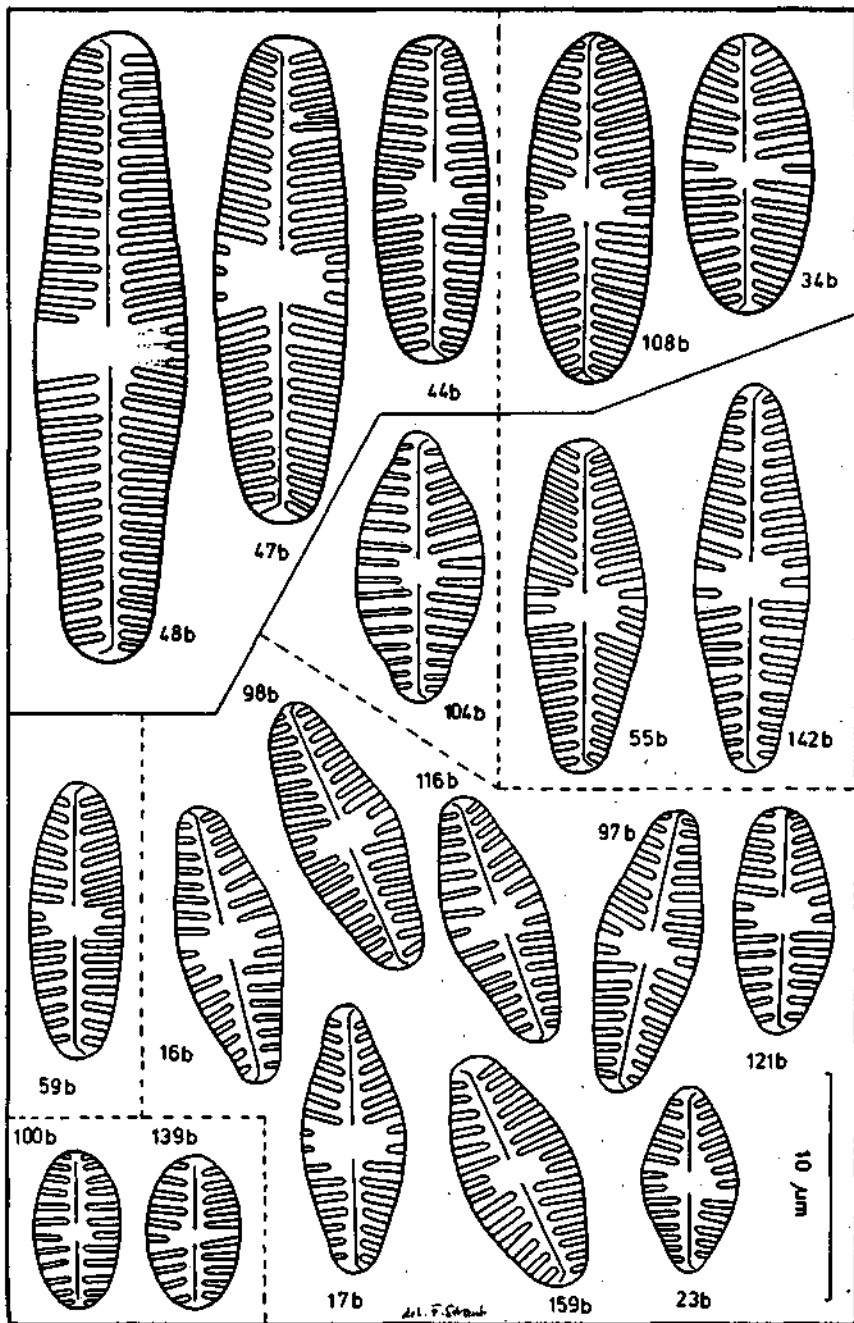


Fig. 11. Valves raphidées. 44b, 47b et 48b: *Achnanthes lanceolata*, 34b et 108b: *A. lanceolata* var. *elliptica*, 55b et 142b: *A. rostrata* var. *magna*, 104b: *A. rostrata* type quadrangulaire-rostré, 16b, 17b, 23b, 97b, 98b, 116b, 121b et 159b: *A. rostrata*, 59b: *A. rostrata* type allongé-elliptique, 100b et 139b: *A. rostrata* var. *minor*.

lanceolata, qui devrait être alors combinée à *Achnanthes rostrata*. L'observation du matériel original devrait permettre de résoudre la question. Si cela s'avérait exact, il faudrait réhabiliter l'espèce *Achnanthes haynaldii* Schaarschmidt 1881, soit comme taxon indépendant, soit comme variété d'*Achnanthes lanceolata*, car il semble bien qu'elle ne possède pas de cavum (CLEVE-EULER 1953, fig. 528 i, j).

r₄: ce type quadrangulaire-rostré sort, par sa largeur, du cortège de variations retenu pour *Achnanthes rostrata*.

4. VALVES RAPHIDÉES (fig. 11)

L'examen de ces valves ne met pas en évidence de caractère séparateur rigoureux entre les deux espèces, ni dans l'allure du raphé ni dans l'aire centrale. Ainsi l'attribution à l'un ou l'autre taxon d'une valve raphidée ne peut être sûre que pour les grandes variations d'*Achnanthes lanceolata* et les petites d'*Achnanthes rostrata*.

Remerciements

Je remercie mon ami Jean Frey pour la diagnose latine.

Résumé

L'étude des variétés d'*Achnanthes lanceolata* et d'*Achnanthes rostrata* montre que bien des formes échappent aux cadres retenus pour ces deux taxons. Une nouvelle variété et une nouvelle combinaison sont proposées.

Zusammenfassung

Es ist durch diese Untersuchung gezeigt, dass manche Variante von *Achnanthes lanceolata* und *Achnanthes rostrata*, aus den gewöhnlichen Rahmen beider Arten fallen. Eine neue Varietät und eine neue Kombination sind vorgeschlagen.

Summary

The study of the variations of *Achnanthes lanceolata* and *Achnanthes rostrata* show, that some forms fall out the common limits of these species. One new variety and one new combination are proposed.

BIBLIOGRAPHIE

CLEVE-EULER, A. — (1953). Die Diatomeen von Schweden und Finnland. *Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar. Fjärde Ser.* 4 (5): 255 pp.

- GEITLER, L. — (1932). Der Formwechsel der pennaten Diatomeen (Kieselalgen). Jena (G. Fischer), 226 pp.
- HUSTEDT, F. — (1930-66). Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz I-III. *D' L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora 7*, Leipzig.
- MOSS, M. O. et CARTER, J. R. — (1982). The resurrection of *Achnanthes rostrata* Østrup. *Bacillaria* 6: 157-164.
- MÜLLER, O. — (1909). Bacillariaceen aus Südpatagonien. (*Engler's*). *Bot. Jahrb. Syst., Pflanzengesch. und Pflanzengeo.* 43 (4): 1-40.
- STRAUB, F. — (en préparation). Variabilité comparée d'*Achnanthes lanceolata* (Bréh.) Grun. et d'*Achnanthes rostrata* Østrup (Bacillariophyceae) dans huit populations naturelles du Jura suisse II: approche biométrique.
- VAN LANDINGHAM, S. L. — (1967). Catalogue of the fossile and recent genera and species of diatoms and their synonyms I: *Acanthoceras* through *Bacillaria*. *Lehre* (J. Cramer), 493 pp.

Matériaux

- VAN HEURCK, H. — Types du Synopsis des diatomées de Belgique (250 préparations).

Adresse de l'auteur: F. Straub, Gymnase cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds.

On the Occurrence of Several Species of *Cyclotella* in the Epilithon of Two Lakes in the Swiss Jura.

Présence de plusieurs espèces de *Cyclotella* dans l'épilithon
de deux lacs du Jura suisse.

par

F. Straub

Gymnase Cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds, Suisse

Avec 3 planches, 2 figures et 1 tableau

Abstract: In two small eutrophic lakes in the Swiss Jura, the usual epilithic assemblage with *Achnanthes minutissima* and *Amphora pediculus* is periodically overgrown by several species of *Cyclotella*. The main species are *C. pseudostelligera* in the Lake of Les Brenets, *C. comta*, *C. stelligera* and *C. stelligerioides* in the Loclat.

Key-words: *Cyclotella*, *Achnanthes minutissima*, *Amphora pediculus* assemblages, epilithon, eutrophic lakes.

Résumé: Dans deux petits lacs eutrophes du Jura suisse, l'assemblage épilithique habituel à *Achnanthes minutissima* et *Amphora pediculus* est envahi périodiquement par plusieurs espèces de *Cyclotella*. Il s'agit principalement de *C. pseudostelligera* au Lac des Brenets et de *C. comta*, *C. stelligera* ainsi que de *C. stelligerioides* au Loclat.

Mots-clés: *Cyclotella*, assemblage à *Achnanthes minutissima* et *Amphora pediculus*, épilithon, lacs eutrophes.

Introduction

Par l'étude de la végétation diatomique de l'épilithon littoral de six lacs alcalins du Jura suisse, j'ai pu constater la fidélité d'un assemblage minimal de quatre taxons. Ce groupement peut former selon le lac, l'époque de l'année ou la profondeur 30 à 90% de la population de diatomées. Plus concrètement l'assemblage se compose de deux taxons à forte représentation (fréquence relative de plus de 10%), à savoir *Achnanthes minutissima* Kütz. (sensu Lange-Bertalot & Ruppel 1980) et *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun. (sensu Krammer 1980) et de deux taxons accompagnants (1 à 10%) : *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehr.) Grun. et *Navicula exilis* Kütz.

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des eaux littorales du Lac des Brenets et du Loclat.

Paramètres	Lac des Brenets	Loclat
Température (°C)	0 - 20,5	3,5-22,5
pH	7,0 - 8,0	7,7-8,3
Secchi (m)	0,6-2,0	1,2-2,0
Oxygène dissous (%)	62,3-153,2	77,4-127,4
DCO (mg KMnO ₄ /l)	5,7-23,3	14,0-26,5
Nitrate (mg N-NO ₃ ⁻ /l)	0 - 1,24	0 - 2,5
Azote total (mg N/l)	0,7 - 1,9	0,4-3,3
Phosphate (µg P-PO ₄ ³⁻ /l)	10 - 74	0 - 11
Phosphore total (µg P/l)	68 - 157	30-146
Dureté totale (mequ/l)	3,1- 4,2	3,5- 5,9

Dans deux petits lacs eutrophes, le Lac des Brenets et le Loclat, cette structure est en partie masquée par le développement massif de plusieurs espèces de *Cyclotella*. Les eaux littorales de ces deux lacs (tableau 1) sont riches en matières organiques et peuvent avoir des déficits d'oxygène dissous de l'ordre de 30-40%. Le Lac des Brenets se caractérise par sa richesse constante en orthophosphate, l'azote y jouant parfois même le rôle de facteur limitant. Au Loclat, l'essentiel du phosphore reste toute l'année fixé sous forme organique, tandis que le taux de nitrate est particulièrement élevé.

Materiel et Méthodes

J'ai effectué les prélèvements de août 1979 à août 1980, en août 1982 et en juillet 1984, sur des plages caillouteuses, généralement à 0, 0,5 et 1 m de profondeur. 21 prélèvements proviennent du Loclat et 31 du Lac de Brenets. Le périphyton est gratté selon la méthode de Douglas 1958. Le matériel est nettoyé selon la méthode décrite précédemment (Straub 1980). L'analyse des populations de diatomées est faite par comptage en fréquence relative de 500 valves (Cholnoky 1968) sur une préparation microscopique, laquelle est parcourue totalement ainsi qu'une deuxième pour établir la liste floristique. L'observation microscopique est réalisée grâce à un appareil Leitz-Dialux en éclairage annulaire à double immersion.

Catalogue des *Cyclotella* observées

Une flore totale de 263 espèces, formes et variétés a été relevée sur les deux stations cités, dont 156 communes aux deux lacs. La flore étudiée du Loclat est complétée à 194 taxons par 38 accidentelles (fréquence de moins de 1%), deux d'entre elles étant des *Cyclotella*. Au Lac des Brenets, j'ai trouvé 69 taxons propres à ce lac: 68 sont accidentels et un seul, *Cyclotella meneghiniana* Kütz., peut avoir des fréquences de plus de 1%. La flore étudiée de ce lac s'élève ainsi à 225 taxons. L'essentiel de la végétation diatomique épilithique de ces deux lacs apparaît donc formée par la même flore. Dans cette flore, 12 taxons se rattachent au genre *Cyclotella* Kützing.

3.1 *Cyclotella atomus* Hust. Pl.1 (fig. 1-3)

Accidentelle dans les deux lacs.

3.2 *Cyclotella* cf. *comensis* Grun. Pl.2. (fig. 14-16)

Accidentelle au Lac des Brenets. Au Loclat, elle est toujours présente, mais à des taux n'excédant pas 4,5% des populations. Les valves de 8-12 μm de diamètre sont ornées de 20-22 stries par 10 μm , occupant plus de 50% du rayon de la valve. L'aire centrale irrégulièrement délimitée porte de très fines ponctuations disposées en bandes radiales. L'irrégularité de l'ornementation et la densité des stries rapprochent cette forme de *C. comensis* telle qu'elle est représentée Hustedt (1930-1966, fig. 182) et Cleve-Euler (1951, fig. 54). Une incertitude subsiste car, bien des auteurs, Schmidt et al. (1874, fig. 224/33-34), Manguin (1960, fig. 26/3-4), Foged (1977, fig. 3/5-6; 1982, fig. 1/7) présentent sous ce nom des formes à striation beaucoup plus régulière.

3.3 *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz. Pl. 1 (figs 4-7)

Accidentelle au Lac des Brenets. Au Loclat elle peut former jusqu'à 16% de la population, de préférence à 0 m de profondeur. L'essentiel des valves observées ont de 8 à 10 μm de diamètre. Il n'est pas rare de trouver des spécimens plus petits encore, jusqu'à 6 μm de diamètre. Si les petits spécimens ont une striation conforme d'environ 15 stries par 10 μm , les formes les plus grandes peuvent avoir jusqu'à 22 stries par 10 μm .

3.4 *Cyclotella kützingiana* Thw. Pl. 2 (fig. 13)

Accidentelle dans les deux lacs. Les formes rencontrées ont toujours entre 10 et 12 μm de diamètre.

3.5 *Cyclotella kützingiana* f. *minor* Hust. Pl. 2 (figs 20-22)

Sporadiquement elle forme jusqu'à 6% des populations, dans les deux lacs, mais la plupart du temps elle n'est qu'accidentelle. 18 à 23 stries par 10 μm irrégulièrement longues et courtes occupent plus des deux tiers du rayon de la valve. L'aire centrale régulièrement délimitée par de longues stries, est occupée par quelques points épars.

3.6 *Cyclotella kützingiana* var. *planetophora* Fricke Pl. 2 (figs 17-19)

Accidentelle dans les deux lacs. La grandeur des spécimens observés est très variable.

3.7 *Cyclotella meneghiniana* Kütz. Pl. 1 (figs 9-10)

Toujours présente au Lac des Brenets jusqu'à des fréquences de 2%. Totalement absente du Loclat.

3.8 *Cyclotella* sp. Pl. 1 (fig. 8)

Forme observée une seule fois au Loclat. Diamètre de 9,5 μm . 15 à 16 stries par 10 μm , de longueur variable. Aire centrale sans ornementation. Une couronne de taches allongées borde l'aire centrale. Cette structure fait penser à *C. operculata* (Ag.) Kütz. sans qu'on puisse y inclure cette forme à cause de l'irrégularité de l'ornementation.

3.9 *Cyclotella ocellata* Pant. Pl. 1 (figs 11-12)

Espèce sporadique au Loclat.

3.10 *Cyclotella pseudostelligera* Hust. Pl. 3 (figs 23-26)

Accidentelle au Loclat. Au Lac des Brenets elle se développe parfois très massivement, jusqu'à former le 33 à 37% des populations, de préférence entre 0,5 et 1 m de profondeur. En petites populations, la plupart des individus présentent tous les caractères de l'espèce, telle que je la représente ici. Lors de développements massifs, les valves semblent beaucoup plus fines et la striation quasiment invisible. Parfois même, il ne subsiste de visible en microscopie optique, que la couronne de processus renforcés. Cela fait penser au phénomène décrit par Belcher et al. 1966, qui attribuent cela à un déficit en silice.

3.11 *Cyclotella stelligera* Cl. et Grun. Pl. 3 (figs 27-33)

Accidentelle au Lac des Brenets. Au Loclat, elle forme jusqu'à 17% des populations. L'ornementation en étoile centrée caractéristique de cette espèce est rarement régulière.

3.12 *Cyclotella stelligerioides* Hust. Pl. 3 (figs 34-43)

Accidentelle au Lac des Brenets. Au Loclat, c'est l'espèce de *Cyclotella* la mieux représentée. Elle peut former de 35 à 79% des populations, de préférence entre 0 et 0,5 m de profondeur. Des points isolés ou de petites bandes radiales formées de fines ponctuations ornent le centre des valves.

4. Structures principales de la végétation diatomique

4.1 Lac des Brenets (fig. 1)

Dans cette station, l'assemblage commun de l'épilithon forme encore l'essentiel de la population et se retrouve dans sa composition typique particulièrement en été. En hiver on observe une spécialisation, du fait de la disparition d'*Amphora pediculus*, en faveur d'*Achnanthes minutissima*. Au printemps 1980 j'ai observé un développement considérable de *Navicula exilis* qui, sur une période de 4 mois, passe dans certaines populations du statut d'accompagnante à celui de dominante.

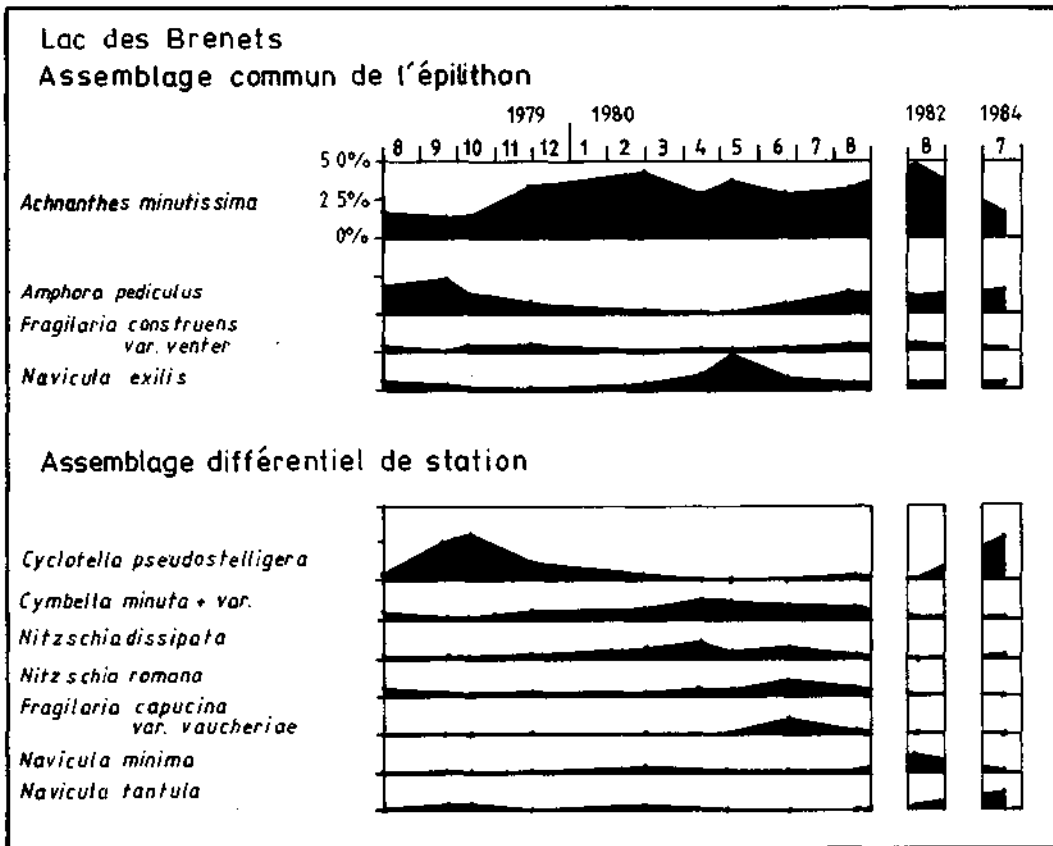


Fig. 1: Structures principales de la végétation diatomique de l'épilithon du Lac des Brenets (fréquences relatives moyennes).

Sept autres taxons, qui se succèdent en dominant de temps à autre, caractérisent les populations de ce lac : *Cyclotella pseudostelligera* (développement massif en automne 1979 et en été 1984), *Cymbella minuta* et var., *Nitzschia dissipata*, *N. romana*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Navicula minima* et *N. tantula*. Cet assemblage, formé d'une succession d'espèces, différencie qualitativement ce lac de tous les autres, bien que chaque taxon puisse aussi se retrouver ailleurs en grandes populations. Ainsi, *Navicula tantula* se développe également de façon importante au Loclat.

4.2 Loclat (fig. 2)

Dans ce lac, l'assemblage commun de l'épilithon est fortement simplifié de manière stable au cours du temps et tend même à disparaître. *Achnanthes minutissima* est la forme la mieux représentée. *Amphora pediculus* perd son statut d'espèce dominante. Elle est à peine plus fréquente que *Navicula exilis*. *Fragilaria construens* var. *venter* n'apparaît plus qu'accidentellement.

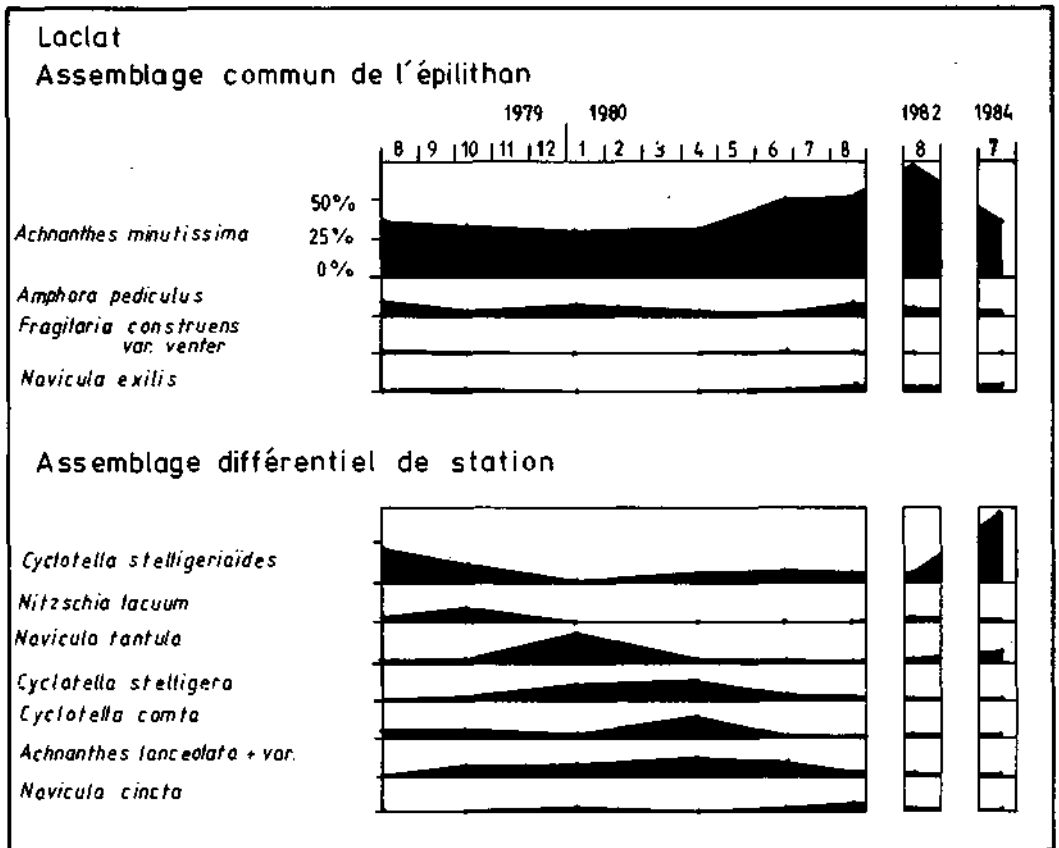


Fig. 2: Structures principales de la végétation diatomique de l'épilithon du Loclat (fréquences relatives moyennes).

Comme structure différentielle, on trouve à nouveau une succession de sept taxons dominants, dont trois espèces de *Cyclotella* : *C. stelligerioides* (plutôt estivale), *C. stelligera* et *C. comta*. Les autres taxons, dominant parfois, sont *Nitzschia lacuum*, *Navicula tantula*, *Achnanthes lanceolata* + var. et *Navicula cincta*. Globalement la composition de la population est plus stable dans ce lac qu'au Lac des Brenets.

Discussion

Dans les deux lacs, les *Cyclotella* apparaissent dans des végétations épilithiques formées d'espèces tolérantes, caractéristiques d'eaux moyennement polluées d'après les données autoécologiques de Cholnoky 1968, Coste 1978, Descy 1980, Lange-Bertalot 1979 a et b, Lange-Bertalot & Bonik 1976, Le Cohu 1977 & Sládeček 1973. *Fragilaria construens* var. *venter*, qui passe pour sensible, est le taxon le moins bien représenté de l'assemblage commun, tandis que *Navicula exilis*, aimant une certaine eutrophie, se développe particulièrement au Lac des Brenets. Les autres espèces caractérisant l'eutrophie sont *Cyclotella stelligera*, *Nitzschia romana*, *Navicula minima* et *Navicula cincta*, tandis que *Cymbella minuta* + var. et *Nitzschia dissipata* seraient plutôt sensibles à la pollution. Au lac des Brenets, le développement de *Cyclotella pseudostelligera* semble confirmer que cette espèce profite de la dégradation de la qualité des eaux (Germain 1981). Au Loclat, il est intéressant de signaler que *Nitzschia lacuum* peut former de 11 à 12% de certaines populations, alors qu'elle a été décrite dans des milieux oligotrophes (Lange-Bertalot 1980).

Bibliographie

- BELCHER, J.H., E.M.F. SWALE & J. HERON (1966) - Ecological and morphological observations on a population of *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt. J. Ecol. 54, 335-340.
- CHOLNOKY, B.J. (1968) - Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. Cramer Verlag, 699 pp.
- CLEVE-EULER, A. (1951) - Die Diatomeen von Schweden und Finnland. Kong. Svensk. Vetensk. Akad. Handligar 2(1), Stockholm.
- COSTE, M. (1978) - Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes. Thèse. Univ. Franche-Comté, 143 pp.
- DESCY, J.P. (1980) - Utilisation des algues benthiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes. In: Pesson P. (ed.): "La pollution des eaux continentales". Gauthier-Villars, Paris, 169-194.
- OOUGLAS, B. (1958) - The ecology of attached diatoms and other algae in a small stony stream. J. Ecol. 46, 295-322.
- FOGEO, N. (1977) - Freshwater Diatoms in Ireland. Bibl. Phycol. 34, Cramer Verlag, 221 pp.
- FOGEO, N. (1982) - Diatoms in Bornholm, Denmark. Bibl. Phycol. 59, Cramer Verlag, 175 pp.
- GERMAIN, H. (1981) - Flore des diatomées. Boubée, Paris, 444 pp.
- HUSTEDT, F. (1930-1966) - Die Kieselalgen. Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora 7, Leipzig.
- KRAMMER, K. (1980) - Morphologic and taxonomic investigations of some freshwater species of the diatom genus *Amphora* Ehr. Bacillaria 3, 197-225.
- LANGE-BERTALOT, H. (1979a) - Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. Nova Hedwigia, Beih. 64, 285-304.
- LANGE-BERTALOT, H. (1979b) - Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starker Abwasserbelastung, exemplarisch für den unteren Main. Arch. Hydrobiol., Algol. Stud. 23, 184-219.

- LANGE-BERTALOT, H. (1980) - New species, combinations and Synonyms in the genus *Nitzschia*. *Bacillaria* 3, 41-77.
- LANGE-BERTALOT, H. & K. BONIK (1976) - Massenentwicklung bisher seltener und unbekannter Diatomeen als Indikator starker Abwasserbelastung in Flüssen. *Arch. Hydrobiol., Algol. Stud.* 16, 303-332.
- LANGE-BERTALOT, H. & M. RUPPEL (1980) - Zur Revision taxonomisch problematischer, ökologisch jedoch wichtiger Sippen der Gattung *Achnanthes* Bory. *Arch. Hydrobiol. Algol. Stud.* 26, 1-31.
- LE COHU, R. (1977) - Diatom flora in a eutrophic pond in Brittany. *Ann. Hydrobiol.* 8, 1-26.
- MANGUIN, E. (1960) - Contribution à la flore diatomique de l'Alaska: Lac Karluk. *Rev. Algol. nlle série* 5, 266-288.
- SCHMIDT, A. et al. (1874) - Atlas der Diatomaceen-Kunde. R. Reisland, Leipzig.
- SLÁDECEK, V. (1973) - System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Erg. Limnol.* 7, 218 pp.
- STRAUB, F. (1980) - Utilisation des membranes filtrantes en téflon dans la préparation des diatomées épilithiques. 2^e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française. *Cryptogamie-Algologie* 2(2) p. 153.

Correctif (20.4.1986)

Entre la rédaction de cet article et la présente publication, la révision du genre *Cyclotella* ayant avancé, particulièrement sous l'impulsion de Mme H. Håkansson, que je remercie vivement, les corrections suivantes sont à faire, dans le texte, les figures et les planches:

- au lieu de *Cy. kützingiana* Thw., lire *Cyclotella plitviciensis* Hust.
- au lieu de *Cy. stelligerioides* Hust., lire *Cyclotella* sp. 222
- au lieu de *Cy. stelligera* Cl. et Grun., lire *Cyclotella comensis* sensu Battarbee 1978.

Explication des Planches

Planche I

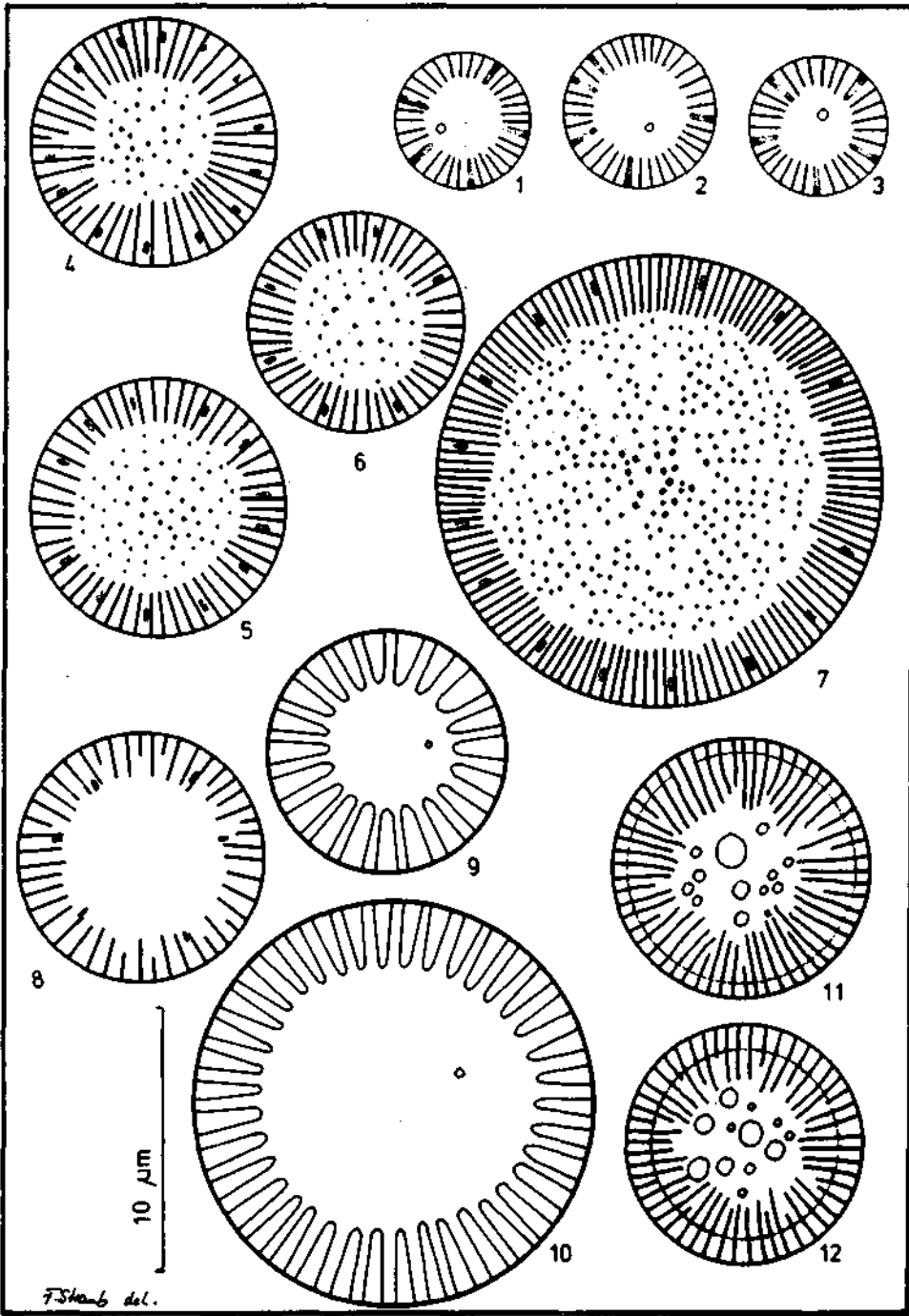
Figs 1-3: *Cyclotella atomus* Hust., figs 4-7: *C. comta* (Ehr.) Kütz., fig. 8: *C. sp.*, figs 9-10: *C. meneghiniana* Kütz., figs 11-12: *C. ocellata* Pant.

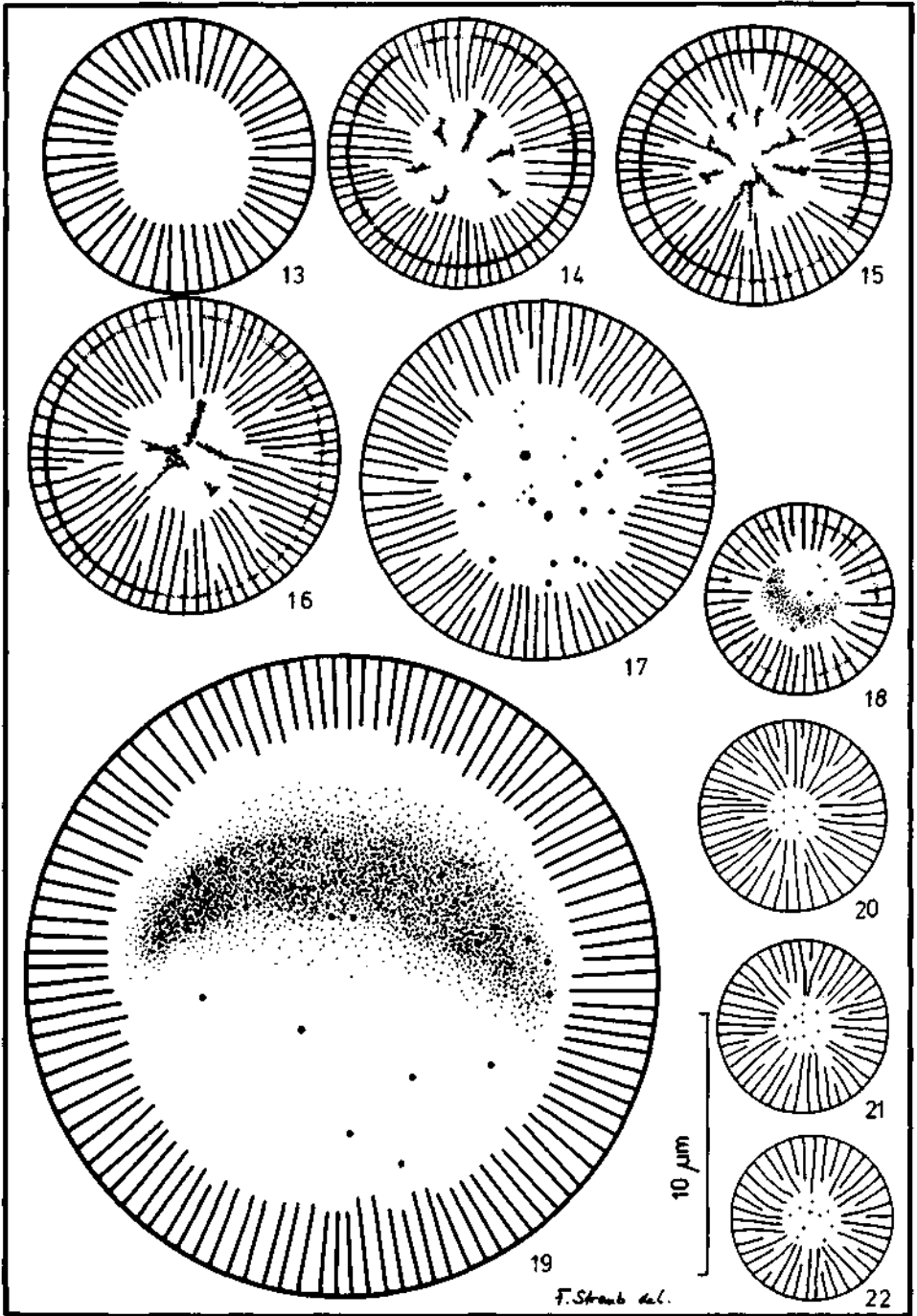
Planche II

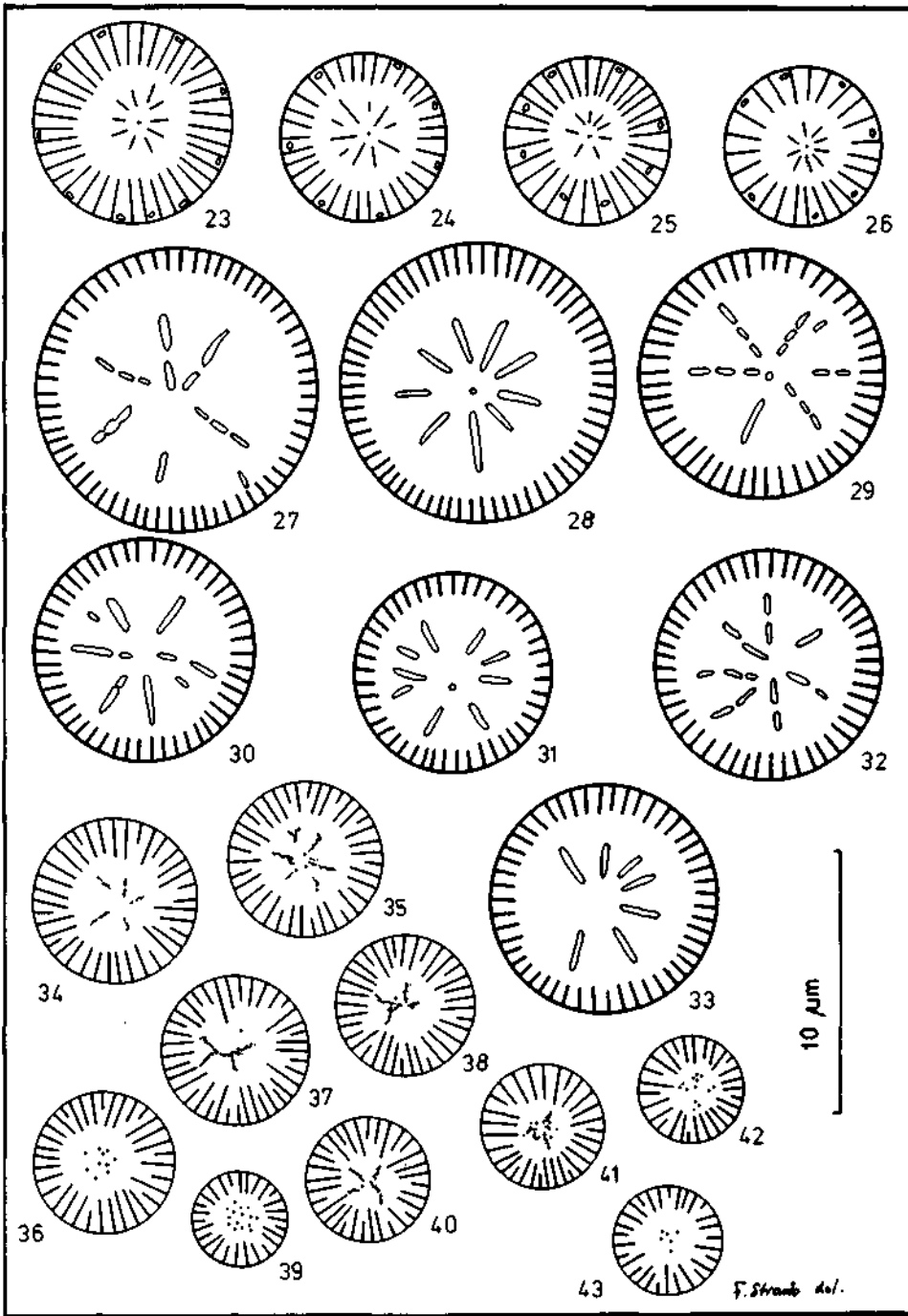
Fig. 13: *Cyclotella kützingiana* Thw., figs 14-16: *C. cf comensis* Grun., figs 17-19: *C. kützingiana* var. *planetophora* Fricke, figs 20-22: *C. kützingiana* fo. *minor* Hust.

Planche III

Figs 23-26: *Cyclotella pseudostelligera* Hust., figs 27-33: *C. stelligera* Cl. et Grun., figs 34-43: *C. stelligerioides* Hust.







L'ÉTUDE DES DIATOMÉES:
ACTUALITÉ D'UNE RECHERCHE.
REFLETS DU 5^e COLLOQUE
DE L'ASSOCIATION DES DIATOMISTES
DE LANGUE FRANÇAISE (ADLAF),
TENU DU 27 AU 30 AOÛT 1985
À LA BRÉVINE (SUISSE)

par
FRANÇOIS STRAUB
AVEC 5 FIGURES

EXTRAIT DU BULLETIN
DE LA SOCIÉTÉ NEUCHÂTELOISE DES SCIENCES NATURELLES
TOME 109, 1986

Imprimerie Centrale Neuchâtel

L'ÉTUDE DES DIATOMÉES:
ACTUALITÉ D'UNE RECHERCHE.
REFLETS DU 5^e COLLOQUE
DE L'ASSOCIATION DES DIATOMISTES
DE LANGUE FRANÇAISE (ADLAF),
TENU DU 27 AU 30 AOÛT 1985
À LA BRÉVINE (SUISSE)

par

FRANÇOIS STRAUB

AVEC 5 FIGURES

INTRODUCTION

Le cinquième colloque a réuni 20 membres venus de cinq pays: Belgique, France, Grande-Bretagne, Italie et Suisse. C'est dans une ambiance amicale que chacun a fait part de ses recherches par l'intermédiaire de communications, posters, discussions et séances de microscopie. A travers ces travaux, on peut dégager quelques axes des recherches actuelles, faites sur cet embranchement d'algues unicellulaires.

TAXONOMIE-MORPHOLOGIE

La description et l'identification des espèces de diatomées, constituent le centre d'intérêt principal réunissant tous les chercheurs. A part l'attrait qu'exerce sur certains cette discipline, on peut résumer en trois points, les raisons pour lesquelles elle préoccupe actuellement chacun, quel que soit son domaine de recherche:

1. Les difficultés d'identification, trop souvent liées à des caractères taxonomiques variables, comme la forme générale du frustule (kyste des diatomées formé de deux valves, entourant la cellule pendant toute sa vie végétative) et la densité de l'ornementation des valves.
2. Tout travail de biologie (et cela n'est pas particulier à ce groupe d'organismes vivants) se fonde sur une description objective et communicable des êtres vivants concernés. Si cela est la base de la floristique, de la systématique et de la biogéographie, c'est aussi le préalable des travaux d'écologie et de physiologie.

L'ÉTUDE DES DIATOMÉES:
ACTUALITÉ D'UNE RECHERCHE.
REFLETS DU 5^e COLLOQUE
DE L'ASSOCIATION DES DIATOMISTES
DE LANGUE FRANÇAISE (ADLAF),
TENU DU 27 AU 30 AOÛT 1985
À LA BRÉVINE (SUISSE)

par

FRANÇOIS STRAUB

AVEC 5 FIGURES

INTRODUCTION

Le cinquième colloque a réuni 20 membres venus de cinq pays: Belgique, France, Grande-Bretagne, Italie et Suisse. C'est dans une ambiance amicale que chacun a fait part de ses recherches par l'intermédiaire de communications, posters, discussions et séances de microscopie. A travers ces travaux, on peut dégager quelques axes des recherches actuelles, faites sur cet embranchement d'algues unicellulaires.

TAXONOMIE-MORPHOLOGIE

La description et l'identification des espèces de diatomées, constituent le centre d'intérêt principal réunissant tous les chercheurs. A part l'attrait qu'exerce sur certains cette discipline, on peut résumer en trois points, les raisons pour lesquelles elle préoccupe actuellement chacun, quel que soit son domaine de recherche:

1. Les difficultés d'identification, trop souvent liées à des caractères taxonomiques variables, comme la forme générale du frustule (kyste des diatomées formé de deux valves, entourant la cellule pendant toute sa vie végétative) et la densité de l'ornementation des valves.
2. Tout travail de biologie (et cela n'est pas particulier à ce groupe d'organismes vivants) se fonde sur une description objective et communicable des êtres vivants concernés. Si cela est la base de la floristique, de la systématique et de la biogéographie, c'est aussi le préalable des travaux d'écologie et de physiologie.

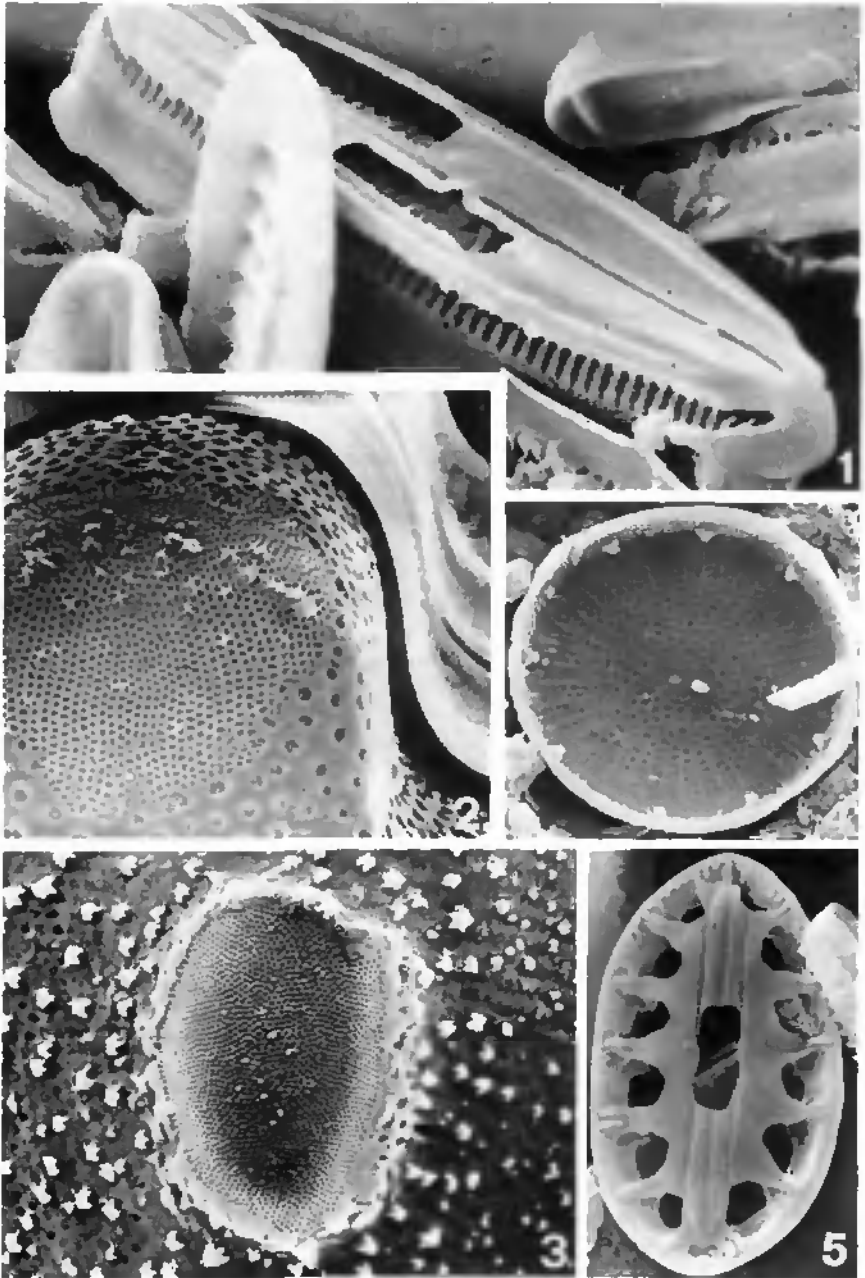


Fig. 1: le conopeum partiellement brisé de *Navicula enigmatica* Germain, laisse entrevoir l'ornementation d'une de ses valves (6000 \times , photo M. Ricard). Fig. 2: pseudocelle d'*Hydrosera triquetra* Wallich (2000 \times , photo M. Ricard). Fig. 3: ocelle de *Pleurosira lacvis* (Ehr.) Compère (3000 \times , photo M. Ricard). Fig. 4: valve de *Stephanodiscus parvus* Stoermer et Hiik., en vue interne montrant la couronne marginale de processus renforcés et le processus renforcé excentrique (6000 \times , photo F. Straub). Fig. 5: cloison interne de la valve supérieure de *Cocconeis neocaledonica* Maillard (3300 \times , photo R. Le Cohu).

3. L'utilisation devenue généralisée, ces vingt dernières années, de la microscopie électronique a ouvert brusquement un champ de connaissances morphologiques immense. Cette nouvelle approche remet en cause un grand nombre de taxons, à tel point que plus personne n'est en mesure de définir les caractères de certaines espèces. Le corollaire de cette situation est la révision taxonomique de l'ensemble des diatomées d'eau douce et marines, par comparaison avec les types lorsque cela est possible, et pour chacun d'entre nous, la révision de ses propres collections. Ce travail se concrétise pour un public plus large par la parution du tome sur les diatomées de la nouvelle édition de la «Süsswasserflora von Mitteleuropa» par H. Lange-Bertalot et K. Krammer.

Sous ce thème, M. Henry Germain, d'Anger, nous présenta des variations extrêmes qu'on trouve chez *Gomphonema olivaceum* (Lyngbye) Kütz. et une étude détaillée des valves de cette espèce, laissant penser qu'elles sont formées d'une double paroi. A l'aide d'un poster, il compara cette structure à celle de deux *Navicula* dont les valves (fig. 1) portent un *conopeum* (sorte de voile siliceux partiel ou total, doublant la surface valvaire). M. Michel Ricard, de Paris, exposa les critères morphologiques, qui permettent actuellement de mieux séparer un groupe de genres marins appartenant aux diatomées centriques. Ainsi, les genres *Biddulphia* et *Trigonium* appartiennent à la famille des *Biddulphiaceae* car ils possèdent des pseudocelles (fig. 2). Par contre, les genres *Triceratum*, *Odontella* et *Pleurosira* entrent dans la famille des *Eupodisceae* car ils portent des ocelles (fig. 3). Travaillant sur la flore de Nouvelle-Calédonie, à la suite d'E. Manguin et R. Maillard, M. René Le Cohu, de Toulouse, nous présenta l'ultrastructure de quelques espèces. La structure de l'espèce subendémique *Cocconeis neocaledonica* Maillard se révèle très originale (fig. 5), par la présence de cloisons internes. Pour ma part, je présentai sur la base des récentes révisions, la façon de reconnaître les espèces locales de *Stephanodiscus* à partir de l'ondulation des valves, de la présence et la répartition des processus renforcés (fig. 4).

FLORISTIQUE

Malgré l'augmentation du nombre de diatomistes, dans la plupart des pays, l'exploration floristique de bien des contrées reste à faire. Néanmoins, sur la base des études faites, on constate que la plupart des espèces de diatomées sont cosmopolites, leur répartition étant davantage liée à des facteurs écologiques que géographiques. Dans bien des cas, des taxons décrits comme nouveaux peuvent être introduits dans la synonymie d'espèces à plus large distribution. Ces travaux permettent de mieux comprendre la variabilité des espèces qui, souvent, présentent des formes tropicales et des formes de zones tempérées.

Par une compilation de la littérature et l'examen d'échantillons de collection, M. Pierre Compère, de Meise, nous montra que les eaux intérieures du Sahara sont inégalement connues. La florule actuellement recensée serait d'environ 700 taxons cités essentiellement dans les parties

libyennes et algériennes de ce désert. C'est aussi une flore en grande partie cosmopolite (250 taxons) que relèvent MM. Michel Coste, de Bordeaux, et Michel Ricard, dans un premier inventaire des Diatomées de Tahiti et Moorea. Les formes tropicales semblent localisées dans les secteurs pollués du réseau hydrographique et à proximité des estuaires.

PHYSIOLOGIE

Ce domaine de recherche, dont la revue reste à faire, est sous-représenté dans notre association. Un des centres d'intérêts de cette discipline, motivé par les problèmes de pollution des eaux, est l'étude de la toxicité, envers les diatomées, de certains éléments chimiques, en particulier les métaux lourds. M^{me} Anne Smith, de Londres, nous présenta à ce propos, les effets de concentrations sublétales en plomb ($\leq 1000 \mu\text{g Pb.l}^{-1}$) sur des cultures de *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cleve. Ce métal provoque une réduction de la taille des valves, en perturbe la symétrie de l'ornementation et cause la disparition de structures importantes, comme les épines et les processus renforcés et labiés. La connaissance de ces formes tératologiques serait du plus grand intérêt dans l'appréciation de la qualité des eaux. Certains auteurs l'ont montré pour *Cyclotella pseudostelligera* Hust., *Stephanodiscus parvus* Stoermer et Håk. et *St. Hantzschii* Grun. dans des cas de carence en silice disponible. Malheureusement, leur utilisation n'est pas encore possible; il n'y a d'une part pas assez de données et d'autre part celles qui existent ne concernent trop souvent que quelques «espèces de laboratoire».

ÉCOLOGIE

Par la force des choses, les recherches dans ce domaine sont de près ou de loin influencées par la dégradation de la qualité des eaux. Cependant plusieurs tendances méthodologiques existent, particulièrement dans le traitement des observations. D'un côté, certains ont proposé des systèmes de diagnostic sur la base des communautés de diatomées, visant à déterminer et quantifier le niveau trophique, la charge polluante ou le pH d'une eau. Ainsi M^{me} Rossella Barone, de Palerme, exposa ses recherches sur trois lacs artificiels de Sicile: deux lacs mésotrophes se différencient nettement d'un troisième eutrophe, par leurs populations benthiques beaucoup plus diversifiées.

D'autres, critiquant le côté parfois simpliste de ces méthodes d'appréciation, s'attachent à décrire avec plus de détails, les subtiles transformations des communautés naturelles de diatomées. Dans cette direction, M. Louis Leclercq, de Namur, basant ses observations sur une connaissance étendue du réseau hydrographique ardennais, montra comment un assemblage reconnu typique d'eau acide et un assemblage d'eau neutre peuvent se transformer au cours des saisons. Dans certains cas, pour une même station, l'assemblage de diatomées peut passer d'un faciès à l'autre.

Dans ce thème, un autre problème revient chaque année animer les discussions: c'est l'échantillonnage. M^{me} Arlette Cazaubon, de Marseille, présenta une étude sur la répartition du peuplement diatomique qui colonise les cailloux dans une rivière. Quatre aires d'échantillonnage sur chaque caillou — aires situées par rapport au courant — sont comparées à l'aide d'un test statistique simple. Il ressort que la surface supérieure porte la communauté la plus complète. Ainsi, dans des études de qualité d'eau, l'échantillon fait à cet endroit, serait le plus représentatif. Dans un même ordre d'idées, on sait que les différents substrats naturels ou artificiels présents dans l'eau n'offrent pas toujours les mêmes conditions au développement des diatomées. L'échantillonnage sur l'un ou l'autre support ne donnera pas à l'analyse les mêmes résultats. Pour mesurer ces différences, M. Robert Iserentant, de Louvain-la-Neuve, a appliqué le calcul d'un indice de qualité d'eau à une trentaine d'échantillons. Ces prélèvements proviennent de divers substrats (pierres, lames de verre et trois espèces de macrophytes) d'une même station. Les valeurs des indices accusent des écarts significatifs entre les échantillons pris sur les pierres et ceux qui proviennent de lames de verre: l'analyse du substrat artificiel donne une image un peu plus optimiste de la qualité de l'eau. A l'intérieur des substrats étudiés, ce sont les pierres qui offrent les conditions les moins homogènes à la colonisation.

PALÉOÉCOLOGIE

Dans l'étude des conditions anciennes du milieu, les diatomées sont de précieux organismes, car on retrouve souvent leurs frustules intacts dans les sédiments lacustres et marins. En appliquant aux flores passées les connaissances acquises de l'autoécologie des espèces, on peut obtenir des informations précieuses quant à l'origine des dépôts aquatiques.

M. André Lotter, de Berne, exposa ses recherches sur l'évolution du Rotsee près de Lucerne. Dans les sédiments anciens (~8000 à 6000 ans BP) relativement riches en carbonates, la flore diatomique est essentiellement composée d'espèces planctoniques. Plus récemment (~6000 à 1200 ans BP), parallèlement à une disparition presque totale des carbonates et à une augmentation du taux de matières organiques des sédiments, la flore s'enrichit brusquement en espèces littorales. Une augmentation de la productivité du lac et (ou?) l'abaissement de son niveau pourraient être les causes de ce changement. Sous ce thème également, j'ai présenté mon rôle dans l'équipe de naturalistes qui tente de reconstruire les paléoenvironnements de la station archéologique d'Hauterive-Champrevéyres, au bord du lac de Neuchâtel. Pour l'époque du Bronze final (~1045 à 990 ans BC), l'analyse diatomique a révélé une eutrophisation croissante de l'environnement au cours de l'existence du village, parallèlement à un abaissement progressif du niveau du lac. Elle a en outre permis de confirmer la trace de déjections animales. Sur le plan général, les flores fossiles indiquent la présence constante d'eaux peu profondes, calmes et continuellement basiques.

Zusammenfassung

Die 5. Tagung des Vereins der französischsprachigen Diatomisten hat zwanzig Forscher aus Belgien, Frankreich, Grossbritannien, Italien und der Schweiz vereinigt. Durch ihre Mitteilungen ist es möglich manche wichtigen Richtungen herauszuziehen, die die heutige Forschung auf der Biologie der Diatomeen aufbauen: Taxonomie-Morphologie, Floristik, Physiologie, Ökologie und Paleoökologie.

Summary

The 5th meeting of the french speaking diatomologist's association, has reunited twenty research workers from Belgium, France, Great Britain, Italy and Switzerland. Through their communications, it is possible to draw some main directions of the research on the biology of diatoms: taxonomy-morphology, floristics, physiology, ecology and paleoecology.

Adresse de l'auteur: F. Straub, Gymnase cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds.

A propos de *Cyclotella comensis* Grunow (Bacillariophyceae)*

François Straub

Laboratoire d'algologie
Gymnase cantonal CH- 2300 La Chaux-de-Fonds

Résumé : On attribue habituellement à *Cyclotella comensis* deux formes différentes. Une a une striation régulière marginale, l'autre possède au contraire une linéation irrégulière qui couvre en bonne partie le centre de la valve. Dans du matériel ancien du Lac de Côme, on trouve aussi ces deux formes. Là peut être l'origine de cette confusion, alors que les dessins de Grunow pour cette espèce sont sans équivoque et ne s'appliquent qu'à la seconde forme à linéation irrégulière.

Abstract : The name *Cyclotella comensis* is commonly assigned to two different forms. One has a marginal regular striation, whereas the other shows an irregular striation which covers a large part of the center of the valve. In an old material of Como's Lake, we also found these two forms; here is perhaps the origin of this confusion, whereas Grunow's drawings, for this species, are unequivocal and correspond only with the second form with irregular striation.

INTRODUCTION

Au 8^e Symposium International sur les Diatomées, à Paris, je présentais un poster signalant la présence de plusieurs espèces de Cyclotelles. Deux formes avaient particulièrement attiré l'attention et bien que différentes, étaient toutes deux, par les uns ou par les autres, attribuées à *Cyclotella comensis*. La première, que j'appelle ici forme A, (Straub 1986, figs 2/14-16) à linéation très irrégulière correspond aux dessins 93/16-17 figurant dans Van Heurck 1880-1885 (diagnose ?) et à la description de Hustedt 1927-1966 pour *Cyclotella comensis* Grun. L'aire centrale a une forme étoilée, certaines lignes parcourant plus de 50 % du rayon valvaire.

L'autre, la forme B, possède une linéation régulière et marginale, définissant une aire centrale circulaire. Cette aire porte une série de ponctuations et de plis, arrangés de manière rayonnante (Straub 1986, figs 3/27-33 très schématiques). J'avais tout d'abord attribué par erreur cette forme à *Cyclotella stelligera* Cl et Grun. En fait, elle correspond bien aux formes données par Schmidt *et al.* (1874), Mangin (1960), Faged (1977 et 1982) et Batterbee (1978) également sous le nom de *Cyclotella comensis*. L'attitude controversée de mes collègues devant mon poster traduisait simplement la controverse présente dans la littérature. Il est aussi intéressant de signaler à ce propos que Meister (1912), auquel Hustedt (1927-1966) se réfère pour sa description, présente sous ce taxon deux figures qui n'ont rien en commun et qui représentent les deux formes que je signale.

*Communication présentée au 6^e Colloque des Diatomistes de Langue Française à la Station Biologique de Roscoff France (27-30 septembre 1986).

Essayant de trouver une réponse à ce problème, j'ai parcouru les préparations 629 bis et 2226 de la collection J. Brun, à Genève. Ces préparations sont faites à partir de matériel prélevé dans le Lac de Côme par le comte G. Barbö, de Milan en 1885. Grande a été ma surprise car ce matériel contient les deux formes. La forme B (Fig. 1) y est nettement plus fréquente que la forme A (Fig. 7). Or, si l'on prend comme base les deux dessins de Grunow in Van Heurck (1880-1885), cette dernière seule devrait porter le nom de *Cyclotella comensis* Grun.

Pour me faire une idée plus détaillée de ces deux formes, j'ai poursuivi l'observation en microscopie électronique à balayage, sur du matériel provenant du Lac de Neuchâtel et du Loclat (petit lac entouré au voisinage de Neuchâtel) :

Forme A = *Cyclotella comensis* Grun. (Figs 8-12)

Valves circulaires de 8 à 12 μm de diamètre ornées de 20 à 22 lignes par 10 μm , comptées sur la marge, occupant plus des 50 % du rayon. Lignes d'aréoles irrégulières définissant une aire centrale en étoile. En MEB, cette aire apparaît en relief par rapport à la surface valvaire aréolée. Cette aire porte des trous (0,15 à 0,20 μm de diamètre), qui ne perforent pas toute l'épaisseur de la valve (Flecken au sens de Hustedt, 1927-1966) et un processus renforcé excentré. Les processus renforcés marginaux sont situés tous les 4 à 5 interfascia. Deux ou trois processus labiés débouchent sur la courbure de la valve.

En marge, l'épaisseur de la valve est constituée des chambres typiques de ce genre, régulièrement disposées. On voit très bien ces chambres en microscopie optique.

Forme B = *Cyclotella* sp. (Figs 2-6)

Valves circulaires de 6 à 11 μm de diamètre ornées de 14 à 18 lignes par 10 μm marginales, régulièrement disposées, englobant çà et là quelques lignes raccourcies. Grande aire centrale circulaire ornée de plis rayonnants marqués de ponctuations diffuses indistinctes en microscopie optique. Cette aire porte un processus renforcé excentrique à ouverture externe ellipsoïde. Processus renforcés marginaux situés tous les 4 interfascia. En vue interne, leur ouverture se situe sur des côtes un peu en retrait, par rapport aux autres côtes définissant l'ouverture des chambres marginales. Un à trois processus labiés s'ouvrent à l'extérieur sur la courbure de la valve.

La position systématique de cette forme reste en suspens, elle se rapproche par plusieurs caractères du groupe de *Cyclotella Kutziana* sans qu'on puisse actuellement l'associer à l'une ou l'autre variété.

Figs 1-6 : *Cyclotella* sp. = forme B. Figs 7-12 : *Cyclotella comensis* Grun. = forme A.

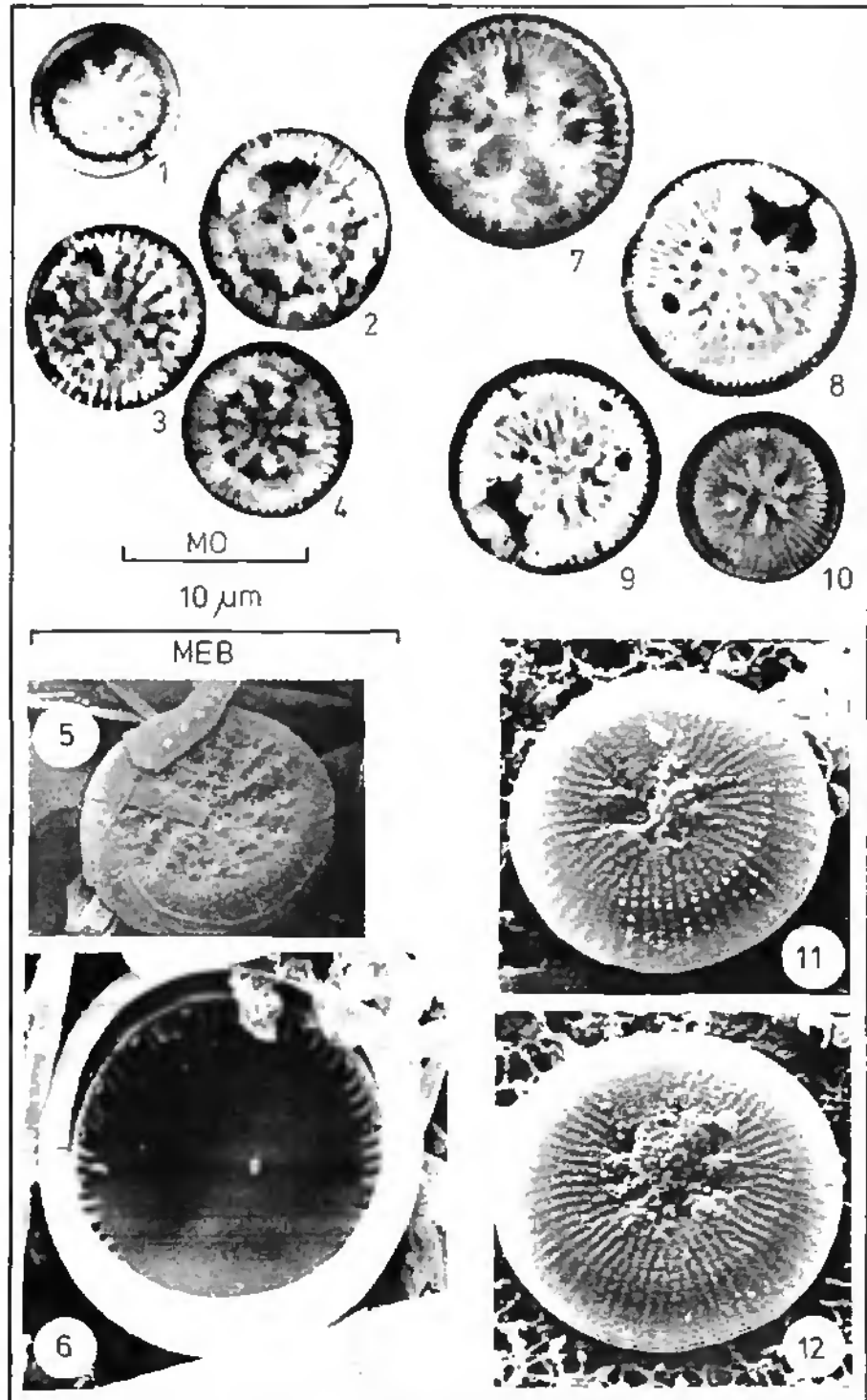
Figs 1 et 7 : Prép. 629 bis coll. J. Brun, Genève. Lac de Côme, 1885.

Figs 2-4 : Prél. F. Straub Sa-233. Site archéologique de Champréveyres 2556-114-27.

Lac de Neuchâtel. Sédiments atlantiques, 1984.

Figs 5-6 : Prél. F. Straub P-79. Loclat. Epilithon. 14.4.1980.

Figs 8-12 : Prél. F. Straub P-19. Loclat. Epilithon. 6.8.1979.



INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- BARTHELEMY R.W., 1978. Observations on the recent history of Lough Neagh and its drainage basin. *Phil. Trans. R. Soc. London B*, 281 : 303-345.
- FOGED, N., 1977. Freshwater Diatoms in Ireland. *Bibl. Phycol.* 34, J. Cramer, 221 pp.
1982. Diatoms in Bornholm, Denmark. *Bibl. Phycol.* 59, J. Cramer, 175 pp.
- HUSTEDT F., 1927-1966. Die Kieselalgen. Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora 7, Leipzig.
- MANGUIN, E., 1960. Contribution à la Flore Diatomique de l'Alaska : Lac Karluk, espèces critiques et nouvelles. *Revue Algologique, nlle série*, 5 : 266-288 et 6 pls h.t.
- MESTER, F., 1912. Die Kieselalgen der Schweiz. *Beitr. Krypto. Schweiz*, 4(1) : 254 pp et 48 pls h.t.
- SCHMIDT, A. *et al.* 1874. Atlas der Diatomaceenkunde. R. Reisland, Leipzig.
- STRAUB, F., 1986. Présence de plusieurs espèces de Cyclotelles dans le périphyton épilithique de deux lacs du Jura suisse. In Ricard, M. (ed.) : Proc. 8th Diatoms Symposium, Paris, 1984. O. Koelz, Koenigstein, 1 : 409-419.
- VAN HURCK, H., 1880-1885. Synopsis des diatomées de Belgique. Linnaeus Press, Amsterdam (Reprint 1981), 235 pp.

**Description de deux nouvelles Cyclotelles
(Bacillariophyceae) de milieux alcalins et eutrophes:
Cyclotella costei nov. sp. et *Cyclotella
wuethrichiana* nov. sp.**

By Jean Claude Druart^a et François Straub^b

^a Institut de Limnologie, Station d'Hydrobiologie Lacustre I. N. R. A., B. P. 11, F-74203 THONON-LES-BAINS

^b Laboratoire d'Algologie, Gymnase Cantonal, CH-2300 LA CHAUX-de-FONDS. (SUISSE)

Manuscript reçu le 11 juin 1987

ABSTRACT

Two new species of the genus *Cyclotella* are presented which have been discovered during ecological and paleoecological research studies in the littoral zone of two small alkaline eutrophic lakes in France (Lake Paladru) and in Switzerland (Lake Le Loclat).

These new species are named *Cyclotella costei* nov. sp. and *Cyclotella wuethrichiana* nov. sp.

***Cyclotella costei* nov. sp**

Introduction

Cette espèce découverte au cours d'études sédimentologiques sur le site archéologique des Grands Roseaux du lac de Paladru (Isère), domine (entre 20 et 85 %) dans la plupart des assemblages diatomiques, à tous les niveaux. Ce type d'assemblage à petites Cyclotelles, par exemple à *C. plitviciensis* Hust., ou à *C. wuethrichiana* nov. sp., semble caractériser une forme d'eutrophie en lacs alpins: Straub [2] et Perraudin [3] trouvent également ces petites espèces en masse dans des lacs dystrophes, marqués par un excès d'azote.

Description

Frustule discoïde de 1,5 à 2 µm de hauteur, de 7,5 à 12 µm de diamètre. Valve plate au centre, régulièrement bombée sur le bord, sans ondulation marquée (fig. 9). La

zone marginale (environ 1/3 du rayon de la valve) comprend le manteau et la bordure externe de la face valvaire. Cette zone est ornée de fines stries (16 à 18 en 10 µm) longues et courtes, disposées irrégulièrement. Ces stries sont formées de 2 lignes d'aréoles grossières encadrant, sur le manteau, une ligne d'aréoles plus délicates (7 à 8 aréoles en 1 µm radialement). L'aire centrale sans ornementation mis à part le processus excentré, est irrégulièrement délimitée. Les processus renforcés marginaux (non visibles en microscopie photonique) s'ouvrent toutes les 4 à 5 interstries. Le processus renforcé excentré, très visible en optique, est de même type que les processus renforcés marginaux, qui en vue interne sont tous formés de deux renforts.

En vue interne, les alvéoles primaires (15 à 16 en 10 µm) sont limitées par d'épais piliers (fig. 10). Régulièrement une alvéole primaire, encadrée de piliers plus épais, est partagée en deux alvéoles secondaires séparées par des cloisons plus étroites (fig. 10). Ces alvéoles primaires plus larges, se distinguent facilement en microscopie optique; sur la marge, toutes les 4 à 5 stries, apparaît une ligne plus claire (Schattenlinie). Ces alvéoles s'ouvrent sur une marge épaisse. Cette espèce ne porte pas d'épines marginales.

En microscopie optique, l'extrémité des stries courtes (fig. 12 d) se marque par une tache plus claire que l'on pourrait prendre par mégarde pour les ornements concentriques de *Cyclotella tecta* Hak. & Ross. Cette Cyclotelle se distingue de *C. comensis* Grun. par l'aire centrale plane et par la série de lignes marginales plus claires (Schattenlinien).

Les caractères morphologiques de cette espèce nous la font placer dans le groupe 2 (*C. comta* (Ehr.) Kutz.) de Serieyssel [1].

Diagnose latine

Valva plana circularis 1,5–2 µm in altitudinem ac 7,5–12 µm in diametro patens et 16–18 striis ornata alternis longioribus brevioribusque 1/3 radii patentibus. Area centralis non aequaliter finita fultoportulam prope centrum positam praebet. In S.E.M. ductae sunt striae ab aerolarum rudium duobus agminibus in medio minorum areolarum agmen praebentibus (7–8 areolas 1 µm in radio patentes numeratas). Fultoportulae in margine positae sed in photonica microscopia non visae interstriam quamque 4–5 apertae sunt. Sub interno aspectu fultoportulae omnes duobus fultoribus informatae sunt. Internae marginalium cellarum aperturae non aequales sunt, e quibus quaeque largissima secundarias cellas in duobus alveolis divisas praebet. Qui alveoli crassioribus parietibus saepti sunt. Quae marginales cellae in crassa margine expansae sunt. Nulla marginalis spina.

Typus: praeparatio J. C. Druart N° GR3, D1/1 in Collect. ADLAF, Museum Historiae Naturalis, Paris.

Iconotypus: figurae nostrae pl. 2, figs. 7–13.

A lacu «Paladru» (Gallia), ex archeologico stratu in situ «Les Grands Roseaux» appellato.

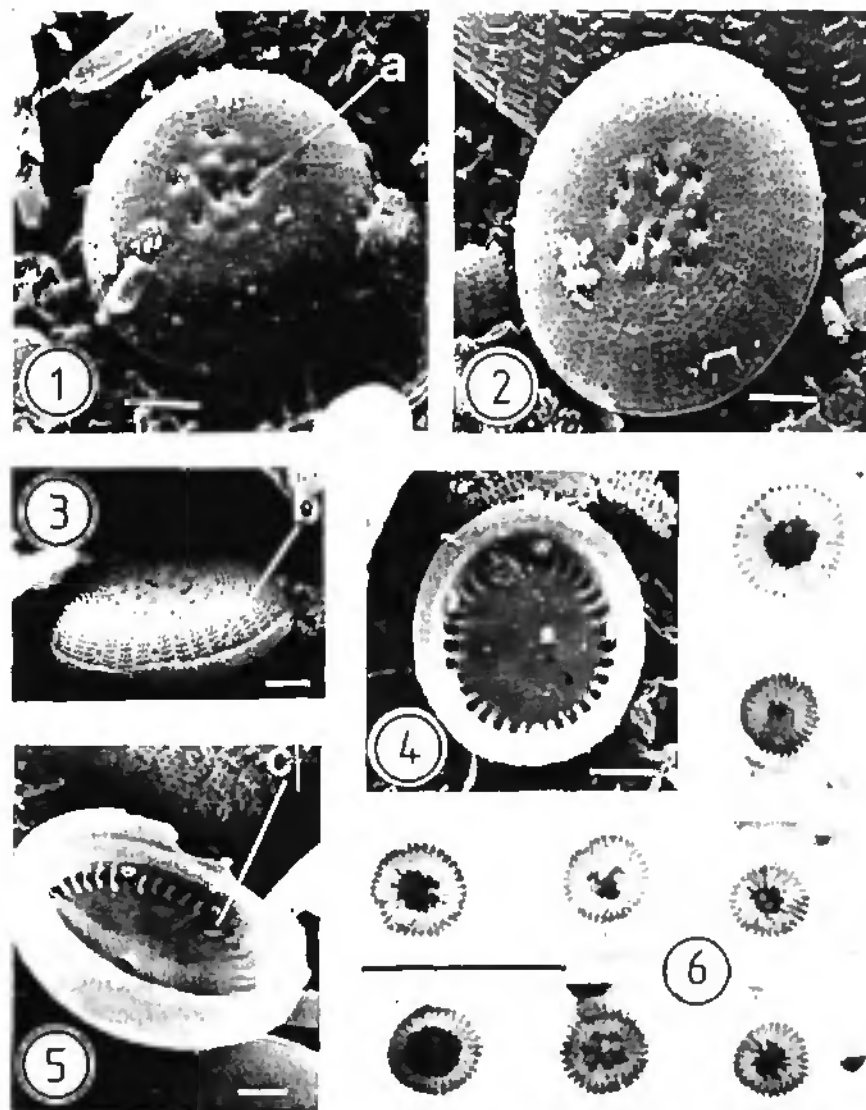


Planche 1: Figures 1 à 6: *Cyclotella wuethrichiana* nov. sp.

1-3: vues externes en M. E. B. montrant les cavités de l'aire centrale (a) et les ouvertures externes des processus renforcés (b). (échelle 1 μ m).

4-5: vues internes en M. E. B. montrant le processus labié (c). (échelle 1 μ m).

6: vues en microscopie optique de quelques frustales. (échelles 10 μ m).

Figs 1, 2, 4 et 6: Le Loclat (Suisse). Figs 3 et 5: Lac Nenchâtel (Suisse) fouilles archéologiques de Champ-prévevres, Bronze-final.

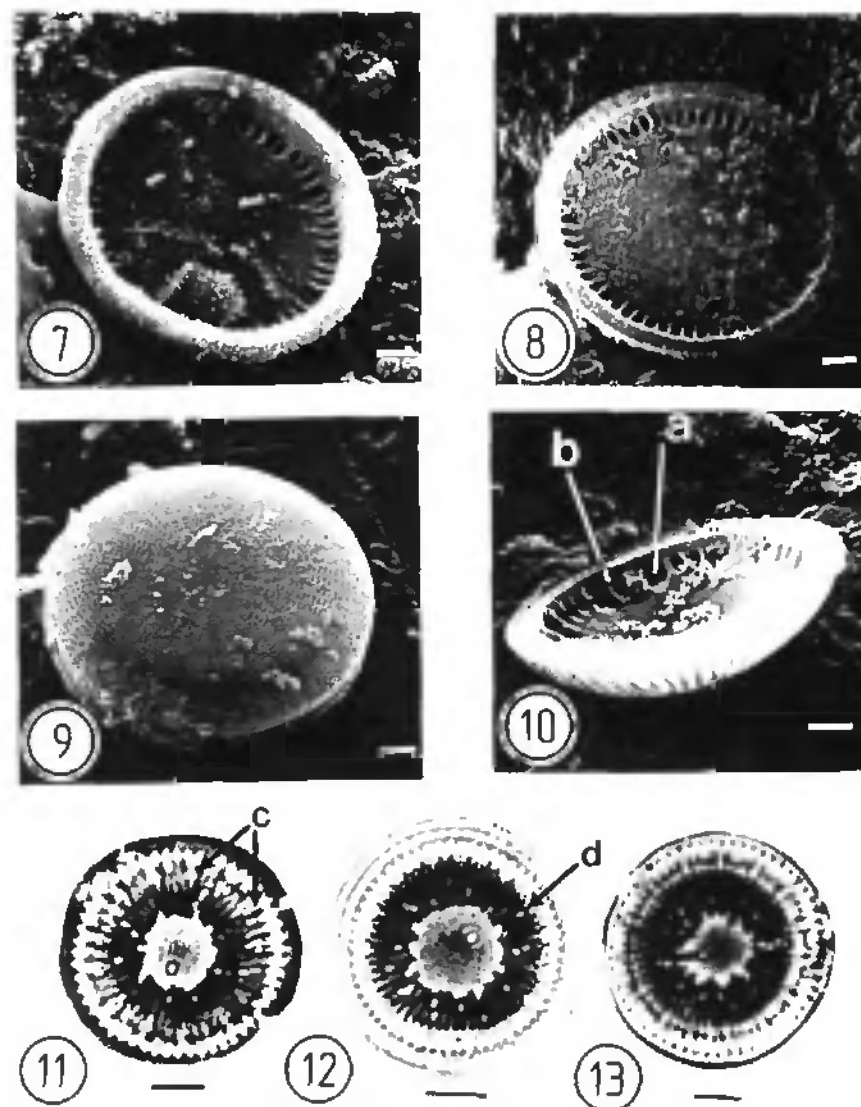


Planche 2: Figures 7 à 13: *Cyclotella costei* nov. sp. Lac Paladru.

7-8: vues internes en M. E. B. (échelle 1 μ m).

9: vues externes en M. E. B. (échelle 1 μ m).

10: vues internes en M. E. B., montrant les alvéoles complexes (a) et les piliers épais (b). (échelle 1 μ m).

11-13: vues en microscopie optique, montrant les lignes plus claires (c) et les terminaisons des lignes courtes (d). (échelle 1 μ m).

Introduction

Cette espèce très abondante dans le petit lac eutrophe Le Loclat, près de Neuchâtel (Suisse), a été signalée sous le nom de *Cyclotella* sp. 222 [2], tant dans le plancton que dans la zone littorale. *C. wuethrichiana* a été retrouvée à l'état subfossile dans les sédiments anthropiques non lessivés du site archéologique Bronze-final de Champ-prévèyres sur le lac de Neuchâtel (Suisse). Elle y forme en codominance avec *Achnanthes minutissima* Kutz., *Amphora pediculus* (Kutz.) Grun. et *Cymbella* spp., un assemblage caractéristique. Dans le site archéologique des Grands Roseaux sur le lac de Paladru (France), datant lui aussi du Bronze-final, nous l'avons également retrouvée en grande quantité aux niveaux GR3 23 et 27 cm. Cette espèce était présente à des taux nettement plus faibles aux autres niveaux, ce qui confirmerait les conditions eutrophes de dépôt de ces sédiments anthropiques. Dans les sédiments plus anciens de ce lac ainsi que dans ceux du lac de Neuchâtel dès l'Allerod, elle est présente accidentellement.

A. Hakansson (com. pers.) signale qu'elle a aussi trouvé *C. wuethrichiana* dans un profil sédimentologique en Suède, en compagnie de *C. kützingiana* Thwaites et de ses variétés.

Description

Frustule discoïde de 1,2 à 1,5 μm de hauteur, de 3,5 à 6,5 μm de diamètre. Valve régulièrement hémisphérique. La zone marginale est occupée par 18 à 26 stries en 10 μm , alternativement longues et courtes (environ $\frac{1}{4}$ du rayon de la valve). Les stries sont formées de deux lignes d'aréoles grossières encadrant sur le manteau une ligne d'aréoles plus délicates (7 à 8 aréoles en 1 μm radialement). L'aire centrale irrégulièrement définie, est bosselée et porte parfois des cavités (Flecken d'après Hustedt) désordonnées qui souvent, empêchent en microscopie optique de distinguer le processus renforcé excentré. Ce dernier s'observe cependant très facilement en microscopie électronique et sur des individus érodés (pl. 3, fig. 18 et 19 b). Les interstries sont légèrement proéminentes. Tous les 3 à 6 interstries s'ouvrent vers l'extérieur des processus renforcés marginaux. Sur la courbure de la valve débouche le conduit d'un processus labié bien visible en vue interne (pl. 1, fig. 5 c). Tous les processus ont deux renforts. A première vue, l'ouverture des chambres marginales est plutôt régulière, ce qui rapprocherait cette espèce du groupe de *C. kützingiana*; la petitesse des individus rencontrés ne nous permet pas d'affirmer cela car parfois les piliers portant les processus renforcés marginaux semblent plus grêles (pl. 1, fig. 5). Ce dernier caractère ramènerait cette espèce plutôt du côté du groupe *C. comta*. Le bord marginal est épais et nous n'y trouvons pas d'épines.

Diagnose latine

Valva plana circularis 1,2–1,5 μm in altitudinem ac 3,5–6,5 μm in diametro patens et 18–26 striis ornata alternis longioribus brevioribusque $\frac{1}{4}$ radii patentibus. Area cen-

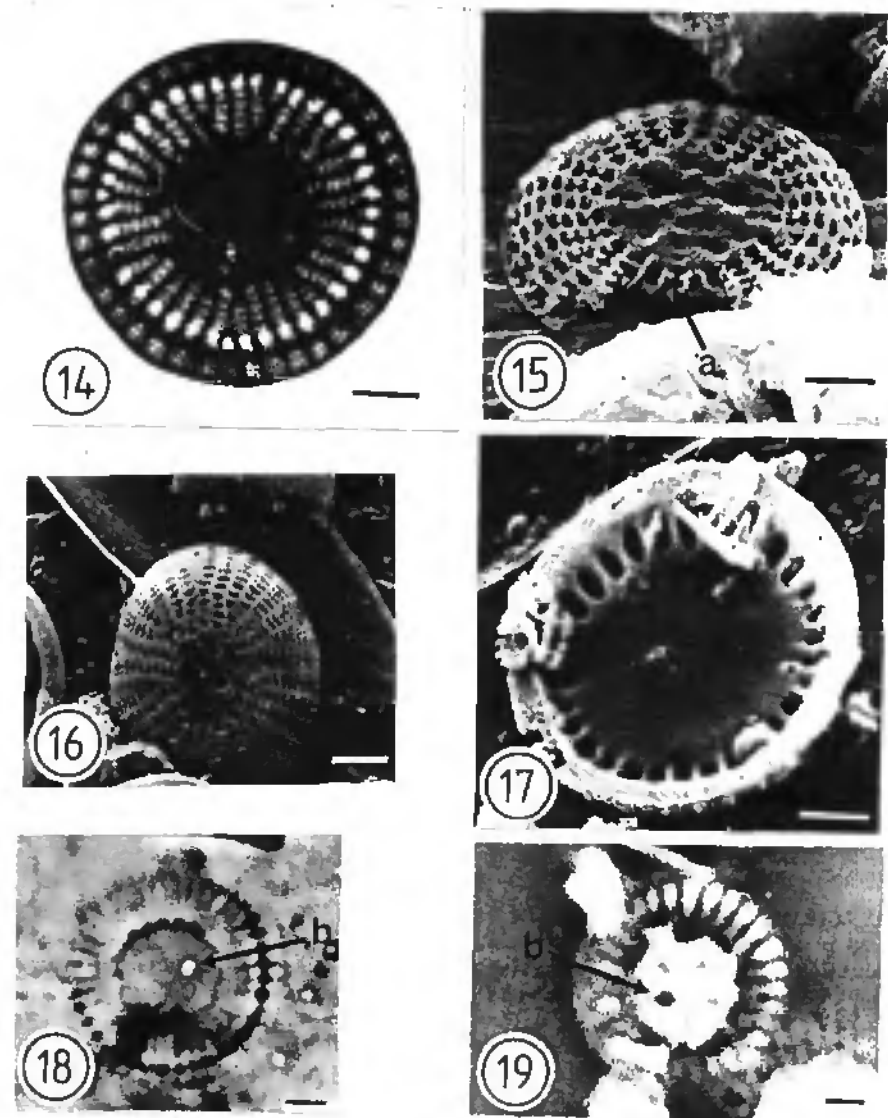


Planche 3: Figures 14 à 19: *Cyclotella wuethrichiana* nov. sp.

- 14: vue valvaire en M. E. T. (échelle 1 μm).
 15: vue externe d'un frustule érodé et brisé montrant les chambres internes (a). (échelle 1 μm).
 16: vue externe d'un frustule érodé. (échelle 1 μm).
 17: vue interne en M. E. B. de frustule érodé. (échelle 1 μm).
 18 et 19: vues en microscopie optique d'individus érodés laissant apparaître nettement le processus renforcé excentrique. (échelle 1 μm).
 Figs. 14 et 16: Le Loclat. Figs. 15, 17 et 19: Lac Paladru.
 Fig. 18: Lac de Neuchâtel

tralis non aequaliter finita, gibbera et alveolis sine ordine positis cavata. In S. E. M. ductae sunt striae ab areolarum rudium duobus agminibus in medio minorum areolarum agmen praebentibus (7-8 areolas 1 μm in radio patentes numeratas). Ful-toportulae in margine positae interstriam quamque 3-5 apertae sunt mediocriter proeminentes. Quoque adest fultoportula e centro posita et rimoportula in extrema margine posita. Marginales cellae aequales aperturas internas praebere videntur. Nulla marginalis spina.

Typus: praeparatio F. Straub N° 631 bis in Collect. ADLAF Museum Historiae Naturalis, Paris.

Iconotypus: figurae nostrae pl. 1, figs. 1, 2, 4, 6 et pl. 3, fig. 14 et 16.

E lacu «Le Loclat» nominato (CH).

Résumé

Lors d'études écologiques et paléocéologiques sur le littoral de deux lacs alcalins (Lac Paladru, France et Le Loclat, Suisse), les auteurs décrivent deux nouvelles petites Cyclotelles: *Cyclotella costei* nov. sp. et *Cyclotella wuethrichiana* nov. sp.

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden zwei neue kleine Arten der Gattung *Cyclotella* beschrieben, die während ökologischen und paläoökologischen Studien im Litoral der zwei alkalischen Seen Lac Paladru (Frankreich) und Le Loclat (Schweiz) gefunden wurden. Diese beiden neuen Arten werden *Cyclotella costei* nov. sp. und *Cyclotella wuethrichiana* nov. sp. benannt.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement Madame Hakansson pour ses conseils. Monsieur Gautier nous a facilité l'utilisation des appareillages du Centre de Microscopie Electronique de l'Université de Lausanne. Le centre de Microscopie Electronique de l'Institut de Zoologie de l'Université de Neuchâtel a mis à notre disposition ses microscopes électroniques. Monsieur Olivier Reymond a réalisé certaines photographies en microscopie électronique et Monsieur Jean Frey a composé les diagnoses latines. Qu'ils trouvent ici l'expressions de nos très vifs remerciements.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 Serreyssol K. K., 1984. *Cyclotella iris* Brun & Héribaud. In: D. G. Mann (Ed.): Proc. of the Seventh Int. Diatom Symp., Philadelphia 1982, Koeltz Sc. Books, Königstein: 197-211.
- 2 Straub F. 1986. On the Occurrence of Several Species of *Cyclotella* in the Epilithon of the Swiss Jura. In Ricard M. (Ed.): Proceedings of the Eighth Int. Diatom Symposium, Paris 1984, Koeltz Sc. Books, Königstein.
- 3 Perraudin R. 1986. Etude algologique: les Diatomées du lac de Gérunde. Ecoulement et qualité des eaux. Rapport Commune de Sierre, 30 pp et 4 annexes.