

Les algues 1

ANDRÉ ILTIS

Généralités

Les algues sont des organismes chlorophylliens se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, des lacs, des mares, des eaux courantes et des eaux thermales, on en trouve également sur les rochers humides et sur la terre. Exceptionnellement, elles peuvent être endophytes de tissus animaux ou végétaux. L'air, la lumière et des sels dissous sont, en plus de l'eau, nécessaires à leur développement.

Groupées avec les champignons dans la division des Thallophytes, « les algues constituent en réalité un vaste ensemble hétérogène d'embranchements très distincts les uns des autres et n'ayant entre eux que peu de caractères communs » (FELDMANN, 1963). La distinction entre ces différents embranchements d'algues est faite d'après des caractères d'ordre cytologique et biochimique ainsi que des différences de structure et de mode de reproduction. En dehors de nombreuses formes unicellulaires, on trouve des algues pluricellulaires formant des thalles sans feuilles, ni tiges, ni racines, ni vaisseaux conducteurs.

Les algues d'eau douce comprennent un peu plus de 1100 genres et environ quatorze mille espèces répartis dans le monde. Ce sont des organismes très cosmopolites et la plus grande partie des espèces existantes a une distribution géographique très étendue. Ainsi la flore algale connue des régions intertropicales d'Afrique comporte une proportion importante (plus de 50 % le plus souvent) d'espèces que l'on retrouve dans les autres régions du globe.

L'ensemble des organismes végétaux généralement microscopiques vivant librement en pleine eau, constitue le phytoplancton. On peut distinguer d'après la taille des algues présentes :

l'ultranannoplancton	de moins de 2 μ ,
le nannoplancton	de 2 à 20 μ ,
le microplancton	de 20 à 200 μ ,
le macroplancton	de 200 à 2000 μ .

Les organismes de 100 à 200 μ sont parfois groupés sous le terme de mésoplancton. Plus simplement, on peut distinguer le plancton tamisé (ou netplankton pour les anglophones) pour les tailles supérieures à 20 μ par opposition avec le nannoplancton, de taille inférieure.

Les algues fixées ou libres vivant sur le fond ou près des rives sont groupées sous le vocable d'algues benthiques ou phytobenthon. Le terme de périphyton est aussi employé pour désigner les organismes qui se développent sur les objets submergés (plantes aquatiques, branches, pierres, etc.).

On peut aussi désigner le plancton d'après le milieu écologique dont il est issu ; on distingue ainsi le limnoplancton, ou plancton pélagique lacustre, de l'héléoplancton qui est lié à la zone littorale et se développe dans les mares et les étangs. Le potamoplancton peuple les fleuves et les rivières tandis que l'haloplancton est inféodé aux eaux salées.

Les algues sont divisées en 6 grands phylums d'après la nature des pigments et des réserves cellulaires ; ce sont les Cyanophytes, les Chlorophytes, les Euglénophytes, les Chrysophytes, les Rhodophytes et les Pyrrophytes.

LES CYANOPHYTES, dénommées aussi Algues bleues ou Schizophytes ou encore Myxophytes, ne possèdent pas de noyau à membrane définie (ce sont des Procaryotes, à l'inverse des autres groupes qui sont des Eucaryotes) ni de chromatophores. Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : chlorophylle verte a et c, phycocyanine bleu-vert, phycoérythrine rouge et pigments d'accompagnement, β carotène et xanthophylles jaunes ou ochracés. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle.

Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffus dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène. Le mélange de ces pigments dans le cytoplasme donne en général la teinte bleu-vert caractéristique des Cyanophycées mais on rencontre aussi des teintes vert-noirâtres, brunâtres, rouges, bleues ou même violettes. Les réserves cellulaires sont constituées par un corps très voisin du glycogène dispersé en particules très petites. Elles prennent une teinte acajou au contact d'une solution iodo-iodurée. Les Cyanophytes ne possèdent pas de formes flagellées. C'est un groupe d'algues très abondant dans les eaux douces africaines.

LES CHLOROPHYTES sont comme tous les groupes suivants des eucaryotes à noyau bien individualisé ; elles possèdent des plastes d'un vert franc contenant de la chlorophylle a et b associée à de l' α et β carotène et des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial colorable en bleu par la solution

iodo-iodurée. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille. Les Chlorophytes qui groupent environ six cents genres et plus de huit mille espèces dont les quatre cinquièmes environ vivent en eau douce, sont bien représentées dans les eaux soudaniennes.

LES EUGLÉNOPHYTES sont des algues unicellulaires et flagellées, le plus souvent mobiles, avec des plastes verts contenant de la chlorophylle a et b associée à du β carotène et des xanthophylles. Certaines espèces emmagasinent de l'hématochrome (astaxanthine) et prennent une teinte rouge qui masque la teinte verte des plastes. Les réserves sont constituées de grains de paramylon, substance non colorable par la solution iodo-iodurée de lugol, mais présentant en lumière polarisée le phénomène de la croix noire tout comme l'amidon véritable. Ce paramylon est extraplastidial. Le ou les fouets sortent d'une fossette apicale ou subapicale.

Les Euglénophytes sont présentes dans les eaux soudaniennes plus particulièrement dans les milieux riches en substances organiques.

LES CHRYSOPHYTES OU CHROMOPHYTES sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaunes ou vert-jaunâtres. Elles ne possèdent jamais d'amidon et ne se colorent pas au contact de l'iode. Il existe de nombreuses formes flagellées possédant pour la plupart deux fouets inégaux. Ce groupe se divise en cinq classes :

— *Les Chrysophycées* à plastes jaunes ou bruns renfermant des chlorophylles a et c, du β carotène et diverses xanthophylles, sont des organismes unicellulaires ou coloniaux, rarement filamenteux. Elles forment souvent des logettes ou kystes siliceux plus ou moins sphériques, percés d'un pore fermé par un bouchon.

— *Les Xanthophycées* possèdent des plastes vert-jaune ou vert à peine jaunâtre où les chlorophylles a et c sont associées à plusieurs xanthophylles et du β carotène, les pigments bruns étant absents. Leur teinte est souvent très proche de celle des Chlorophytes mais l'absence d'amidon permet de séparer facilement ces deux groupes. Plusieurs formes constituent des kystes siliceux, globuleux, formés de deux valves de taille égale ou inégale se séparant à la germination par une ligne équatoriale.

— *Les Diatomées ou Diatomophycées (ou Bacillario-phycées)* sont des algues unicellulaires ou coloniales, quelquefois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle a et c, du β carotène et plusieurs xanthophylles. Elles sont caractérisées par leurs parois cellulaires imprégnées de silice formant une logette bivalve appelée frustule. Celui-ci a l'aspect d'une boîte surmontée d'un couvercle, les deux valves sont ornementées de stries, pores, aiguillons, épines qui ont un grand rôle dans la systématique de ces organismes.

Si Chrysophycées et Xanthophycées sont rares dans les eaux soudaniennes, les Diatomées composent une part importante de la biomasse algale de ces milieux.

— *Les Phéophycées* sont des algues brunes toujours filamenteuses ou thalloïdes, jamais unicellulaires. Elles sont surtout marines et ne sont représentées en eaux douces que par cinq genres et cinq à six espèces fort rares. Elles possèdent des plastes bruns contenant des chlorophylles a et c, du β carotène et des xanthophylles (surtout de la fucoxanthine et de la diatoxanthine). Elles ne produisent jamais d'amidon et les matières de réserve consistent en laminarine et en mannitol. La reproduction se fait par des zoosporocystes uni ou pluriloculaires. Les Phéophycées n'ont pas été signalées jusqu'à présent dans les eaux soudaniennes.

— *Les Raphidophycées* (ou Chloromonadophycées) sont toujours des formes unicellulaires, solitaires, nageant à l'aide de deux flagelles de taille inégale. Leurs pigments sont constitués par de la chlorophylle a, du β carotène et trois xanthophylles. Cette classe ne comprend qu'une vingtaine d'espèces d'eau douce dont aucune n'a jusqu'à présent été signalée, semble-t-il, dans les eaux soudaniennes.

LES RHODOPHYTES sont le plus souvent des algues marines et leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents. Leurs pigments sont constitués par des chlorophylles a et d, des α et β carotènes, des xanthophylles et des biliprotéines (Phycérythrine et Phycocyanine). Les réserves sont constituées de rhodamylon ou « amidon floridéen », amidon particulier toujours extraplastidial prenant une teinte rougeâtre au contact de l'iode. En eau douce, la couleur des Rhodophytes est bleu-vert, rouge-violacé, très souvent vert sale ou vert noirâtre. Il n'existe pas de formes flagellées.

Ce groupe n'existe qu'à l'état de rareté dans les eaux soudaniennes.

LES PYRRHOPHYTES ont des plastes bruns, plus rarement rouges ou bleu-vert contenant des chlorophylles a et c, du β carotène et parfois des biliprotéines. Les formes unicellulaires biflagellées sont très nombreuses. Les réserves sont constituées par de l'amidon extraplastidial. On distingue deux classes :

— *Les Cryptophycées*, toutes unicellulaires, à fouets légèrement inégaux, à insertion latérale et dirigés dans le même sens, sortant d'un cytopharynx.

— *Les Dinophycées, ou Péridiniens* à fouets dirigés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, l'un longitudinal, l'autre transversal. Elles ont un très gros noyau à structure filamenteuse.

On peut résumer en un tableau les caractéristiques des différentes classes d'algues au point de vue coloration et morphologie (d'après BOURRELLY, 1966) :

- | | |
|--|--------------|
| 1. Pigments diversement colorés dispersés dans le cytoplasme, rarement vert-pur, pas de plaste | CYANOPHYTES |
| 1. Pigments portés par un ou plusieurs plastes | |
| 2. Plastes d'un vert franc | |
| 3. Amidon dans les plastes colorable par l'iode | CHLOROPHYTES |

3. Paramylon hors des plastes non colorable par l'iode	EUGLÉNOPHYTES
3. Ni amidon, ni paramylon	
4. Cellules non flagellées ou flagellées à petit nombre de plastes verts	XANTHOPHYCÉES
4. Cellules dans une logette siliceuse bivalve	DIATOMOPHYCÉES
2. Plastes jaune-vert, bleus, rouges bruns ou jaunes	
3. Pas d'amidon	
4. Sporangies pluri- et uniloculaires	PHÉOPHYCÉES
4. Pas de sporangies pluri et uniloculaires	
5. Loge siliceuse à 2 valves	DIATOMOPHYCÉES
5. Pas de loge siliceuse bivalve	
6. Plastes jaunes ou bruns	CHRYSTOPHYCÉES
6. Plastes jaune-vert	XANTHOPHYCÉES
3. De l'amidon véritable	
4. Cellules nageuses à sillon équatorial et longitudinal	DINOPHYCÉES
4. Cellules nageuses de forme différente	CRYPTOPHYCÉES
3. De l'amidon floridéen, pas de cellules nageuses	RHODOPHYTES

Cytologie

L'étude des structures cellulaires algales a progressé de façon considérable depuis deux décades grâce à l'utilisation du microscope électronique. La connaissance de ces structures a permis entre autres de déceler les relations existant entre différents groupes d'algues et résoudre certains problèmes de classification. Nous ne donnerons ici que les traits les plus importants de la cytologie algale (fig. 1).

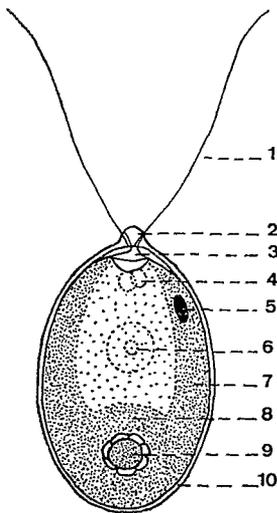


Fig. 1 : Schéma d'une cellule de *Chlamydomonas*.

1, flagelle ; 2, papille membranaire ; 3, papille cytoplasmique ; 4, vacuoles contractiles ; 5, stigma ; 6, noyau et nucléole ; 7, chloroplaste en coupe optique longitudinale ; 8, partie basale du plaste ; 9, pyrénoïde entouré d'amidon ; 10, membrane.

(D'après BOURRELLY, 1966).

Paroi cellulaire : de nature glucidique (cellulose et composés peptiques), elle entoure la matière vivante de la cellule. Elle peut être absente chez certaines algues flagellées qui ne possèdent qu'une enveloppe mince formée par la pellicule externe du cytoplasme. Malgré la nature cytoplasmique de cette pellicule, celle-ci montre parfois des ornements disposés en réseau ou en spirale (par exemple chez les Euglénophycées du genre *Phacus*).

La paroi glucidique est généralement formée de plusieurs couches, la couche externe est parfois mucilagineuse. La paroi peut s'imprégner de substances minérales : silice hydratée chez les Diatomophycées, carbonate de calcium chez diverses Chlorophytes ; des ornements en forme d'écailles ou plus complexes peuvent apparaître chez certaines Chrysophytes (écailles chez *Synura* par exemple).

Noyau : il occupe en général le centre de la cellule et comprend un nucléole. Il est parfois suspendu au centre de la cellule par des travées cytoplasmiques, comme chez *Spirogyra* ou chez les Diatomées naviculoïdes. Chez les genres à cellules à plusieurs noyaux (chez les Rhodophytes principalement), les noyaux sont en général situés dans le cytoplasme entre les vacuoles et les plastes. En général, la structure ne diffère pas de celle du noyau des cellules de plantes supérieures, mais il est plus petit.

Plastes : ils sont porteurs de la chlorophylle et des pigments accessoires. Ils sont de formes très variées mais caractéristiques et constantes pour chaque espèce : disques, plaques pariétales, rubans spiralés ou non, fourreaux, forme réticulée, étoilée, branchue, etc. On distingue en gros deux types : les plastes focaux, étoilés et en position axiale, comportant une partie centrale d'où partent des rayons plastidiaux dont les extrémités s'appliquent contre la paroi cellulaire (c'est le type considéré comme le plus primitif) et les plastes pariétaux de formes variées plaqués contre la paroi cellulaire. Ils sont constitués d'un empilement de minces membranes doubles, les thylacoïdes, groupés en nombre variable suivant les groupes d'algues (un chez les Rhodophytes, deux chez les Cryptophycées, trois chez les Euglénophytes et Dinophycées, nombreux chez les Chlorophytes) pour former les lamelles plastidiales. Le plaste est entouré d'une enveloppe complexe. Chez beaucoup d'algues, il renferme un pyrénoloïde, masse protéique formée de lamelles protéiques en relation avec celles plus minces du plaste. Le pyrénoloïde est chez les Chlorophytes entouré de grains d'amidon.

Chez certaines formes flagellées, une partie du plaste subit une différenciation localisée constituant le stigma ; celui-ci est formé par l'accumulation de granulations rouge-orangé chargées de carotène ; c'est un organe photosensible orientant les déplacements phototactiques de la cellule. Dans certains groupes (Euglénophytes, quelques Xanthophycées et Dinophycées), le stigma est indépendant du plaste.

Flagelles : les zoospores et zoogamètes (Zoïdes) qui se forment au cours de la multiplication de certaines algues et les cellules végétatives d'un certain nombre d'espèces sont munies de flagelles ; ceux-ci sont insérés sur un mastigosome ou blépharoplaste, les mastigosomes étant unis entre eux et avec le centrosome situé contre le noyau par un fin filament.

La structure des flagelles est uniforme : ils sont constitués d'une partie axiale avec deux microtubules et d'une partie périphérique avec neuf paires de microtubules. Les flagelles peuvent être lisses ou présenter deux rangées de fibrilles très fines appelées mastigonèmes : ils ont alors un aspect plumeux et sont appelés pleuronématés. Il peut y avoir une seule rangée de mastigonèmes (disposition stichonématée).

Leur morphologie et leur disposition sont très variées mais caractéristiques de chacun des groupes d'algues.

Les Chlorophytes flagellés possèdent deux, quatre ou huit flagelles égaux et lisses, les Chromophytes ont en général deux flagelles inégaux, l'un pleuronématé, l'autre nu. Chez les Dinophycées, le flagelle longitudinal est pleuronématé tandis que l'horizontal est stichonématé. Chez les Euglénophytes existent deux flagelles pleuronématés de longueur très inégale ; l'un des deux reste très souvent très court et se soude par son extrémité à l'autre.

En règle générale, on parlera de cellule stéphanocontée lorsque les flagelles nombreux forment une couronne apicale, acrocontée lorsqu'ils sont peu nombreux mais situés à l'apex de la cellule, pleurocontée lorsqu'ils sont latéraux, isocontée lorsque les deux flagelles présents sont égaux et de même structure et hétérocontée lorsqu'ils sont différents.

Appareil de Golgi : il existe dans un certain nombre d'algues sous forme de dictyosomes, petits corps ovoïdes formés de deux parties, l'une chromophile, l'autre chromophobe ; ils sont généralement groupés autour du noyau.

Chondriome : il se présente sous forme de mitochondries granuleuses ou de chondriocotes filamenteux. Il est présent dans toutes les cellules algales sauf chez les Cyanophytes.

Vacuoles : le cytoplasme contient généralement des vacuoles de disposition et de volume variables ; elles sont par exemple de volume réduit chez de nombreuses formes unicellulaires flagellées. Le suc vacuolaire est riche en substances variées : sels de potassium, pigments dissous. Certaines substances comme l'oxalate de calcium ou des cristalloïdes protéiques peuvent cristalliser dans les vacuoles. Chez beaucoup d'algues unicellulaires flagellées, il existe des vacuoles pulsatiles ayant un rôle excréteur et régulateur de la pression osmotique. Dans certains cas, il existe comme chez les Protozoaires, des vacuoles digestives.

Inclusions lipidiques : des gouttelettes d'huile sont fréquentes dans le cytoplasme de beaucoup d'algues, particulièrement chez les groupes qui n'élaborent pas d'amidon. Chez les Chlorophytes, les inclusions lipidiques sont surtout abondantes dans les formes de résistance (kystes) ou lorsque les conditions de milieu sont défavorables à la croissance et à la multiplication. Des pigments caroténoïdes dissous colorent souvent en jaune-orangé ou rouge ces inclusions.

La cytologie des Cyanophytes présente des caractéristiques particulières. Ce sont des Procaryotes qui ne contiennent pas de noyau mais un corps central ou centroplasme non séparé du reste du cytoplasme par une membrane nucléaire et ne possèdent pas de chromosomes individualisés. La membrane cellulaire comprend trois à quatre couches : la plus profonde mince et molle, adhère directement au cytoplasme ; la membrane pecto-cellulosique est souvent doublée par une gaine mucilagineuse plus ou moins importante riche en caroténoïdes. En dehors du centroplasme, la cellule ne contient pas de plastes bien individualisés mais une partie cytoplasmique périphérique colorée contenant les pigments : le chromatoplasme. Dans celui-ci, les observations au microscope électronique ont mis en évidence la présence de thylacoïdes, lamelles doubles ayant une triple fonction : photosynthèse, respiration et fixation de l'azote. La cellule d'algue bleue ne possède pas de mitochondries ni d'appareil de Golgi. Beaucoup de Cyanophycées planctoniques possèdent des vacuoles gazeuses (ou pseudovacuelles) facilement reconnaissables au microscope par leur teinte noirâtre et leur contour irrégulier. Chez de nombreuses Cyanophycées filamenteuses enfin, il existe des cellules spéciales à membrane épaisse, à contenu cellulaire homogène et très clair : les hétérocystes ; un épaississement interne existe à l'un ou aux deux pôles de la cellule en contact avec le filament. Leur rôle dans le filament est encore mal connu, mais des auteurs de plus en plus nombreux leur attribuent un rôle important dans le métabolisme de l'azote atmosphérique.

Les Cyanophycées se reproduisent par simple division végétative et par des spores de types divers.

Morphologie

Les algues se présentent sous un nombre de formes très variées, depuis le type unicellulaire jusqu'aux filaments ramifiés. On peut ainsi distinguer :

LES FORMES UNICELLULAIRES

Type rhizopodial (fig. 2 et 3).

Les formes rhizopodiques n'ont pas de parois cellulaires rigides et émettent des pseudopodes comme les amibes ; ce sont en général des cellules isolées, nues ou contenues dans une thèque d'où sortent les pseudopodes ; ceux-ci peuvent être courts ou effilés ou ramifiés, ou présentent un axe différencié.

Certaines espèces peuvent émettre des pseudopodes pour capturer et ingérer de petites proies.

Les formes rhizopodiques sont relativement rares chez les algues d'eau douce et ne se rencontrent que chez les Chrysophytes.

Type coccoïde (fig. 4 et 5).

Les cellules immobiles sont entourées d'une membrane ferme et bien définie : on trouve des formes simples sphériques ou subsphériques, *Synechocystis* chez les Cyanophycées, *Chlorella* chez les Chlorophycées par exemple. D'autres formes sont moins simples (triangulaires, discoïdes, quadrangulaires, allongées), pour aboutir à des cellules beaucoup plus compliquées : ainsi les Diatomées (Chrysophytes) sont constituées par une cellule circulaire ou allongée entourée d'une thèque ornementée (frustule) en deux valves s'emboîtant l'une dans l'autre et les Desmidiacées (Chlorophytes) de deux demi-cellules identiques reliées entre elles par un isthme, parfois très étroit, la paroi de la cellule étant ornementée d'épines, côtes, appendices brachiaux, etc.

Type flagellé ou monadoïde (fig. 6 et 7).

Les cellules en général solitaires et mobiles possèdent 1, 2, rarement 3 (2 fouets égaux et un appendice flagelliforme) ou 4 fouets. Certaines Euglénophytes (*Trachelomonas*) ont un long flagelle qui traverse par un pore surmonté d'un col une thèque le plus souvent ornementée d'épines, de verrues, et de plis. Chez les Dinophycidés, les flagelles sont placées dans deux sillons placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre ; la paroi de la cellule est soit formée d'une simple membrane périplastique, soit d'une thèque formée de plaques celluloseuses agencées en deux régions : épïcône et hypocône de part et d'autre du sillon flagellaire transversal. Chez certaines Chrysophycées enfin (*Mallomonas*), la cellule flagellée à deux fouets très inégaux a un périplaste recouvert de fines écailles siliceuses.

Ce type morphologique n'existe pas comme forme végétative chez les Cyanophytes, les Rhodophytes et les Phéophytes.

LES FORMES COLONIALES

On peut distinguer deux sortes de colonies : les colonies mucilagineuses et les cénobes.

Les colonies mucilagineuses (fig. 8 à 10).

Les colonies sont constituées de cellules groupées sans forme définie dans une gelée englobant l'ensemble ; ce type de groupement est assez fréquent chez les Cyanophytes (*Microcystis*, *Aphanothece*) et chez les Chlorophytes (*Tetraspora*, *Kirchneriella*, *Dictyosphaerium*). Parfois chaque cellule de la colonie possède une gaine gélatineuse propre, homogène ou stratifiée, l'ensemble étant inclus dans un mucilage général (*Gloethece*, *Chroococcus*). Il existe des colonies constituées de cellules flagellées (*Eudorina*, *Pandorina*, *Volvox*) et qui sont mobiles ; les cellules sont incluses dans une enveloppe gélatineuse traversée par les flagelles qui battent librement à l'extérieur.

Les cénobes (fig. 11 à 13).

Ce sont des colonies immobiles ayant toujours une structure régulière. Ce type de forme est fréquent chez les Chlorophytes, en particulier chez les

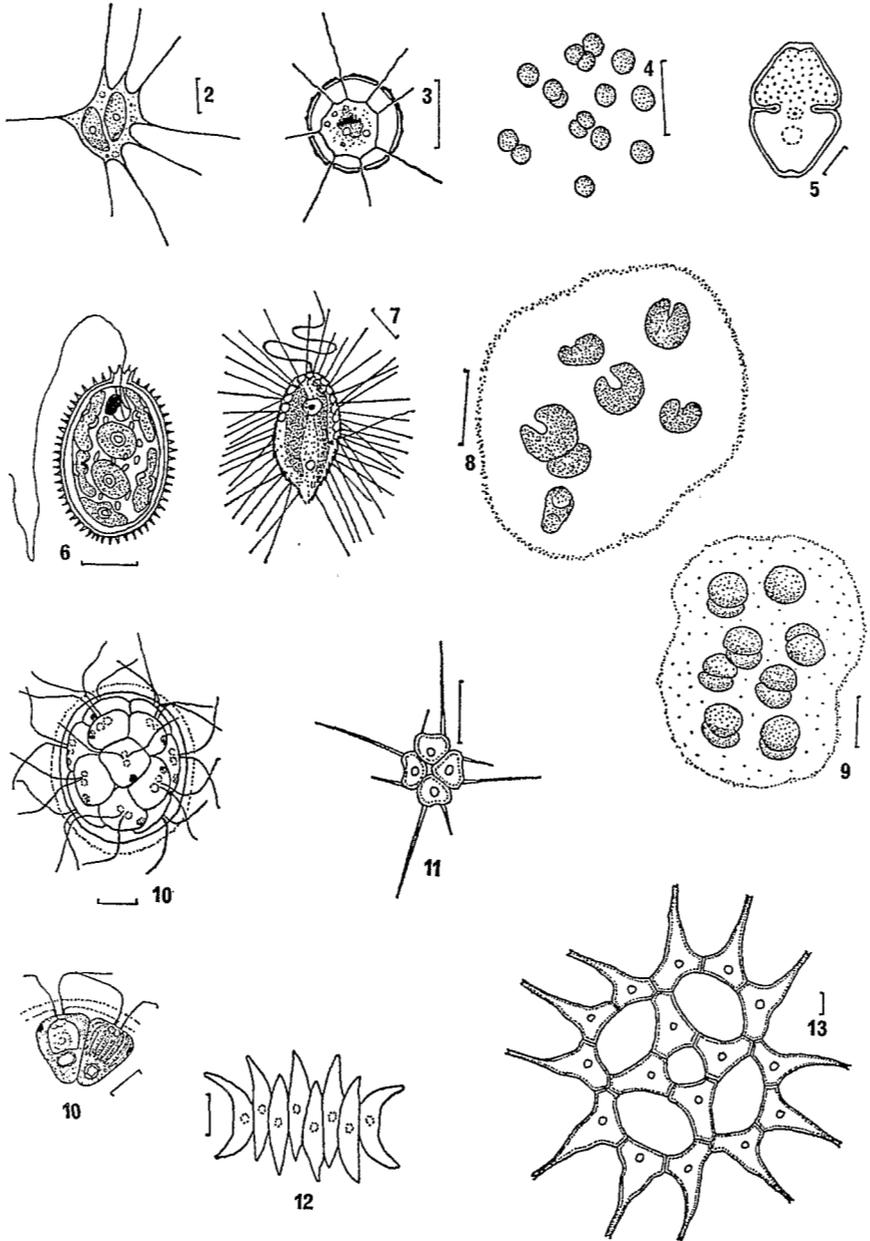


PLANCHE I. — Figs 2 et 3 : Type rhizopodial : *Rhizochrysis doleinii* et *Stephanoporos regularis*. 4 et 5 : Type coccoidé : *Synechocystis aquatilis* et *Cosmariium granatum* 6 et 7 : Type flagellé : *Trachelomonas hispida* var. *coronata* et *Mallomonas mirabilis*. 8 à 10 : colonies mucilagineuses : *Kirchneriella obesa*, *Chroococcus limneticus* et *Pandorina morum* (colonie entière et détail de deux cellules). 11 à 13 : cénobes : *Tetrastrum heteracanthum*, *Scenedesmus acuminatus* et *Pediastrum clathratum* (2 d'après Fott ; 3 d'après PASCHER ; 7 d'après CONRAD ; 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 d'après BOURRELLY).

N. B. : sur cette planche et sur les suivantes, le tiret situé à côté des figures représente 10 μ .

Scenedesmacées (*Tetrastrum*, *Coelastrum*, *Scenedesmus*). Parfois les cellules marginales n'ont pas le même aspect que celles de l'intérieur (*Pediastrum*, *Scenedesmus*). Des méats peuvent exister entre les cellules (*Hydrodictyon*, certaines espèces de *Scenedesmus*).

LES FORMES FILAMENTEUSES

Des filaments simples non branchus existent chez un grand nombre d'espèces d'algues d'eau douce. Ils peuvent être libres ou agrégés en colonies ou même attachés du moins au début de leur développement (chez *Oedogonium* par exemple où la cellule basale secrète un disque de fixation). Chez les Cyanophytes, les filaments, ou trichomes, sont formés soit de cellules végétatives seules toutes identiques, sauf la cellule terminale qui est modifiée (fig. 14), soit de cellules végétatives avec hétérocystes et spores de reproduction (*Anabaena*) (fig. 15). Les trichomes peuvent être droits, flexueux ou spiralés ; dans certains genres, ils sont munis d'une gaine mucilagineuse. Les filaments agrégés en colonies peuvent se grouper dans une gelée commune.

Des filaments ramifiés existent aussi dans de nombreux groupes. Chez les Cyanophytes, on distingue trois types de ramifications : les ramifications vraies où une cellule se cloisonne parallèlement à l'axe du filament et donne naissance à un rameau latéral (*Hapalosiphon*, *Stigonema*) (fig. 16) ; les ramifications fausses (fig. 17) où une cellule se multiplie transversalement plus rapidement que la gaine du trichome, le filament forme alors une boucle qui perce la gaine latéralement, puis se coupe à son sommet donnant naissance à deux fausses ramifications (*Scytonema*). Dans le troisième cas (fig. 19), un hétérocyste sert de point de rupture et le filament qui s'allonge sort latéralement à ce point (*Tolypothrix*). Parfois ces ramifications ont une base en V ou en Y (*Mastigocladus*) (fig. 18).

Chez les autres groupes, les rameaux naissent sur une cellule basale située le long du filament.

Dans les formes les plus évoluées, il y a formation de protothalles ou nématothalles avec filaments rampants et filaments dressés ; dans certains cas, les filaments nématothalliens sont dépourvus de cloisons transversales et ont une structure siphonnée ou coenocytique, ils sont alors plurinucléés. Les filaments peuvent enfin aboutir à la formation d'un cladome constitué de cellules axiales centrales entourées d'un manchon de cellules péricentrales avec des liaisons cytoplasmiques intercellulaires. Un cladome est formé d'une partie prostrée sur laquelle se dresse un ou plusieurs filaments à croissance continue porteurs de verticilles de filaments courts à croissance limitée appelés pleuridies. Ce type de structure très particulier existe chez les Charales (Chlorophytes) (fig. 20, 21 et 22).

LES FORMES A STRUCTURE PARENCHYMATEUSE

La multiplication d'une cellule ou d'un filament dans deux ou trois plans aboutit à la formation d'un parenchyme ou d'un pseudoparenchyme constitué d'une assise de cellules (thalle monostromatique) ou de plusieurs (thalles pluristromatiques). Les formes parenchymateuses sont fréquentes chez les algues marines mais plus rares chez les algues d'eau douce (Chaetophoracées).

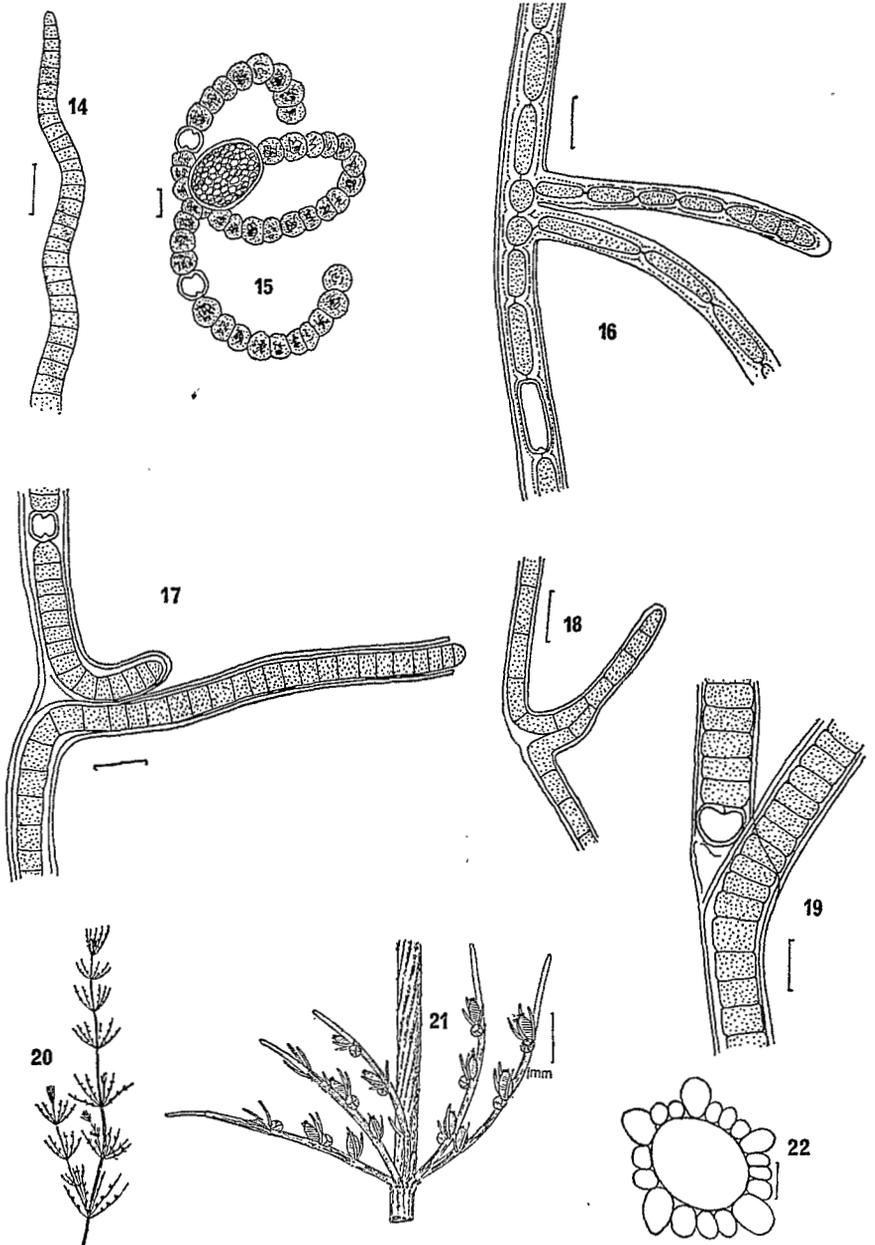


PLANCHE II. — Formes filamenteuses. **14** : *Oscillatoria terebriformis*. **15** : *Anabaena spiroides*. **16** : *Hapalosiphon* sp., ramification vraie par cloisonnement latéral d'une cellule. **17** : *Scytonema* sp. fausse ramification. **18** : *Mastigocladus* sp., ramification avec une base en V renversé. **19** : *Tolypothrix* sp., ramification avec hétérocyste basal. **20** : *Chara vulgaris*, aspect général du cladome. **21** : verticille fructifère du cladome. **22** : coupe de l'axe avec cellules du cortex (14 à 22, d'après BURRELLY).

Récolte et préparation

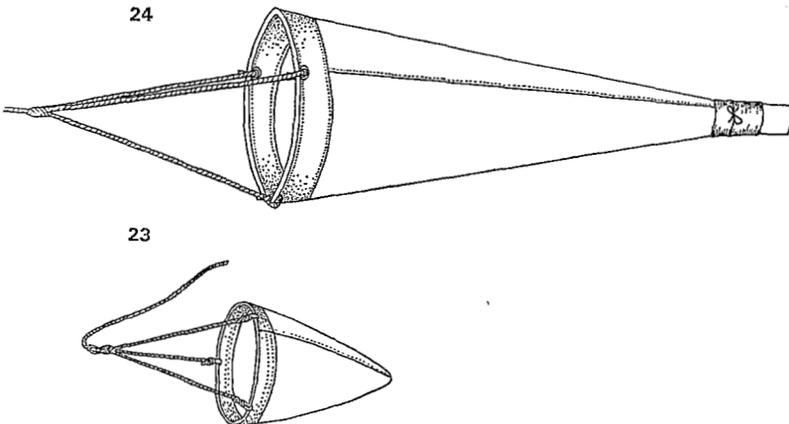
La méthode de récolte des algues sera un peu différente selon qu'il s'agit d'effectuer un inventaire systématique du phytoplancton ou une estimation quantitative.

RÉCOLTE QUALITATIVE

La réalisation d'un bon échantillonnage systématique d'algues dans un milieu aquatique doit comprendre des pêches au filet à plancton, des expressions de végétaux immergés, des grattages sur les pierres, branches ou débris immergés ou simplement humides sur lesquels un enduit gélatineux ou coloré laisse supposer un développement algal.

Le filet à plancton (fig. 23 et 24) est constitué par un cône de soie à bluter de 20 à 25 cm de diamètre sur 25 à 40 cm de haut au sommet légèrement arrondi, l'ouverture du cône étant maintenue par un cercle rigide. Trois fils relient le filet à une ficelle d'une dizaine de mètres destinée à tirer le filet dans l'eau. Le cône de soie à bluter peut être lancé depuis la rive puis retiré vers soi à une vitesse variable selon que l'on veut écumer la surface de l'eau ou au contraire prospecter la couche d'eau sous-jacente ; il peut aussi être remorqué derrière une embarcation se déplaçant à petite vitesse. Dans les endroits profonds, on pourra laisser descendre le filet au fond et faire un trait vertical en le remontant lentement.

Les traits devront être poursuivis jusqu'à ce que le fond du filet contienne quelques millilitres de liquide devenu gluant par concentration des algues,



Figs 23 et 24 : Filets à plancton.

ceux-ci sont récupérés dans une coupelle par retournement du filet ainsi que les algues plaquées sur les parois de la pointe du cône. Le liquide très riche en plancton ainsi obtenu est recueilli dans un tube ou un pilulier étiqueté. Le filet sera ensuite abondamment lavé à l'eau du fleuve ou du lac d'abord, puis au retour à l'eau du robinet.

Pour récolter le périphyton, on arrache une ou deux poignées de végétaux croissant dans l'eau (Potamots, Ceratophylles, etc.) et on les presse fortement en les frottant entre les deux mains dans un seau à demi rempli d'eau pour en détacher les algues épiphytes. Une partie des algues contenues dans le fond du seau sera alors mise en pilulier.

Les algues fixées sur les rochers ou des morceaux de bois, seront grattées au couteau et mises en tubes ou en pilulier avec un peu d'eau.

RÉCOLTES POUR ANALYSE QUANTITATIVE

Elles ont pour but de permettre l'évaluation du nombre et du volume d'algues présents dans le biotope étudié, ces deux éléments étant indispensables à connaître pour estimer la richesse du milieu et apprécier les quantités d'algues disponibles pour l'alimentation des autres organismes existant dans le biotope.

De nombreux appareils ont été conçus pour l'échantillonnage quantitatif du plancton végétal tant dans les océans que dans les eaux douces, qu'il s'agisse de filets de diverses formes, de trappes (trappes de Juday), de filets associés à des moulinets (appareil de Clarke et Bumpus) ou de pompes. En pratique, dans les eaux tropicales soudaniennes, la densité algale est en général suffisamment élevée pour que les échantillonnages quantitatifs puissent être faits par simple prélèvement d'eau. Des piluliers de 100 à 150 ml à large ouverture sont remplis dans un seau d'eau puisée dans le milieu. Si l'on désire faire des prélèvements au-dessous de la couche d'eau de surface, une simple bouteille lestée sera utilisée ; elle permet pratiquement de récolter de l'eau jusqu'à une profondeur maximale de vingt-cinq mètres, ce qui est suffisant pour les hauteurs d'eau existant dans la plupart des collections d'eau des régions soudaniennes. Dans le cas où l'on a affaire à des eaux plus profondes, il faut alors avoir recours aux bouteilles à prélèvement spéciales (type Friedinger ou Ruttner par exemple) beaucoup plus coûteuses.

Lorsque la densité algale est très faible, on pourra utiliser un filet à plancton. On choisira alors un modèle équipé à son extrémité d'un culot métallique muni d'un robinet où les organismes collectés se concentrent au cours de la pêche et au moment du rinçage des parois du filet. On procédera par traits horizontaux ou verticaux de longueur connue de façon à pouvoir chiffrer le volume d'eau filtrée. Lorsque le milieu est très profond ou encombré d'obstacles, on puisera une quantité d'eau connue qui sera filtrée dans le filet. On peut aussi procéder par centrifugation à vitesse modérée à l'aide d'une centrifugeuse à main d'un échantillon d'eau récolté dans le milieu. Après avoir vidé presque entièrement les tubes, les quelques gouttes chargées d'organismes sont récupérées pour être étudiées au microscope.

Le volume d'algues constituant le périphyton est plus difficile à estimer et pour aboutir à une bonne évaluation, il faut pratiquement pour chaque

étude mettre au point une méthode d'échantillonnage la mieux adaptée possible à la distribution du périphyton dans le biotope étudié. On pourra par exemple rapporter le volume d'algues trouvées après expression des végétaux immergés au poids ou à la superficie de ceux-ci. On estime aussi la richesse du milieu en mesurant la vitesse de colonisation par le périphyton de divers supports après leur immersion.

FIXATION

Les échantillons seront fixés à l'aide de formol du commerce à la proportion de 5 % du volume de l'échantillon. Dans les eaux chaudes tropicales, il est préférable de pêcher par excès (sans toutefois dépasser 10 %) que par défaut. Si possible, on neutralisera auparavant, par l'adjonction de carbonate de soude, le formol du commerce toujours trop acide, ce qui provoque des déformations de certains organismes, contractions ou pertes des flagelles, distortions dans les structures cellulaires et parfois destruction de certaines algues fragiles. A la longue enfin, le formol fait disparaître les couleurs et dans la mesure du possible, il est préférable d'étudier les échantillons sans attendre plusieurs mois.

On peut employer la fixation à l'iode qui est moins brutale que la fixation au formol. La solution employée est composée de 1,5 grammes d'iode, 3 grammes d'iodure de potassium et 100 grammes d'eau, elle est ajoutée à l'échantillon jusqu'à ce que celui-ci prenne une teinte jaune clair. La dose de fixateur devra être renouvelée périodiquement dans les échantillons avant que la teinte jaune ne disparaisse à la lumière. Pour l'étude systématique du matériel, il est indispensable de conserver une partie du matériel vivant sans fixation ; la plupart des flagellés par exemple, ne peuvent être déterminés que sur des échantillons vivants.

PRÉPARATION

Analyse qualitative

Les algues vivantes ou fixées seront observées au microscope sur des préparations extemporanées humides. Quelques gouttes du dépôt existant au fond de l'échantillon à étudier sont prélevées au compte-gouttes ou à la pipette et montées entre lame et lamelle sans luter. Les objectifs suivants sont en général utilisés : 10, 20, 40 ou 60 et un 100 à immersion à l'huile, ainsi que deux jeux d'oculaires (X 8 et X 12,5). Un micromètre oculaire et un micromètre objectif seront de plus nécessaires pour étalonner les objectifs et faire les mensurations. Quelques réactifs colorés comme lugol, chlorure de zinc iodé, carmin acétique, bleu de méthylène, violet de gentiane, rouge neutre, encre de chine seront utilisés. L'examen d'une douzaine de préparations par échantillon permet d'inventorier la grande majorité des algues existantes.

L'étude des Diatomées réclame des préparations spéciales ; la systématique des algues de ce groupe est fondée sur l'absence ou la présence de raphé et de pseudoraphé et sur l'ornementation des valves. La préparation consiste à débarrasser les frustules de leur contenu cytoplasmique et à monter ceux-ci entre lame et lamelle dans un milieu très réfringent. Des

procédés chimiques (acide nitrique à chaud, eau oxygénée à forte concentration, acide sulfurique concentré, acide chromique) permettent d'obtenir des frustules parfaitement nettoyés ; la technique la plus simple et la moins brutale consiste à griller les Diatomées, les quelques traces carbonneuses qui peuvent subsister avec ce procédé, si elles empêchent la préparation d'être impeccable, ne gênent nullement les déterminations : on place une lamelle mince sur laquelle a été déposée une goutte du plancton à étudier sur une plaque de métal, ensuite chauffée jusqu'au rouge ; la matière organique est ainsi entièrement brûlée. Pour les Diatomées récoltées dans des milieux riches en sels dissous (eaux saumâtres ou natronées) il est préférable de laver plusieurs fois l'échantillon en le laissant séjourner quelque temps dans l'eau distillée avant de faire le grillage, les sels pouvant obscurcir la préparation.

On monte ensuite les Diatomées dans une résine synthétique ayant un indice de réfraction élevé (Clearax par exemple), en chauffant lentement la préparation pour évacuer le solvant et durcir la résine. En l'absence de résine, l'observation des Diatomées à sec après un léger grillage permet déjà un certain nombre de déterminations.

Analyse quantitative

Bien que des numérations d'organismes puissent être faites au microscope ordinaire en utilisant des cellules de comptage du type hémacytomètre ou Sedgwick-Rafter, le microscope à plancton inversé type Utermöhl apparaît comme le plus pratique pour les analyses quantitatives. Dans ce microscope, les objectifs sont orientés vers le haut et permettent d'observer les organismes sédimentés sur la lamelle transparente qui constitue le fond d'une petite cuve cylindrique. Il existe des coupelles de sédimentation de différents volumes (5, 10, 25 et 100 ml) et l'on choisira le volume du sous-échantillon à étudier en fonction de la densité planctonique existant dans l'échantillon. Tout le fond de la coupelle sera observé par déplacement de la platine. Un trop grand nombre d'organismes à compter entraîne une perte de temps pour le comptage disproportionnée avec le gain de précision obtenu tandis qu'un nombre d'organismes trop faible nuit à la précision de l'estimation. On consultera UTERMÖHL (1958) et LUND *et al.* (1958) pour une bonne connaissance de la méthode de numération au microscope inversé. Les difficultés de cette méthode résident dans le fait qu'il est parfois impossible, pour les Diatomées entre autres, de déterminer exactement certaines espèces comptées dans les numérations : on en est donc réduit à citer le seul nom générique ou à signaler la détermination comme douteuse. Dans plusieurs cas, l'abondance des matériaux en suspension dans l'eau qui se déposent dans la coupelle de sédimentation, comme c'est le cas dans les fleuves soudanais au moment de la crue et dans les lacs peu profonds lorsque le vent remet en suspension les sédiments du fond, peut gêner l'observation des organismes présents sur le fond de la coupelle et ce d'autant plus que la rareté du phytoplancton dans les eaux riches en éléments en suspension oblige à faire les numérations sur un volume d'eau plus important. On est donc obligé de choisir un volume de sous-échantillon suffisamment important pour que le nombre d'algues comptées entraîne une bonne précision dans l'estimation globale du phytoplancton présent dans le milieu et en même

temps relativement faible pour que la qualité de matériaux en suspension ne gêne pas les numérations. En dehors de ces cas, la densité algale est en général très élevée dans les eaux tropicales, principalement en saison chaude au cours de l'étiage des lacs et des fleuves, il faut alors procéder à des dilutions, parfois jusqu'au 1/100 ou même au 1/200 de millilitre, avant d'effectuer les comptages.

Les résultats des comptages sont exprimés en nombre de cellules, de cénobes, de filaments ou de colonies par litre. Après estimation du volume moyen de ces unités pour chaque espèce en les ramenant à une forme géométrique simple, les résultats peuvent être convertis en biovolumes d'algues ; si l'on attribue aux algues une densité sensiblement identique à celle du milieu où elles vivent, on peut transformer les résultats exprimés en volumes sous forme de biomasse algale, un microlitre correspondant à un milligramme de matière vivante.

Des méthodes biochimiques fondées sur le dosage des pigments, et en particulier les chlorophylles, permettent aussi une mesure globale de la richesse phytoplanctonique d'une eau ; toutefois la composition algale de ce phytoplancton n'est alors pas déterminée. Enfin, il existe aussi des compteurs de particules fournissant une estimation de l'ensemble des micro-organismes et des particules détritiques existant dans le milieu.

SYSTÉMATIQUE

Si au niveau des grands groupes d'algues, les caractères d'ordre cyto-logique et biochimique sont ceux qui interviennent le plus dans la classification, ce sont les caractéristiques morphologiques qui ont le rôle le plus important au niveau des ordres, des familles, des genres et des espèces. Les critères de mode de reproduction et de cycle sexué qui permettent de distinguer les divers embranchements des plantes supérieures sont pratiquement très peu utilisés en systématique des algues. Nous suivrons ici la classification établie par P. BOURRELLY dans son ouvrage sur les algues d'eau douce (1966-1968-1970).

En pratique, Chlorophytes, Euglénophytes, Diatomophycées et Cyanophytes sont les quatre groupes d'algues intervenant le plus dans la biomasse algale des eaux soudaniennes.

CHLOROPHYTES

Les Chlorophytes sont comme nous l'avons vu des algues vertes accumulant de l'amidon dans leurs plastes, elles peuvent se subdiviser de la façon suivante, en quatre classes et dix-neuf grands ordres :

1. PRASINOPHYCÉES

- Pyramimonadales
- Pédinomonadales
- Halosphaerales
- Prasinocladales

2. CHLOROPHYCÉES
 A *Chlorophycidées*
 Volvocales
 Tétraspores
 Chlorococcales
 B *Ulothricophycidées*
 Ulothricales
 Ulvales
 Chaetophorales
 Chlorosarcinales
 Trentepohliales
 C *Oedogoniophycidées*
 Oedogoniales
 D *Bryopsidophycidées*
 Bryopsidales (= Siphonales)
 Sphaeropléales
 Siphonocladales
 Dichotomosiphonales
3. ZYGOPHYCÉES
 Zygnématales
4. CHAROPHYCÉES
 Charales

PRASINOPHYCÉES

Cette classe d'algues comprend des cellules nageuses libres dont les flagelles sortent d'une dépression apicale, puits ou cratère flagellaire. On y distingue quatre ordres :

— *Les Pyramimonadales* comprennent deux familles, les Pyramimonacées et les Tetraselmiacées. Le genre *Pyramimonas*, en forme de pyramide renversée dont la base présente un cratère flagellaire d'où sortent quatre flagelles égaux est abondant dans les eaux salées et natronées (fig. 25).

— *Les Pédinomonadales* ont des cellules de petite taille (moins de 10 μ en général) à un ou deux flagelles. Il existe seulement quatre genres et une douzaine d'espèces en eau douce.

— *Les Halosphaerales* ne comprennent, de même que l'ordre suivant, que des formes marines.

— *Les Prasinocladales*.

CHLOROPHYCÉES

C'est la plus importante des classes de Chlorophytes ; elle se subdivise d'après leur morphologie en quatre sous-classes :

A. CHLOROPHYCIDÉES

Ce groupe comprend toutes les formes solitaires ou coloniales ni filamenteuses, ni thalloïdes. Il comprend les trois ordres suivants :

Volvocales

Cet ordre est composé d'algues flagellées et mobiles ; les cellules peuvent être solitaires ou agencées en colonies ayant une forme définie. Les Volvocales

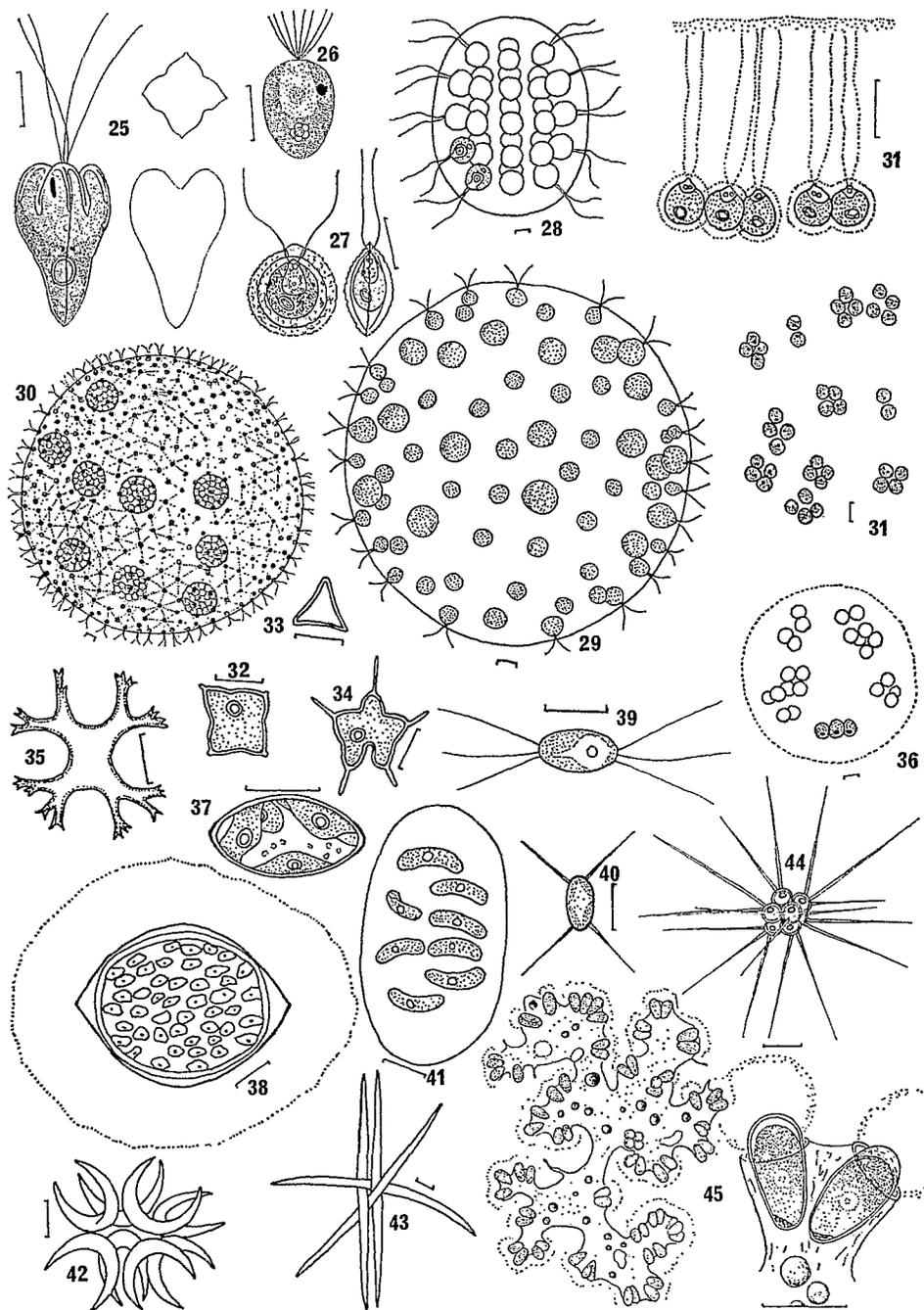


PLANCHE III. — 25 : *Pyramimonas acuta*. 26 : *Polyblepharides fragariiformis*. 27 : *Phacotus lenticularis* de face et de profil. 28 : *Eudorina elegans*. 29 : *Pleodorina sphaerica*. 30 : *Volvox aureus*. 31 : *Tetraspora gelatinosa*, thalle vu de dessus et coupe du thalle. 32 : *Tetraedron minimum*. 33 : *Tetraedron muticum*. 34 : *Tetraedron caudatum*. 35 : *Tetraedron gracile*. 36 : *Sphaerocystis schroeteri*. 37 : *Oocystis lacustris*. 38 : *Eremosphaera gigas*. 39 : *Chodatella subsalsa*. 40 : *Chodatella quadriseta*. 41 : *Nephrocytium agardhianum*. 42 : *Selenastrum gracile*. 44 : *Micractinium pusillum*. 45 : *Botryococcus braunii* (25 d'après PASCHER ; 26 d'après HAZEN ; 27, 30, 31, 32, 34, 37, 41, 45 d'après BOURRELLY ; 28 d'après HARTMANN ; 29 d'après IYENGAR ; 33, 35, 40, 42, 43 d'après PHILIPSE ; 36 d'après LEMMERMANN ; 38, 39 d'après COMPÈRE ; 44 d'après J. W. G. LUND).

se rencontrent dans les eaux douces mais on en trouve aussi en abondance dans les eaux salées intérieures chlorurées ou natronées. Leur détermination est assez difficile pour des raisons d'ordre pratique : le matériel doit être généralement examiné vivant et l'on dispose rarement sur place d'une documentation suffisante sur la taxinomie de ce groupe.

Chez les Polyblépharidacées, les cellules sont nues sans membrane définie (fig. 26), tandis que les Phacotacées groupent les formes pourvues d'une coque solide qui se sépare en deux au moment de la division (la plus connue est *Phacotus lenticularis*) (fig. 27).

Les Chlamydomonadacées groupent une trentaine de genres de flagellés solitaires pourvus d'une membrane ferme dont le plus connu est *Chlamydomonas* (fig. 1) ; la cellule est ovoïde, ellipsoïdale, globuleuse ou légèrement fusiforme, la section transversale est toujours ronde ; la forme du plaste dans la cellule a donné naissance à cinq sous-genres.

Les Volvocacées enfin comprennent les formes coloniales où les cellules le plus souvent à deux fouets sont réunies par une gaine gélatineuse commune. Les genres les plus fréquemment rencontrés sont *Pandorina* (*P. morum*), *Eudorina* (*E. elegans*), *Pleodorina* et *Volvox*. Chez *Pandorina* (fig. 10), les cellules le plus souvent au nombre de 16, sont serrées et comprimées les unes contre les autres comme des fruits de mûre et enrobées dans une enveloppe gélatineuse à deux feuillets. Chez *Eudorina* (fig. 28), les cellules sont globuleuses, toutes de taille identique les unes des autres et disposées en couronnes parallèles tandis que chez *Pleodorina* (fig. 29), les cellules sont de deux tailles différentes. *Volvox* forme de très grosses colonies sphériques ou ovoïdes jusqu'à 1,5 mm de diamètre, facilement reconnaissables par le grand nombre de cellules qui les composent (fig. 30) ; des colonies filles existent souvent à l'intérieur de l'enveloppe de la colonie mère. Les cellules sont toutes identiques, biflagellées, sphériques, piriformes ou pyramidales.

Tétraspores

Cet ordre comprend des algues passant la majeure partie de leur existence à l'état palmelloïde, enrobées de gelée amorphe ou structurée ; elles n'acquièrent de flagelles (2 ou 4 égaux) qu'au moment de la zoosporulation.

Les *Tétraspores* (fig. 31) sont caractérisés par la présence de fins cordons mucilagineux immobiles (appelés pseudoflagelles ou pseudo-cils) situés à la partie antérieure de la cellule.

Les Tétraspores sont en général des algues d'eau froide ; toutefois *Tétraspore lubrica* est signalé dans la vallée du Nil.

Chlorococcales

Cet ordre très bien représenté dans les eaux douces tempérées et tropicales groupe un grand nombre de genres répartis en une dizaine de familles. Très diverses morphologiquement, ce sont dans la plupart des cas, des formes unicellulaires et immobiles, solitaires ou cénobiales, mais on peut trouver des cellules se groupant en agrégats irréguliers. Les Chlorococcacées, les Oocystacées, les Dictyosphaeriacees, les Scénédésmacées et les Hydrodictyacées sont les familles les plus communément rencontrées

dans les eaux soudaniennes avec les genres suivants :

Tetraedron (Chlorococcacées) avec des cellules toujours solitaires libres, de forme très variée mais toujours en coussinets triangulaires, tétraédriques ou polyédriques. Les sommets des cellules peuvent présenter des appendices simples ou ramifiés (*T. minimum*, *T. muticum*, *T. caudatum*, *T. gracile*) (fig. 32 à 35).

Sphaerocystis (Palmellacées) forme des colonies sphériques gélatineuses, librement flottantes ; les cellules globuleuses groupées par deux ou par quatre sont réparties dans cette gelée. *S. schroeteri* est l'espèce la plus commune dans les eaux soudaniennes (fig. 36).

Oocystis (Oocystacées) : ce sont des cellules ellipsoïdales, solitaires ou par groupe de 2 à 16 contenues dans la membrane-mère dilatée (fig. 37). La membrane cellulaire est le plus souvent épaissie à ses deux extrémités. Un genre voisin, *Eremosphaera*, avec l'espèce *E. gigas* (fig. 38) se rencontre aussi dans les eaux soudaniennes, de même que *Chodatella* (fig. 39 et 40) avec des cellules en forme d'*Oocystis* munis de soies polaires disposées de façon caractéristique suivant les espèces.

Nephrocytium (Oocystacées) avec des cellules ellipsoïdales, ovoïdes ou reniformes (fig. 41). La multiplication se fait par 4 ou 8 autospores qui restent incluses dans une gelée. Ce genre est voisin de *Kirchneriella* (fig. 8) dont les cellules en forme de croissants plus ou moins régulièrement contournés sont groupées sans ordre par 4, 8 ou 16 dans une gelée homogène.

Selenastrum (Oocystacées) dont les cellules sont en forme de croissants réguliers et adhèrent par leur côté convexe sans gelée commune (fig. 42).

Ankistrodesmus (Oocystacées) avec des cellules fusiformes très allongées, en aiguilles droites ou légèrement recourbées, parfois sigmoïdes (fig. 43).

Micractinium (Micractiniacées) est une espèce coloniale, les cellules sont réunies par groupes de 4 disposées soit en tétraèdre, soit sur un seul plan et forment des cénobes composés de plusieurs groupes de 4. Chaque cellule porte un petit nombre (2 à 4) de soies longues et fines. *Micractinium pusillum* (fig. 44) est l'espèce rencontrée dans le lac Tchad.

Botryococcus (Dictyosphaeriacées) forme des colonies compactes, globuleuses où les cellules et les groupes de cellules sont réunies par des tractus gélatineux irréguliers souvent colorés en brun-rouge par une huile chargée de carotène excrétée par les cellules. Celles-ci sont ovoïdes, la partie supérieure étant entourée d'un halo gélatineux peu visible, tandis que la partie inférieure est prise dans un support gélatineux plus épais. *Botryococcus braunii* (fig. 45) est l'espèce la plus communément rencontrée, ainsi que *B. protuberans*.

Dictyosphaerium (Dictyosphaeriacées) avec des cellules globuleuses ou allongées groupées par quatre, elles restent unies par des fragments de la membrane maternelle, le tout étant inclus dans une large gelée. Les colonies plus grandes montrent des tractus ramifiés, dichotomes reliant les cellules ou les groupes de cellules entre eux. *D. pulchellum* (fig. 46) est l'espèce la plus répandue dans les eaux soudaniennes.

Coelastrum (Scenedesmaccées) où les cellules sont groupées par 4, 8, 16, 32... etc., pour former une colonie sphérique creuse. Des appendices relient les cellules entre elles. La reconnaissance spécifique se fait d'après la forme des cellules et la longueur des appendices intercellulaires (fig. 47 et 48).

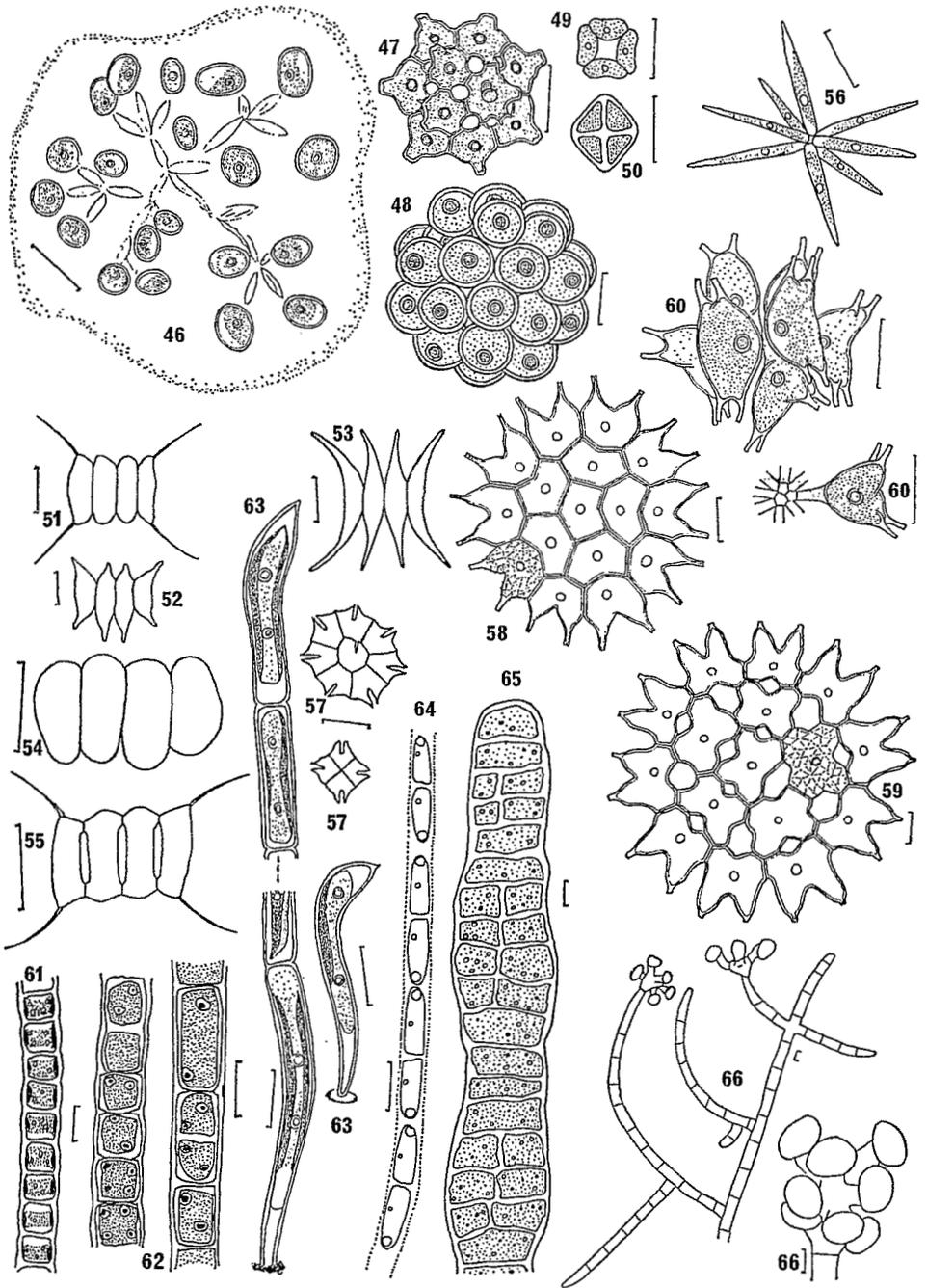


PLANCHE IV. — 46 : *Dictyosphaerium pulchellum*. 47 : *Coelastrum cambricum*. 48 : *Coelastrum microporum*. 49 : *Crucigenia fenestrata*. 50 : *Crucigenia tetrapedia*. 51 : *Scenedesmus quadricauda*. 52 : *Scenedesmus acutus*. 53 : *Scenedesmus acuminatus*. 54 : *Scenedesmus ecornis*. 55 : *Scenedesmus perforatus*. 56 : *Actinastrum hantzschii*. 57 : *Pediastrum tetras*. 58 : *Pediastrum boryanum* var. *typicum*. 59 : *Pediastrum duplex* var. *typicum*. 60 : *Sorastrum spinulosum*, cénobe et cellule. 61 : *Ulothrix zonata*. 62 : *Ulothrix bipyrenoidosa*. 63 : *Uronema elongatum*, grand filament et jeune filament. 64 : *Binuclearia eriensis*. 65 : *Schizomeris teibleinii*. 66 : *Trentepohlia arborum*, thalle avec zoosporocystes en crochet et détail du zoosporocyste (46 d'après KORCHIKOFF ; 47, 49, 56, 58, 59, 60, 63, 66 d'après BOURRELLY ; 48, 50, 57 d'après PHILIPSE ; 51 d'après SZALAI ; 53 d'après UHERKOVICH ; 61 d'après KLEBS ; 62 d'après FRITSCH et RICH ; 64 d'après COMPÈRE).

Crucigenia (Scenedesmaccées) forme des cénobes plats de 4 cellules ; celles-ci sont de formes variées : triangulaires, ellipsoïdales, trapézoïdales ou en quart de cercle tandis que les cénobes peuvent être rectangulaires, carrés, circulaires ou rhombiques avec un méat central (fig. 49 et 50).

Le genre *Tetrastrum* est voisin des *Crucigenia*, il n'en diffère que par la présence d'un certain nombre d'épines plus ou moins longues sur le bord externe de la cellule (fig. 11).

Scenedesmus (Scenedesmaccées) comprend des cénobes de 4 à 8 cellules ellipsoïdales ou fusiformes alignées côte à côte, leurs grands axes étant parallèles. Dans les cénobes à 8 cellules, celles-ci peuvent être toutes les 8 alignées côte à côte, ou en 2 séries de 4 légèrement décalées, ou en 2 rangées alternantes. Les cellules sont souvent ornementées d'épines, d'aiguillons, de pores, les cellules marginales du cénobe ayant souvent une ornementation différente de celles du centre. Le genre *Scenedesmus* comporte un nombre important d'espèces (plus de 150 dans l'ensemble des eaux douces) qui sont réparties en 4 sections suivant la morphologie des cellules et leur ornementation. Citons comme les plus fréquentes dans les eaux soudaniennes : *Scenedesmus quadricauda*, et ses variétés, *S. acutus*, *S. acuminatus*, *S. eornis*, *S. perforatus* (fig. 51 à 55).

Actinastrum (Scenedesmaccées) avec des cénobes composés de 4, 8 ou 16 cellules cylindriques, fusiformes groupées en étoile irrégulière rayonnant dans tous les plans de l'espace. *A. hantzchii* est l'espèce la plus commune (fig. 56).

Pediastrum (Hydrodictyacées) avec des cénobes formés de 4, 8, 16, 32... cellules organisées en disque étoilé dont les cellules marginales n'ont pas le même aspect que les cellules centrales et présentent de 1 à 4 cornes. La distinction des espèces se fait suivant la forme des cellules marginales, la présence et la taille des méats à l'intérieur du cénobe, l'ornementation de la membrane cellulaire. Dans les eaux soudaniennes, on rencontre fréquemment *P. tetras*, petite forme à 4 (au maximum 8) cellules, sans méats à 4 pointes par cellule marginale (fig. 57), *P. simplex*, cénobe sans méat à 1 pointe par cellule marginale, *P. clathratum* (ou pour certains auteurs *P. simplex* var. *duodenarium*) identique mais avec de larges méats (fig. 13). *P. duplex*, cénobe avec méat, à 2 pointes par cellule marginale (fig. 58) et *P. boryanum* à 2 pointes mais sans méats (fig. 59).

Sorastrum (Hydrodictyacées) avec des cénobes sphériques de 8 à 128 cellules disposées de façon radiale, celles-ci sont reliées chacune par un pédicelle à une masse sphérique située au centre du cénobe. Les cellules en général réniformes, portent à leur pôle externe 1, 2 ou 4 épines ; le plaste est pariétal avec un gros pyrénocène (fig. 60).

B. ULOTHRICOPHYCIDÉES

Cet embranchement groupe les Chlorophytes filamenteuses ou thalloïdes. Il comprend les ordres suivants :

Ulothricales

Ce sont toutes des Chlorophycées organisées en filaments simples, non

ramifiés, constitués de cellules en général uninucléées disposées en une seule file, rarement plusieurs. Les genres les plus fréquemment rencontrés sont :

Ulothrix (Ulothricacées) avec des filaments sans cellule apicale différenciée fixés à l'état jeune mais librement flottants à l'état adulte. Les cellules sont uninucléées avec un plaste pariétal enveloppant de la moitié à entièrement la cellule (fig. 61 et 62). Chez quelques espèces, une vacuole contenant un granule existe à chaque pôle de la cellule. Les formes planctoniques ont souvent une gaine muqueuse bien développée. *Uronema* est un genre voisin avec des cellules à plaste pariétal réduit. Une cellule basale de forme spéciale et une cellule apicale plus ou moins pointue existent aux extrémités du filament (fig. 63).

Binuclearia (Ulothricacées) avec des filaments cylindriques d'abord fixés puis librement flottants. Les cellules avec un plaste pariétal sont entourées d'une membrane gélatineuse épaisse ; au moment de la division, les deux cellules-filles restent le plus souvent contenues dans le même article. Le filament a un aspect en pointillé assez caractéristique. *B. eriensis* est l'espèce trouvée dans le lac Tchad (fig. 64).

Ulvales

Cet ordre groupe les Chlorophytes en thalle foliacé, à une ou deux couches de cellules ou en tube cylindrique creux ou plein.

Schizomeris (Ulvacées) forme des thalles cylindriques pleins non ramifiés fixés à leur base ; les cellules sont prismatiques et disposées en anneaux réguliers. *Schizomeris leibleinii* est l'espèce présente dans les eaux soudanaises mais à l'état de rareté (fig. 65).

Chaetophorales

On trouve dans cet ordre des algues filamenteuses ramifiées, des formes à thalles parenchymateux globuleux ou aplatis et des algues croissant en paquets cubiques.

Stigeoclonium (Chaetophoracées) est une forme comprenant une partie dressée et une partie rampante toutes les deux composées de filaments unisériés, irrégulièrement ramifiés. Dans la partie dressée, les cellules terminales s'effilent en poil plus ou moins long (fig. 67).

Chlorosarcinales

Cet ordre comprend presque uniquement des formes subaériennes se développant sur le sol humide en paquets irréguliers ou cubiques. Il existe en tout une seule famille avec une dizaine de genres et une vingtaine d'espèces pour l'ensemble du globe.

Trentepohliales

Ce sont des Chlorophytes subaériennes qui se développent sur un substrat humide : sols, rochers, feuilles, troncs d'arbres. Elles forment des thalles discoïdaux uni ou pluristratifiés ou des feutrages de filaments ramifiés. *Trentepohlia* (Trentepohliacées) forme des feutrages avec parfois des filaments dressés. Une quarantaine d'espèces existent dans les régions tropicales (fig. 66).

C. OEDOGONIOPHYCIDÉES

Cette sous-classe caractérisée par une reproduction sexuée par oogamie, par la présence de gamètes mâles stéphanocontées et par un mode particulier de division des cellules, ne comprend qu'un seul ordre.

Oedogoniales

Ce sont des filaments unisériés, simples ou ramifiés, fixés à la base ; les cellules ont un plaste pariétal, réticulé, formé de rubans allongés, anastomosés avec de l'amidon et de nombreux pyrénoides. Le mode de division des cellules est assez particulier et aboutit à chaque division à la formation d'une calotte apicale à la partie supérieure de la cellule. Au cours de la multiplication, chez une espèce monoïque par exemple, certaines cellules se renflent pour former des oogones à oosphères immobiles tandis que d'autres se transforment en courtes anthéridies émettant un ou deux gamètes mâles munis d'une couronne de flagelles. L'un de ceux-ci va féconder un oosphère par une fente ou un pore de l'oogone, puis le zygote formé s'entoure d'une épaisse membrane triple souvent ornée de verrues, d'épines et de côtes. Au bout d'un certain temps, après méiose, le zygote se divise en quatre zoospores stéphanocontées qui germeront en quatre nouveaux filaments.

Oedogonium (Oedogoniacées) avec des filaments fixés à la base par une cellule basale conique, hémisphérique ou globuleuse munie de crampons. La cellule terminale est arrondie, ou allongée en soie ou même capitée tandis que les cellules du filament sont le plus souvent cylindriques ou tronconiques avec chez quelques espèces des ornements constitués de pores en séries hélicoïdales sur la membrane (fig. 68 à 70).

D. BRYOPSISIDOPHYCIDÉES

Bryopsidales (= Siphonales)

Cet ordre est caractérisé par des siphons ou tubes sans cloisons. Ce sont principalement des espèces marines.

Sphaeropléales

Cet ordre ne comprend qu'une seule famille et le seul genre *Sphaeroplea*. Ce sont des filaments formés par des articles cylindriques plurinucléés présentant chacun une série de plastes annulaires avec de nombreux pyrénoides (fig. 71).

Siphonocladales

Le thalle est formé d'articles plurinucléés. Une seule famille existe en eaux douces avec une dizaine de genres dont le plus répandu est *Cladophora* qui forme des thalles buissonnants, ramifiés (fig. 72).

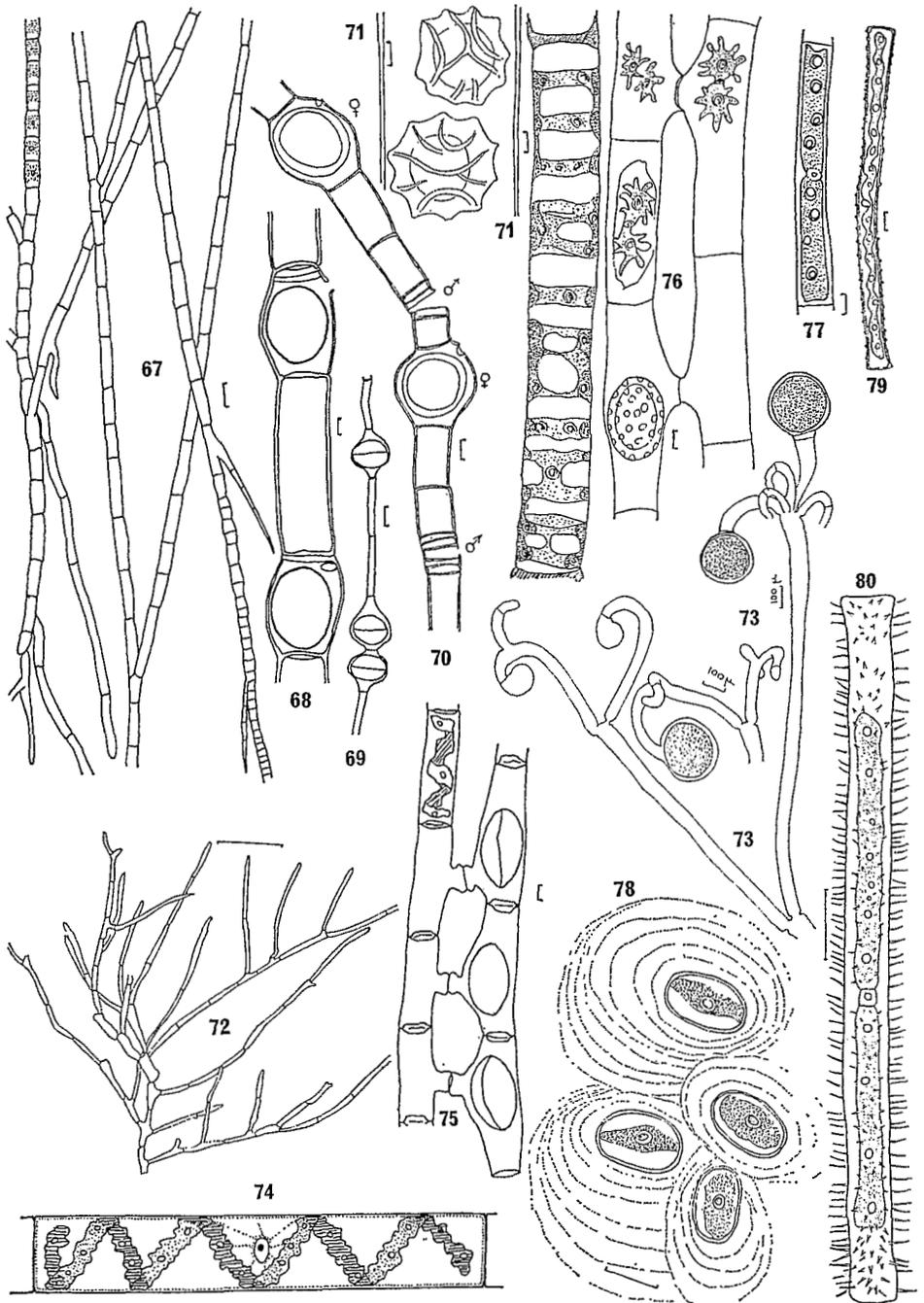


PLANCHE V. — 67 : *Stigeoclonium aestivale*. 68 : *Oedogonium anomalum*. 69 : *Oedogonium inconspicuum*. 70 : *Oedogonium subellipsoideum*. 71 : *Sphaeroplea soleirolii*, article avec plastes et zygotes. 72 : *Cladophora holsatica*. 73 : *Dichotomosiphon tuberosus*, rameau avec deux zygotes et des anthéridies vides et pleines et un oogone et trois anthéridies. 74 : Schéma de cellule de *Spirogyra*. 75 : *Spirogyra gracilis*. 76 : *Zygnuma stellinum*. 77 : Cellule végétative de *Mougeotia floridana*. 78 : *Mesotaenium macrococcum* var. *micrococcum*. 79 : *Gonatozygon monotaenium*. 80 : *Gonatozygon aculeatum* (67 d'après HAZEN ; 68, 69, 75 d'après GAUTHIER LIÈVRE ; 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79 d'après BOURRELLY ; 74 d'après CHADEFAUD ; 80 d'après COMPÈRE).

Dichotomosiphonales

Ce sont des filaments régulièrement ramifiés, sans cloisons, à nombreux noyaux. Les plastes verts sont accompagnés de plastes incolores ou leucoplastes. Un seul genre, *Dichotomosiphon*, existe dans les eaux douces (fig. 73).

ZYGOPHYCÉES (ou Conjugées)

Ce sont des algues vertes filamenteuses ou unicellulaires toujours dépourvues de cellules flagellées et caractérisées par la conjugaison de gamètes amiboïdes. D'après la structure de la membrane, on distingue deux ordres :

Les Zygnématales à membrane sans ornementation ni suture médiane ;
les Desmidiales à membrane percée de pores et ornementée et à suture médiane.

Zygnématales

Les cellules sont toujours uninucléées, haploïdes. La reproduction végétative est de type normal comme chez toutes les formes filamenteuses. A la reproduction sexuée, deux cellules se transforment en gamétocystes et donnent chacune un gamète amiboïde ; gamète mâle et gamète femelle, isomorphes fusionnent soit dans un des gamétocystes, soit dans le tube de copulation reliant les deux gamétocystes, soit dans une enveloppe gélatineuse entre les deux gamétocystes. Le zygote formé s'entoure d'une membrane épaisse et ornementée, il germe après méiose pour donner quatre thalles végétatifs.

Les formes filamenteuses sont groupées dans la famille des Zygnématacées, les formes unicellulaires dans les Mésotaeniacées. Les genres les plus souvent trouvés sont :

Spirogyra (Zygnématacées) qui forme des filaments simples ; les cellules ont 1 à 16 plastes rubanés tordus en hélice et portant des pyrénoides ; le noyau est central. La systématique des quelques trois cents espèces existantes est fondée sur la conformation des cloisons intercellulaires (avec ou sans repli), le nombre de plastes, les modalités de la reproduction et la taille des cellules végétatives (fig. 74 et 75).

Zygnema (Zygnématacées) dont les filaments sont composés de cellules à deux plastes étoilés séparés par le noyau. La détermination des 120 espèces existantes est faite d'après la morphologie du zygote et de la zygospore et la dimension des cellules (fig. 76).

Mougeotia (Zygnématacées) avec des filaments simples dont les cellules ont un plaste en ruban axial plat présentant de nombreux pyrénoides soit en ligne, soit dispersés. La systématique des espèces existantes (plus de cent) est fondée sur la taille des cellules végétatives, la disposition des pyrénoides et la morphologie des zygospores (fig. 77).

Mesotaenium (Mésotaeniacées) à cellules courtes, à pôles plus ou moins arrondis ou à contour elliptique, le plus souvent droites ou quelquefois légèrement recourbées (fig. 78).

Gonatozygon (Mesotaeniacées) avec des cellules allongées, cylindriques ou fusiformes avec un apex aplati, souvent tronqué. La membrane est

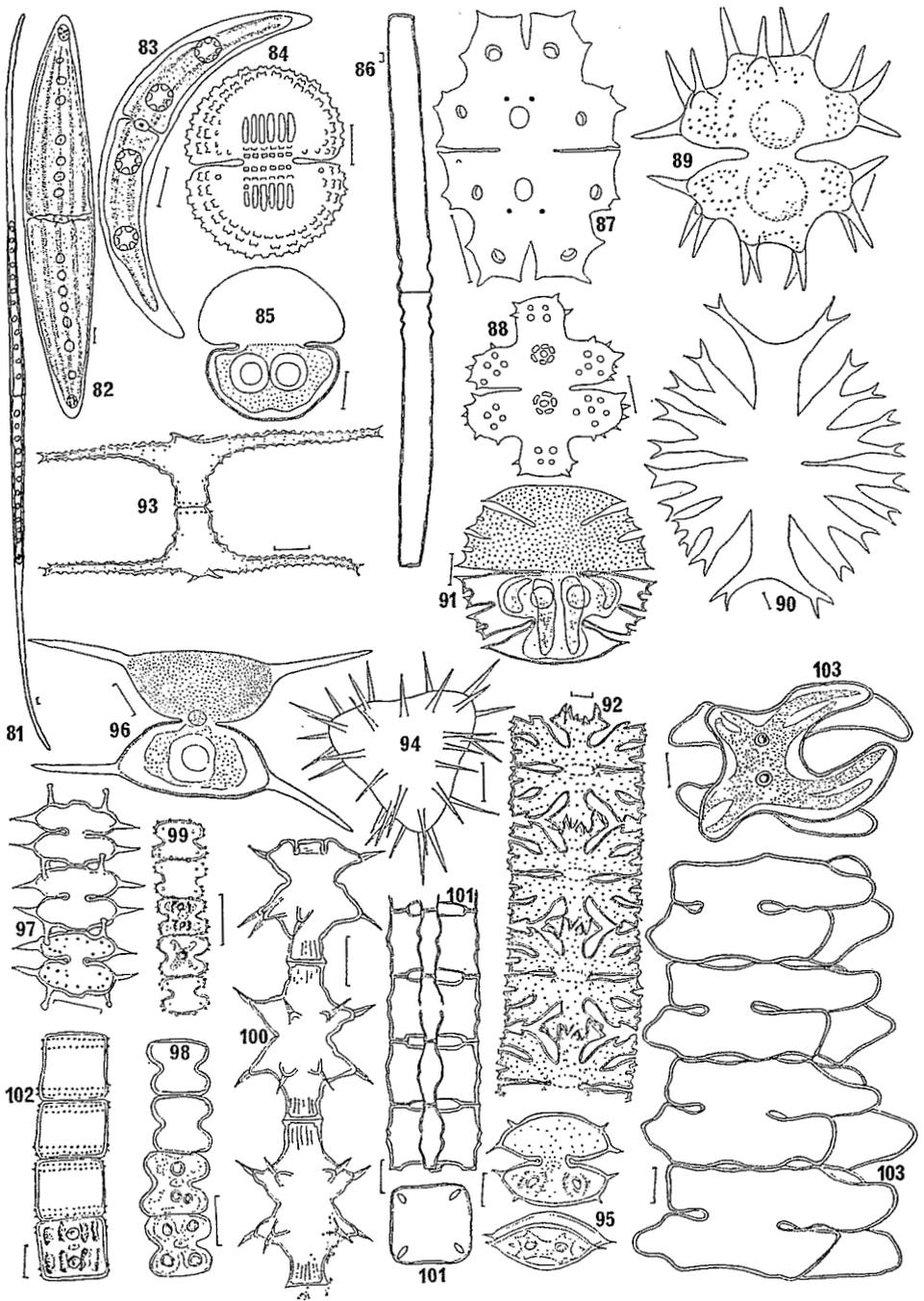


PLANCHE VI. — **81** : *Closterium aciculare*. **82** : *Closterium lanceolatum*. **83** : *Closterium parvulum*. **84** : *Cosmarium binum*. **85** : *Cosmarium candianum*. **86** : *Pleurotaenium trabecula*. **87** : *Euastrum glaziovii*. **88** : *Euastrum sphyroides* var. *hieronymusii*. **89** : *Xanthidium subtrilobum* var. *inornatum*. **90** : *Micrasterias radians* var. *brasiliensis*. **91** : *Micrasterias truncata* var. *pusilla*. **92** : *Micrasterias foliacea* var. *ornata*. **93** : *Staurastrum leptocladum* var. *cornutum*. **94** : *Staurastrum setigerum* var. *subsalsum*. **95** : *Arihrodesmus mucronulatus*. **96** : *Staurodesmus validus*. **97** : *Sphaerozosma laeve*. **98** : *Spondylosium planum*. **99** : *Teilingia granulata*. **100** : *Bambusina armata*. **101** : *Desmidium baileyi*, vue frontale et vue apicale. **102** : *Hyalotheca mucosa*. **103** : *Phymatodocis irregulare*, vue frontale et vue apicale avec plaste (82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 96 d'après COMPÈRE ; 86, 92, 93, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103 d'après BOURRELLY).

souvent ornementée de fines épines dispersées sans ordre (fig. 79 et 80). Après division les cellules restent assez souvent adhérentes les unes aux autres par leurs extrémités donnant ainsi naissance à des filaments plus ou moins longs.

Desmidiales

Ce sont des algues uninucléées, unicellulaires ou réunies en chaîne coloniale. La cellule a une membrane poreuse, elle comprend deux valves égales ou hémisomates soudées l'une à l'autre ou reliées entre elles par un isthme ; le noyau est situé à l'emplacement de la suture ou de l'isthme. Lors de la division végétative, les deux valves se séparent, le noyau se divise et chaque hémisomate forme un nouvel hémisomate avec une nouvelle valve membranaire : dans chaque cellule, les hémisomates sont donc d'âge différent.

Lors de la reproduction sexuée, les deux cellules se rapprochent, s'entourent parfois de gelée, puis les valves de la cellule s'écartent et libèrent le contenu qui se transforme en gamète amiboïde qui fusionne avec celui de la cellule voisine pour donner un zygote à membrane épaisse souvent ornée ; les restes des quatre valves entourent le zygote ; le plus souvent, la germination de celui-ci donne après méiose deux nouvelles cellules. Les *Desmidiales* se reconnaissent facilement grâce à leur symétrie par rapport à un plan et à leur paroi membranaire poreuse.

Les principaux genres rencontrés dans les eaux soudaniennes sont les suivants :

Closterium (Desmidiacées) à cellules arquées en croissant de lune ou droites et fusiformes. Certaines espèces sont droites et renflées dans leur partie médiane et se terminent par des extrémités recourbées très grêles. *Closterium aciculare* est très abondant dans la partie nord du lac Tchad (fig. 81 à 83).

Cosmarium (Desmidiacées) à cellules avec une constriction médiane bien marquée. Le contour général est arrondi et la cellule plus ou moins aplatie en vue apicale (fig. 84 et 85).

Pleurotaenium (Desmidiacées) en forme de bâtonnet cylindrique droit avec un sillon transversal médian séparant les deux hémisomates (fig. 86).

Euastrum (Desmidiacées) avec des cellules en général plus longues que larges avec un sinus profond séparant les deux hémisomates ; la partie supérieure de chacun de ceux-ci est partagée en deux par une incision plus ou moins profonde (fig. 87 et 88).

Xanthidium (Desmidiacées) avec des hémisomates polygonaux à ornementation centrale et pourvus de longues épines marginales (fig. 89).

Micrasterias (Desmidiacées) à cellules circulaires ou quadrangulaires, à sinus profond ; chaque hémisomate présente de nombreux lobes et lobules très régulièrement et très profondément découpés (fig. 90 à 92).

Staurastrum (Desmidiacées) a des hémisomates plus ou moins pyramidaux, la vue apicale montre le plus souvent un contour polygonal avec au moins trois angles parfois prolongés par des appendices en forme de bras (fig. 93 et 94).

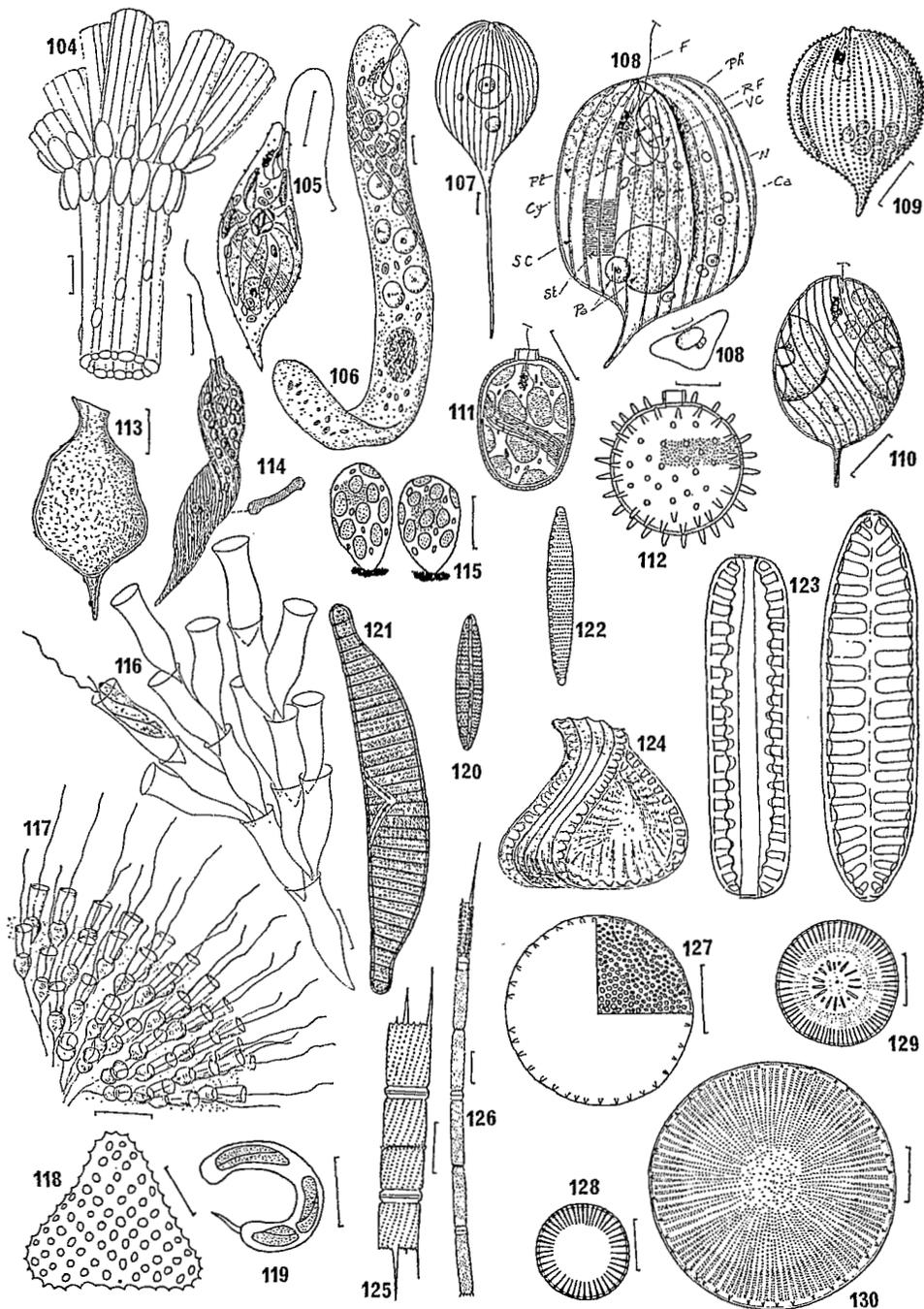


PLANCHE VII. — 104 : *Chara vulgaris*, cortex avec rangée double de stipulodes placés à la base du verticille de rameaux. 105 : *Euglena viridis*. 106 : *Euglena ehrenbergii* var. *africana*. 107 : *Phacus longicauda*. 108 : *Phacus orbicularis* ; F : fouet ; Ph : photocapteur ; Rf : base des deux fouets ; V.C. : vésicules contractiles ; N : noyau ; Ca : carène ; Pa : paramylon ; St : stries transversales ; SC : stries longitudinales ; Cy : cytopharynx ; PC : plastes. Au-dessous, section transversale à plus faible grossissement. 109 : *Phacus suecicus*. 110 : *Lepocinclis ovum* var. *gracilicauda*. 111 : *Trachelomonas lefevrei*. 112 : *Trachelomonas globularis* var. *africana*. 113 : *Strombomonas verrucosa* var. *zmiewika*. 114 : *Astasia torta*. 115 : *Colacium cyclopicola*. 116 : *Dinobryon sertularia*. 117 : *Sphaeroeca volvox*, fragment de colonie. 118 : *Goniochloris gigas*. 119 : *Ophiocytium cochleare*. 120 : *Denticula thermalis*. 121 : *Epithemia turgida*. 122 : *Nitzschia amphibia*. 123 : *Surirella linearis* vue connective et vue valvaire. 124 : *Campylodiscus noricus* var. *hibernica*. 125 : *Melosira granulata*. 126 : *Melosira granulata* var. *angustissima*. 127 : *Coscinodiscus rudolfii*. 128 : *Cyclotella meneghiniana*. 129 : *Cyclotella stelligera*. 130 : *Stephanodiscus astraea* (d'après BOURRELLY, sauf 115, 118, 119 d'après COMPÈRE et 126 d'après HUSTEDT).

Arthrodesmus (Desmidiacées) avec des cellules à sinus bien marqués, elliptiques en vue apicale, chaque hémisomate portant au moins deux épines (fig. 95). *Staurodesmus*, genre voisin, a des cellules à contour étoilé en vue apicale, chaque branche se terminant par une épine plus ou moins développée (fig. 96).

Parmi les Desmidiacées coloniales, citons les genres : *Sphaerososma*, *Spondylosium*, *Teilingia*, *Bambusina*, *Desmidium*, *Hyalotheca* et *Phymatodocis* (fig. 97 à 103).

CHAROPHYCÉES

Les Charophycées ne comprennent qu'un seul ordre : les Charales. Ce sont des algues vertes de grande taille (parfois jusqu'à un mètre) ayant un aspect particulier avec axes et verticilles rappelant les Prêles ou les Cératophylles.

L'algue est entièrement submergée, souvent imprégnée de calcaire ; elle présente une structure cladomienne typique : elle comporte une « tige » principale à croissance indéfinie composée de cellules nodales et de cellules internodales très allongées ; chaque nœud donne naissance à un verticille de rameaux courts (6 à 10 suivant les genres) à croissance limitée appelés pleuridies montrant à leur tour des cellules nodales et internodales. Chez le genre *Chara*, les entre-nœuds sont entourés par un cortex formé de longs filaments longitudinaux légèrement tordus en hélice (fig. 20, 21, 22 et 104). La reproduction se fait par formation d'anthéridies et d'oogones sur les nœuds des rameaux verticillés. La multiplication végétative se fait grâce à la germination de bulbilles naissant sur les rhizoïdes.

Il existe une seule famille, les Characées, avec six genres ; *Chara* et *Nitella* sont les plus répandus. Ils tapissent le fond de certaines mares des plaines d'inondation.

EUGLENOPHYTES

Les Euglénophytes sont en général des algues libres, mobiles grâce à leurs flagelles, incolores ou colorées par les chlorophylles a et b accompagnées de β carotène et de xanthophylles. Les réserves sont constituées par du paramylon extraplastidial formant des bâtonnets, des grains perforés ou des anneaux. Les deux flagelles fortement inégaux sortent d'une dépression apicale profonde : le cytopharynx ou réservoir qui s'ouvre à l'extérieur par un pore se prolongeant parfois en un sillon longitudinal plus ou moins long. Des vacuoles pulsatiles se déversent à la base du cytopharynx sur les flancs duquel est accolé chez de nombreuses espèces un stigma. L'ensemble de la cellule est entouré d'une cuticule déformable, mince ou épaisse, très souvent parcourue par des stries hélicoïdales.

Les Euglénophytes sont abondantes dans les eaux riches en matières organiques. Cet embranchement ne renferme qu'une classe, les Euglénophycées, qui se subdivisent en trois ordres :

Les Euglénales

Cet ordre renferme des formes unicellulaires vertes ou rarement incolores à deux flagelles bien développés (Eutreptiacées) ou seulement à un seul bien visible (Euglénacées). Les genres que l'on rencontre le plus souvent sont les suivants :

— *Euglena* (Euglénacées) avec des cellules fusiformes ou parfois globuleuses et à section transversale circulaire. La cuticule est toujours ornée de stries hélicoïdales plus ou moins marquées. Il existe un ou plusieurs plastes verts avec ou sans pyrénolide (fig. 105 et 106). Chez *E. viridis*, il existe des plastes en bandelettes qui rayonnent d'un pyrénolide axial entouré de paramylon.

— *Phacus* (Euglénacées) avec des cellules aplaties, foliacées avec un apex échancré et l'antapex effilé en queue oblique plus ou moins longue. Les plastes sont nombreux et en disques pariétaux (fig. 107 à 109).

— *Lepocinclis* (Euglénacées) à cellules à contour elliptique ou fusiforme avec une cuticule épaisse présentant des stries hélicoïdales fortement marquées. Toute la cellule présente une symétrie radiale parfaite ; les réserves sont constituées par un ou deux gros paramylons en anneaux placés latéralement et se faisant face (fig. 110).

— *Trachelomonas* (Euglénacées) ayant une thèque ou logette brune de forme ellipsoïdale, ovoïde ou sphérique, souvent ornée de pores, de fossettes, d'épines, de verrues ou d'aiguillons ; cette thèque est percée d'un pore qui laisse passer la flagelle locomoteur de la cellule contenue à l'intérieur (fig. 111 et 112).

— *Strombomonas* (Euglénacées) diffère du genre précédent par la forme et la structure de la logette. Celle-ci est toujours atténuée vers l'avant en un col plus ou moins haut tandis que la partie postérieure, le plus souvent, s'effile en queue (fig. 113).

— *Astasia* (Euglénacées) avec des cellules incolores très métaboliques ou fermes à contour invariable, dépourvues de plastes et le plus souvent de stigma. La cuticule est nettement striée hélicoïdalement (fig. 114).

Les Péranématales

Ce sont toutes des formes incolores dépourvues de plaste et de stigma, le fouet antérieur est toujours raide pendant la nage, le second flagelle lorsqu'il existe, est tourné vers l'arrière et ondule faiblement ; la base de ces fouets incluse dans le cytopharynx est épaissie. Cet ordre est peu représenté dans les eaux douces soudaniennes.

Les Colaciales

Cet ordre ne renferme qu'une seule famille, les Colaciacées et le seul genre *Colacium*, dont les cellules vertes fixées en général sur des microcrustacés d'eau douce (*Cyclops* ou *Daphnies*) sont normalement immobiles et souvent groupées en colonies dendroïdes (fig. 115).

CHRYSTOPHYTES

Ce sont comme nous l'avons vu des algues à plastes bruns, jaunes ou vert-jaunâtre ne possédant jamais d'amidon. Parmi les cinq classes présentes dans ce groupe, les Raphidophycées, les Chrysophycées, les Xanthophycées et les Phéophycées sont très peu représentées dans les eaux soudaniennes ; ce sont des groupes dont on trouve peu d'espèces dans les eaux tropicales. Seuls les quelques genres suivants peuvent à certaines époques représenter une part appréciable de la biomasse dans les eaux soudaniennes :

Dinobryon (Chrysophycées, Ochromonadales, Dinobryacées) avec des cellules fusiformes fixées dans une logette cellulosique en forme de cornet conique à la base et cylindrique à l'apex. Dans les formes coloniales qui sont les plus fréquentes dans les eaux douces, les cellules se groupent en arbuscules mobiles. Ce genre est trouvé dans les fleuves sahéliens au moment de la décrue lorsqu'une partie des zones inondées s'écoule par celui-ci (fig. 116).

Mallomonas (Chrysophycées, Ochromonadales, Synuracées) à cellules libres, solitaires à deux fouets inégaux ; le fouet nu est très réduit, le plus souvent invisible (fig. 7). La cellule a un ou deux plastes, pariétaux. Le périplaste est couvert de petites écailles elliptiques, imbriquées, portant parfois des soies articulées. La structure des écailles et des soies ainsi que la forme des kystes et des cellules sont les critères utilisés dans la systématique de ce genre.

Mallomonas portae-ferrae est l'espèce la plus souvent trouvée, parfois en grande quantité, dans le lac Tchad.

Sphaeroeca (Chrysophycées, Monosigales, Monosigacées) forme des colonies de cellules à un fouet et entourées d'une collerette cytoplasmique réparties radialement en une sphère gélatineuse. Une espèce est présente dans les eaux natronées soudaniennes méso-carbonatées (fig. 117).

Goniochloris (Xanthophycées, Mischococcales, Pleurochloridacées) avec des cellules triangulaires ou polygonales, solitaires, libres ; les plastes sont pariétaux et discoïdes (fig. 118).

Ophiocytium (Xanthophycées, Mischococcales, Sciadiacées) avec des cellules cylindriques, souvent courbées en S, avec des apex arrondis parfois terminés par un aiguillon plus ou moins long. Il existe de nombreux plastes pariétaux sans pyrénolide et plusieurs noyaux par cellule (fig. 119).

DIATOMOPHYCÉES

Les Diatomophycées forment en général une part importante de la biomasse algale des eaux soudaniennes. Elles se distinguent des autres classes par leur membrane bivalve imprégnée de silice hydratée (opale) appelée frustule. On peut distinguer deux types de logette silicifiée : la forme cylindrique en général aplatie avec des ornements disposés en cercles ou en rayons autour du centre (Diatomées Centriques) et la forme allongée à contour elliptique ou lancéolé à ornementation bilatérale symétrique suivant un axe longitudinal marqué par un raphé ou un pseudoraphé (Diatomées Pennées).

Les deux valves qui forment le frustule sont le plus souvent identiques

en ornementation (sauf chez les Pennées monoraphidiées) mais de taille légèrement inégale pour permettre leur emboîtement. Chaque valve comprend une plaque valvaire, circulaire ou polygonale chez les Centriques, allongée et bipolaire chez les Pennées. Les deux valves d'un frustule sont raccordées l'une à l'autre par des ceintures connectives silicifiées qui forment l'épaisseur de la boîte. Il y a au moins une ceinture par valve et il s'y ajoute souvent des ceintures secondaires complètes ou incomplètes. Chez certaines espèces, la plaque valvaire est doublée par des cloisons perforées parallèles. Chez d'autres espèces, des crêtes saillantes ou côtes renforcent la face interne des plaques.

Les deux valves du frustule des Diatomées sont ornementées de stries, pores, aiguillons, épines, côtes, perles, etc. Chez certaines Centriques, la surface paraît aréolée, réticulée. Tandis que chez les Centriques les ornements de stries et de ponctuations sont ordonnés suivant un système rayonnant, chez les Pennées de forme allongée, l'axe médian est marqué par un raphé ou un pseudo-raphé, l'ornementation étant bilatérale symétrique par rapport à cet axe. Le pseudo-raphé est une simple ligne médiane hyaline interrompant les ornements de la valve. Le raphé est une fente longitudinale ; on peut y distinguer trois nodules, petits renflements internes de la valve : deux nodules terminaux ou polaires et un nodule médian ou central percé d'un petit canal qui fait communiquer les deux branches du raphé. Ce type de raphé qui caractérise les Naviculacées est modifié chez d'autres Pennées ; il peut rester axial mais se transformer en un canal raphéen : tube creux fendu sur toute la longueur vers l'extérieur et communiquant avec l'intérieur de la cellule par une série de pores (genre *Denticula* fig. 120) ; ce canal peut être dévié latéralement vers le bord de la valve et prendre l'aspect d'un V très ouvert (genre *Epithemia*) (fig. 121) ; il peut être rejeté sur un des bords de la valve (genre *Nitzschia*) (fig. 122) ou en faire le tour complet (genres *Surirella* et *Campylodiscus*) (fig. 123 et 124). Chez les Achnanthes ou Monoraphidiées, une valve possède un raphé bien développé tandis que l'autre valve n'a qu'un pseudo-raphé. Les Diatomées possèdent un noyau central entouré de dictyosomes, mitochondries, vacuoles, corps physoïdes, inclusions huileuses et plastes. Chez les Centriques, les plastes sont en général nombreux, pariétaux, discoïdes alors que chez les Pennées, seuls existent un ou deux plastes plus ou moins lobés.

Beaucoup de Diatomées peuvent sécréter par leur raphé un mucilage qui leur permet d'adhérer au substratum ou de rester groupées en colonies après division. Beaucoup enfin sont mobiles, le mécanisme des déplacements est mal connu, seules les Pennées à raphé ou canal raphéen peuvent se déplacer.

D'après leur morphologie, on distingue deux sous-classes, les Centrophycidées pour les formes centriques et les Pennatophycidées pour les formes pennées.

LES CENTROPHYCIDÉES comprennent trois ordres :

a) *Les Coscinodiscales* sont des Diatomées circulaires en forme de boîte de Petri ou de cylindre court ; les plaques valvaires ont une ornementation radiale ; les cellules sont solitaires ou réunies en chaîne.

Les genres suivants sont les plus répandus dans les eaux soudaniennes :

Melosira (Coccosinodiscacées) forme des filaments unisériés avec des cellules cylindriques plus longues que larges adhérant valve contre valve. Souvent des épines siliceuses ornent celles-ci à l'articulation des cellules. Les filaments se présentent toujours en vue connective.

Melosira granulata et diverses formes et variétés, est une espèce très abondante dans les fleuves et les lacs soudaniens (fig. 125 et 126).

Coccosinodiscus (Coccosinodiscacées) avec des cellules discoïdes solitaires dont les valves sont ornées de petites épines marginales et d'aréoles disposées régulièrement sur toute la surface. *Coccosinodiscus rudolfii* est une espèce trouvée en abondance dans le lac Tchad à certaines époques (fig. 127).

Cyclotella (Coccosinodiscacées) avec des cellules à valve circulaire, solitaires ou plus rarement réunies en colonie par l'intermédiaire de gelée. L'ornementation des valves, caractéristique du genre, consiste en un champ médian lisse ou ponctué et une zone marginale striée radialement (fig. 128 et 129). *Cyclotella meneghiniana* est l'espèce la plus répandue.

Stephanodiscus (Coccosinodiscacées) est voisin de *Cyclotella* ; il en diffère par l'ornementation des valves (séries rayonnantes de pores très fins, cercle de courtes épines marginales) (fig. 130).

b) *Les Rhizosoleniales* ont des cellules faiblement silicifiées, longuement cylindriques présentant de nombreuses ceintures, les valves sont souvent prolongées par une soie très fine. Seul le genre *Rhizosolenia* est présent dans les eaux douces, il est assez peu fréquent dans les eaux soudaniennes (fig. 131).

c) *Les Biddulphiales* ont des valves peu silicifiées circulaires, polygonales elliptiques ou à marge ondulée, parfois ornées de verrues saillantes ou de deux longues soies ; la cellule est courte et n'a qu'un petit nombre de ceintures.

Chaetoceros et *Attheya* (Chaetoceracées) sont les deux seuls genres trouvés dans les eaux soudaniennes (fig. 132 et 133).

LES PENNATOPHYCIDÉES se subdivisent en quatre ordres :

a) *Les Diatomales* ou Araphidées ont des valves présentant un pseudoraphé ; elles sont dépourvues de raphé. Ce sont des formes allongées en navettes ou en aiguilles avec de fines stries interrompues par un pseudoraphé axial. Les genres suivants sont les plus fréquemment rencontrés :

Fragilaria (Diatomacées) avec des cellules isopolaires unies par leurs valves en colonies rubanées ; celles-ci se présentent toujours en vue connective dépourvue de cloison, de crête interne et de ceinture secondaire. *Fragilaria construens* est l'espèce la plus commune (fig. 134).

Synedra (Diatomacées) avec des cellules isopolaires, rectilignes, en général solitaires ; elles n'ont ni cloison perforée, ni crête interne, ni ceinture accessoire, les valves sont finement striées avec parfois une aire centrale lisse, régulière ou unilatérale. *Synedra ulna* et ses variétés est l'espèce la plus fréquente (fig. 135).

Tabellaria (Diatomacées) où les cellules sont réunies entre elles par des coussinets gélatineux, formant ainsi des colonies en étoiles ou lignes brisées toujours observées en vue connective (fig. 136).

b) *Les Eunotiales* ou Raphidioïdinées ont des raphés très réduits en forme de virgule placés à l'extrémité des valves. Une seule famille, les Eunotiacees, qui comprend deux genres en eau douce ; *Eunotia* étant le plus répandu dans les eaux tropicales. Les cellules ont deux valves identiques striées toujours plus ou moins recourbées en banane ou en croissant. Un petit nodule d'où part le raphé très court est visible à chaque extrémité. Le raphé est difficilement visible en vue valvaire mais nettement visible en vue connective (fig. 137 et 138).

c) *Les Achnanthales* ou Monoraphidées où les deux valves ont des structures différentes, l'une possède un raphé normal à deux branches partant du nodule central et atteignant les pôles, l'autre un pseudoraphé. Cet ordre ne comporte qu'une seule famille, les Achnanthacées, avec deux genres les plus fréquents : *Cocconeis* avec un frustule à contour elliptique régulier avec des pôles largement arrondis. Les deux valves ont une ornementation différente, la valve sans raphé ayant une sculpture plus vigoureuse que la valve à raphé. Ce sont des formes solitaires et épiphytes sur les plantes aquatiques sur lesquelles elles se fixent par la valve à raphé (fig. 139). *Achnanthes* avec des cellules en général fixées par un court style gélatineux ; les valves sont isopolaires, allongées, fusiformes ou naviculoïdes en lancette. Plusieurs espèces existent dans les eaux soudaniennes (fig. 140).

d) *Les Naviculales* ou Biraphidées où les deux valves sont identiques et possèdent chacune un raphé. Celui-ci peut être logé dans un canal médian ou latéral (Nitzschiacées) ou circumvalvaire (Suriellacées). La structure du raphé permet de distinguer deux sous-ordres, les Naviculinées et les Suriellinées.

1° Les NAVICULINÉES ont un raphé médian de type normal. Il existe une seule famille : les Naviculacées.

Navicula est une Diatomée le plus souvent solitaire avec des valves lancéolées régulières à apex arrondis, pointus ou capités. Le raphé est simple, médian et la valve est ornée de stries ou de points. Ce genre comprend un grand nombre d'espèces dans les eaux tropicales (fig. 141 à 144).

Pinnularia avec des cellules elliptiques allongées ; elles se distinguent de *Navicula* par la forte ornementation des valves et la présence de chambres latérales indiquées par des stries marginales. Le raphé est médian et présente parfois un aspect légèrement sinueux (fig. 145).

Mastogloia ressemble à *Navicula* mais les côtés de la valve présentent une série de petites chambres. *M. smithii* est l'espèce la plus fréquente (fig. 146).

Anomoeoneis avec des valves lancéolées ou rhombiques ; l'ornementation des valves est faite de stries perpendiculaires au raphé interrompues par des lignes irrégulières, plus ou moins zigzagantes, dans le même sens que le raphé. *A. sphaerophora* est une espèce très fréquente dans les eaux salées et natronées de la région soudanienne (fig. 147).

Stauroneis a des valves naviculoïdes avec une aire centrale élargie en forme de croix (stauros) atteignant les bords de la valve ; l'ornementation est faite de fines stries ponctuées (fig. 148).

Diploneis avec des valves ayant un aspect aréolé à contour elliptique,

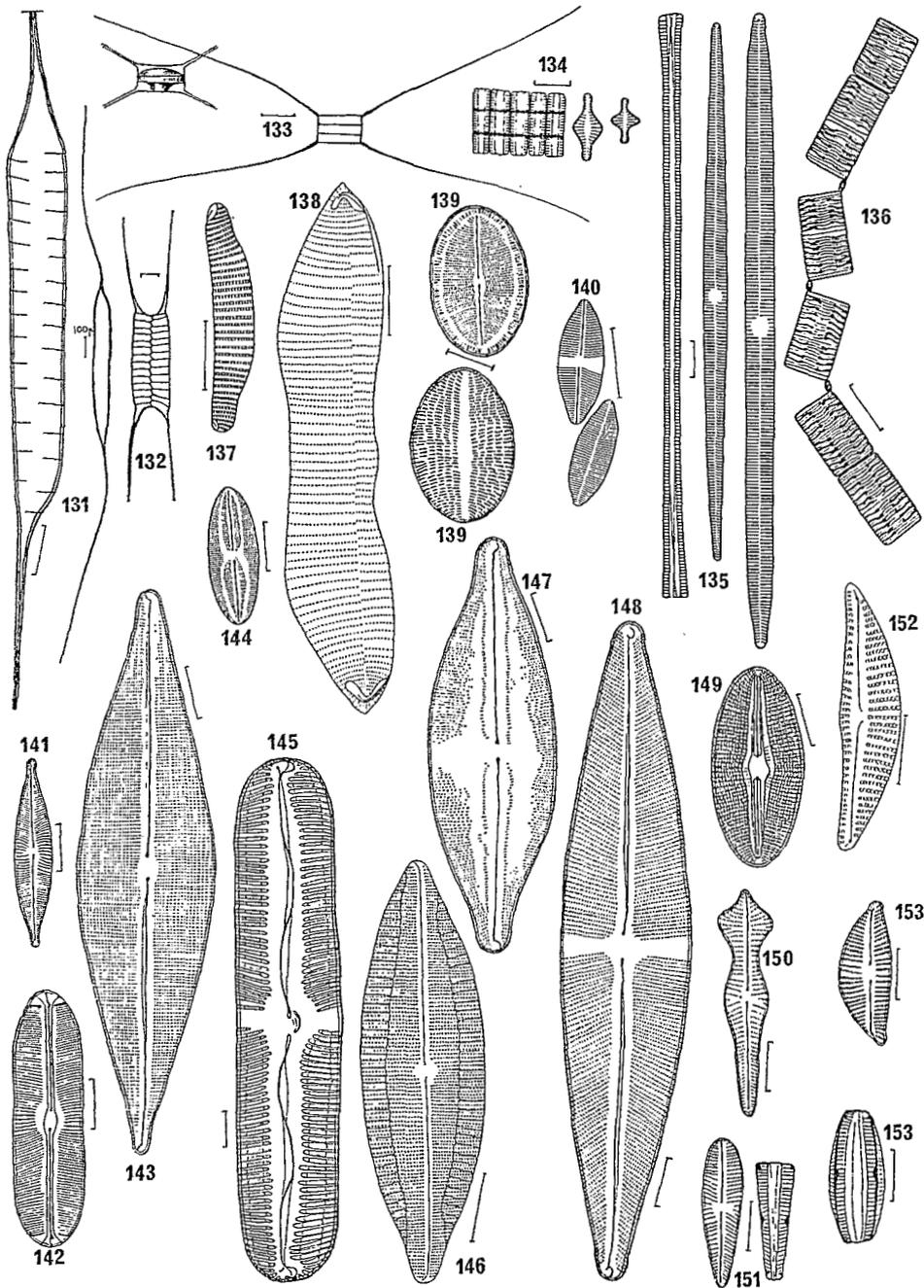


PLANCHE VIII. — 131 : *Rhizosolenia longiseta*. 132 : *Altheya zachariasii*. 133 : *Chaetoceros muelleri*. 134 : *Fragilaria construens*. 135 : *Synedra ulna*, vue connective et vues valvaires. 136 : *Tabellaria flocculosa*. 137 : *Eunotia tschirchiana*. 138 : *Eunotia didyma*. 139 : *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, valve avec raphé et valve sans raphé. 140 : *Achnanthes exiguoides*, valve avec raphé et valve sans raphé. 141 : *Navicula cryptocephala*. 142 : *Navicula bacillum*. 143 : *Navicula cuspidata*. 144 : *Navicula pygmaea*. 145 : *Pinnularia cardinalis*. 146 : *Mastogloia smithii*. 147 : *Anomoeoneis sphaerophora*. 148 : *Stauroneis phoenicenteron*. 149 : *Diploneis ovalis*. 150 : *Gomphonema acuminatum*. 151 : *Gomphonema olivaceum*, vue valvaire et vue connective. 152 : *Cymbella turgida*. 153 : *Cymbella ventricosa*, vue valvaire et vue connective (d'après BOURRELLY, sauf 137, 138, 140, 146, 152 d'après COMPÈRE et 133, 134, 135, 136 d'après HUSTEDT).

parfois étranglé en son milieu ; le raphé tout entier est encadré de deux bourrelets saillants (fig. 149).

Gomphonema : ce sont des *Navicula* hétéropolaires, solitaires, fixées par un pédoncule gélatineux simple ou ramifié. Le pôle antérieur est large tandis que le pôle postérieur est étroit et porte deux écussons lisses à la naissance du style de fixation. La valve est ornée de stries fines ponctuées. La vue connective est toujours cunéiforme (fig. 150 et 151).

Cymbella a l'aspect d'une *Navicula* recourbée en faucille ; le raphé est courbe ou, s'il est droit, il divise la valve en deux parties inégales, l'une plus convexe que l'autre. L'ornementation des valves comporte des stries ponctuées rayonnantes ; parfois une ou plusieurs perles isolées (stigma) existent dans la partie centrale de la valve à proximité du nodule (fig. 152 et 153).

Amphora avec des cellules ayant en vue valvaire, l'aspect de *Cymbella* ; la vue connective est très large et a un contour elliptique tronqué aux deux sommets ; elle laisse voir au voisinage des marges convexes les raphés de chacune des valves (fig. 154).

2° Les SURIRELLINÉES sont caractérisées par la présence d'un canal raphéen percé sur sa face interne de pores régulièrement espacés. On distingue trois familles : les Epithémiacées qui ont des valves avec de fortes stries transversales séparées par des stries plus fines ou des séries d'aréoles, les Nitzschiacées qui ont des valves régulièrement striées et un canal raphéen médian ou marginal, les Surirellacées avec un canal raphéen entourant entièrement la valve. Les genres les plus communs sont :

Epithemia (Epithémiacées) avec des cellules recourbées en croissant avec des pôles arrondis ou capités. Le canal raphéen est en forme de V dont la pointe est au centre de la valve et les sommets aux deux pôles. La vue connective est rectangulaire (fig. 121 et 155).

Rhopalodia (Epithémiacées) très étroit en vue valvaire et très large en vue connective ; la vue valvaire est en croissant et le canal raphéen est rejeté sur le bord convexe de la valve (fig. 156).

Nitzschia (Nitzschiacées) avec des valves de formes variables, linéaires ou elliptiques, droites ou sigmoïdes, rétrécies ou renflées au centre, à pôles arrondis ou capités. Le canal raphéen est creusé dans une carène saillante sur la marge de la valve. La section transversale du frustule est losangique, les raphés étant situés à des sommets diamétralement opposés (fig. 122, 157 et 158). Chez *Hantzschia* (Nitzschiacées), genre voisin, la section transversale est rectangulaire et les raphés situés du même côté de la valve sont superposés (fig. 159).

Surirella (Surirellacées) avec des valves elliptiques, lancéolées ou linéaires, parfois rétrécies en leur milieu ou même tordues en hélice. Le canal raphéen porté sur une sorte d'aile, fait le tour complet de la valve. La face valvaire est ornée de côtes rayonnantes et de stries (fig. 123 et 160). Un genre voisin *Cymatopleura* (Surirellacées) diffère de *Surirella* par les ondulations transversales existant sur les valves (fig. 161).

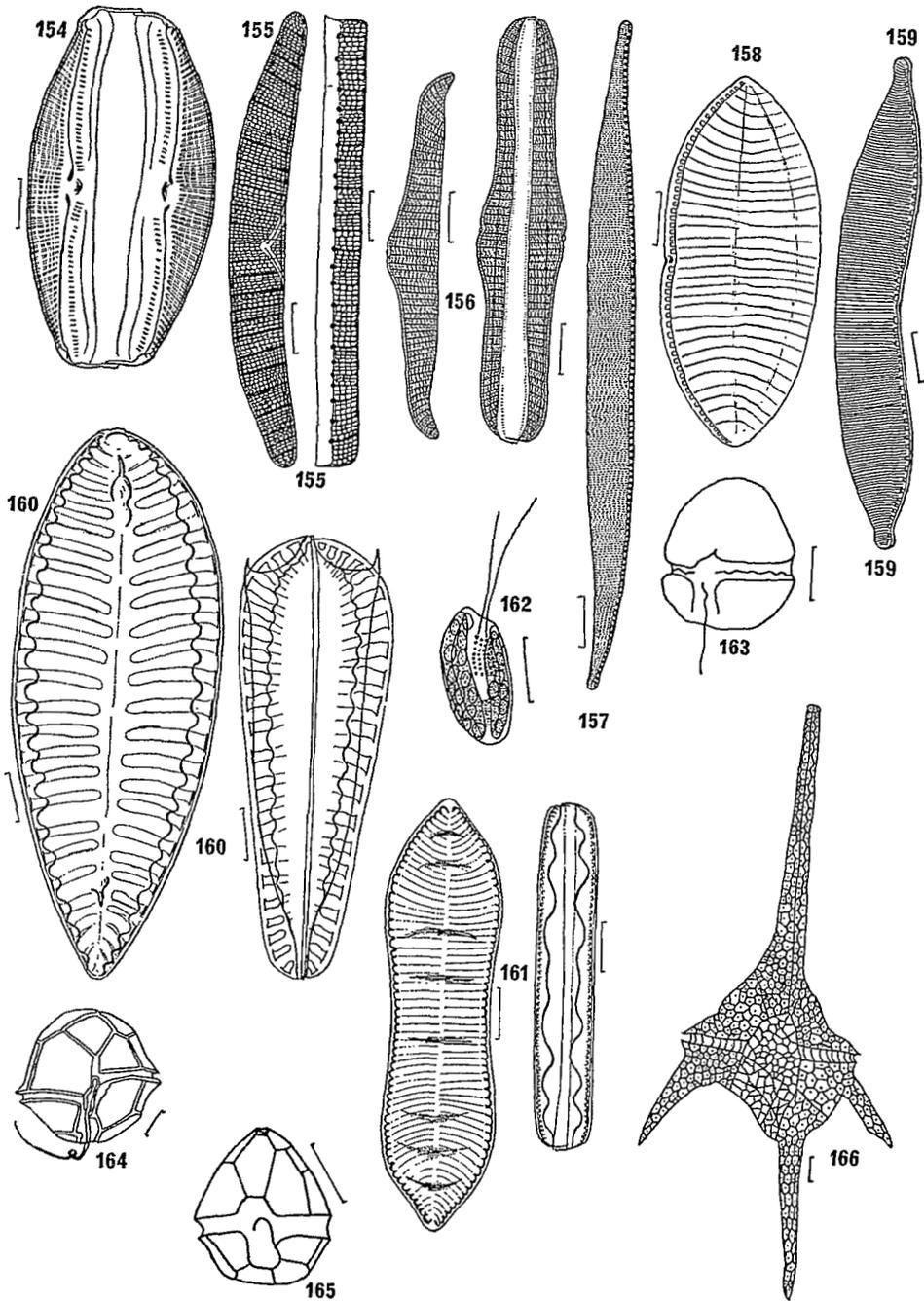


PLANCHE IX. — 154 : *Amphora ovalis*, vue connective. 155 : *Epithemia zebra*, vue valvaire et vue connective. 156 : *Rhopalodia gibba*, vue valvaire et vue connective. 157 : *Nitzschia sigma*, vue valvaire. 158 : *Nitzschia tryblionella* var. *victoriae*. 159 : *Hantzschia amphioxys*. 160 : *Surirella capronii*, vue valvaire et vue connective. 161 : *Cymatopleura solea*, vue valvaire et vue connective. 162 : *Cryptomonas erosa*. 163 : *Gymnodinium rotundatum*. 164 : *Peridinium cinctum*. 165 : *Peridinium pusillum*. 166 : *Ceratium hirundinella* (d'après BOURRELLY, sauf 162, 163, 165, 166 d'après COMPÈRE et 164 d'après LEFÈVRE).

RHODOPHYTES

Les Rhodophytes ne comprennent qu'une seule classe, les Rhodophycées ; ce sont pour la majorité des algues marines macroscopiques ; elles sont rares ou absentes dans les eaux douces soudaniennes.

PYRROPHYTES

Les Pyrrhophytes comprennent des algues unicellulaires presque toujours mobiles et biflagellées. Les réserves de la cellule sont constituées par de l'amidon extraplastidial. Les pigments contenus dans les plastes sont la chlorophylle a, la chlorophylle c, du carotène, des xanthophylles et parfois des biliprotéines : phycoérythrine et phycocyanine. Ils ne sont représentés que par quelques genres dans les eaux soudaniennes. L'embranchement des Pyrrhophytes comprend deux classes :

1. LES CRYPTOPHYCÉES

A deux fouets à insertion latérale sortant d'une dépression profonde : le cytopharynx. Nous ne citerons dans ce groupe que le genre *Cryptomonas* (Cryptomonadacées) avec des cellules libres, solitaires à contour réniforme ou elliptique, souvent plus large à l'apex qu'à la partie inférieure qui est parfois pointue ou recourbée. Dans l'apex, une échancrure se prolonge en un cytopharynx bien développé entouré de gros trichocystes en nombreuses séries régulières ; les deux flagelles de la cellule sont légèrement inégaux. Le plaste est unique, brun, rouge, bleu-vert ou jaune, il est pariétal et formé de deux grands lobes réunis par un pont étroit, d'où souvent l'aspect de deux plastes pariétaux. L'amidon est présent sous forme de grains arrondis ou polygonaux à la face interne du plaste (fig. 162). Les *Cryptomonas* sont abondants dans la région soudanienne ; les déterminations spécifiques doivent être faites sur du matériel frais.

2. LES DINOPHYCÉES

Les trois genres rencontrés couramment dans les eaux soudaniennes appartiennent à la sous-classe des Dinophycidées, ordre des Péridiniales. Cet ordre groupe les formes unicellulaires mobiles possédant deux fouets. l'un ondulant dans un sillon équatorial (cingulum) l'autre dans un sillon longitudinal (sulcus) perpendiculaire au précédent. Le genre *Gymnodinium* (Gymnodiniacées) comprend des cellules solitaires, mobiles, de forme ellipsoïdale, ne possédant pas de thèque mais une simple membrane. Le cingulum médian plan ou légèrement hélicoïdal fait le tour complet de la cellule, le sulcus est bien marqué. Les plastes bruns sont pariétaux discoïdes ou rubannés (fig. 163). Le genre *Peridinium* (Peridiniacées) a des cellules solitaires, mobiles, globuleuses ou ellipsoïdales, recouvertes d'une thèque cellulosique formée de plaques polygonales. Le cingulum divise la cellule en deux parties ; épithèque (ou épivalve) à treize ou quatorze plaques et hypothèque (ou hypovalve) à sept plaques, souvent égales mais l'hypothèque est parfois de taille plus réduite que l'épithèque (fig. 164 et 165). Ce genre est surtout riche en espèces marines mais plusieurs espèces existent en eau

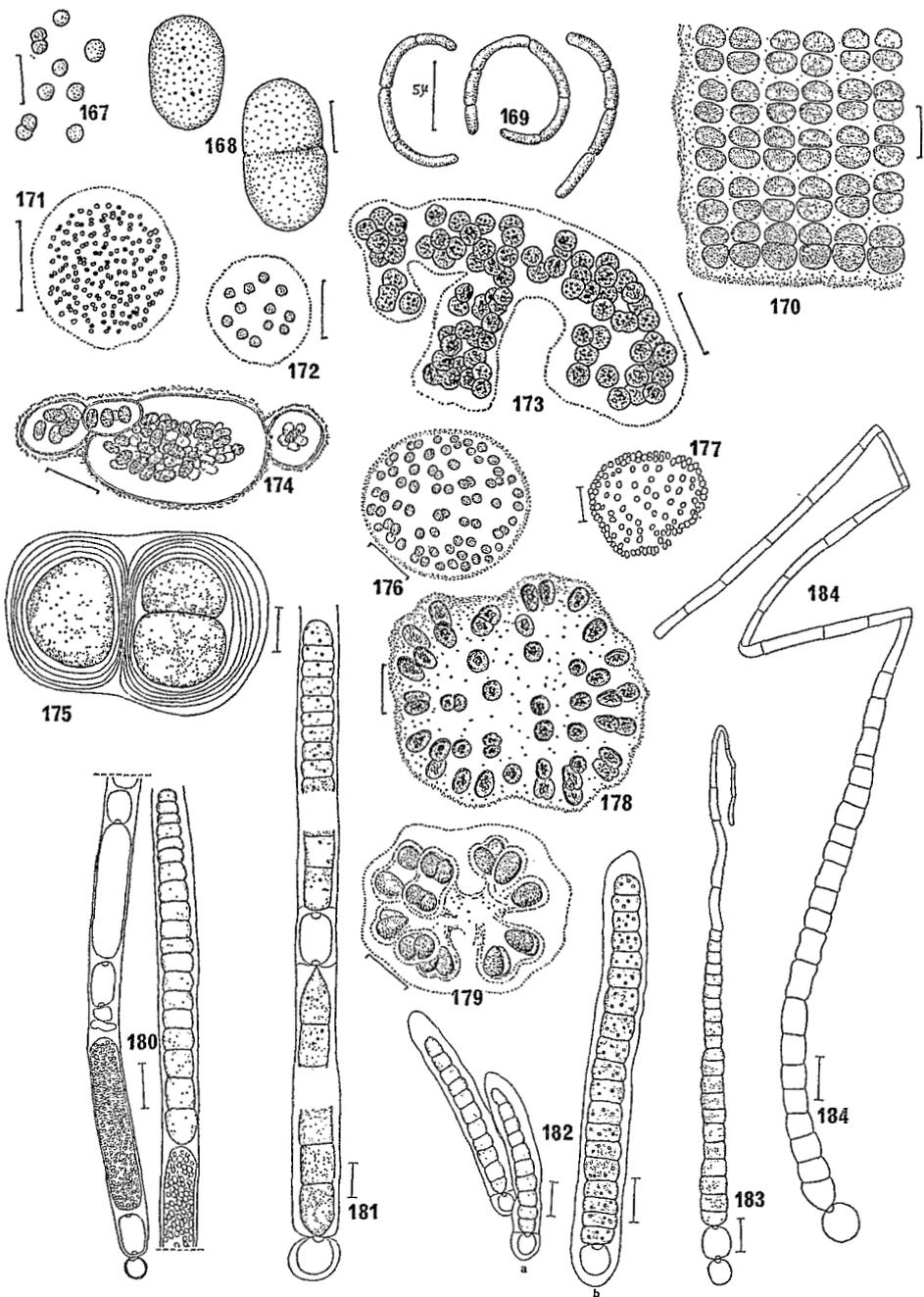


PLANCHE X. — 167 : *Synechocystis aquatilis*. 168 : *Synechococcus aeruginosus*. 169 : *Synechococcus leopoliensis*. 170 : *Merismopedia elegans*, morceau de colonie. 171 : *Microcystis delicatissima*. 172 : *Microcystis elachista*. 173 : *Microcystis aeruginosa*. 174 : *Aphanothece elabens*. 175 : *Chroococcus turgidus*. 176 : *Coelosphaerium kuetzingianum*. 177 : *Coelosphaerium confertum*. 178 : *Gomphosphaeria naegeliana*. 179 : *Gomphosphaeria aponina*. 180 : *Microchaete investiens*. 181 : *Microchaete uberrima*. 182 : *Calothrix brevissima* ; a : forme typique ; b : grande forme. 183 : *Calothrix scytonemicola*. 184 : *Rivularia aquatica* (167, 168, 169, 170, 174, 176, 178, 179 d'après BOURRELLY ; 171, 172 d'après WEST ; 173 d'après SMITH ; 175, 177, 180, 181, 182, 183, 184 d'après COMPÈRE).

douce. Quelques-unes, jamais très abondantes mais toujours facilement reconnaissables grâce à leur aspect particulier, ont été inventoriées dans les eaux soudaniennes.

Le genre *Ceratium* (Cératiacées) avec une longue corne sur l'épivalve et trois sur l'hypovalve n'est représenté que par l'espèce *Ceratium hirundinella* (fig. 166) d'ailleurs assez rarement rencontrée.

CYANOPHYTES

Les Cyanophytes ou algues bleues sont des algues Procaryotes. Plusieurs caractères négatifs permettent de définir ce groupe : absence de noyau véritable, absence de plastides, de mitochondries, d'appareil de Golgi, de vacuoles, absence de reproduction sexuée.

La structure des Cyanophytes est très variée, on rencontre des formes unicellulaires coccoïdes, des colonies, des filaments, des trichomes, des protothalles avec filaments rampants et filaments dressés, des cladomes, etc.

Les Cyanophytes ou Cyanophycées sont divisées en deux sous-classes : Les Coccogonophycidées qui groupent des formes solitaires ou coloniales, parfois filamenteuses mais sans hormogonies et à multiplication exclusivement par spores unicellulaires et les Hormogonophycidées qui groupent les formes filamenteuses se multipliant par hormogonies pluricellulaires.

LES COCCOGONOPHYCIDÉES comprennent trois ordres :

a) *Les Chroococcales* comprennent des Cyanophycées unicellulaires ou groupées en colonies de formes variées (cubique, sphérique, tabulaire) ou en archéthalles (paquets de cellules sans différenciation). Les genres les plus fréquemment rencontrés dans les eaux soudaniennes sont les suivants :

Synechocystis (Chroococcacées) à cellules sphériques solitaires libres dépourvues de gaine gélatineuse (fig. 167).

Synechococcus (Chroococcacées) à cellules allongées, cylindriques ou ellipsoïdales, solitaires ou groupées par deux après division transversale ; elles sont dépourvues de gaine gélatineuse abondante. Ces deux genres sont abondants dans les eaux riches en sels dissous (fig. 168 et 169).

Merismopedia (Chroococcacées) forme des colonies tabulaires monostromatiques flottantes de cellules globuleuses, ellipsoïdales ou cylindriques, dans une gelée homogène (fig. 170).

Microcystis (Chroococcacées) où les cellules sphériques sont groupées en colonies dans une gelée homogène le plus souvent incolore. Les cellules des espèces planctoniques possèdent souvent des pseudovacuelles. Les colonies sont de formes variées : sphériques, cylindriques, lobées. *Microcystis* est très fréquent dans les eaux douces africaines, surtout dans les eaux stagnantes (mares, bassins, lacs) ; *M. elachista*, *M. delicatissima* pour les petites formes, *M. aeruginosa* pour les formes plus grandes sont les espèces les plus communément rencontrées (fig. 171 à 173).

Aphanothece (Chroococcacées) comprend des cellules allongées, ellipsoïdales ou cylindriques, droites ou courbes, réunies dans une gelée homogène incolore (fig. 174).

Chroococcus (Chroococcacées) avec des cellules sphériques groupées

par 2, 4 ou 8, rarement 16, chaque cellule étant entourée d'une gaine gélatineuse homogène ou stratifiée (fig. 9 et 175).

Coelosphaerium (Chroococcacées) forme des colonies sphériques creuses flottant librement où les cellules globuleuses sont disposées en une seule couche à la périphérie d'une gelée hyaline et homogène (fig. 176 et 177).

Gomposphaeria où les cellules ellipsoïdales, sphériques ou ovoïdes sont réunies par des tractus dichotomiques (souvent peu visibles sans coloration) partant du centre de la colonie, le tout dans une gelée homogène (fig. 178 et 179). Parmi les espèces observées en zone soudanienne, *G. aponina* supporte des concentrations en sels dissous de l'ordre de 30 grammes par litre.

b) *Les Pleurocapsales* sont des Cyanophycées fixées sur les rochers et formant des protothales à filaments rampants portant des filaments dressés ramifiés. Elles sont absentes ou rares dans les eaux soudanienne.

c) *Les Chamaesiphonales* comprennent des formes filamenteuses simples et des formes unicellulaires présentant le plus souvent une base fixée et au sommet différencié. Elles sont absentes ou rares dans les eaux soudanienne.

LES HORMOGONOPHYCIDÉES comprennent deux ordres, les Stigonématales et les Nostocales.

a) *Les Stigonématales* forment des protothalles, comprenant un ensemble de filaments rampants et le plus souvent des filaments dressés croissant par division végétative. Cet ordre est peu ou pas représenté dans les eaux soudanienne.

b) *Les Nostocales* (ou Oscillatoriales) comprennent les Cyanophycées filamenteuses, unisériées, avec ou sans hétérocystes, se multipliant par hormogonies ou akinètes. Les ramifications lorsqu'elles existent sont toujours de fausses ramifications. Chez certaines espèces (famille des Rivulariacées), une extrémité du trichome est effilée en poil pluricellulaire. Dans la plupart des familles, on note la présence de gaines gélatineuses entourant un ou plusieurs trichomes.

L'ordre renferme six familles, les genres les plus communs dans les eaux soudanienne étant les suivants :

Microchaete (Microchaetacées) avec des trichomes unisériés présentant toujours un hétérocyste basal et une nette polarité, l'apex étant toujours plus étroit ou plus large que la base. Il y a un seul trichome par gaine avec éventuellement, en plus de l'hétérocyste basal, des hétérocystes intercalaires. Les filaments sont souvent groupés en bouquets radiaux ; les filaments sont alors soudés à leur base en une partie fixée, tandis que l'autre extrémité est dressée (fig. 180 et 181).

Calothrix (Rivulariacées) avec des filaments solitaires ou en touffes renflés à leur base qui présente un hétérocyste et effilés au sommet en poil articulé plus ou moins allongé. La gaine entourant le trichome est toujours visible, homogène ou stratifiée, hyaline ou colorée. Les fausses ramifications portent le plus souvent un hétérocyste à leur base, elles sont latérales, plus ou moins abondantes, elles sont parfois absentes. Certaines espèces possèdent à la base du trichome des akinètes cylindriques. Plusieurs espèces ont été signalées dans les eaux soudanienne, 14 ont été inventoriées dans le lac Tchad (fig. 182 et 183).

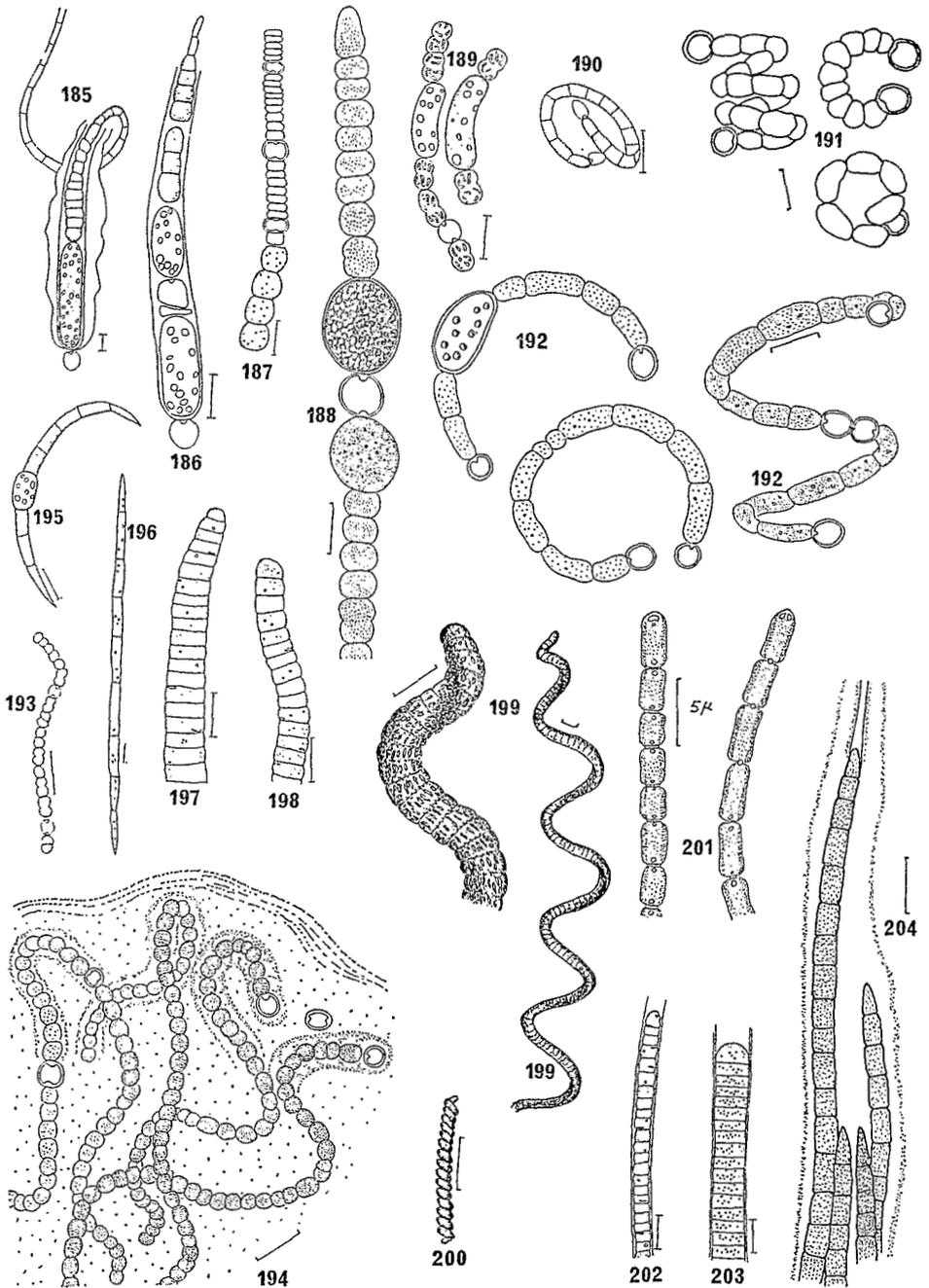


PLANCHE XI. — 185 : *Gloeotrichia natans*. 186 : *Gloeotrichia pilgeri*. 187 : *Nodularia harveyana*. 188 : *Anabaena sphaerica*. 189 : *Anabaena flos-aquae*. 190 : *Anabaenopsis tanganyikae*. 191 : *Anabaenopsis arnoldii*. 192 : *Anabaenopsis circularis*. 193 : *Nostoc entophyllum*. 194 : *Nostoc piscinale*, détail du thalle. 195 : *Raphidiopsis curvata*. 196 : *Raphidiopsis mediterranea*. 197 : *Oscillatoria chalybea*. 198 : *Oscillatoria boryana*. 199 : *Oscillatoria platensis*. 200 : *Oscillatoria pseudolabyrinthiformis*. 201 : *Pseudanabaena catenata*. 202 : *Lyngbya martensiana*. 204 : *Microcoleus lacustris* (185, 186, 187, 189, 190, 193, 195, 196, 197, 198, 202, 203, d'après COMPÈRE ; 188, 192, 194, 199, 200, 201, 204 d'après BOURRELLY).

Rivularia (Rivulariacées) forme des colonies gélatineuses sur les végétaux et les débris immergés. Les thalles globuleux, hémisphériques, fixés, sont constitués de filaments disposés radialement. Chaque filament possède une gaine avec un trichome à hétérocyste basal ; à l'apex, le trichome s'effile en poil articulé.

R. aquatica est abondant sur la végétation immergée du lac Tchad (fig. 184). Un genre voisin, *Gloeotrichia*, se distingue de *Rivularia* par la présence d'akinètes basaux (fig. 185 et 186).

Nodularia (Nostocacées) avec des filaments libres unisériés non ramifiés, à gaine plus ou moins épaisse ; les trichomes non différenciés aux extrémités sont formés de cellules cylindriques ou discoïdales le plus souvent plus courtes que larges. Des akinètes souvent disposés en séries et des hétérocystes sont intercalés dans le trichome (fig. 187).

Anabaena (Nostocacées) avec des filaments libres isolés, à cellules en grains de chapelet (moniliformes) ; des hétérocystes intercalaires sont présents, plus ou moins nombreux ; les akinètes, indispensables pour la détermination spécifique, sont solitaires ou en chaînes, contigus ou proches des hétérocystes.

Anabaena et plus spécialement *A. flos-aquae* forme souvent des fleurs d'eau sur les lacs sahéliens, en particulier sur le lac Tchad au cours de la saison chaude (fig. 188 et 189).

Anabaenopsis (Nostocacées) avec des trichomes droits ou spiralés présentant un hétérocyste terminal à chacune de leurs extrémités. Des hétérocystes intercalaires groupés par paire et des akinètes peuvent aussi se trouver au centre du filament. C'est un genre fréquent dans les eaux tropicales, et *A. circularis*, *A. arnoldii*, *A. tanganyikae* sont signalés dans de nombreux points de la région soudanienne (fig. 190 à 192).

Nostoc (Nostocacées) forme des thalles de grande taille (plusieurs centimètres) très gélatineux, renfermant de nombreux filaments enchevêtrés, moniliformes, non ramifiés. Hétérocystes et akinètes sont intercalaires. *N. entophyllum* est l'une des espèces les plus communément trouvées dans les eaux soudanienne (fig. 193 et 194).

Raphidiopsis (Nostocacées) avec des trichomes courts, solitaires, courbés en S ou en croissant, se terminant par une pointe aiguë à leurs deux extrémités. Il n'y a ni gaine, ni hétérocyste mais on peut observer des akinètes dans la partie centrale du trichome. *R. curvata* et *R. mediterranea* sont les espèces présentes dans le lac Tchad (fig. 195 et 196).

Oscillatoria (Oscillatoriacées) avec des trichomes libres, solitaires, non ramifiés, dépourvus de gaine et d'hétérocystes. Le trichome est cylindrique et l'apex présente parfois une forme particulière (courbé, capité, atténué... etc.). Les filaments sont mobiles et ces mouvements pendulaires hélicoïdaux sont caractéristiques du genre. Les Oscillaires forment des feutrages sur le fond ; elles peuvent être aussi très abondantes dans le plancton et former des fleurs d'eau.

Le genre *Oscillatoria* est divisé en deux :

— le sous-genre *Oscillatoria* qui groupe les espèces à trichome droit, soit environ 150 espèces dans toutes les eaux douces. Plus de 50 espèces existent rien que dans la région du lac Tchad (fig. 197 et 198) ;

— le sous-genre *Spirulina* qui groupe les espèces à trichome régulièrement enroulé en hélice plus ou moins serrée, soit une trentaine d'espèces dans les eaux douces en général. Leur déplacement s'effectue en se vrillant dans l'eau à la façon d'une vis (fig. 199 et 200). Les Spirulines sont abondantes dans les eaux salées et natronées sahéliennes, et une espèce *O. platensis* forme des fleurs d'eau particulièrement denses ; dans certaines régions du Tchad (Kanem), elle est récoltée, vendue sur les marchés sous forme de galettes et utilisée dans l'alimentation.

Pseudanabaena (Oscillatoriacées) avec des trichomes solitaires, mobiles, sans gaine. Les cellules, plus ou moins cylindriques, sont distantes les unes des autres mais réunies par un pont gélatineux. Il n'y a ni akinètes, ni hétérocystes chez la plupart des espèces. La cellule apicale conique ou arrondie est souvent différente de celles du trichome. *P. catenata* est l'espèce trouvée le plus souvent dans les eaux soudaniennes (fig. 201).

Lyngbya (Oscillatoriacées) peut être défini comme une *Oscillatoria* à trichome entouré d'une gaine ferme. Les filaments sont solitaires, libres ou fixés ou réunis en masses flottantes, les trichomes sont droits ou irrégulièrement enroulés (fig. 202 et 203).

Microcoleus (Oscillatoriacées) avec des trichomes très nombreux agglutinés les uns aux autres en un faisceau serré entouré d'une gaine gélatineuse ; l'ensemble forme des thalles cylindriques ou fusiformes laissant passer à leurs extrémités les $\frac{1}{2}$ pointes des trichomes (fig. 204).

Rôle des algues

L'importance des algues dans le milieu aquatique est due à leur situation à la base du cycle biologique existant dans l'eau. Elles constituent le point de départ de la chaîne alimentaire qui aboutit aux peuplements piscicoles exploités par l'homme. Utilisant l'énergie lumineuse, elles sont, quelques bactéries mises à part, les seuls organismes qui synthétisent des hydrates de carbone et de la matière organique à partir des éléments minéraux dissous dans le milieu. Une bonne connaissance du plancton végétal existant permet donc une appréciation sur la qualité de l'eau et sa valeur pour la production piscicole. Deux éléments doivent pour cela être pris en considération : la biomasse algale présente et sa vitesse de formation. La biomasse peut être estimée par comptages au microscope (ou à l'aide de compteurs de particules) ou par dosages de la quantité de chlorophylle présente par unité de volume du milieu. La formation de matière organique par le plancton végétal constitue la production primaire, elle est évaluée de façon indirecte par dosage des quantités d'oxygène dissous produites dans le milieu par le peuplement algal ou en mesurant, après addition d'éléments radioactifs (carbone 14 généralement) dans l'eau, la quantité de ces éléments assimilée dans le phytoplancton par unité de temps.

Une partie des algues est consommée par les phytoplanctophages : zooplanctontes, vers, crustacés, alevins et certaines espèces de poissons adultes ; quant aux algues non consommées, les substances qui les composent redeviennent, dans la plupart des cas, disponibles dans le cycle biologique de l'eau.

En dehors de ce rôle primordial dans la biologie des eaux, il faut citer les multiples utilisations directes dont font l'objet les algues d'eau douce ou marines.

En Asie, Rhodophytes et Phéophytes sont utilisées dans l'alimentation et entrent dans la composition de nombreux plats, principalement au Japon où les algues marines du genre *Porphyra* (Rhodophycée) sont très largement cultivées le long du littoral. Sur les autres continents, l'utilisation des algues comme nourriture pour l'homme est peu répandue. Au Tchad, *Oscillatoria platensis*, une Cyanophyte, est récoltée dans les mares natronées situées au nord du lac Tchad où elle se développe en masse ; elle est consommée par une partie des habitants de cette région. En Europe, des cultures semi-industrielles ont été tentées avec les algues des genres *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria* en vue d'obtenir des produits riches en protéines utilisables soit directement pour l'alimentation humaine, soit pour le nourrissage de la volaille ou du bétail.

Certaines algues marines sont récoltées pour l'extraction de colloïdes (agar-agar, carragahénine) employés pour les cultures de bactéries et de champignons en laboratoire et dans les industries pharmaceutique, photographique et alimentaire. Les accumulations d'algues calcaires sont utilisées dans certaines régions comme engrais.

Les algues sont à l'origine de nombreux dépôts calcaires ou siliceux, les thèques des organismes s'accumulant sur les fonds. Les dépôts de Diatomées fossiles constituent ainsi des couches géologiques d'une épaisseur pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'un matériau léger, friable et poreux : la diatomite. Les couches de diatomite, lorsqu'elles existent permettent de retracer l'évolution géologique d'une région, elles permettent en particulier de repérer les anciens niveaux des zones lacustres existant dans la zone soudanienne. Les diatomites ont, de plus, de nombreuses utilisations industrielles (absorbant, abrasif, isolant, etc.) et leurs gisements sont exploités, par exemple en France, dans le Massif Central et dans le Bassin Parisien.

Selon certains auteurs aussi, l'accumulation des algues dans les dépôts marins aurait contribué à la naissance de certains gisements pétroliers.

Signalons enfin que le phytoplancton constitue un très bon indicateur biologique de pollution des eaux douces. Dans les régions tempérées, les eaux les plus pures sont peuplées par des Rhodophycées, mais sont envahies par des Cyanophytes, puis des Euglénophytes lorsque le milieu devient plus eutrophe. Lorsque la pollution atteint son maximum, les algues disparaissent presque entièrement et sont remplacées par des bactéries des genres *Beggiatoa* et *Sphaerotilus*. On peut ainsi relier certaines algues ou certains groupes d'espèces à différents niveaux de pollution du milieu.

Biogéographie

Les inventaires algologiques portant sur les eaux soudanienues sont encore rares ou très incomplets : la flore du lac Tchad peut seule être considérée comme bien connue. Des données assez complètes existent de plus sur la flore du fleuve Niger et quelques milieux spéciaux tels que les

mares natronées et les gueltas présahariennes ; pour la plupart des autres régions, on ne possède au mieux que des inventaires partiels.

Il apparaît donc difficile de définir dans l'état actuel de nos connaissances les caractéristiques générales propres aux peuplements d'algues de ces eaux ; on ne pourra donc qu'examiner et comparer quelques aspects, les proportions des différents groupes d'algues et l'abondance ou la rareté des formes tropicales par exemple, des florules connues jusqu'à présent.

La flore algale soudanienne est constituée au point de vue nombre de taxons par une forte proportion de Diatomophycées, de Chlorophytes et de Cyanophytes ; les Euglenophytes sont aussi en nombre relativement important tandis que Xanthophycées, Chrysophycées, Phéophycées, Rhodophycées et Pyrrophytes sont absentes ou en nombre très réduit.

Une grande partie des taxons observés dans les eaux soudanienues sont connus des régions tempérées et d'autres régions du globe. Une partie d'entre eux n'ont toutefois été observés que dans les régions chaudes d'Afrique, d'Asie ou d'Amérique et constituent, autant que les connaissances actuelles sur leur répartition permettent de l'établir, des formes tropicales exclusives ou préférentielles. La proportion de ces espèces sur l'ensemble des taxons inventoriés permet une première estimation approximative sur le caractère plus ou moins tropical d'une florule locale. On a ainsi observé dans des échantillons du Niger moyen 53 % (BOURRELLY, 1957) et 45 % (COUTÉ et ROUSSELIN, 1975) de formes tropicales, toutefois les Diatomées n'étaient pas prises en compte dans cette étude ; au Tchad, 13 % de formes tropicales ont été inventoriées dans les pièces d'eau natronées à des degrés divers de la région du Kanem au nord-est du lac Tchad (ILTIS, 1973) et 18 % dans les gueltas du massif de l'Ennedi (COMPÈRE, 1970).

Outre le pourcentage de ces formes dans l'ensemble de la flore, les Desmidiées sont considérées comme de bons indicateurs de répartition géographique et à partir de cette famille des indices empiriques ont été proposés par BOURRELLY (1957). Les proportions des espèces de chaque genre sur l'ensemble des espèces de cette famille présentes dans le milieu peuvent être calculés ; on évalue principalement le pourcentage de l'ensemble des taxons des genres *Pleurotaenium* plus *Euastrum* plus Desmidiées filamenteuses et celui de *Pleurotaenium* plus Desmidiées filamenteuses sur le total des taxons appartenant aux Desmidiées. Ce dernier chiffre paraît donner les meilleures indications sur le caractère biogéographique des flores algales : il est d'au moins 10 % dans des échantillons provenant de régions comme le Brésil, l'Insulinde, Burma et Ceylan ; dans la zone soudanienne, il est de 14,5 % et 5,4 % pour le Niger au Mali, 11,2 % pour le Soudan, 4,4 % pour les eaux natronées du Kanem du Tchad, 8,5 % pour le lac Tchad (COMPÈRE 1967), 7 et 0 % respectivement pour les gueltas du Tibesti et de l'Ennedi. Le pourcentage *Pleurotaenium* plus *Euastrum* plus Desmidiées filamenteuses qui dépasse généralement 20 % dans les eaux tropicales est de 28,5 % et 17 % pour le Niger ou Mali, 23,6 % pour le Soudan, 19,2 % pour le lac Tchad, 16,7 % pour le Tibesti, 6,6 % pour le Kanem et 5,5 % pour l'Ennedi.

On peut donc conclure que la flore algale des fleuves et lacs soudaniens présente un caractère tropical dans l'ensemble moyennement marqué ; les flores des milieux particuliers tels que, au Tchad, les eaux natronées du Kanem ou les mares et gueltas du Tibesti et de l'Ennedi, possèdent des caractéristiques spéciales et les formes tropicales y apparaissent en plus faible proportion.

Références bibliographiques

A. OUVRAGES GÉNÉRAUX

- A review of methods used for quantitative phytoplankton studies, 1974. *UNESCO technical papers in marine science*, n° 18, 27 p., multigr.
- BOURRELLY (P.), 1966-1968-1970. — Les algues d'eau douce. 1, algues vertes ; 2, algues jaunes et brunes ; 3, algues bleues et rouges. *N. Boubée et Cie, Paris*, 511 p., 438 p. 438 p. et 512 p.
- DUSSART (B.), 1966. — Limnologie. *Gauthier-Villars, Paris*, 677 p.
- FELDMANN (J.), 1963. — Les algues in Botanique (P. P. Grassé), *Masson et Cie, Paris*, p. 83-249.
- GAYRAL (P.), 1975. — Les algues. Morphologie. Cytologie. Reproduction. Écologie. *Doin, Paris*, 166 p.
- GRASSE (P. P.), 1952. — Traité de Zoologie - I. Phylogénie. Protozoaires. Généralités, Flagellés. *Masson et Cie, Paris*, 1071 p.
- LUND (J. W. G.), KIPLING (C.), LE CHEN (E. D.), 1958. — The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11,2 : 143-170.
- ROUND (F. E.), 1965. — The biology of the Algae. *Edward Arnold, London*, 278 p.
- SCHWOERBEL (J.), 1966. — Methoden der Hydrobiologie. *Kosmos, Stuttgart*, 208 p.
- SMITH (G. M.), 1938. — Cryptogamic botany — I, Algae and Fungi. *Mc Graw Hill, New York and London*, 545 p.
- UTERMOHL (H.), 1958. — Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik — *Mitt. int. Verein theor. angew. Limnol.*, 9, 38 p.
- WELCH (P. S.), 1948. — Limnological methods. *Blackiston Cy, Philadelphie Toronto*, 381 p.

B. SYSTÉMATIQUE DE LA RÉGION SOUDANIENNE

- ABDIN (G.), 1947. — Communities of Sessile Algae in Aswan Reservoir. *Palest. J. Bot. hori. Sci.*, 4 : 105-106.
- ABDIN (G.), 1948. — Seasonal distribution of phytoplankton and Sessile Algae in the River Nile, Cairo. *Bull. Inst. Egypt.*, 29 (1946-47) : 369-382.
- ABDIN (G.), 1948. — A few notes on the little known Algal species observed in Aswan Reservoir. *Proc. Egypt. Acad. Sci.*, 3 : 53-55.
- ABDIN (G.), 1949. — Benthic Algal flora of Aswan Reservoir (Egypt). *Hydrobiologica*, 2 : 118-133.
- ABDIN (G.), 1954. — Algal Lithophytes of the Aswan Reservoir Area. *Bull. Inst. Egypt.*, 35 (1952-53) : 93-102.
- AMOSSE (M.), 1934. — Diatomées du Tibesti et du Djourab. *C. R. Acad. Sci.*, 142 : 143-153.
- AMOSSE (M.), 1935. — Note sur un dépôt de Diatomées provenant de la région nord du Niger. *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 2, 7 : 275-278.

- AMOSSE (M.), 1941. — Diatomées du Sahara septentrional et central. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord.*, 32 : 126-152.
- AMOSSE (M.), 1970. — Diatomées marines et saumâtres du Sénégal et de la Côte d'Ivoire. *Bull. I.F.A.N.*, ser. A., 32, 2 : 289-311.
- BACHMANN (H.), 1933. — Phytoplankton von Victoria Nyanza, Albert Nyanza und Kiogasee. *Ber. Schweiz bot. ges.*, 42 : 705-717.
- BACHMANN (H.), 1936. — Phytoplankton from the Nile. Ministry of Commerce and Industry, Egypt. Fisheries Research Directorate. Notes & mémoires 22.
- BASTOW (R.), 1960. — The diatom-flora of the Sudan. *J. Queckett micr. club.* 5, 9 : 236-246.
- BEHRE (K.), 1958. — Cyanophyceen aus den Gebirge von Tibesti. Gesammelt von Hern Quezel in Mission Botanique au Tibesti. *Mem. Inst. Rech. Sahar.*, 4 : 13-22.
- BORGE (O.), 1899. — Uber tropische und subtropische Süßwasserchlorophyceen. *Bih. svensk vetensk. Akad. Handl.*, 24 (3, 12) : 1-33.
- BOURRELLY (P.), 1957. — Algues d'eau douce du Soudan français, région du Macina. *Bull. I.F.A.N.*, ser. A, 19 : 1047-1102, 2 pl.
- BROOK (A. J.), 1954. — A systematic account of the phytoplankton of the Blue and White Nile. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, ser. 12, 7 : 648-656.
- BROOK (A. J.), *et al.*, 1957. — A bibliography of African freshwater Algae. *Rev. Alg.*, 2, 4 : 207-238.
- CHEVALIER (A.), 1920. — Exploration botanique de l'Afrique Occidentale Française. 1) Énumération des plantes récoltées. *Algae* : 785-789 (dét. P. Hariot) Paris.
- COMPÈRE (P.), 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. jard. Bot. Nat. Belg.*, 37 (2) : 109-288.
- COMPÈRE (P.), 1970. — Contribution à l'étude des eaux douces de l'Ennedi. III : Algues. *Bull. I.F.A.N.*, 32, ser. A, 1 : 18-64.
- COMPÈRE (P.), 1974. — Cyanophycées de la région du lac Tchad ; taxons, combinaisons et noms nouveaux. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 44 : 17-21.
- COMPÈRE (P.), 1974. — *Mallomonas broncharliana*, Chrysophycée nouvelle du lac Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 44 : 61-63.
- COMPÈRE (P.), 1974. — Algues de la région du lac Tchad. II Cyanophycées. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, ser. *Hydrobiol.*, VIII, 3-4 : 165-198.
- COMPÈRE (P.), 1975. — Algues de la région du lac Tchad. III. Rhodophycées, Euglénophycées, Cryptophycées, Dinophycées, Chrysophycées, Xanthophycées. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, ser. *Hydrobiol.*, IX, 3 : 167-192.
- COMPÈRE (P.), 1975. — Algues de la région du lac Tchad. IV. Diatomophycées. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, IX, 4 : 203-290.
- COMPÈRE (P.), 1975. — Diatomées de la région du lac Tchad ; taxons, combinaisons et noms nouveaux. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 45 : 373-382.
- COMPÈRE (P.), 1976. — Algues de la région du lac Tchad. V. Chlorophycophytes (1^{re} partie). *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, X, 2 : 77-118.
- COMPÈRE (P.), 1976. — Algues de la région du lac Tchad. VI. Chlorophycophytes (2^e partie : Ulotrichophycées, Zygnématacées). *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, X, 3 : 135-200.
- COMPÈRE (P.), 1977. — Algues de la région du lac Tchad. VII. Chlorophycophytes (3^e partie : Desmidiées) *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, XI, 2 : 77-177.

- CORILLION (R.), GUERLESQUIN (M.), 1973. — Remarques sur les Characées d'Afrique intertropicale. *Vehr. Int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 18, 3 : 1380-1384.
- COUTE (A.) ROUSSELIN (G.), 1975. — Contribution à l'étude des algues d'eau douce du Moyen Niger (Mali). *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 3^e série, 277, Botanique 21 : 73-175.
- DADAY (E. von), 1910. — Beitrage zur Kenntnis der Mikrofauna des Nils. *S. Akad. Wiss. Wien*, 119 : 537-589.
- EHRENBERG (C. G.), 1856. — Uber das mikroskopische Leben der centralen Landflächen Mittel-Afrika's nach Dr Vogels Materialien. *Monatsber. K. preuss Akad. Wiss. Berlin.* : 323-338.
- EHRlich (A.), MANGUIN (E.), 1970. — Examen de quelques Diatomites du Tibesti et du Bahr el Ghazal (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géologie*, 2, 1 : 153-157.
- FAURE (H.), MANGUIN (E.), NYDAL (R.), 1963. — Formations lacustres du Quaternaire supérieur du Niger oriental : Diatomites et âge absolu. *Bull. B.R.G.M.*, 3 : 41-63.
- FOGED (N.), 1966. — Freshwater diatoms from Ghana. *Biol. ser. Danske Vid. Selsk.*, 15, 169 p.
- FOTT (B.), KARIM (A. G. A.), 1973. — *Spirulina* plankton community in a lake in Jebel Marra, Sudan. *Arch. Protistenk.*, 115 : 408-418.
- FREMY (P.), 1930. — Les Myxophycées de l'Afrique Équatoriale Française. *Arch. Bot. (Caen)*, Mem. 3, 2, 508 p.
- GAUTHIER-LIÈVRE (L.), 1941. — Algues des eaux continentales africaines. I Algues du Sahara septentrional et central. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 32 : 79-152.
- GAUTHIER-LIÈVRE (L.), 1949. — Liste des algues provenant de contenus intestinaux de poissons du Niger moyen, in : Données statistiques et biologiques sur quelques poissons du Niger Moyen (Th. Monod). *Cybiurn*, 4 : 55-61, annexe.
- GAUTHIER-LIÈVRE (L.), 1958. — Algues in Mission Botanique au Tibesti par P. QUEZEL. *Mem. Inst. Rech. Sahar.*, 4 : 27-43.
- GAUTHIER-LIÈVRE (L.), 1963-1964. — Oedogoniacées africaines. *Nova Hedwigia* VI et VII, 153 et 481 p.
- GAUTHIER-LIÈVRE (L.), 1965. — Zygnémacées africaines. *Beih. Z. Nova Hedwigia* 20, 210 p.
- GIGOT-PINARD (C.), 1966. — Formations récentes du Tchad. Étude systématique des Diatomées. *B.R.G.M.* 66/8, 31 p., 2 pl., multigr.
- GRÖNBLAD (R.), 1962. — Sudanese Desmids. II. *Act. Bot. Fenn*, 63 : 1-19.
- GRÖNBLAD (R.), PROWSE (G. A.), SCOTT (A. M.), 1958. — Sudanese Desmids. *Act. Bot. Feun.*, 58 : 1-82.
- GUERMEUR (P.), 1954. — Diatomées de l'A.O.F. (Première liste = Sénégal) *I.F.A.N.*, catalogue, 12, 137 p.
- GUTWINSKI (R.), CHMIELEWSKI (Z.), 1906. — Contribution à l'étude des algues du Cameroun. *Ann. Biol. Lacust.*, 1 : 168-179.
- HAMBERTON (D.), 1968. — Recent discoveries in the caldera of Jebel Marra. *Sudan Notes and Records*, 49 : 136-148.
- ILTIS (A.), 1970. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad) IV. Note sur les espèces du genre *Oscillatoria*, sous-genre *Spirulina* (Cyanophyta). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, IV, 314 : 129-134.
- ILTIS (A.), 1971. — Algues nouvelles des mares du Kanem (Tchad). *Rev. Alg.*, nouv. ser., 10, 2 : 172-176.

- ILTIS (A.), 1971. — Note sur *Oscillatoria* (sous-genre *Spirulina*) *platensis* (Nordst.) Bourrelly (Cyanophyta) au Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 1 : 53-72.
- ILTIS (A.), 1972. — Remarques taxinomiques sur les algues des mares du Kanem (Tchad). *Rev. Alg., nouv. ser.*, 10, 4 : 334.
- ILTIS (A.), 1972. — Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad) 1^{re} partie. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 3-4 : 173-346.
- ILTIS (A.), 1973. — Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad) 2^e partie. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VII, 1 : 25-54.
- ILTIS (A.), COMPÈRE (P.), 1974. — Algues de la région du lac Tchad. I. Caractéristiques générales du milieu. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VIII ; 3-4.
- KARIM (A. G. A.), 1968. — Studies on the freshwater algae of the Sudan I. On the ecology of the algae of Wadi Galol - Jebel Marra. *Hydrobiologia*, 32, 1-2 : 33-46.
- KARIM (A. G. A.), 1975. — Studies on the freshwater algae of the Sudan II. The distribution of the Bacillariophyceae of Wadi Galol, Jebel Marra. *Hydrobiologia*, 47, 1 : 31-42.
- KAUFMANN (P.), 1897. — Sur le prétendu Nil vert. *Revue d'Égypte*, 4 : 105-113.
- LÉONARD (J.), COMPÈRE (P.), 1967. — *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler, algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines. *Bull. jard. Bot. Nat. Belg.*, 37 (1), suppl., 23 p.
- MANGUIN (E.), 1958. — Diatomées du Borkou et du Tibesti in Mission Botanique au Tibesti, par P. Quezel. *Mem. Inst. Rech. Sahar.*, 4 : 23-26.
- MARCHESONI (V.), 1946. — Il popolamento algologico delle acque del Deserto Libico. *Nuovo G. bot. Ital.*, N.S., 53 : 524-534.
- MONOD (T.), 1952. — Contribution à l'étude du peuplement de la Mauritanie. Notes botaniques sur l'Adrar (Sahara occidental). *Algae. Bull. I.F.A.N.*, A, 14 : 436-437.
- MONOD (T.), 1954. — Contribution à l'étude du peuplement de la Mauritanie. Notes botaniques sur l'Adrar (Sahara occidental). *Algae. Bull. I.F.A.N.*, A, 16, 30.
- MULLER (O.), 1899. — Bacillariaceen aus den Natronthalern von El Kab. (Ober Aegypten). *Hedwigia*, 38 : 274-321.
- POUQUES (M. L. de), 1956. — Examen de la flore algale de quelques mares du Sénégal. *Bull. Soc. Sci. Nancy, n.S.*, 15, 2 : 77-83.
- PROWSE (G. A.), 1954. — Phytoplankton in Annual Report Hydrobiological Research Unit, University College Khartoum, 1 : 12-14.
- ROSS (R.), 1955. — The algae of the East African Great Lakes. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 12 : 320-326.
- ROUND (F. E.), 1961. — The composition of some Diatomites from the Southern Sahara. *Journ. R. Microsc. Soc.* 80 : 59-69.
- ROUND (F. E.), 1961. — Some algae from the Ennedi mountains of French Equatorial Africa. *Journ. R. Microsc. Soc.* 80 : 71-82.
- RZOSKA (J.), BROOK (A. J.), PROWSE (G. A.), 1955. — Seasonal plankton development in the White and Blue Nile near Khartoum. *Verh. int. Ver. Limnol.*, 12 : 327-334.
- SALAH (M.), TAMAS (G.), 1970. — General preliminary contribution to the plankton of Egypt. *Bull. Inst. Oceanogr. Fish. UAR*, 1 : 305-337.
- SCHWABE (G. H.), SIMONSEN (R.), 1961. — Cyanophyceen und Diatomeen aus der Krateroase Wau - en - Namus (Fezzan, Zentrale Sahara). *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, 46, 2 : 255-268.

- SERPETTE (M.), 1955. — Contribution à l'étude des Cyanophycées de l'Afrique Occidentale. *Bull. I.F.A.N.*, ser. A, 17, 3 : 769-804.
- WEST (G. S.), 1909. — Phytoplankton from the Albert Nyanza. *J. Bot Lond.*, 47 : 244-246.
- WOODHEAD (N.), TWEED (R. D.), 1958. — A check list of tropical West African algae (Fresh and brackish water) *Hydrobiologia*, 11, 3-4 : 299-395.
- WOODHEAD (N.), TWEED (R. D.), 1960. — A second check list of tropical West African algae. *Hydrobiologia*, 15, 3 : 225-286.
-