

**Robert MATHIEU
Jean-Pierre BELLIER
Bruno GRANIER**

Manuel de Micropaléontologie

ISBN 9782916733043



9 782916 733043

ISBN 978-2-916733-04-3

"Dépôt légal à parution"

**Manuscrit en ligne depuis le
25 Décembre 2011**

**Carnets de Géologie
(2011 : Livre 2)**

Robert MATHIEU ^{1, 2}

Jean-Pierre BELLIER ^{1, 3}

Bruno GRANIER ⁴

1 : ancienne adresse :
Laboratoire de Micropaléontologie,
Université Pierre et Marie Curie,
4 place Jussieu, Paris Vème

2 : 4 rue de Jarente,
75004 Paris (France)
email: robmat9@orange.fr

3 : 7 rue Voltaire,
60100 Creil (France)
email: jeanpierre.bellier@orange.fr

4 : Département des Sciences de la Terre et de l'Univers,
Université de Bretagne Occidentale,
6 avenue Le Gorgeu,
29238 Brest Cedex 3 (France)
email: mailto:bgranier@univ-brest.fr

ISBN 978-2-916733-04-3

Dépôt légal à parution

Manuscrit en ligne depuis le 25 Décembre 2011

Carnets de Géologie (2011 : Livre 2)

Manuel de Micropaléontologie

Robert MATHIEU, Jean-Pierre BELLIER & Bruno GRANIER,

avec les contributions de Françoise DEPECHE, Edwige MASURE, Gilles
Serge ODIN, ... et les illustrations et animations d'Alexandre LETHIERS.

Sommaire

- I. Généralités
- Techniques d'études fondamentales
- Domaines de vie des organismes et milieux de sédimentation
- II. Foraminifères
- II.A - Le test des Foraminifères
- II.B - Foraminifères à test agglutiné
- II.C - Foraminifères à test microgranuleux (dont certains à test pseudo-fibreux)
- II.D - Foraminifères à test porcelané
- II.E - Foraminifères à test hyalin
- II.F - Foraminifères à test aragonitique
- III. Calpionelles
- IV. Ostracodes
- V. Nannofossiles calcaires
- VI. Gilianelles
- VII. Algues vertes
- VIII. Algues rouges
- IX. Charophytes
- X. Radiolaires
- XI. Diatomées
- XII. Conodontes
- XIII. Dinoflagellés
- XIV. Acritarches
- XV. Chitinozoaires
- XVI. Spores et pollen
- XVII. Microfaciès
- XVIII. Références bibliographiques

Préface

Dans sa version originale, ce manuel de micropaléontologie s'adressait aux étudiants de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris. Son contenu était adapté à l'enseignement de Licence et se voulait une introduction à la micropaléontologie et à la diversité de ses sous-disciplines. Il reflétait aussi la vitalité du Laboratoire de Micropaléontologie, fondé par J. CUVILLIER, et la diversité de ses formateurs et chercheurs. De ce fait, le lecteur remarquera des inégalités de traitement entre les quelques groupes présentés : les foraminifères, par exemple, bénéficient d'un traitement de faveur ; les gilianelles apparaissent pour la première fois dans un ouvrage de ce type ; les radiolaires et d'autres groupes sont traités en quelques lignes (trop peu). Notre souhait serait d'enrichir cette première version électronique, en invitant des spécialistes à reprendre certains des chapitres existants, à nous aider à amender ceux existants, *etc.* Dans ce cadre, le chapitre dédié aux algues vertes a largement été revisité par rapport à la version originale. Enfin, nous travaillons actuellement à la production de versions dans plusieurs langues (en commençant par l'anglais) afin d'assurer la meilleure diffusion possible à ce recueil.

Bruno GRANIER, Brest, le 25 Décembre 2011

Introduction

La micropaléontologie concerne à une division de la paléontologie dont l'objet est l'étude des fossiles de petites dimensions. Ce n'est cependant pas une simple division de la paléontologie, mais un ensemble de sous-disciplines traitant de groupes divers d'organismes qui n'ont en commun que le fait de n'être connus que par des restes fossilisés de petites dimensions. L'outil d'observation le plus communément utilisé est la loupe binoculaire ; il est parfois nécessaire d'avoir accès à de plus forts grossissements et donc de se servir d'un microscope optique, voire d'un microscope électronique à balayage. Ce critère dimensionnel fait que la micropaléontologie s'intéresse aussi bien à des organismes microscopiques unicellulaires qu'à des restes (organites) de grands organismes pluricellulaires. Par définition, la nature organique, minéralogique ou mixte de ces fossiles est extrêmement variée ; de ce fait les approches et techniques d'analyse sont également variables d'un groupe à l'autre.

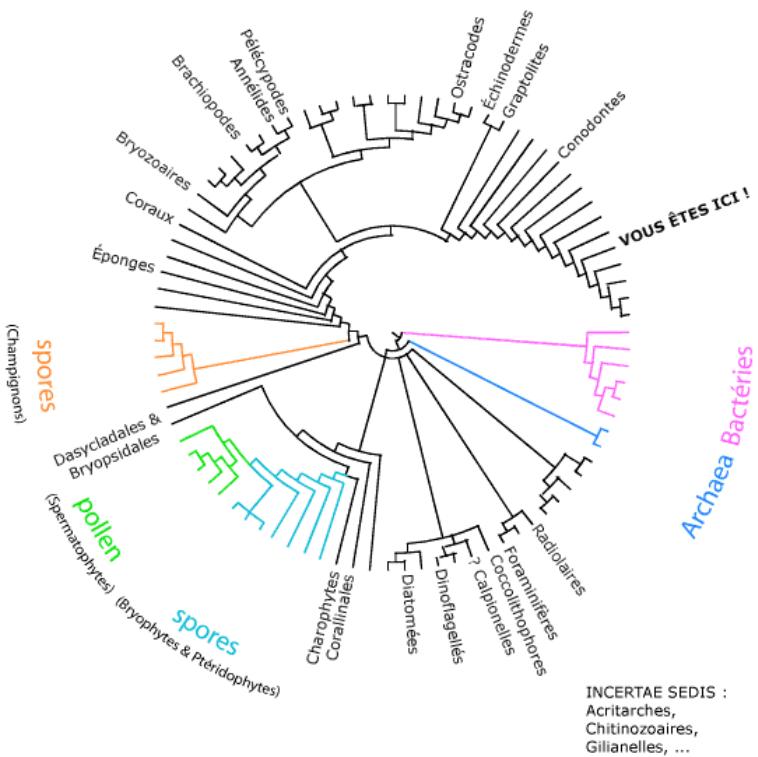


Figure 1 : Position relative des groupes présentant un intérêt en micropaléontologie sur l' "arbre du vivant".

Ces restes peuvent se classer de la façon suivante :

- les microfossiles (dimensions comprises entre 0,05 mm et quelques mm) ;
- les nannofossiles (dimensions inférieures à 50 µm) ;
- les organites ou fragments isolés de macrofossiles reconnaissables à leur forme et/ou leurs caractères microstructuraux.

Parmi les groupes concernés par la micropaléontologie figurent de nombreux protozoaires (Foraminifères, Radiolaires), des algues unicellulaires (Dasycladales, Coccolithophoracées, Dinoflagellés, Diatomées), des métazoaires libres (Ostracodes) ou coloniaux (Bryozoaires), des métaphytes (Corallinales, Charophytes), des organites de métaphytes (spores et grains de pollens), des formes dont l'interprétation est incertaine (parmi ces *incertae sedis*, citons : Acritarches, Calpionelles, Chitinozoaires, Gilianelles, etc.) : Fig. 1.

Remarque : Les représentants fossiles des algues benthiques sont parfois improprement désignés dans le langage vernaculaire par le vocable "algues calcaires", termes qui regroupent des formes aussi distinctes que des Chlorophytes (Dasycladales et Bryopsidales), des Rhodophytes (Corallinales), des Charophytes et des structures biosédimentaires d'origine "microbienne". Quelques formes benthiques non calcifiées sont connues uniquement dans des gisements de type "Fossil-Konservat-Lagerstätten" ; ces préservations exceptionnelles ne sont pas décrites dans ce manuel.

Les microfossiles sont des indicateurs paléoécologiques des anciens milieux de vie. Les associations et leur taphonomie permettent de caractériser les sédiments continentaux ou marins et de déchiffrer les conditions de dépôt. Les microfossiles sont aussi les marqueurs des temps géologiques depuis le Cambrien, voire depuis le Protérozoïque pour les seuls palynomorphes (microfossiles variés à paroi organique). Le découpage micropaléontologique du temps est un outil chronologique de plus en plus précis et en perpétuelle amélioration. Beaucoup (Foraminifères, Coccolithophoracées, Dinoflagellés, Chitinozoaires, etc.) sont les index de biozones des échelles biostratigraphiques de référence pour la datation des couches géologiques. Leur compétitivité tient à leur fréquence élevée et à leur grande diversité dans tous les milieux aquatiques. Les forages d'exploitation pétrolière et les forages scientifiques utilisent en routine les microfossiles pour dater les niveaux traversés. Leur rôle dans la datation des fonds océaniques a été et est encore fondamental. La réalisation des cartes géologiques récentes fait, pour une large part, appel au micropaléontologue.

I - Généralités

Techniques d'études fondamentales

- Lames minces pour les roches indurées (grès, calcaires, etc.). Les préparations effectuées selon les techniques habituelles de litholamellage ont une épaisseur variable et souvent supérieure à 30 µm pour conserver une lisibilité aux contours des organismes. Ceux-ci sont observés en section, et seuls ceux qui possèdent une structure interne caractéristique sont aisément identifiables. De plus la lame mince permet de caractériser le microfaciès, c'est-à-dire l'ensemble des caractères pétrographiques et paléontologiques d'une roche sédimentaire observée au microscope ou à la loupe binoculaire.
- Frottis de roches de toutes duretés, pour la recherche des nannofossiles et des petits microfossiles, montés sans traitement particulier entre lame et lamelle.
- Lavages à l'eau du robinet sur des tamis à mailles très fines, pour les roches meubles/tendres (sables, argiles, marnes, etc.). Des roches dures peuvent être lavées après dislocation par traitement à l'acide acétique, des roches "mi-dures" (moyennement indurées) peuvent l'être après adjonction d'eau oxygénée. Le résidu de lavage récupéré est séché à l'étuve, puis trié à la loupe binoculaire. Le tri a pour but de prélever et de regrouper dans des cellules les organismes ou les éléments minéraux en respectant autant que possible leur fréquence dans l'échantillon.
- Dissolution de la fraction minérale des roches, par action chimique pour recueillir les microfossiles conservés en matière organique ultra-résistante. Les extractions réalisées pour les préparations palynologiques utilisent l'acide chlorhydrique et l'acide fluorhydrique.

Domaines de vie des organismes et milieux de sédimentation

Environnement du domaine marin (Fig. 2.a)

Le plateau (ou plate-forme continentale), qui correspond au domaine littoral (s.l.), est subdivisé en étages infralittoral et circalittoral.

L'étage bathyal, englobe la pente continentale (ou talus) et le glacis jusqu'à une profondeur d'environ 3.000 m. L'étage abyssal se situe au delà de 3.000 m.

Modes de vie

On distingue :

- les formes benthiques (benthos) vivant sur le fond, soit directement sur le substratum (épibiontes), soit enfoncées dans celui-ci (endo-

- biontes), soit près du fond (vagiles) ;
- les formes pélagiques qui sont soit nageuses (necton), soit passivement entraînées par les eaux (plancton).

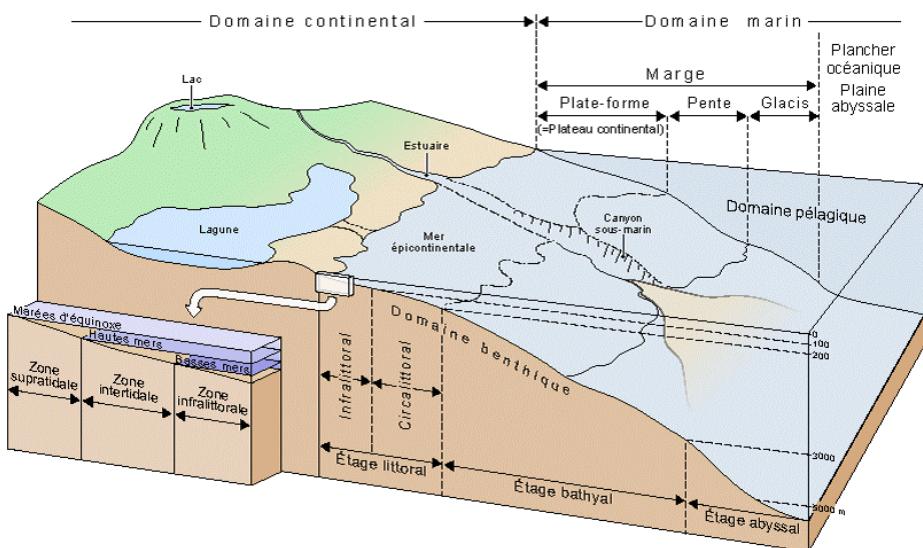


Figure 2.a : Milieux de vie

Domaine continental : Milieu lacustre

Dans ce milieu prédominent les Ostracodes, les Charophytes et les Diatomées (surtout Pennales). Il faut toutefois signaler la présence de rares Dinoflagellés, Cocco lithophoracées et Tintinnides.

Domaine marginolittoral : Milieu lagunaire

On retrouve essentiellement des Ostracodes, des Charophytes et des Diatomées (surtout Pennales). Peu diversifiés, ils sont représentés par de nombreux individus.

Domaine marin littoral :

Les Foraminifères benthiques, les Diatomées (surtout Centrales) et les Dinoflagellés prédominent. En nombre plus restreint, on peut noter la présence de Foraminifères planctoniques, de Cocco lithophoracées.

Domaine marin bathyal :

Les Foraminifères planctoniques, les Diatomées, les Radiolaires, les Cocco lithophoracées, les Dinoflagellés prédominent et sont associés à des Ostracodes.

Sensibilité aux facteurs externes :

En plus de la profondeur des fonds, divers facteurs interviennent :

- la lumière : indispensable aux Algues pour la photosynthèse. Elle s'atténue rapidement, en traversant l'eau. Ainsi la majorité du phytoplancton vit dans les quinze premiers mètres. Le plancton vivant en eau profonde est affecté de mouvements diurnes de remontée.
- la température : influe sur la distribution géographique. Par exemple les Diatomées prolifèrent dans les régions polaires, les Radiolaires dans les mers chaudes. Les Coccolithophoracées et les Foraminifères calcaires préfèrent les eaux équatoriales et tempérées.
- les zones d'upwelling (remontée des eaux de fonds) côtier permettent la remontée des substances nutritives, etc.
- la turbidité : peut atténuer la transparence des eaux et par conséquent la lumière.
- les substances nutritives : sont indispensables à la vie avec l'oxygène pour les animaux et la lumière pour les végétaux. Il s'agit surtout de phosphates, nitrates et carbone organique. Le phytoplancton est particulièrement lié à l'abondance du nutriment.

Microfossiles et sédimentation :

Dans les eaux peu profondes des plates-formes continentales, l'activité benthique prédomine et détermine une variété considérable de sédiments carbonatés. Les Foraminifères, Ostracodes, Métazoaires à coquilles calcaires et les Algues calcaires sont abondantes.

Dans les eaux profondes, la sédimentation est relativement peu variée. Elle est dominée par les boues à Radiolaires et les boues à Coccolithes.

Le calcaire est fortement dissous dans les eaux profondes :

La température décroît jusqu'à 5° qu'elle atteint vers 1000m. La pression augmente, provoquant une augmentation de la teneur en CO₂ et un abaissement relatif du pH. Aussi, sous forme de niveaux successifs, il y a une dissolution croissante du carbonate de calcium (Fig. 2.b) :

- jusque vers 3.000 m à 4.000 m, la dissolution est faible. Les Foraminifères et Coccolithophoracées sont bien conservés ;
- la lysocline (vers 4.000 m), correspond à la profondeur en dessous de laquelle la dissolution augmente brusquement ;
- le niveau de compensation de la calcite est la profondeur à laquelle tout l'apport de calcaire est compensé par la dissolution. Ne sont conservés dans le sédiment que les microfossiles organiques ou siliceux.

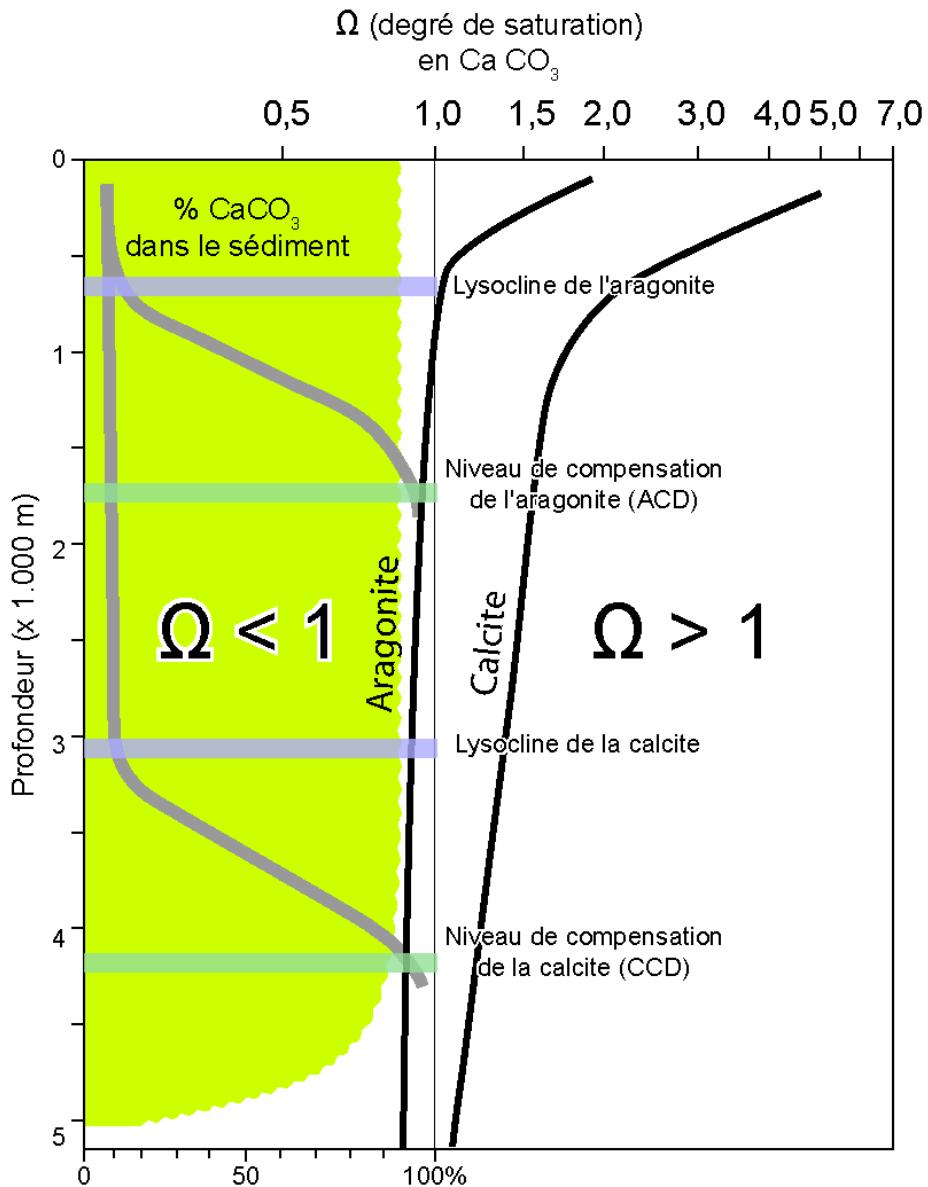


Figure 2.b : Les conditions de pression et de température changeant en profondeur, les eaux profondes sont sous-saturées en CaCO_3 . On appelle lysocline la profondeur à laquelle les phénomènes de dissolution s'accroissent brusquement et niveau de compensation celle où la dissolution n'est plus compensée par les apports.

II - Les foraminifères

Les Foraminifères sont des Protozoaires (Sarcodines) pourvus d'une coquille (= test) constituée de loges successives communiquant entre elles par des orifices appelés *foramen* au singulier, *foramina* au pluriel (Fig. 3, etc.).

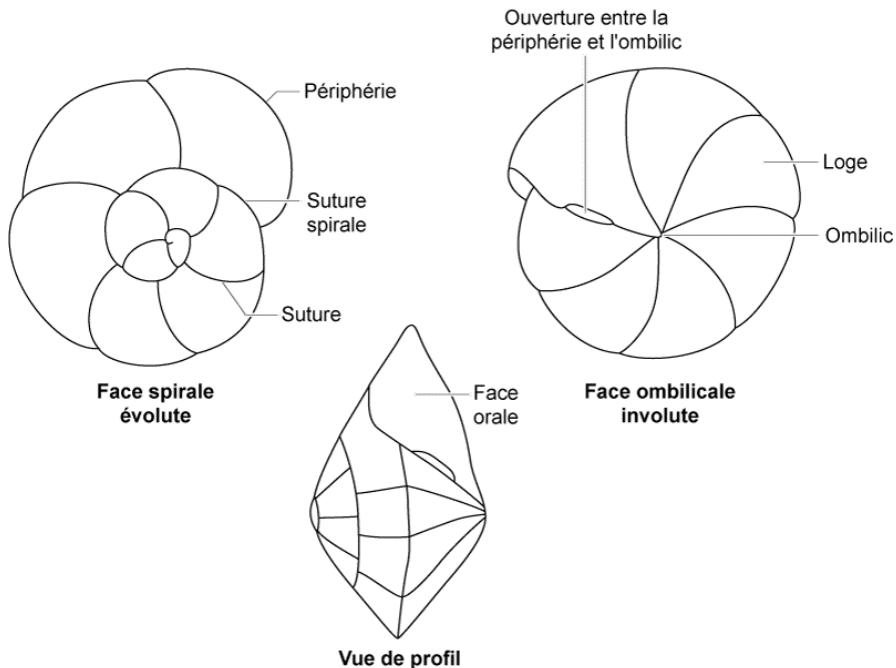


Figure 3 : Différents aspects d'un test trochospiralé et nomenclature des principaux termes utilisés pour la description des Foraminifères : Suture : trace de la cloison sur la surface du test ; Ombilic : point de jonction des sutures dans un enroulement involute.

Les loges sont séparées les unes des autres par des cloisons. La dernière loge communique avec l'extérieur par une ou plusieurs ouvertures.

Chez le vivant, le cytoplasme, qui emplit entièrement toutes les loges, sort par les ouvertures, et recouvre extérieurement le test d'où il émet des pseudopodes filamentueux fins et réticulés.

Les pseudopodes jouent un rôle important dans les activités vitales : déplacement, nutrition, construction de nouvelles loges etc.

Des Algues peuvent vivre en symbiose dans ce cytoplasme.

Le cycle de vie des Foraminifères est complexe et comporte une alternance de générations (Fig. 4).

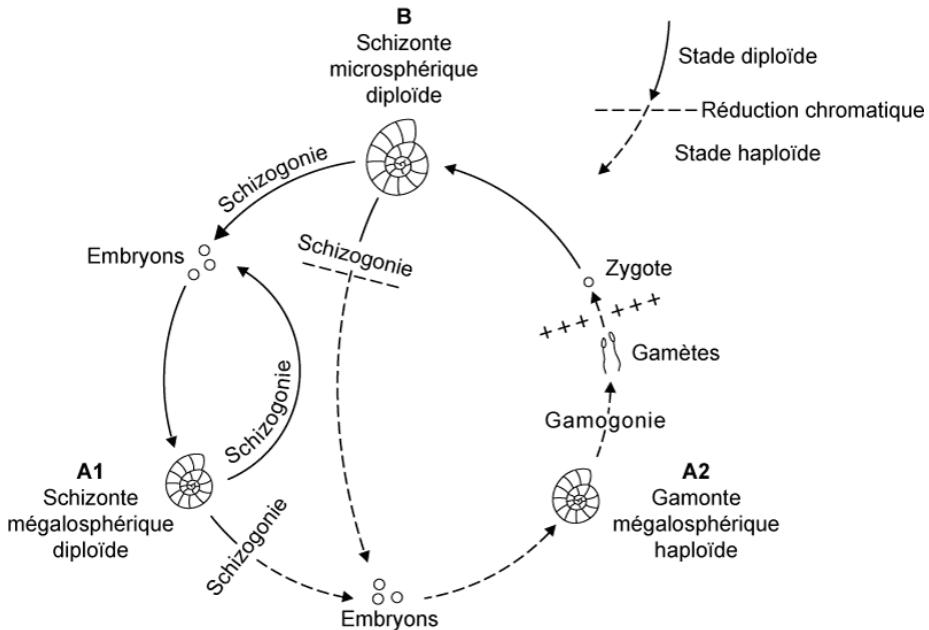


Figure 4 : Cycle de reproduction des Foraminifères benthiques.

La taille de ces unicellulaires géants (Photo 16) est généralement comprise entre 0,1 mm et 1 mm. Certaines espèces peuvent atteindre 10 cm ou plus.

Écologie : Ils s'observent dans tous les milieux aquatiques marins.

Certaines espèces sont adaptées à des eaux saumâtres ou à des eaux très salées. À l'exception notable de l'Ordre des Allogromiida (rarement préservé dans le fossile), ils sont absents dans les eaux douces.

Il y a des espèces benthiques (les plus nombreuses) et des espèces planctoniques.

Sensibles aux variations des conditions physico-chimiques environnementales, ils présentent un grand intérêt en paléoécologie et pour les reconstitutions paléogéographiques.

Répartition stratigraphique : connus depuis le Cambrien. Les espèces sont très diversifiées depuis le début du Carbonifère, aussi les Foraminifères ont-ils un grand intérêt stratigraphique.

II.A - LE TEST DES FORAMINIFÈRES

La nature et l'architecture du test sont les caractères de base de leur classification, notamment de celle proposée par LOEBLICH & TAPPAN (1987)

dont nous utilisons une version modifiée ci-après.

1 - nature du test :

- organique, non-minéralisé : Ordre des Allogromiida ;
- agglutinés (les foraminifères "agglutinants") à liant organique ou ciment calcique (Fig. 5.a-b) : ordres des Astrorhizida, Lituolida, Trochamminida et Textulariida. On trouve quelques rares formes parmi lesquelles le genre *Rzehakina* CUSHMAN, 1927, qui ont un ciment siliceux : Ordre des Silicocoloculinida ;
- calcitique microgranulaire (parmi lesquels le type pseudofibreux) : Ordre des Fusulinida ;
- calcitique porcelané (Fig. 5.c-d) : Ordre des Miliolida ;
- calcitique hyalin (Fig. 5.e-t, parmi lesquels des mono- et des pluri-lamellaires : Fig. 21) : ordres des Carterinida (à macrocristaux), Spirilinida (à comportement monocristallin), Lagenida, Buliminida, Rotaliida et Globigerinida ;
- (originellement) aragonitique : ordres des Involutinida et Robertinida.

Dans les préparations palynologiques, on peut retrouver des "basales organiques" de tests de Foraminifères (Photo 15).

2 - architecture du test

a - arrangement des loges

- uniloculaire : Fig. 5.f-h
- multiloculaire :
 - rectiligne :
 - unisérié : Fig. 5.e
 - bisérié : Fig. 5.a & 5.m
 - mixte : Fig. 5.b
 - enroulé :
 - planispiralé : Fig. 5.d, 5.k-l & 5.t. Les loges sont disposées dans un plan perpendiculaire à l'axe d'enroulement. Si tous les tours d'enroulement sont visibles, le test est dit évolute ; si seul le dernier tour d'enroulement est visible, le test est dit involute.

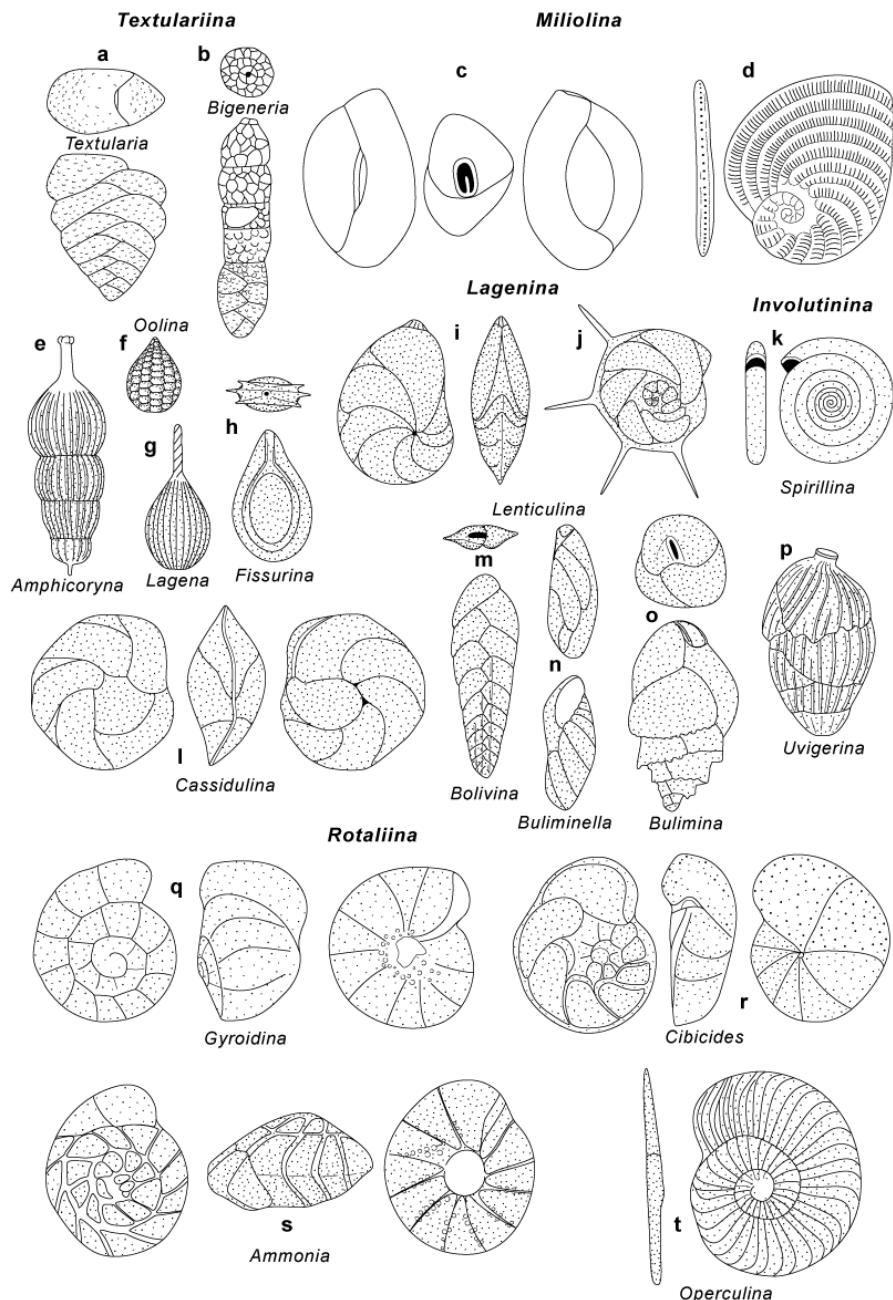


Figure 5 : Quelques foraminifères benthiques.

- **trochospiralé** : les loges sont disposées selon une spire trochoïde.

Si les différents tours sont serrés, la trochospire est basse. Le test du Foraminifère est lenticulaire et ses deux faces sont dissymétriques : une face (spirale) est évolute, l'autre face (ombilicale) est involute. Si les plans des différents tours sont éloignés les uns des autres, la trochospire est haute et le test est allongé.

- **trochospire basse (test lenticulaire)** : Fig. 5.q-s
- **trochospire haute (test allongé)** : Fig. 5.n-p
- **pelotonné** : Figs. 5.c et 17, Vidéo 1, Vidéo 2, Vidéo 3
- **annulaire**
- **complexe**

b - types d'ouvertures

- **nature :**
 - simple : Fig. 5, tous sauf 5.c-d & 5.i-j,
 - avec une dent : Fig. 5.c,
 - radiée : Fig. 5.i-j,
 - multiple : Fig. 5.d,
- **forme :**
 - ronde : Fig. 5.b, 5.e-h, 5.k & 5.p,
 - en fente : Fig. 5.a, 5.l-o & 5.q-s,
- **position :**
 - terminale : Fig. 5.b & 5.e-i,
 - basale : Fig. 5.a, 5.l-o & 5.q,
 - ombilicale : Fig. 5.s.

c - ornementation de la surface du test

- **côtes** : Fig. 5.d-e, 5.g & 5.p,
- **épines** : Fig. 5.j,
- **granules** : Fig. 5.q & 5.s,
- **carènes** : Fig. 5.h & 5.r

II.B - FORAMINIFÈRES À TEST AGGLUTINÉ

Les particules agglutinées, parfois très fines, sont diverses : grains de quartz, particules calcaires, etc. Ces particules sont liées par une sécrétion organique ou calcaire.

1 - Ordre des TEXTULARIIDAE

Petits foraminifères formés de loges bisériées (*Textularia* : Fig. 6.a). Certaines formes peuvent avoir un arrangement des loges différent :

- arrangement trisérié (Fig. 6.b),
- arrangement bisérié puis unisériel (Fig. 6.c).

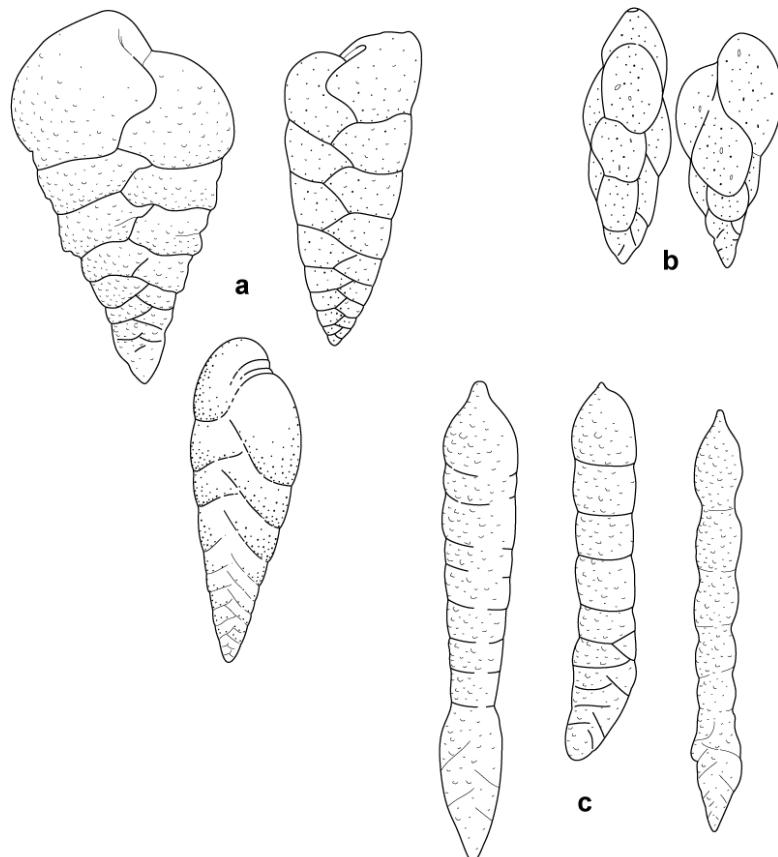


Figure 6 : a. *Textularia*, b. *Eggerella*, c. *Bigenerina*.

2 - Ordre des LITUOLIDA

Le test est toujours initialement enroulé planispiralé. Au stade adulte, parfois de grande taille (1 à 2 cm), il est :

- soit planispiralé, de forme globuleuse ou aplatie (Photos 1 - 2),
- soit déroulé (Photos 3.a, 3.b & 3.c),
- soit de forme annulaire (Photo 4).

L'épaisseur de la paroi peut présenter une structure alvéolaire (Photos 2, 3.a, 3.b & 3.c). L'intérieur des loges est vide ou peut présenter des piliers (Photo 4).

Exemples :

- *Pseudocyclammina* : Jurassique - Crétacé (Photos 3.a, 3.b & 3.c) ;
- *Anchispirocyclina* : Jurassique supérieur (Photo 4) ;
- *Choffatella* : Crétacé inférieur (Photo 2).

3 - Ordre des ORBITOLINIDA

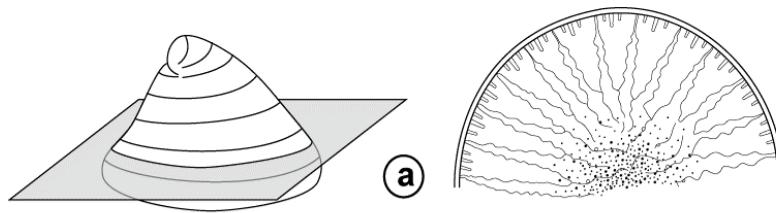
Genre *Orbitolina*

Test conique, trochospiralé au stade jeune, devenant rectiligne unisérié au stade adulte. Dans chaque loge se distinguent trois zones :

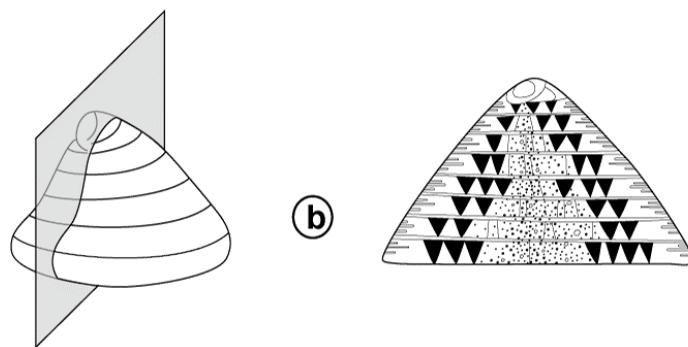
- une zone marginale occupée par des cloisonnettes périphériques transverses, axiales (b) et radiales (c) ;
- une zone inframarginale occupée par le prolongement des cloisonnettes radiales en lames épaissies et ondulées (f) ;
- une zone centrale où les cloisonnettes radiales se soudent (g).

Exemples :

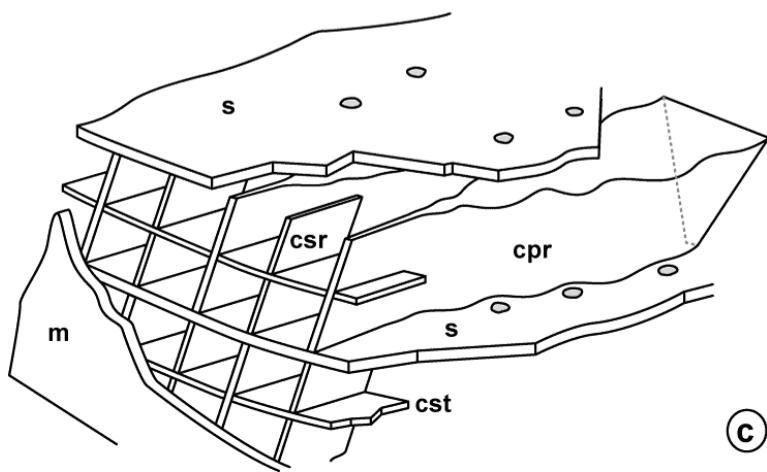
- *Orbitolina* : Barrémien à Cénomanien (Figs. 7 - 8 ; Photos 5 - 6) ;
- *Meyendorfina* : Jurassique ;
- *Lituonella* : Cénozoïque ;
- *Dictyococonus* : Cénozoïque (Photos 7 - 8 - 9).



a



b



c

Figure 7 : Sections d'une *Orbitolina* en lame mince. a) Section transverse (voir Photo 5) ; b) section axiale (voir Photo 6). m : muraille ; s : septum ; cpr : cloisonnettes radiales ; cst : cloisonnettes transverses.

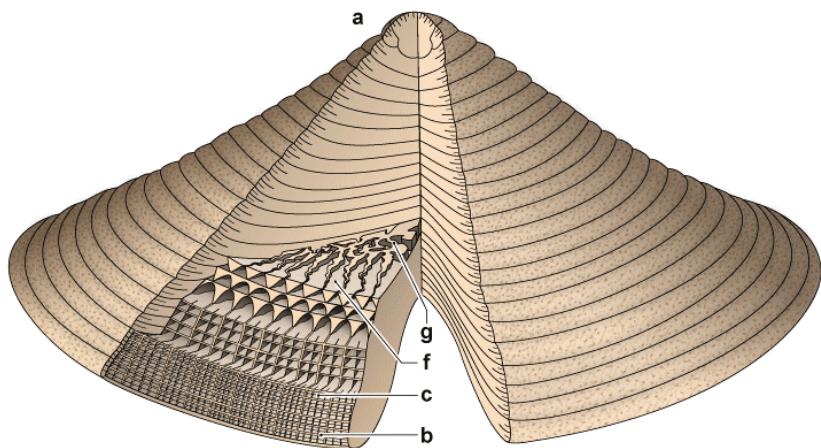


Figure 8 : Bloc diagramme d'une *Orbitolina*.

II.C - FORAMINIFÈRES À TEST MICROGRANULAIRE

Ordre des FUSULINIDA

Test en fuseau, formé par l'enroulement autour d'un axe d'une lame spirale déterminant des loges plus ou moins allongées (Fig. 9). La grande variété de formes est liée :

1 - à la structure de la paroi :

a - type diaphanothécal (Fig. 10.a, Photos 33.a - 33.b) : présence d'un *tectum* et d'une diaphanothèque qui apparaît claire en plaque mince ; parfois, il y a des dépôts secondaires, appelés *tectoria* (un *tectorium* interne et un *tectorium* externe), de part et d'autre de ces deux couches ;

b - type kériothécal (Fig. 10.b, Photos 30 - 31 - 32.a - 32.b - 34 - 35 - 36) : deux feuillets seuls (pas de *tectorium*) , le *tectum* et la kériothèque, d'apparence hachurée, formée de bandes alternativement claires et sombres.

2- à l'architecture du test :

a - cloisons planes (Figs. 9 - 13, Photos 34 - 35 - 36) ;

b - cloisons ondulées (Figs. 11.a - 12). Les plis sont contrariés d'une loge à l'autre ;

c - cloisons gaufrées (Fig. 11.b, Photos 32.a - 32.b). Les *cuniculi* (c) résultent de la fusion des cloisons aux points de jonction de plis opposés et

mettent en communication les loges 'n' avec les loges 'n - 2' ;

d - *chomata* : bourrelets spiraux placés de part et d'autre de l'ouverture (Fig. 12, Photos 33.a - 33.b) ;

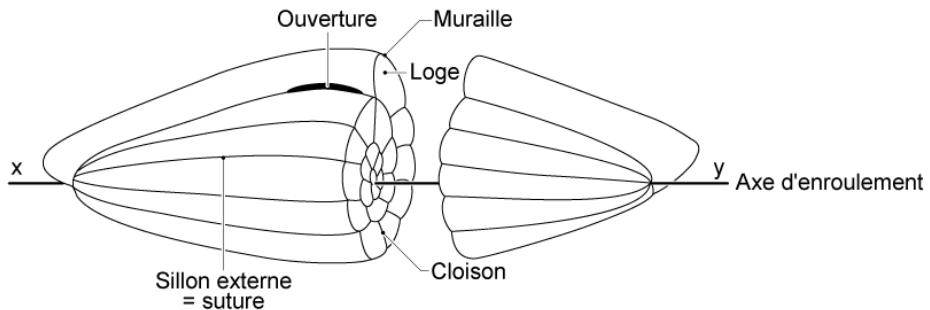


Figure 9 : Schéma de Fusulinidé à cloisons rectilignes.

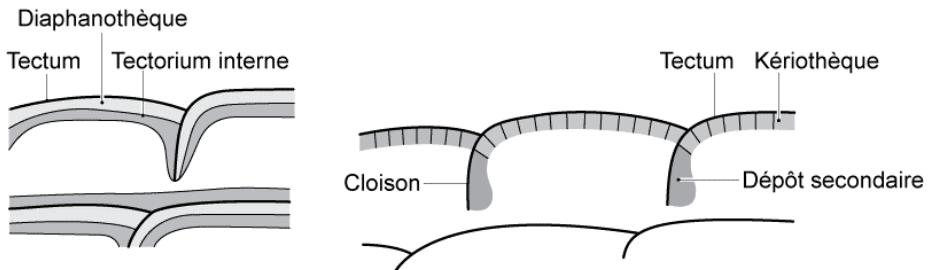


Figure 10 : Structure de la paroi, diaphanothécale à gauche, kériothécale à droite.

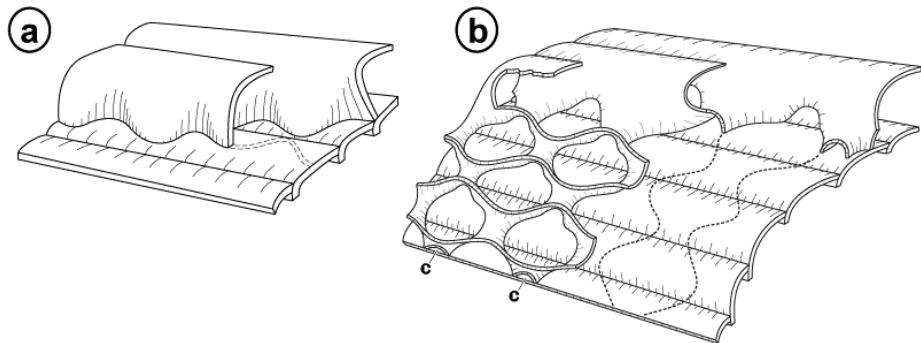


Figure 11 : a) Schéma de cloisons ondulées ; b) schéma de cloisons gauffrées : les *cuniculi* (c) résultent de la fusion des cloisons aux points de jonction de plis opposés et mettent en communication les loges 'n' avec les loges 'n - 2'.

e - endosquelette (Fig. 13) :

- endosquelette basal = *parachomata* : côtes calcaires parallèles, trans-

- verses, sur le plancher des loges (Photos 34 - 35) ;
- endosquelette mural : réseau de cloisonnettes axiales et transverses subdivisant les loges, de nature kériothécale (Photos 34 - 35 - 36).

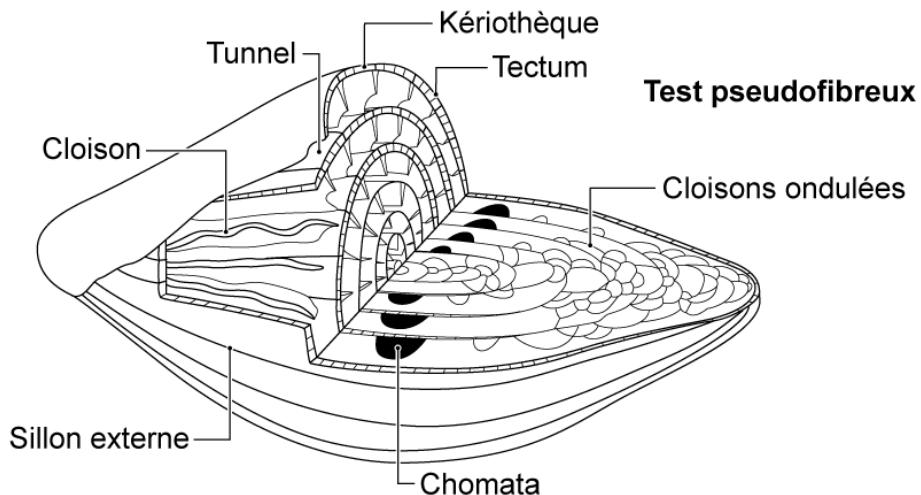


Figure 12 : Bloc schématique de Fusulinidé montrant : - les cloisons ondulées aux pôles ; - le tunnel : ouverture unique ; - les *chomata* (endosquelette basal).

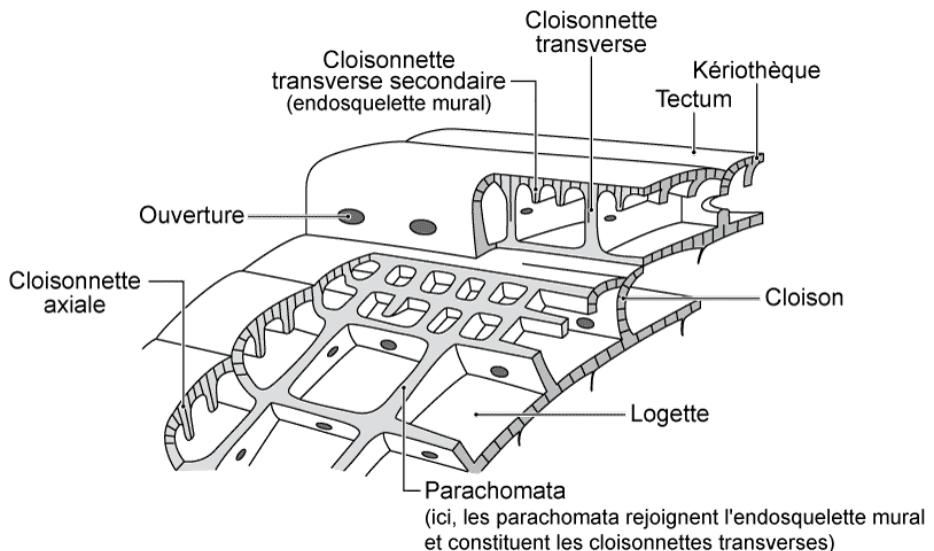


Figure 13 : Bloc schématique d'une portion de Fusulinidé à endosquelette mural.

Répartition stratigraphique : Carbonifère (Viséen) à Permien.

Milieux de vie des Fusulinidés :

Les Fusulinidés étaient marins, benthiques. Ils étaient inféodés aux domaines de plates-formes carbonatées largement ouverts sur l'océan et étaient associés à des algues et à des coraux.

Paléogéographie (Fig. 14) :

Les Fusulinidés, présents dans les zones tropicales à tempérées chaudes, s'étendaient pour la plupart sur les rivages de la Pangée entre 30° et 35° de part et d'autre de l'équateur paléozoïque.

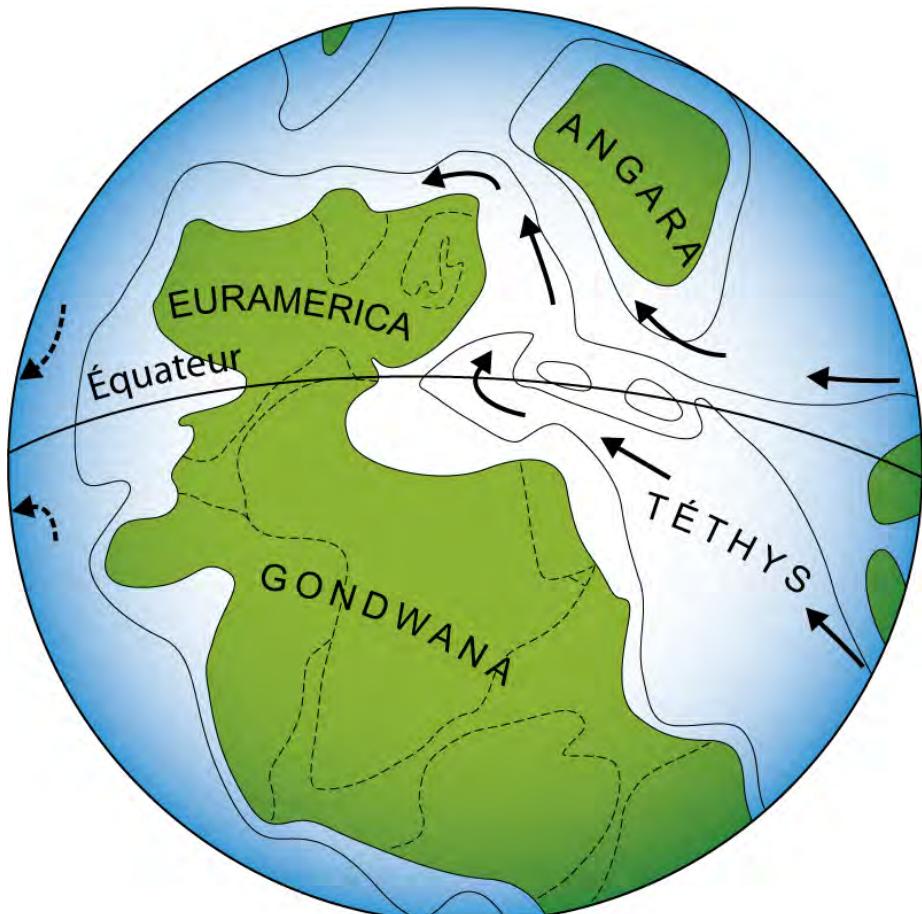


Figure 14 : Les océans où vivaient les Fusulinidés au Carbonifère.

II.D - FORAMINIFÈRES À TEST PORCELANÉ

Ordre des MILIOLIDA

1 - Super-famille des MILIOLACEA

Test dit pelotonné : les loges sont accolées, disposées dans plusieurs plans.

Ouverture avec une dent ou criblée (Fig. 15, Photos 62 - 63, Vidéos 1 - 2 - 3).

Répartition stratigraphique: Jurassique à Actuel.

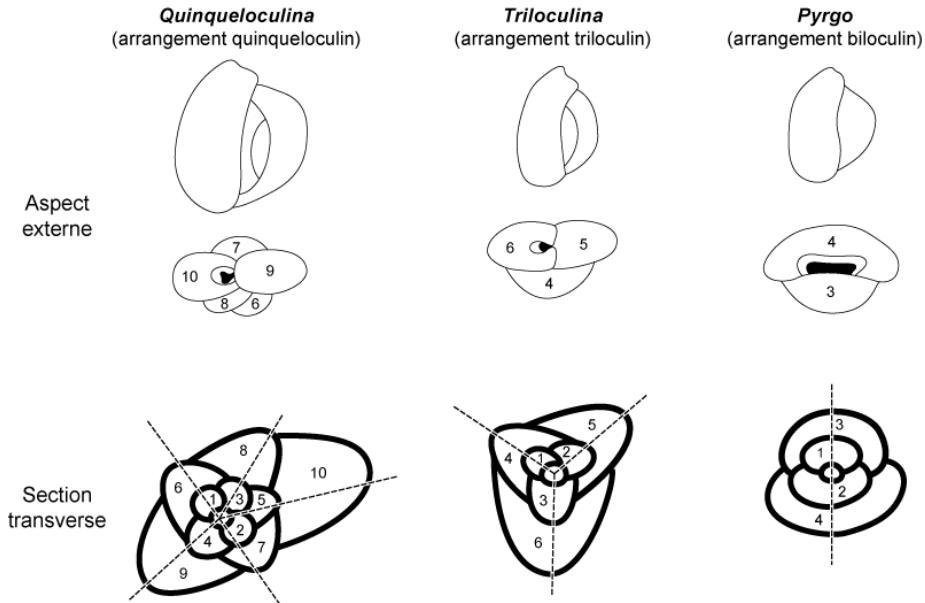


Figure 15 : Différents types de Milioles :

- *Quinqueloculina* (arrangement quinqueloculin),
- *Triloculina* (arrangement triloculin),
- *Pyrgo* (arrangement biloculin).

2 - Super-famille des ALVEOLINACEA

Test planispiralé fusiforme formé par l'enroulement d'une lame spirale autour d'un axe déterminant des loges plus ou moins allongées.

a - exemple : le genre *Alveolina* de l'Éocène (Figs. 16 - 17 - 18, Photos 23 - 24 - 25 - 26 - 27).

b - répartition stratigraphique des différents genres de la Famille des Alveolinidae (Fig. 19).

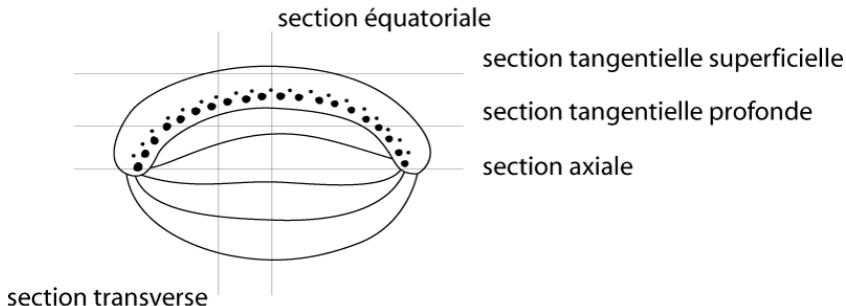


Figure 16 : Sections d'une *Alveolina* en lames minces.

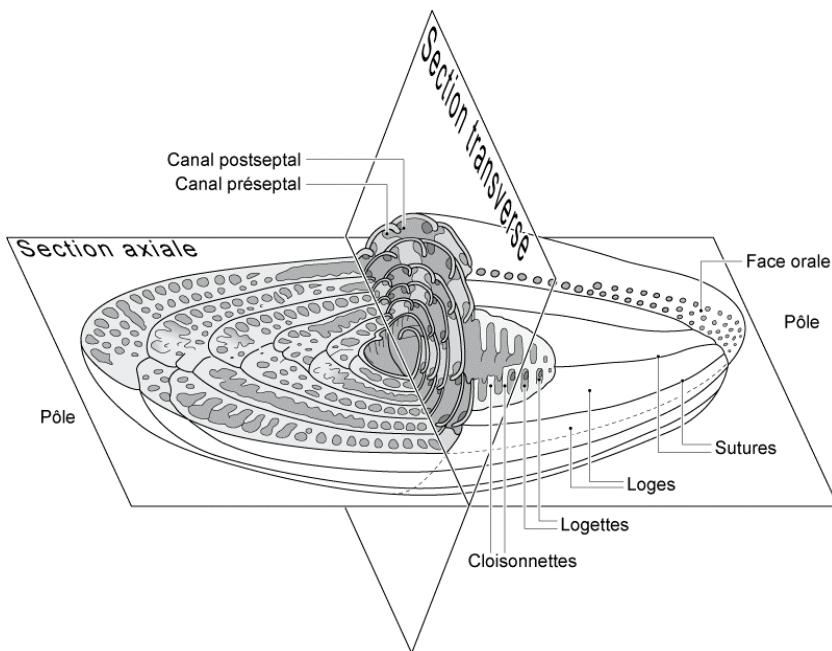


Figure 17 : Bloc diagramme d'une *Alveolina*.

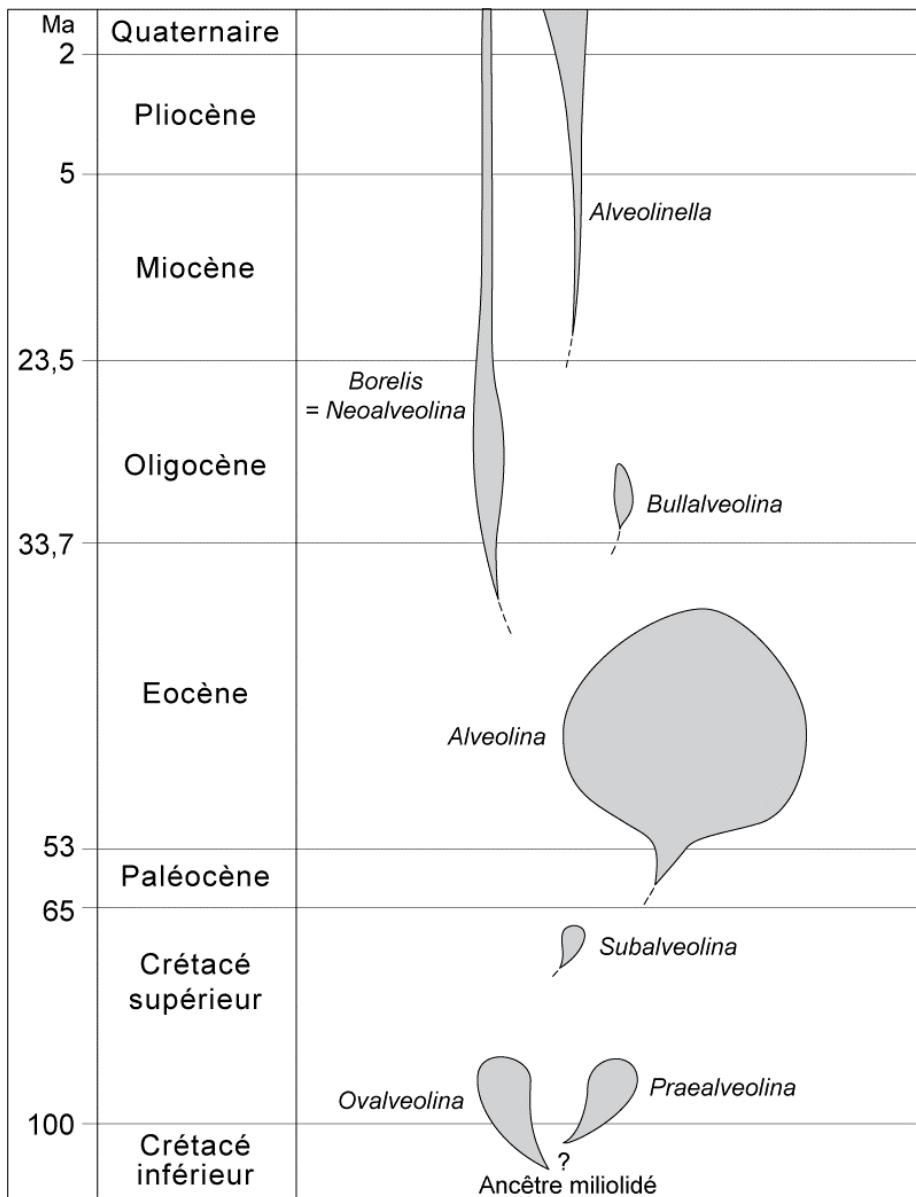


Figure 19 : Répartition stratigraphique des différents genres de la Famille des Alveolinidae.

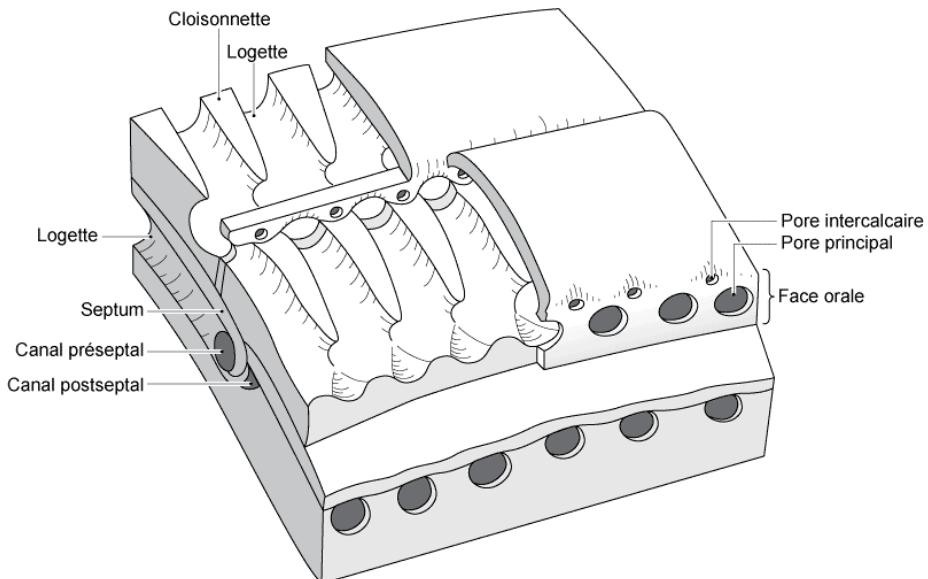


Figure 18 : Bloc diagramme des dernières loges d'une *Alveolina*.

3 - Super-famille des SORITACEA

Test discoïde.

Les loges sont planispiralées (*Peneroplis*, Fig. 20.a) ou disposées en anneaux concentriques (*Orbitolites*, Photos 28 - 29) ; elles peuvent être divisées en logettes par des cloisonnettes (*Archaias*, Fig. 20.b).



Figure 20 : a) *Peneroplis* ; b) *Archaias*.

II.E - FORAMINIFÈRES À TEST HYALIN

Ces tests peuvent être mono- ou pluri-lamellaires (Fig. 21).

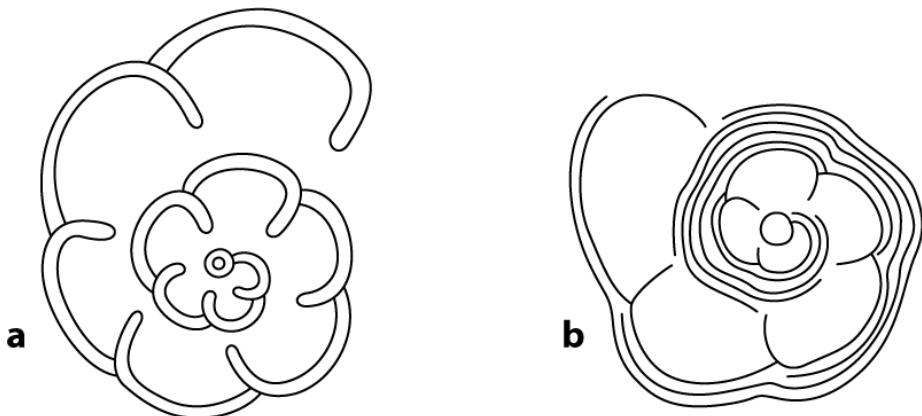


Figure 21 : a) Structure d'un test non lamellaire (= monolamellaire) et b) celle d'un test lamellaire (= plurilamellaire).

1 - Ordre des LAGENIDA

Test calcique monolamellaire.

Ouverture radiée (Fig. 22.b).

Arrangement des loges très diversifié :

- uniloculaire : *Lagena* (Fig. 22.a) ;
- rectiligne unisérié : *Nodosaria* (Fig. 22.b), *Frondicularia* (Fig. 22.c) ;
- enroulé planispiralé : *Lenticulina* (Fig. 22.d).

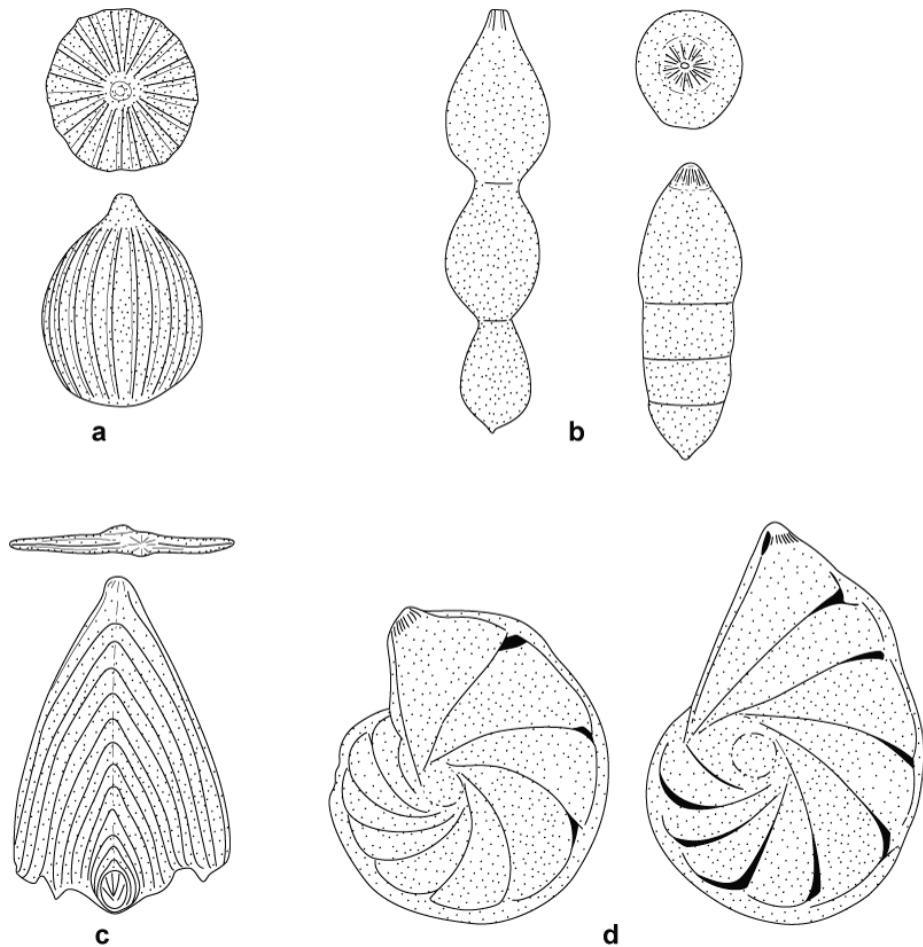


Figure 22 : a) *Lagena* ; b) *Nodosaria* ; c) *Frondicularia* ; d) *Lenticulina*.

2 - Ordre des BULIMINIDA

2.A - SUPER-FAMILLE DES BOLIVINIDACEA

Test bisérié, légèrement compressé.

Ouverture en fente à l'extrémité de la dernière loge.

Exemple : *Bovillina* (Fig. 23.a).

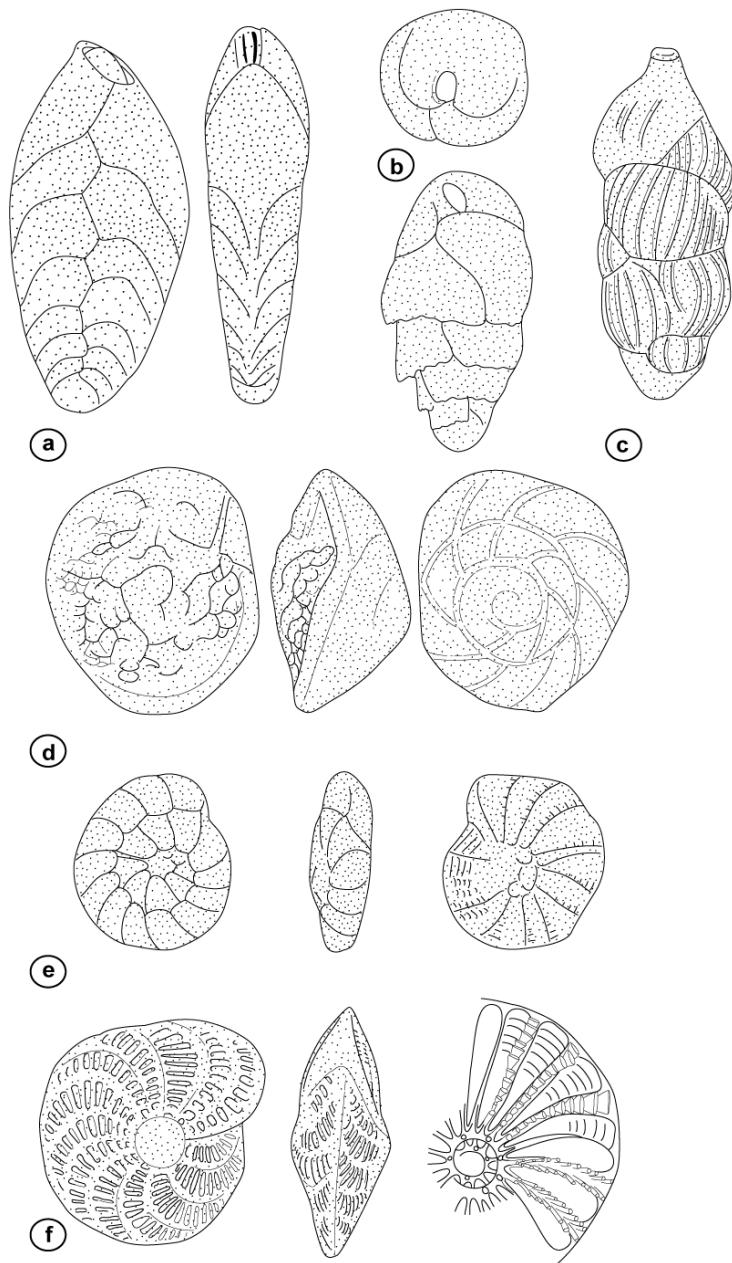


Figure 23 :a) *Bolivina* ; b) *Bulimina* ; c) *Uvigerina* ; d) *Rotalia* ; e) *Ammonia* ; f) *Elphidium*.

2.B - SUPER-FAMILLE DES BULIMINACEA

• FAMILLE DES BULIMINIDAE

Test trochospiralé à trochospire haute. Peu de loges à chaque tour (apparence trisériée).

Ouverture en forme de boucle à la base de la dernière loge.

Exemple : *Bulimina* (Fig. 23.b).

• FAMILLE DES UVIGERINIDAE

Test trochospiralé à trochospire haute. Peu de loges à chaque tour (apparence trisériée).

Ouverture ronde portée par un petit col au sommet de la dernière loge.

Surface du test souvent ornée de grosses côtes.

Exemple : *Uvigerina* (Fig. 23.c).

3 - Ordre des Rotaliida

Test calcique bilamellaire.

Arrangement des loges très diversifié.

NOMBREUSES SUBDIVISIONS TAXONOMIQUES :

- la plupart des espèces sont petites (inférieures à 1 mm) ;
- certaines (Nummulitidés, Orbitoididés) peuvent atteindre 5 cm de diamètre.

3.A - SUPER-FAMILLE DES ROTALIACEA

Test enroulé de forme lenticulaire :

- soit trochospiralé à trochospire basse (*Rotalia* : Fig. 23.d, *Ammonia* : Fig. 23.e) ;
- soit planispiralé involute (*Elphidium* : Fig. 23.f).

Structure interne complexe.

3.B - SUPER-FAMILLE DES NUMMULITACEA

Test lenticulaire, planispiralé involute (*Nummulites* : Fig. 24.a, Photos 16 - 17.a - 17.b - 55) ou évolute (*Operculina* : Fig. 24.b, Photo 59). La

répartition stratigraphique de ces 2 genres est illustrée dans la Fig. 24.c.

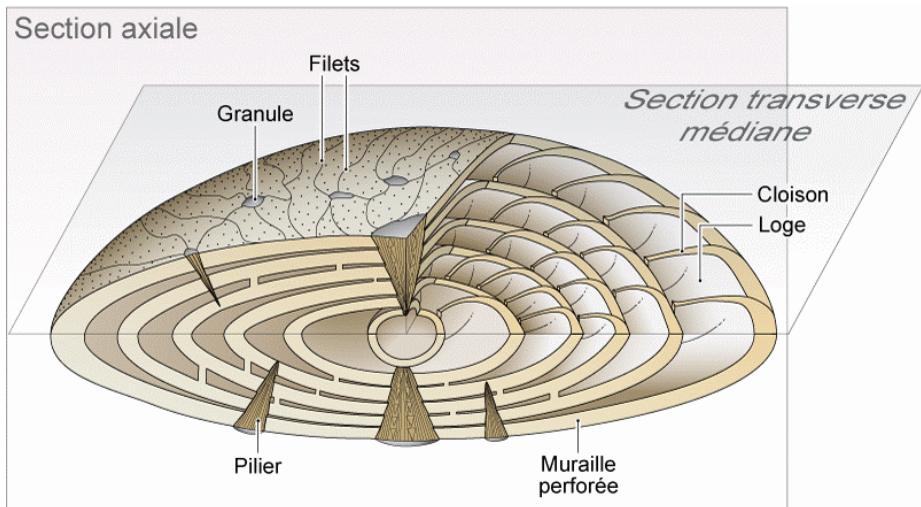


Figure 24.a : Bloc diagramme d'une *Nummulites*.

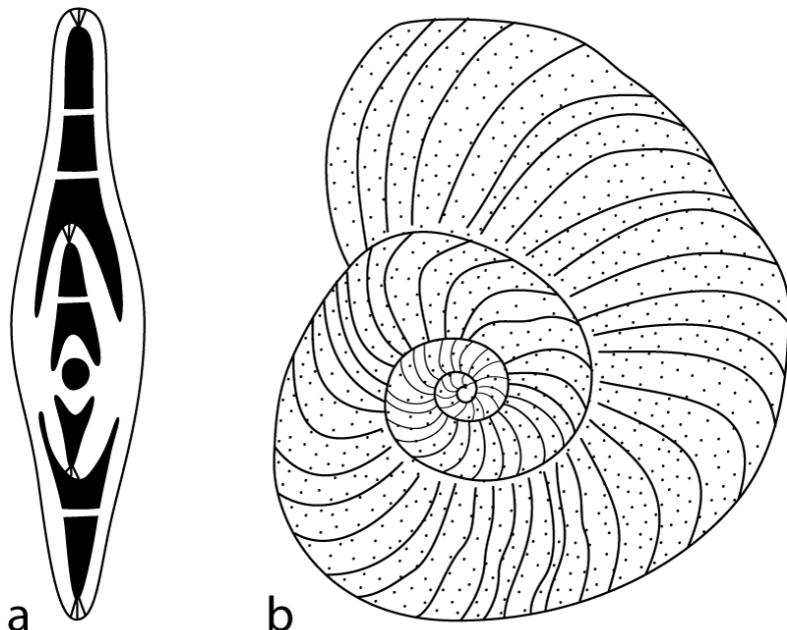


Figure 24.b : *Operculina* : a) section axiale ; b) section équatoriale = section transverse médiane.

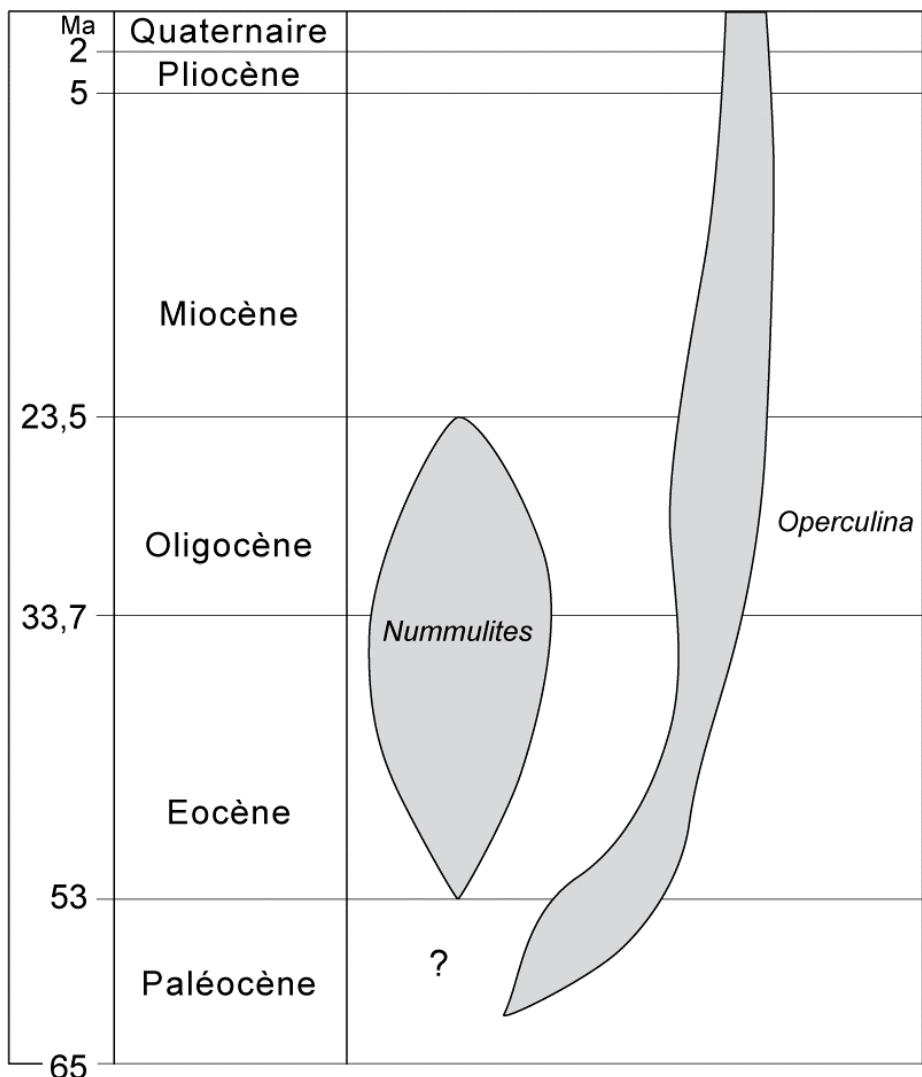


Figure 24.c : Répartition stratigraphique des genres *Nummulites* et *Operculina*.

3.c - SUPER-FAMILLE DES ORBITOIDACEA

Test biconvexe à arrangement complexe (Fig. 25.a) : à partir d'un embryon multiloculaire se développent, dans un plan, des loges équatoriales et, de part et d'autre, des loges latérales. Les loges équatoriales présentent, en section transverse, des formes différentes au Crétacé et à l'Éocène :

- Au Crétacé supérieur, chez *Orbitoides* (Fig. 25.b, Photos 18 - 19), les loges équatoriales, en forme de tuiles romaines (arquées en section transverse), sont disposées en quinconce. Les communications entre les loges (stolons) sont situées en diagonale, à la base de loges. En section axiale, ces loges paraissent plus hautes que longues.
- À l'Éocène, chez *Discocyclus* (Fig. 25.c, Photos 20 - 21 - 56 - 57 - 58), les loges équatoriales sont parallélépipédiques (rectangulaires en section transverse) et disposées en anneaux concentriques. Elles communiquent entre elles par des stolons annulaires reliant les loges contiguës et des stolons radiaires mettant en communication les loges d'un anneau avec les anneaux voisins. En section axiale, elles sont très nombreuses et très petites.
- À l'Oligo-Miocène, chez *Lepidocyclus* (Photo 22), les loges équatoriales, en forme de tuiles romaines (arquées en section transverse), sont disposées en quinconce.

4 - Les Foraminifères planctoniques : ordre des GLOBIGERINIDA

Les Foraminifères planctoniques sont bien adaptés à la flottaison : test mince, inclusions protoplasmiques graisseuses, capsules gazeuses, etc.

Les formes actuelles à test épineux (*Globigerina*, etc.) prospèrent dans les eaux marines superficielles ; celles à test lisse (*Globorotalia*, etc.) commencent à vivre près de la surface, avant de s'enfoncer ensuite à plusieurs dizaines ou centaines de mètres de profondeur.

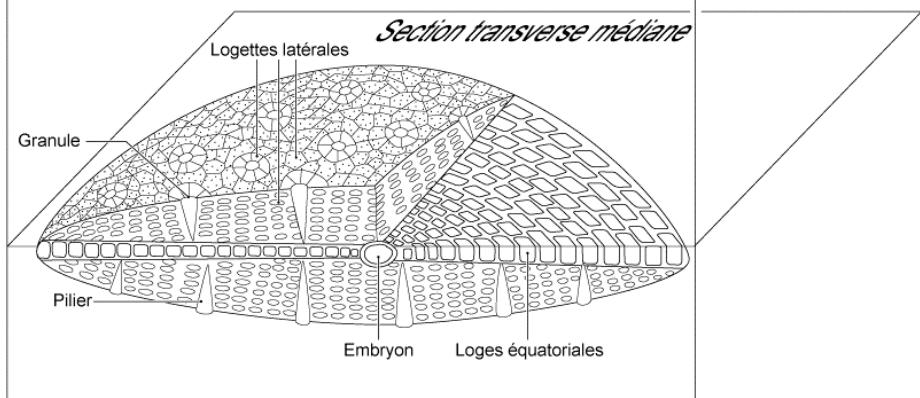
Certaines espèces sont ubiquistes, d'autres ont une distribution localisée en fonction de la latitude. Dans la nature actuelle, les individus et les espèces sont plus abondants dans les eaux chaudes.

Répartition stratigraphique : Jurassique à Actuel.

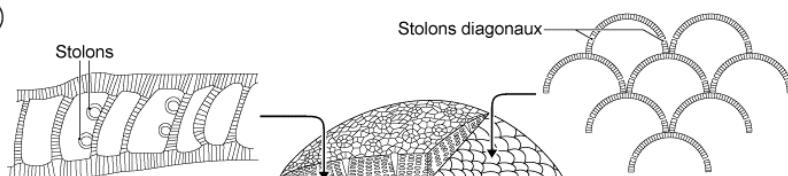
Cycle vital des foraminifères planctoniques actuels (Fig. 26) :

Le schéma oppose les formes de surface, qui se reproduisent à intervalles courts, aux formes de profondeur, qui ont probablement des cycles plus longs.

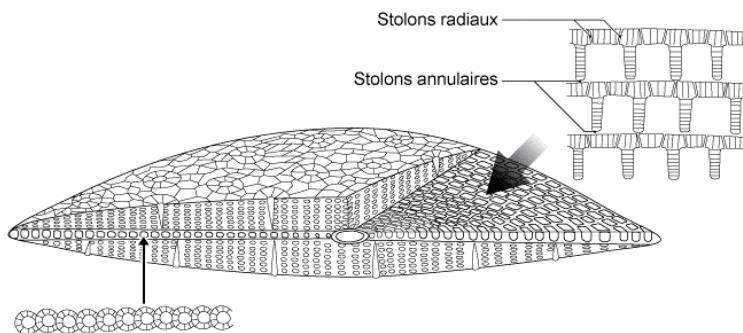
Section axiale



(a)



(b)



(c)

Figure 25 : a) Bloc diagramme d'Orbitoididé ; b) loges équatoriales d'un *Orbitoides* ; c) loges équatoriales d'une *Discocyclina*.

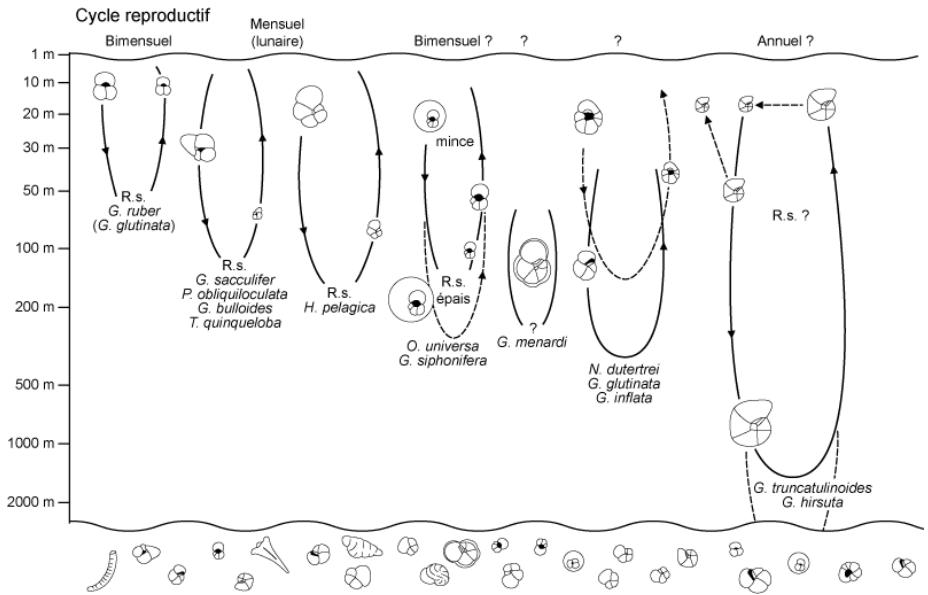


Figure 26 : Cycle vital des foraminifères planctoniques actuels (R.s. = reproduction sexuée).

1 - SUPER-FAMILLE DES GLOBOTRUNCANACEA (CRÉTACÉ SUPÉRIEUR)

Test trochospiralé, pouvant présenter des carènes épaisses et saillantes. Ombilic recouvert par des lamelles plus ou moins développées.

Genre *Globotruncana* (Turonien - Maastrichtien) (Fig. 27.a, Photo 60, Vidéo 4)

Loges réniformes séparées par des sutures arquées ornées d'un bourrelet. Bandeau périphérique imperforé. Deux carènes saillantes, au moins sur les loges des premiers tours d'enroulement. Ouverture principale ombilicale ; ombilic couvert par des plaques fragiles, soulevées par endroits, afin de ménager de petites ouvertures infralaminaires.

Genres voisins mono- ou bi- carénés (Fig. 27.b-f). NB : ne sont pas représentées les formes non carénées qui existent bien au Mésozoïque.

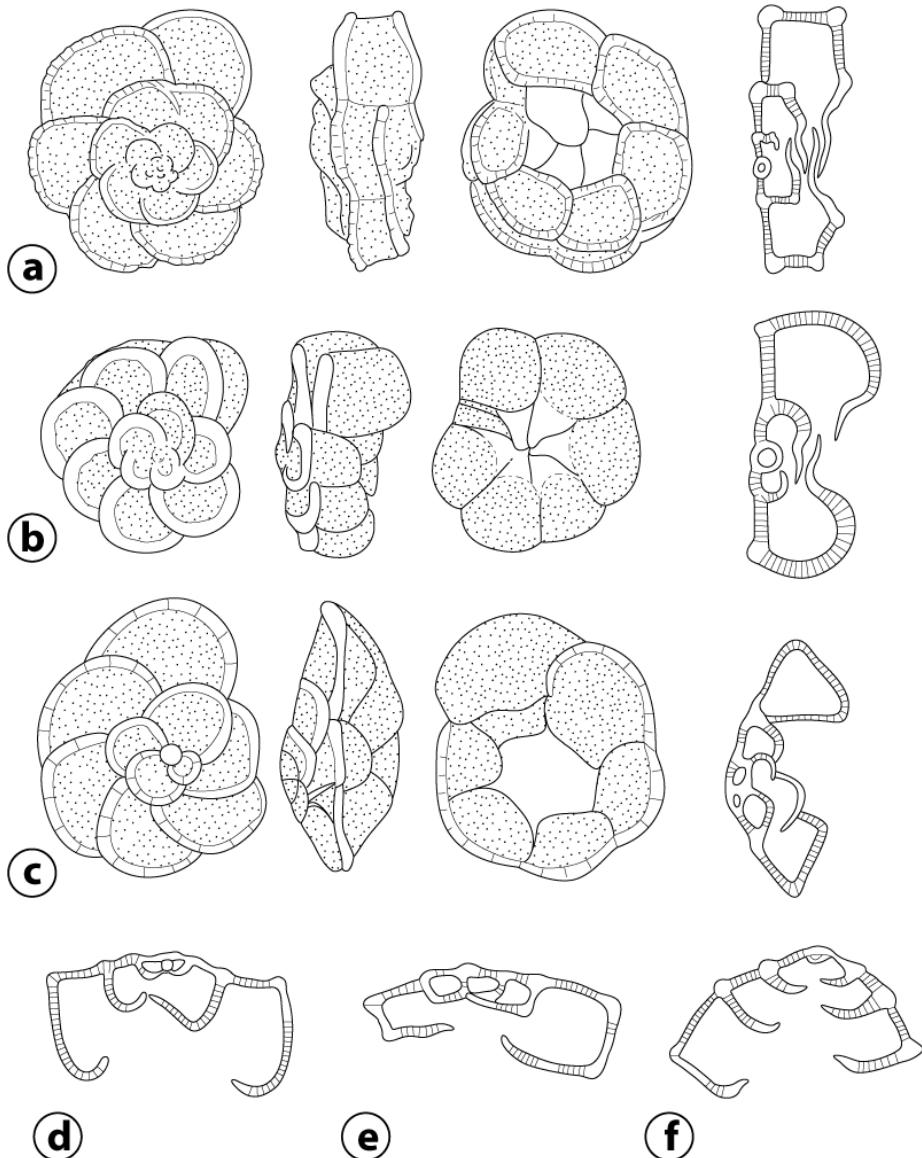


Figure 27 : a) Genre *Globotruncana* ; b-f) genres voisins.

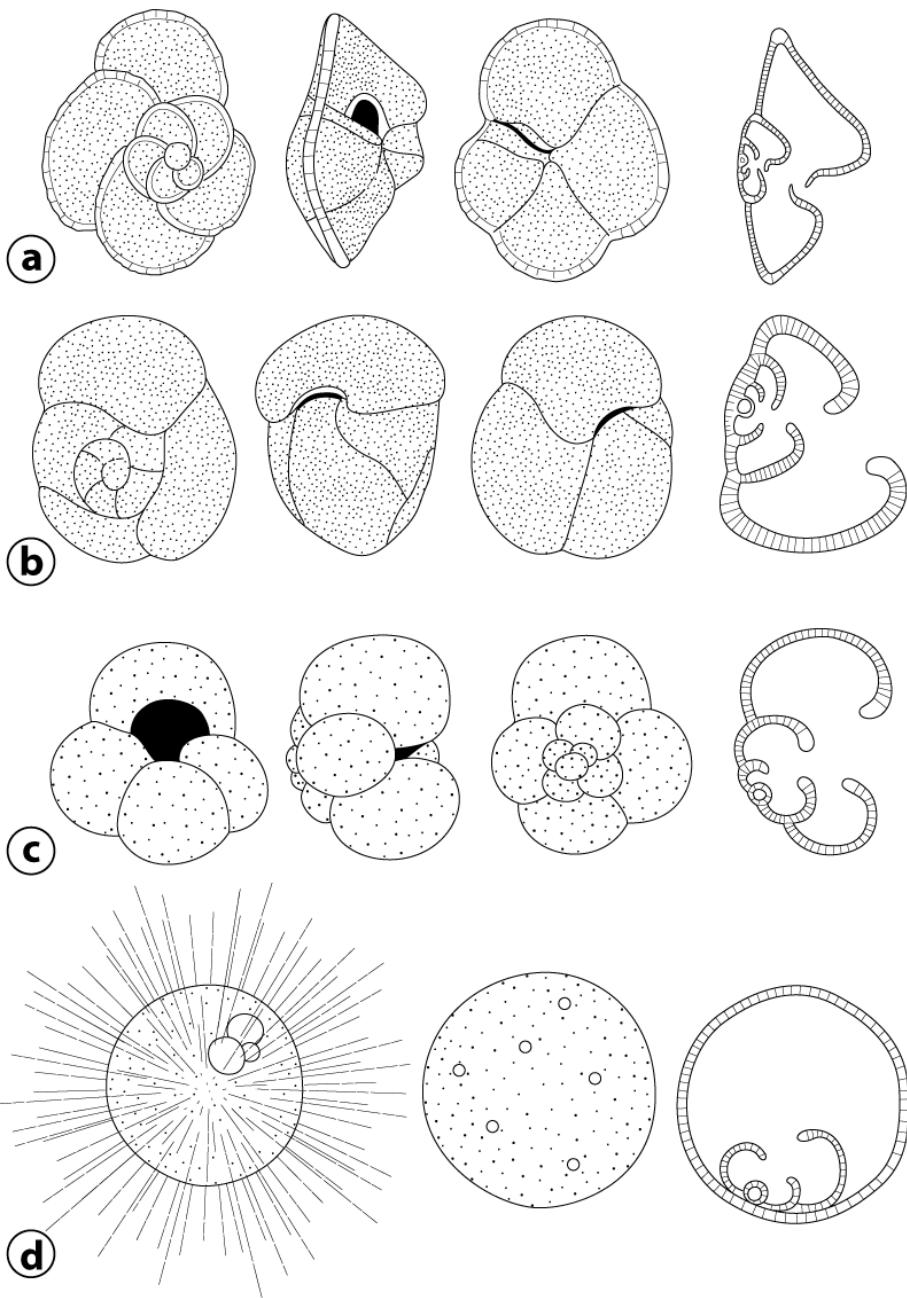


Figure 28 : a-b) Genre *Globorotalia* ; c) genre *Globigerina* ; d) genre *Orbulina*.

2 - SUPER-FAMILLE DES GLOBOROTALIACEA (CÉNOZOÏQUE)

Genre *Globorotalia* (Cénozoïque) (Fig. 28.a-b)

Test présentant ou non une carène. Ouverture en fente, de l'ombilic à la périphérie.

3 - SUPER-FAMILLE DES GLOBIGERINACEA (CÉNOZOÏQUE)

Genre *Globigerina* (Tertiaire - Actuel) (Fig. 28.c, Photo 61)

Test trochospiralé, loges globuleuses non carénées, pourvues d'épines chez les individus vivants, avant la phase reproductive. Ouverture ombilicale en arc, bordée par un bourrelet.

Genre *Orbulina* (Miocène - Actuel) (Fig. 28.d)

Stade jeune trochospiralé, ressemblant à une Globigérine, mais avec des ouvertures supplémentaires sur la face spirale. Dernière loge sphérique, recouvrant le stade et relié à celui-ci par des épines.

II.F - FORAMINIFÈRES À TEST ARAGONITIQUE

Ce groupe, relativement méconnu, correspond aux ordres des *Involutinida* (Permien - Actuel) et *Robertinida* (Trias - Actuel). L'aragonite étant rarement préservée dans les sédiments anciens, les tests originellement aragonitiques ne sont qu'exceptionnellement préservés tels quels (Photos 10 - 11) ou recristallisés en calcite (mosaïque constituée de cristaux équidimensionnels avec préservation la microstructure du test). Le plus souvent, le test a été dissout, laissant la place à un moule de dissolution, resté vide (Photo 14) ou occupé par un ciment calcique drusique (cristaux dont la taille augmente depuis les parois vers le centre de la cavité : Photos 12 - 13).

Genres *Involutina* et *Trocholina* (Trias - Crétacé), à tests uniloculaires respectivement plani- et trocho-spiralés, et *Epistomina* (Crétacé), à test pluriloculaire trochospiralé.

III – Les Calpionelles

Protozoaires planctoniques d'affinité taxonomique incertaine (Ciliés ?).

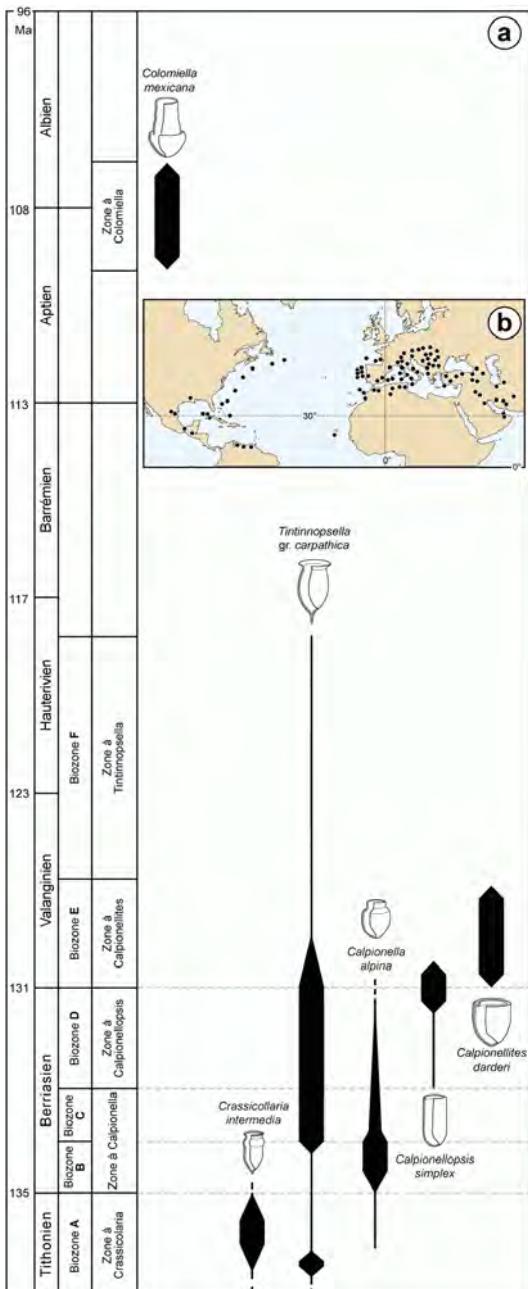
Le test (ou *lorica*) des Calpionelles (Photos 53 - 54) est constitué par une petite coque (de 50 à 100 µm) en forme de vase ou d'amphore possédant une ouverture au sommet d'un col (Fig. 29.a). Il est de nature calcitique et se distingue donc de celui des Tintinnides caractérisés par un test chitineux ou agglutiné.

La paroi peut être légèrement épaissie et posséder un bourrelet oral près de l'insertion du col de la *lorica*.

Les tests sont toujours fossilisés dans des calcaires fins (micrites) de faciès (hémi-) pélagique.

Distribution géographique : très large distribution géographique dans la province téthysienne, du Mexique à l'Ouest jusqu'en Iran à l'Est (Fig. 29.b).

Figure 29 : Répartition a) stratigraphique des Calpionelles et Colomielles et b) géographique des Calpionelles.



L'extension géographique vaste et l'évolution rapide des Calpionelles en font un excellent outil biostratigraphique (Fig. 29.a) pour le Berriasién et ses limites inférieure et supérieure (du Tithonien supérieur au Valanginien inférieur) dans le domaine téthysien. Ce groupe est connu jusqu'à l'Hauterivien, voire à l'Albien, si on y associe les Colomielles (formes dont le col est "articulé").

IV - Les Ostracodes

[contribution de Françoise DEPECHE]

Les Ostracodes sont parfois définis comme des "mini-Crustacés à coquille" (Arthropodes). Leur taille, généralement voisine du mm, peut atteindre exceptionnellement 8 cm.

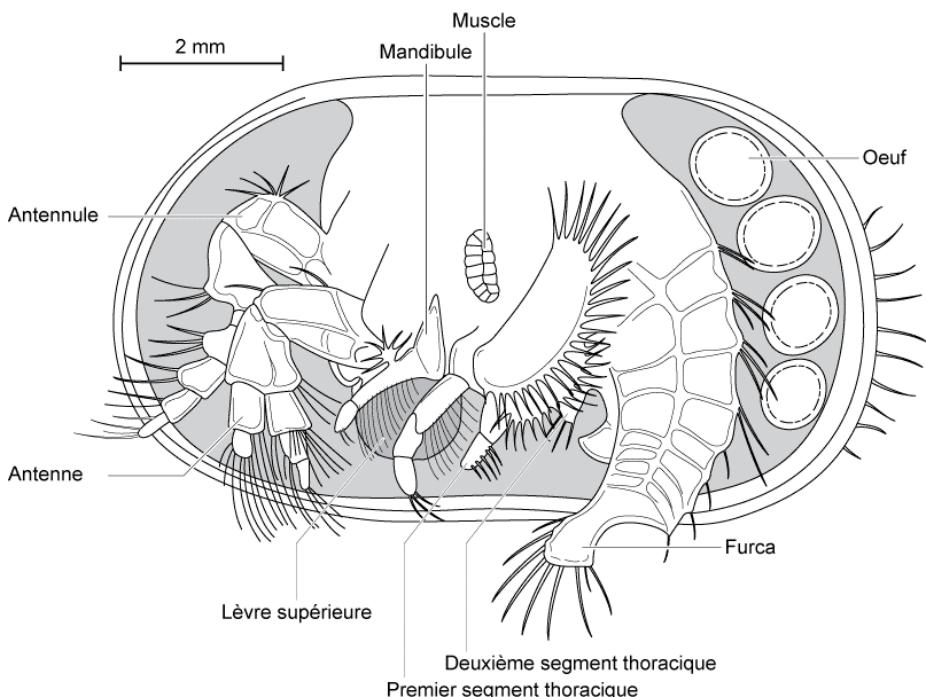


Figure 30 : Anatomie d'un Ostracode vivant (femelle).

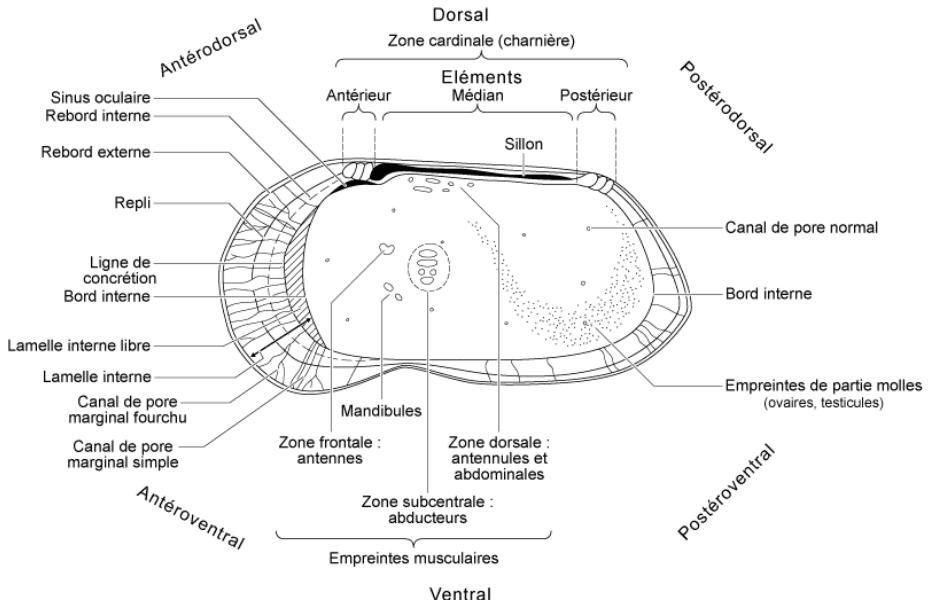


Figure 31 : Vue interne d'une valve droite.

Le corps (Fig. 30) de ces animaux aquatiques est protégé par une carapace formée de deux valves le plus souvent calcifiées, articulées par une charnière située sur le bord dorsal (Fig. 31). Se distinguent 3 types fondamentaux de charnières :

- type adonte : une valve est creusée d'un sillon simple où s'encastre la barre simple de l'autre valve ;
- type mérodont : le sillon d'une valve et la barre de l'autre sont respectivement encadrés par deux dents et alvéoles ;
- type amphidonte ou hétérodonte : possèdent une dent et une alvéole supplémentaires terminant respectivement la partie antérieure de la barre et du sillon.

Les carapaces sont lisses ou diversement ornementées extérieurement : filet, granules, tubercules, épines, stries, côtes (Fig. 32).

Les valves sont attachées au corps par des muscles dont les traces de fixation ou empreintes musculaires (Figs. 30 - 31) sont situées dans la partie ventrale. A la périphérie de la coquille une zone marginale est formée par une lamelle interne calcifiée doublant la couche externe. Cette zone marginale est parcourue par des canaux de pores.

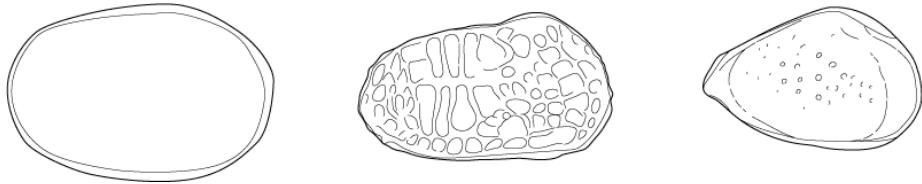


Figure 32 : De gauche à droite, carapaces lisse, réticulée-costulée, et tuberculée.

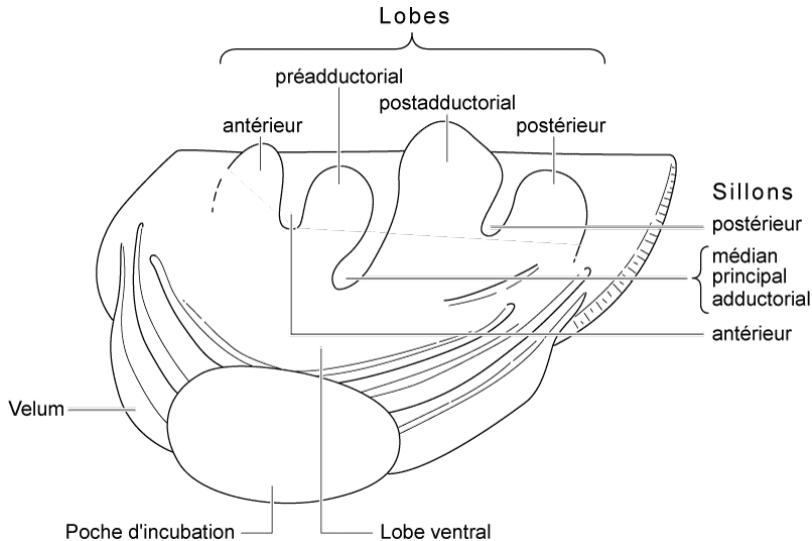


Figure 33 : Exemple d'Ostracode paléozoïque (schéma composite d'Ostracode Paléocope femelle).

Écologie : la majorité des Ostracodes sont benthiques. Ils se trouvent dans tous les milieux aquatiques aussi bien d'eaux douces que d'eaux salées : dans les étangs, marais, fleuves, lagunes, estuaires, sur le plateau continental et le talus, ainsi que dans les zones bathyale et abyssale.

Répartition stratigraphique : (?) Cambrien - Ordovicien à Actuel.

Seules la carapace ou les valves sont fossilisées, parfois en grande quantité (exemple : calcaire à *Cypris* du Purbeckien de Grande-Bretagne).

Les formes paléozoïques ont un contour et une ornementation qui les différencient facilement des ostracodes post-paléozoïques (Fig. 33).

L'étude des Ostracodes est importante dans les faciès continentaux où ils permettent d'établir des datations fines. Dans les niveaux marins, ils sont surtout utiles pour la reconstitution des paléo-environnements.

V - Les nannofossiles calcaires

Les nannofossiles calcaires correspondent à 2 grands groupes de micro-organismes : les Coccolithophoridés et les Nannoconidés.

V.a - Les coccolithophoridés

(du grec κόκκος "pépin", λίθος "pierre", φέρειν "porter")

Algues unicellulaires Chrysophycées dont le stade végétatif comporte une cellule biflagellée, sécrétant des pièces calcaires (calcite), appelées coccolithes (Fig. 35), appliquées sur la membrane cellulaire ou noyées dans une gelée externe (Fig. 34.a-b).

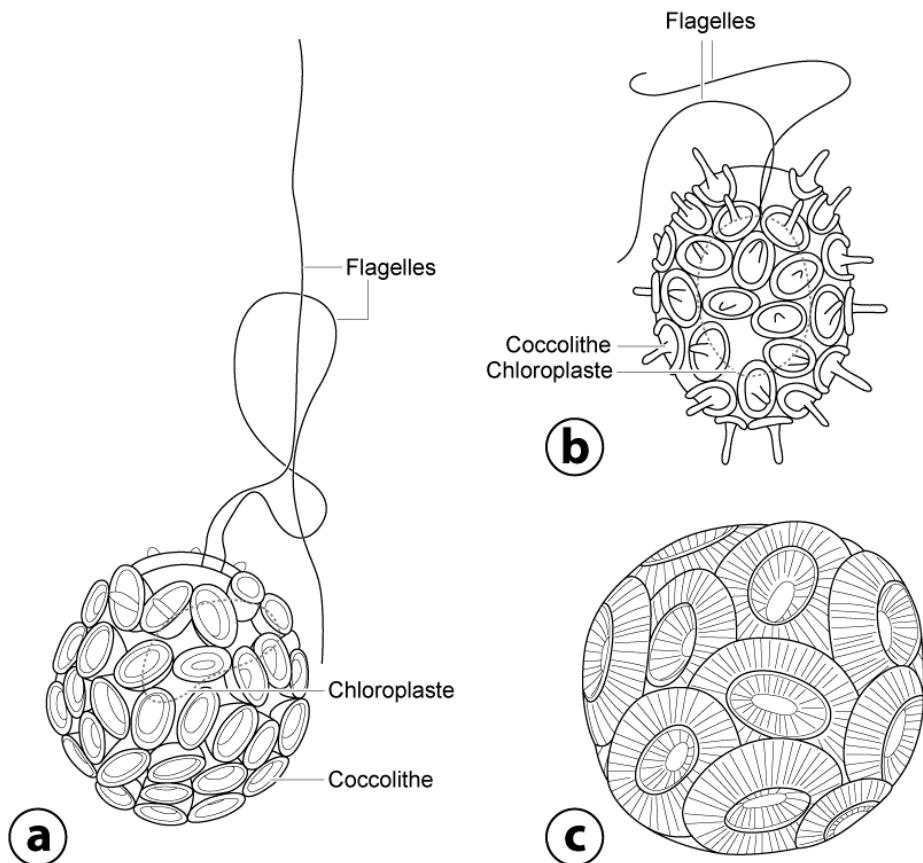


Figure 34 : a-b) Deux Coccolithophoracées vivantes et c) une coccospHERE.

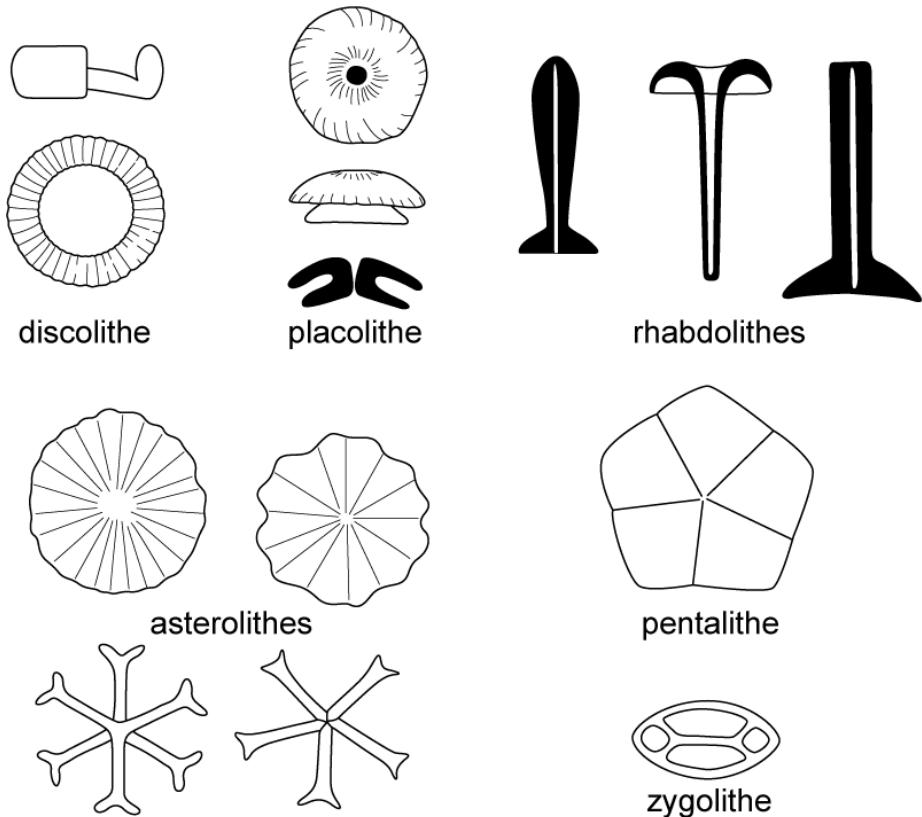


Figure 35 : Différents cocolithes et formes affines.

On appelle coccospère (Fig. 34.c) l'assemblage des pièces calcaires qui enveloppent la cellule. Une coccospère peut porter des éléments de formes différentes qui se dissocient le plus souvent à la mort de l'algue.

Taille comprise entre 20 et 40 µm en moyenne.

Écologie : planctoniques, les cocolithophoridés sont surtout marines et préfèrent les eaux de surface chaudes ou tempérées.

Répartition stratigraphique : connues depuis le Trias jusqu'à nos jours. Il y a d'importants renouvellements de formes à l'Oxfordien, à l'Albien, au Paléocène et au Quaternaire.

Importance pétrogénétique : des formations sédimentaires importantes, les falaises de Craie de Normandie, par exemple, résultent essentiellement de l'accumulation de cocolithes. Les pièces squelettiques de ces algues représentent jusqu'à 30 % des sédiments actuels dans certains fonds océaniques (boues à cocolithes).

V.b - Les Nannoconidés

Les *Nannoconus* sont des éléments, également calcitiques, le plus souvent coniques ou en forme de tonnelet, exceptionnellement organisés en rosettes (Fig. 36 ; voir DERES & ACHERITEGUY, 1980) mais le plus souvent dissociés. Leur position systématique est inconnue.

Taille comprise entre 4 et 30 µm en moyenne.

Répartition stratigraphique : Tithonien à Campanien.

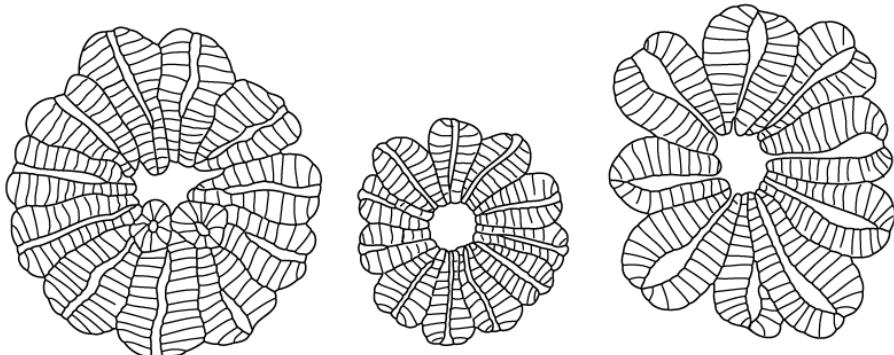


Figure 36 : Groupe de *Nannoconus* (d'après F. DERES & J. ACHERITEGUY, 1980).

VI - Les Gilianelles

[contribution de Gilles Serge ODIN]

En 2005, des microfossiles curieux ont été observés au cours de l'examen de sédiments du Crétacé Supérieur du SO de la France. Après enquête, il est apparu que ces formes n'étaient pas connues (*microporoblematica*, ODIN & LETHIERS, 2006). Un examen attentif spécifique a alors été entrepris pour les caractériser. Parmi elles, un groupe homogène nouveau s'est dessiné et a été nommé gilianelles (Fig. 37). L'examen au microscope électronique a mis en évidence une nanostructure spécifique dite en nappe-ron, qui est l'un des caractères généraux du groupe caractérisé par :

- un test monoloculaire, carbonaté, petit (75-200 µm), composé d'une couche de cristallites radiaires ;
- symétrie axiale à radiaire, parfois bilatérale avec polarité avant-arrière ;
- orifice unique, petit, distinguant une face orale d'une face aborale parfois différenciée en flanc et surface péri-apicale ;
- nanostructure de surface du test en napperon dont le réseau peut s'organiser en microstructures rayonnées ou concentriques ;

- présence commune d'expansions : bras, pieds, ou collerettes équatoriaux, aboraux ou péri-apicaux.

Dans l'état actuel des connaissances, ces formes marines planctoniques ou benthiques n'ont été reconnues que dans l'intervalle Coniacien-Maastrichtien.

Ainsi, en 2008 (ODIN, 2008), la micropaléontologie s'est enrichie d'un nouveau groupe dont 44 espèces ou sous-espèces ont été définies tandis que d'autres attendent une documentation plus complète pour être caractérisées et nommées. D'autres formes, tout aussi problématiques mais n'appartenant aux gilianelles, ont été définies dans les mêmes sédiments et retrouvées, comme les gilianelles, en Espagne où elles occupent la même position stratigraphique ce qui leur donne un intérêt en datation relative régionale. Avec une amélioration de la connaissance des formes déjà décrites, l'étude micropaléontologique moderne est donc encore susceptible de permettre la découverte de groupes entièrement inconnus.

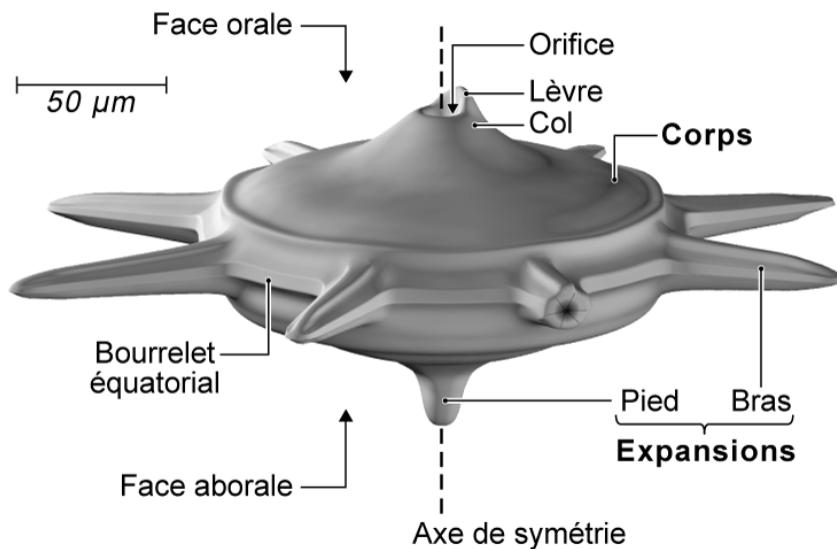


Figure 37 : Gilianelle du type B2a.

VII - Les algues vertes

Certaines algues chlorophycées benthiques sont susceptibles d'être sujettes à des processus de minéralisation. Ce chapitre traite de celles qui présentent le plus souvent une calcification extracellulaire (ce qui inclut le type intercellulaire) sous forme d'aragonite. Ce manchon calcaire constitue un moulage plus ou moins complet du thalle ou d'éléments du thalle.

VII.a - Les Dasycladales

On rapporte un très grand nombre de fossiles à l'Ordre des Dasycladales. De nos jours cependant cet ordre constitue un groupe relicte représenté par 38 espèces réparties dans 10 genres et 2 familles (les Dasycladaceae avec les genres *Batophora* J. AGARDH, 1854, *Bornetella* MUNIER-CHALMAS, 1877, *Cymopolia* LAMOUROUX, 1816, *Chlorocladus* SONDER, 1871, *Dasy-cladus* C. AGARDH, 1828, et *Neomeris* LAMOUROUX, 1816, et les Polyphysaceae avec les genres *Acetabularia* LAMOUROUX, 1812, *Chalmasia* SOLMS-LAUBACH, 1895, *Halicryne* HARVEY, 1859, et *Parvocaulis* BERGER et alii, 2003).

Ces algues sont des organismes unicellulaires géants dont le thalle est composé d'un axe principal, se divisant ou non, articulé ou non, mais surtout non cloisonné. Chez certaines espèces, ce thalle peut atteindre quelques dizaines de cm de long ; chez d'autres son diamètre peut dépasser le centimètre. À la base, on trouve des rhizoides qui servent à ancrer l'algue dans le substrat ou à l'y fixer.

L'axe principal porte de nombreux rameaux, c'est-à-dire des expansions latérales ("branches"), eux-mêmes non cloisonnés (sans cloisons transverses), se divisant ou non en ramifications, disposés au hasard (chez les formes aspondyles, caractéristiques de la Famille fossile des Seletonellaceae : Fig. 39.a, Photo 40 (*Macroporella*), Photo 41, Vidéo 5) ou au contraire organisés en verticilles, c'est-à-dire selon des plans perpendiculaires à l'axe (chez les formes euspondyles : Fig. 39.b-c, Photos 39.a - 39.b - 44 - 45 - 48.a - 48.b, Vidéos 6 - 7), voire en touffes elles-mêmes verticillées (chez les formes métaspondyles de la Famille fossile des Diploporaceae : Fig. 39.d-e, Photo 40 (*Poncetella*), Photos 42 - 43, Vidéos 8 - 9) quand les rameaux sont assemblés en petits bouquets, disposés (Vidéo 9) ou non (Vidéo 8) sur de courtes expansions de l'axe principal, les vestibules. Ces rameaux sont le siège d'une importante activité photosynthétique et servent donc essentiellement à l'assimilation et à la nutrition ; certains peuvent jouer un rôle dans la reproduction (Fig. 41), d'autres peuvent porter des organes reproducteurs bien individualisés (voir ci-dessous).

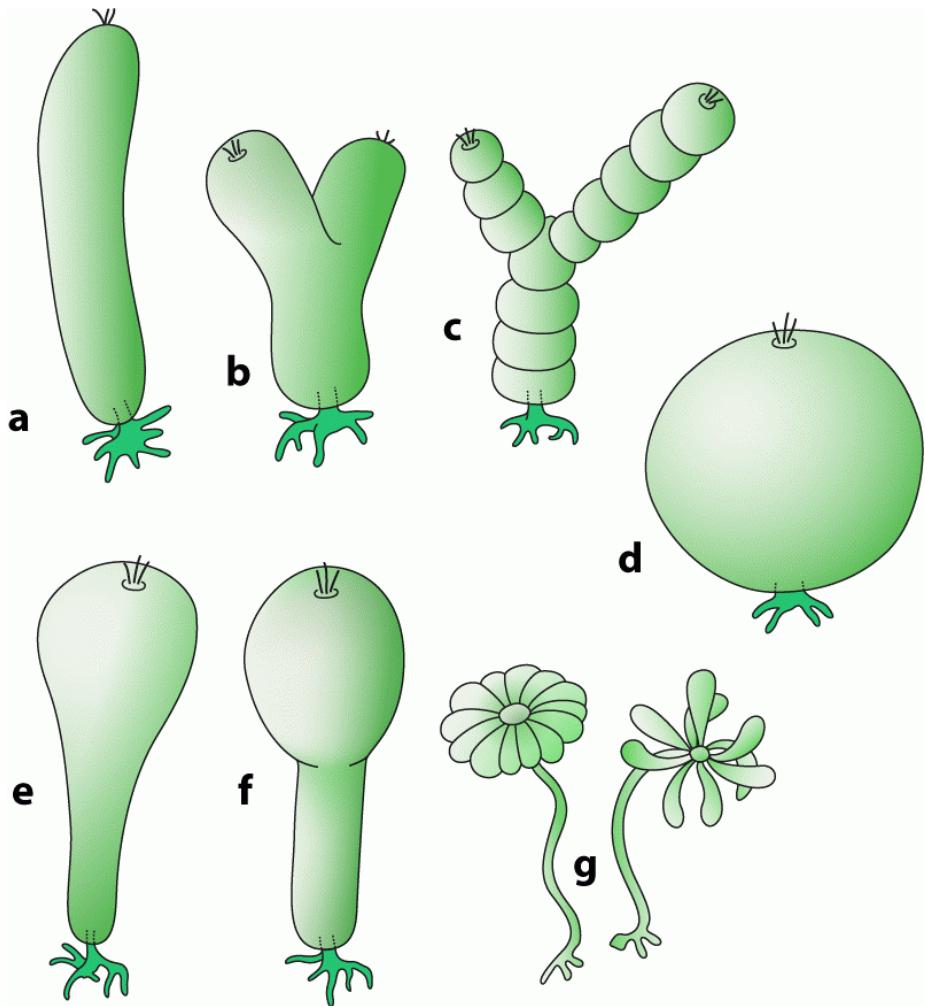


Figure 38 : Différents morphotypes de Dasycladales : a) et b) thalles cylindriques, a) simple, b) divisé, c) thalle en collier de perle, divisé, d) thalle sphéroïde, e) et f) thalles claviformes, en massue, e) sans ou f) avec col, g) thalles umbelliformes.

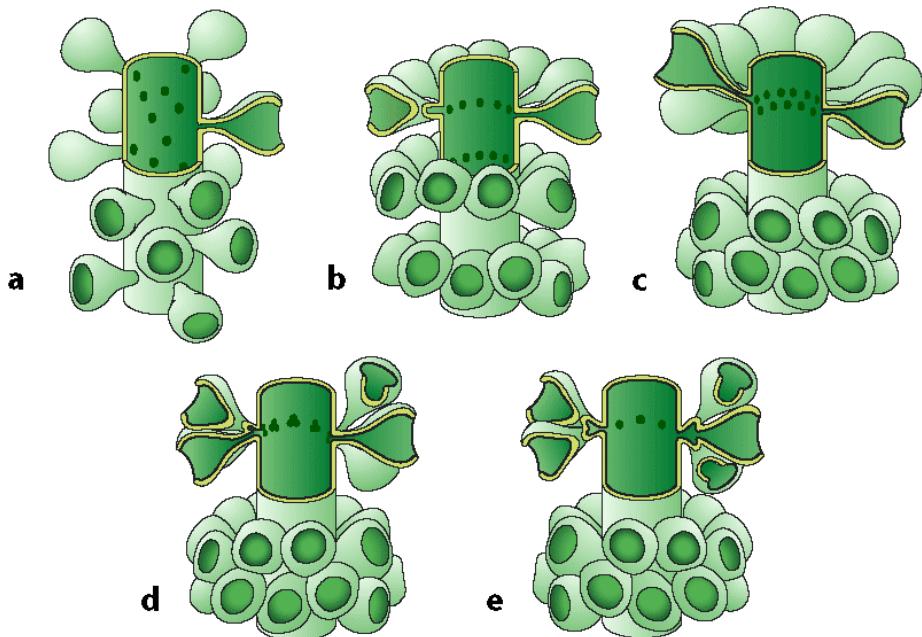


Figure 39 : Différents arrangements des latérales chez les Dasycladales : a) sans arrangement particulier, b) en verticilles simples, c) en verticilles multiples, d) et e) en verticilles simples de touffes, d) sans ou e) avec vestibule.

Les principaux morphotypes de thalles sont les suivants (Fig. 38) :

- cylindrique (tubulaire), simple (Fig. 38.a, Photos 41 - 42 - 43 - 44 - 45 - 48.b - 49) ou divisé (Fig. 38.b),
- en "collier de perles" (moniliforme, Photos 39.a - 39.b), simple ou divisé (Fig. 38.c),
- en "massue" (claviforme : Fig. 38.e-f) ou en "boule" (sphérique : Fig. 38.d),
- en "ombelle" (qui correspond à un type dérivé du thalle cylindrique et n'est connu que dans la Famille des Polyphysaceae : Fig. 38.g).

À la mort de l'algue, le manchon calcaire est vidé de son contenu organique. Il est percé de nombreux pores qui sont autant d'empreintes laissées par les rameaux (ramifications et ampoules fertiles). Parfois la calcification n'a pas atteint l'axe principal et la base des rameaux, les ramifications d'ordre peu élevé par exemple, est peu ou pas calcifiée ; on parle de cavité axiale pour désigner cette structure. La calcification varie d'une espèce à l'autre, voire au sein d'une même espèce en fonction des conditions environnementales, et on ne peut parfois accéder qu'à une partie de l'information.

Durant la phase végétative, le *nucleus* primaire diploïde unique est localisé à la base du thalle, au niveau des rhizoïdes. Au cours de la phase de reproduction, le *nucleus* primaire diploïde donne naissance à des *nuclei* secondaires haploïdes qui se répandent dans le cytoplasme. Ces *nuclei* peuvent alors soit y produire directement des zoïdes, soit se diviser en cystes qui pourront germer directement ou donner à leur tour des zoïdes : on parle alors de formes endospores (Fig. 40.a, Photo 43) pour désigner ce type de dispositif primitif (connu chez les familles fossiles des *Seletonellaceae* et des *Triploporellaceae*).

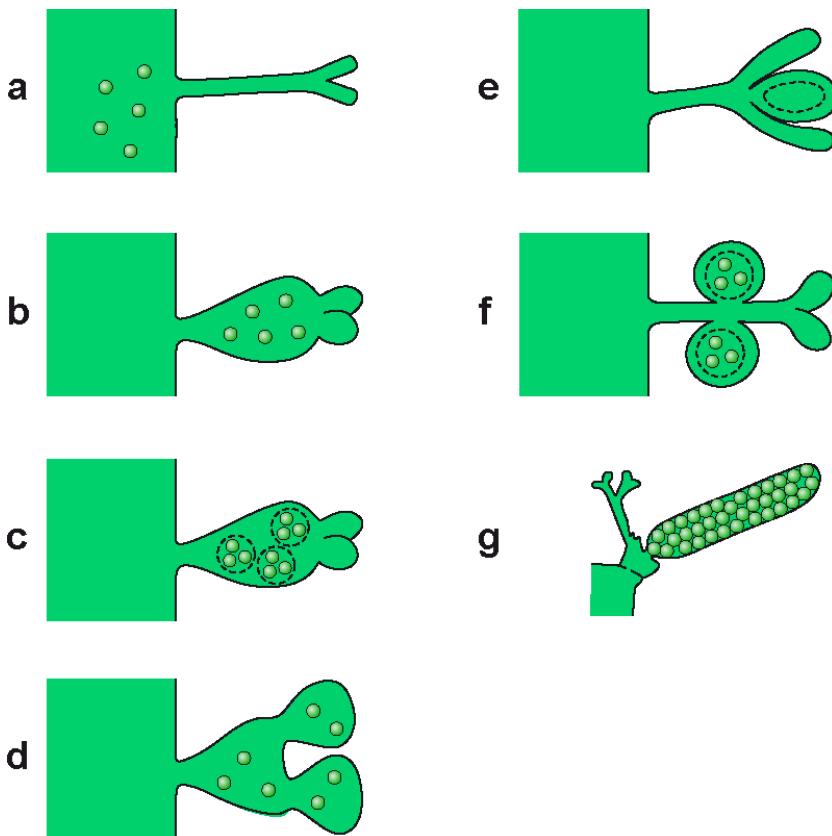


Figure 40 : Différents agencements des cystes chez les Dasycladales : a) dans l'axe principal (type endospore), b) et c) dans la ramifications primaire (type cladospore), b) avec des cystes isolés ou c) avec des agrégats, d) dans la ramifications primaire et celles d'ordre supérieur (type syringospore), e) dans une ampoule fertile, monocystique, en position terminale (type choristospore), f) dans des ampoules fertiles, pluricystiques, en positions latérales (type goniospore), g) dans une ampoule fertile, pluricystique, allongée, parfois appelée "spicule" (type umbellospore).

Chez certaines espèces fossiles, à la maturité de l'algue, les rameaux jouaient également un rôle dans la reproduction : les nuclei secondaires haploïdes atteignaient les ramifications de premier ordre dilatées et y pénétraient. Dans le cas le plus commun seul ce premier ordre était modifié : on parle alors de formes cladospores (Fig. 40.b-c, Photo 50) pour désigner ce type de dispositif (connu également chez les Seletonellaceae et les Triploporellaceae) ; lorsque c'est au tour des ramifications d'ordre plus élevé d'être déformées, on parle de formes syringospores (connues dans la Tribu fossile des Thrysoporellae : Fig. 40.d, GRANIER, 2010).

Certaines espèces présentent 2 types de verticilles, fertiles et stériles, disposés en alternances relativement régulières (connus dans la Famille des Polyphysaceae).

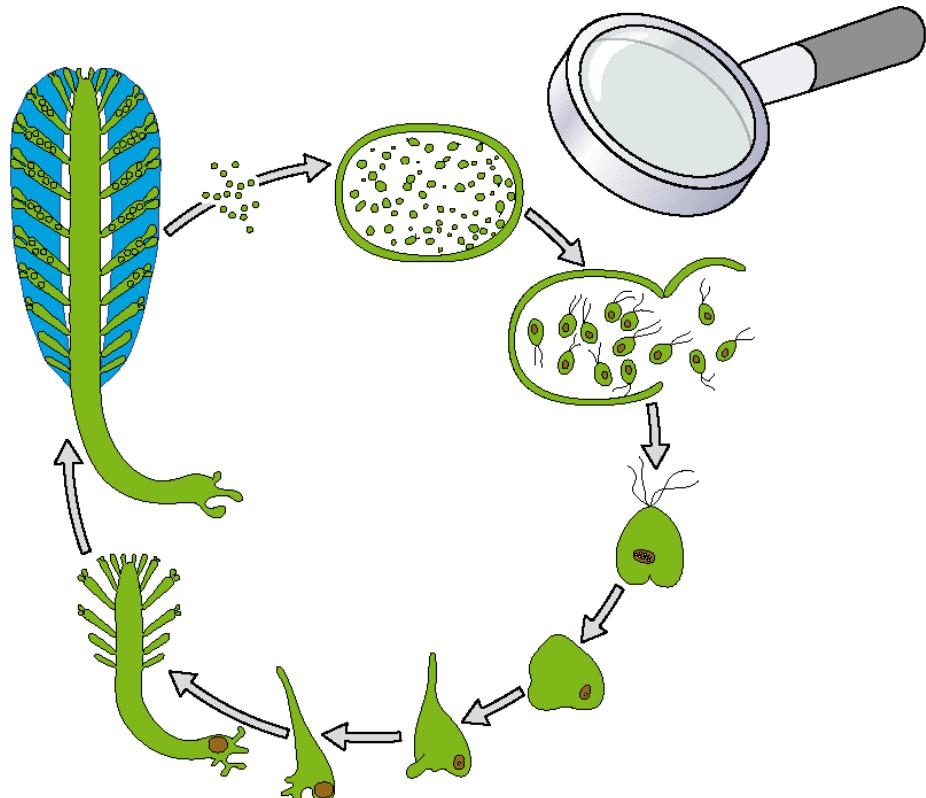


Figure 41 : Cycle biologique d'une Dasycladale.

Chez les représentants modernes de l'Ordre, il ne subsiste que des formes euspondyles (c'est-à-dire verticillées) et les 3 dispositifs reproductifs précédemment mentionnés ont disparu (ou ne réapparaissent qu'à la

faveur de cas tératologiques) : on a affaire à des organes de reproduction bien individualisés, c'est-à-dire à d'authentiques ampoules fertiles (il ne s'agit pas de ramifications modifiées car on a observé qu'au cours de l'ontogénèse elles se formaient ultérieurement aux ramifications voisines). Lorsque ces ampoules sont en position terminale sur une ramification, on parle de formes choristospores (Fig. 40.e, Photo 49) ou, dans le cas particulier des formes en ombelle (connues uniquement dans la Famille des Polyphysaceae), on parle de formes umbellospores (Fig. 40.g). Enfin on est aujourd'hui amené à distinguer des formes goniospores (autrefois regroupées avec les choristospores sous la même appellation, GRANIER, 2011) dont les ampoules sont en position latérale sur des ramifications de premier ordre (Fig. 40.f).

Le nombre de divisions dans un rameau, c'est-à-dire le nombre d'ordre de ramifications, et les formes diverses de ramifications, par exemple :

- phloïophore, s'élargissant vers l'extérieur,
- trichophore, s'amincissant vers l'extérieur, etc.

sont des caractères qui permettent de déterminer des taxons allant du niveau de l'espèce à celui de la tribu.

VII.b - Les Bryopsidales

De nos jours, ce groupe d'algues compte relativement peu de formes calcifiées. Dans l'enregistrement fossile, on rencontre quelques formes qui s'apparentent aux genres *Halimeda* LAMOUROUX, 1812, ou *Penicillus* LAMARCK, 1813.

Dans le cas présent, chaque individu correspond à une cellule géante pluri nucléée (coenocytique) à structure siphonée, c'est-à-dire dont le thalle est constitué d'un enchevêtrement de filaments dépourvus de cloisons transversales. Chez certains espèces actuelles, un seul individu par le biais de son réseau de rhizoïdes peut couvrir plusieurs dizaines de m².

La partie dressée du thalle de l'algue, se divisant ou non, peut en outre être articulée ou non. Les représentants du genre *Halimeda* sont articulés et la forme générale du thalle (Fig. 42) n'est pas sans évoquer l'aspect d'un cactus à raquette miniature (*Opuntia* MILL.). Les filaments qui traversent des articles successifs sont toujours dépourvus de cloisons transversales. Ainsi nuclei et organites circulent librement dans le cytoplasme. Au cours de la phase végétative, si des articles sont arrachés accidentellement, ils peuvent donner naissance à de nouveaux individus : cette forme de reproduction asexuée (bouturage) contribue largement à la propagation de certaines espèces (voir l'exemple malheureusement toujours d'actualité de la *Caulerpa taxifolia* (M. VAHL)). Lors de la phase de reproduction sexuée, les zooïdes qui se forment directement à partir de la totalité du thalle (holocarpie) sont libérés, le thalle meurt et les segments calcifiés vidés de leur

contenu organique se dissocient sur place. L'état fragmentaire des fossiles et la grande variabilité morphologique des différents articles entre individus d'une même espèce (voire sur un seul et même thalle) rendent difficile leur identification spécifique.

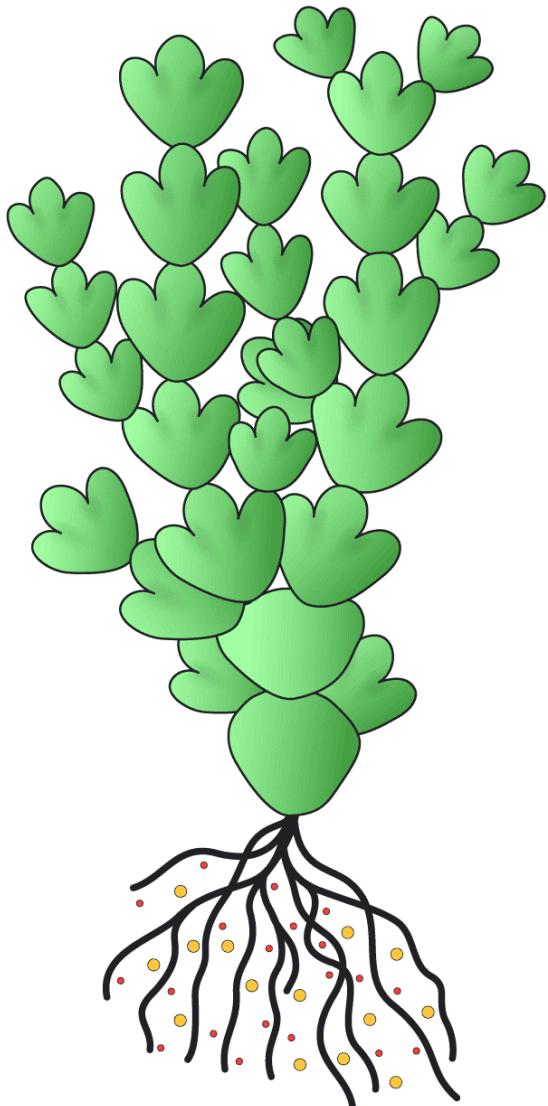


Figure 42 : Représentation schématique d'une *Halimeda opuntia*.

Le manchon calcaire est traversé par de nombreux pores, les empreintes laissées par les filaments, notamment les filaments corticaux. La calcification étant le plus souvent moins développée dans la zone axiale, on y observe une cavité irrégulière et plus rarement la trace des filaments axiaux (Fig. 43).

Dans quelques thalles fossiles calcifiés (notamment chez *Gymnocodium* PIA, 1920, et *Permocalculus* ELLIOTT, 1955), on observe des structures ovoides qui ont d'abord été interprétées comme des traces d'organes de reproduction. De ce fait, ces formes ont été rapportées à une famille distincte, les Gymnocodiaceae, elle-même exclue des Chlorophytes. Aucun élément ne permet de valider, ni à l'inverse de rejeter, définitivement cette hypothèse.

Répartition stratigraphique :

Selection de genres représentatifs au Paléozoïque : *Abacella* MASLOV, 1956, *Anthracoporella* PIA, 1920, *Dimorphosiphon* HØEG, 1927, *Lancicula* MASLOV, 1956, *Litanaia* MASLOV, 1956, *Orthriosiphon* JOHNSON et KONISHI, 1956, et *Palaeoporella* STOLLEY, 1893.

Succodium KONISHI, 1954, est connu à la transition Paléozoïque – Mésozoïque. *Gymnocodium* PIA, 1920, est exclusivement Permien.

Genres représentatifs au Mésozoïque : *Arabicodium* ELLIOTT, 1957, et *Permocalculus* ELLIOTT, 1955, qui est apparu dès le Permien

Genres représentatifs au Mésozoïque et au Cénozoïque : *Boueina* TOULA, 1883, *Halimeda* LAMOUROUX, 1812, *Ovulites* LAMARCK, 1816 (probablement synonyme du *Penicillus* LAMARCK, 1813).

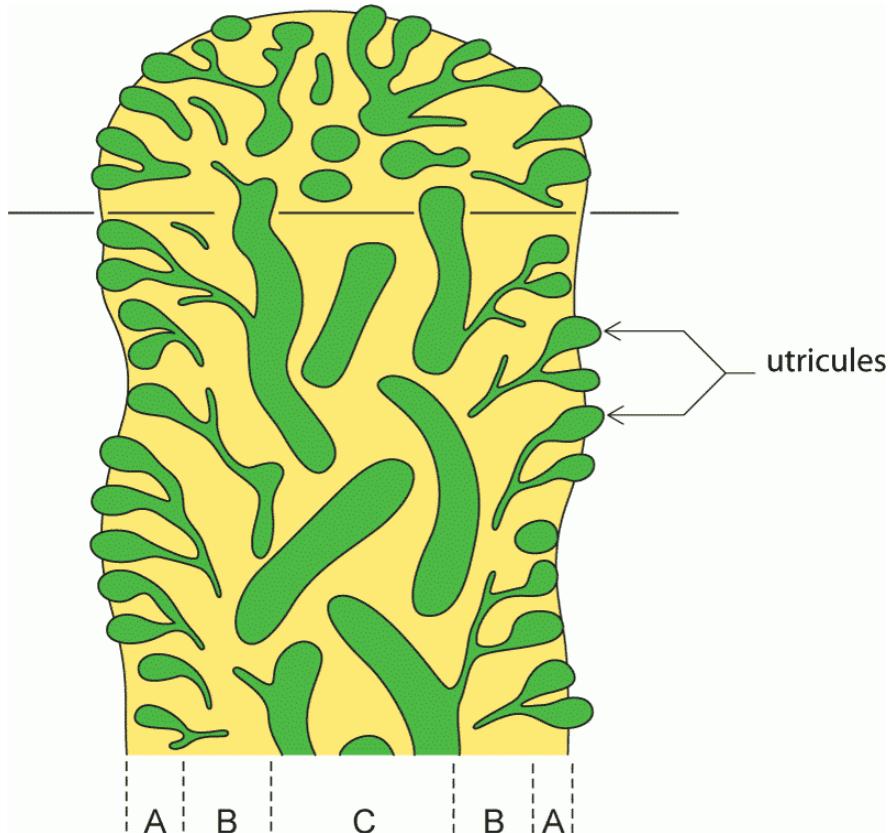


Figure 43 : Agencement et division des filaments non cloisonnés d'une Bryopsidale. C) filaments médullaires, B) filaments corticaux, A) utricules.

VIII - Les algues rouges

Certaines algues rhodophycées benthiques sont sujettes à des processus de minéralisation. Dans ce chapitre, sont traitées celles qui présentent une calcification intracellulaire, sous forme de calcite magnésienne. Ne sont pas traitées les Ungdarellaceae (formes paléozoïques d'affinités incertaines), les Cryptonémiales (Famille des Peyssonneliaceae, dont le représentant fossile le plus connu est *Polystrata alba* (PFENDER) DENIZOT = *Pseudolithothamnium album* PFENDER) ou les Gigartinales (avec l'espèce *Agardhiellopsis cretacea* M. LEMOINE).

Les Corallinales

De nos jours, l'Ordre des Corallinales est représenté par 42 genres répartis dans trois familles (les Sporolithaceae, les Hapalidiaceae et les Corallinaceae). Les premiers représentants de ce groupe sont d'âge Crétacé inférieur. On pense qu'ils dérivent des *Parachaetetes* DENINGER et formes affines ("Solenoporaceae"), un groupe exclusivement fossile. Un très grand nombre d'espèces fossiles ont été décrites sur des critères dont on considère aujourd'hui qu'ils sont dépourvus de valeur taxinomique : c'est un important travail de révision qui doit donc être entrepris.

Les thalles de ces algues pluricellulaires résultent de l'agrégation de files de cellules (filaments). Au sein d'une même file, deux cellules-filles successives sont connectées par un pore étroit ("pit connection") : on parle de connexion primaire ; ce pore est rapidement colmaté par un bouchon ("pit plug") : cette disposition n'a pas encore été observée sur des fossiles. Lorsqu'il s'agit de désigner la connexion par un pore étroit entre deux cellules-soeurs adjacentes appartenant à deux files voisines mais distinctes, on parle de connexion secondaire. Lorsque la connexion est plus franche, on parle de fusion cellulaire. On peut aussi observer localement des cellules de plus grandes dimensions, appelées trichocytes.

Les thalles présentent une grande variété morphologique avec fondamentalement deux types principaux : des formes encroûtantes (y compris auto-encroûtantes) et des formes articulées.

Chez les formes articulées, représentées par 16 genres (connues uniquement dans la Famille des Corallinacées), le thalle vivant, ramifié, est constitué d'une succession de segments alternativement calcifiés puis non, respectivement nommés articles (*intergenicula*) et noeuds (*genicula*), succession qui lui confère une certaine souplesse. Chez les formes fossiles, les articles sont le plus souvent dissociés, épars dans le sédiment.

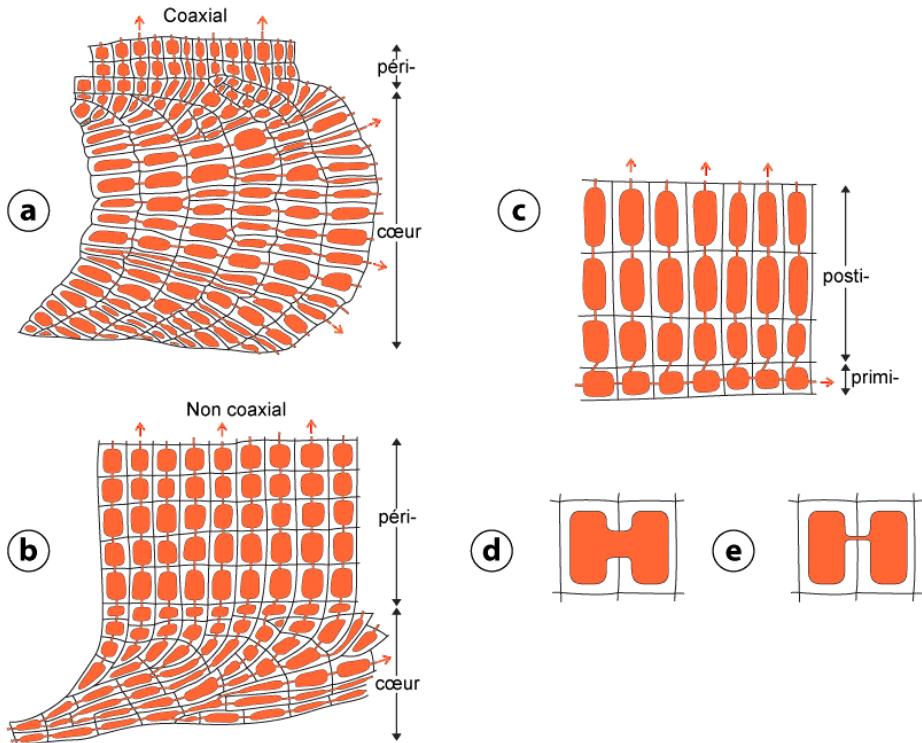


Figure 44 : a) et b) thalles monomères comportant une partie basale, appelée hypothalle ou cœur, constituée de plusieurs couches de filaments, plusieurs fois divisés, a) co-axiaux (chez *Mesophyllum*, par exemple) ou b) non (en "jet d'eau" : chez *Lithothamnium*, par exemple), dont sont issus ceux dressés de la partie périphérique, appelée péri-thalle. c) thalle dimère comportant une couche ventrale constituée par les filaments primigènes dont sont issus les filaments postigènes dressés de la partie périphérique, appelée péri-thalle.

Au sein d'une même file, deux cellules-filles successives sont connectées par un pore étroit : il s'agit d'une connexion primaire. Lorsque deux cellules-soeurs adjacentes appartenant à deux files voisines mais distinctes sont connectées, on parle de connexion secondaire. En e) la connexion se fait par un pore étroit ; en d) la connexion est plus franche et on parle de fusion cellulaire.

Les formes encroûtantes présentent une organisation dorsoventrale et il est possible de distinguer une face inférieure (ventrale) et une face supérieure (dorsale). Deux types d'organisation se distinguent (Fig. 44.a-c) :

- les thalles dimères comportant une couche ventrale constituée par les filaments primigènes (Fig. 44.c) dont sont issus les filaments postigènes dressés de la partie périphérique - appelée "péri-thalle" dans les publications anciennes - ;

- les thalles monomères comportant une partie basale (le coeur) – appelée "hypothalle" dans les publications anciennes - constituée de plusieurs couches de filaments, plusieurs fois divisés, co-axiaux (Fig. 44.a, chez *Mesophyllum*, par exemple) ou non (en "jet d'eau" : Fig. 44.b, chez *Lithothamnium*, par exemple), dont sont issus ceux dressés de la partie périphérique - appelée "périthalle" -.

La partie superficielle du thalle, appelée épithalle, est constituée de cellules non calcifiées et par conséquent non préservées dans le fossile.

Le cycle de reproduction, complexe, est dit "trigénétique" car produisant trois générations successives. La première génération est composée des gamétophytes, mâles et femelles, haploïdes (n), elle produit des gamètes. Les deux autres générations sont des sporophytes diploïdes ($2n$). La fusion des gamètes donne un zygote qui va se développer sur le gamétophyte femelle en donnant naissance à un carposporophyte ($2n$ chromosomes). Par mitose ce dernier produit des carpospores diploïdes donnant naissance à des tétrrasporophytes ($2n$ chromosomes). Par méiose ces derniers engendrent des tétraspores haploïdes à l'origine des nouveaux gamétophytes (n chromosomes).

Écologie : Exclusivement marines, présentes dans tous les océans du Monde, les Corallines peuvent atteindre des records de profondeur (jusqu'à - 250 m). On les trouve sur l'ensemble des substrats rocheux. Certaines sont épiphytes (elles grandissent sur d'autres algues) et d'autres épizoïques (elles vivent fixées sur des coquilles de mollusques).

Les Sporolithaceae (Famille)

La caractéristique de cette famille de formes inarticulées est de disposer de tétraspores, cruciées (= divisées en croix : Fig. 45.d), ou bispores localisées dans sporanges, souvent groupés en sores (Fig. 45.a). Elle ne comporte que des formes encroûtantes avec notamment le genre moderne, *Sporolithon* HEYDRICH, 1897, auquel la famille doit son nom. Les tétraspores étant très rarement préservées, il est impossible de déterminer leur structure, cruciée ou zonée, chez la plupart des formes fossiles (Photos 37 - 38) qui seront donc, selon l'école, soit rapportées au morpho-genre *Archaeolithothamnion* ROTHPLETZ ex FOSLIE, 1893, soit encore attribuées à *Sporolithon*? sp. (le point d'interrogation symbolisant alors un certain degré d'incertitude). Leur plus ancien représentant serait d'âge Crétacé inférieur (Hauterivien).

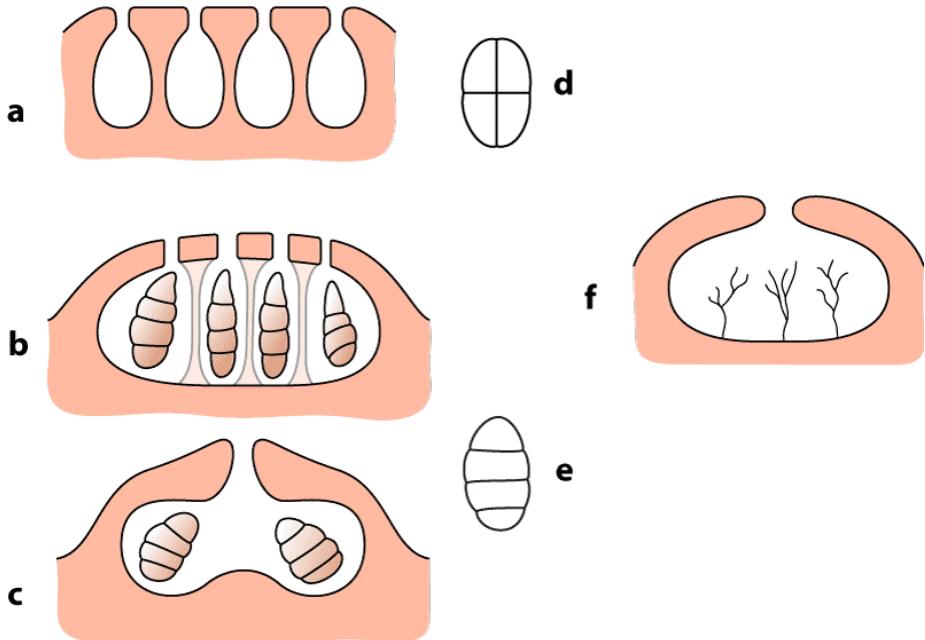


Figure 45 : Reproduction asexuée s'effectuant à partir de tétraspores d) cruciée ou e) zonée se développant dans des a) sporanges groupés en sores ou dans des conceptacles b) pluriperforé ou c) monoperforé (avec une base "bombée"). Reproduction sexuée avec unf) conceptacle monoperforé (base "plane").

Les Haplidiaceae (Famille)

Melobesioideae (Sous-Famille)

La caractéristique de cette famille de formes inarticulées est de disposer de tétraspores, zonées (divisées en zones : Fig. 45.e), ou bispores sont localisées dans des conceptacles - qui peuvent être considérés comme des sores modifiés - pluriperforés (Fig. 45.b). Leur plus ancien représentant serait d'âge Crétacé "moyen" (Albien).

Fusion cellulaire (Fig. 44.d).

Sélection de genres représentatifs :

- *Melobesia* (dimère)
- *Lithothamnion* (monomère, hypothalle à filaments co-axiaux)
- *Mesophyllum* (monomère, hypothalle à filaments en "jet d'eau")

Les Corallinaceae (Famille)

C'est à cette famille qui comporte 3 sous-familles de formes inarticulées que se rattache également l'ensemble des formes articulées. Ici, tétraspores, zonées (divisées en zones), ou bispores sont localisées dans des conceptacles - qui peuvent être considérés comme des sores modifiés – monoperforés (Fig. 45.c).

Lithophylloideae (Sous-Famille)

Cette sous-famille recèle des formes inarticulées (non-géniculées) et articulées (géniculées). On n'y observe pas de fusion cellulaire (apparemment absente ou rare).

- inarticulées (non-géniculées). Sélection de genres représentatifs :
 - *Lithophyllum* et *Titanoderma* (thalle dimère)
 - *Distichoplax* et *Tenarea* (thalle dimère, et à organisation bilatérale symétrique)
- articulées (géniculées). Sélection de genres représentatifs :
 - *Amphiroa*
 - *Lithothrix*

Mastophoroideae (Sous-Famille)

Cette sous-famille ne recèle que des formes inarticulées (non-géniculées). On y observe la fusion cellulaire.

Sélection de genres représentatifs :

- *Hydrolithon*
- *Lithoporella*
- *Neogoniolithon*
- *Spongites*

Corallinoideae (Sous-Famille)

Cette sous-famille ne recèle que des formes articulées (géniculées). On y observe la fusion cellulaire.

Sélection de genres représentatifs :

- *Arthrocardia*
- *Corallina*
- *Jania*

IX - Les Charophytes

Algues dont les parois cellulaires sont incrustées de calcaire, ce qui les rend aptes à la fossilisation.

Leur appareil végétatif long de quelques centimètres à quelques décimètres est formé d'un axe filamentueux ramifié en verticilles (Fig. 46.a).

La tige est formée de nœuds très courts séparés par des entre-nœuds. Dans ces entre-nœuds l'axe cellulaire est entouré de filaments pluricellulaires (Fig. 46.c).

De chaque nœud naît un verticille de rameaux courts (Fig. 46.b).

Les organes reproducteurs sont situés aux nœuds. L'organe femelle est un oogone entouré d'une enveloppe faite de 5 filaments spiralés (Fig. 46.b).

Après la fécondation les parois de l'enveloppe calcifiées persistent donnant à la graine ou gyrogonite son aspect spiralé caractéristique (Fig. 46.d).

Écologie : eaux douces et eaux saumâtres.

Répartition stratigraphique : Silurien à Actuel.

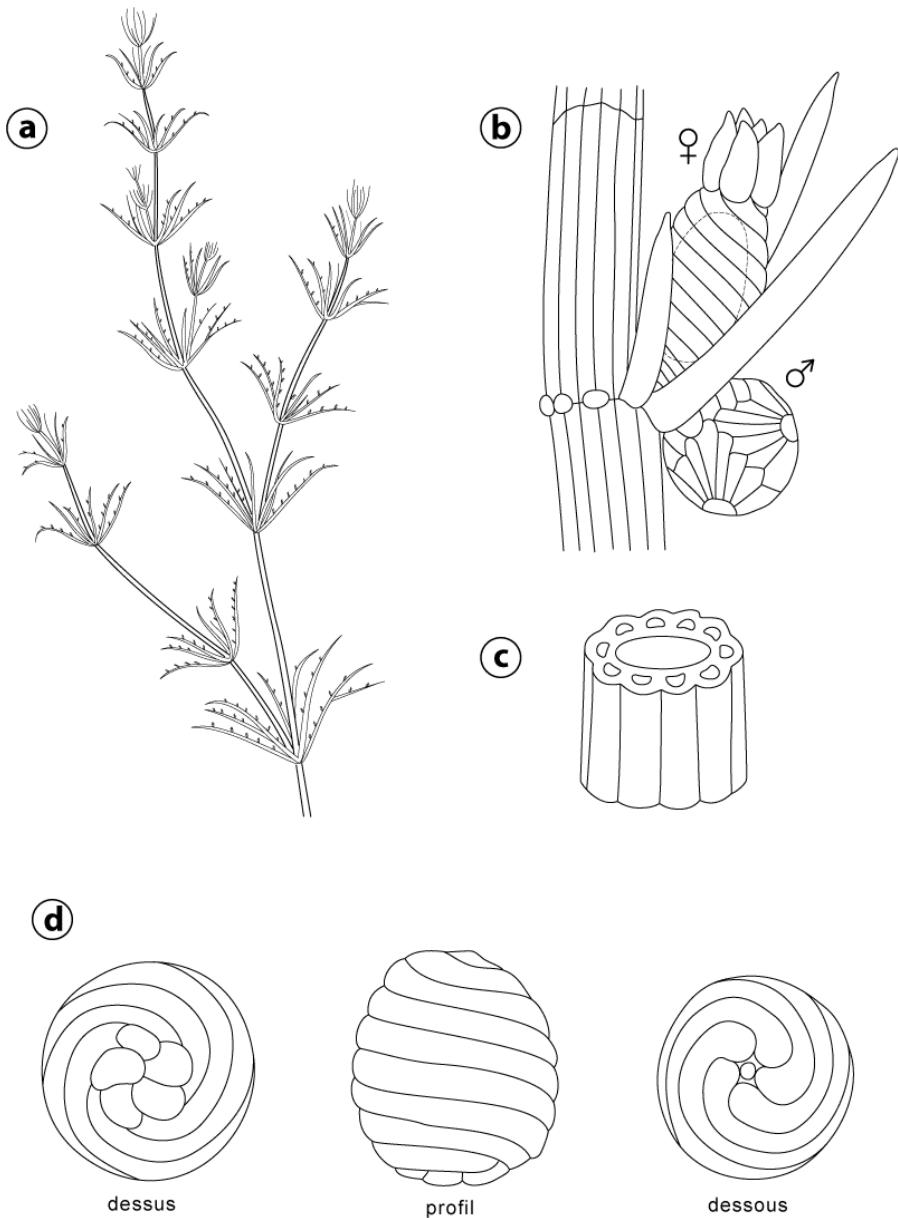


Figure 46 : Charophytes : a) Port de la plante ; b) noeud, verticille de rameaux courts, organes reproducteurs femelles : oogones entourés de 5 filaments spiralés (gyrogonites) se terminant au sommet par la coronule ; c) section d'une tige ; d) divers aspects d'une gyrogonite fossile.

X - Les Radiolaires

Protozoaires (Actinopodes) à squelette intracytoplasmique siliceux (opalé) formé par des trabécules pleins constituant une sorte de grillage (Fig. 47).

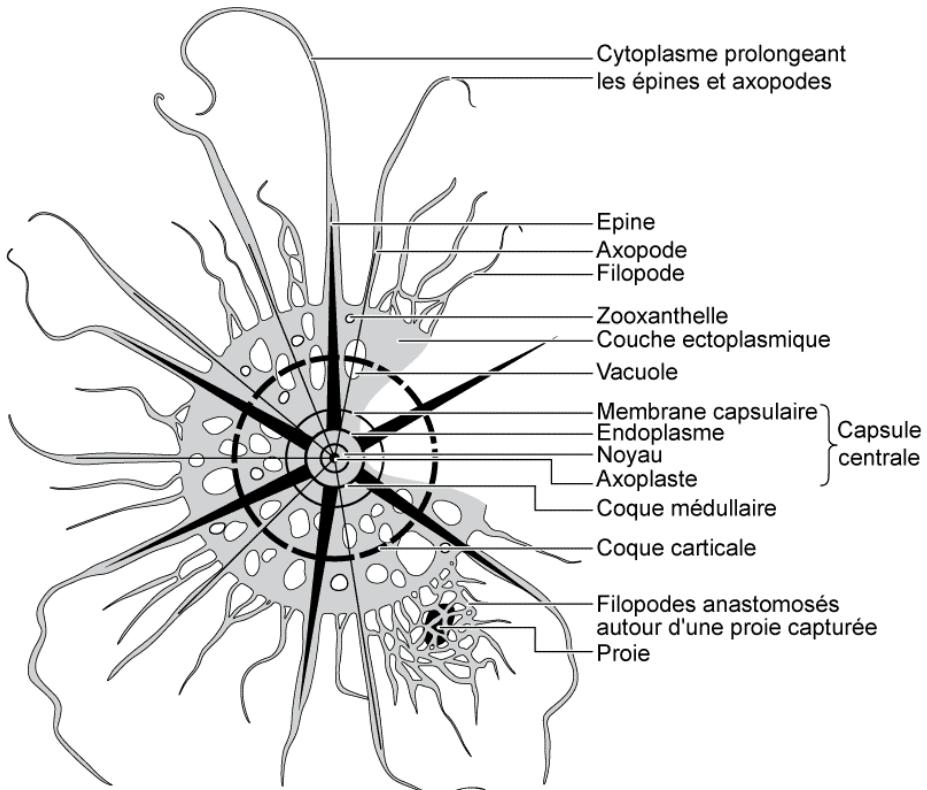


Figure 47 : Schéma d'organisation d'un Radiolaire sphérique.

Taille : 0,1 à 0,5 mm.

Se différencient :

- les Nassellaires, possédant une coque à symétrie axiale et une "ouverture" basale (Fig. 49),
- les Sphaerellaires ou Spumellaires, à coque sphérique, à symétrie radiale, dépourvue d'ouverture, constituée soit d'une sphère, soit de plusieurs sphères emboîtées et reliées entre elles par des trabécules, munie ou non d'épines radiales (Fig. 48).

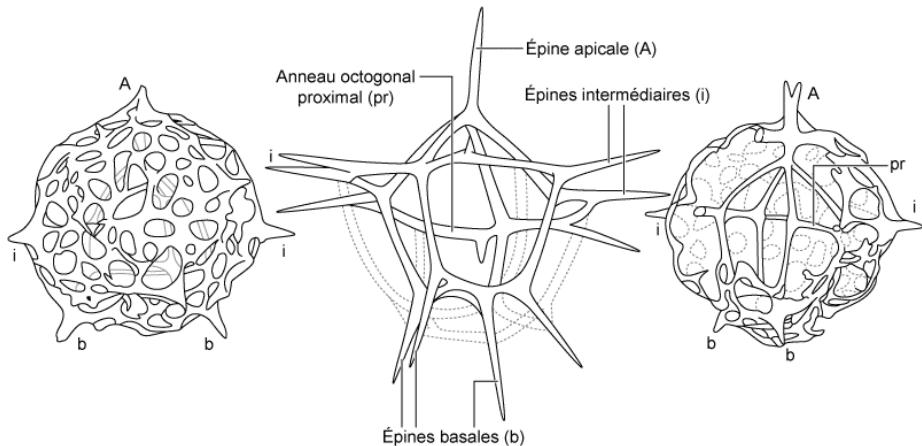


Figure 48 : Morphologies de Spumellaires.

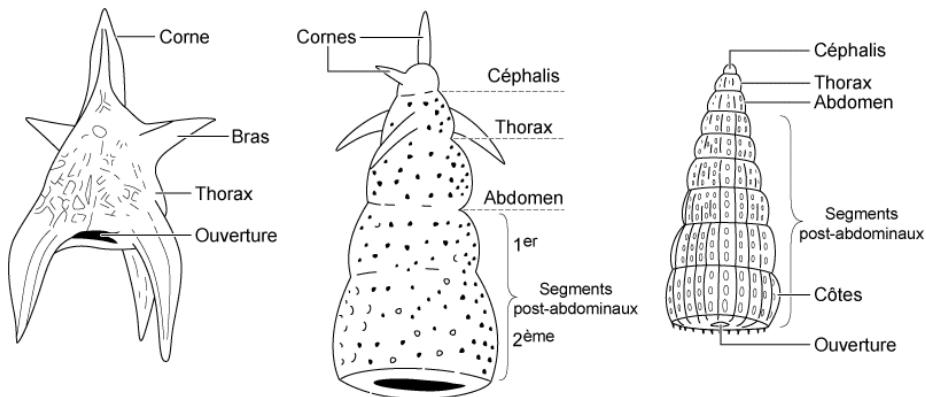


Figure 49 : Morphologies de Nassellaires.

Écologie : marins planctoniques, vivant surtout dans les niveaux supérieurs de la colonne d'eau. Les plus grandes concentrations se trouvent dans les régions équatoriales.

Répartition stratigraphique : Cambrien à Actuel.

Importance pétrogénétique : genèse de roches siliceuses (radiolarites, jaspes, phanites).

XI - Les Diatomées (Bacillariophycées)

Algues unicellulaires non flagellées dont le test siliceux (opalé), appelé frustule, est formé de deux valves emboîtées à la manière d'une boîte et de son couvercle (Fig. 50).

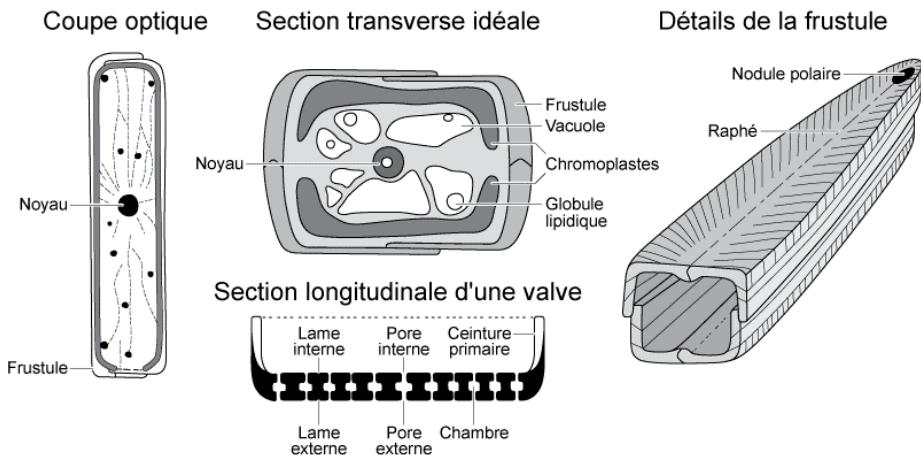


Figure 50 : Diatomées vivantes et leur squelette (*Navicula viridis*). Sur la section longitudinale, la plaque valvaire (en noir) est formée d'une lame externe et d'une interne entre lesquelles un réseau de cloisons délimite des chambres.

Se distinguent deux grands groupes :

- les diatomées pennées à frustule elliptique ou fusiforme, présentant une symétrie bilatérale (Fig. 51) et possédant le plus souvent un raphé (ou zone médiane non ornée)
- les diatomées centriques à frustule circulaire ou polygonal, présentant une symétrie radiale (Fig. 51) et une ornementation rayonnante.

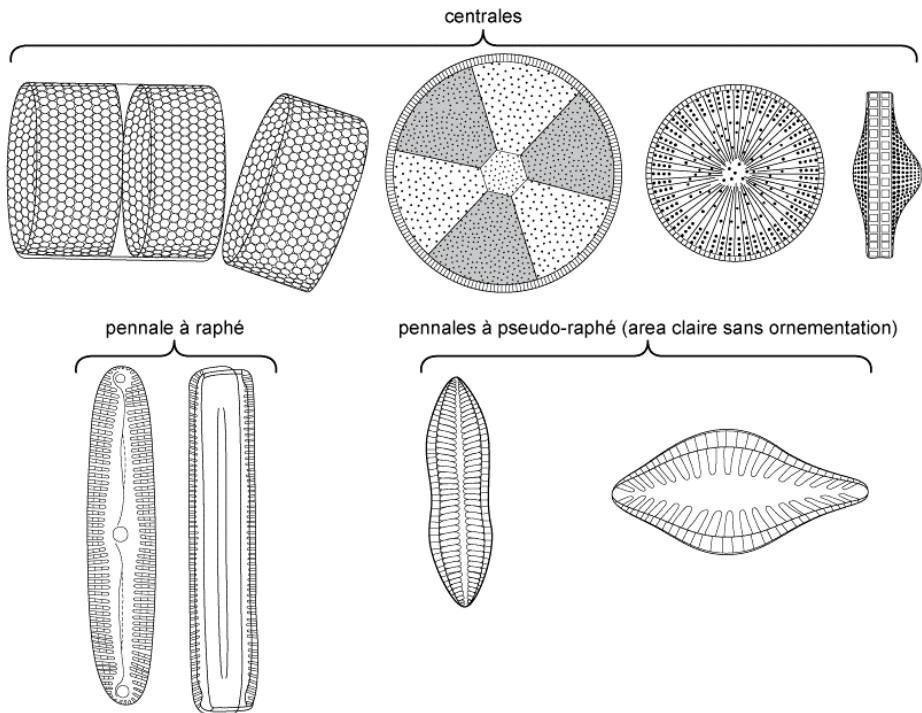


Figure 51 : Variété des frustules de Diatomées.

Écologie : les diatomées pennées, très répandues dans les eaux douces, sont surtout benthiques ; les diatomées centriques, surtout marines et planctoniques, dominent dans les eaux de surface des régions froides et des régions d'upwelling côtier.

Répartition stratigraphique : Crétacé "moyen" (Aptien) jusqu'à Actuel, abondantes à partir du Crétacé supérieur.

Importance pétrogénétique : genèse des diatomites.

XII - Les Conodontes

Les Conodontes sont de petites pièces phosphatées (phosphate de calcium : apatite fluorée ou frankolite ; ce minéral ayant une densité 2,84 à 3,10 g/cm³, on utilise du bromoforme, un produit "toxique", ou du polytungstate de sodium pour séparer ces restes), ressemblant à des dents, qui se trouvent dans les roches sédimentaires marines depuis le Cambrien jusqu'au Trias.

Ils ont une taille comprise entre 0,1 mm et 5 mm. Leur couleur est ambrée, brune ou noire. Leur structure est lamellaire.

Trois types de formes sont distingués :

- des cônes (Fig. 52.a) ;
- des lames dont un côté est recouvert de denticules (Fig. 52.b) ;
- des plates-formes sculptées de rides et couvertes de tubercules, prolongées par une lame denticulée (Fig. 52.c).

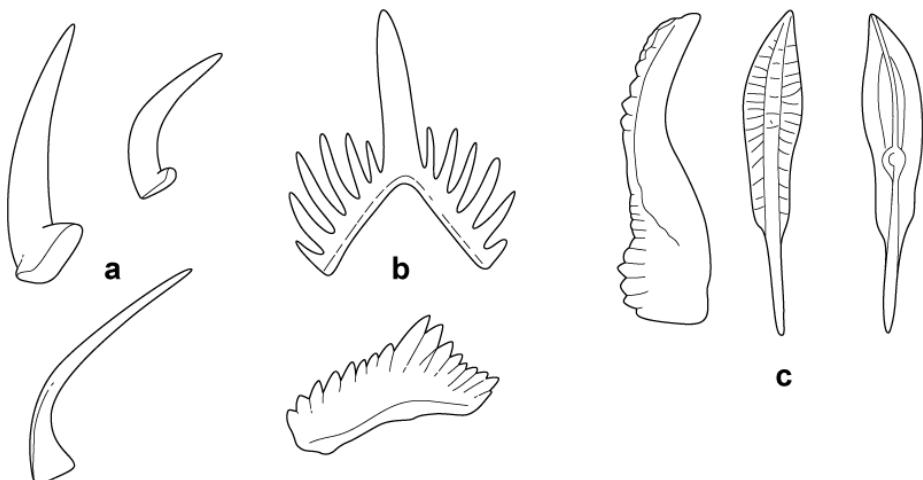


Figure 52 : Trois types morphologiques de Conodontes : a) cônes ; b) lames ; c) plates-formes.

Depuis leur découverte en 1856 et malgré leur utilisation si importante pour la datation des terrains du Paléozoïque, les Conodontes sont demeurés énigmatiques. La découverte d'un spécimen exceptionnel en 1983 (BRIGGS *et alii*, 1983), moulage des parties molles de l' "animal à conodontes" a levé un coin du voile : l'animal vermiforme mesure 4 cm de long et présente une symétrie bilatérale. Il ne possède pas de pièce squelettique à l'exception des Conodontes qui ont conservé leur disposition naturelle à l'extrémité buccale du corps. Les caractères du spécimen et de

la structure des "dents" ont permis d'envisager des affinités avec les Ché-tognathes et avec les Chordés primitifs.

Écologie : probablement nectoniques et benthiques.

XIII - Les Dinoflagellés ou Dinobiontes

[contribution d'Edwige MASURE]

Ce sont des algues unicellulaires eucaryotes polymorphes, à paroi cellulose ou minéralisée, à pigment brun-orangé (Bichontes, alvéolés) dont la taille est comprise entre 20 et 250 µm. Les dinoflagellés vivants peuvent être autotrophes, hétérotrophes ou mixotrophes (c'est-à-dire à la fois auto-trophe et hétérotrophe), phototrophes, symbiontes ou parasites.

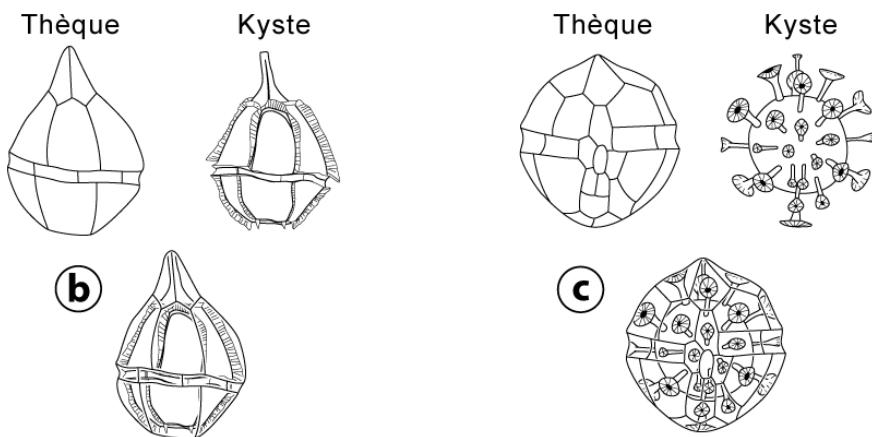
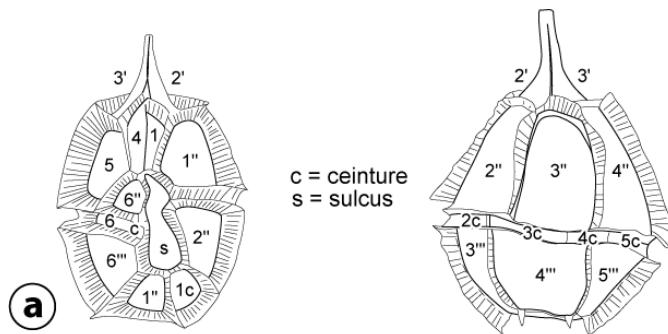


Figure 53 : a) Schéma d'un kyste de Dinoflagellé fossile ; b-c) Paratabulation du kyste reflétant b) directement ou b) indirectement la tabulation de la thèque (d'après W.A.S. SARJEANT, adapté par E. MASURE).

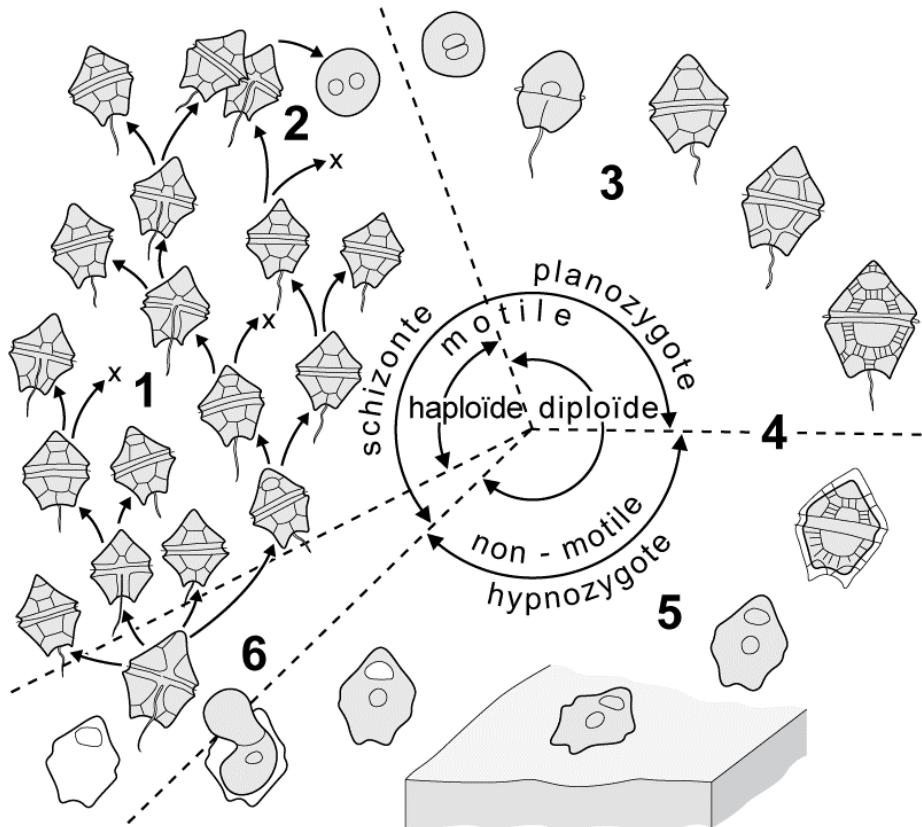


Figure 54 : Cycle biologique des Dinoflagellés (d'après W.E. EVITT, 1985 : Fig. 1.3).

Ils se distinguent des autres algues par les caractères suivants :

- une cellule nageuse possédant deux flagelles, logés dans deux sillons orthogonaux, lors de la phase mobile :
- le *sulcus* = sillon axial,
- le *cingulum* = sillon équatorial,
- des vésicules aplatis sous le plamalemm, les alvéoles, formant une paroi cellulosa plus ou moins rigide, la thèque, organisée en plaques (Figs. 53 & 55, Vidéo 10)
- un noyau montrant des chromosomes condensés pendant l'interphase (dinocaryon).

Les dinoflagellés vivants montrent une très grande diversité de formes et leur classification est fondée:

- sur la forme de la cellule et la position d'insertion apicale ou méridienne des flagelles, et
- sur la présence ou non d'une tabulation (nombre, disposition et épaisseur des plaques cellulosiques de la thèque).

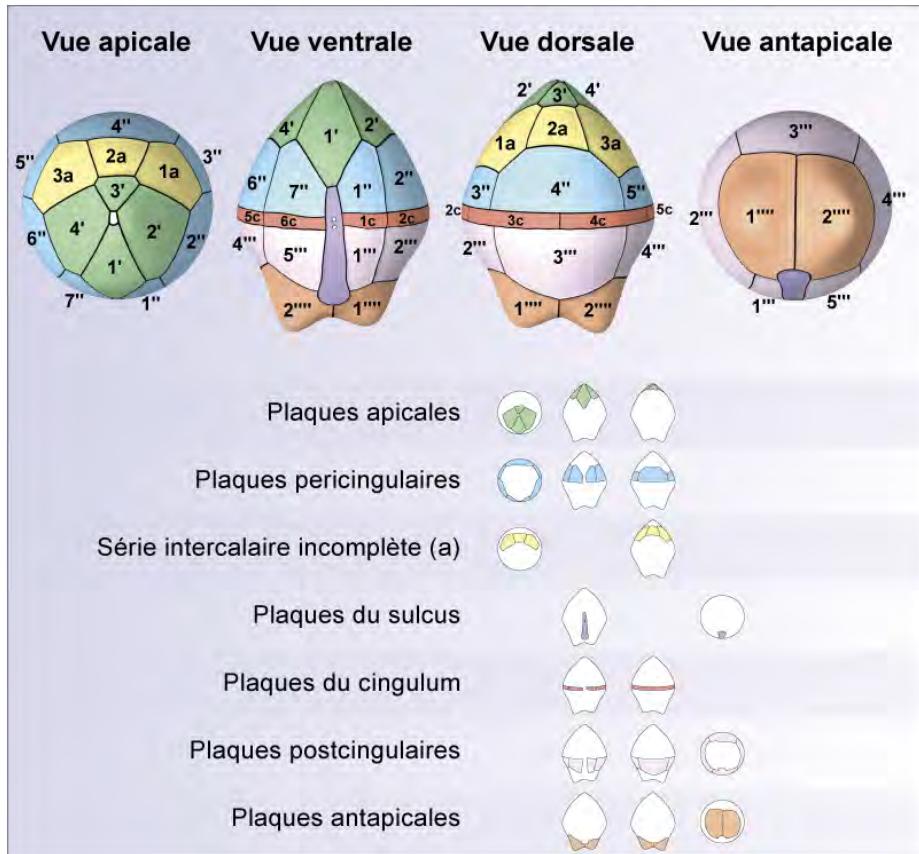


Figure 55 : Représentation schématique de la théque d'un Dinoflagellé (Peridiniaceae) selon quatre points de vue. La numérotation des plaques utilisée est celle de C.A. KOFOID.

Le cycle biologique (Fig. 54) est dominé par un stade biflagellé généralement haploïde à division végétative (1). Après la reproduction sexuée (2), le zygote mobile à 2n chromosomes (3), par contraction cellulaire, forme un kyste temporaire en cellulose (détruit lors de la fossilisation) ou un kyste de résistance en dinosporine (conservé lors de la fossilisation) (4). Ces kystes flottent dans la colonne d'eau ou se sédimentent. Revenue à la surface sous l'action des remontées d'eau profonde, la cellule germe en s'échappant du kyste par l'archéopyle (ouverture par déhiscence d'une

ou plusieurs plaques) et subit une réduction chromatique (6).

L'ornementation (paratabulation) du kyste reflète directement (Fig. 53.b) ou indirectement (processus, épines, etc. : Fig. 53.c) la tabulation de la thèque.

Les Dinoflagellés fossiles sont généralement en matière organique (dinosporine), mais peuvent être en calcaire (squelette externe) ou en silice (squelette externe).

Un morphotype fossile en dinosporine est reconnu comme Dinoflagellé lorsqu'il possède deux sillons (ceinture équatoriale ou *cingulum* et *sulcus longitudinal*), un archéopyle et une paratabulation ; les autres, qui ne présentent pas ces caractères, sont regroupés avec les Acritarches.

Écologie : Ils sont présents dans toutes sortes d'environnements et constituent un élément majeur du plancton moderne. Ils vivent dans les eaux salées, saumâtres et douces, une majorité (90%) peuplant les eaux marines. Ils dominent dans les eaux des mers tropicales et subtropicales (18 à 25°C) où les espèces autotrophes se répartissent dans la zone euphotique (de 20 à 70 m).

Certaines espèces sont à l'origine des marées rouges ; celles qui libèrent des toxines peuvent causer l'empoisonnement des coquillages et la mort des poissons, et peuvent parfois être mortelles si absorbées par l'homme. D'autres sont à l'origine des phénomènes de bioluminescence.

Répartition stratigraphique : Trias moyen à Actuel.

Importance pétrogénétique : L'accumulation de leur matière organique cellulaire contribue à la formation du pétrole.

XIV - Les Acritarches

(du grec *akritos* ακρίτος "incertain" et *archē* αρκη "origine")

Introduit par EVITT (1963) ce vocable désigne un groupe informel de microfossiles à paroi organique qui ne peuvent être attribués de manière certaine dans aucun groupe taxonomique. Il s'agit donc par définition d'un groupe "fourre-tout" (*incertae sedis*).

XV - Les Chitinozoaires

Ce vocable introduit par EISENACK (1931) désigne des organismes ou organistes encore *incertae sedis* (d'après GABBOTT *et alii*, 1998, il pourrait s'agir de pontes des métazoaires), à paroi chitineuse, de taille généralement comprise entre 0,3 mm et 2 mm.

Ces microfossiles sont soit isolés (Fig. 56), soit en groupes concaténés, c'est-à-dire en "colonies" formant des chaînes.

Écologie : marins.

Répartition stratigraphique : Ordovicien à Dévonien.

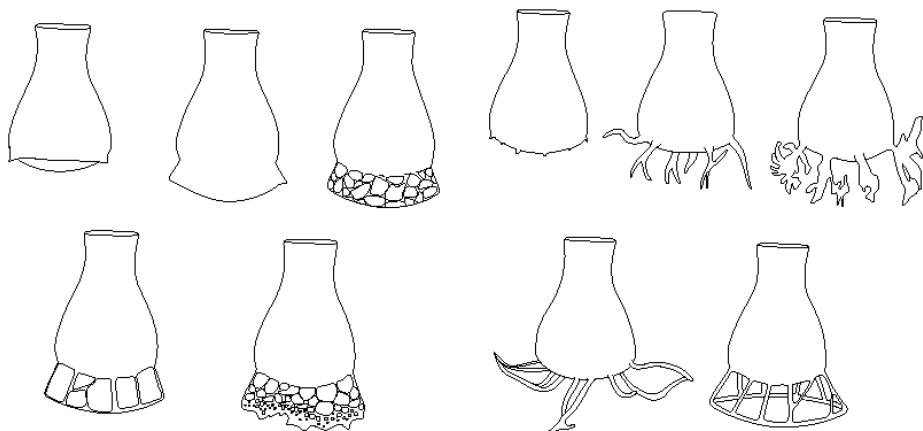


Figure 56 : Chitinozoaires isolés.

XVI - Les spores et le pollen

Les spores et le pollen sont les cellules reproductrices des végétaux. Ils sont produits par le sporophyte diploïde. Résultant de la double division d'une cellule-mère, ils sont groupés en tétrades dans le sporange ou l'an-théridie.

Les spores (Fig. 57) des Champignons, Bryophytes et Ptéridophytes, sont toutes identiques ou différencierées morphologiquement et biologiquement en microspores mâles et mégaspores femelles (ces dernières peuvent atteindre 2 mm de dimension).

Les grains de pollen (Fig. 58) des Gymnospermes et Angiospermes sont équivalents à des microspores. La germination d'un de ces grains conduit à un gamétophyte mâle très réduit.

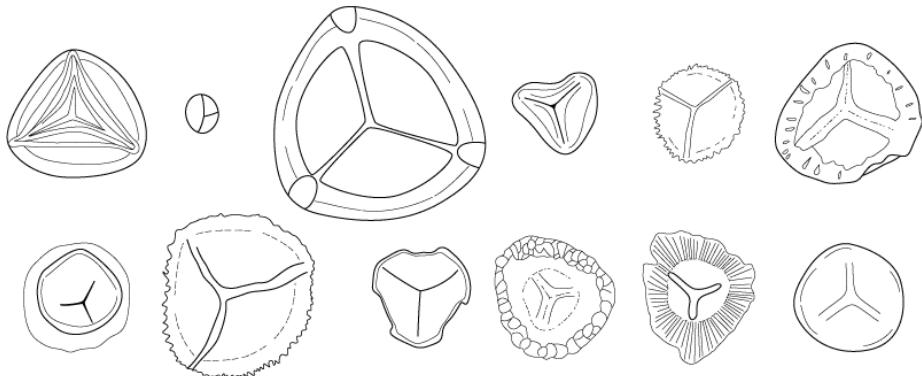


Figure 57 : Quelques spores du Paléozoïque.

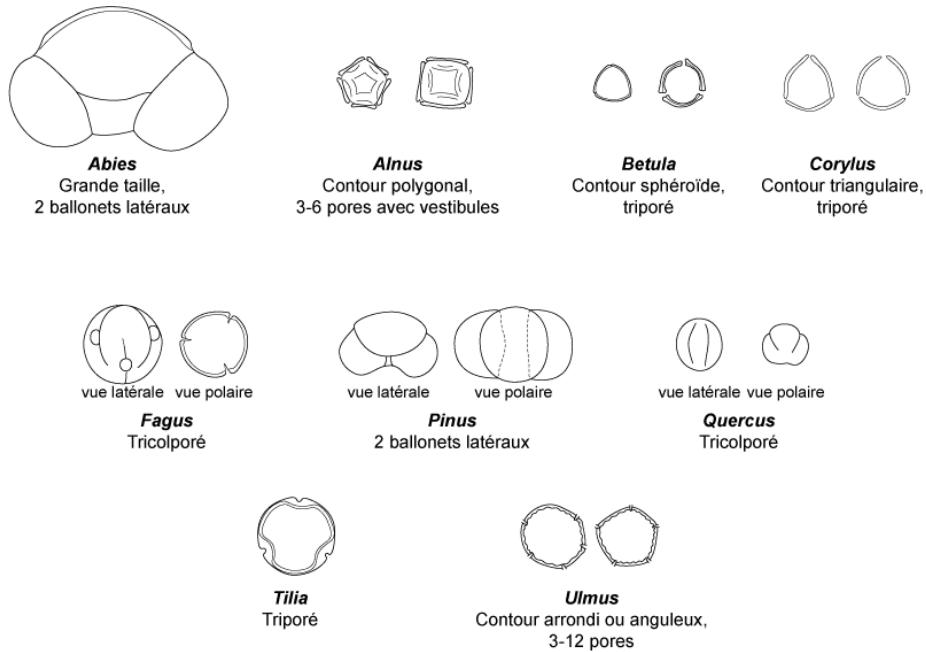


Figure 58 : Les principaux grains de pollen d'arbres rencontrés dans les sédiments postglaciaires du NW de la France : a : *Abies* (sapin), grande taille, deux ballonnets latéraux ; b-c : *Alnus* (aulne), contour polygonal, 3-6 pores avec vestibule ; d-e : *Betula* (bouleau), contour sphéroïde, triporé ; f-g : *Corylus* (coudrier, noisetier), contour triangulaire, triporé ; h-i : *Fagus* (hêtre), vue latérale (h) et polaire (i), tricolpé ; j-k : *Pinus* (pin), vues latérale (j) et polaire (k), 2 ballonets latéraux ; l-m : *Quercus* (chêne), vues latérale (l) et polaire (m), tricolporé ; n : *Tilia* (tilleul), triporé ; o-p : *Ulmus* (orme), contour arrondi ou anguleux, 3-12 pores.

La répartition des spores et celle du pollen dans le temps correspond à celle des végétaux fossiles. Ainsi, les spores sont-elles connues depuis l'Ordovicien moyen ; quant aux grains de pollen dissaccates (pourvus de 2 ballonnets) des Gymnospermes, ils apparaissent au Carbonifère supérieur et ceux des Angiospermes au Crétacé inférieur.

La paroi des spores et des grains de pollen, constituée de sporopollénine très résistante, est pourvue d'ouvertures permettant la germination.

Ils se fossilisent dans tous les milieux continentaux. Mais, étant donnée leur grande dispersion, ils se trouvent également dans les sédiments marins, transportés jusque là par les courants atmosphériques et les fleuves. Ce sont les seuls microfossiles qui permettent des corrélations directes entre le domaine continental et le domaine marin.

Dans la mesure où les spores et grains de pollens sont attribués à des plantes connues, ils permettent de reconstituer l'évolution du couvert végétal et de mettre en évidence des changements climatiques.

XVII - Les microfaciès

Le terme "microfaciès", suggéré par BROWN en 1943, fut réellement introduit par CUVILLIER en 1952 pour décrire tous les caractères, paléontologiques et pétrographiques, observables à l'échelle de la lame mince, le plus souvent taillée dans une roche indurée, sinon dans une roche meuble consolidée par injection de résine. C'est une approche qui a été largement diffusée dans l'industrie pétrolière (CUVILLIER, 1956 ; C.S.R.P.P.G.N., 1968 ; CAROZZI *et alii*, 1972).

Lors de l'étude d'un microfaciès, c'est d'abord la texture du sédiment originel qui peut être déterminée par exemple par référence à la classification de DUNHAM (1962), complétée par celle d'EMBRY & KLOVAN (1971), pour les roches calcaires : le plus souvent, il s'agira de boue (mudstone), boue sableuse (wackestone), sable boueux (packstone), sable (grainstone), éventuellement de biolithite (boundstone, avec sa déclinaison : bafflestone, bindstone, framestone), de graviers jointifs (rudstone) ou non - plus ou moins épars au sein une matrice - (floatstone). Lorsque pour un échantillon la texture n'est plus identifiable, détruite par une recristallisation (dolostone ou crystalstone, par exemple), on n'aboutira à aucun résultat exploitable à moins de recourir à des techniques plus sophistiquées (telles que l'épifluorescence ou encore la cathodoluminescence).

Dans un second temps, ce sont les différents constituants de la roche qui vont être examinés : la fraction grossière (éléments figurés ou allochems), la fraction fine (la matrice boueuse, éventuellement constituée par une purée de nannofossiles), les vides (les pores intergranulaires, par exemple) et les ciments.

L'approche micropaléontologique du faciès se focalisera sur une seule

de ces 4 catégories : les éléments figurés, et plus particulièrement sur les bioclastes (en délaissant les autres constituants minéraux, parmi lesquels on compte divers types d'éléments carbonatés, biogènes ou non : ooïdes, agrégats, pellétoïdes, intraclastes, extraclastes, *etc.*). Il s'agit des restes d'organismes ou d'organites animaux et végétaux ; leur abondance est liée à leur présence dans telle ou telle période géologique et à leur écologie qui règle leur fréquence dans les milieux de dépôt. Les microfossiles principaux, c'est-à-dire souvent présents dans les microfaciès, ont été décrits dans les chapitres précédents. Quelques autres organismes couramment rencontrés en lames minces sont les suivants :

- Échinodermes : plaques ou articles (chez les Crinoïdes) calcitiques présentant un réseau fin de mailles (réseau échinodermique) et à comportement pseudo-monocristallin (ils constituent autant de germes pour la cimentation calcitique et développent alors fréquemment un ciment syntaxial diagnostique de leur présence) ;
- Spongiaires : spicules siliceux (fréquemment dissous, laissant un vide, plus ou moins colmaté par de la calcite drusique : pour l'anecdote, les "yeux calcitiques" des Orbitolines sont des spicules qui participent à l'agglutinat du test de ces dernières) ou calcaires ;
- Coraux (Photo 52) : test avec septa. Les coraux paléozoïques ont des tests calcitiques. Les coraux modernes (post-Permien) ont des tests aragonitiques, susceptibles d'être remplacés par de la calcite (en mosaïque équidimensionnelle, avec préservation plus ou moins bonne des microstructures) ou dissous (laissant un vide, plus ou moins colmaté par un ciment calcitique drusique, dont le contour pourra être souligné par une enveloppe micritique) ;
- Annélides ;
- Bryozoaires (Photo 51) : tubes calcitiques, colonies de zoécies à paroi lamellaire ;
- Brachiopodes à test fibro-lamellaire présentant des structures ponctuées avec plusieurs types de microstructures :
- Lamellibranches avec plusieurs types de microstructures :
 - à couches prismatiques (Inocérames),
 - à test fibro-lamellaire (Ostréidés),
 - à test très fin (Lamellibranches planctoniques),
 - à test aragonitique (donnant des enveloppes micritiques), *etc.*

L'examen des bioclastes permet notamment de documenter les conditions de vie des organismes dont ils représentent les restes. La démarche paléoécologique permet d'induire une connaissance paléoenvironnementale.

le. Par ailleurs, certains de ces microfossiles peuvent être utilisés comme outils biostratigraphiques.

Les critères pétrographiques permettent de préciser tant les conditions de sédimentation que l'évolution diagénétique qui conduit à la roche.

Image intime d'une roche sédimentaire, le microfaciès permet non seulement de savoir où et comment elle s'est formée mais aussi éventuellement de suivre la continuité et le devenir de la couche dont elle est issue. L'analyse des associations micropaléontologiques successives conjointement à celle des modifications graduelles de la texture des roches au sein d'une séquence sédimentaire permettent de déterminer des tendances évolutives telles que l'augmentation de la tranche d'eau, tendances qui peuvent parfois être extrapolées à plus grande échelle et utilisées pour des corrélations. C'est à ce dessein que, dès 1978 (1ère édition allemande), E. FLÜGEL (1982 : 1ère édition anglaise ; 2004) proposait une "normalisation" des microfaciès. L'application de la loi de Johannes WALTHER à l'enchaînement de microfaciès nous permettra de déterminer des tendances régressives ou transgressives, des régressions forcées ou des inversions de tendances ; l'étude des microfaciès peut donc se révéler être un outil précieux en stratigraphie séquentielle.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à Alexandre LETHIERS (Université Pierre et Marie Curie, Paris) qui a repris ou créé la plus grande partie de l'iconographie, dont la partie animation. Nous souhaitons souligner également quelques contributions ponctuelles mais sans lesquelles cet ouvrage n'aurait pu être finalisé : Lucy E. EDWARDS (U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, USA) pour la Photo 15, ...

XVIII - Références bibliographiques

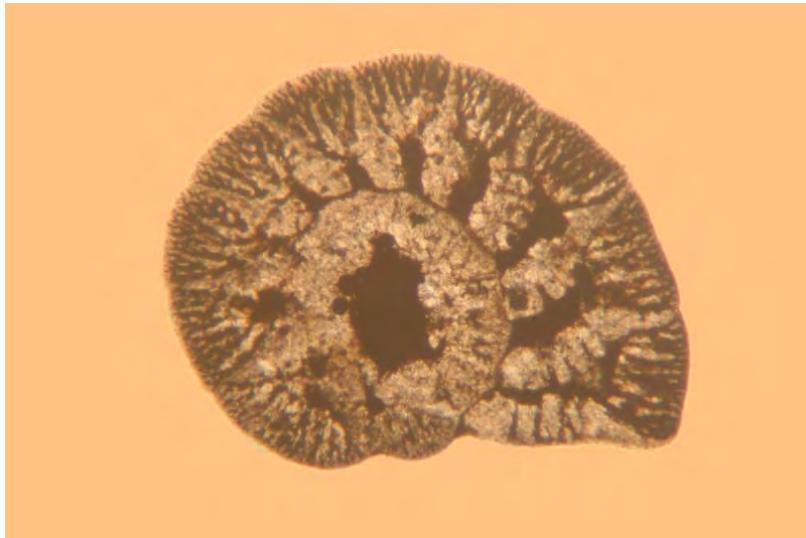
- BASSOULET J.-P., BERNIER P., CONRAD M.-A., DELOFFRE R. & JAFFREZO M. (1978).- Les algues dasycladales du Jurassique et du Crétacé. Révision critique.- *Geobios*, Lyon, Mémoire spécial 2, 330 p.
- BELLIER J.-P., MATHIEU R. & GRANIER B. (2010).- Short Treatise on Foraminiferalogy (Essential on modern and fossil Foraminifera) [Court traité de foraminiférologie (L'essentiel sur les foraminifères actuels et fossiles)].- ISBN 978-2-916733-07-4, Carnets de Géologie, Brest, Book / Livre 2010/02 (CG2010_BOOK_02), 104 p.
- BERGER S. (2006).- Photo-Atlas of living Dasycladales.- ISBN 2-916733-01-9, Carnets de Géologie, Brest, Book / Livre 2006/02 (CG2006_BOOK_02), 348 p. (332 photos).
- BRIGGS D.E.G., CLARKSON E.N.K. & ALDRIDGE R.J. (1983).- The conodont animal.- *Lethaia*, 16, p. 1-14.

- BROWN J.S. (1943).- Suggested use of the word microfacies.- *Economic Geology*, Littleton, vol. 38, n° 4, p. 325.
- CAROZZI A.V., BOUROULLEC J., DELOFFRE R. & RUMEAU J.-L. (1972).- Microfaciès du Jurassique d'Aquitaine : pétrographie, diagenèse, géochimie, pétrophysique.- *Bulletin du Centre de recherches Pau - SNPA*, Volume spécial, n° 1, 594 p.
- Chambre syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz naturel (1968).- Rôle de la paléontologie dans l'exploration pétrolière.- Technip, Paris, 77 p.
- CUVILLIER J. (1952).- La notion de "microfaciès" et ses applications.- VII Convegno nazionale del Metano et del Petrolio, Prestampa, Sezione I, p. 3-7.
- CUVILLIER J. (1956).- Stratigraphic correlations by microfacies in western Aquitaine.- *International Sedimentary Petrographical Series*, E.J. Brill, Leiden, vol. II, 34 p.
- DERES F. & ACHERITEGUY J. (1980).- Biostratigraphie des Nannoconidés.- *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, Pau, vol. 4, n° 1, p. 1-53.
- DUNHAM R.J. (1962).- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In : HAM W.E. (ed.), Classification of carbonate rocks.- *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, Tulsa, vol. 1, p. 108-121.
- EISENACK A. (1931).- Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs I.- *Palaeontologische Zeitschrift*, Stuttgart, vol. 13, n° 1-2, p. 74-118.
- EMBRY A.F. & KLOVAN J.E. (1971).- A Late Devonian reef tract on North-eastern Banks Island, N.W.T.- *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, Calgary, vol. 19, p. 730-781.
- EVITT W.R. (1963).- A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, II.- *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, vol. 49, n° 3, p. 298-302.
- EVITT W.R. (1985).- Sporopollenin dinoflagellate cysts. Their morphology and interpretation.- *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, Dallas, 333 p.
- FLÜGEL E. (2004).- Microfacies of carbonate rocks: Analysis, interpretation and application.- Springer-Verlag, Berlin, 976 p.
- GABBOTT S.E., ALDRIDGE R.J. & THERON J.N. (1998).- Chitinozoan chains and cocoons from the Upper Ordovician Soom Shale Lagerstätte, South Africa: implications for affinity.- *Journal of the Geological Society*, vol. 155, n° 3, p. 447-452.

- GRANIER B. (2010).- *Bucurella*, a new genus of the Thrysoporellae (fossil Dasycladalean algae).- *Carnets de Géologie - Notebooks on Geology*, Brest, Article 2010/03 (CG2010_A03), 27 p.
- GRANIER B. (2011).- Cretaceous benthic calcareous algae.- *Paleontologia: Cenários de Vida*, Rio de Janeiro, vol. 3, p. 199-210.
- LOEBLICH A. & TAPPAN H. (1987).- Foraminiferal genera and their classification.- Van Nostrand Reinhold, New York, vol. 1, 970 p. ; vol. 2, 212 p. + 847 pls.
- ODIN G.S. & LETHIERS A. (2006).- Nouvelles études micropaléontologiques sur le stratotype de la limite Campanien-Maastrichtien à Tercis (SO France) : les gilianelles (microproblematica) extraites par acétolyse.- *Carnets de Géologie - Notebooks on Geology*, Brest, Article 2006/05 (CG2006_A05), 28 p., 3 vidéos.
- ODIN G.S. (2008).- Description et illustration de quarante-quatre gilianelles (microproblematica) et dix autres microproblematica du Crétacé de la section stratotypique de Tercis (limite Campanien-Maastrichtien), Sud-Ouest France.- *Carnets de Géologie - Notebooks on Geology*, Brest, Mémoire 2008/01 (CG2008_M01), 82 p., supplément 33 p.

Citation

- MATHIEU R., BELLIER J.-P. & GRANIER B. (2011).- Manuel de micropaléontologie.- ISBN 978-2-916733-04-3, Carnets de Géologie, Brest, Livre 2011/02 ([CG2011_B02](#)), 123 p. (58 figs., 70 photos, 10 vidéos).



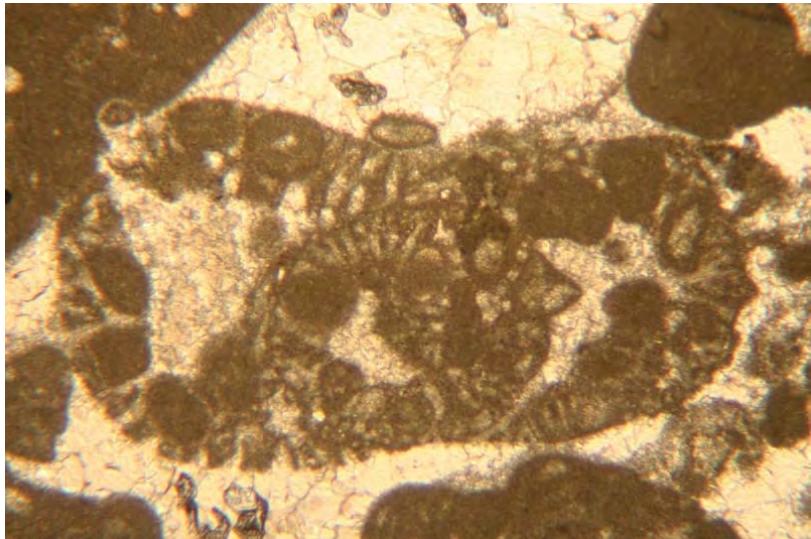
1 mm

Photo 1 : *Cyclammina* (section sub-équatoriale). Collection DELOFFRE, origine inconnue.



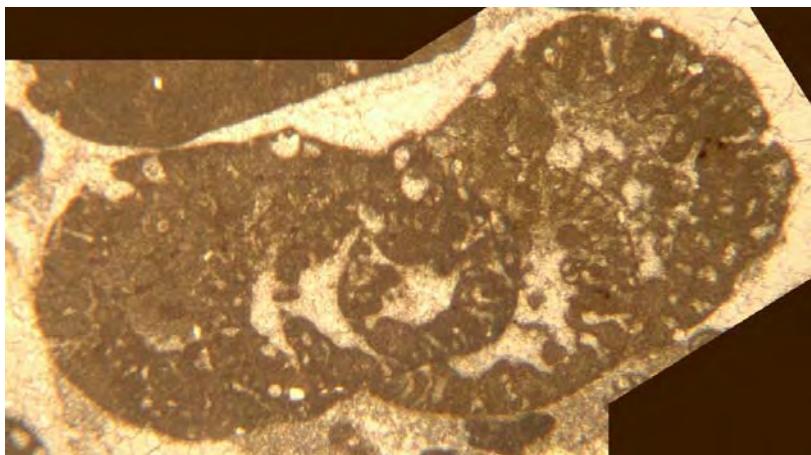
1 mm

Photo 2 : *Choffatella decipiens* (SCHLUMBERGER) : section sub-équatoriale. Collection DELOFFRE, origine inconnue.



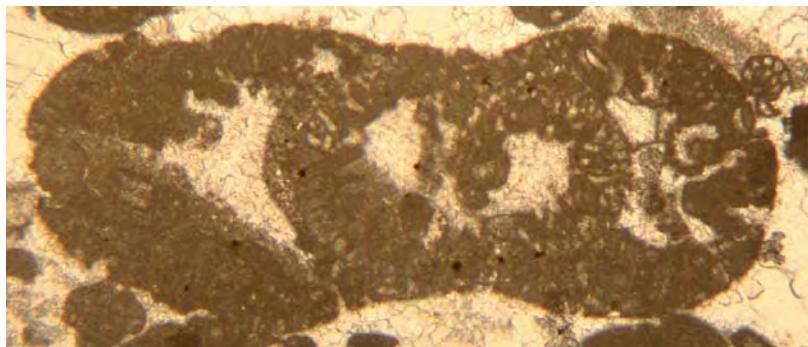
1 mm

Photo 3.a : *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) : section sub-axiale. Berriasien, Savoie (France).



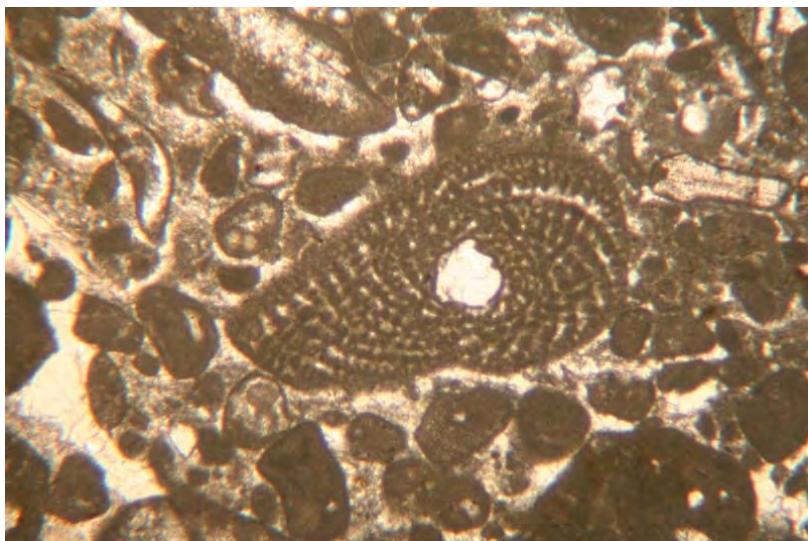
1 mm

Photo 3.b : *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) : section sub-axiale, début de hampe. Berriasien, Savoie (France).



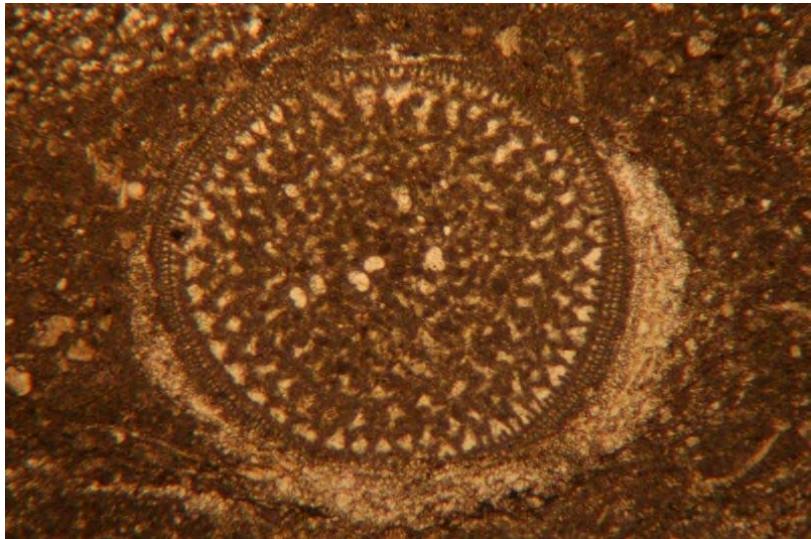
1 mm

Photo 3.c : *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) : section sub-axiale, début de hampe. Berriasiens, Savoie (France).



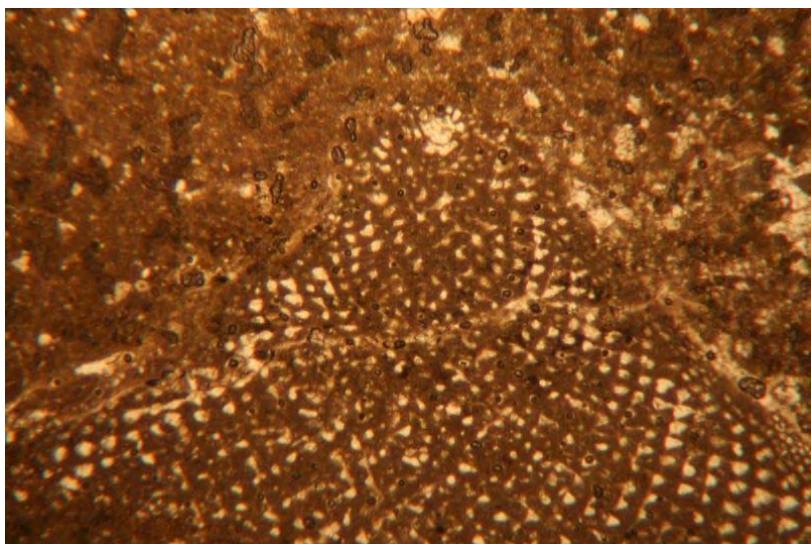
1 mm

Photo 4 : *Anchispirocyclina lusitanica* (EGGER) : section oblique. Tithonien, Crimée (Ukraine).



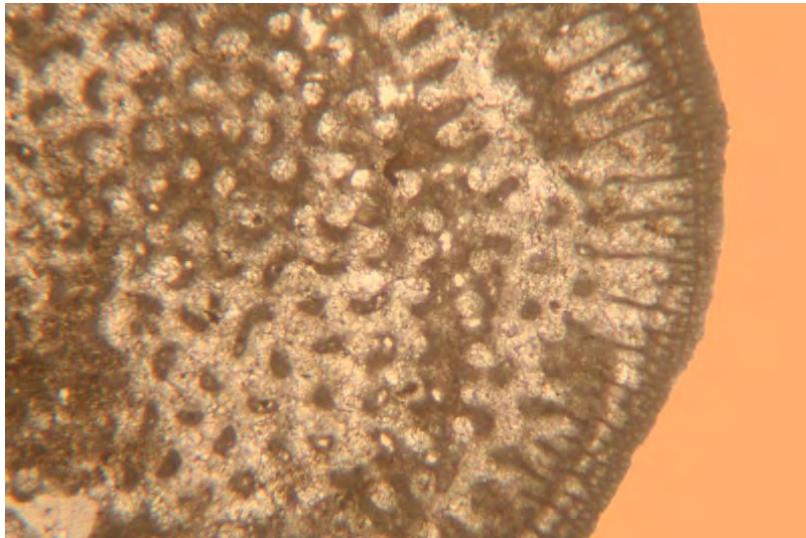
1 mm

Photo 5 : *Orbitolina* (section transverse). Aptien (Gargasien), Oman.



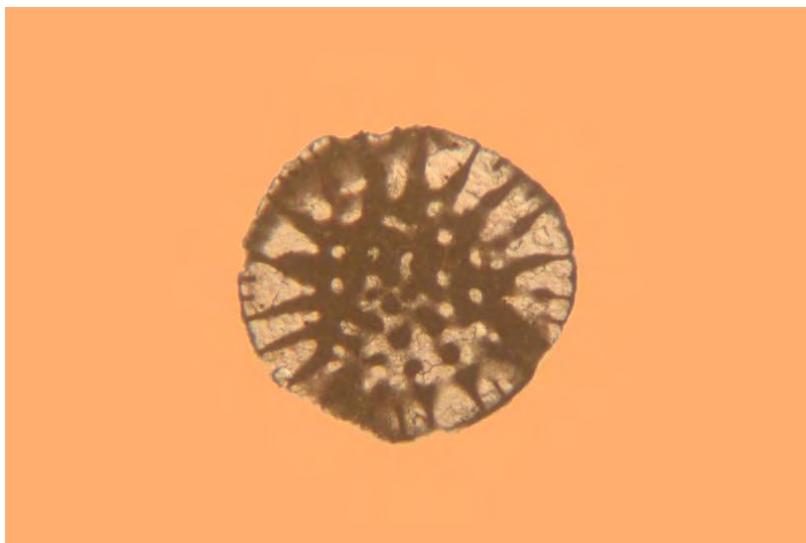
1 mm

Photo 6 : *Orbitolina* (section axiale). Aptien (Gargasien), Oman.



1 mm

Photo 7 : *Dictyoconus* (section transverse). Collection DELOFFRE, origine inconnue.



1 mm

Photo 8 : *Dictyoconus* (section transverse). Collection DELOFFRE, origine inconnue.



Photo 9 : *Dictyoconus* (section sub-axiale). Collection DELOFFRE, origine inconnue.



500 µm

Photo 10 : *Trocholina*, aragonitique (section oblique). Collection J.-P. MASSE, Berriau-sien, Bosnie-Herzégovine.



500 µm

Photo 11 : *Trocholina*, aragonitique (section sub-axiale). Collection J.-P. MASSE, Berriasien, Bosnie-Herzégovine.

► **Photo 13** : *Trocholina*, test dissout puis cimenté par une calcite drusique (section oblique, base du test). Berriasien, Savoie (France).



500 µm

Photo 12 : *Trocholina*, test dissout puis cimenté par une calcite drusique (section sub-axiale). Berriasien, Savoie (France).

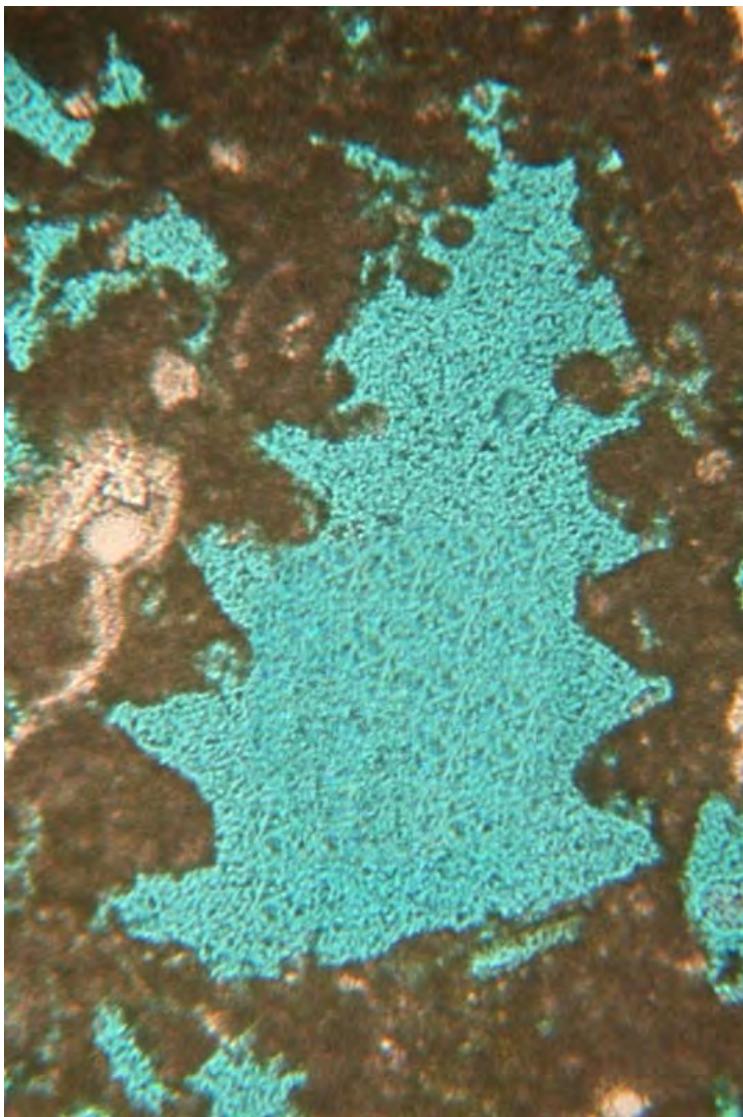


500 µm



10 µm

Photo 15 : Basale organique de foraminifère provenant d'une préparation palynologique. Échantillon prélevé à la cote -140'6" (-42,8m) sur une carotte du forage réalisé à la Tilghman Elementary School, Talbot County (Maryland, USA) : Formation Calvert, Zone à *Exochosphaeridium insigne* DE VERTEUIL et NORRIS, 1996, Burdigalien inférieur, Miocène inférieur. Photo de Lucy E. EDWARDS, U.S. Geological Survey, Reston (Virginia, USA).



500 μm

Photo 14 : *Trocholina*, test dissout non-cimenté (section sub-axiale). Valanginien, Abou Dhabi (Émirats Arabes Unis).



Photo 16 : Section transverse de Nummulite à la surface d'un calcaire lutétien. Collection U.B.O., origine inconnue.

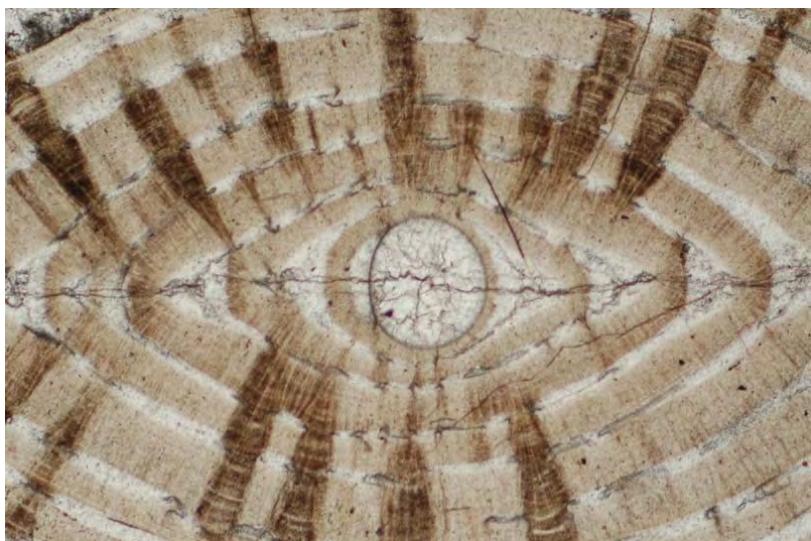


Photo 17.a : Section axiale de Nummulite. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



1 mm

Photo 17.b : Section transverse (sub-équatoriale) de Nummulite. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



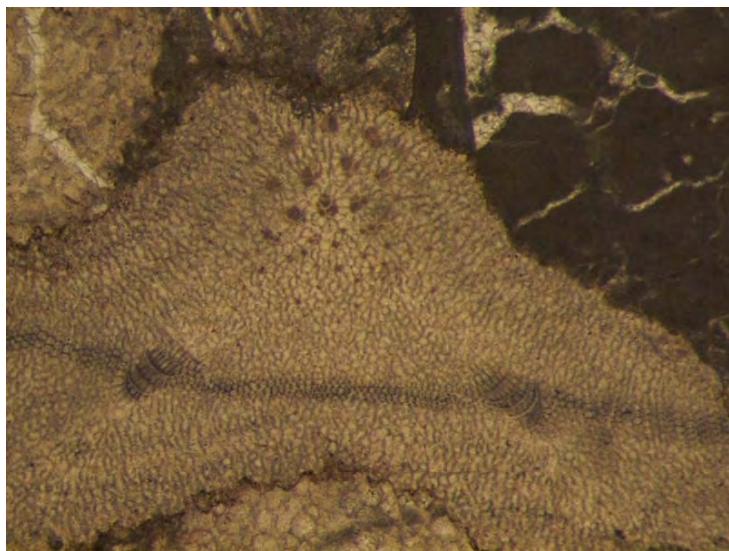
1 mm

Photo 18 : Section axiale d'*Orbitoides*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



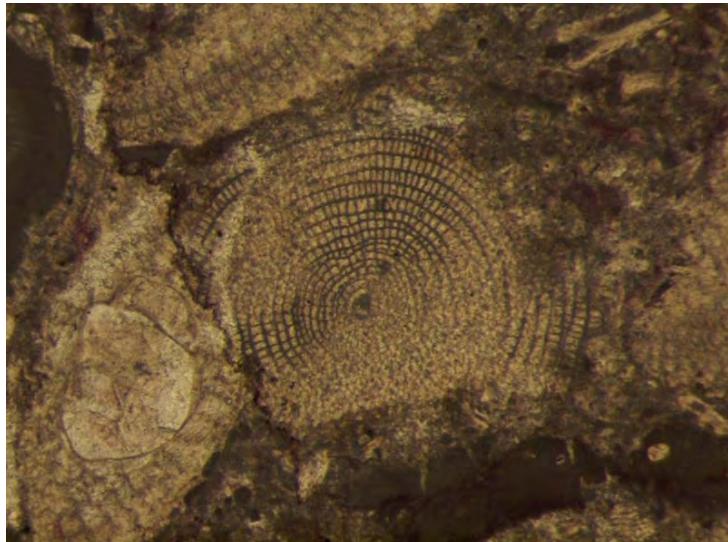
1 mm

Photo 19 : Section oblique (sub-équatoriale) d'*Orbitoides*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



500 µm

Photo 20 : Section oblique de *Discocyclina*. Collection U.B.O., origine inconnue.



500 µm

Photo 21 : Section subéquatoriale de *Discocyclina*. Collection U.B.O., origine inconnue.



500 µm

Photo 22 : Section oblique de *Lepidocyclus*. Collection U.B.O., origine inconnue.



Photo 23 : Section transverse d'*Alveolina*. Les canaux pré- et post- septaux sont bien visibles. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



Photo 24 : Section sub-axiale d'*Alveolina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.

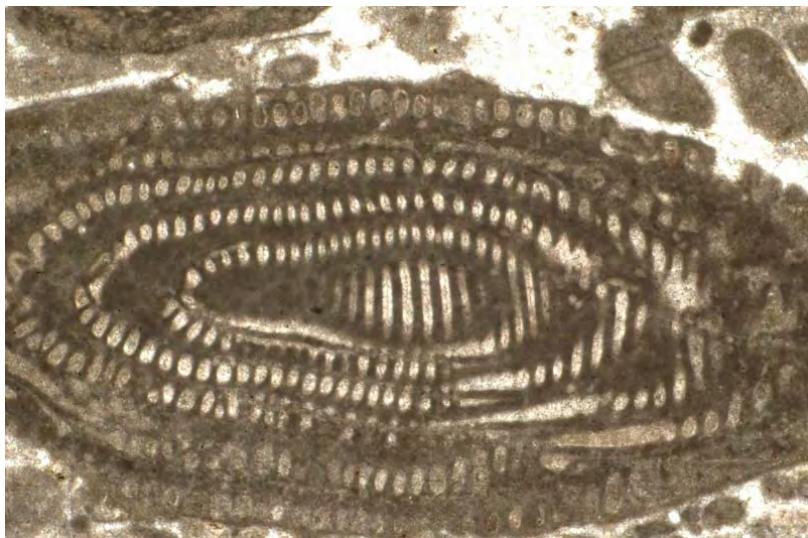
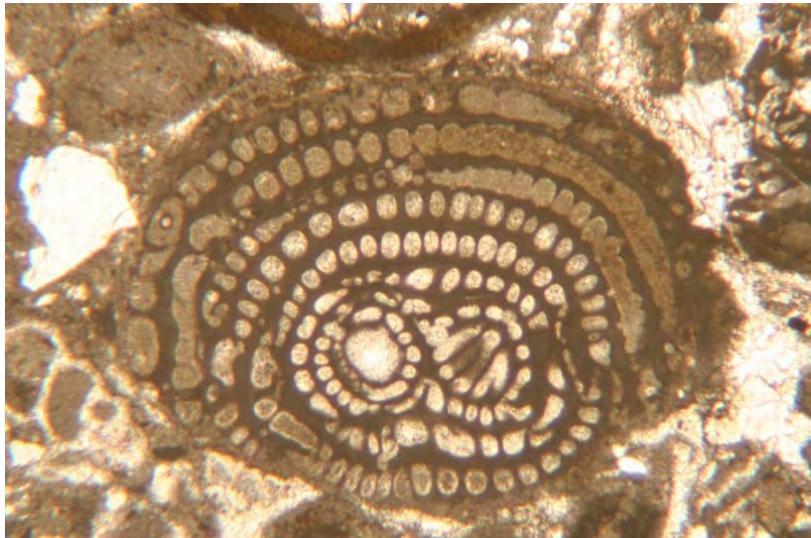


Photo 25 : Section tangentielle profonde d'*Alveolina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



Photo 26 : Spécimen d'*Alveolina* à double *protoculi*. Collection U.B.O., origine inconnue.



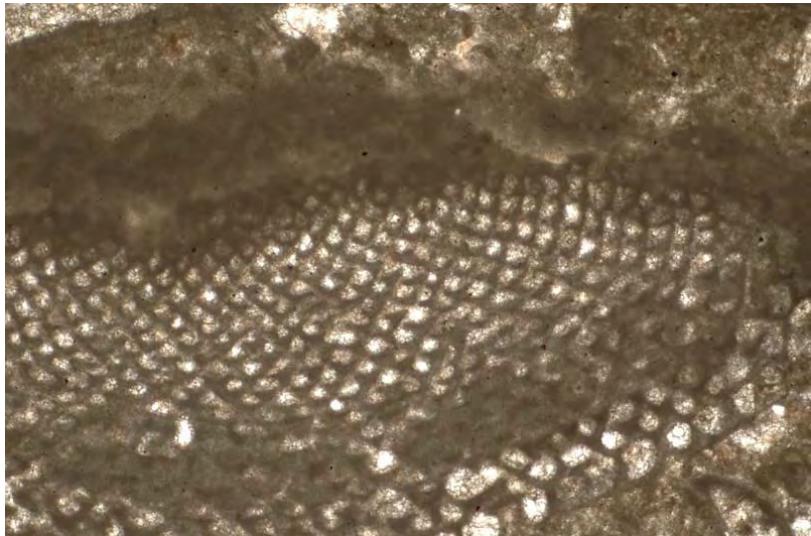
1 mm

Photo 27 : Spécimen d'*Alveolina* à double *proloculi*. Collection U.B.O., origine inconnue.



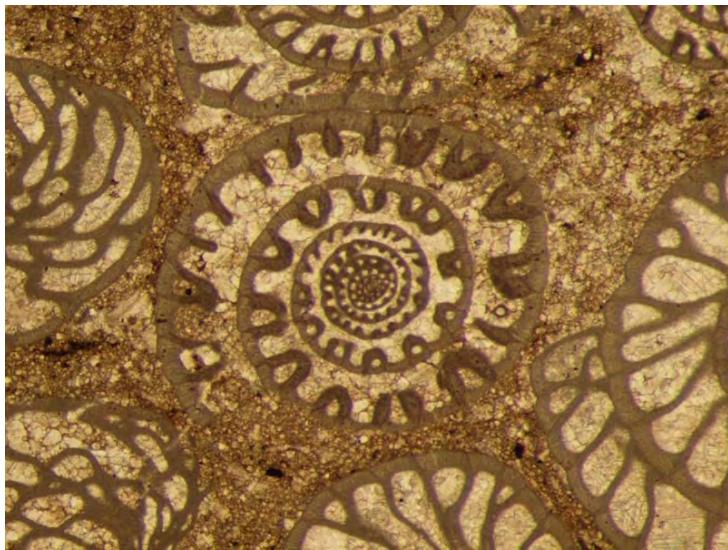
1 mm

Photo 28 : *Orbitolites* en section axiale. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



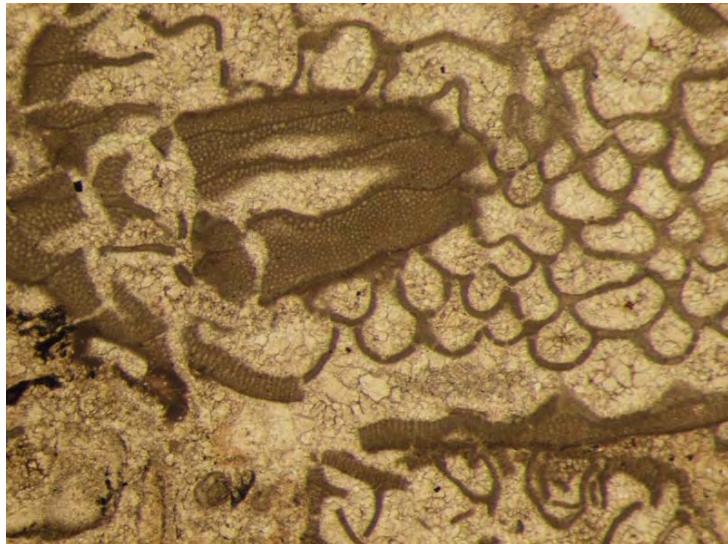
1 mm

Photo 29 : *Orbitolites* en section transverse : les petites logettes arquées sont disposées en séries annulaires (loges). Collection U.P.M.C., origine inconnue.



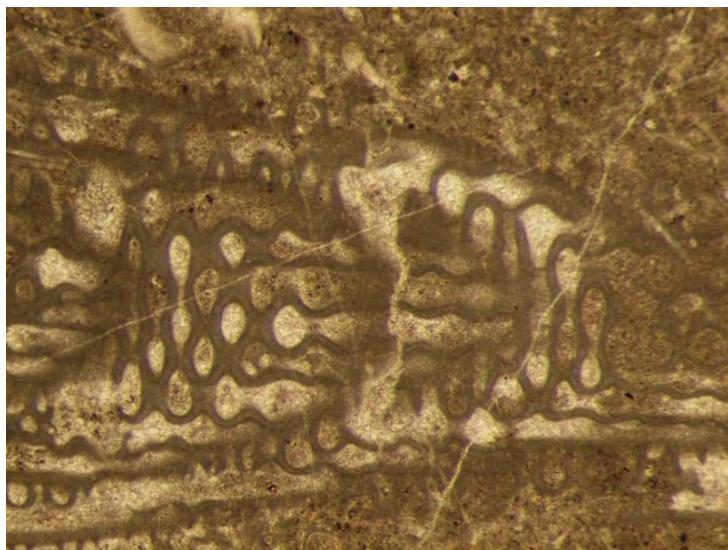
500 µm

Photo 30 : Section axiale d'un Fusulinidé à kériothèque. Collection U.B.O., origine inconnue.



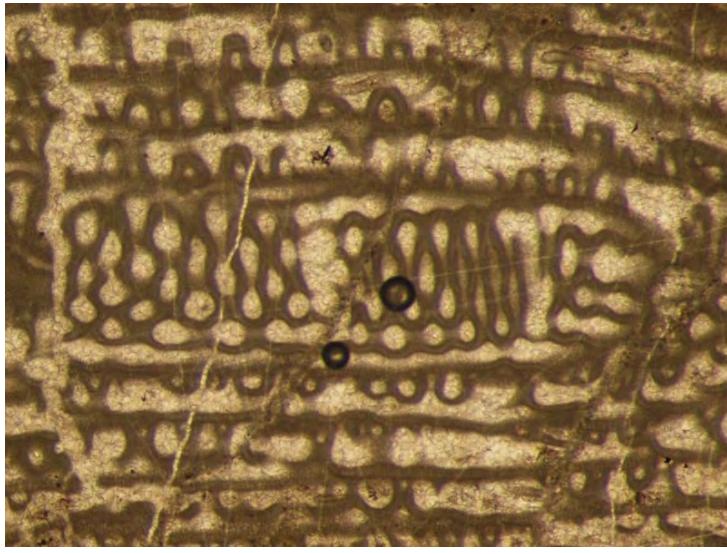
500 µm

Photo 31 : Quelques sections tangentielles d'un Fusulinidé à kériothèque. Collection U.B.O., origine inconnue.



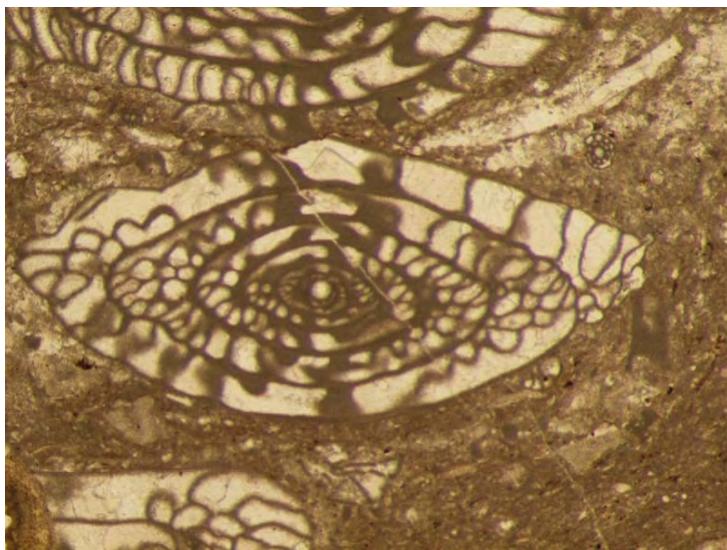
500 µm

Photo 32.a : Section tangentielle profonde d'un Fusulinidé à kériothèque et présentant des cloisons plissées/gaufrées. Collection U.B.O., origine inconnue.



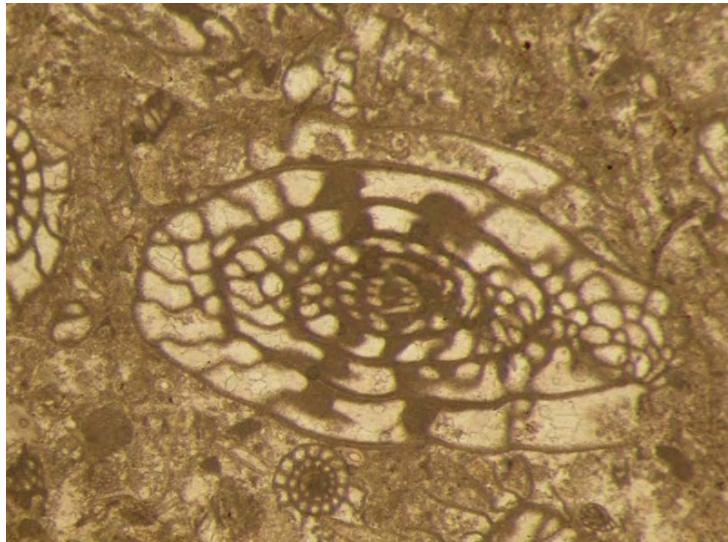
500 µm

Photo 32.b : Section tangentielle profonde d'un Fusulinidé à kériothèque et présentant des cloisons plissées/gaufrées. Collection U.B.O., origine inconnue.



500 µm

Photo 33.a : Section subaxiale d'un Fusulinidé à diaphanothèque. Des paires de chomata sont visibles. Collection U.B.O., origine inconnue.



500 µm

Photo 33.b : Section oblique d'un Fusulinidé à diaphanothèque. Des paires de *chromata* sont visibles. Collection U.B.O., origine inconnue.



1 mm

Photo 34 : Section axiale d'un Fusulinidé (*Yabeina*) à kérithèque et endosquelette. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



1 mm

Photo 35 : Section transverse (sub-équatoriale) d'un Fusulinidé (*Yabeina*) à kériothèque et endosquelette. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



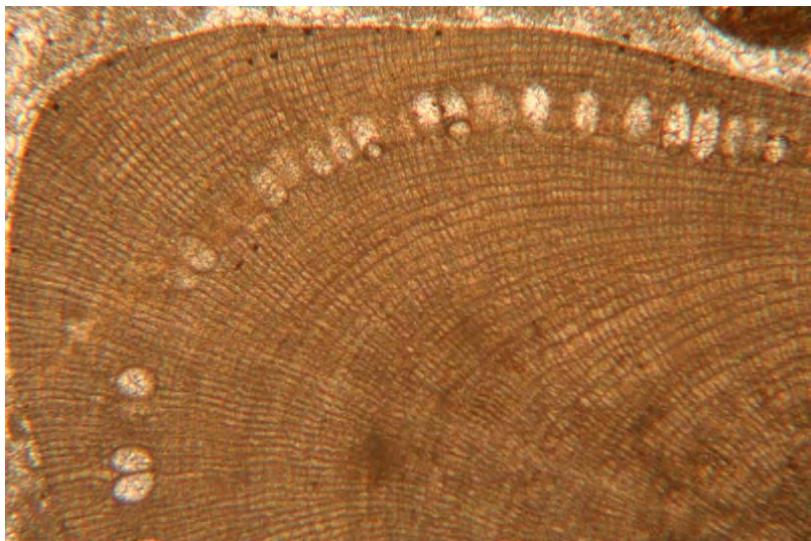
1 mm

Photo 36 : Section oblique d'un Fusulinidé (*Yabeina*) à kériothèque et endosquelette. Les cloisons sont très foncées, l'endosquelette kérothécal plus clair emplit les loges. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



1 mm

Photo 37 : *Archaeolithothamnion* sp. = *Sporolithon*? sp. : section de thalle avec des sores disposés en rangée. Crétacé supérieur, Provence, France.



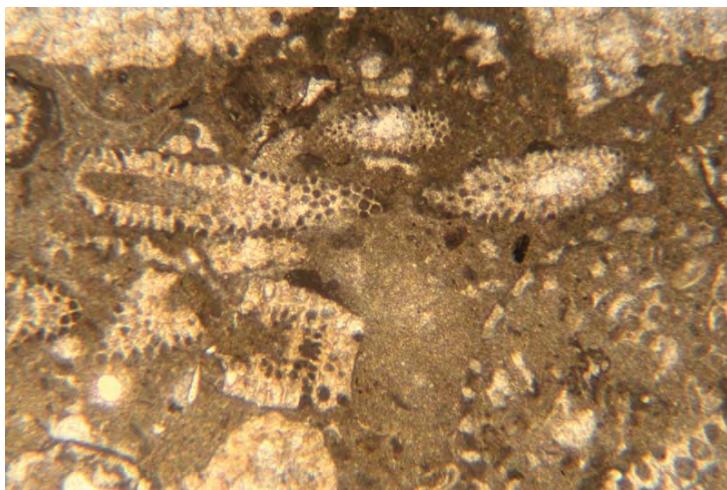
500 µm

Photo 38 : *Archaeolithothamnion* sp. = *Sporolithon*? sp. : détail de la section précédente avec les sores disposés en rangée. Crétacé supérieur, Provence, France.



500 µm

Photo 39.a : *Broeckella belgica*. De gauche à droite, sections transverse, sub-axiale et oblique de 3 articles. Collection J. PIA, Paléocène, San Luis, N Santiago de Cuba (Cuba).



1 mm

Photo 40 : Boue (wackestone) à algues vertes : *Macroporella dinarica* PIA et *Ponceletella hexaster* (PIA). Collection J. PIA, Trias moyen, Monténégro.



500 μm □ ■ ■ ■

Photo 39.b : *Mizzia velibitana*. Section subaxiale passant par 3 articles successifs (encore en connexion en raison de leur encroûtement par des Bryozoaires). Collection J. PIA, Permien moyen, Carlsbad, New Mexico (États-Unis d'Amérique).

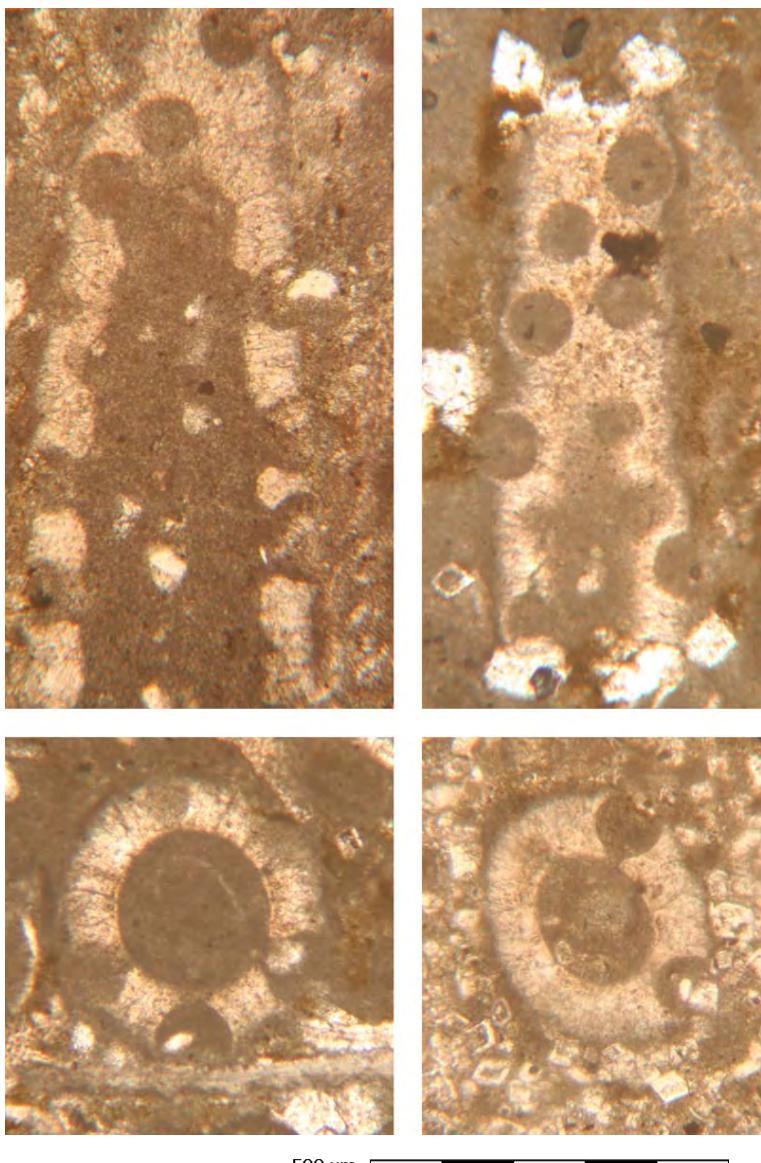
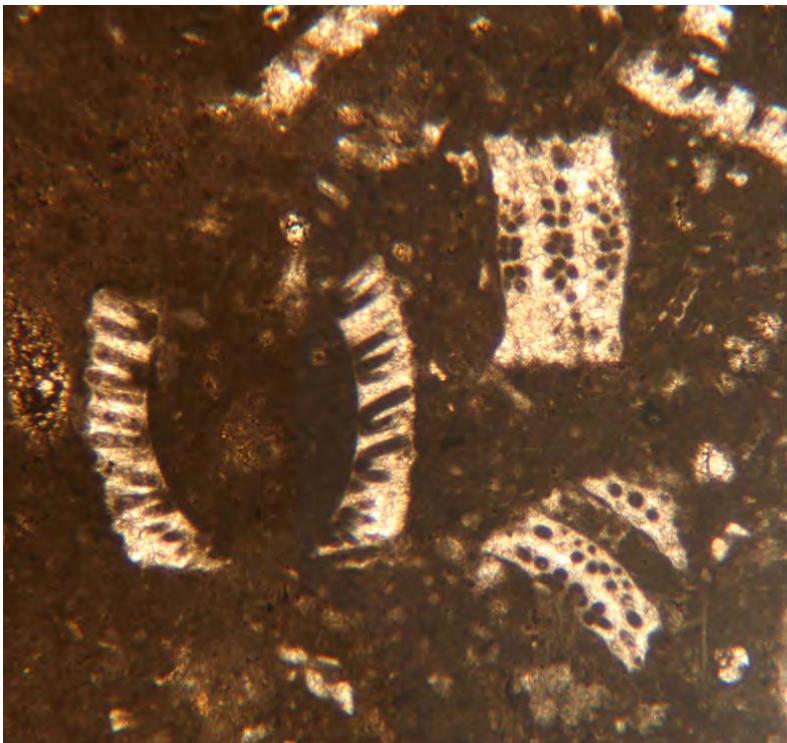


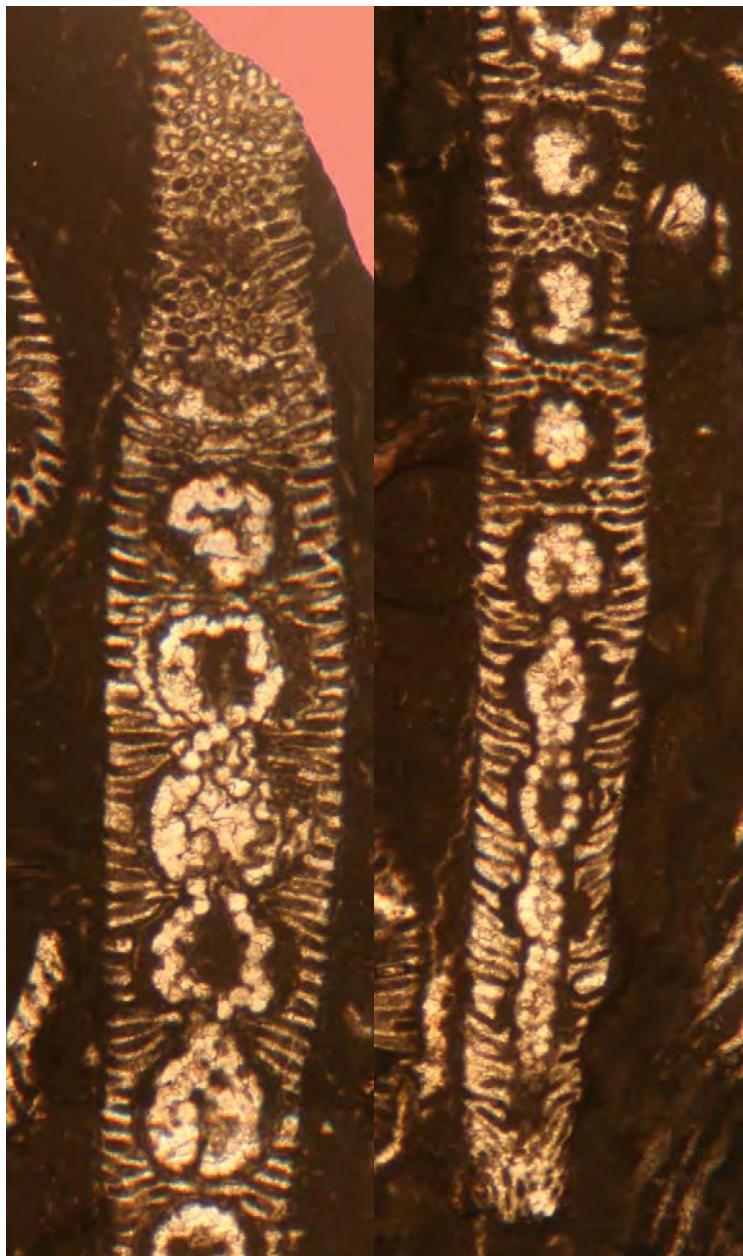
Photo 41 : *Megapora boulangeri* DELOFFRE et BEUN : une section sub-axiale. De gauche à droite et de haut en bas : une section sub-axiale, une section tangentielle, une section transverse et une section sub-transverse (légèrement oblique). Collection R. DELOFFRE, Kimméridgien, Maroc.



1 mm



Photo 42 : *Kantia philosophi* (PIA) : à gauche une section sub-axiale (légèrement oblique), à droite deux sections tangentielles, dont une oblique. Collection J. PIA, Muschelkalk, Pontebba/Pontafel (Italie).



1 mm



◀ **Photo 43** : *Diplopora phanerospora* PIA : une section sub-axiale. L'axe principal, qui présente des constrictions à intervalles réguliers, recèle de nombreux cystes. Collection J. PIA, Trias supérieur, Bavière (Allemagne).



1 mm

Photo 44 : *Uteria* : section oblique montrant l'alternance de verticilles stériles ("bleus") et de verticilles fertiles. Test dissout très peu cimenté par de la calcite. Paléocène, Libye.



1 mm



Photo 45 : *Uteria* : section oblique montrant l'alternance de verticilles stériles et de verticilles fertiles. Test dissout puis cimenté par une calcite drusique. Collection R. DELOFFRE, Paléocène, Aquitaine (France).

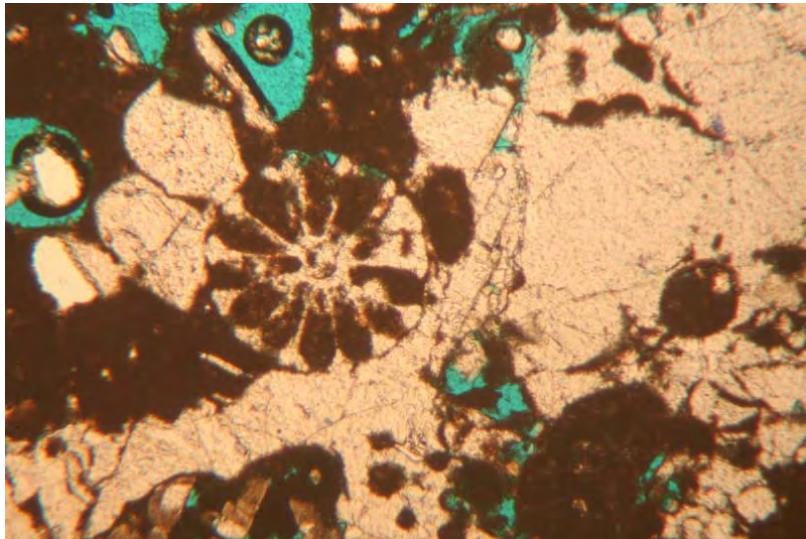


Photo 46 : *Otternstella* : section transverse. Test dissout cimenté par de l'anhydrite, ici en lumière naturelle. Berriasien, Abou Dabi (Émirats Arabes Unis).

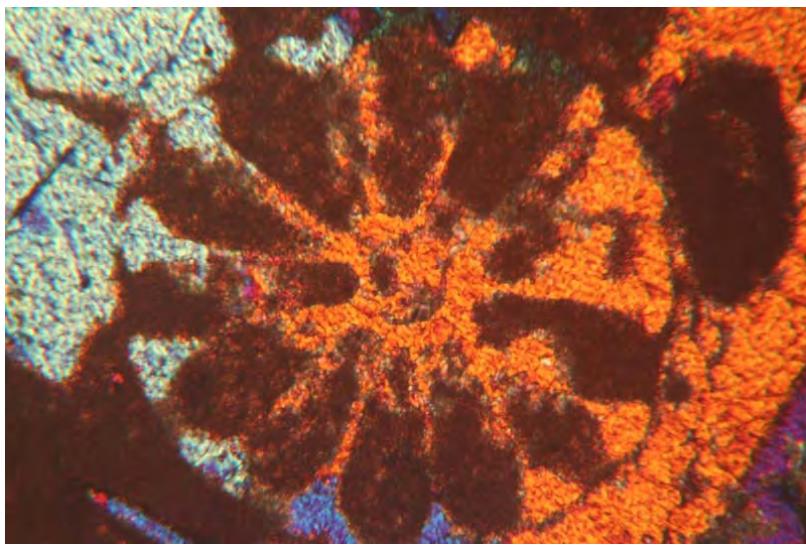
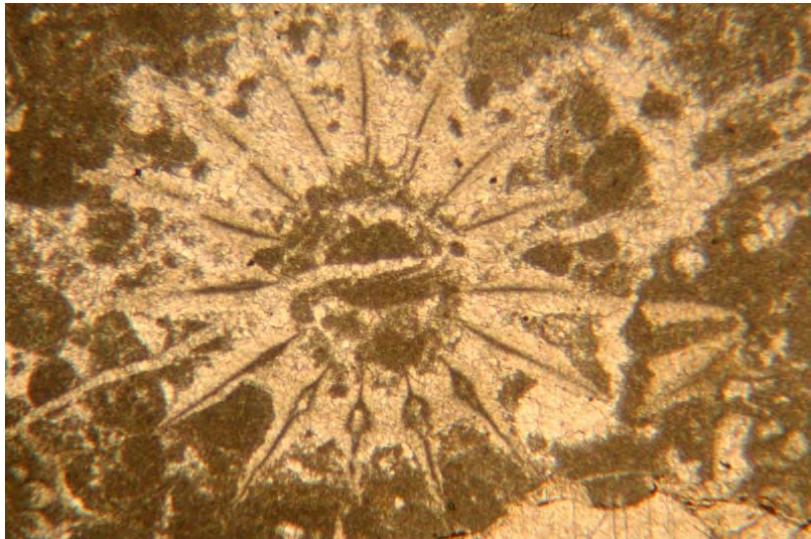
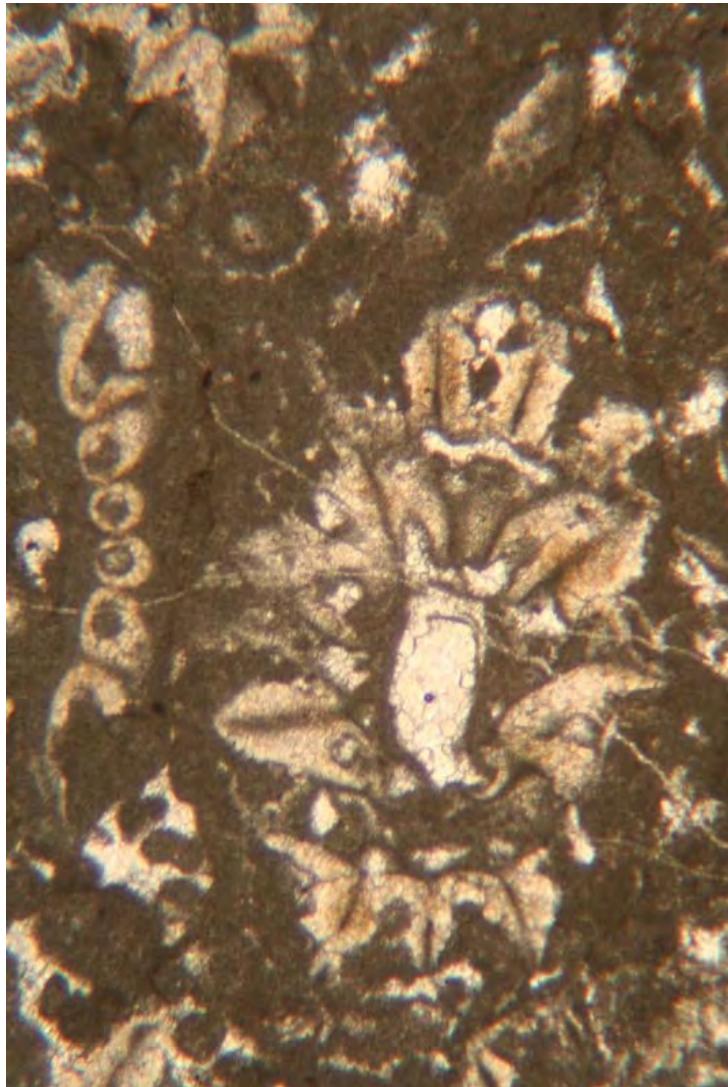


Photo 47 : *Otternstella* : section transverse. Détail de la précédente. Test dissout cimenté par de l'anhydrite, en lumière polarisée-analysée. Berriasien, Abou Dabi (Émirats Arabes Unis).



1 mm

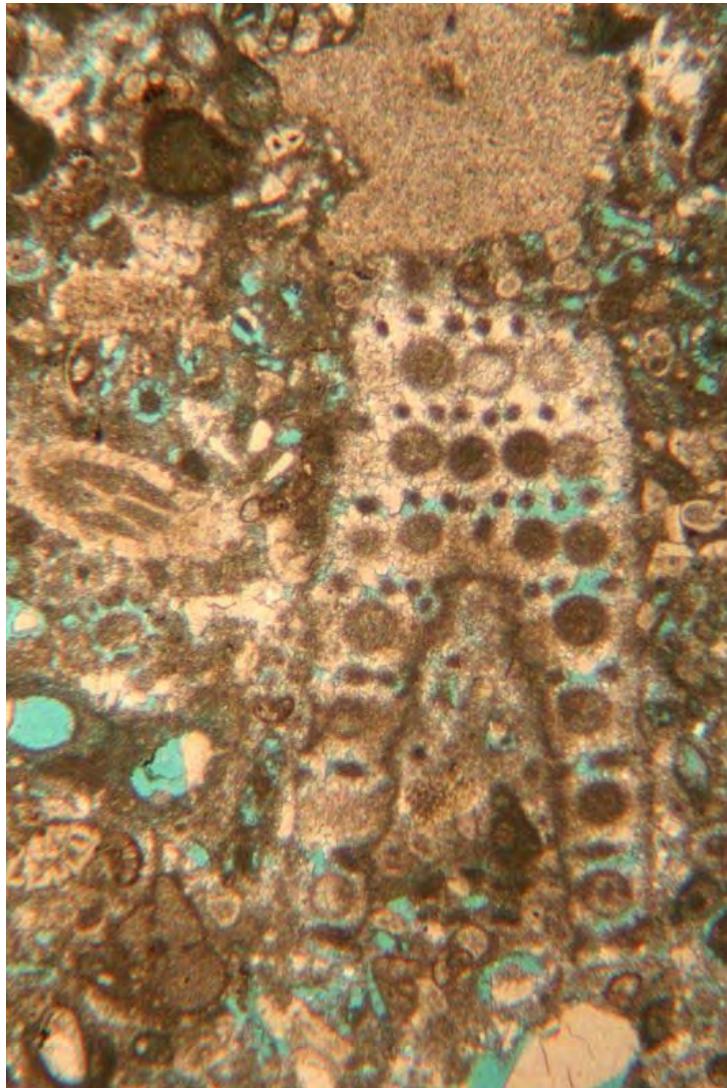
Photo 48.a : *Clypeina sulcata* (ALTH) : section transverse au niveau d'un verticille fertile. Collection R. DELOFFRE, Tithonien, Aquitaine (France).



1 mm



Photo 48.b : *Clypeina sulcata* (ALTH) : section oblique passant par 4 verticilles successifs. Collection R. DELOFFRE, Tithonien, Aquitaine (France).



1 mm



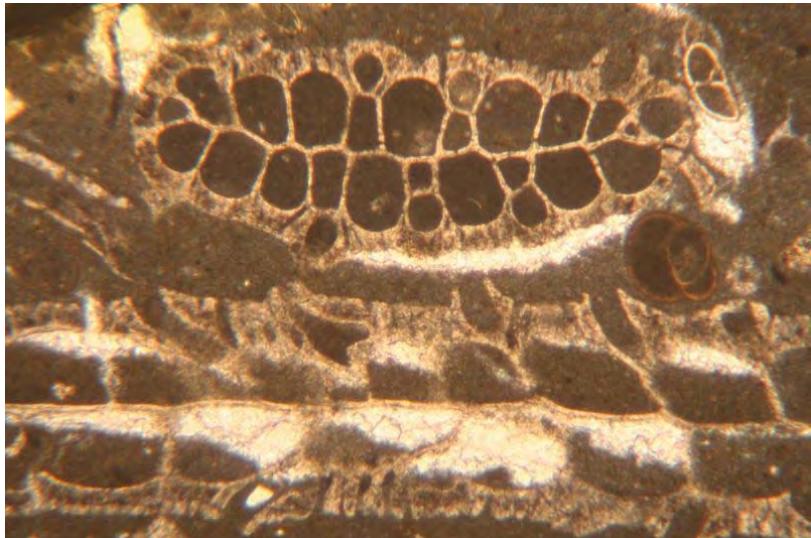
Photo 49 : *Neomeris* : une section oblique ; les ampoules fertiles sont encadrées par une paire de ramifications stériles de second ordre. Test dissout partiellement cimenté par une calcite drusique. Paléocène, Libye.



1 mm

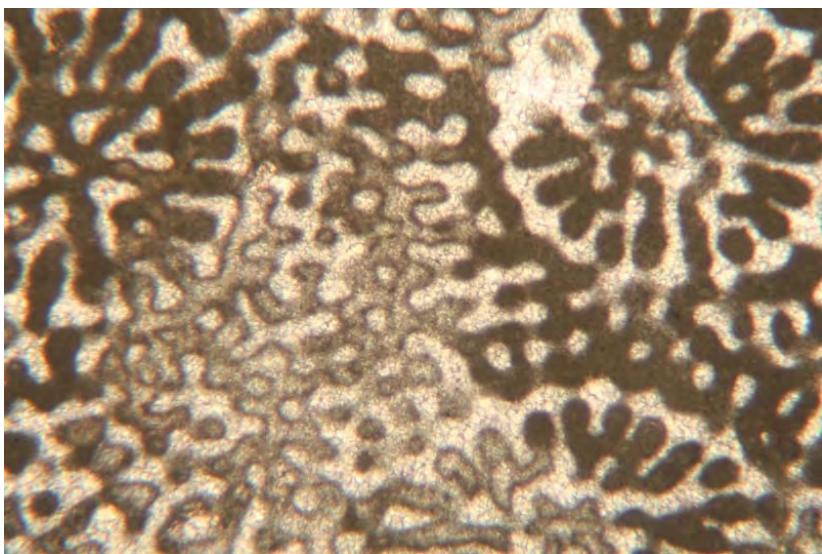


Photo 50 : *Triploporella fraasi* STEINMANN : détail d'une section oblique (figurée dans BASSOULET *et alii*, 1978 : Pl. 35, fig. 9) illustrant la présence d'agrégats de cystes au sein des ramifications de premier ordre. Collection R. DELOFFRE, Albo-Cénomanien, Apennins (Italie).



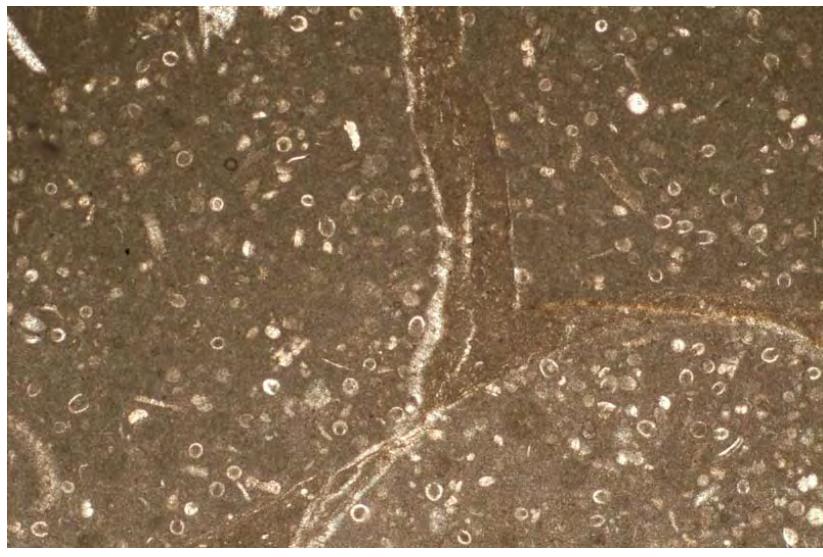
1 mm

Photo 51 : Boue (wackestone) à bryozoaires. Provenance inconnue.



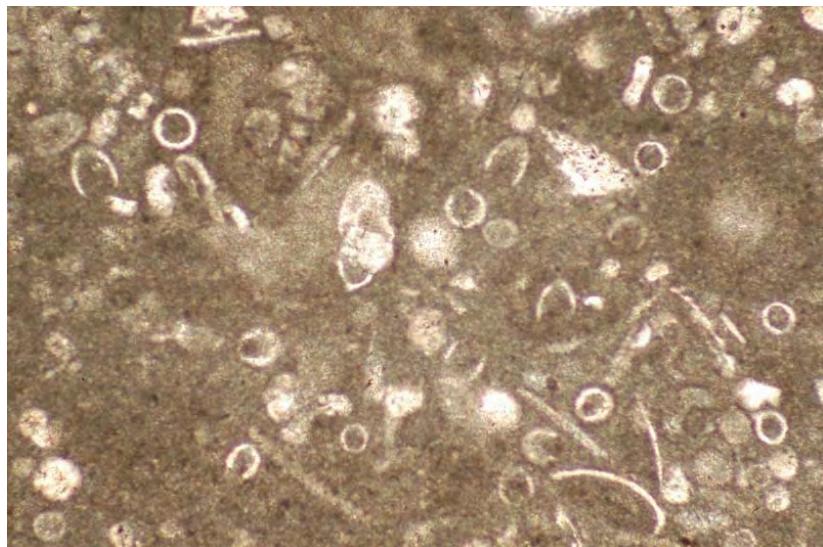
1 mm

Photo 52 : Biolithite (boundstone / framestone) de coraux. Paléocène, Aquitaine (France).



1 mm

Photo 53 : Boue (wackestone) à Calpionelles. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



500 µm

Photo 54 : Boue (wackestone) à Calpionelles. Collection U.P.M.C., origine inconnue.

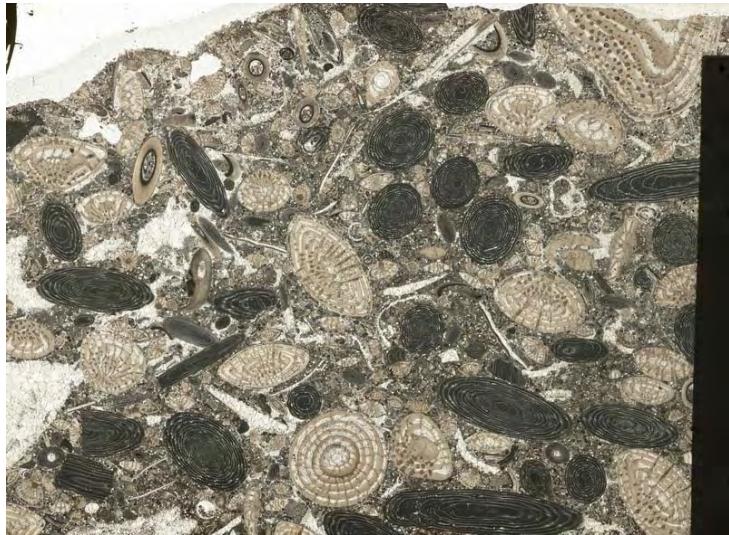


Photo 55 : Sable grossier boueux (packstone) de Nummulites et d'Alvéolines. Lutétien, Peyrehorade (Landes). Collection U.P.M.C., origine inconnue.



Photo 56 : Section axiale (en haut) et transverse oblique au milieu en bas (montrant les logettes équatoriales rectangulaires) de *Discocyclina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



Photo 57 : Sections transverses et obliques montrant les logettes équatoriales rectangulaires de *Discocyclina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



Photo 58 : Section axiale de *Discocyclina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



Photo 59 : Section axiale d'*Operculina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.

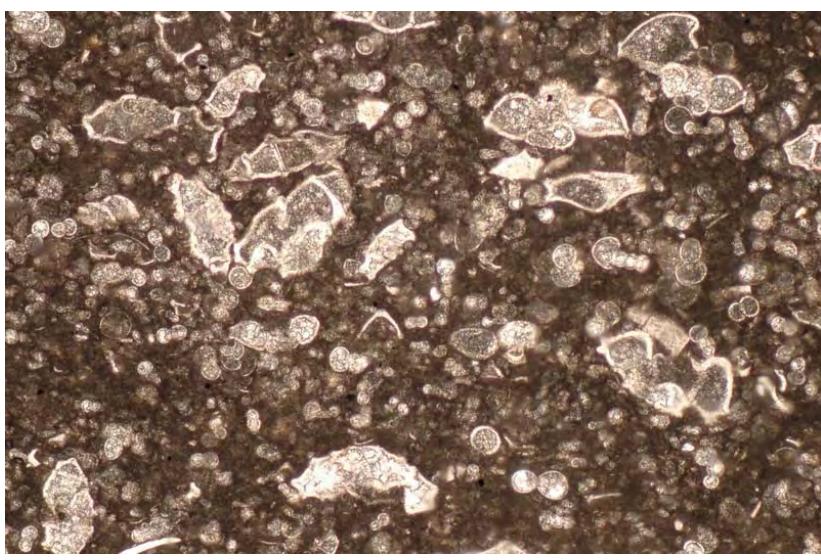
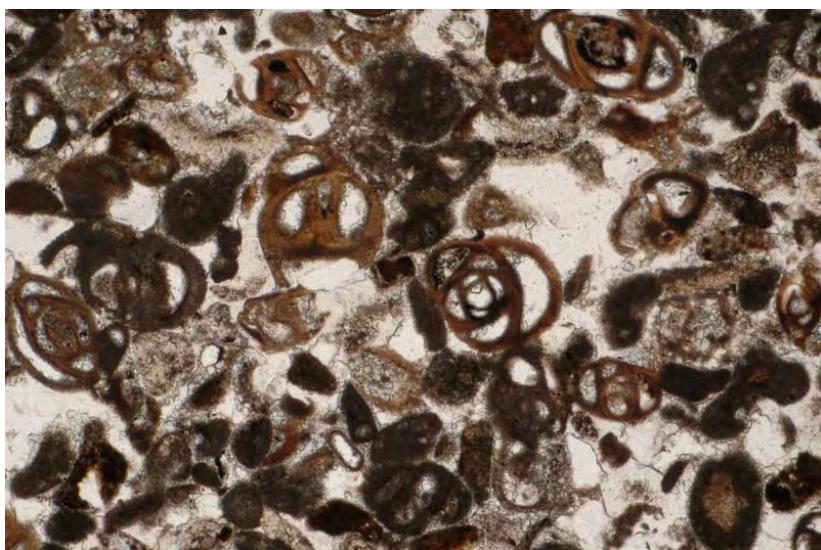


Photo 60 : Boue (wackestone) à *Globotruncana*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



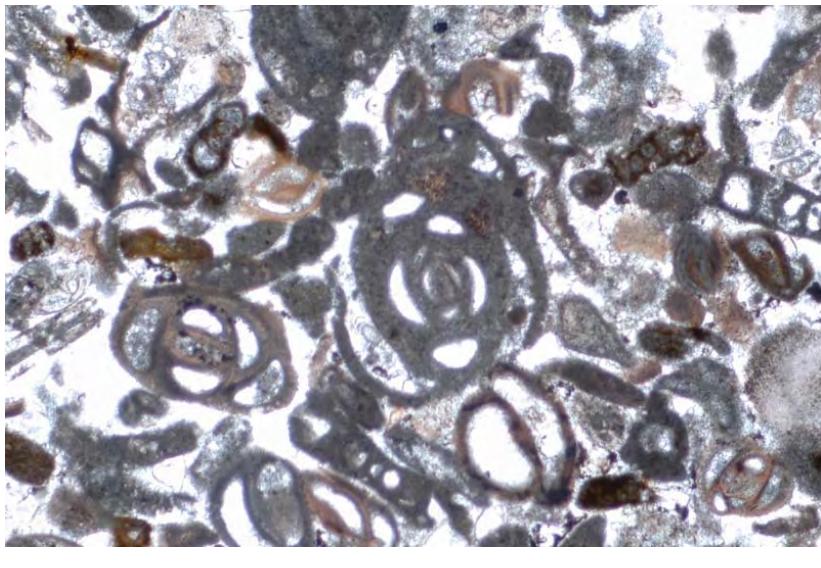
1 mm

Photo 61 : Boue (wackestone) à *Globigerina*. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



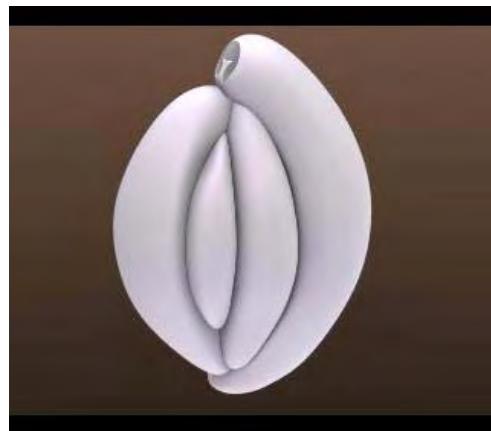
1 mm

Photo 62 : Sable fin (grainstone) à Milioides. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



1 mm

Photo 63 : Sable fin (grainstone) à Milioles. Collection U.P.M.C., origine inconnue.



La vidéo est disponible en format flv (1,02 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_01.flv
en format avi (731 ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_01.avi
en format mpg (973 ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_01.mpg

Vidéo 1 : *Quinqueloculina*, arrangement quinqueloculin des loges.



La vidéo est disponible en format flv (789 ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_02.flv
en format avi (605 ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_02.avi
en format mpg (760 Ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_02.mpg

Vidéo 2 : *Triloculina*, arrangement triloculin des loges.



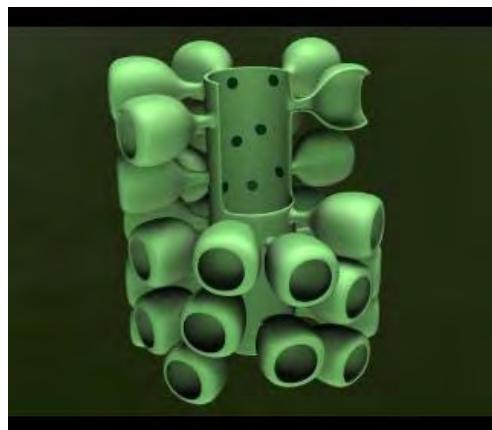
La vidéo est disponible en format flv (828 Ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_03.flv
en format avi (605 Ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_03.avi
en format mpg (795 ko) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_03.mpg

Vidéo 3 : *Pyrgo*, arrangement biloculin des loges.



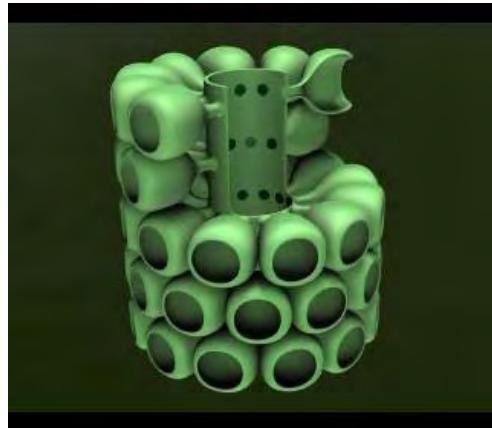
La vidéo est disponible en format flv (2,22 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_04.flv
en format avi (2,47 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_04.avi
en format mpg (2,00 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_04.mpg

Vidéo 4 : *Globotruncana*, arrangement trochospiralé des loges.



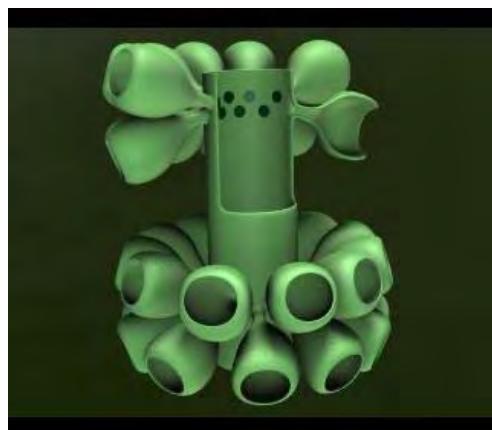
La vidéo est disponible en format flv (4,15 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_05.flv
en format avi (2,62 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_05.avi
en format mpg (3,98 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_05.mpg

Vidéo 5 : Dasycladales - Forme aspondyle, caractéristique de la Famille fossile des Seletonellaceae.



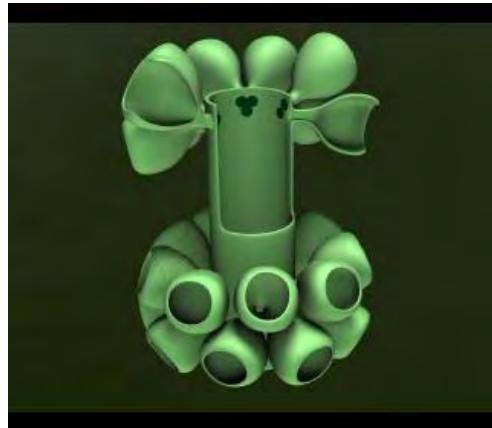
La vidéo est disponible en format flv (4,86 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_06.flv
en format avi (2,81 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_06.avi
en format mpg (4,52 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_06.mpg

Vidéo 6 : Dasycladales - Forme euspondyle à verticilles simples.



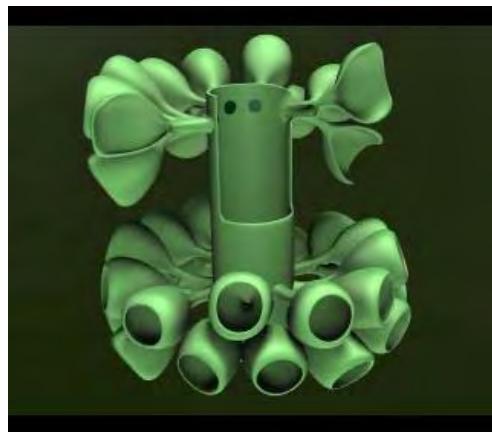
La vidéo est disponible en format flv (4,17 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_07.flv
en format avi (2,64 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_07.avi
en format mpg (3,95 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_07.mpg

Vidéo 7 : Dasycladales - Forme euspondyle à verticilles doubles.



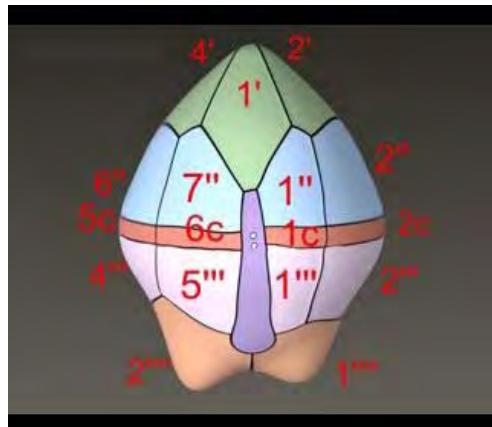
La vidéo est disponible en format flv (3,52 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_08.flv
en format avi (2,32 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_08.avi
en format mpg (3,41 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_08.mpg

Vidéo 8 : Dasycladidales - Forme métaspondyle de la Famille fossile des Diplopoda-ceae, à verticilles de touffes.



La vidéo est disponible en format flv (5,01 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_09.flv
en format avi (3,08 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_09.avi
en format mpg (4,65 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_09.mpg

Vidéo 9 : Dasycladidales - Forme métaspondyle de la Famille fossile des Diplopoda-ceae, avec un vestibule simple à la base des touffes.



La vidéo est disponible en format flv (6,33 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_10.flv
en format avi (8,01 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_10.avi
en format mpg (5,69 Mo) sous
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2011_B02/video_10.mpg

Vidéo 10 : Représentation schématique tridimensionnelle de la théque d'un Dinoflagellé (Peridiniaceae). La numérotation des plaques utilisée est celle de C.A. KOFOID.