

# INITIATION A LA SYSTÉMATIQUE DES DIATOMÉES D'EAU DOUCE

Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique

A. RUMEAU, M. COSTE

## INTRODUCTION INTO THE SYSTEMATIC OF FRESHWATER DIATOMS For a useful generic diatomic index

### SOMMAIRE

INTRODUCTION _____	
LEXIQUE ILLUSTRE DES TERMES UTILISES.....	3
LES DIATOMEES: CARACTERES GENERAUX.....	9
- Morphologie générale .....	9
- Reproduction.....	9
- Eléments de Biologie générale .....	10
MATERIEL ET METHODES.....	10
- Le microscope .....	10
- Petit matériel .....	10
- de récolte .....	10
- de préparation et montage .....	11
- produits chimiques.....	11
TECHNIQUES D'ETUDE:	
- Echantillonnage.....	11
- Conservation des échantillons .....	12
- Nettoyage .....	12
- Traitement par grillage.....	12
- Traitement chimique.....	12
- Montage : principaux milieux utilisés.....	13
- Numération ou comptage.....	14
PRESENTATION DES RESULTATS.....	14
ESSAI DE DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES EAUX A PARTIR DES DIATOMEES .....	15
SYSTEMATIQUE : CLES D'IDENTIFICATION AU GENRE .....	19
- Centrophycidées .....	22
- Pennatophycidées.....	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	65
ANNEXE 1: QUELQUES ADRESSES UTILES (fournisseurs).....	68
ANNEXE 2: INDEX DES NOMS DE GENRES.....	69

## I - INTRODUCTION

L'étude des algues d'eau douce reste encore de nos jours l'apanage des spécialistes mais la connaissance de ces organismes microscopiques n'est pas réservée aux scientifiques ou aux botanistes; il suffit pour s'en convaincre de consulter les ouvrages et les collections du laboratoire de Cryptogamie du Museum National d'Histoire Naturelle à Paris pour mesurer l'ampleur des travaux réalisés par de simples collectionneurs, des amateurs de microscopie ou de microphotographie qui ont contribué pour une large part à l'essor de cette discipline.

L'algologie a toujours fait une place particulière aux diatomées, algues brunes à thèque siliceuse dont l'identification est rarement immédiate mais nécessite une préparation préalable afin d'observer l'ornementation délicate du squelette. Beaucoup d'algologues y voient un inconvénient majeur car la reconnaissance de ces algues implique des opérations jugées à tort fastidieuses (nettoyage et montage) alors que d'autres y voient des avantages évidents liés à leur conservation ou à leur persistance dans des conditions défavorables (assèchement). Dans les sédiments lacustres, elles constituent les témoins précieux d'un passé récent ou parfois plus ancien à l'échelle géologique. La paléobotanique et la paléoclimatologie les utilisent fréquemment en association avec les pollens (palynologie) pour reconstituer les conditions climatiques et les caractéristiques hydrologiques des milieux à différentes époques.

Un autre atout majeur est leur aptitude à coloniser tous les milieux aquatiques même les plus hostiles et leur utilisation dans le diagnostic des pollutions est déjà très ancienne puisque dès 1908 KOLKWITZ & MARSSON ont proposé une liste de diatomées indicatrices dans leur système des Saprobies. Leur possibilité d'intégration des conditions du milieu est très variable et en relation directe avec la pérennité des espèces. Certains taxons peuvent en effet se reproduire toutes les heures d'autres, généralement plus volumineux (donc plus silicifiés) après plusieurs semaines ou plusieurs mois. Les recherches récentes menées conjointement dans divers pays ainsi que plusieurs exercices d'intercalibration réalisés au sein de la Communauté européenne permettent d'envisager la mise en pratique prochaine de méthodes standardisées applicables aux grands cours d'eau.

Le présent travail est une introduction à l'étude des Diatomées d'eau douce. Il n'a d'autre prétention que d'initier les techniciens des services d'études à la reconnaissance des principales formes de diatomées susceptibles d'être rencontrées dans les milieux lacustres et potamiques en proposant une clé de détermination au genre et une perspective d'utilisation pour le diagnostic de la qualité des eaux courantes.

Les voitures laboratoire du CONSEIL SUPERIEUR de la PECHE ont à leur disposition des méthodes d'appréciation de la qualité biologique des cours d'eau, basées sur les populations d'invertébrés benthiques. D'un usage pratique et aisé elles rendent d'irremplaçables services dans les cours d'eau de faible à moyenne importance, elles sont en revanche inutilisables dans les cours inférieurs des fleuves et rivières navigables, ainsi que dans les canaux de navigation, et d'une façon générale, dans les milieux fortement artificialisés. Les techniques faisant appel à des groupes systématiques plus spécialisés peuvent dans certaines conditions combler ces lacunes et les diatomées semblent bien appropriées à ce type d'investigation car elles sont non seulement omniprésentes voire dominantes des sources aux estuaires et elles sont en outre très faciles à récolter.

L'obstacle systématique freine encore leur emploi en routine et cette modeste contribution ne constitue qu'une étape à la diffusion de méthodes trop souvent réservées aux seuls "diatomistes".

Afin de rendre l'utilisation des clés de détermination plus facile, un lexique illustré des termes techniques est présenté en début du document et la description de chaque taxon s'accompagne des illustrations correspondantes placées sur une même page représentant la majeure partie des formes susceptibles d'être rencontrées dans les eaux courantes.

L'identification des Diatomées, même limitée au genre, peut susciter des vocations, et inciter certains à travailler au niveau de l'espèce, à l'aide notamment de la seule flore en langue française (GERMAIN 1981).

L'avenir dira si, au niveau d'un service technique tel qu'une Délégation Régionale du C.S.P. ou d'un S.R.A.E, les compléments d'information apportés par une identification à l'espèce, justifient un tel investissement. Comme pour les Invertébrés, les méthodes s'affineront, au fur à mesure du travail des chercheurs dans ce domaine.

### LEXIQUE ILLUSTRÉ DES TERMES UTILISÉS.



**AIRE LONGITUDINALE (AXIALE)** Simple interruption des stries dans l'axe longitudinal de la valve. Lorsque le raphé est absent, l'aire longitudinale prend le nom de pseudoraphé (ou aire axiale).



**AIRE CENTRALE** Partie centrale de la valve, sans ornementation.



**AREOLES** Sorte de ponctuations régulières des valves qui apparaissent comme de perforations en microscopie électronique



**AUXOSPORE** Organe de reproduction.



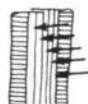
**AXES** apical ou longitudinal  
Transapical ou transversal



**CANAL RAPHEEN** Sorte de tube cylindrique sur lequel se trouve le raphé.



**CARENE** Partie du frustule s'amincissant pour se terminer en crête saillante à l'intérieur de laquelle passe le raphé.



**CEINTURE CONNECTIVE** ceinture intercalaire = ceinture secondaire.  
Bande prolongeant le bord des valves.



**CELLULE** C'est l'ensemble du frustule et du contenu végétal.



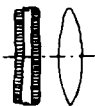
**CELLULE BIPOLAIRE**

Cellule à deux pôles.



**CELLULE TRIPOLAIRE**

Cellule à trois pôles.



**CELLULE ISPOLAIRE**

Elle présente une forme identique de chaque côté de l'axe transversal (ou transapical).



**CELLULE HETEROPOLAIRE**

Elle présente une forme différente de chaque côté de l'axe transversal (ou transapical).



**CHAMBRES MARGINALES**

Sortes de petites alvéoles situées à l'intérieur du frustule près des bords, et visible par transparence.



**CLOISONS INTERNES**

Souvent perforées, elles caractérisent certaines Diatomées telles que : *Tetracyclus* - *Diatomella* - *Epithemia* etc...



**CLOISON POLAIRE**

Partie d'une cloison interne visible par transparence.



**COLONIE RUBANNEE**

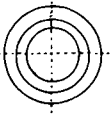
Les cellules se présentent en vue connective, accolées les unes aux autres.



**CONVEXE**



**CONCAVE**



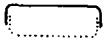
**CONCENTRIQUE**

Ensemble de figures ayant le même centre



**COTES TRANSVERSALES**

Cloisonnement transversal à l'intérieur de la cellule, visible par transparence.



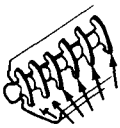
**EPIVALVE**

Partie supérieure du frustule ("couvercle de la boîte")



**EXCENTRE**

Décalé du centre, vers une marge de la valve.



**FIBULES**

Epaississements de silice séparant les pores carinaux chez les *Nitzschia*.



**FORME ELLIPTIQUE**



**FORME LINEAIRE**



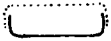
**FRUSTULE**

Sorte de boîte en silice, formée de deux parties appelées valves s'emboîtant l'une dans l'autre comme une boîte de camembert.



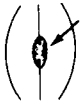
**FUSIFORME**

En forme de fuseau.



**HYPOVALVE**

Partie inférieure du frustule ("fond de la boîte")



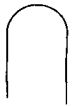
**NODULE CENTRAL**

Épaississement siliceux situé entre les pores centraux du raphé.



**NODULE POLAIRE**

Terminaison polaire d'une branche du raphé par un épaississement siliceux.



**POLE ARRONDI**



**POLE CAPITE**

En forme de tête arrondie.



**POLE LANCEOLE**

En forme de fer de lance.



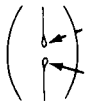
**POLE ROSTRE**

pôle brusquement rétréci et étiré



**PORES CARINAUX**

Espaces libres entre les fibules des *Nitzschia*.



**PORES CENTRAUX DU RAPHE**

Terminaisons centrales (apparentes) des deux branches du raphé.



**PROCESSUS LABIE**

Petite ornementation marginale unique en forme d'épine, bien visible sur le bord de certaines Diatomées Centriques du genre *Thalassiosira*. et chez certaines Araphidées (ex. *Diatoma* ).



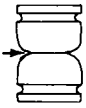
**PSEUDOCELLE**

plages d'aréoles de taille inférieure à celle des autres présentes chez certaines diatomées centriques marines ou saumâtres.



**PSEUDORAPHE**

Simple interruption des stries dans l'axe longitudinal de la valve.



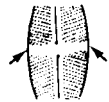
**PSEUDOSULCUS**

Point de raccordement de deux cellules chez *Melosira*.



**RAPHE**

Fente permettant des échanges entre la cellule et le milieu extérieur (elle jouerait également un rôle important dans la locomotion chez de nombreuses diatomées).



**STAUROS**

L'interruption des stries de l'aire centrale se prolonge jusque sur les bords, et forme avec l'aire longitudinale, une croix ou Stauros.



**STIGMA**

Ornementation formée d'un point dans l'aire centrale de certaines Diatomées des genres *Gomphonema*. ou *Navicula* .



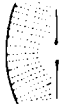
**STRIES LIGNEES**

Stries formées de petites fentes orientées dans le sens apical (ou longitudinal) placées les unes à côté des autres.



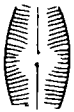
**STRIES LONGITUDINALES**

Stries plus ou moins parallèles à l'aire longitudinale, ou à la marge.



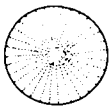
**STRIES PONCTUEES**

Stries formées de points placés les uns à côté des autres.



**STRIES TRANSVERSALES**

Stries plus ou moins perpendiculaires à l'aire longitudinale, ou à la marge.



**STRIES RADIALES**

Disposition des stries sur la surface valvaire de certaines Diatomées centriques rappelant les rayons d'une roue de vélo.



**STRIES RADIANTES**

Stries convergentes (vb) vers le centre de la valve.



**SULCUS**

Sillon caractéristique des cellules de *Melosira* sur la vue connective.



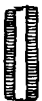
**VALVES**

Les deux parties du frustule (boite et couvercle) prises séparément, prennent le nom de valves.



**VUE VALVAIRE**

Valve vue de face

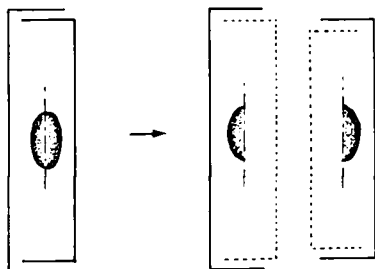
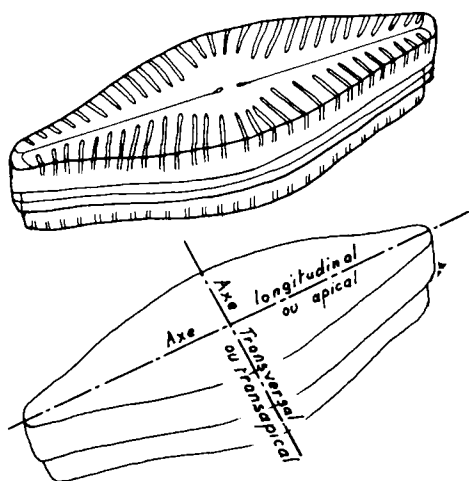


**VUE CONNECTIVE**

frustule vu de profil.



## II - LES DIATOMÉES, CARACTERES GENERAUX



### Morphologie générale

Les Diatomées encore appelées Diatomophycées ou Bacillariophycées par les Botanistes sont des algues brunes dont les proliférations sont aisément reconnaissables à la coloration brun foncé que prend le support colonisé. Elles sont principalement unicellulaires et solitaires mais peuvent former des colonies rubanées, étoilées ou filamenteuses.

Chaque cellule est constituée d'un frustule (fig.1) siliceux et de matière organique végétale.

La taille des cellules est comprise entre moins d'un centième de mm ( $10\ \mu$ ) pour les plus petites et peut atteindre un demi millimètre de longueur ( $500\ \mu$ ) pour les plus grandes.

Le frustule est composé de deux valves s'emboîtant l'une dans l'autre, à la façon d'une boîte de fromage, le couvercle portant le nom d'épivalve et le fond celui d'hypovalve. Chaque valve est prolongée d'une ou plusieurs ceintures connectives (fig. 2).

Les Diatomées sont scindées en deux ordres principaux:

- les Centriques ou Centrophycidées généralement planctoniques présentant un seul axe de symétrie.

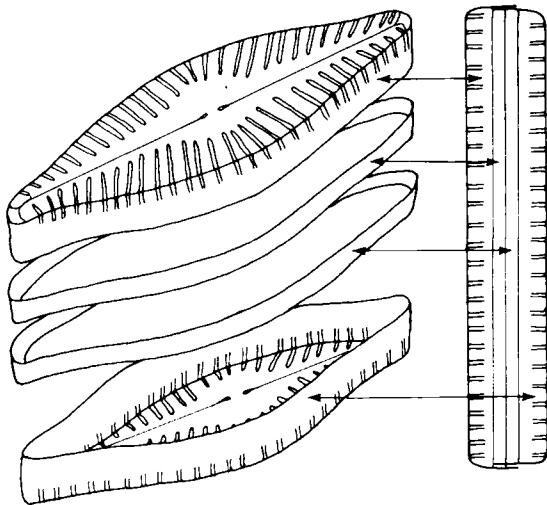
- Les Pennales ou Pennatophycidées présentant une symétrie par rapport à un plan. Chez ces dernières les formes possédant un raphé prédominent. Ce raphé est constitué par une fente allant d'un pôle à l'autre suivant l'axe apical et interrompue au centre de la valve.

### Reproduction.

Elle a lieu le plus souvent par multiplication végétative chaque cellule donnant naissance à deux cellules filles par écartement des deux valves et régénération de la valve manquante par dépôt de silice hydratée. Ce type de division entraîne une diminution régulière de la taille des individus.

La reproduction sexuée intervient lorsque la taille minimale des valves est atteinte et permet de restituer des individus de taille normale. Les modalités de cette reproduction sexuée varient chez les Centriques et les Pennales.

L'auxosporulation ou production d'auxospore (oeuf) est la forme la plus fréquemment observée.



### Eléments de biologie générale:

Les diatomées constituent la majeure partie du phytoplancton lacustre et marin. Elles prédominent dans les milieux potamiques où elles assurent l'essentiel de la photosynthèse. La coloration brune de leurs plastes est due à des pigments particuliers les xanthophylles dont le plus connu est la fucoxanthine ainsi qu'à des chlorophylles *a* et *c*. Les formes unicellulaires sont libres ou fixées à l'aide de stipes mucilagineux (*Gomphonema*) ou vivent dans des tubes muqueux (*Cymbella*, certains *Nitzschia* etc...). Les formes coloniales peuvent être associées en étoile (*Asterionella*, certains *Synedra* ou *Nitzschia*), en escalier (*Tabellaria*), les liaisons sont alors assurées par du mucus sécrété par des pores apicaux. D'autres enfin se regroupent en chaînes (*Melosira*, *Cyclotella*) ou en bandes (*Fragilaria*, certains *Navicula*) grâce à des petites dents disposées sur le pourtour des valves. Malgré l'absence d'organes de locomotion ces algues se déplacent très lentement de manière plus ou moins saccadée en glissant sur le substrat. Les mécanismes qui conditionnent ces déplacements ne sont pas encore complètement élucidés actuellement.

L'aptitude à coloniser des milieux mêmes inhospitaliers comme les mares temporaires, les sources thermales, la glace, les grottes, les mares hypersalées, les suintements, les effluents pollués ou même des bouées enduites de peinture antifouling témoigne de l'amplitude écologique de ce groupe. Elle peut aussi s'expliquer par la capacité d'hétérotrophie de certains taxons appartenant aux genres *Nitzschia* ou *Amphora*

### III. MATERIEL ET METHODES

#### - Le microscope.

C'est le minimum indispensable pour étudier de si petits éléments, c'est aussi le matériel le plus cher. Pour réaliser les comptages, il est nécessaire d'utiliser un modèle binoculaire, équipé de deux oculaires de X10, et d'un révolvr comportant un objectif de X100 à immersion. Il est souhaitable de se procurer également un oculaire de mesure et un micromètre objectif.

A titre optionnel, un tube à dessin, un équipement à contraste de phase, polarisation et objectifs adaptés sont les bienvenus. Il faut savoir que les meilleures résolutions en microscopie photonique peuvent être obtenues par la combinaison d'un éclairage oblique (ou à l'aide d'un fond noir en plaçant de l'huile à immersion sur le condenseur) d'un objectif apochromatique à iris d'ouverture au moins égale à 1,40 et éventuellement de la polarisation.

#### - Petit matériel

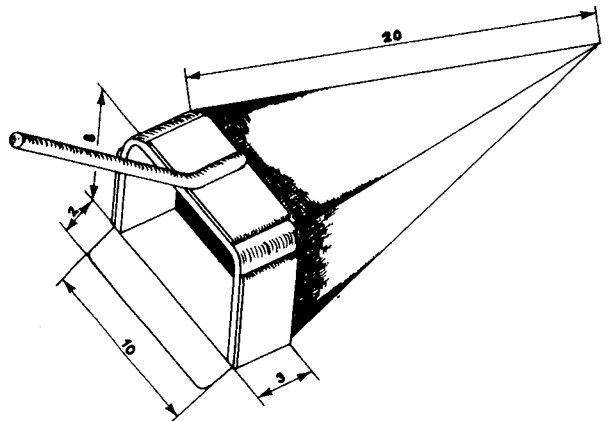
##### - de récolte :

Un couteau ou un scalpel pour les récoltes par grattage de substrat.

Un filet à plancton d'une maille inférieure à 30  $\mu\text{m}$  pour les expressions de végétaux.

Piluliers de 7 à 10 ml avec capsules polyéthylène et étiquettes

La construction d'un échantillonneur est facultative (fig.4) mais elle permet la prospection des palplanches et celle des végétaux immergés.



Le support de cet échantillonneur est confectionné à partir d'un morceau de P.V.C. plié en en U de 3 cm de large et 3 mm d'épaisseur.

A sa base est fixée une lame en acier doux affûtée pour racler les palplanches.

Le filet en toile à bluter d'un vide de maille inférieur à 30  $\mu\text{m}$  est fixé sur le cadre et maintenu par des petites plaques de P.V.C.

**- de préparation et montage:**

Une hotte aspirante ou filtrante

Des tubes à essai de 22 mm de diamètre en pyrex pour la cuisson.

Des lames porte-objet de 76 x 26 mm en verre mince (0,8 mm maxi).

Des lamelles rondes couvre-objet de 18 mm de diamètre, en verre extra mince.

Un réchaud de préférence électrique muni d'un thermostat (éviter le gaz car les risques d'inflammation avec l'alcool et les solvants (xylène) ou avec le milieu de montage sont importants.

La combinaison idéale est un four à sable pour la cuisson et des plaques chauffantes pour le séchage.

**- Produits chimiques**

1 - Eau oxygénée à 110 ou 130 volumes

2 - Solvants - Xylène ou Toluène etc...

(l'emploi d'un solvant récent non inflammable et moins toxique que le toluène le LMRSOL est vivement conseillé)

3 - Acide nitrique ou acide sulfurique concentré et HCl

4 - Résine à indice de réfraction élevé (Naphrax)

5 - Huile à immersion

6 - Vernis à ongle ou peinture émail (Ripolin, Valénite etc...)

**TECHNIQUES D'ETUDE****Echantillonnage**

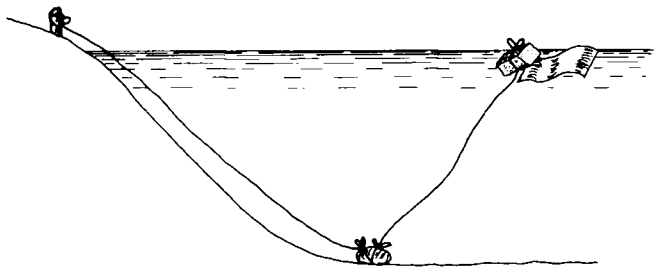
Les Diatomées peuvent être récoltées aussi bien en pleine eau que sur n'importe quel support dans la zone de surface ou dans des zones mises en eau même temporairement. Dans le cadre d'un indice diatomique, ce sont les Diatomées fixées qui seront prélevées prioritairement sur des substrats durs et verticaux. L'échantillonnage du sédiment est à proscrire car les formes épipéliques (vivant sur la vase) qu'il héberge sont souvent saprophytes et cette caractéristique est prise en compte lors des estimations indicelles de la qualité des eaux.

Pour obtenir une diversité microfloristique maximum, il est souhaitable de prospecter 3 supports différents dans des classes de vitesses différentes (Tableau A : Classes de vitesses retenues pour l'utilisation de l'I.B.G invertébrés)\*, et toujours dans les 20 à 30 premiers centimètres de la lame d'eau.

Pour comparer les résultats d'une station sur l'autre, il sera souhaitable de prospecter les mêmes supports dans les mêmes classes de vitesses de courant en amont et en aval d'une perturbation à localiser.

L'utilisation de **supports artificiels** peut être envisagée dans les zones sans support naturel, ou dans des zones soumises à des marnages importants et chaque fois qu'une surveillance rigoureuse est possible.

La fabrication de ces supports est de la plus grande simplicité. Un morceau de film plastique forme le support proprement dit, un morceau de polystyrène lui est associé pour le maintenir dans la zone de surface qui laisse passer le maximum d'ensoleillement appelée aussi "zone photique". Cet ensemble est lesté d'une pierre et maintenu à la berge par une petite ficelle de nylon (fig. 5).



\* IBG Norme AFNOR-NFT 90-350 Octobre 1985.

### Conservation des échantillons

Les échantillons récoltés sont fixés au formol (4%) et les mentions suivantes sont à inscrire avec soin sur l'étiquette:

- date et site
- nature du substrat prospecté
- vitesse du courant
- renseignements divers (débit, marnage, crue etc.)

Les piluliers peuvent alors être rangés à l'obscurité de préférence pour des observations futures mais il est souhaitable de vérifier au moins tous les deux ans qu'ils ne s'assèchent pas avec le temps.

### Nettoyage des frustules.

La systématique des Diatomées s'appuyant sur l'ornementation des frustules, il est donc nécessaire de les débarasser de la matière végétale. Plusieurs techniques sont présentées et chaque utilisateur choisira celle qui lui convient le mieux.

#### Traitement par grillage .

HUSTEDT (1930) le préconise dans les trois cas suivants :

- a) pour les formes fragiles ou ténues (exemples : *Rhizosolenia*, *Attheya* ).
- b) quand les structures coloniales doivent être conservées
- c) lorsqu'on a peu de matériel

Le grillage est également recommandé pour les échantillons planctoniques et d'une manière générale pour les préparations rapides de contrôle.

Mode opératoire:

- 1 - Rincer la récolte à l'eau distillée pour éliminer le formol et les sels minéraux (par décantations successives ou centrifugation)
- 2 - placer une lamelle ronde sur une plaque chauffante ou une platine de Malassez ou à défaut une plaque métallique bien plane.
- 3 - Prélever un peu de la récolte préalablement homogénéisée et en appliquer une couche très mince sur la lamelle couvre-objet, une surcharge ne permettrait plus l'observation des frustules.
- 4 - Laisser évaporer à température ambiante ou chauffer doucement.  
La littérature préconise de griller en portant la lamelle au rouge mais il vaut mieux éviter de faire fondre ou de déformer la lamelle
- 5 - Laisser cuire 30 mn
- 6 - laisser refroidir
- 7 - rincer successivement à l'eau distillée, l'alcool et le xylène (ou toluène).

#### Traitement chimique.

Les produits chimiques susceptibles d'être utilisés pour attaquer la matière végétale peuvent être des acides (nitrique, sulfurique ou chlorhydrique concentrés), mais le plus utilisé est l'eau oxygénée à 110 ou 130 volumes. Pour des attaques plus douces l'utilisation du permanganate de potassium peut être envisagée mais elle nécessite une action prolongée (24 h.) complétée par l'ajout d'acide sulfurique sans chauffage.

- 1 - placer une partie aliquote de l'échantillon préalablement homogénéisé dans un tube à essai (0,5 à 1 ml environ)
- 2 - Rajouter 15 à 20 ml d'eau oxygénée
- 3 - chauffer à douce ébullition pendant 30 mn au moins en évitant l'évaporation totale qui provoque un colmatage des valves par les fines particules minérales. Si le dépôt d'algues reste coloré au fond du tube recommencer l'attaque.  
En milieu très acide ou riche en fer la coloration rouille du dépôt due à des oxydes ferriques peut être supprimée par ajout d'acide chlorhydrique après refroidissement.
- 4 - Laisser refroidir et décanter le dépôt.
- 5 - Rincer 3 à 5 fois à l'eau distillée par décantations successives ou centrifugation.

**Montage: principaux milieux utilisés.**

L'indice de réfraction de la silice est sensiblement identique à celui de l'eau, ce qui rend l'observation difficile en milieu aqueux. Il est donc indispensable de monter les frustules dans une résine particulièrement réfringente. Le Naphrax (indice de réfraction 1,74) est actuellement le milieu de montage le plus utilisé en Europe mais à notre connaissance il n'est commercialisé qu'en Angleterre par N.B.S à Ipswich. (cf. adresse en annexe 2). Cette société a proposé récemment un nouveau milieu le Dirax non inflammable mais nécessitant un temps de séchage supérieur (environ 4mn pour une lamelle de 18 mm). D'autres produits peuvent être élaborés au laboratoire mais ils sont généralement toxiques (présence d'arsenic) ou dangereux à manipuler (brome) et ils s'oxydent avec le temps. Les plus connus sont la Coumarone, le StyraX, l'Hyrax, le Pleurax l'Aroclor et le plus performant le Réalgar.

Le montage proprement dit est simple. Il se déroule de la façon suivante :

- 1 - Homogénéiser la suspension de valves nettoyées dans une quantité d'eau distillée adéquate (léger trouble)
- 2 - A l'aide d'une pipette, déposer quelques gouttes de suspension sur la lamelle ronde couvre-objet
- 3 - laisser sécher sur une plaque  
Une fois sèches, les Diatomées restent collées sur la lamelle ; celle-ci peut alors être manipulée sans problème
- 4 - Rincer successivement à l'eau distillée, l'alcool et le xylène (ou toluène)
- 5 - Mettre une goutte de résine sur la lame rectangulaire porte-objet
- 6 - Déposer la lamelle chaude sur la goutte de résine frustules face à la résine (fig. 6).
- 7 - Chauffer sur la plaque électrique afin d'éliminer les bulles jusqu'à l'apparition de fumée.
- 8 - Poser sur une paille carrelée en attendant le durcissement et en appuyant légèrement sur la lamelle pour la plaquer sur la lame.
- 9 - Eliminer l'excédent de résine avec une lame de cutter, puis, avec un petit pinceau d'écolier n° 2, déposer du vernis à ongle, ou vernis glycérophthalique ou peinture émail au choix, en débordant d'1 mm sur la lamelle et 2 mm environ sur la lame pour faire le joint et laisser durcir. Cette dernière opération s'appelle le **lutage** : elle a pour but d'empêcher l'attaque de la résine par l'huile d'immersion.
- 10 - Etiqueter la préparation pour la répertoire et la classer (Fig.7).

**Composition de quelques milieux:****Pleurax:**

Soufre en poudre ————— 40 g  
phénol cristallisé incolore — 100 g  
Sulfure de sodium anhydre — 2 g

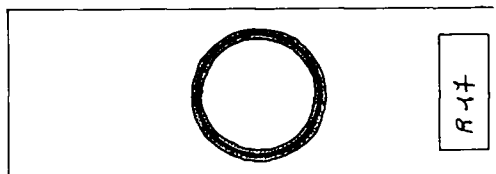
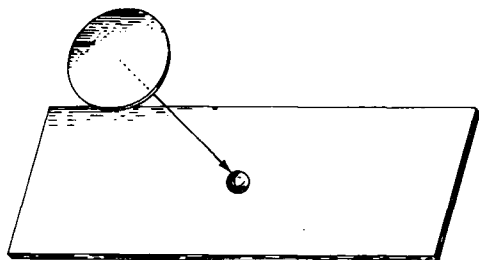
**Réalgar**

bisulfure d'arsenic pur  
bromure d'arsenic purifié

**Hyrax**

bromure d'antimoine (2 parties)  
pipérine (1 partie)

Tous ces milieux sont réalisés en chauffant doucement et sous hotte, la pureté des produits utilisés est déterminante pour l'obtention d'un indice de réfraction élevé. Les travaux se rapportant aux techniques de préparation sont peu nombreux: HANNA, G.D. (1949), MELLER, A. (1985).



## Comptage

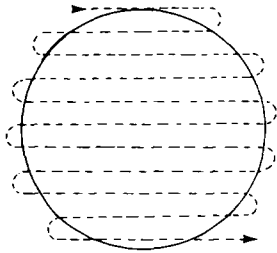
Il s'effectue en faisant parcourir à l'objectif le tracé de la Fig. 8. Les cellules sont alors identifiées et dénombrées. Exemple Fig. 9.

En pratique, le comptage de 400 individus (valves) suffit pour obtenir un inventaire représentatif de l'échantillon (SCHOEMAN 1979), COSTE(1978), DESCY (1979).

Si toute la préparation n'a pas été balayée il est souhaitable de vérifier au faible grossissement que les espèces les plus volumineuses ont été prises en compte car leur signification écologique est souvent importante.

Certains auteurs (SCHOEMAN 1973) considèrent que la distinction entre valve et frustule (2 valves) doit être faite lors du comptage. A l'usage il apparait que les formes volumineuses se séparent plus facilement que les petites ce qui tend à pondérer l'abondance des petites formes mais lorsque l'attaque est suffisamment violente la présence de frustules entiers est rare et cette contrainte disparaît.

lorsque l'échantillonnage est réalisé en faciès lentique ou dans des zones d'accumulation ou de dépôt (sédiment) une observation directe sur matériel non préparé est conseillée afin de prendre en compte la présence éventuelle de valves vides.



<i>Amphora</i>	L
<i>Cocconeis</i>	☒
<i>Lurirella</i>	
<i>Navicula</i>	☒ ☒ ☒
<i>Fragilaria</i>	☒
<i>Frustulia</i>	☒
<i>Diatoma</i>	L
<i>Ect.....</i>	

## PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats doivent alors être exprimés en pourcentage du nombre total d'individus comptés.

La liste systématique est dressée en respectant l'ordre alphabétique qui est le plus fréquemment utilisé en écologie (VAN LANDINGHAM 1976).

## ESSAI DE DIAGNOSTIC DE LA QUALITÉ DES EAUX À PARTIR DES DIATOMÉES

Parallèlement au développement de méthodes indicielles fondées sur l'utilisation des espèces et variétés de diatomées des essais d'appréciation utilisant le genre ont été tentés sur le bassin Rhône Méditerranée Corse et la Seine par le CEMAGREF (1984). Si de telles tentatives doivent être interprétées avec beaucoup de prudence la signification écologique d'un genre (*Navicula* par exemple) étant quasiment nulle, il n'en demeure pas moins que les résultats se sont montrés relativement proches de ceux obtenus à l'aide des espèces à quelques discordances près.

Ces estimations s'appuient sur une hiérarchisation des genres du type de celle déjà réalisée pour les espèces en fonction de leur sensibilité globale aux pollutions. Elle est également pondérée par l'attribution d'une note d'autant plus élevée que la signification écologique du genre est importante. La gamme de valeurs retenues dans les études CEMAGREF (1-3) est probablement insuffisante pour traduire l'amplitude écologique de ces taxons et une échelle de 1 à 5 serait peut-être plus appropriée d'autant plus que certains genres sont monospécifiques ou présentent une distribution très restreinte (ex. *Didymosphenia*, *Peronia*..). Les études réalisées actuellement sont encore insuffisantes pour le préciser.

La méthodologie proposée ici à titre de test s'inspire des résultats acquis durant ces dernières années sur quelques cours d'eau français ou étrangers. Elle doit donc être utilisée avec beaucoup de prudence...

### Mode de calcul:

Le tableau B en annexe donne la liste des taxons susceptibles d'être rencontrés ou utilisés avec leur code à trois lettres facilitant une saisie informatisée. En regard de chaque taxon figure une valeur de sensibilité globale S variant de 1 à 5 et une valeur V variant de 1 à 3 représentant le degré de "sténocécie" d'autant plus élevé que la distribution est restreinte.

Il suffit d'effectuer la somme des produits de l'abondance A de chaque taxon (exprimée en %) par ces deux valeurs ( $\sum SVA$ ) et de diviser le total obtenu par la somme  $\sum VA$  pour obtenir un indice générique global variant entre 1 et 5.

L'indice résultant IDG (indice diatomique basé sur les genres) peut donc s'écrire:

$$IDG = \frac{\sum_{i=1}^n S_i V_i A_i}{\sum_{i=1}^n V_i A_i}$$

Cette note peut être aisément transformée en note sur 20 en utilisant les formules suivantes:

- passage d'une Note N variant de 1 à 5 à une note Q variant de 1 à 10:

$$Q = N \times 2,25 - 1,25$$

- passage d'une note N variant de 1 à 5 à une note Q variant de 1 à 20:

$$Q = N \times 4,75 - 3,75$$

Il serait hasardeux de prétendre obtenir des résultats d'une grande précision à l'aide de cette méthode néanmoins une telle approche peut être envisagée dans le cadre d'études rapides où toute autre possibilité d'investigation paraît impossible à réaliser en particulier pour des raisons liées à l'échantillonnage. Un exemple de calcul détaillé est fourni en annexe.

Il ne fait aucun doute qu'une pratique routinière permettrait d'acquérir rapidement des informations précieuses sur les limites de ce type d'approche les possibilités de vérifications par utilisation des espèces ou d'autres indices restant ouvertes aux plus motivés et surtout aux plus disponibles.

Vitesses en cm/S		$v < 5$	$5 < v < 25$	$25 < v < 75$	$75 < v < 150$	$v > 150$
		1	2	3	4	5
Supports						
Béton	A					
Dalles - blocs	B					
Granulats	C					
Briques-tuiles	D					
Ardoises	E					
Verre	F					
Métal (Palplanches)	G					
Marne - argile	H					
Sédiments fins	I					
Plastique	J					
Bouée de navigation	K					
Polystyrène	L					
Bois	M					
Tissus - Corde	N					
Caoutchouc	O					
Peinture (support peint)	P					
Lentilles d'eau	Q					
Autres phanérogames	R					
Bryophytes	S					
Algues	T					
Autre support	U					

Tableau A : Echantillonnage différentiel



TABLEAU B: GENRES UTILISES POUR LE CALCUL DE L'INDICE DIATOMIQUE

Classement alphabétique				Classement par groupes de sensibilité			
TAXONS	Code	S	V	TAXONS	Code	S	V
Achnanthes	ACH	5	1	Amphipleura	AMH	5	3
Amphipleura	AMH	5	3	Denticula	DEN	5	3
Amphora	ARA	3	2	Rhopalodia	RHA	5	3
Anomoeoneis	ANO	5	2	Stenopterobia	SIA	5	3
Asterionella	AST	4	1	Tetracyclus	TET	5	3
Attheya	ATT	2	3	Anomoeoneis	ANO	5	2
Caloneis	CAL	4	2	Campylodiscus	CAM	5	2
Campylodiscus	CAM	5	2	Ceratoneis (Hannaea)	CER	5	2
Ceratoneis (Hannaea)	CER	5	2	Epithemia	EPI	5	2
Cocconeis	COC	4	1	Frustulia	FRU	5	2
Cyclotella	CYC	3	1	Meridion	MER	5	2
Cymatopleura	CMA	4	2	Stauroneis	STA	5	2
Cymbella	CMB	5	1	Achnanthes	ACH	5	1
Denticula	DEN	5	3	Cymbella	CMB	5	1
Diatoma	DIA	4	1	Diploneis	DIP	5	1
Diploneis	DIP	5	1	Eunotia	EUN	5	1
Epithemia	EPI	5	2	Tabellaria	TAB	5	1
Eunotia	EUN	5	1	Gyrosigma	GYA	4	3
Fragilaria	FRA	4	1	Neidium	NEI	4	3
Frustulia	FRU	5	2	Pinnularia	PIN	4	3
Gomphoneis	GIS	4	2	Caloneis	CAL	4	2
Gomphonema	GMA	3	2	Cymatopleura	CMA	4	2
Gyrosigma	GYA	4	3	Nitzschia dissipatae	NDI	4	2
Hantzschia	HAN	1	3	Asterionella	AST	4	1
Melosira	MEL	3	1	Cocconeis	COC	4	1
Meridion	MER	5	2	Diatoma	DIA	4	1
Navicula orthostichae	NOR	2	2	Fragilaria	FRA	4	1
Navicula punctatae mutica	NPM	1	2	Gomphoneis	GIS	4	2
Navicula (autres)	NAV	3	1	Rhoicosphenia	RHO	4	1
Neidium	NEI	4	3	Surirella	SUR	3	3
Nitzschia dissipatae	NDI	4	2	Amphora	ARA	3	2
Nitzschia (autres)	NIT	1	1	Gomphonema	GMA	3	2
Pinnularia	PIN	4	3	Cyclotella	CYC	3	1
Rhizosolenia	RHI	2	3	Melosira	MEL	3	1
Rhoicosphenia	RHO	4	1	Navicula (autres)	NAV	3	1
Rhopalodia	RHA	5	3	Synedra	SYN	3	1
Stauroneis	STA	5	2	Attheya	ATT	2	3
Stenopterobia	SIA	5	3	Rhizosolenia	RHI	2	3
Stephanodiscus	STE	2	1	Thalassiosira	THA	2	3
Surirella	SUR	3	3	Navicula orthostichae	NOR	2	2
Synedra	SYN	3	1	Stephanodiscus	STE	2	1
Tabellaria	TAB	5	1	Hantzschia	HAN	1	3
Tetracyclus	TET	5	3	Navicula punctatae mutica	NPM	1	2
Thalassiosira	THA	2	3	Nitzschia (autres)	NIT	1	1

CODE = Abréviation proposée pour une saisie informatisée

S= Classe de sensibilité variant de 1 pour les plus résistantes à 5 pour les plus sensibles  
V= Amplitude écologique du genre 1=forte, 2=moyenne, 3=faible.

Remarque: Les genres strictement halophiles (Amphiprora, Bacillaria, Biddulphia etc..) ne sont pas repris dans le tableau.

EXEMPLE du calcul de l'I.D.G d'après le résultat d'un inventaire réalisé sur la SEINE à MARNAY (Aube) par expression de végétaux le 24.3.88

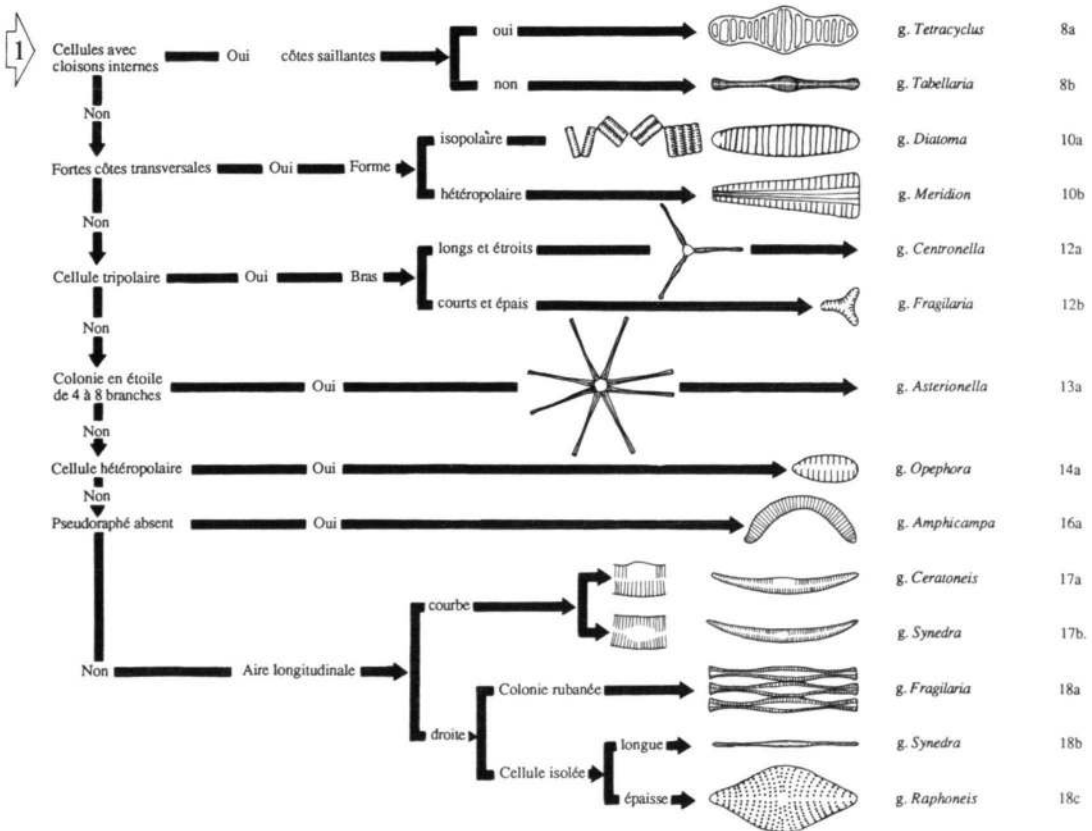
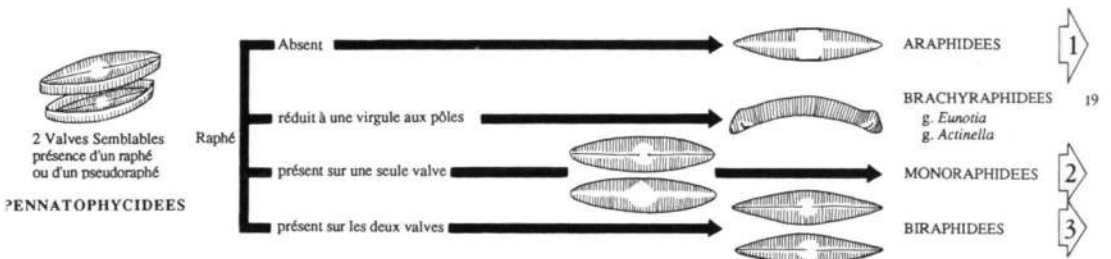
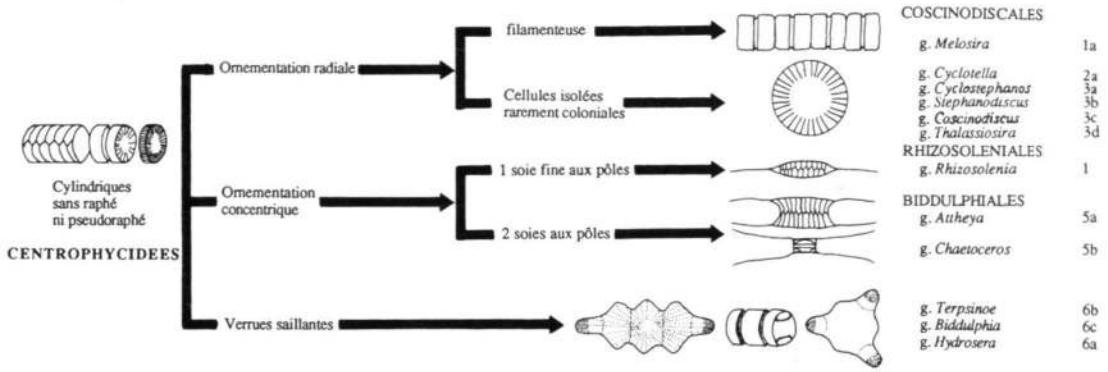
TAXONS	Sensibilité Sténoetie		Effectif		ΣSVA	ΣVA
	S	V	A			
<b>CENTRIQUES</b>						
Stephanodiscus	2	x	1	x	7	= 14 = 7
<b>ARAPHIDEES</b>						
Asterionella	4	x	1	x	3	= 12 = 3
Diatoma	4	x	1	x	117	= 468 = 117
Fragilaria	4	x	1	x	7	= 28 = 7
Meridion	5	x	2	x	2	= 20 = 4
Synedra	3	x	1	x	25	= 75 = 25
<b>MONORAPHIDEES</b>						
Achnanthes	5	x	1	x	29	= 145 = 29
Cocconeis	4	x	1	x	3	= 12 = 3
<b>BIRAPHIDEES</b>						
Amphora	3	x	2	x	6	= 36 = 12
Cymbella	5	x	1	x	17	= 85 = 17
Gomphonema	3	x	2	x	4	= 24 = 8
Gomphoneis	4	x	2	x	40	= 320 = 80
Navicula (Orthostichae)	2	x	2	x	2	= 8 = 4
Navicula (Punctatae mutica)	1	x	2	x	1	= 2 = 2
Navicula (autres)	3	x	1	x	129	= 387 = 129
Nitzschia (Dissipatae)	4	x	2	x	13	= 104 = 26
Nitzschia (autres)	1	x	1	x	20	= 20 = 20
Surirella	3	x	3	x	8	= 72 = 24
<b>TOTAUX</b>						1832 517

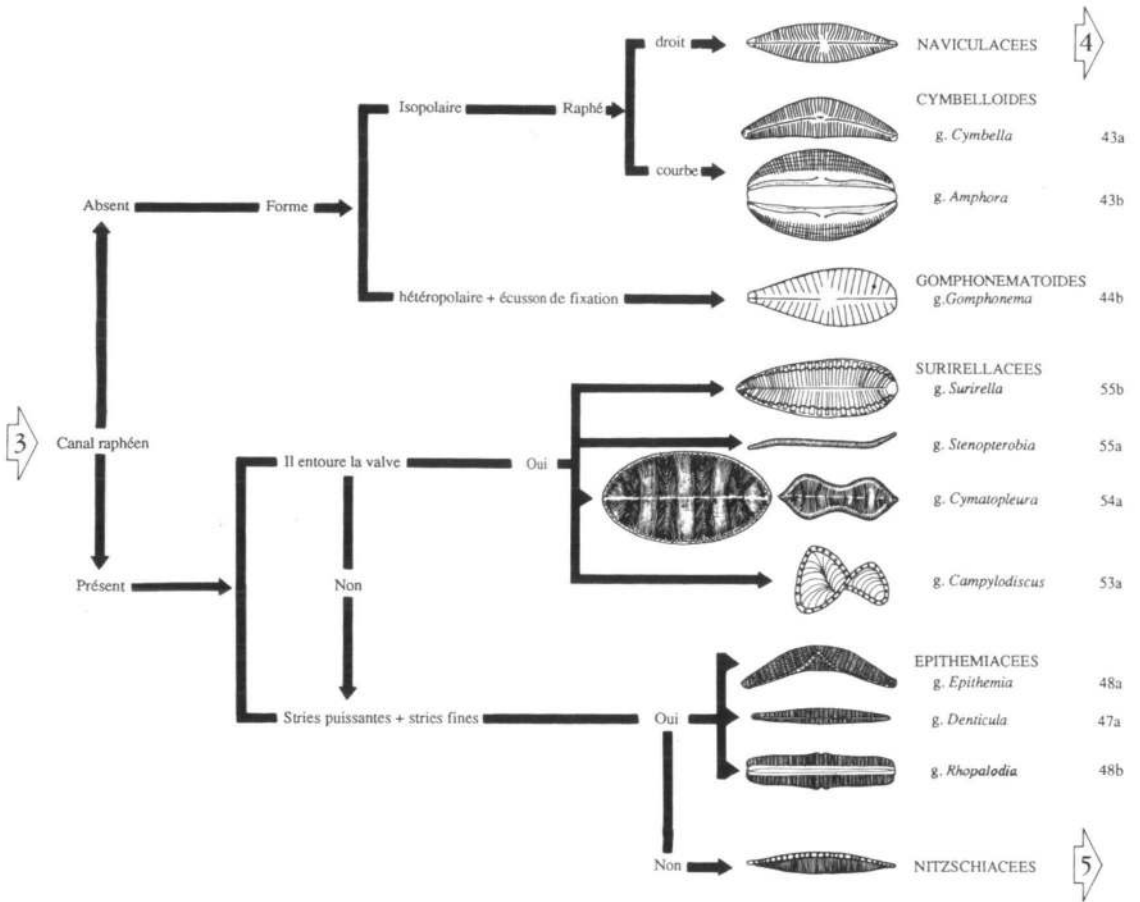
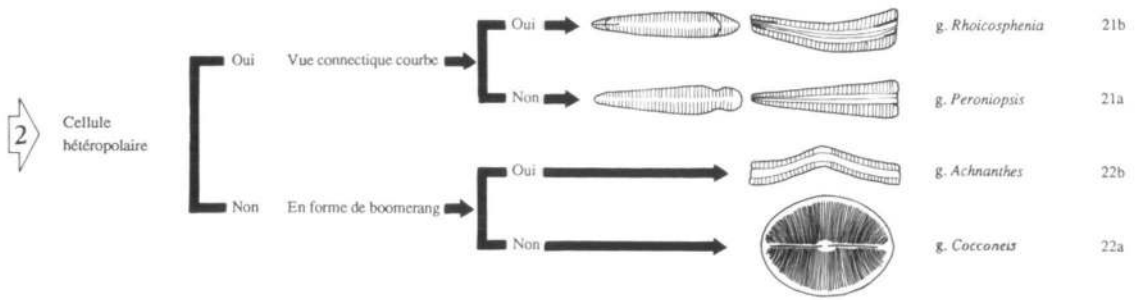
Somme de S.V.A = 1832 = 3,54

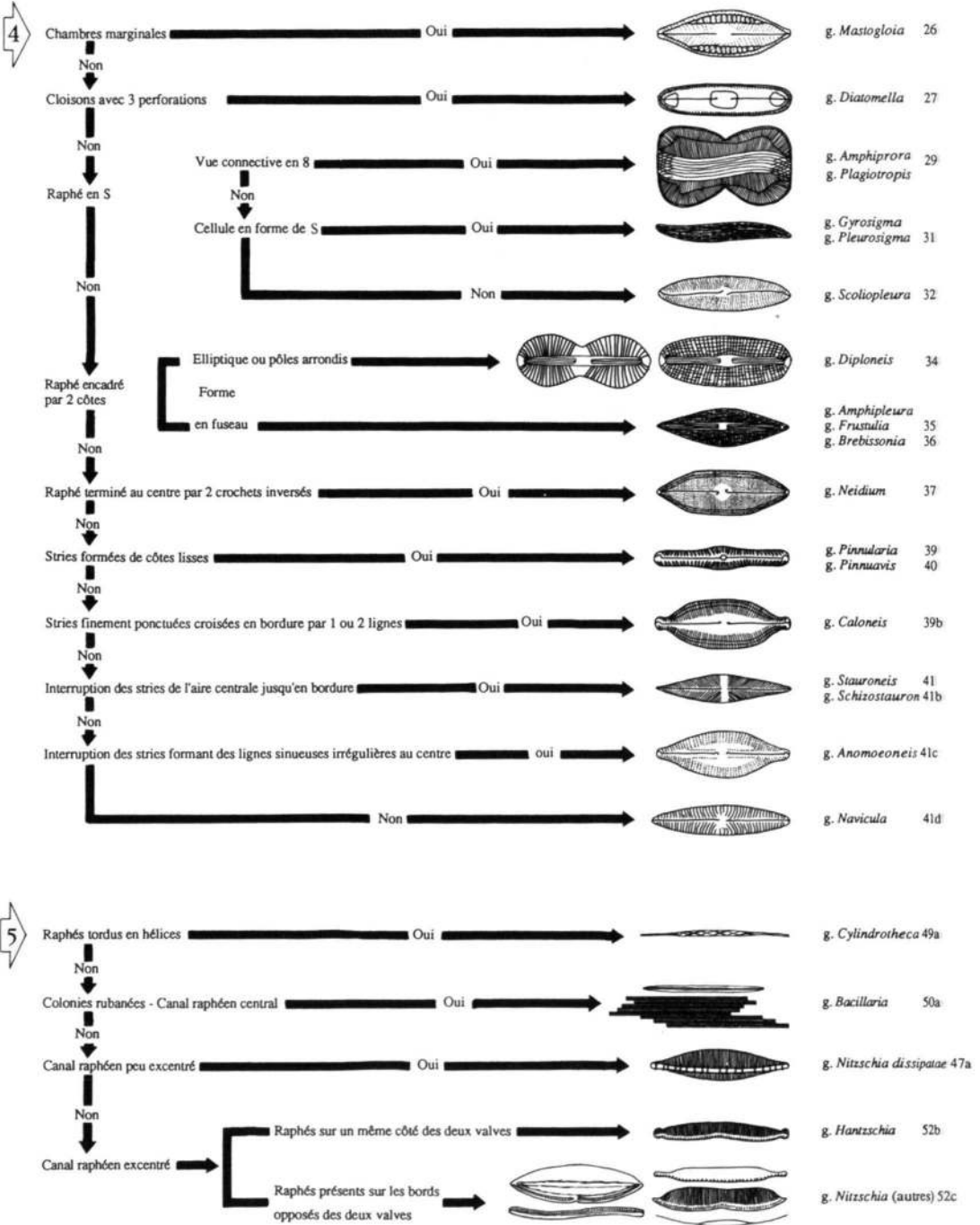
Somme de V.A = 515

3,54 x 2,25 - 1,25 = I.D.G 6,7/10

3,54 x 4,75 - 3,75 = I.D.G 13/20







## SYSTEMATIQUE

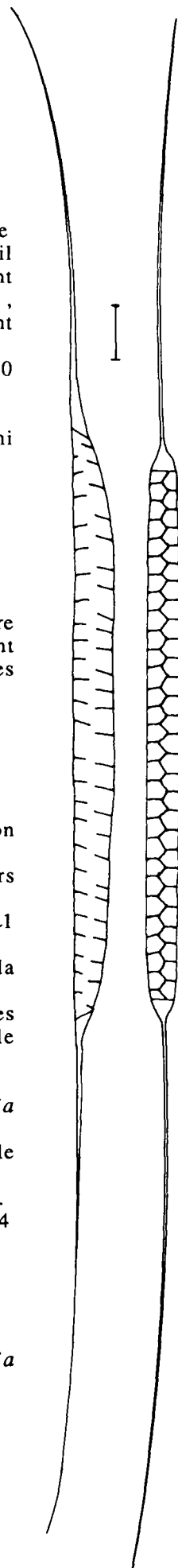
L'ordre systématique suivi est celui de GERMAIN (1981) mais il existe diverses classifications dont les plus récentes sont celles de PATRICK & REIMER (1975), SIMONSEN (1979), SIMS (1981) et ROSS (1984) les trois dernières s'inspirant des résultats d'observations en microscopie électronique. Le trait placé à côté de chaque figure représente 10 microns.

- A. Cellule souvent de forme cylindrique, sans raphé ni pseudoraphé.  
Ornementation reconnaissable non pennée.  
Les coupes transversales sont rondes ou elliptiques.  
Sous-classe des **CENTROPHYCIDEES** ou **CENTRALES**
- B. Valves semblables et unies entre elles.  
Présence d'un raphé ou d'un pseudoraphé.  
La forme de la cellules est souvent celle d'un petit navire ou d'un bâton. L'ornementation formée de stries souvent perpendiculaires à l'aire longitudinale, rappelle les barbes d'une plume, d'où l'ancien nom de **DIATOMEES PENNEES**.  
Sous-classe des **PENNATOPHYCIDEES** ou **PENNALES**

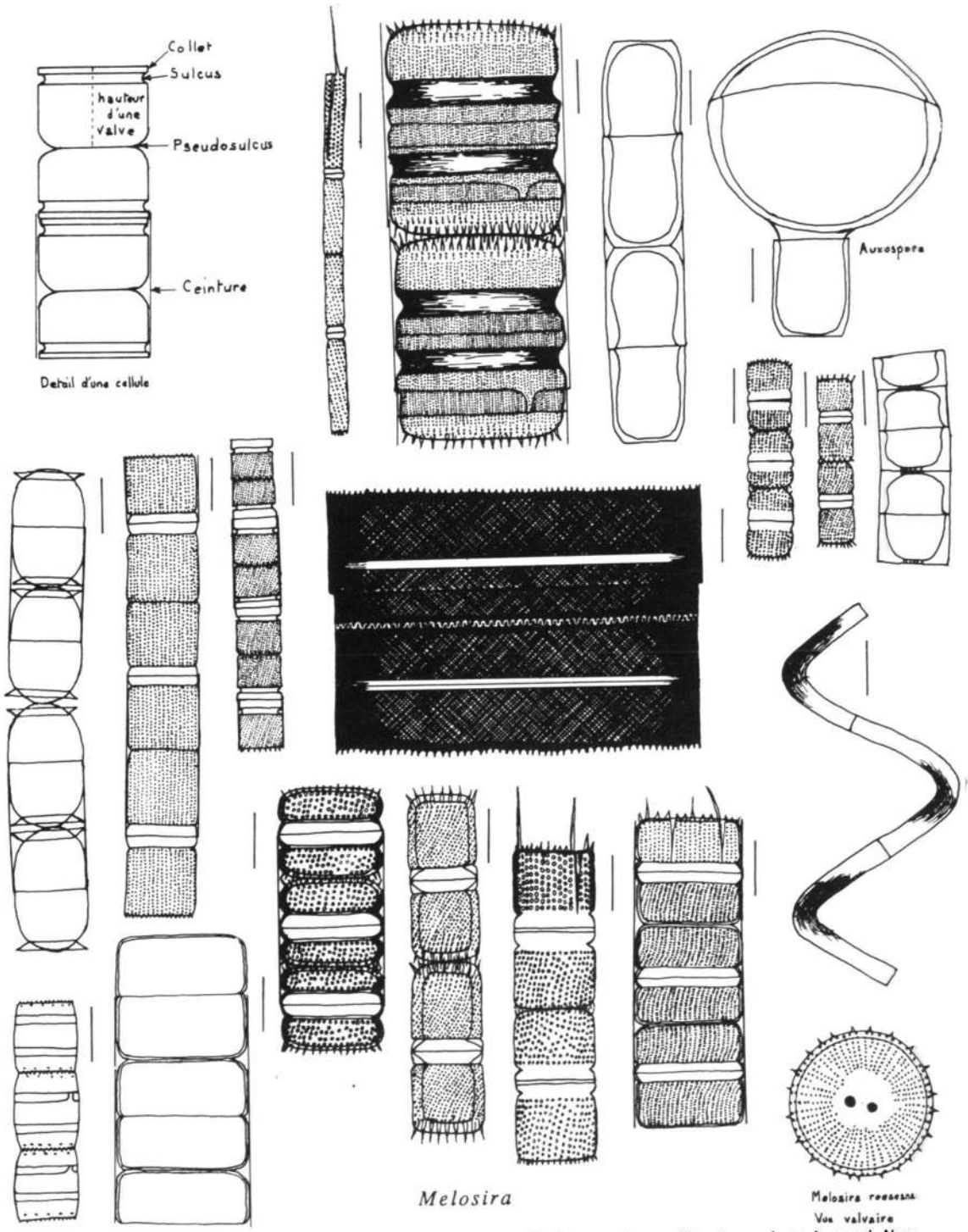
### CENTROPHYCIDEES

- I. Cellule en forme de tambour, plus ou moins aplatie.  
Les cellules peuvent être solitaires ou former un cordon lorsqu'elles sont en colonie.  
L'ornementation de la surface valvaire est toujours radiale.  
Ordre des **COSCINODISCALES**.....1
- II. Cellule longue, comportant de nombreuses ceintures ; la coupe transversale peut être circulaire ou ovale.  
La plupart sont individuelles, rarement liées ; les pôles sont souvent prolongés par une soie très fine.(Visible uniquement par grillage).  
Ordre des **RHIZOSOLENIALES**  
1 seul genre *G. Rhizosolenia*
- III. Cellule de forme cylindrique, avec une coupe transversale arrondie.  
Pôles de la valve garnis de bosses ou de deux longues soies.  
Ordre des **BIDDULPHIALES**.....4

*Rhizosolenia*

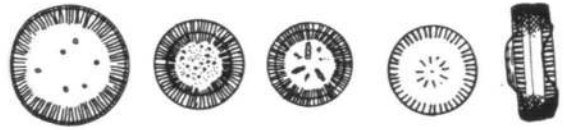


1a Cellules groupées en filaments. Chaque cellule en vue connective présente un sillon (sulcus) bien marqué. g. *Melosira* (*Aulacosira* inclus)

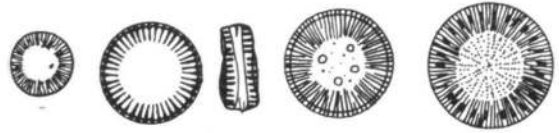


Remarque: SIMONSEN (1979) distingue 2 genres: *Melosira* qui possède des valves à paroi lisse (*M.varians*, *M.nummuloides*) et *Aulacosira* à parois perforées (ex. *A.granulata*). Le critère de distinction fondé sur des observations en microscopie électronique n'est pas retenu ici.

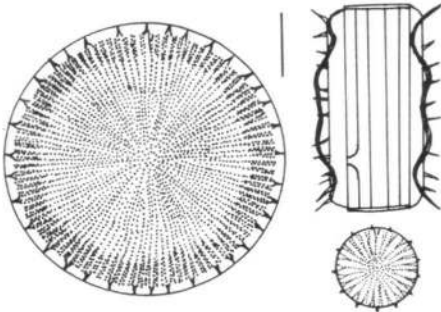
1 b Cellule isolée ou absence de sulcus dans les formes coloniales en vue connective. Vue valvaire striée radialement.....2



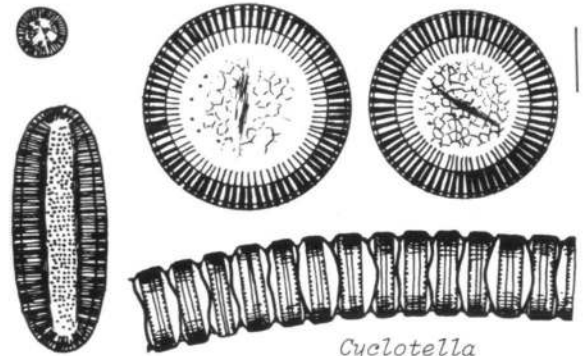
2 a Ornementation nettement différente entre la bordure et le champ central.



g. *Cyclotella*



*Stephanodiscus*



*Cyclotella*



*Cyclostephanos*

2b La bordure de la valve et le champ central ne sont pas nettement différenciés.....3

3a Rangées de points formant des stries radiales jusqu'au centre. épines marginales visibles: g. *Stephanodiscus*

3b stries ponctuées irrégulièrement au centre, épines marginales non visibles. g. *Cyclostephanos* (Une espèce d'eau douce: *C. dubius* )

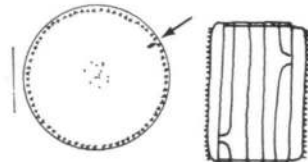


*Coscinodiscus*

3c Stries radiales formées de grosses aréoles irrégulièrement alignées. Forte ondulation de la surface valvaire et anneau marginal de processus labiés. g. *Coscinodiscus* (une espèce d'eau douce *C. lacustris* transférée récemment dans le genre *Thalassiosira* )

3d Ornementation plutôt floue de la partie centrale en vue valvaire, mais présence d'un processus labié unique sur le bord de la valve.

g. *Thalassiosira*



*Thalassiosira*



4a Pôles des valves prolongés par deux longues soies—5

4b Pôles des valves non prolongés par deux longues soies.-----6

5a Cellule cylindrique avec de nombreuses bandes connectives. Paroi de la cellule faiblement silicifiée, aisément reconnaissable.

(Ne supporte pas le nettoyage à l'eau oxygénée et doit être montée par grillage).

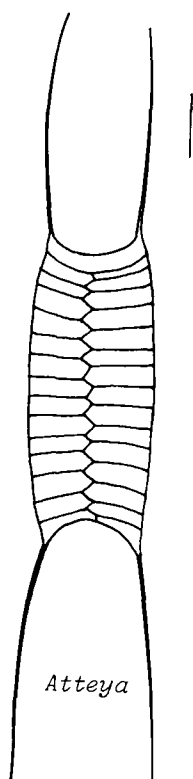
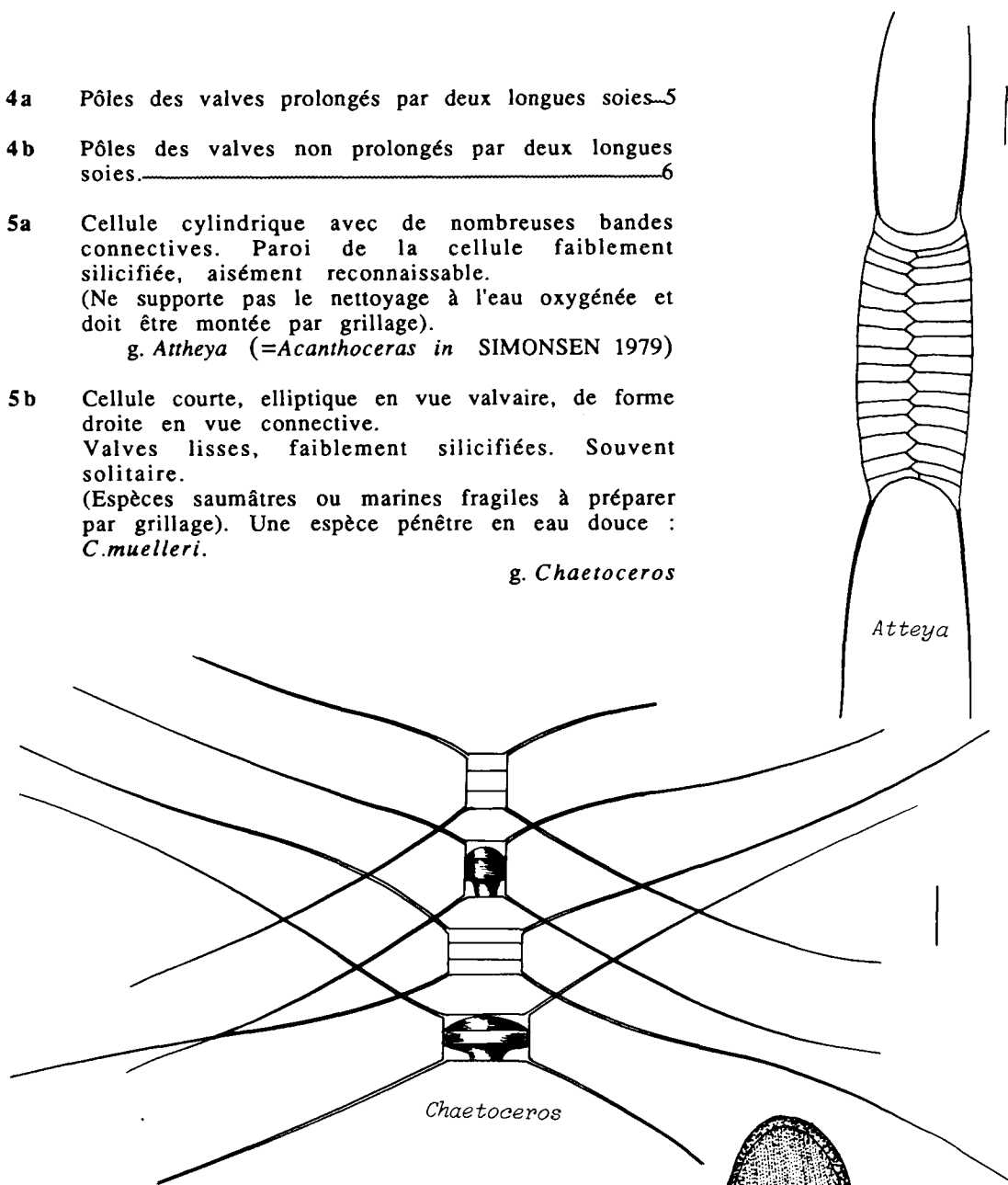
g. *Atteya* (= *Acanthoceras* in SIMONSEN 1979)

5b Cellule courte, elliptique en vue valvaire, de forme droite en vue connective.

Valves lisses, faiblement silicifiées. Souvent solitaire.

(Espèces saumâtres ou marines fragiles à préparer par grillage). Une espèce pénètre en eau douce : *C.muelleri*.

g. *Chaetoceros*



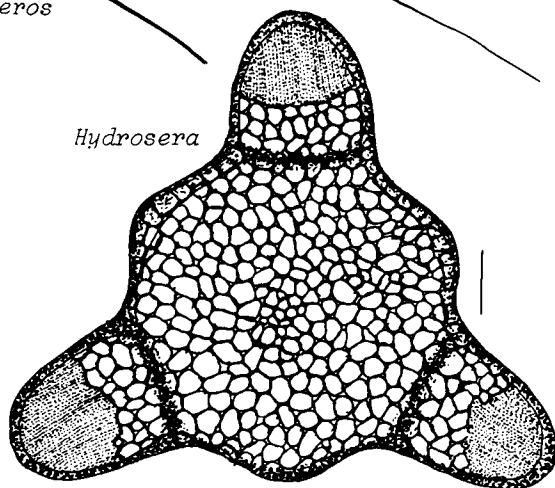
*Chaetoceros*

*Hydrosera*

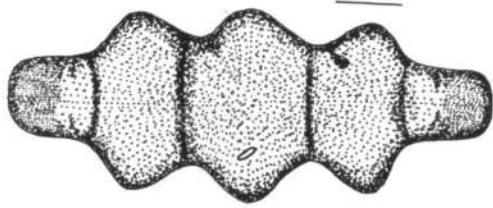
6a Cellule en forme de triangle ou d'étoile aux extrémités pourvues de pseudocelles.

eaux saumâtres ou tropicales.

g. *Hydrosera*



- 6b Vue valvaire présentant un contour ondulé. Forme tropicale et saumâtre.  
g. *Terpsinoe*

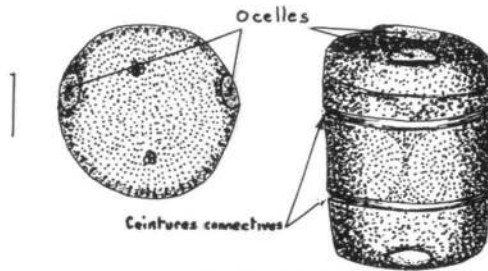


*Terpsinoe*

- 6c Cellule de forme cylindrique, à contour valvaire parfois elliptique. Valves ornées d'aréoles accompagnées parfois d'épines et de pseudocelles. Présence de ceintures connectives. Forme d'eau salée.

g. *Biddulphia*

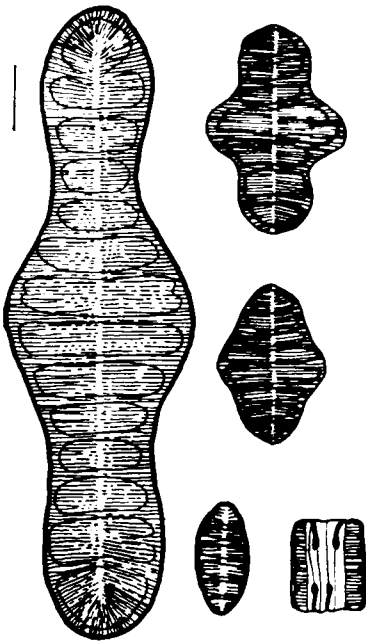
(Une révision récente de ce genre a été réalisée par COMPERE 1982 qui a transféré certaines espèces sous la dénomination de *Pleurosira*. ex. *P.laevis* forme d'eau saumâtre fréquente dans les estuaires.)



*Biddulphia*

**PENNATOPHYCIDEES**

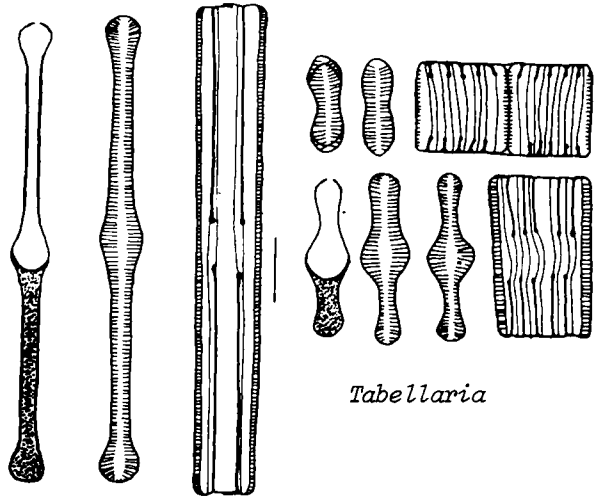
- I. Valves sans vrai raphé, ou avec un pseudoraphé suivant l'axe longitudinal.  
Ordre des DIATOMALES ou ARAPHIDEES.....7
- Ia Vrai raphé présent.....11
- Iia Raphé rudimentaire, formant une virgule sur les pôles de la valve, visible surtout en vue connective.  
Ordre des EUNOTIALES ou BRACHYRAPHIDEES.....19
- Iib Cellule avec développement du raphé sur une seule valve, seul un pseudoraphé est présent sur l'autre valve.  
Ordre de ACHNANTHALES ou MONORAPHIDEES.....20
- Iic Raphé développé sur les deux valves.  
Ordre des NAVICULALES ou BIRAPHIDEES.....23



*Tetracyclus*

**7 DIATOMALES OU ARAPHIDEES**

- 7a Cellule avec cloisons internes, parallèles au plan valvaire.....8
- 7b Cellule sans cloison interne, parallèle au plan valvaire.....9
- 8a Frustule avec fortes côtes saillantes  
g. *Tetracyclus*
- 8b Frustule sans côtes saillantes  
g. *Tabellaria*



*Tabellaria*

9a Valves avec fortes côtes transversales, des stries fines, et un pseudoraphé à peine visible.....10

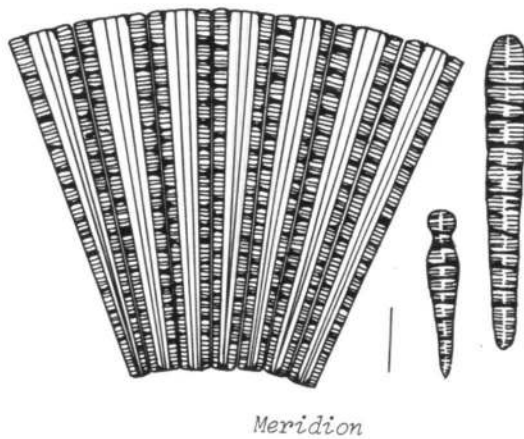
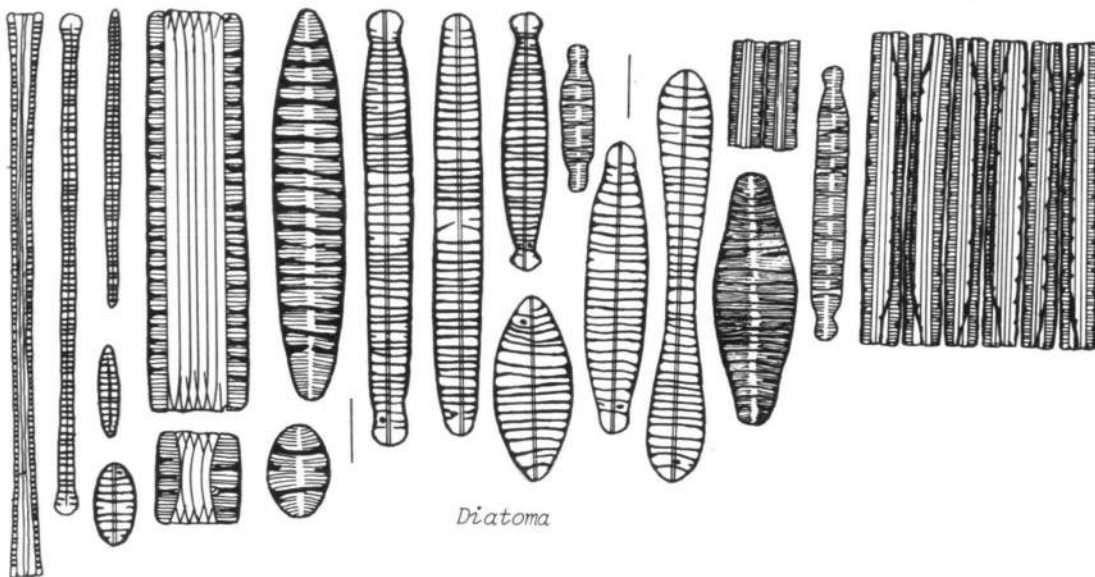
9b Valves sans côtes, uniquement des stries transversales.....11

10a Valves isopolaires

*g. Diatoma*

10b Valves hétéropolaires

*g. Meridion*

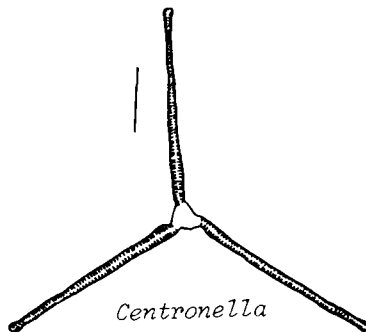


11a La cellule est formée de trois bras.....12

11b La cellule est bipolaire.....13

12a Branches étoilées longues et étroites.(Forme rare)

g. *Centronella*



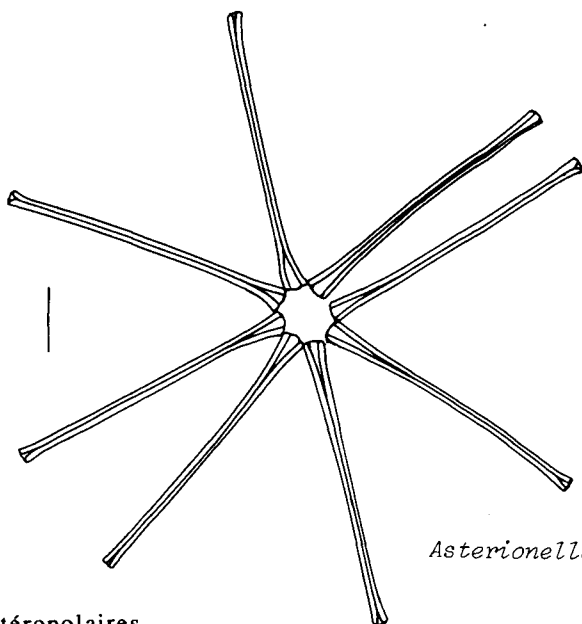
*Centronella*

12b Bras courts et épais  
g. *Fragilaria*



*Fragilaria*

13a Colonie étoilée  
g. *Asterionella*

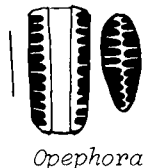


*Asterionella*



13b Cellule individuelle, ou  
colonie non étoilée.....4

14a Valves hétéropolaires  
g. *Opephora*



*Opephora*

14b Valves isopolaires.....15

15a Axe longitudinal court.....16

15b Axe longitudinal droit.....18

16a Surface valvaire sans pseudoraphé

g. *Amphicampa*

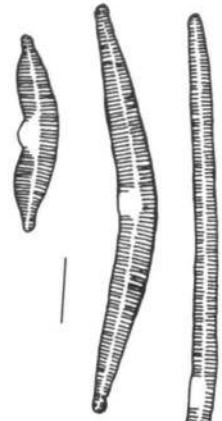


*Amphicampa*

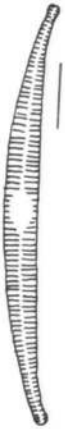
16b Valve avec pseudoraphé dans l'axe longitudinal.....17

17a Valve en forme de croissant avec une aire centrale développée d'un seul côté.

g. *Ceratoneis*  
(=*Hannaea* in Patrick & Reimer 1966)



*Ceratoneis*



*Synedra*

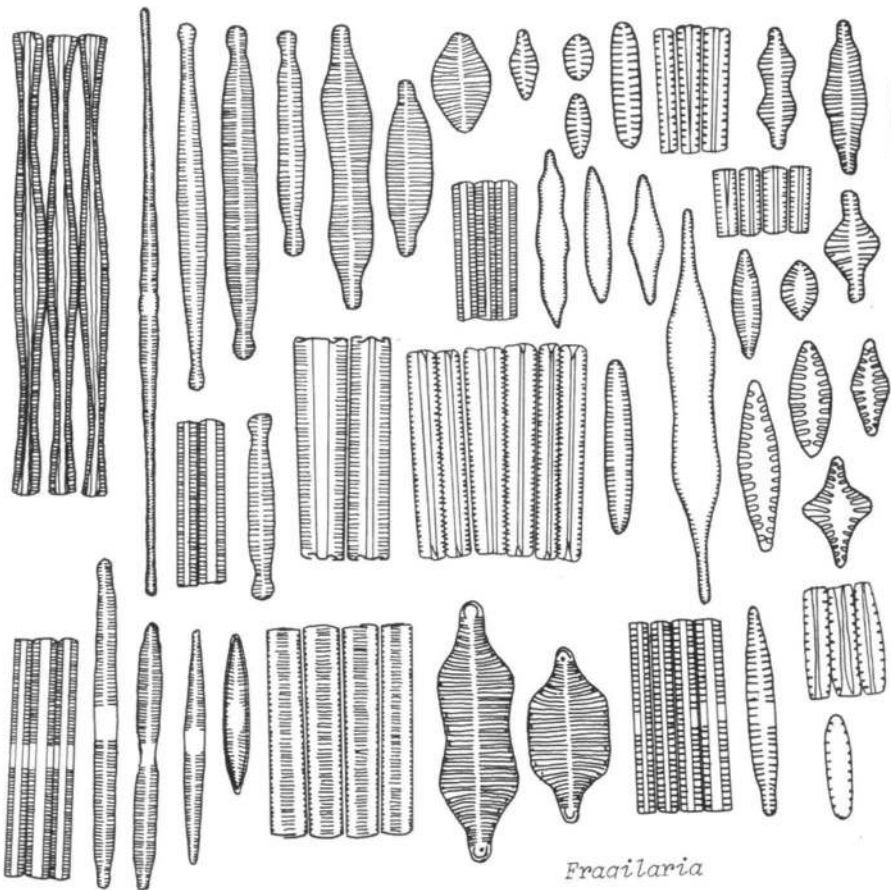
17b Aire centrale différente chez les formes arquées ou variable chez les formes rectilignes

g. *Synedra*

18a Cellules le plus souvent réunies en colonies rubanées.

g. *Fragilaria*

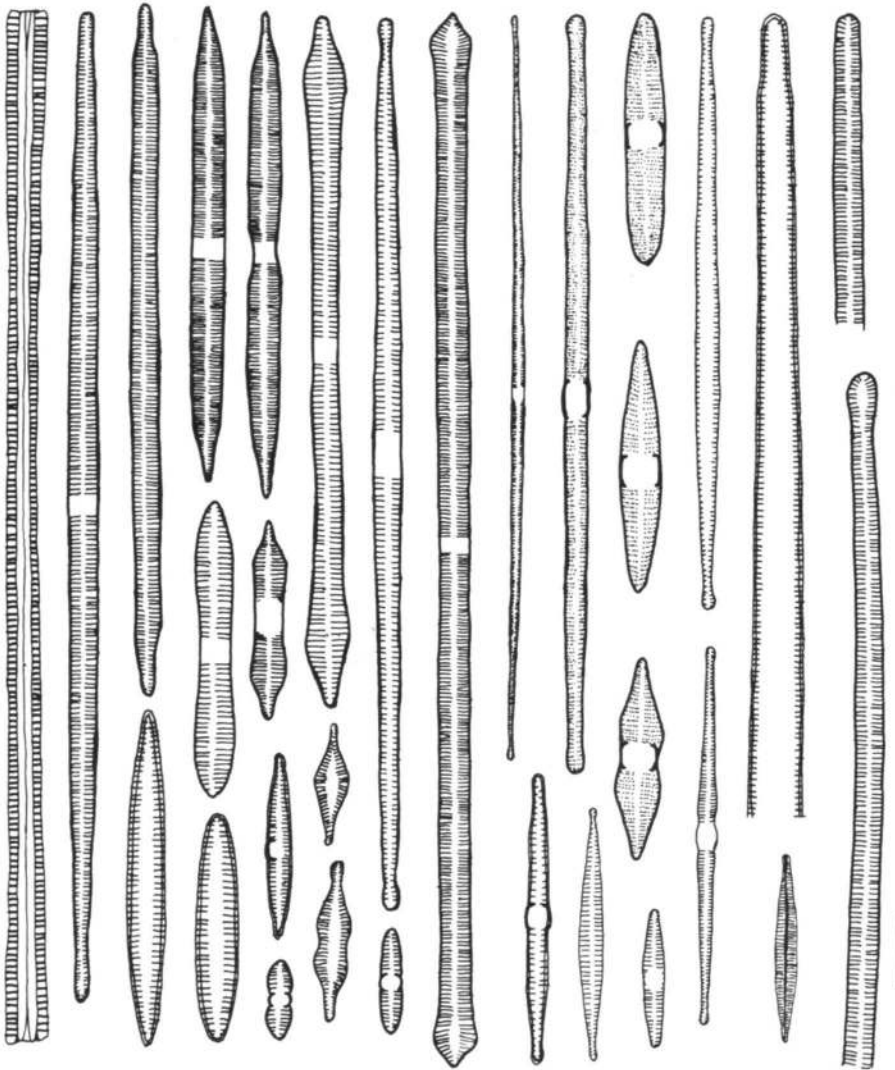
(WILLIAMS & ROUND 1987 réservent la dénomination de *Fragilaria* pour l'espèce *F. capucina* et proposent 5 nouveaux genres pour les autres taxons: *Staurosirella*, *Pseudostaurosira*, *Punctastriata* et *Neofragilaria* à partir de critères ultrastructuraux.)



*Fragilaria*

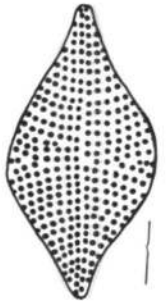
18b Cellules assez longues, le plus souvent isolées formant parfois des colonies étoilées, et plus rarement rubanées.

g. *Synedra*



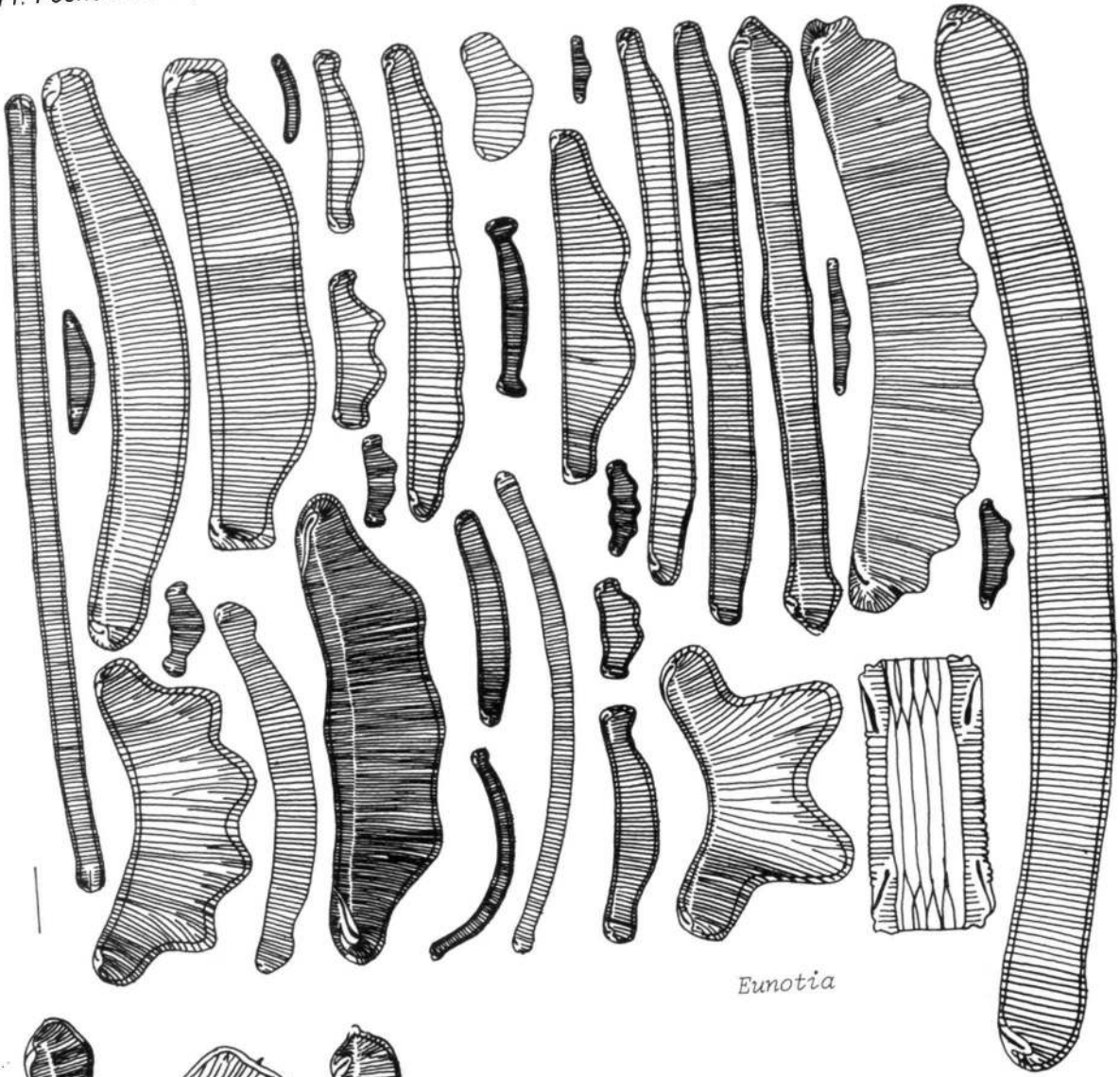
*Synedra*

Remarque: Il existe plusieurs révisions récentes de ce genre: ROUND 1979, POULIN & al. 1986 et certaines envisagent sa fusion avec le genre *Fragilaria* LANGE-BERTALOT (1980). Beaucoup s'accordent pour ne ranger sous le genre *Fragilaria* que les valves formant des colonies rubanées et munies de dents marginales bien visibles en microscopie électronique à balayage (GASSE 1970).

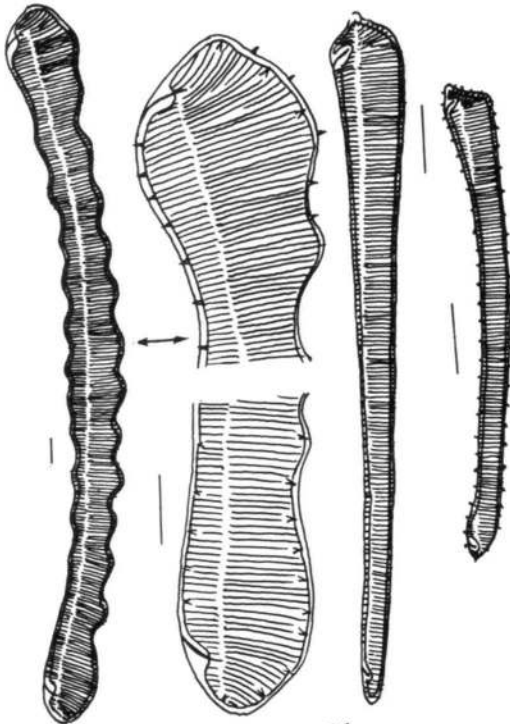


18c Cellule large et peu allongée à stries fortement ponctuées.

g. *Raphoneis*  
(Saumâtre ou marin)



*Eunotia*



*Actinella*

**EUNOTIALES OU BRACHYRAPHIDEES**

19a Cellule isopolaire g. *Eunotia*  
(milieux acides)

19b Cellule hétéropolaire g. *Actinella*  
(milieux très acides ou tropicaux)



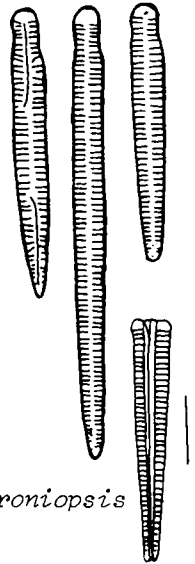
**MONORAPHIDEES**

20a Cellule hétéropolaire.....21

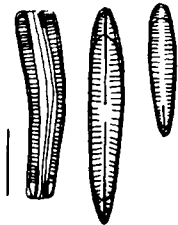
20b Cellule isopolaire.....22

21a Deux raphés courts, représentant chacun un tiers de la valve.  
Pseudoraphé étroit et peu visible sur l'autre valve, extrémité la plus large nettement capitée.  
(Forme intermédiaire entre les Brachyraphidées et les Monoraphidées).

g. *Peroniopsis*  
(milieu acide).



*Peroniopsis*



*Rhoicosphenia*

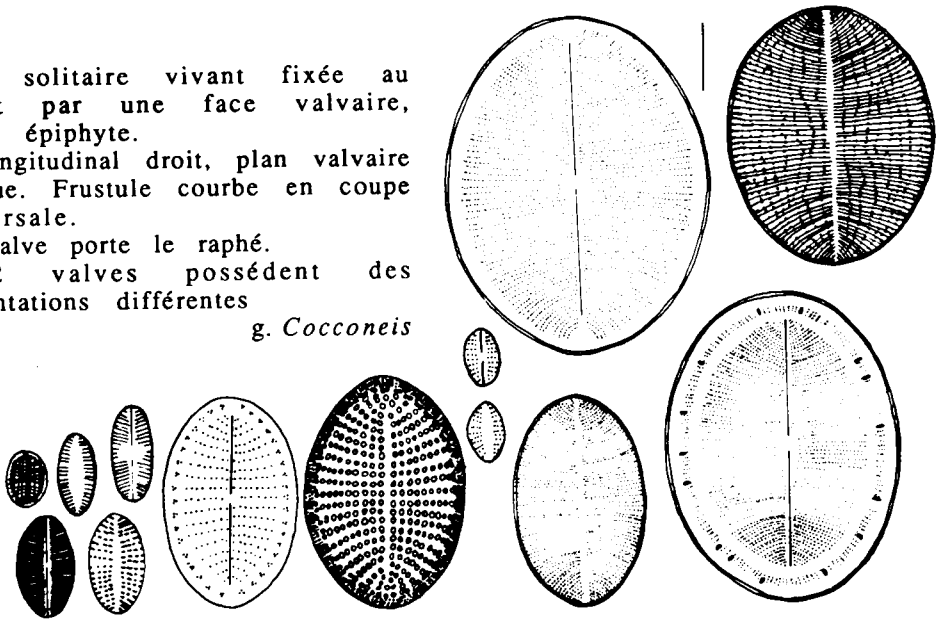
21b Vue connective coudée, se distingue de *Gomphonema* en vue valvaire par la présence de cloisons polaires, et celle d' un raphé réduit sur l'une des valves.

g. *Rhoicosphenia*

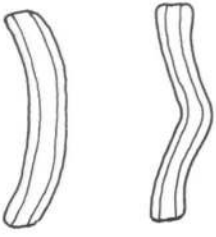
**Remarque:** Ce genre est classé parmi les Naviculacées (Biraphidées) dans les révisions récentes (SIMONSEN 1979, KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986). Il est maintenu ici dans les Monoraphidées dans un souci de conformité avec les flores françaises existantes (GERMAIN 1981, BOURRELLY 1981).

22a cellule solitaire vivant fixée au substrat par une face valvaire, souvent épiphyte.  
Axe longitudinal droit, plan valvaire elliptique. Frustule courbe en coupe transversale.  
L'hypovalve porte le raphé.  
les 2 valves possèdent des ornements différents

g. *Cocconeis*



*Cocconeis*

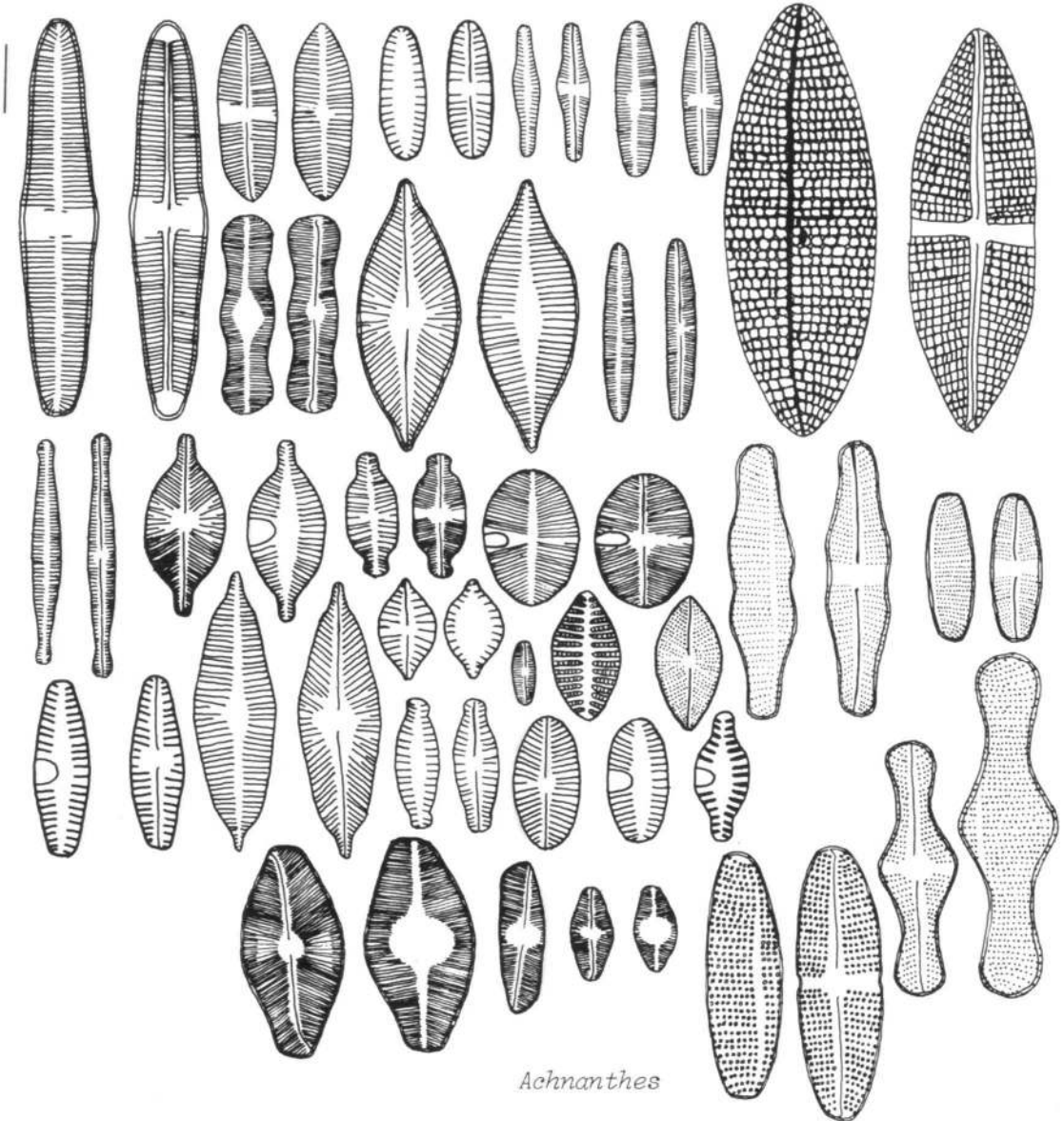


Vues connectives des *Cocconeis* et *Achnanthes*

*Cocconeis*    *Achnanthes*

22b Valve coudée en angle obtu en vue connective. Cellule en général fixée par un court stipe gélatineux.

g. *Achnanthes*



*Achnanthes*

23a Présence d'un raphé axial allant d'une extrémité à l'autre de la valve, interrompu (en apparence) dans la partie médiane par le nodule central

S.O. des NAVICULINEES  
 Famille des Naviculacées.....24

23b Présence d'un canal raphéen

S.O. de SURIRELLINEES.....45

24a Valve isopolaire mais assymétrique par rapport à l'axe apical.

Sous-famille des Cymbelloidées.....42

24b Valve isopolaire symétrique par rapport à l'axe apical.....25



*Gomphonematoidées*

25a Cellule hétéropolaire avec un écusson de fixation à la base de la cellule.

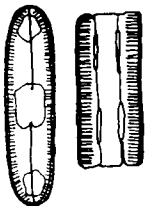
Sous-famille des Gomphonematoidées.....44

25b Cellule isopolaire, sans écusson de fixation

Sous-famille des Naviculoidées.....26

26a Cellule avec cloisons distinctes et une série de petites chambres marginales, visibles en vue valvaire et connective.

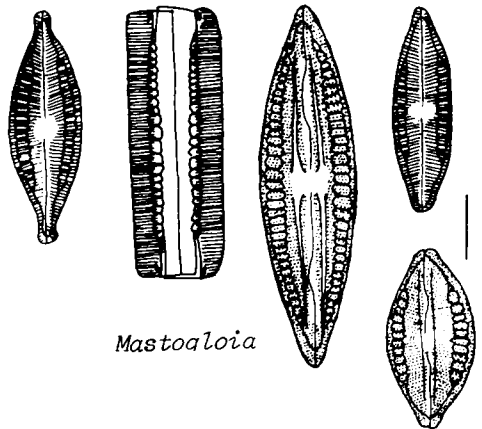
26b Cellule sans chambre marginale.....27



*Diatomella*

27 a Cloisons avec trois perforations visibles, tant en vue valvaire qu'en vue connective. Raphé très fin difficile à voir. Stries courtes, réduites à la bordure de la valve.

*g. Diatomella*



*Mastogloia*

*g. Mastogloia*



*Naviculoidées*



*Cymbelloidées*

27b Raphé plus ou moins en forme de S.....28

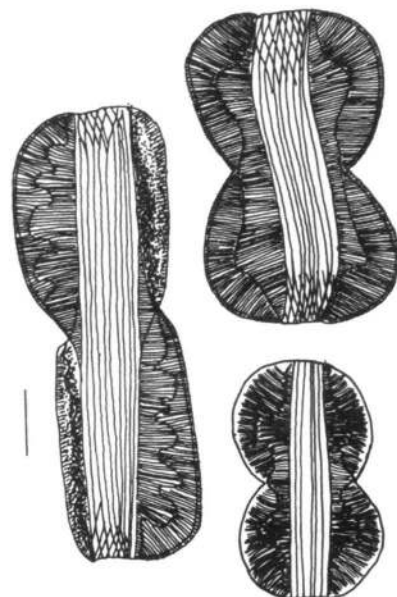
27c Raphé rectiligne.....33

28a Raphé dans une carène saillante qui donne à la cellule une forme de 8 plus ou moins prononcée en vue connective.....29

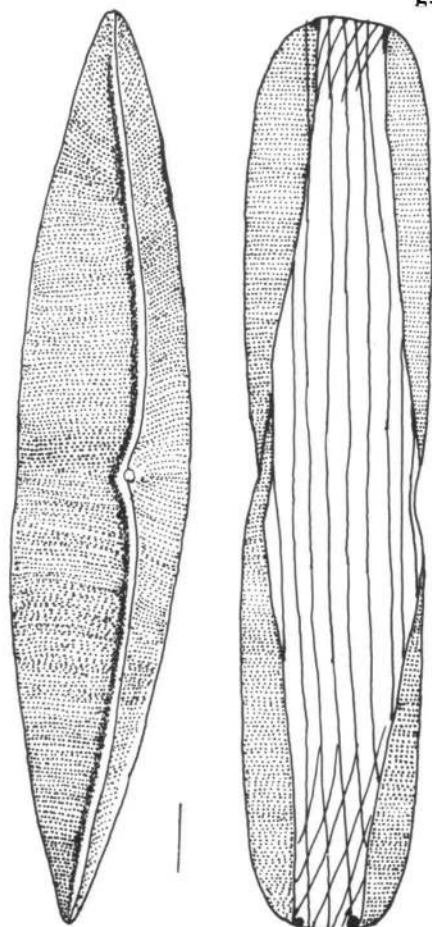
28b Raphé sans carène saillante. Cellule non en forme de 8.....30

29a Forme de 8 très prononcée en vue connective. Ceintures connectives plus ou moins nombreuses autour de l'axe longitudinal. Genre vivant dans des eaux fortement minéralisées.

g. *Amphiprora*  
= *Entomoneis*



*Amphiprora*



*Plagiotropis*

29b Cellule en forme de 8 très peu prononcée, presque rectangulaire en vue connective.

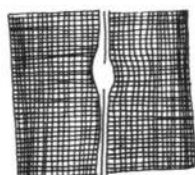
La distinction du raphé, moins excentré, est nette en vue valvaire. Forme d'eau saumâtre.

g. *Plagiotropis*

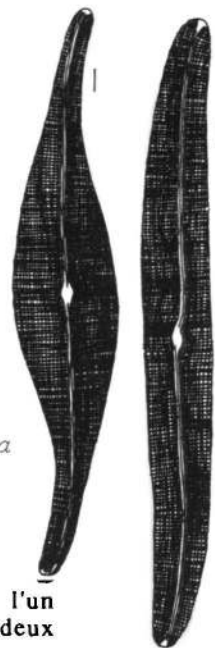
30a Cellule dont l'axe longitudinal est en forme de S. Valves avec un réseau de lignes croisées dont la différence passe facilement inaperçue.....31

30b Cellule non en forme de S.....32

31a Double système de stries, longitudinales et transversales, croisées en angle droit  
g. *Gyrosigma*

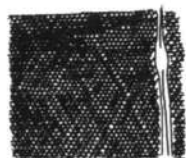


*Gyrosigma*



31b Triple système de stries, l'un transversal peu visible et deux systèmes de stries obliques. Forme des eaux marines ou saumâtres.

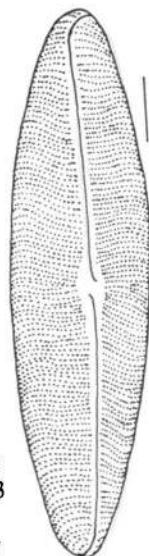
g. *Pleurosigma*



*Pleurosigma*

32a Cellule lancéolée à pôles arrondis ; le raphé est en diagonale, ou plus ou moins sigmoïde, et le nodule central en forme de crochets inversés. Les stries sont ponctuées. Forme des eaux marines ou saumâtres.

g. *Scoliopleura*



*Scoliopleura*

2b Raphé rectiligne dans l'axe longitudinal.....33

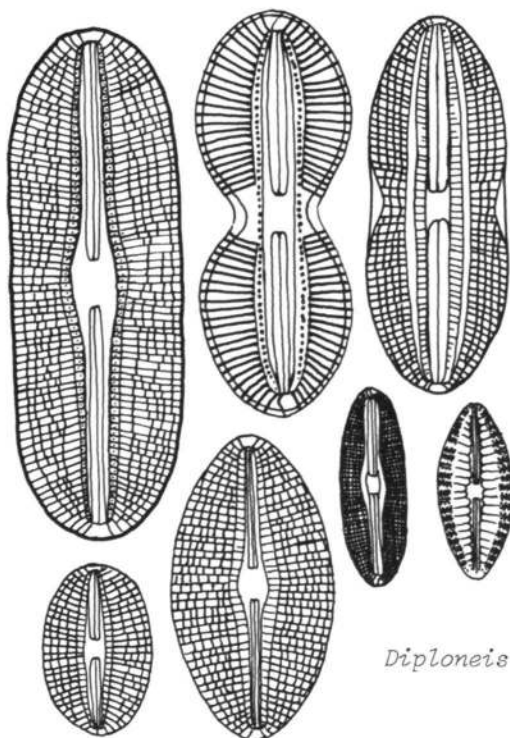
3a Raphé encadré par deux côtes parallèles.....34

3b Raphé non encadré par deux côtes.....37

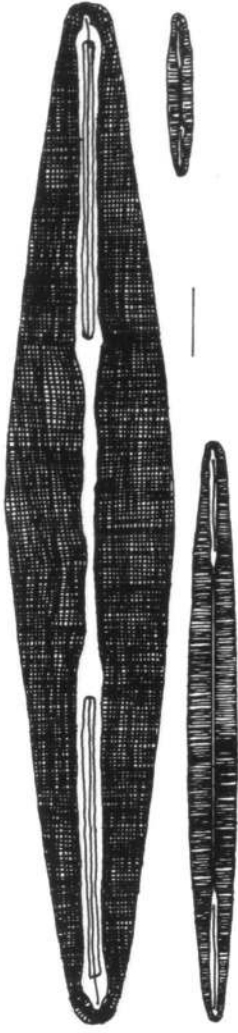
4a Valves à contour elliptique parfois étranglé. Le nodule central est prolongé par des épaissements siliceux (ou cornes) qui enserrent un raphé linéaire. Présence de côtes transversales souvent robustes.

Entre les cornes et les côtes transversales des sillons forment une sorte d'aire lancéolée.

g. *Diploneis*



*Diploneis*



*Amphipleura*

34b Valve en forme de fuseau à contour lancéolé, parfois capitée.....35

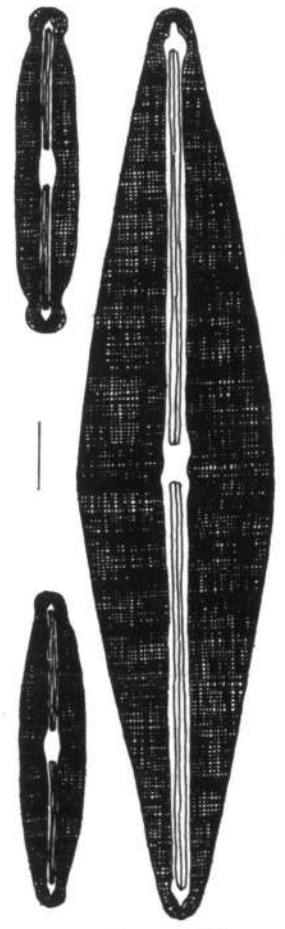
35a Le nœud central est nettement allongé, chaque ensemble "côtes siliceuses + branche du raphé" n'occupe pas plus d'un tiers de la longueur de la valve.  
La valve est ornée de très délicates stries longitudinales et transversales croisées en angle droit.

*g. Amphipleura*

35b L'ensemble "côtes + raphé" occupe plus d'un tiers de la longueur de la valve.....36

36a Comme chez *Amphipleura*, la très fine ornementation quadrillée des valves, pratiquement invisible avec des objectifs courants, sert de test pour les objectifs à immersion.

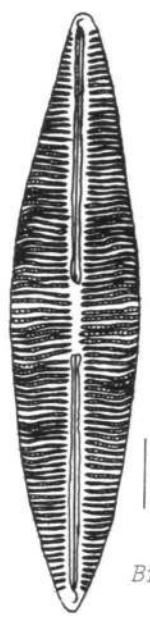
*g. Frustulia*



*Frustulia*

36b Valve ornée de fortes côtes, plus ou moins perpendiculaires au raphé. Forme d'eau saumâtre rare.

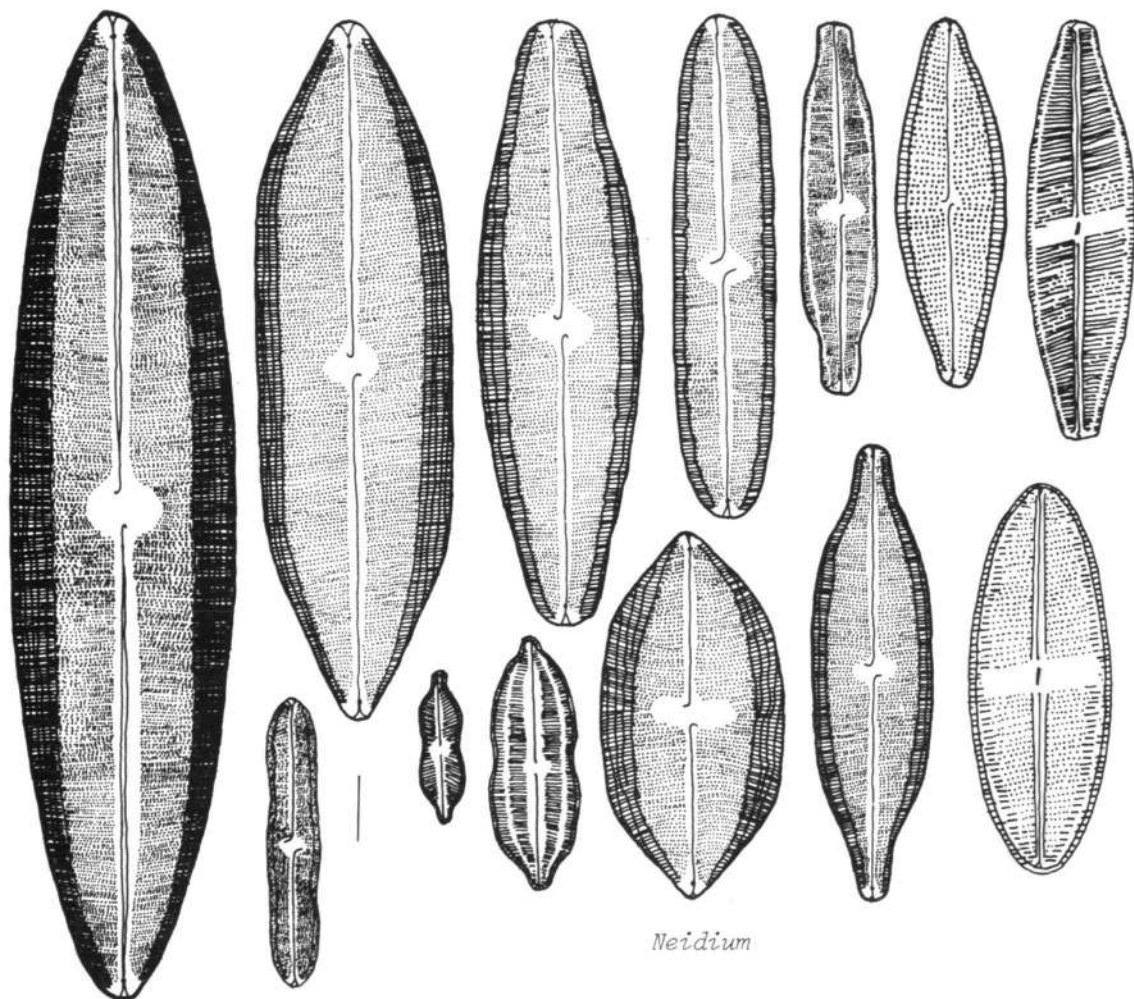
*g. Brebissonia*



*Brebissonia*

37a Terminaisons centrales des branches du raphé en forme de crochets opposés. Stries transversales croisées sur les bords de la valve par des sillons longitudinaux.

*g. Neidium*



*Neidium*

37b Pores centraux du raphé non formés de crochets opposés. 38

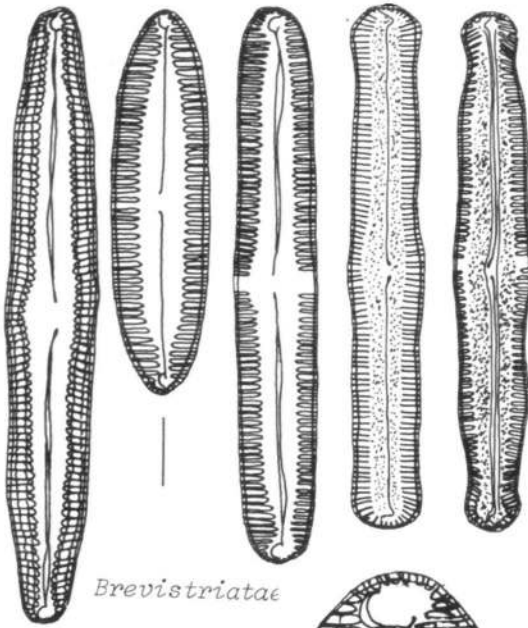
38a Stries transversales croisées par une ou plusieurs grandes lignes parallèles au bord de la valve (peu visibles). 39

38b Stries transversales non croisées sur chaque bord par une ou plusieurs lignes (apparemment absentes). 40

39a Stries transversales lisses ayant l'aspect de fortes côtes polies.

*g. Pinnularia*  
3 sections.....b





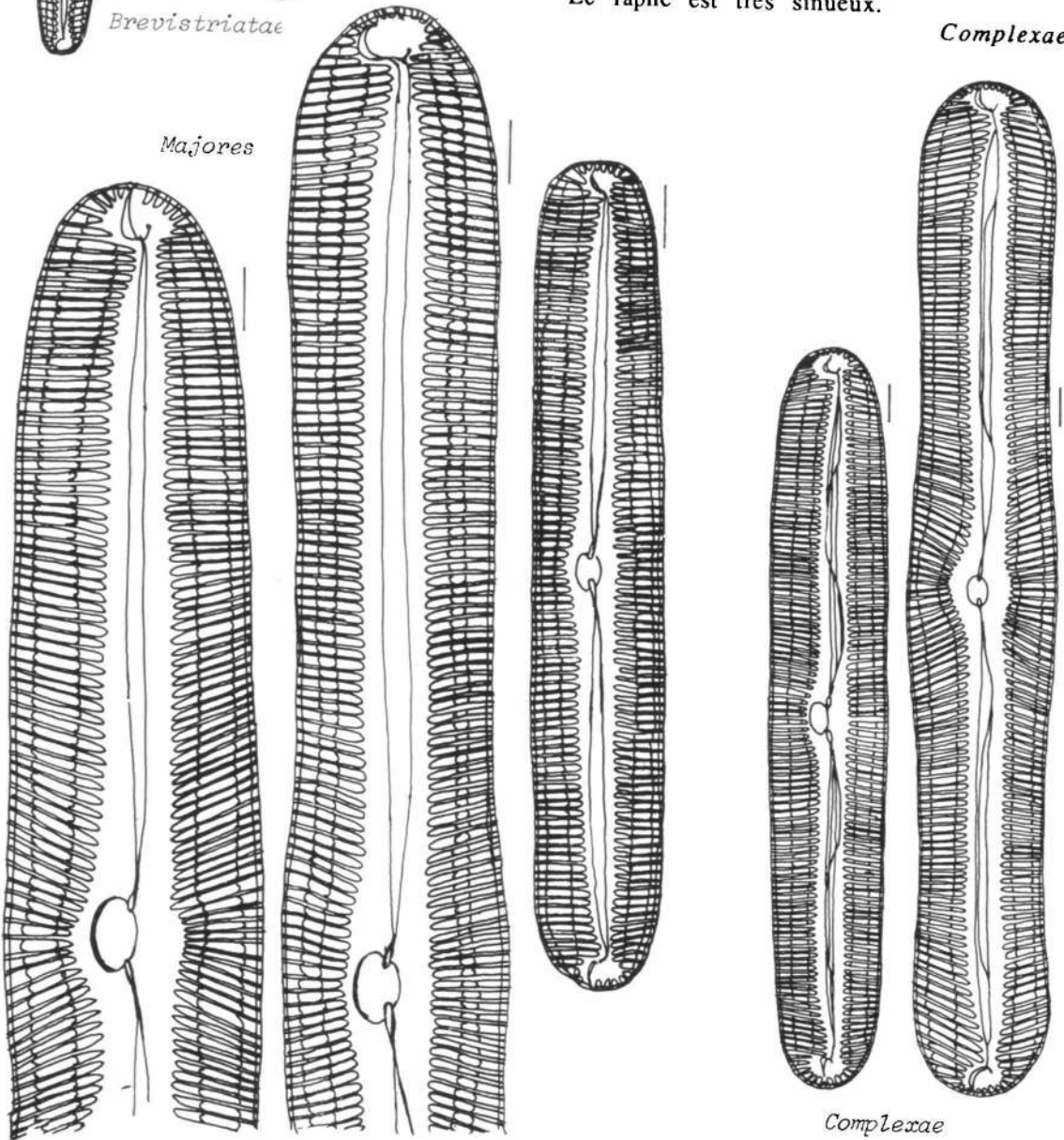
**ba** Les aires longitudinale et centrale forment un large espace sans ornementation. Les stries sont courtes et perpendiculaires à l'axe longitudinal.  
*Brevistriatae*

**bb** Cellule de grande taille (peut atteindre 300  $\mu\text{m}$ ); raphé large non sinueux.

*Majores*

**bc** Cellule également de grande taille 300 à 350  $\mu\text{m}$ .  
Le raphé est très sinueux.

*Complexae*



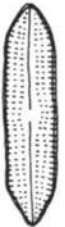
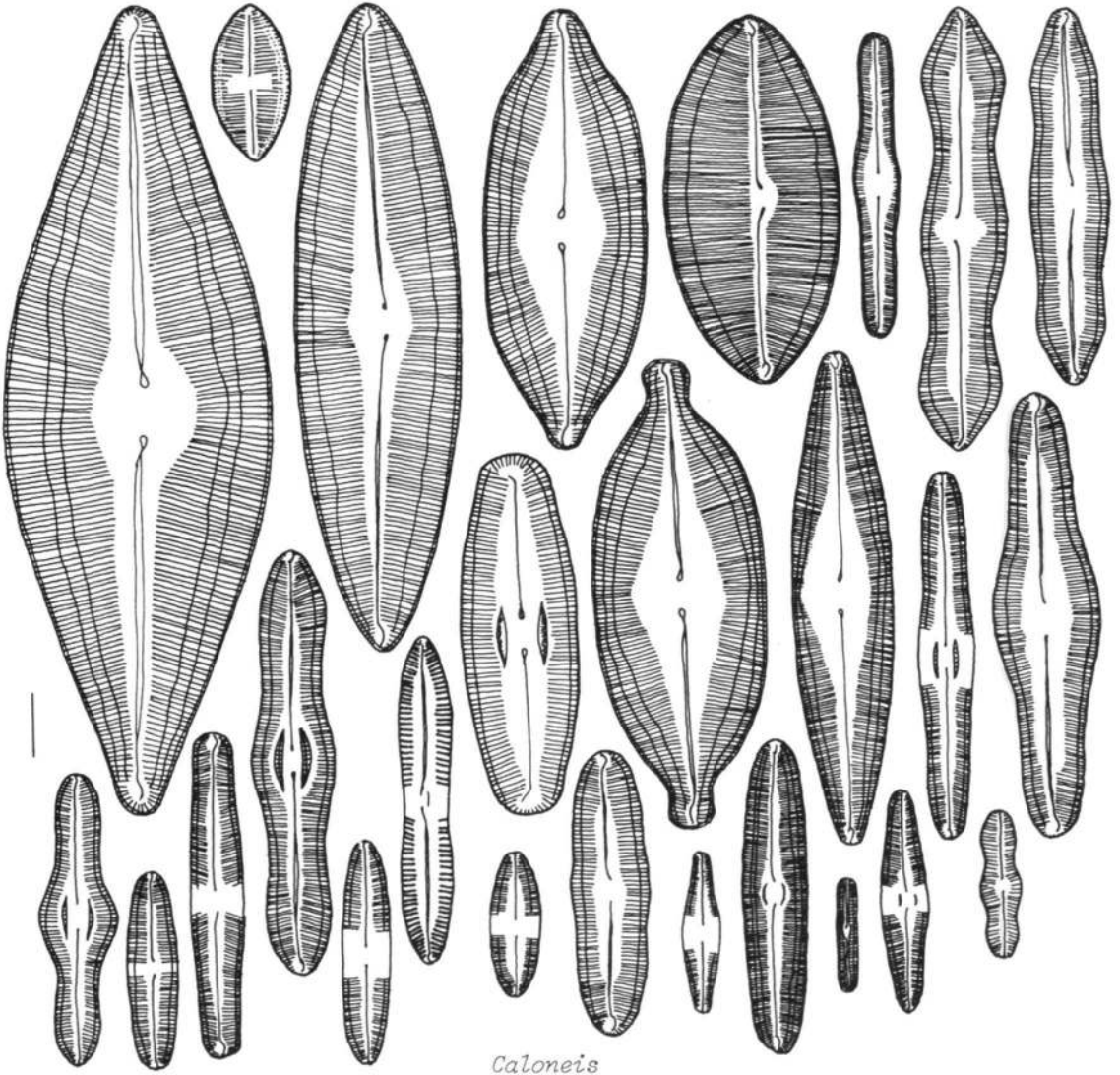
*Majores*

*Complexae*



39b Stries transversales délicatement ponctuées. Une ou deux lignes longitudinales proches du bord semblent croiser les stries sans les couper.

g. *Caloneis*



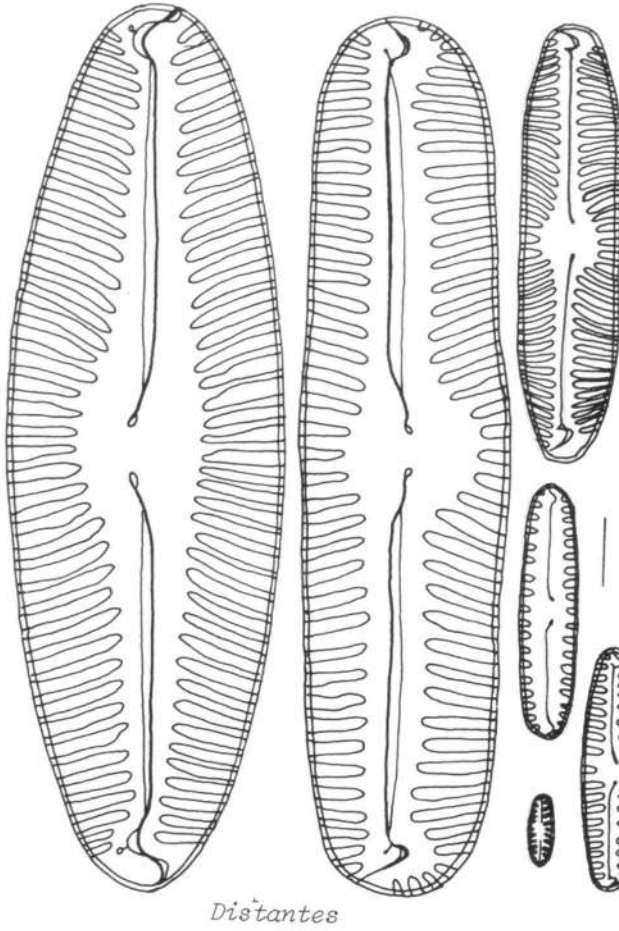
*Oestrupia*

39c Les stries transversales sont interrompues par des lignes longitudinales

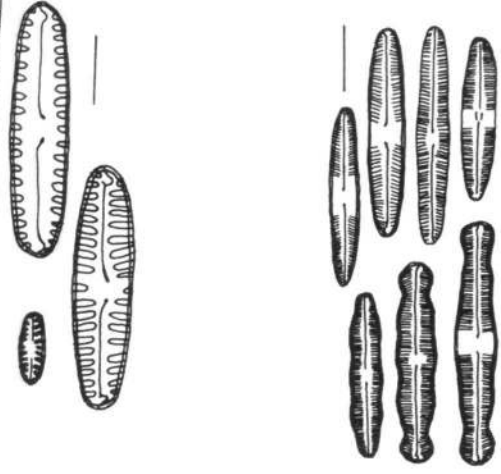
g. *Oestrupia*

40a Stries transversales lisses, le plus souvent sous la forme de côtes non ponctuées.

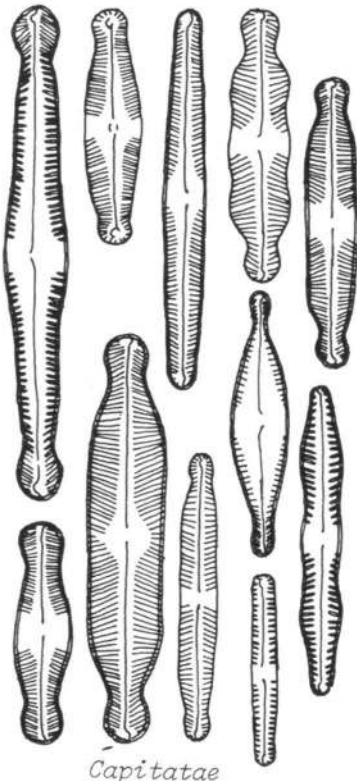
g. *Pinnularia*  
5 sections.....c



- c a Aire longitudinale étroite ou modérément large, linéaire ou lancéolée.....d
- d a Stries transversales très écartées, éloignées les unes des autres. *Distantes*
- d b Stries plus ou moins serrées, les unes contre les autres.....c

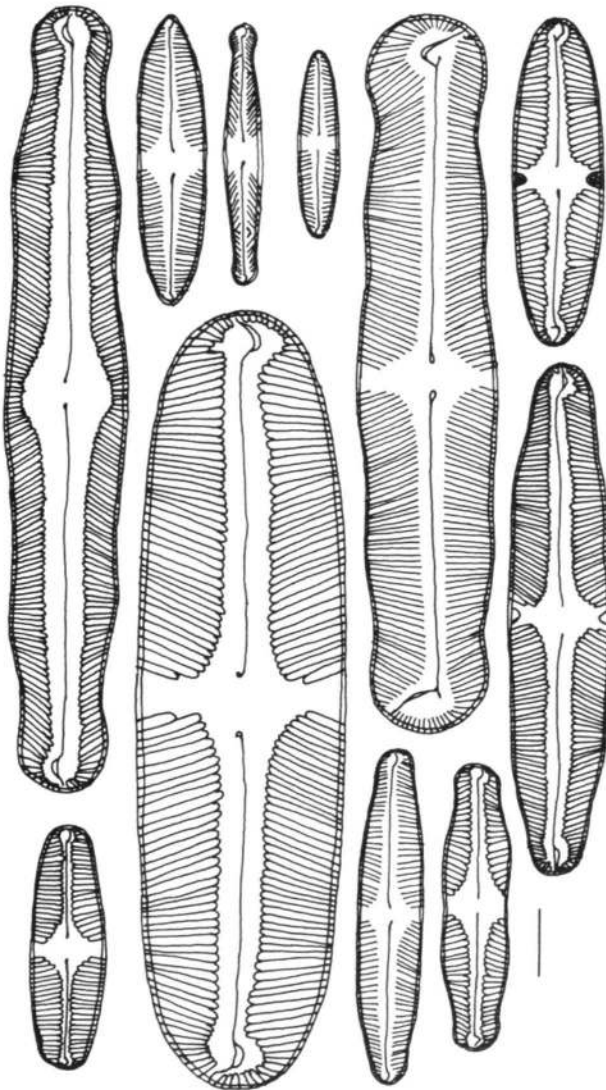


*Parallelistriatae*



*Capitatae*

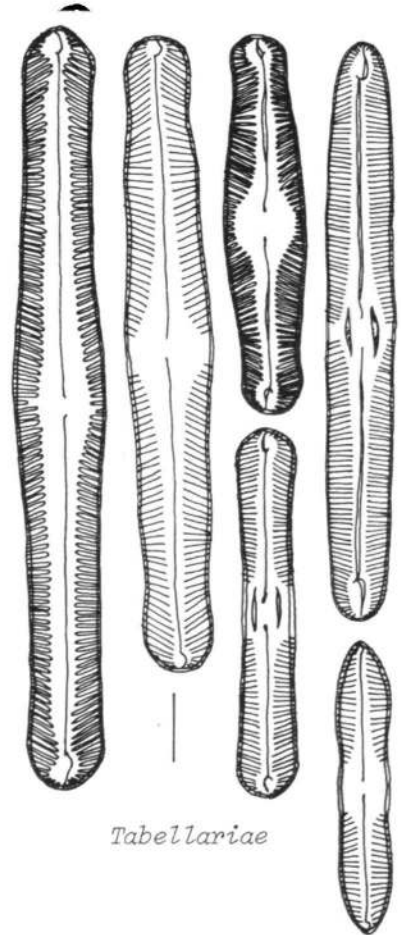
- e a Petite forme inférieure à 40 µm avec des stries fines, perpendiculaires à l'axe longitudinal ou très peu radiales; aire longitudinale très étroite. *Parallelistriatae*
- e b Cellule d'une taille rarement inférieure à 40 µm.....f
- f a Pôles nettement capités, stries plus ou moins radiales, aire centrale souvent élargie en stauros. *Capitatae*



*Divergentes*

f b Stries robustes et fortement radiales au centre, pôles rarement capités.

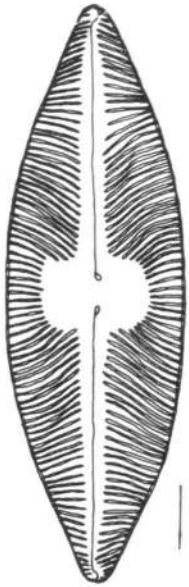
*Divergentes*



*Tabellariae*

f c Cellule de forme allongée avec un area longitudinal moyennement large et des stries relativement courtes et radiales.

*Tabellariae*



*Pinnuavis*

40b Forme lancéolée considérée comme intermédiaire entre *Navicula* et *Pinnularia* en raison de l'aspect lisse de ses stries (OKUNO 1975). Forme d'eau saumâtre.

g. *Pinnuavis*

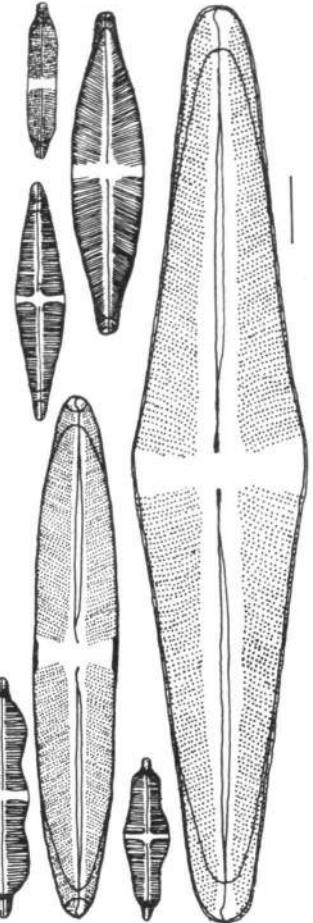
Une seule espèce (*P. elegans*). KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986) l'ont replacée dans le genre *Navicula*.

40c Stries ponctuées ou fins sillons.....41

41a Interruption complète des stries de l'aire centrale jusqu'au bord de la cellule formant avec l'aire longitudinale une croix (stauros).

g. *Stauroneis*

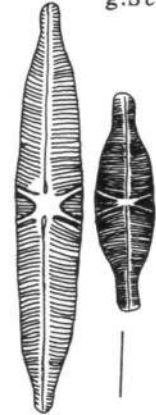
g a Cellule avec cloisons polaires  
Sous-genre *Pleurostauron*



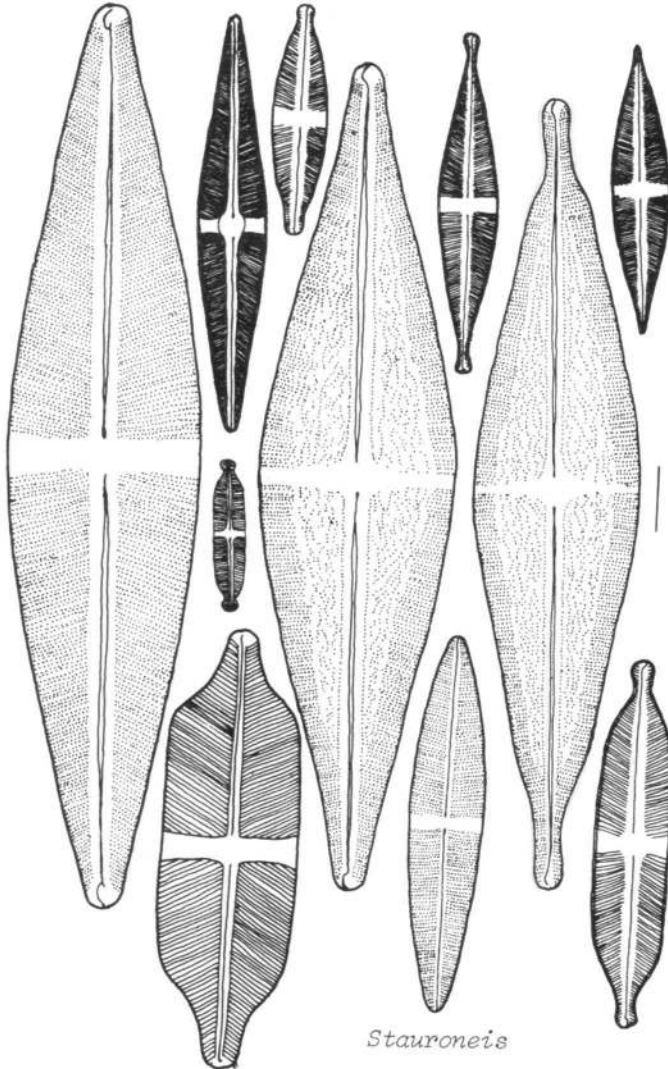
*Pleurostauron*

g b Cellule sans cloison polaire  
Sous-genre *Stauroneis*

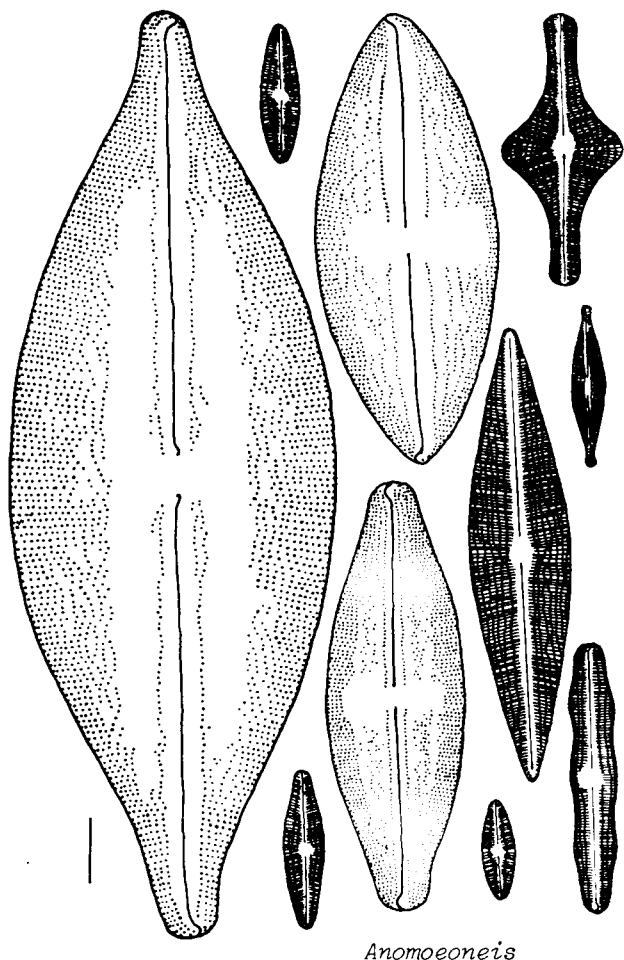
41b Stauros en forme de X  
g. *Schizostauron*



*Schizostauron*



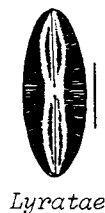
*Stauroneis*



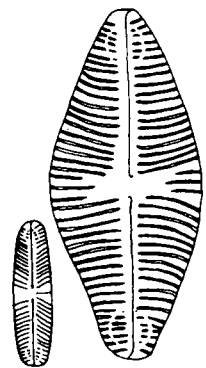
41c Stries formées de ponctuations étirées transversalement et dont l'alignement dans le sens longitudinal forme des lignes sinueuses. Ces stries sont parfois interrompues par des zones floues vers le centre de la valve.

g. *Anomoeoneis*

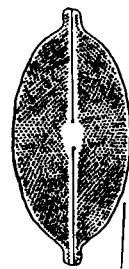
Remarque: Ce genre a fait l'objet d'une révision partielle de la part de ROUND & MANN (1981) qui proposent le nom de *Brachysira* pour les genres pourvus de côtes saillantes et de stries verruqueuses ou épineuses.



*Lyratae*



*Annulatae*



*Decussatae*

41d Autres formes. Stries plus ou moins distinctes ponctuées ou lignées.

g. *Navicula*

12 sections.....i

i a Aire centrale étendue en forme de H

*Lyratae*

Une espèce de d'eau douce: *N. pygmaea*

i b Aire centrale non étendue en forme de H.....j

ja Stries interrompues aux pôles par un sillon circulaire

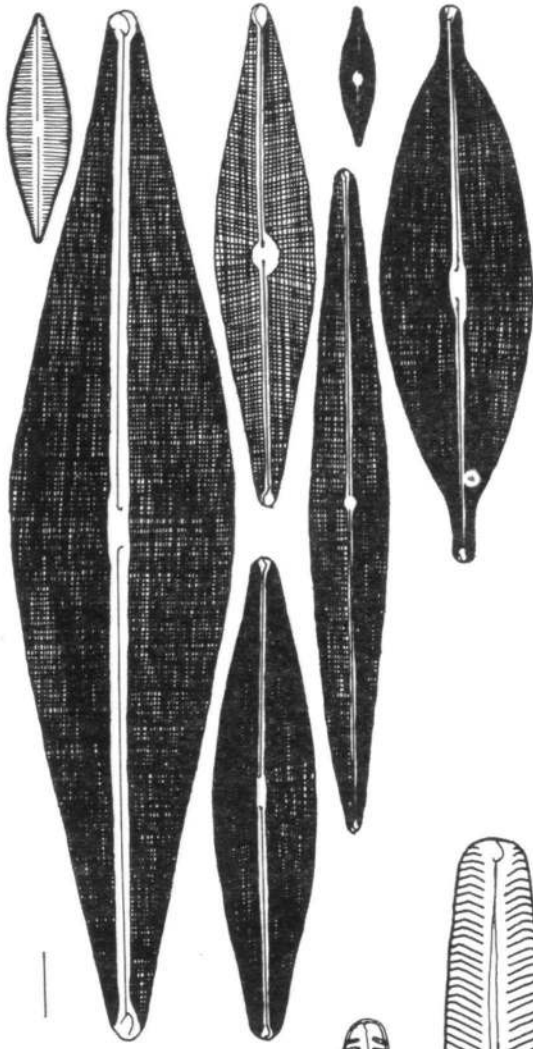
*Annulatae*

jb Pas de sillon circulaire aux pôles.....k

ka Cellules à extrémités nettement capitées. Triple système de stries, dont deux sont obliques et croisées de façon caractéristique, et une transversale moins distincte.

*Decussatae*

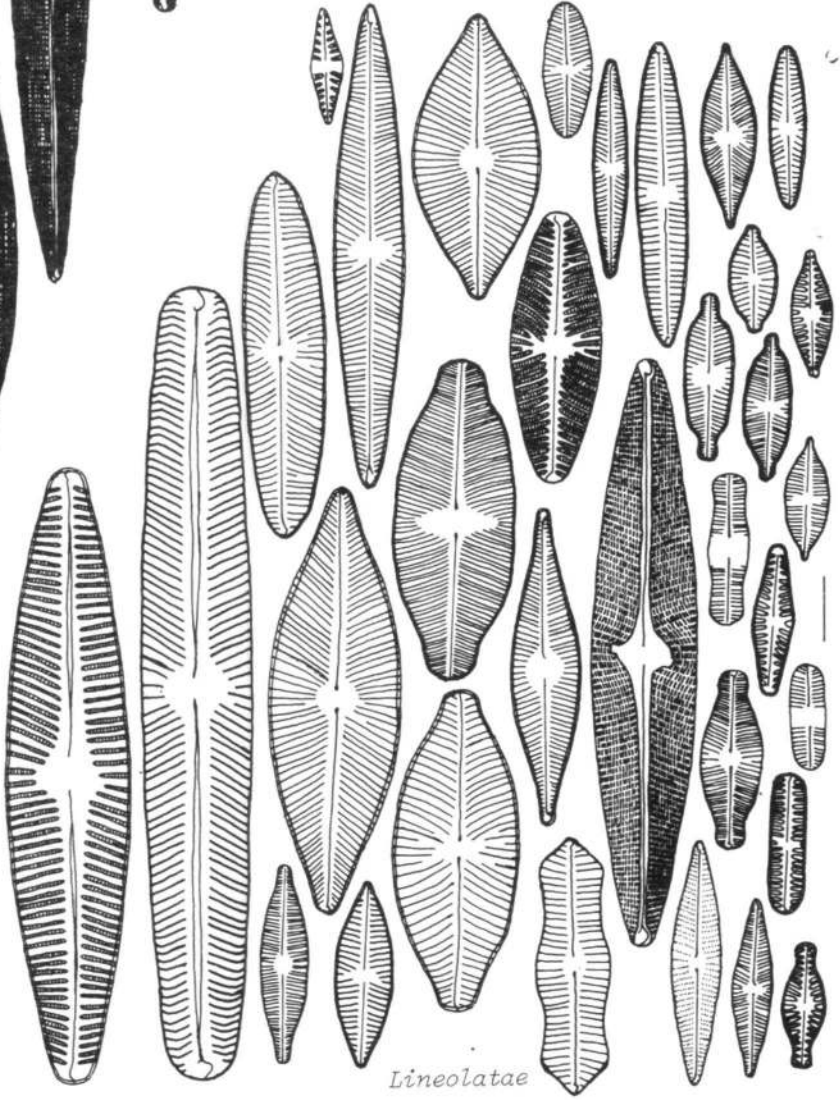
Une espèce : *N. placenta*



*Orthostichae*

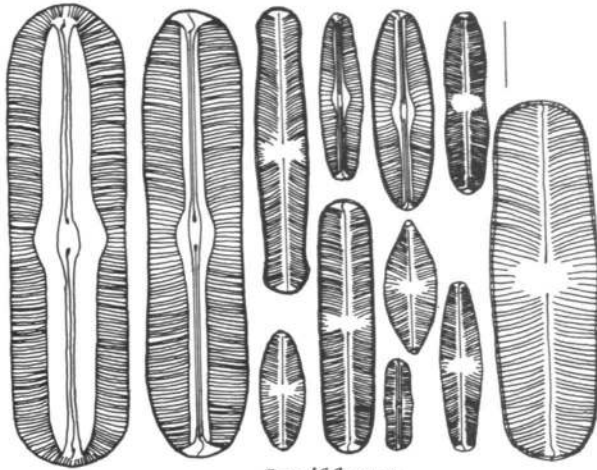
kb Striation ordonnée autrement ———|  
 la Stries délicates se croisant en angle droit parfois difficiles à discerner.  
*Orthostichae*

lb Stries transversales lignées de façon distincte dans les grandes formes et plus ou moins radiales au centre. Cette section est la plus importante du genre *Navicula* (plus de 30 espèces).  
*Lineolatae*



*Lineolatae*





*Bacillares*

lc Stries ponctuées.....m

ma Valve linéaire ou elliptique ; le raphé est porté par une côte saillante ; l'extrémité de cette côte s'élargit parfois aux pôles pour former un nodule polaire triangulaire.

*Bacillares*

mb Raphé non porté dans une côte saillante ; valve le plus souvent lancéolée.....n

na Stries à ponctuation particulière. A proximité de la bordure, une double série de points forme un épaississement des stries.

*Tusculae*

Une espèce : *N.tuscula*

nb Stries transversales régulièrement ponctuées

oa Raphé se terminant au centre par deux virgules tournées dans le même sens.

*Fistulatae*

Une espèce : *N.gibbula*



*Fistulatae*



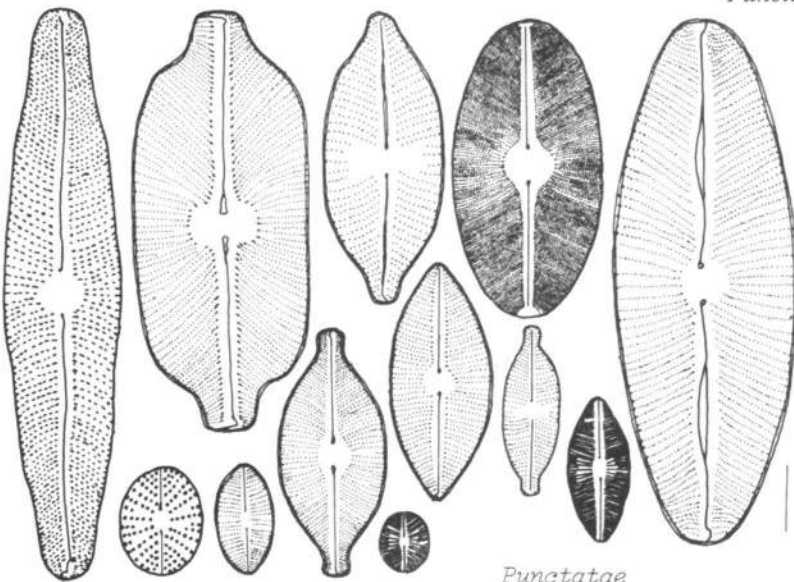
*Tusculae*

ob Stries transversales distinctement ponctuées. Pas de ceintures intercalaires en vue connective.

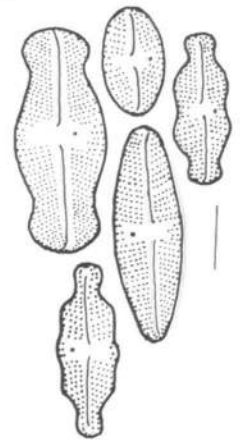
*Punctatae*

oc Présence d'un stigma dans l'aire centrale

*Punctatae* groupe des *mutica*



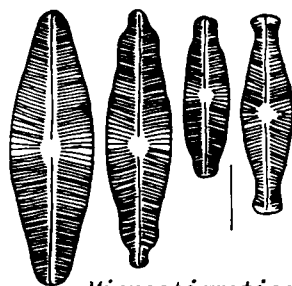
*Punctatae*



*mutica*

- od Présence de ceintures intercalaires en vue connective.  
Surface valvaire fortement convexe. Aires centrale et longitudinale étroites. Ponctuation des stries difficile à observer.

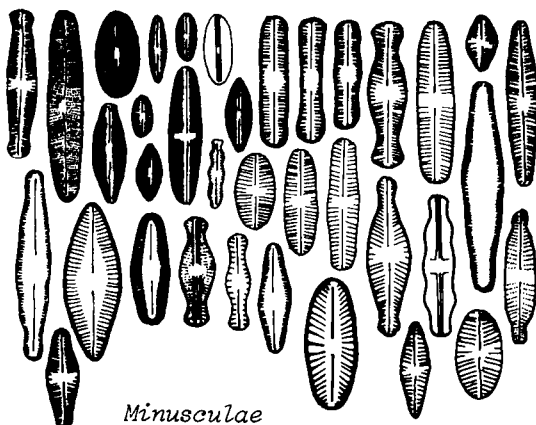
*Microstigmaticae*



*Microstigmaticae*

- oe Stries fines, parfois invisibles optiquement. Petites espèces de forme courte, souvent réunies en bandes. La taille moyenne est de 5 à 15  $\mu\text{m}$ .  
Exceptionnellement 45  $\mu\text{m}$  pour les formes les plus allongées.

*Minusculae*



*Minusculae*

- of Petites espèces de forme allongée, pôles plus ou moins capités.

*Subtilissimae*



*Subtilissimae*

- 42a Valve hétéropolaire

g. *Gomphocymbella*

*Gomphocymbella*



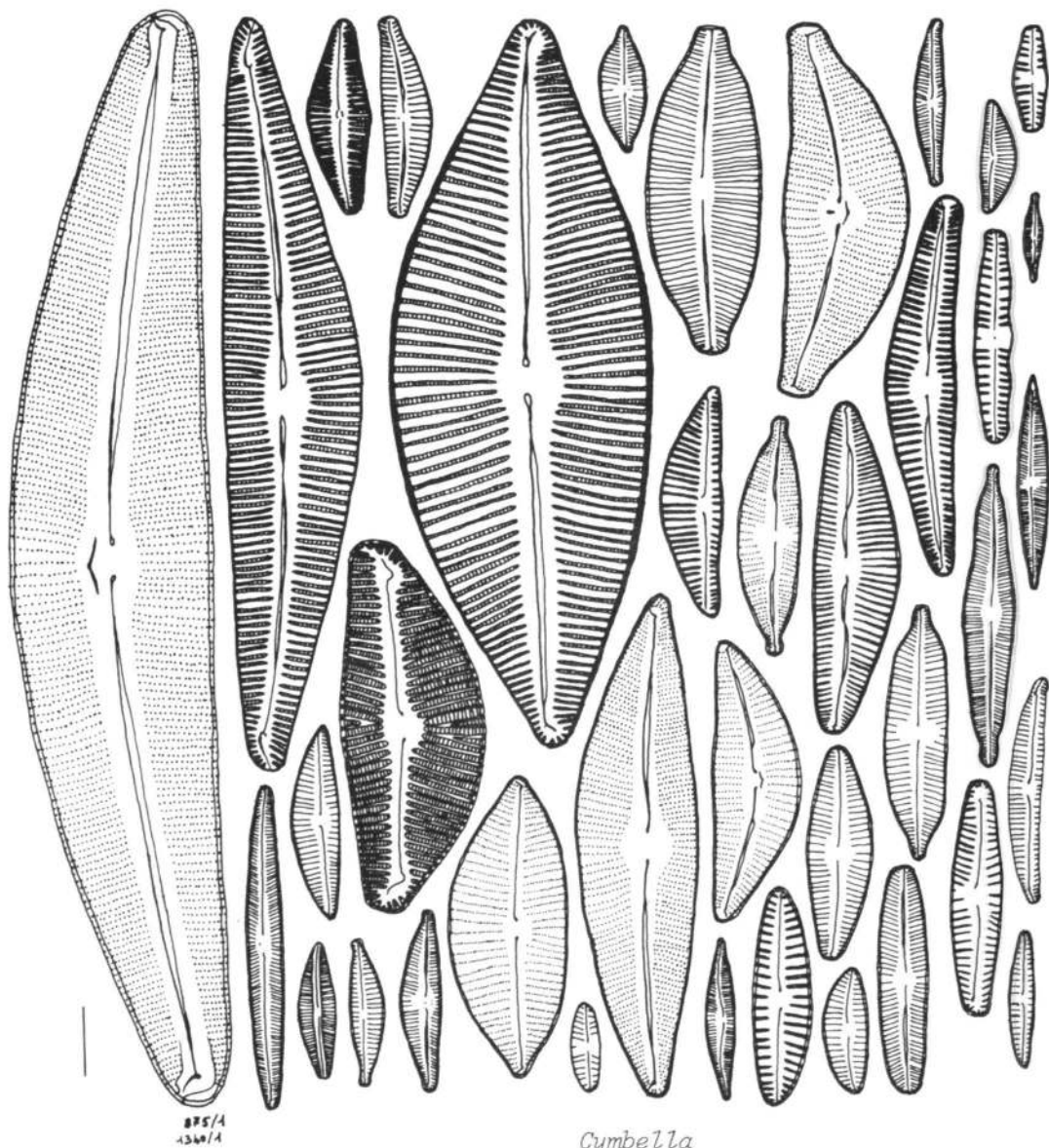


42b Valve isopolaire.....43

43a Surface valvaire à peu près plane, en forme de croissant plus ou moins prononcée.

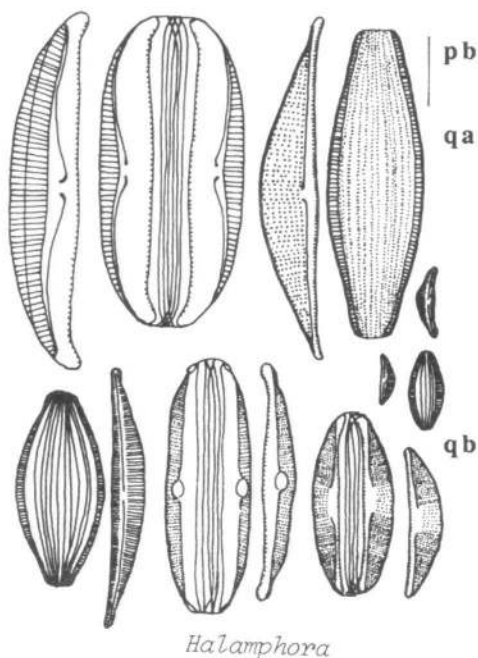
Certaines formes peuvent être confondues avec le genre *Navicula*.

g. *Cymbella*



43b En vue valvaire, la valve a l'aspect d'une *Cymbella*, mais la surface valvaire est bombée. La cellule se présente presque toujours en vue connective, qui est très caractéristique.

pa Cellule sans ceintures secondaires ; valves avec bord ventral plus ou moins large, avec une carène semblable à de longues côtes, à proximité du raphé.



pb Cellule avec ceintures secondaires.....q

qa Valve le plus souvent capitée, raphé en forme de cordon fin, au bord ventral de la valve. Bordure de la valve distinctement développée. Stries transversales souvent grosses ou finement ponctuées.

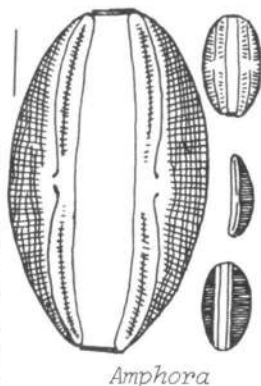
*Halamphora*

qb Extrémité de la valve arrondie, pôles non capités, raphé au bord ventral de la valve, forme plutôt marine. Une espèce d'eau douce.

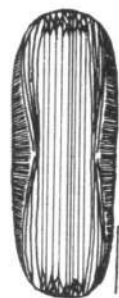
*Oxyamphora*

Une espèce : *A. lineolata*

g. *Amphora*  
3 sections....p



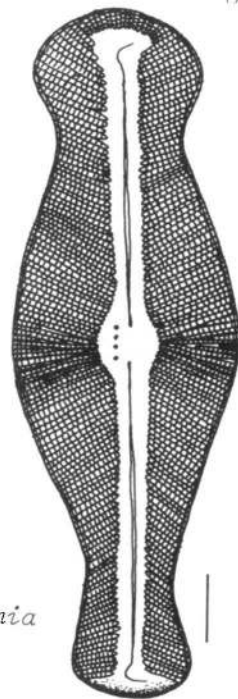
*Amphora*



*Oxyamphora*

44a Pôles capités ; le raphé se termine par un crochet allongé dans les nodules polaires. Ornementation particulière, grosse ponctuation des stries rappelant un quadrillage.

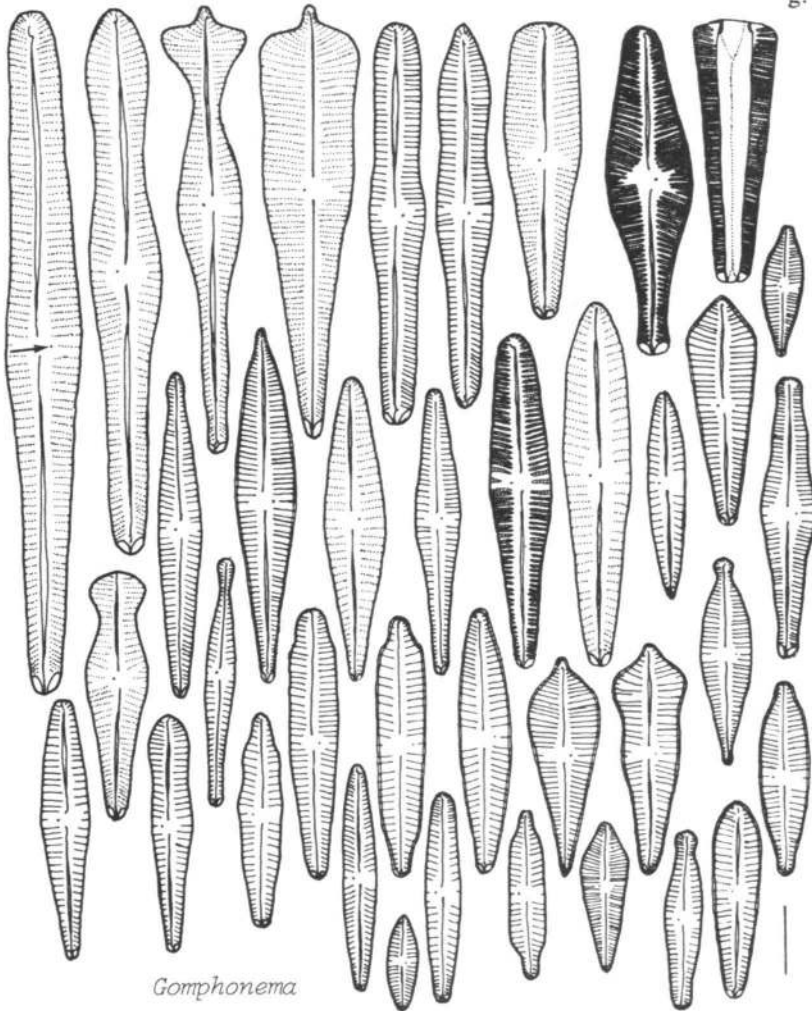
*Didymosphenia*  
(rare).



*Didymosphenia*

44b Présence d'un stigma (point) dans l'aire centrale de la valve. Stries généralement fines.

g. *Gomphonema*



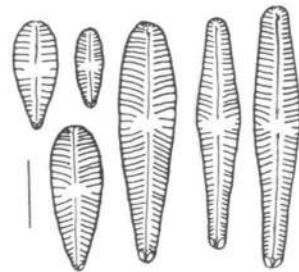
*Gomphonema*

44c Absence de stigma fréquente. Stries robustes.

Présence de lignes longitudinales marginales (peu visibles)

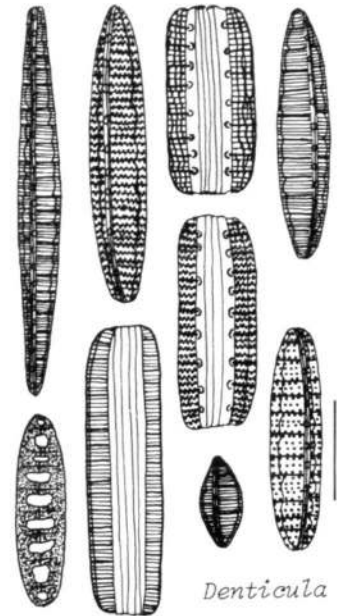
g. *Gomphoneis*

**Remarque:** Pour des raisons de conformité avec la flore de GERMAIN ce genre est conservé ici mais il est généralement peu représenté en Europe. Selon DAWSON (1974) la présence de stries à double ponctuations est un critère suffisant pour définir le genre *Gomphoneis*. Il existe alors 4 espèces européennes présentant ces caractéristiques (*G.olivaceum*, *G.minutum*, *G.clevei* et *G.olivaceoides*). Mais cet argument est contesté par LANGE-BERTALOT (1980) qui considère comme seul critère valable la présence de lignes longitudinales marginales et la taille des individus.

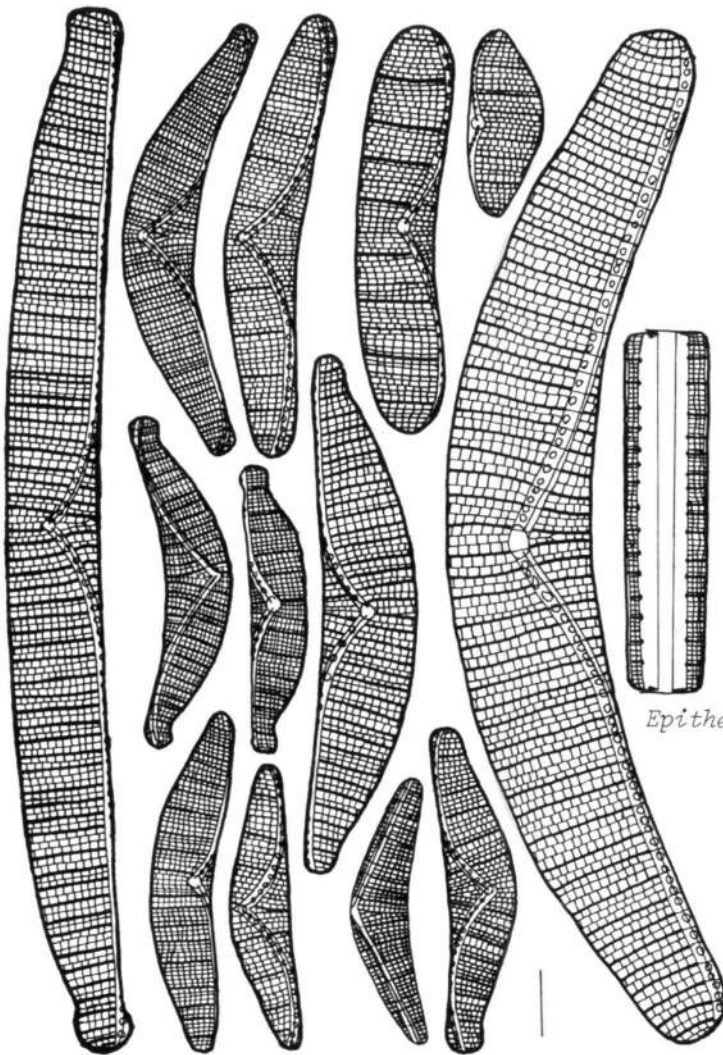


*Gomphoneis*

- 45a Cellule avec ornementation particulière, stries transversales puissantes, séparées par des stries plus fines et des aréoles. Famille des épithémiacées.....47
- 45b Ornementation différente, souvent homogène....46
- 46a Le canal raphéen entoure la cellule Famille des Surirellacées.....53
- 46b Le canal raphéen est sur le bord de la valve ; il peut être à l'intérieur de la surface valvaire, mais décalé par rapport au milieu, exceptionnellement dans l'axe central (g. *Bacillaria* ). Famille des Nitzschiacées.....49



*Denticula*



*Epithemia*

- 47a Valve fusiforme, axe longitudinal droit, raphé dans la surface valvaire.

g. *Denticula*

- 47b Valve en forme de parenthèse.....48

- 48a Frustule courbe en vue valvaire mais droit en vue connective.

En vue valvaire, le canal raphéen est en bordure vers les pôles, mais en forme de V plus ou moins ouvert au centre.

Présence de deux cloisons perforées parallèles à la valve.

g. *Epithemia*

48b Pas de cloison perforée parallèle à la valve. Stries en apparence plus lisses que les précédentes.  
Côté convexe presque toujours échancré dans le milieu.

g. *Rhopalodia*

49a Cellule en forme de fuseau ; les deux raphés sont tordus en hélices et croisés.  
Forme marine ou saumâtre.

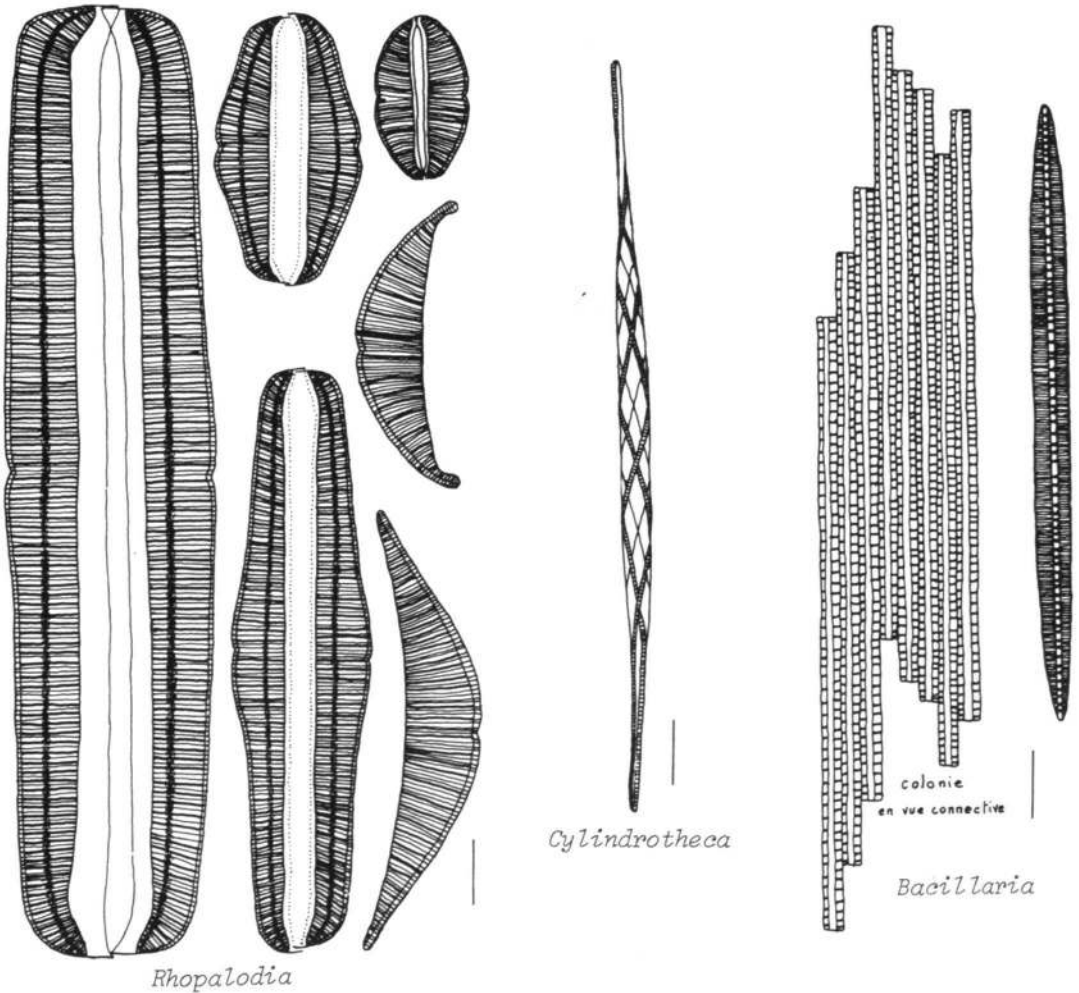
g. *Cylindrotheca*

49b Raphé non tordu en hélice.....50

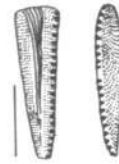
50a Cellules souvent groupées en colonies; les cellules se présentent alors en vue connective, sous forme de rectangles allongés. Individuellement, en vue valvaire, la carène portant le raphé se trouve dans l'axe longitudinal de la cellule.(Forme marine ou saumâtre).

g. *Bacillaria*

Une espèce : *Bacillaria paxillifer*



50b Pas de colonies rubanées. Raphé excentré par rapport à l'axe longitudinal.



*Gomphonitzschia*

51a Cellule hétéropolaire  
g. *Gomphonitzschia* (tropical, rare).

51b Cellule isopolaire

52a Cellule avec côté convexe très renflé, et un côté rectiligne sur lequel se trouve le canal raphéen.  
g. *Cymbellonitzschia* (tropical, rare).

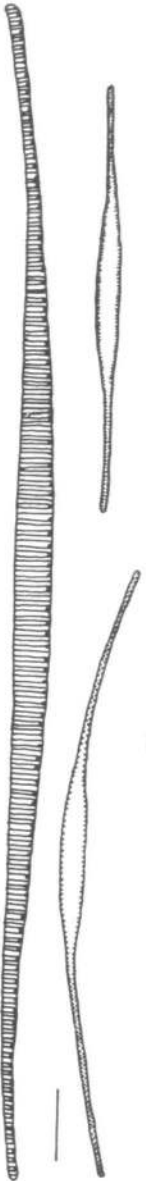
*Cymbellonitzschia*



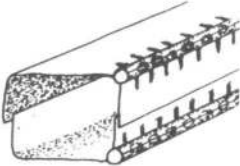
52b Cellule courbe avec pôles capités ; les raphés sont superposés sur la bordure concave de la valve.  
g. *Hantzschia*

52c Coupe transversale de la valve losangique. Raphé visible sur les deux bords de la valve, à des niveaux différents.

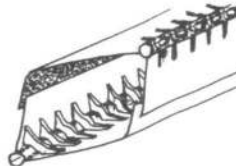
g. *Nitzschia*  
12 sections....r



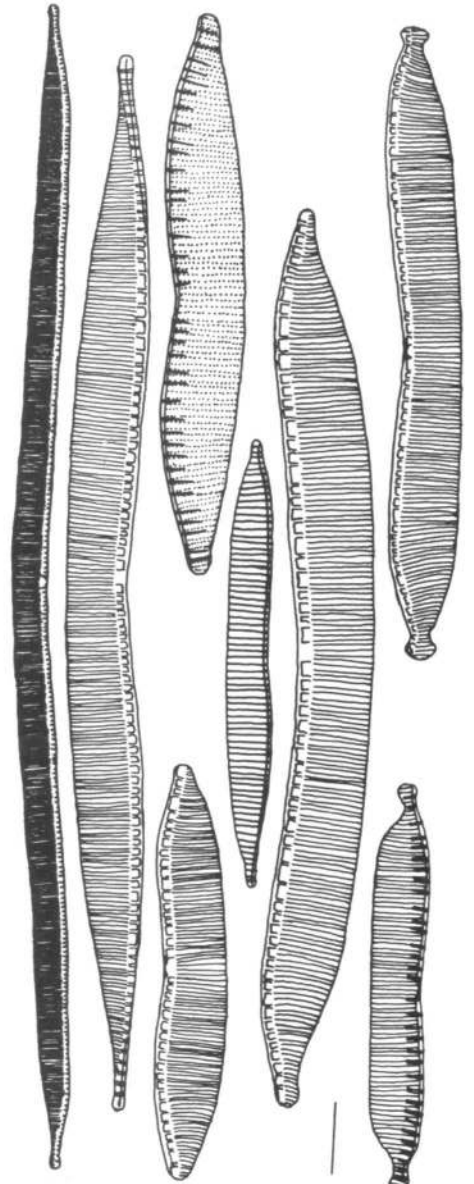
*Nitzschiellae*



*Hantzschia*



*Nitzschia*



*Hantzschia*

ra Cellule en forme de fuseau, avec extrémités très allongées, Striation rarement visible en microscopie optique.  
*Nitzschiellae*



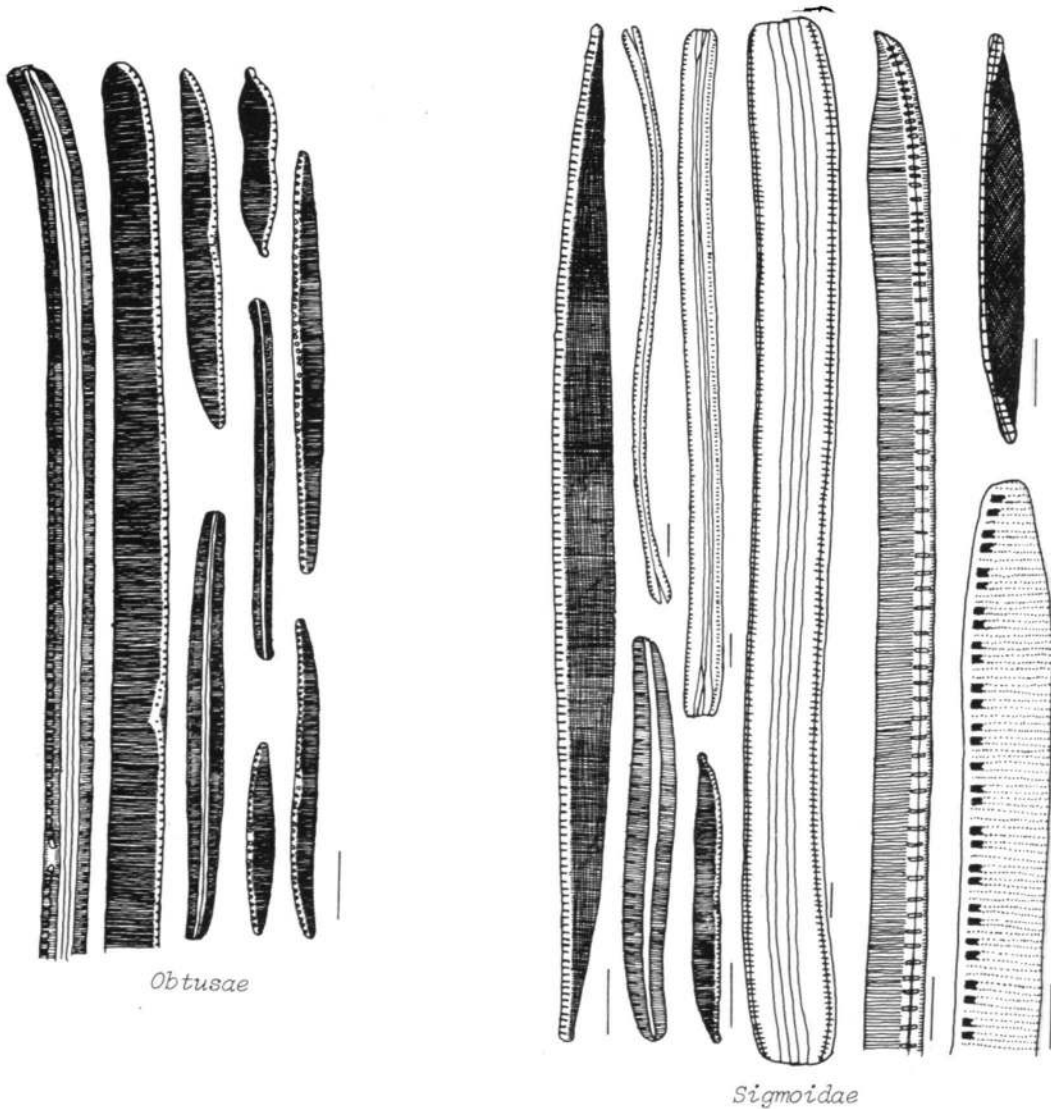
- rb Extrémités de la cellule non étirées en long bec.....s
- sa Cellule en forme de S plus ou moins prononcée.....t
- sb Cellule droite ou légèrement courbe.....u

ta Carène ponctuée, incurvée vers l'intérieur de la cellule, dans l'axe central de la valve.

*Obtusae*

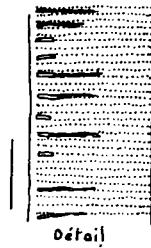
tb La carène ponctuée suit le bord de la valve sans dépression au centre.

*Sigmoidae*



- ua Fibules prolongées en côtes transversales.....v
- ub Fibules non prolongées en côtes transversales.....x
- va Cellule de grandes dimension (150 à 500 µm). Stries transversales ponctuées. Les fibules sont prolongées en côtes de longueurs inégales.

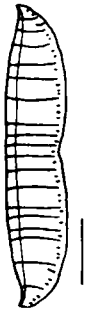
*Scalares*  
Une espèce: *N. scalaris* (Etangs landais).



Détail

*Scalares*

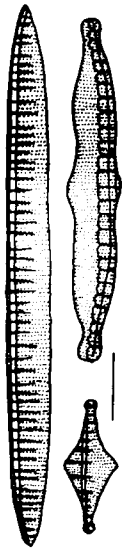
- vb Petite forme avec fibules allongées, de longueurs égales.....w



*Costatae*

- wa Fibules allongées en côtes transversales sur toute la largeur de la valve. Valve resserrée au milieu.

*Costatae*



*Grunowiae*

- wb Les fibules allongées en côtes transversales ne traversent pas complètement la largeur de la valve.

*Grunowiae*

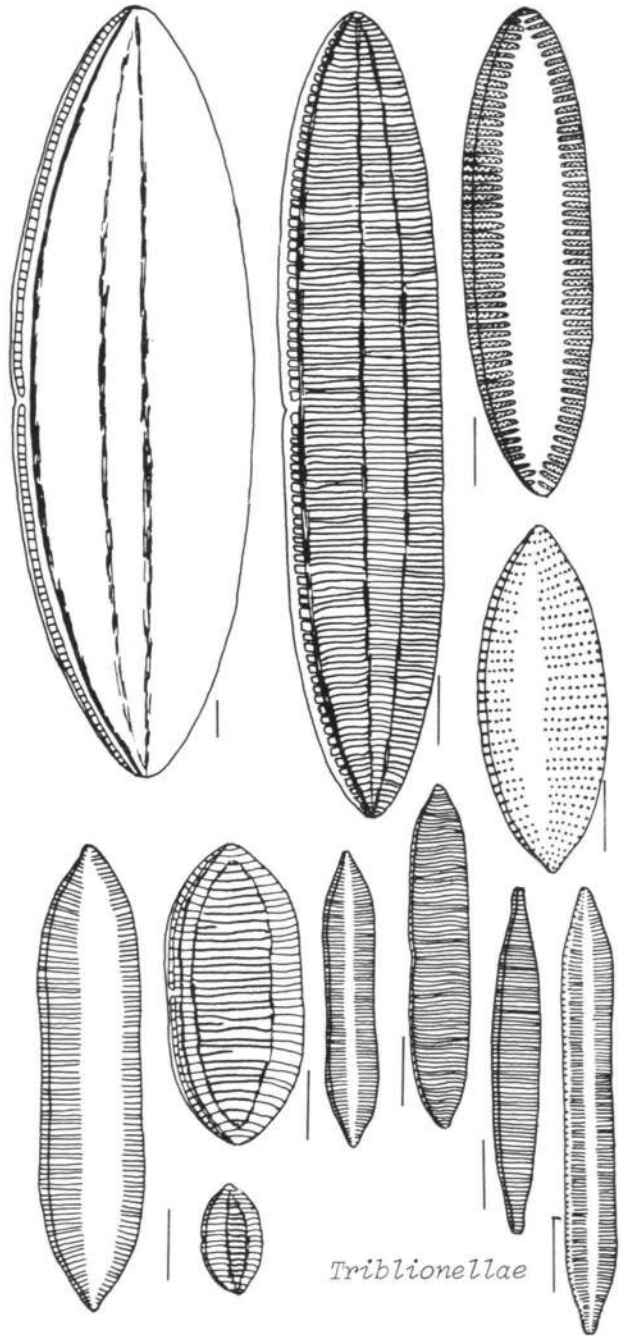


xa Carène ponctuée en bordure de la valve.....y

xb La carène ponctuée est moins excentrée, elle n'atteint pas le bord de la valve (caractère peu visible).....§

ya Valves avec de longs plis longitudinaux simulant des interruptions des stries. Forme d'eau saumâtre.  
*Tryblionellae* .

yb Valves sans pli longitudinal marqué.....z



*Dubiae*

*Tryblionellae*

za Cellule plus ou moins rétrécie au centre. Forme d'eau saumâtre.

*Dubiae*

- zb Cellule de forme lancéolée, non resserrée au centre. (Formes d'eaux eutrophes ou polluées organiquement).

*Lanceolatae*

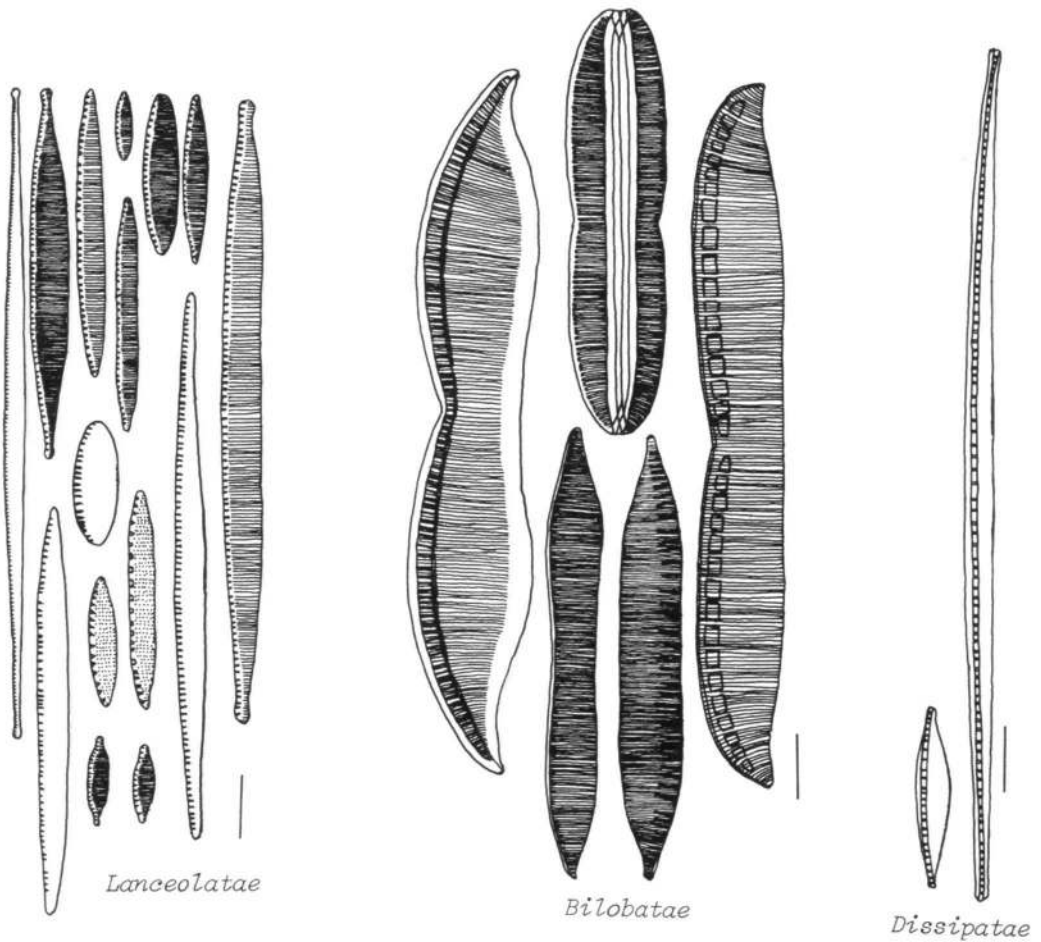
- §a Carène fortement excentrée, valve resserrée au centre. Fibules nettement visibles. (Forme d'eau saumâtre).

*Bilobatae*

- §b Valve sans rétrécissement médian marqué.....+

- +a Valve à contour fusiforme ou lancéolé. Carène presque centrale ou peu excentrée. (formes sensibles aux pollutions).

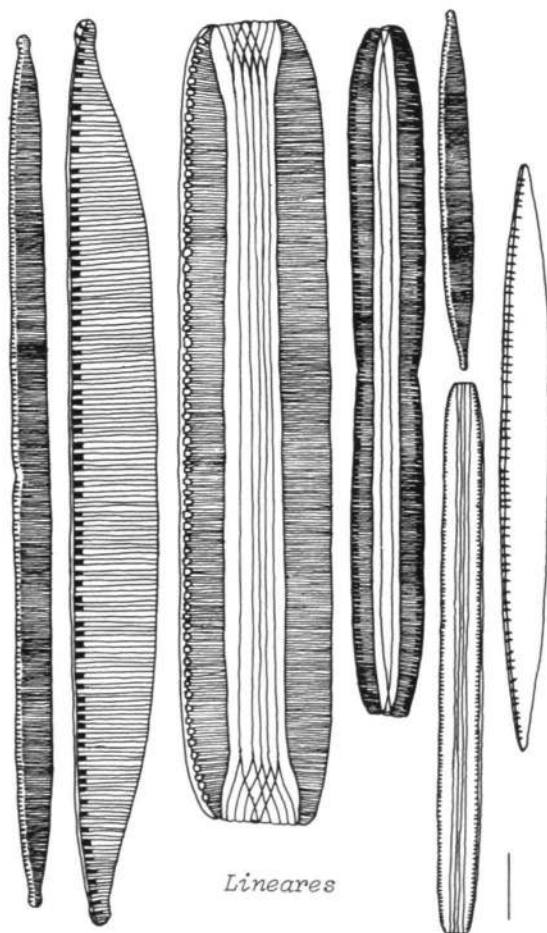
*Dissipatae*



- +b Valve linéaire. Carène distinctement excentrée, non marginale, avec constriction médiane.

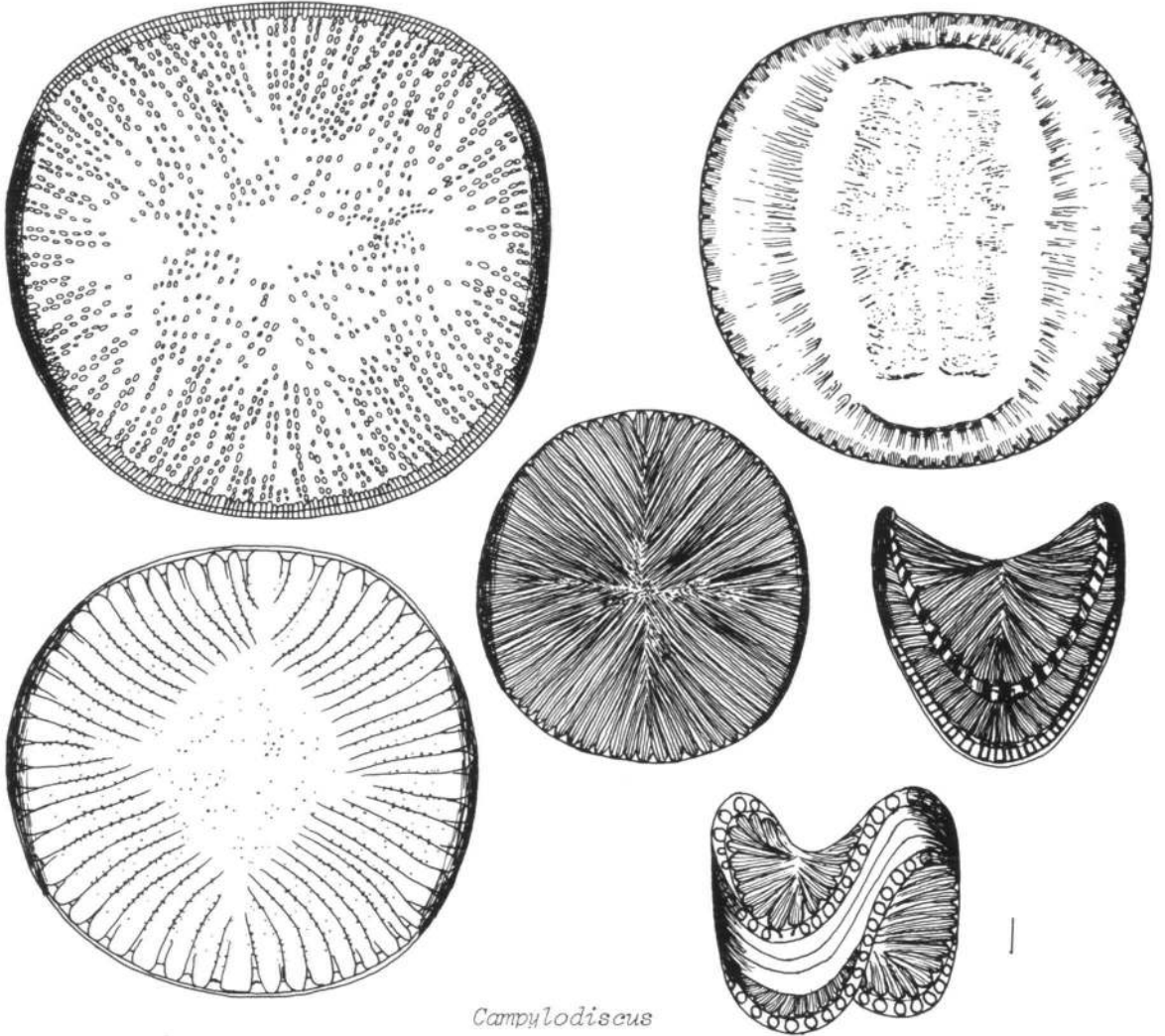
*Lineares*.

**Remarque:** Les différences entre *Lineares* et *Lanceolatae* sont peu marquées ce qui a conduit LANGE-BERTALOT & SIMONSEN (1978) à les regrouper dans cette dernière section.



53a Cellule ronde, arquée en forme de selle. Les axes apicaux des deux valves se croisent à angle droit, donnant l'impression de partager la cellule en quatre parties égales.

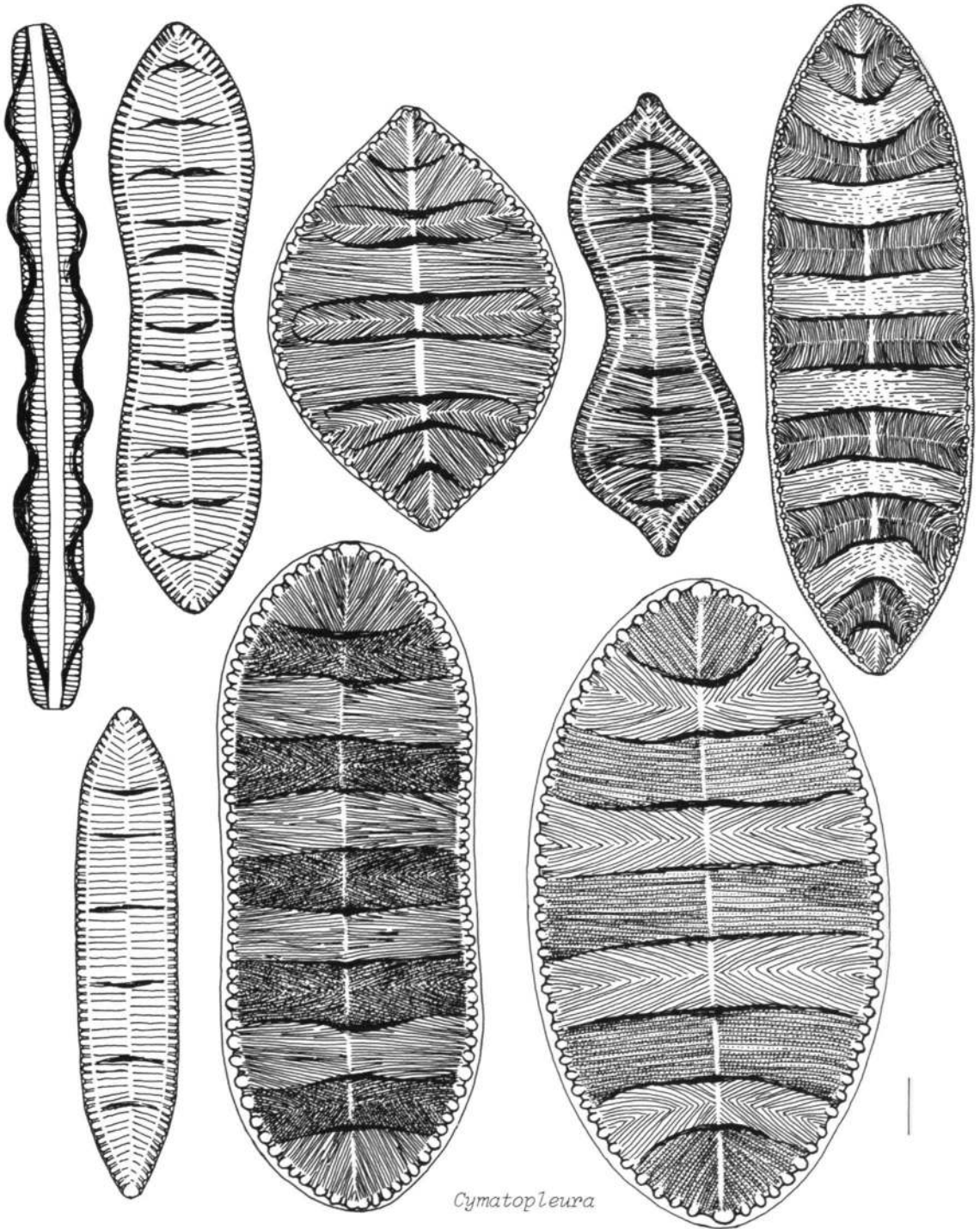
g. *Campylodiscus*



53b Axes des valves non croisés. Cellule non en forme de selle. ....54

54a Cellule isopolaire de forme elliptique ou resserrée au milieu. Surface valvaire ondulée, mais cette ondulation est surtout visible en vue connective.

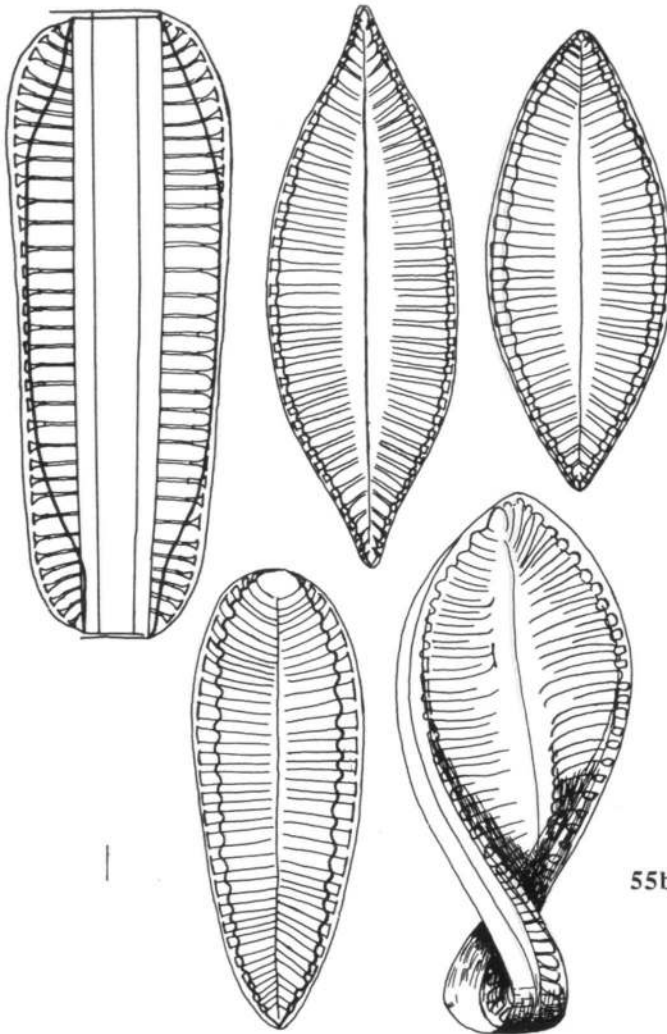
*g. Cymatopleura*



54b Surface valvaire non ondulée transversalement...55

55a Cellule isopolaire, très allongée sigmoïde.  
(Forme élective des milieux acides).

g. *Stenopterobia*



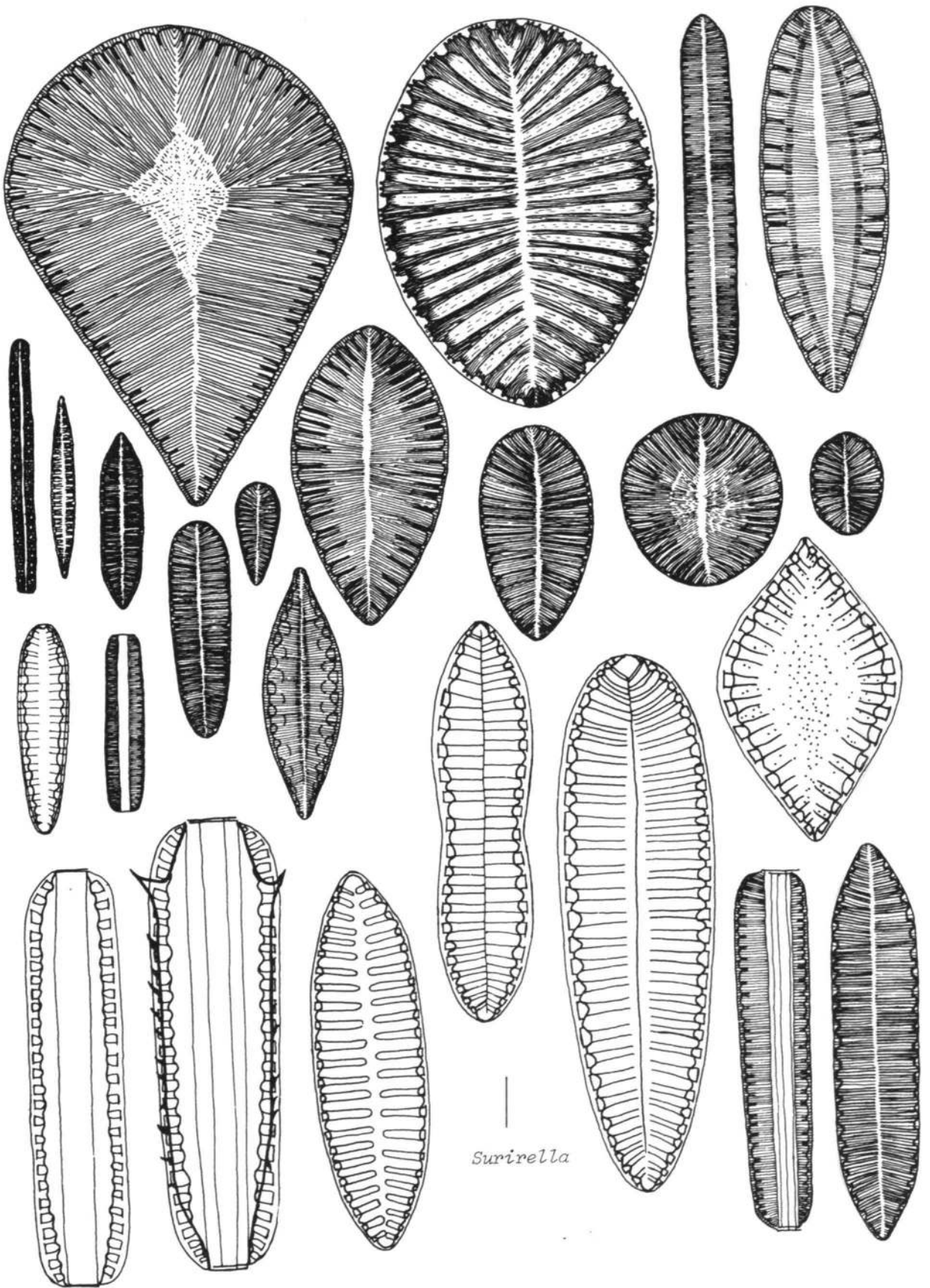
*Surirella*

*Stenopterobia*

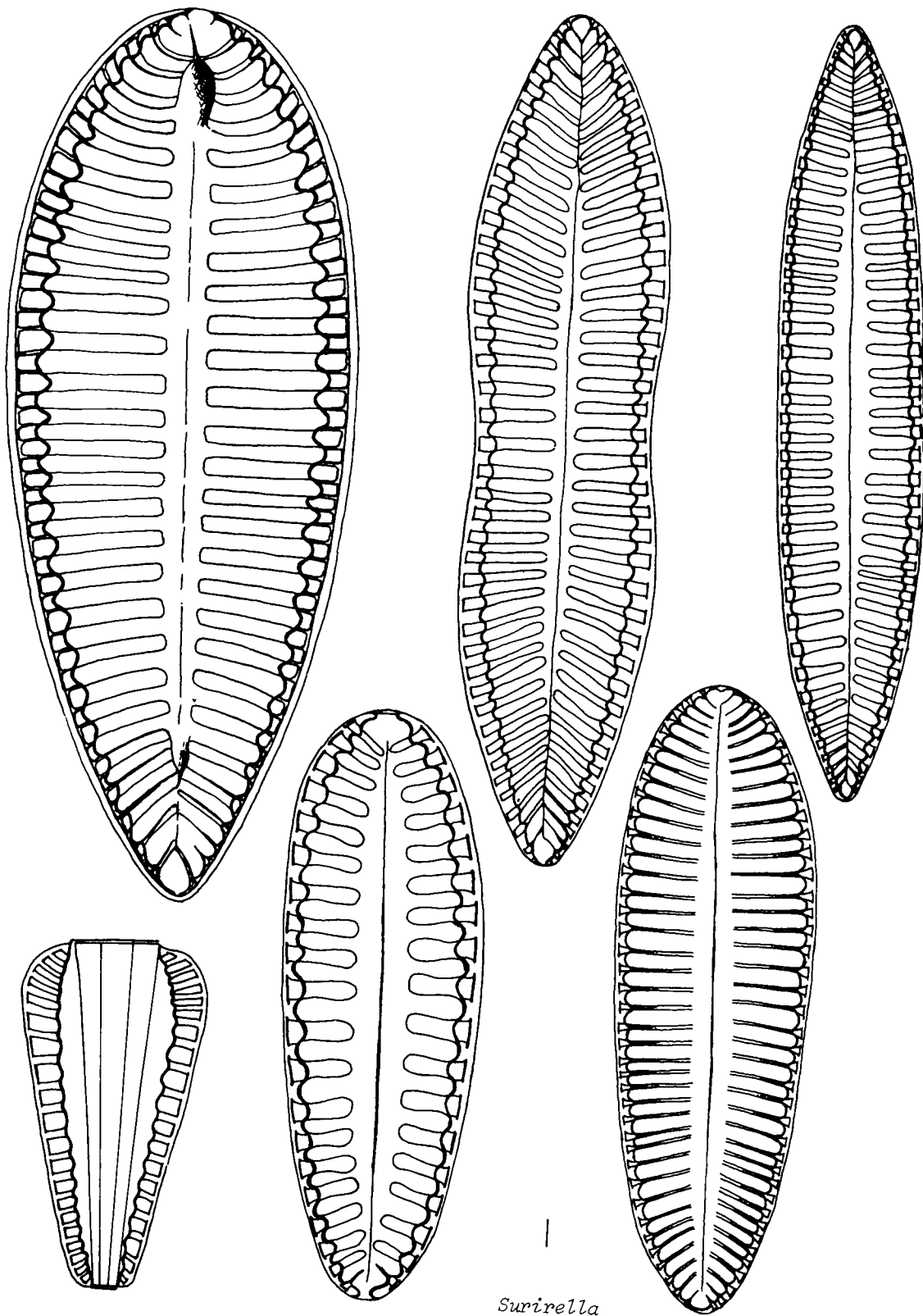
55b Valve très polymorphe isopolaire, hétéropolaire, parfois resserrée dans la partie médiane, plane ou tordue en hélice. Ailes parfois très développées, surtout visibles en vue connective. La séparation avec le genre *Cymatopleura* est liée à l'absence d'ondulation transversale.

g. *Surirella*





*Suriella*



*Suriella*



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYMOUS. (1975) - Proposals for a standardization of diatom terminology and diagnoses. *Nova Hedwigia*, Beih. 53:323-354.
- ARCHIBALD, R.E.M. (1972) - A preliminary key to the fresh and brackish water species of the genus *Nitzschia* in South Africa. *New s Lett.Limnol.Soc.South Afr.*18:33-46; 19:37-55.
- ARRIGNON, J. (1976) - *Aménagement écologique et piscicole des eaux douces*. Gauthiers Villars Ed. Paris. 320 p.
- BARBER, H.G. & E.Y. HAWORTH. (1981) - *A Guide to the morphology of the Diatom frustule with a key to the British Freshwater Genera*. F.B.A. Sci. Publ. 44: 112 p.
- BOURRELLY P.(1968) - *Les Algues d'eau douce.Les Algues jaunes et brunes*. 2:Boubée Ed.438p.
- CEMAGREF. (1984) - *Opération Seine Rivière propre.Evaluation de la qualité hydrobiologique: Poissons-Diatomées*. Rapport Agence Seine Normandie Conseil. Regional Ile de France.35 p.+annexes.
- CEMAGREF.(1982) - *Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q.E.Lyon-A.F.Bassin Rhône-Méditerranée-Corse :218 p.
- CHOLNOKY, B.J. (1968) - *Die Okologie des Diatomeen In Binnengewassern*. Cramer Ed.:699 p.
- COMPÈRE, P. (1982) - Taxonomic Revision of the Diatom Genus *Pleurosira* (Eupodiscaceae). *Bacillaria* 5:165-190.
- COSTE, M. (1976) - Contribution à l'écologie des diatomées benthiques et périphytiques de la Seine:Distribution longitudinale et influence des pollutions. *Soc.Hydrotech.Fr. XIV* (9):1-7
- COSTE, M. (1978) - *Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes*. Thèse Univ.Besançon:150 p.
- COSTE, M. & J.L.VERREL.(1978) - Incidences du réchauffement des eaux de Seine sur la composition de la microflore diatomique benthique. *Cah.Hydrobiol. Montreuil*. 6:27-44.
- COSTE, M. & M.RICARD. (1980) - Observation en microscopie photonique de quelques *Nitzschia* nouvelles ou intéressantes dont la striation est à la limite du pouvoir de résolution. *Cryptogamie Algologie* 1(3):187-212.
- DESCY, J.P. (1979). A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia*. 64:305-323.
- DESCY, J.P. (1980) - Utilisation des algues benthiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes. In *PESSON:La pollution des eaux continentales*. Gauthiers-Villars Ed.Paris.: 169-194.
- FABRI, R. & L. LECLERCQ (1981) - L'étude des Diatomées. Généralités et clef pratique pour la détermination des principaux genres observés en eau douce. *Probio. Revue*. 4(1):23-42.
- FABRI, R. & L. LECLERCQ (1984) - *Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique):Flore et végétation de Diatomées et physico-chimie des eaux*. Robertville. Stat.Sci. Hautes Fagnes 1:379 p.,2:329 p.,3:200 p.
- GASSE, F. (1970) - Ultrastructure et organisation coloniale de la diatomée *Fragilaria construens* (Ehr.) Grun. révélée par le microscope électronique à balayage. *C.R.Acad.Sci.,Ser.D.*, 271:1975-1977.
- GERMAIN H., (1981) - *Flore des Diatomées eaux douces et saumâtres* Boubée. Ed. Paris. 444 p.
- HUSTEDT, F. (1927-1966). Die Kieselalgen. In: *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und des Schweiz*. VII (L.Rabenhorst ed.).Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1-320.
- HUSTEDT, F. (1930) - Bacillariophyta. In *Die Süßwasserflora Mitteleuropas*. 10. 468 p.
- KRAMMER, K. & H.LANGE-BERTALOT. (1986) - Bacillariophyceae 1.Teil:Naviculaceae. In *A.PASCHER Süßwasserflora von Mitteleuropa* Band 2/1. G.FISCHER Verlag. 876 pp.+206 pl.

- LANGE-BERTALOT, H. (1980) - Zur systematischen Bewertung der bandförmigen Kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria*. *Nova Hedwigia*, 33:723-787.
- LANGE-BERTALOT, H. (1979) - Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia* 64: 285-304.
- LEFEBURE, P. (1949) - *Atlas pour la détermination des Diatomées*. Lechevalier Ed. Paris. 70 p.
- MANN, D.G. (1984) - *Nitzschia* subgenus *Nitzschia*. In RICARD ed. 8th. *Diatom Symp. Paris*. O.KOELTZ Publ.:215-226.
- MELLER, A. (1985) - Einchlussmittel mit hohem Brechungsindex für Diatomeen. *Mikrokosmos*. 2:55-60
- PATRICK, R. & C.W.REIMER. (1966) - *The Diatoms of the United States. I.* Monogr.13. Acad. Nat.Sci. Philadelphia. 688 p.
- PATRICK, R. & C.W.REIMER. (1975) - *The Diatoms of the United States. 2(1)*. Monogr.13. Acad. Nat.Sci. Philadelphia . 213 p.
- PATRICK, R. (1949) - A proposed biological measure of stream conditions based on a survey of the Conestoga basin, Lancaster country, Pennsylvania. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*. 101:277-341
- PIERRE, J.F. (1968) - Etude hydrobiologique de la Meurthe. Contribution à l'écologie des populations algales. *Bull. Acad. Soc. Lorraine Sci.* 7:261-412
- POULIN, M., L.BERARD-THERRIault & A.CARDINAL. (1984b) - Les Diatomées benthiques de substrats durs des eaux marines et saumâtres du Québec. 3. Fragilarioideae (Fragilariales, Fragilariaceae). *Naturaliste Can.*, 111:349-367.
- POULIN, M., L.BERARD-THERRIault & A.CARDINAL. (1986) - *Fragilaria* and *Synedra* (Bacillariophyceae): A morphological and ultrastructural approach. *Diatom Research*. 1(1):99-112.
- RICARD, M. (1987) - *Atlas du phytoplancton marin. Vol.2. Diatomophycées*. CNRS Ed. Paris. 297 p.
- ROSS, R., E.J.COX, N.I.KARAYEVA, D.G.MANN, T.B.B.PADDOCK, R.SIMONSEN & P.A.SIMS. (1979) - An Amended Terminology for the Siliceous Components of the Diatom Cell. *Nova Hedwigia* Beih. 64:513-533.
- ROUND, F.E. (1979) - The classification of the Genus *Synedra*. *Nova Hedwigia* Beih., 64:135-146.
- ROUND, F.E. (1984) - The circumscription of *Synedra* and *Fragilaria* and their subgroupings. In D.G.MANN *Proc. Seventh Internat. Diatom Symposium Philad.* O.KOELTZ, Koenigstein: 241-253.
- ROUND, F.E. & D.G. MANN. (1981) - The diatom genus *Brachysira*. 1: Typification and separation from *Anomoeoneis*. *Arch. Protistenk.* 124:221-232.
- SCHOEMAN, F.R. (1979) - Diatoms as indicators of water quality in the upper Hennops river. *J.Limnol.Soc.sth.Afr.* 5:73-78.
- SIMONSEN, R. (1965) - Ökologische Bemerkungen zu der tropischen Kieselalge *Hydrosera triquetra* Wallich und zur Aerophilie des Diatomeen. *Int.Revue ges.Hydrobiol.* 50(1):49-56.
- SIMONSEN, R. (1970) - Protoraphidaceae, eine neue Familie der Diatomeen. *Diatomaceae II. Nova Hedwigia* Beih. 31:377-394.
- SIMONSEN, R. (1972) - Ideas for a more natural system of the Centric Diatoms. *Beih.Nova Hedwigia* 39:37-54.
- SIMONSEN, R. (1972) - Nitzschiaceae versus Bacillariaceae a taxonomical appraisal. *Nova Hedwigia* Beih.39:121-125.
- SIMONSEN, R. (1979) - The Diatom System: Ideas on Phylogeny. *Bacillaria* 2:9-72
- VAN LANDINGHAM J.W. (1976) - Comparative evaluation of water quality on the St. Joseph River (Michigan and Indiana, U.S.A) by three methods of algal analysis. *Hydrobiologia* ,48 (2):145-174
- VERNEAUX, J. (1976) - Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales. Principales méthodes biologiques. in *PESSON la pollution des Eaux continentales* .Gauthiers Villars Ed.229-285

- VERNEAUX, J. (1984) - Méthodes biologiques et problèmes de la détermination des qualités des eaux courantes. *Bull. Ecol.* **15**(1):47-55.
- WILLIAMS, D.M. & F.E.ROUND. (1986) - Revision of the genus *Synedra* Ehrenberg. *Diatom Research*. **1**(2): 313-339.
- WILLIAMS, D.M. & F.E.ROUND. (1987) - Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research* **2**(2):267-288.
- WILLIAMS, D.M. (1986) - Comparative morphology of some species of *Synedra* Ehrenb. with a new definition of the genus. *Diatom Research* **1**(1):131-152.
- WILLIAMS, D.M. (1987) - Observations on the genus *Tetracyclus* Ralfs (Bacillariophyta). I. Valve and girdle structure of the extant species. *Br. Phycol. J.* **22**:383-399.