

Pétrographie Sédimentaire

STU S3



Shop

- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier

Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi

- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

TP Pétrologie sédimentaire et microfaciès

BOUR Ivan

Laboratoire IDÉS

Bât. 504

Roches sédimentaires

Roche exogènes qui représentent 5 % en volume de la croûte terrestre et en couvrent 75 % de la surface

2 grandes catégories



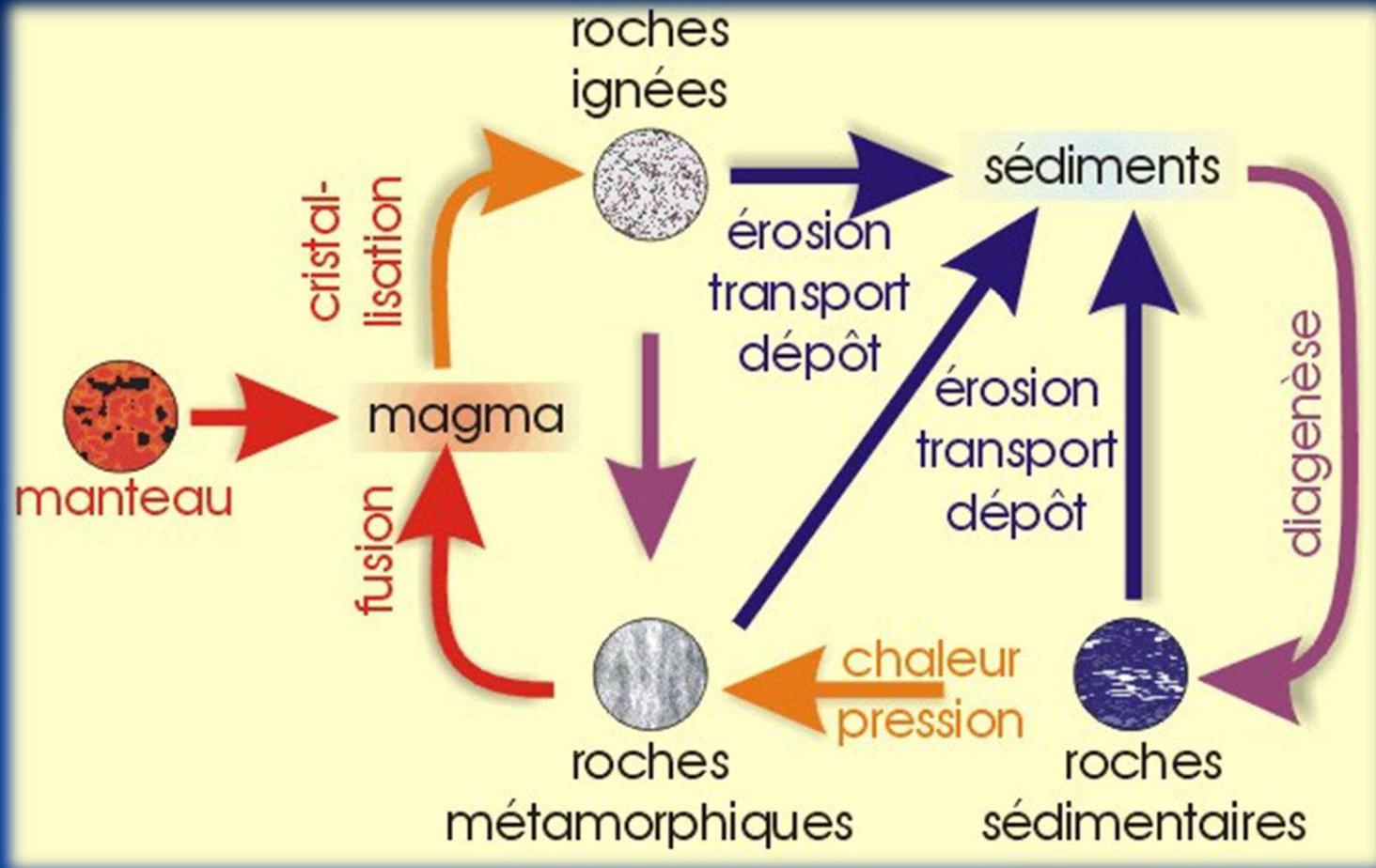
A) Roches détritiques (formées à partir de roches préexistantes)

- **Roches terrigènes (les plus abondantes)**
Accumulation de débris de roches + ciment
 - **Roches pyroclastiques**
Accumulation de débris projetés par les volcans

B) Roches biogènes et/ou physicochimiques (non formées à partir de roches préexistantes)

- **Roches carbonatées ($\text{CaCO}_3 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)**
Bioclastiques: accumulation de squelettes et de fragments d'organismes végétaux ou animaux
Physicochimiques: précipitation directe des carbonates
 - **Roches siliceuses (SiO_2)**
(ex: Diatomites, silex)
 - **Roches carbonées (C_{org})**
Essentiellement constitués de composés du C org (ex: pétrole)
 - **Roches salines**
Le plus souvent, des évaporites (ex: halite (NaCl), Anhydrite (CaSO_4))
 - **Roches phosphatées (P_2O_5)**
Ex: phosphorites
- **Roches ferrugineuses, glauconieuses, alumineuses**
Minerais de fer

Mode de formation des dépôts sédimentaire



D'après Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)

Cycle géologique des roches

Roches carbonatées

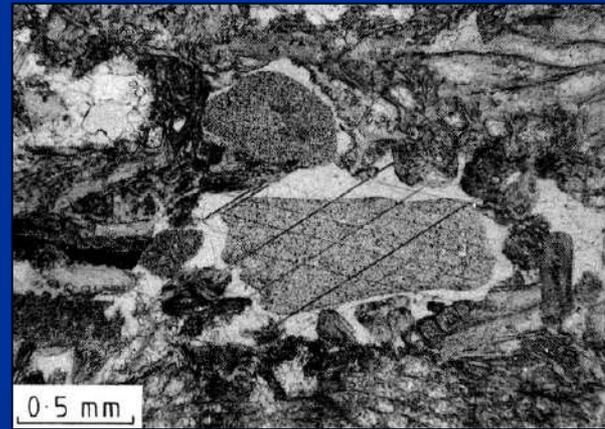


LES PRINCIPAUX CARBONATES

- CALCITE / ARAGONITE / DOLOMITE

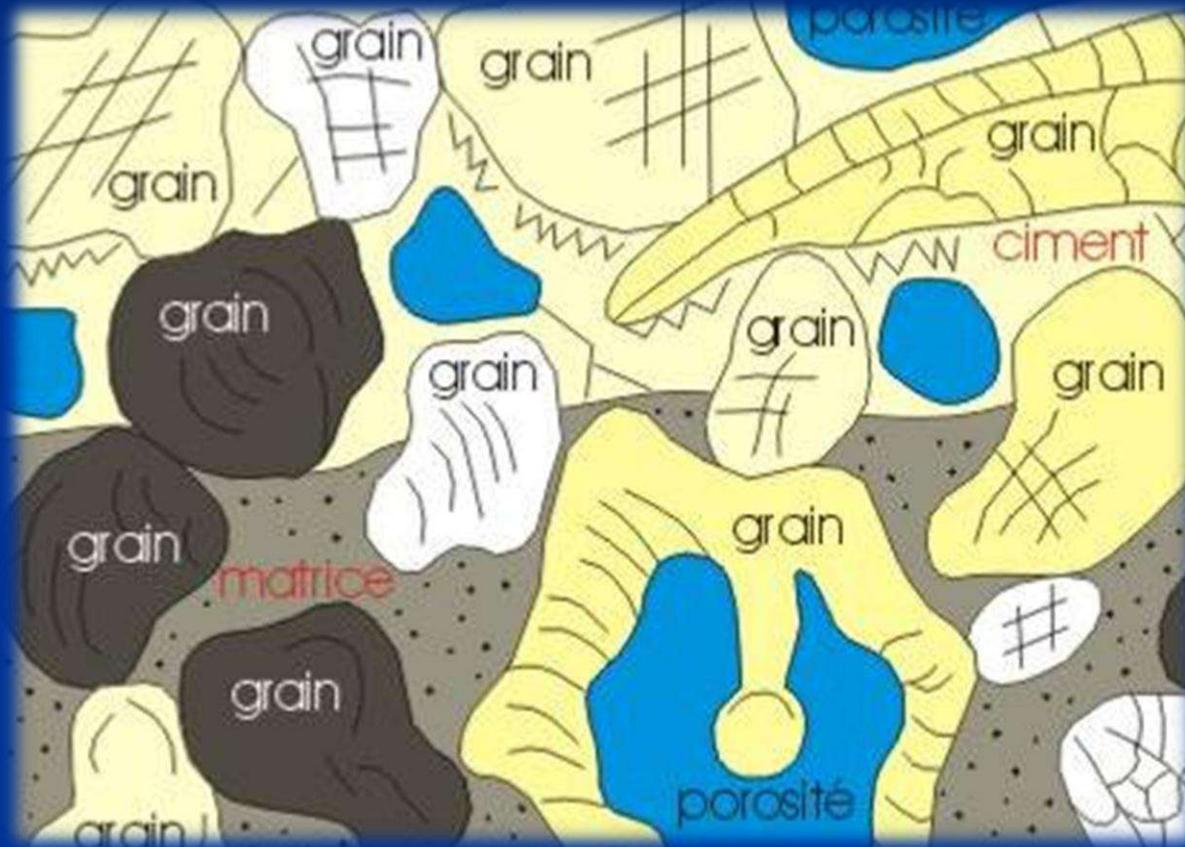


- MICRITE / MICROSPARITE / SPARITE



IDENTIFICATION DES CONSTITUANTS

grains; matrice; ciment; porosité



D'après Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geosed>)

Les différents constituants d'un calcaire en lame mince sont:

- les **GRAINS** (=éléments figurés =corpuscules),
- la **MATRICE** (=la boue qui s'est infiltrée entre les grains, pendant le dépôt),
- le **CIMENT** (=la calcite ou l'aragonite qui précipite entre les grains après le dépôt)
- et la **POROSITE** (qui peut être emplie d'eau, d'air, d'hydrocarbures). Dans le schéma ci-dessus, la porosité est représentée en bleu.

Notion de microfaciès sédimentaire

Les roches carbonatées peuvent être classées en fonction de leur :

- composition chimique ou minéralogique,
- propriétés physiques comme leur porosité,
- texture, matrice ou ciment et grains.

Actuellement, les classifications les plus utilisées font appel à des paramètres accessibles sur échantillon ou en lame mince tels que proportion matrice-ciment-grains.

CLASSIFICATION DES ROCHES CARBONATEES

MICROFACIES DES ROCHES CARBONATEES

RAPPEL

Les roches carbonatées comportent des éléments dont la taille varie du gros galet à la particules de quelques microns

2 groupes arbitraires:

GRAINS

(Éléments > 63 μm)

✦ Grains non squelettiques

Ooïdes, Oncoïdes, Pelletoides, Lithoclastes...
Absence de structures organiques

✦ Grains squelettiques

Fossiles et fragments de fossiles
Formes ou structures organiques

Allochems (Folk, 1962)

PHASE DE LIAISON

(Éléments < 63 μm)

✦ Matrice=Micrite

Calcite microcristalline
Carbonates (bio)chimique ou
Fragments d'organismes calcaires

✦ Ciment=Sparite

Calcite spathique
Cristaux relativement limpides remplissant les pores

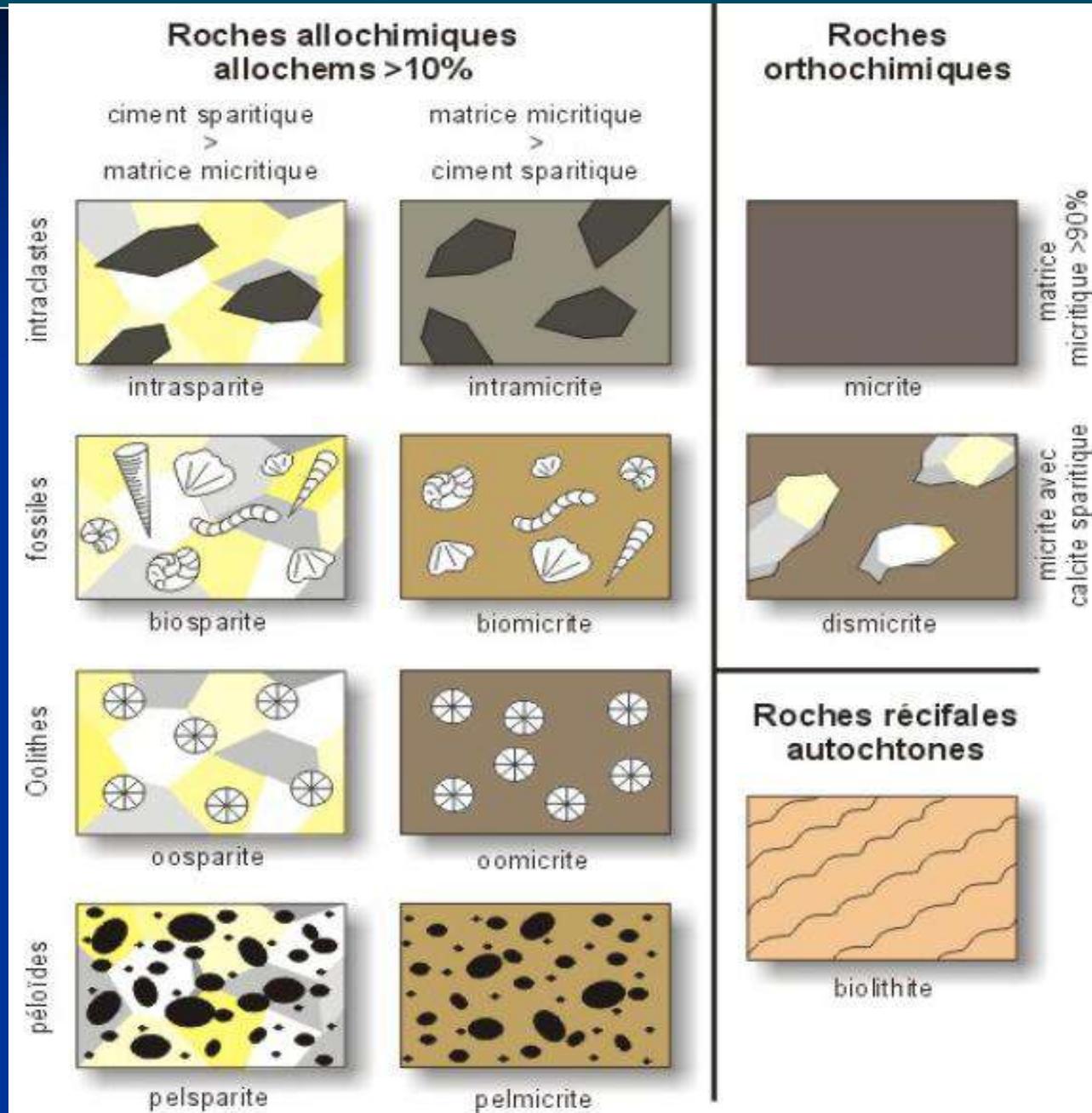
Orthochems (Folk, 1962)

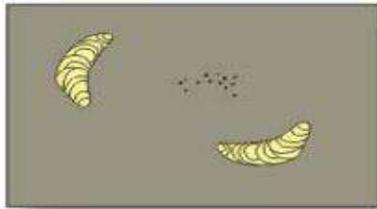
CLASSIFICATION DE FOLK

On considère que les constituants majeurs des calcaires sont :

- les "**allochems**" (grains, corpuscules, éléments figurés) :
 - * les **intraclastes** : sédiments remaniés;
 - * les **pellets** : grains ovoïdes de micrite de taille inframillimétrique ;
 - * les **oolithes** ;
 - * les **fossiles, bioclastes et grains squelettiques** ;
- la **matrice** (micrite) ;
- le **ciment** (sparite).

Remarque : Les appellations obtenues par combinaison d'un préfixe (intra-, pel-, oo-, bio-) et d'un suffixe (-micrite ou -sparite) peuvent être complétées par l'adjonction du terme "**rudite**" pour les grains dont la taille est supérieure à 4 mm (exemple: "biosparrudite" décrit un calcaire à grands bioclastes ou fossiles cimentés par de la sparite).





mudstone
($<10\%$ corpuscules)



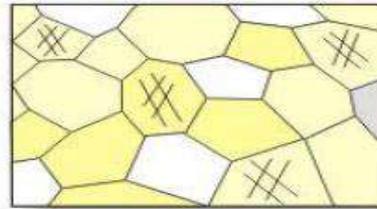
wackestone ($>10\%$)



packstone (corpuscules jointifs; matrice)



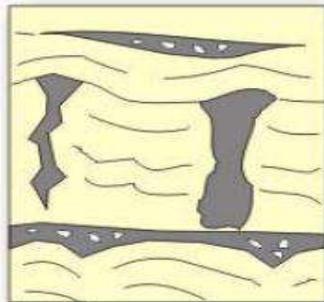
grainstone (corpuscules jointifs, ciment)



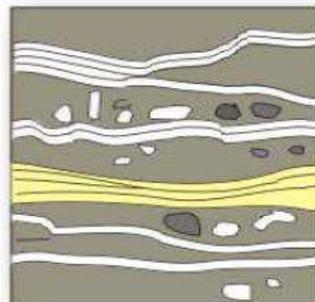
calcaire cristallin

$<10\%$
d'éléments
 >2 mm

- █ -Grains non jointifs
- █ -Grains jointifs
- █ -Grains jointifs et absence de micrite

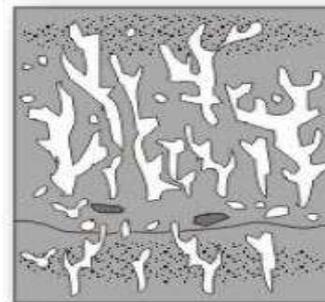


framestone



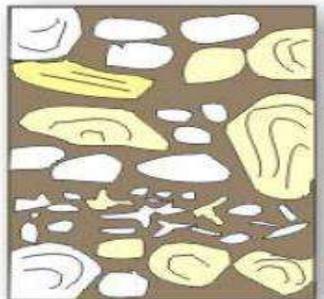
bindstone

BOUNDSTONES

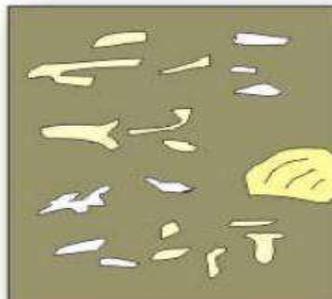


bafflestone

$>10\%$
d'éléments
 >2 mm



rudstone



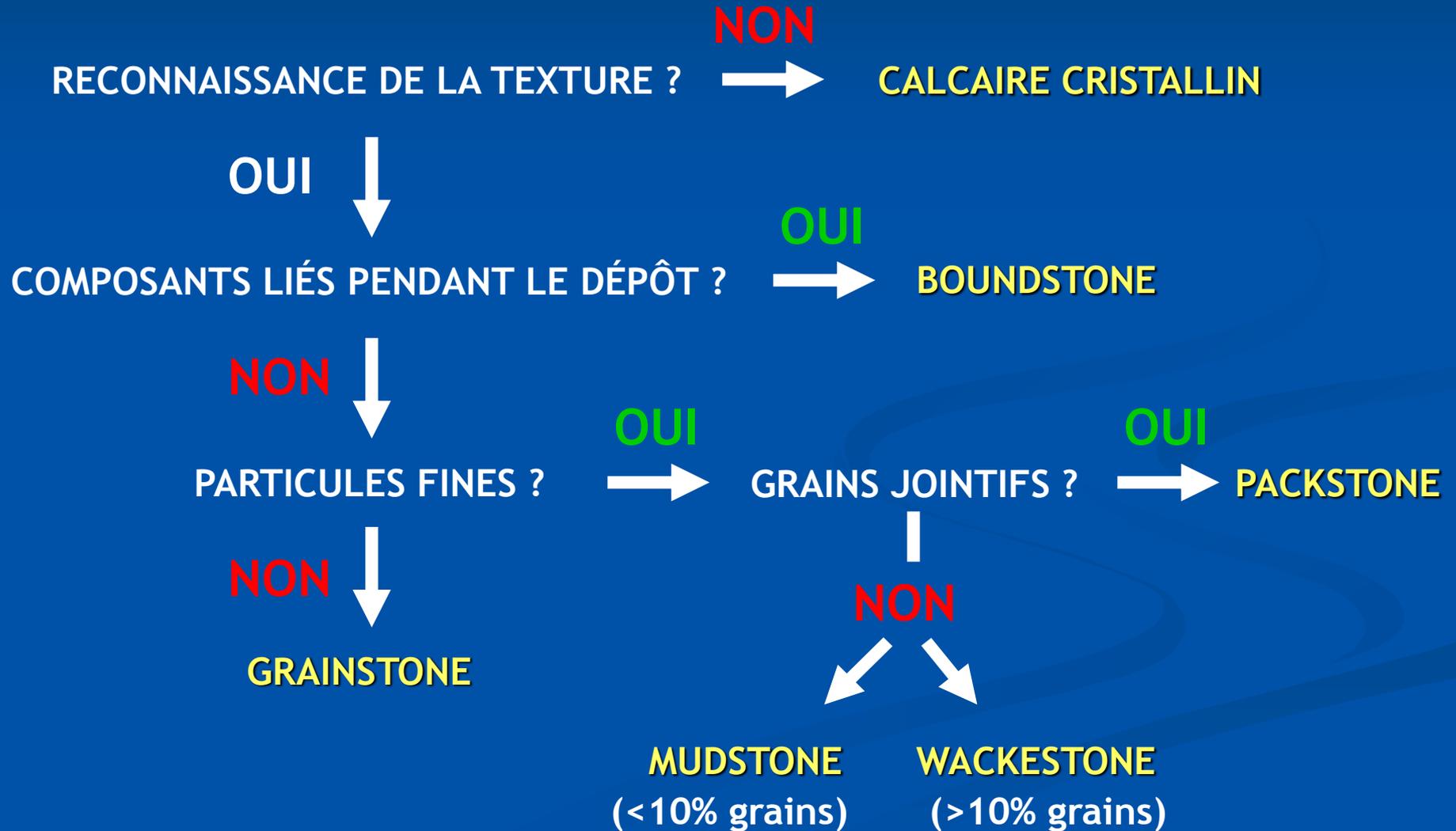
floatstone

Boundstone
Constituants
cimentés pendant la
sédimentation

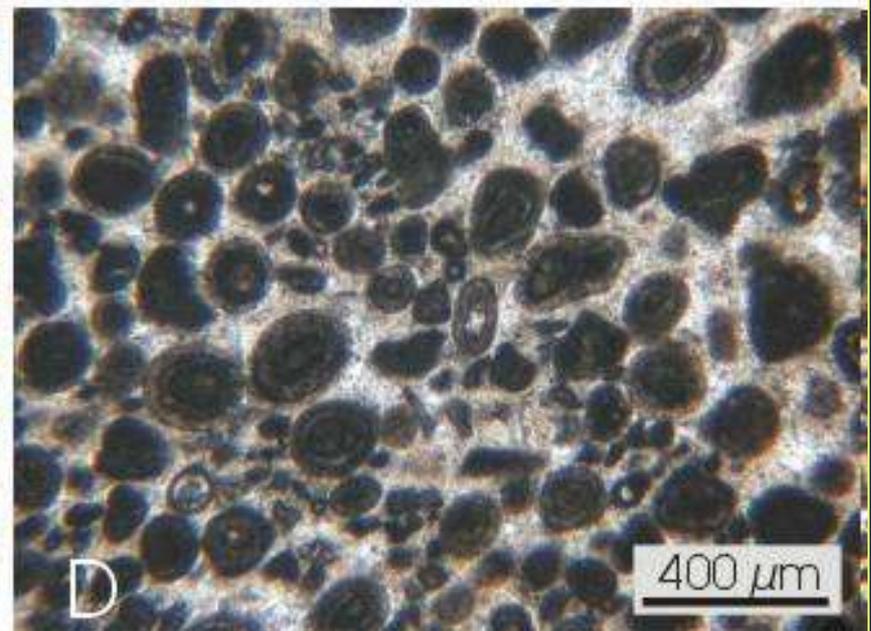
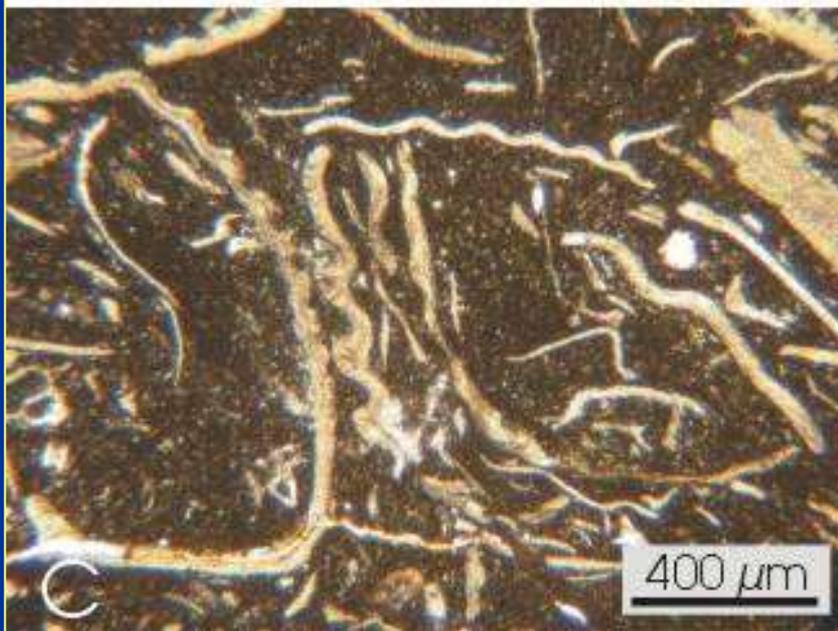
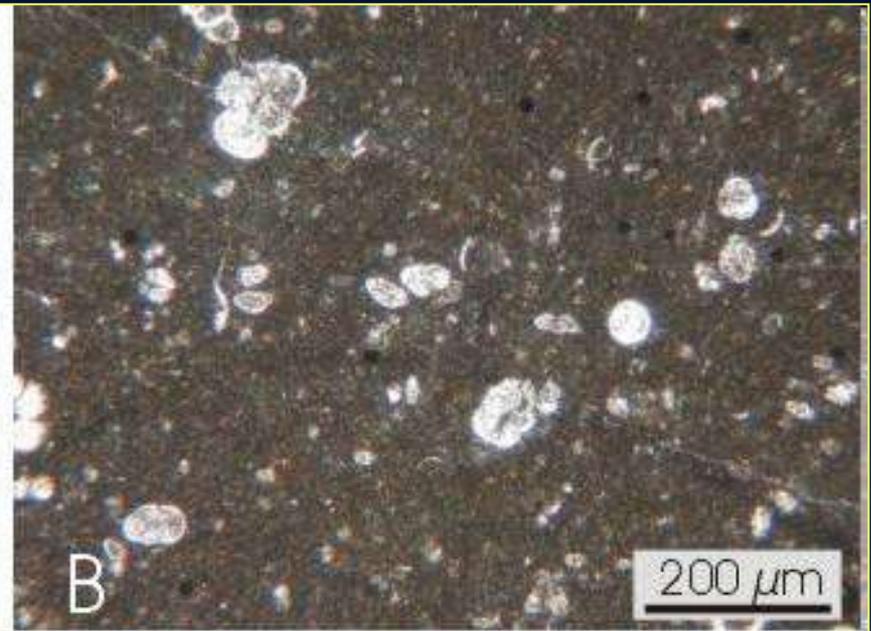
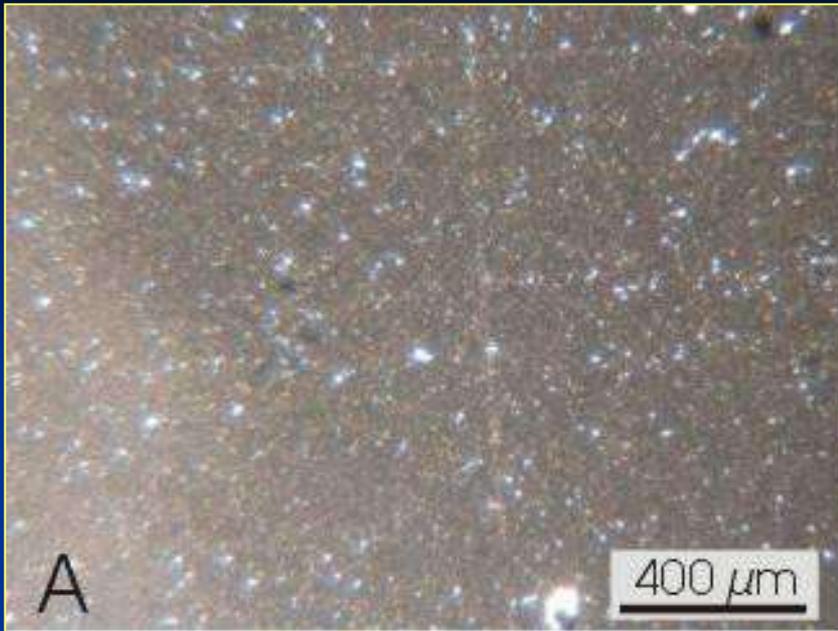
Calcaire construit

CLASSIFICATION DE DUNHAM

Méthode d'utilisation



EXEMPLE



EXEMPLE

mudstone (la boue calcaire ou matrice est seule présente: ceci nécessite un milieu très calme)

A

400 μm

wackestone à globigérines (la présence de ces petits foraminifères indique un milieu océanique; l'existence de boue calcaire témoigne ici encore d'un environnement de dépôt très calme, sous la zone d'action des vagues)

B

200 μm

packstone à brachiopodes (les coquilles de brachiopodes sont en équilibre mécanique: leur mise en place nécessite une certaine agitation alors que la matrice s'est infiltrée pendant une phase de calme; il s'agit d'une tempestite)

C

400 μm

grainstone à ooïdes (l'absence de matrice indique un milieu perpétuellement agité, de même que le bon classement des grains; les ooïdes suggèrent un environnement très peu profond et agité)

D

400 μm

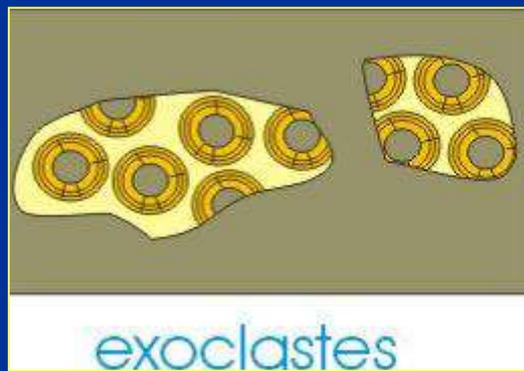
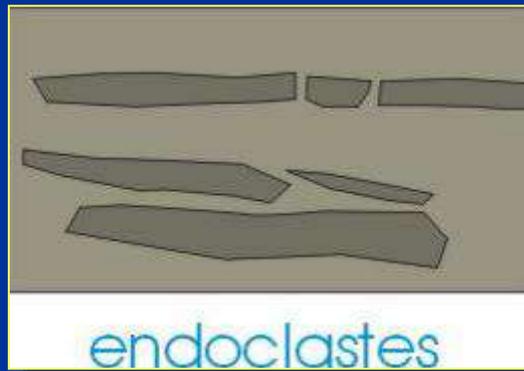
Les types de grains

- Grains non squelettiques
 - Grains squelettiques
- 

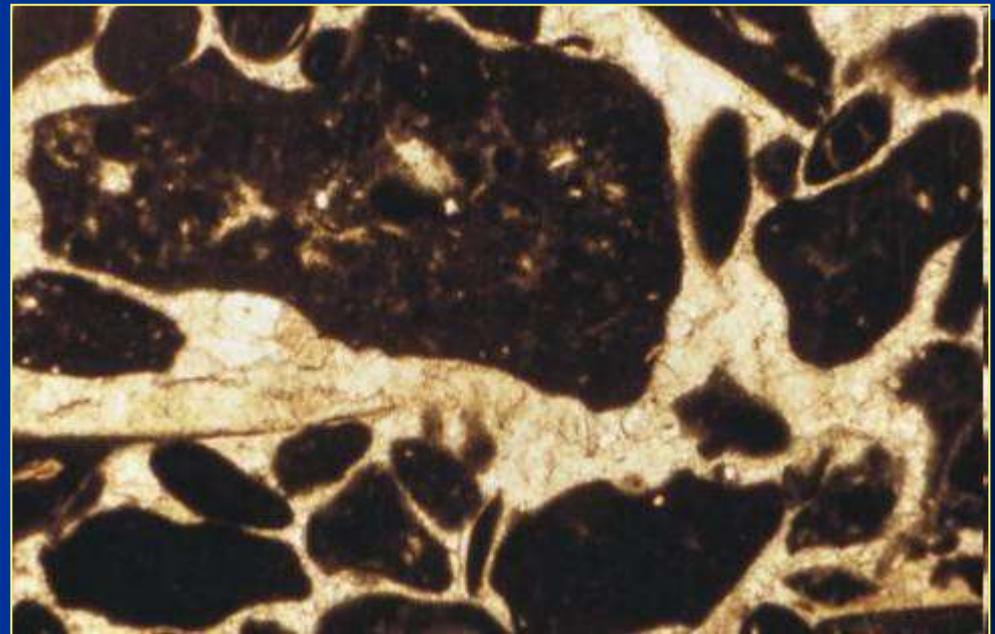
Les grains non squelettiques

LITHOCLASTES ou MICROBRECHES, AGREGATS

On distingue les **endoclastes** (remaniement local de sédiment déjà déposé) des **exoclastes** (apport de matériel "exotique" par rapport au milieu de sédimentation).



Cliché Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



Grainstone à lithoclastes irréguliers (foncés).
Le ciment (clair) est de la sparite équigranulaire.
Lumière naturelle

Les grains non squelettiques

GRAINS SANS NUCLEUS

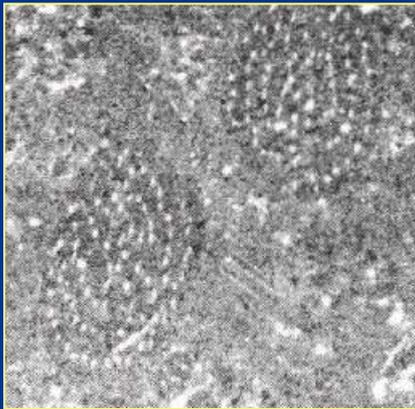
Pelletoïdes :

Boules de micrite à morphologie plus ou moins régulière, pas de structure interne.

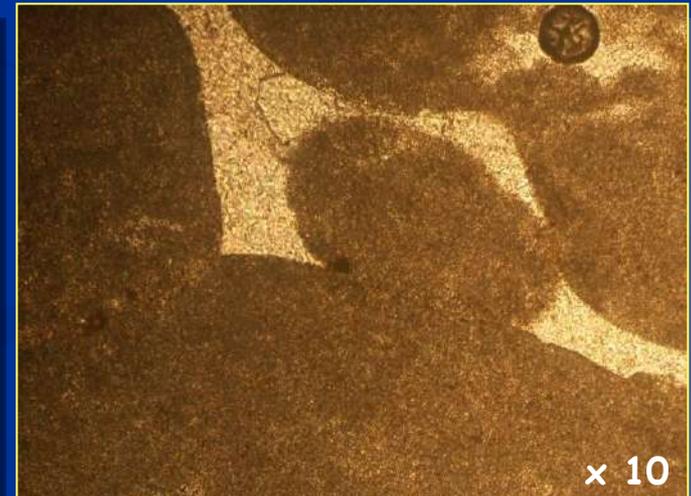
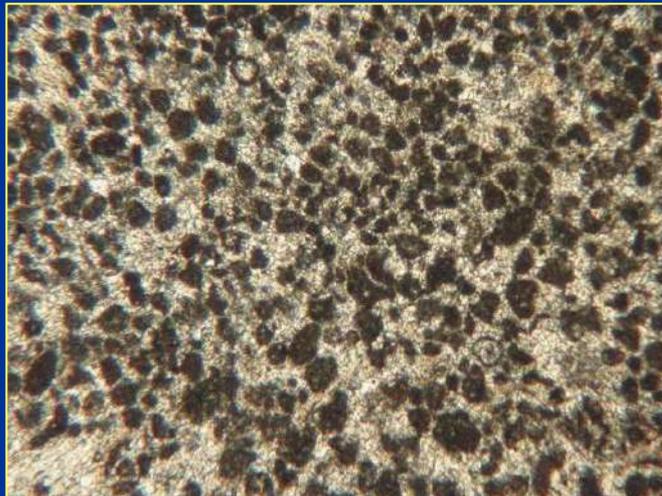
Origine: pelotes fécales, micritisation d'autres grains, fragments de tapis algaires... Milieux peu profonds, souvent protégés.

Remarque: on utilise le terme "pellets" uniquement pour les pelotes fécales; tous les autres sont des "péloïdes".

Bour, Duchamp 2009



*Grainstone à peloïdes.
Lumière naturelle*



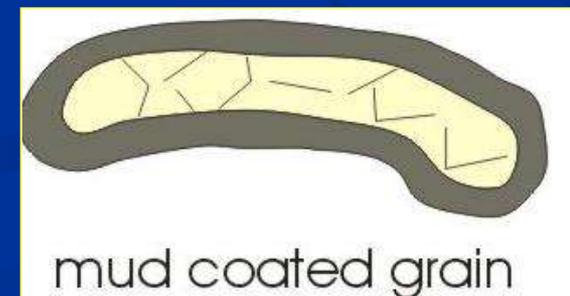
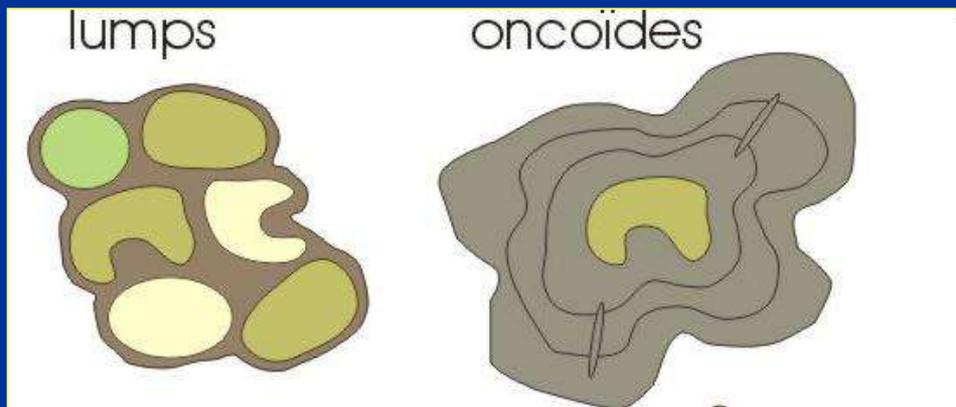
x 10

Les grains non squelettiques

GRAINS AVEC NUCLEUS

Oncoides, Lumps, Mud coated grains :

- **Oncoides**: cortex d'origine algaire ou microbienne, morphologie externe irrégulière, concavités; milieu marin ou fluviatile peu profond, agitation intermittente.
- **Lumps**: agglutination de grains: lithification synsédimentaire en milieu calme et peu profond.
- **Mud coated grains**: micritisation de fragments de coquille. Le fragment servant de nucleus est recristallisé ou remplacé par du ciment; milieu très calme (rivage).



D'après Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolseed>)

Les grains non squelettiques

GRAINS AVEC NUCLEUS

Ooïdes :

Grains constitués d'un "nucleus" (fragment de coquille, grain de sable) autour duquel précipite de la calcite ou de l'aragonite, formant un "cortex". Le cortex montre une lamination concentrique.

Plusieurs types d'ooïdes:

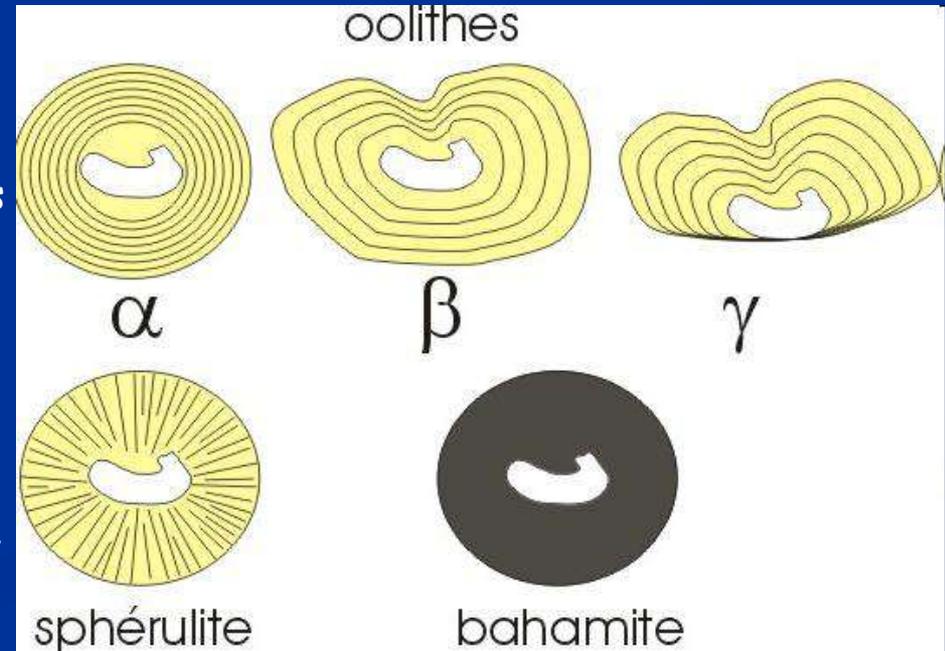
Oolithes de type α : laminations corticales régularisant la morphologie du nucleus => oolithes marines des milieux agités (abrasion).

Oolithes de type β : laminations corticales conservant la morphologie du nucleus => oolithes marines des milieux abrités.

Oolithes de type γ : laminations localisées sur un côté du nucleus : pas de transport => oolithes marines des milieux très abrités.

Sphérulites ou oolithe microbienne : cortex radiaire => recristallisation lors de la diagenèse.

Bahamites ou oolithe micritique : micritisation du cortex (par perforation répétée par des algues ou des bactéries).



Les grains non squelettiques

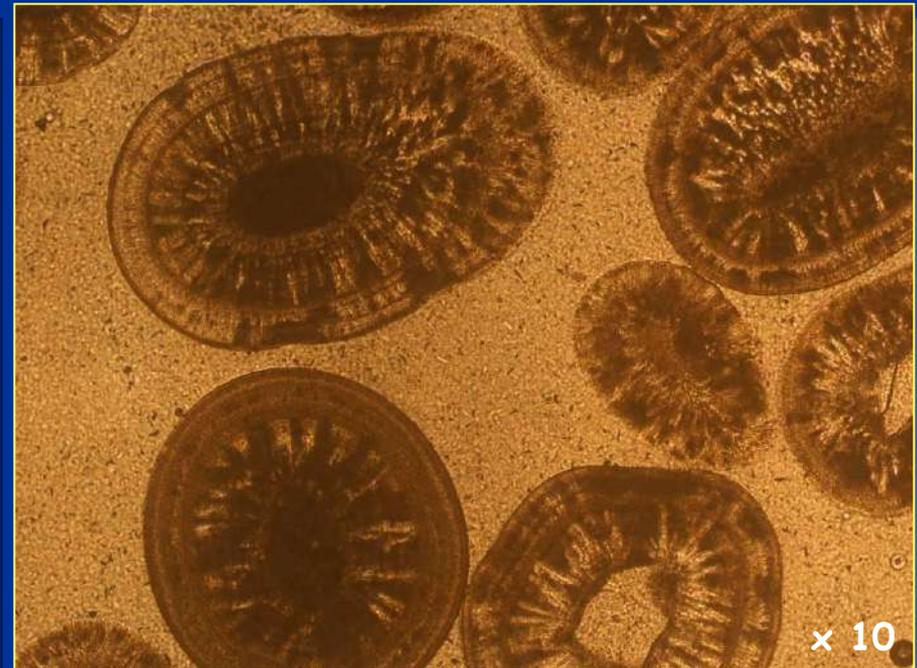
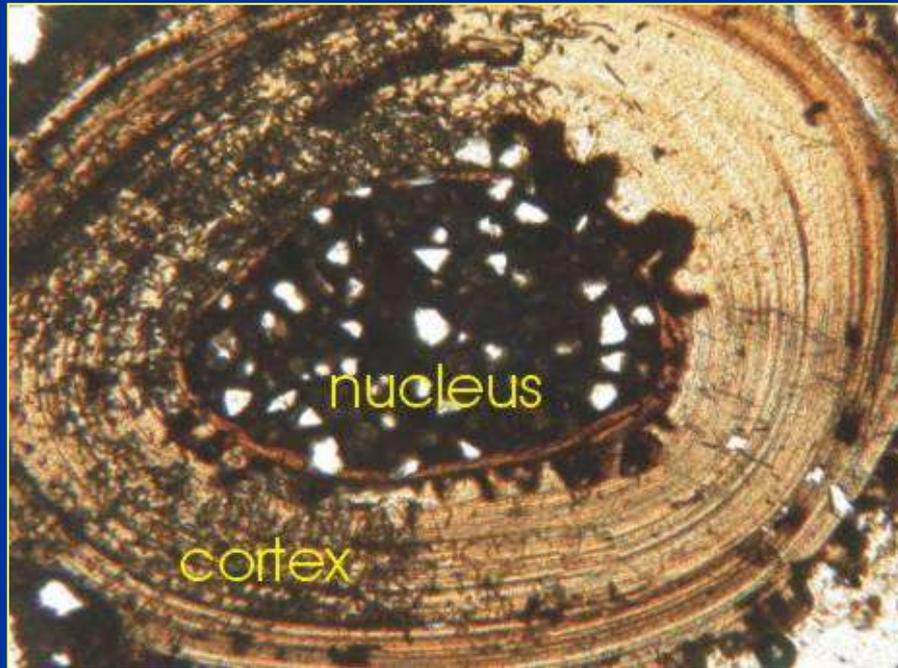
GRAINS AVEC NUCLEUS

Ooïdes :

Exemple

Cliché Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolseid>)

Bour, Duchamp 2009



Oolites α montrant une lamination concentrique autour d'un nucleus constitué de boue calcaire avec quelques grains de sable.

TYPES DE GRAINS

Grains non squelettiques



Grains squelettiques



Les grains squelettiques

A) MICRO-ORGANISMES ANIMAUX

✦ *Protozoaires*

- 1) Les foraminifères
- 2) Les Calpionelles
- 3) Les Radiolaires

✦ *Métazoaires*

- 1) Les Echinodermes
- 2) Les Mollusques
- 3) Les Brachiopodes
- 4) Les Bryozoaires
- 5) Les Cnidaires
- 6) Les Ostracodes
- 7) Les Conodontes
- 8) Les Spongiaires
- 9) Les Annélides

B) MICRO-ORGANISMES VEGETAUX

- 1) Les algues pluricellulaires
- 2) Les nannofossiles calcaires
- 3) Les diatomées
- 4) Les spores et les pollens

Grains squelettiques zoogènes



Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Protozoaires

Les Foraminifères

Groupe des Rhizopodes

NATURE DU TEST

Chitinoïdes

Rarement fossilisés

Agglutinés ou Arénacés

Éléments exogènes, empruntés aux sédiments (grains de quartz, spicules d'éponges, granules calcaires...) + ciment calcaire microgranulaire endogène (parfois chitinoïde ou ferrugineux)

Calcitiques

Microcristaux de calcite endogène

Microgranuleux

Granules subsphériques
($< 5 \mu\text{m}$)

Porcelanés

Calcite cryptocristalline (2-0.1 μm)
tests imperforés

Hyalins

Micro-cristaux de calcite (5-10 μm)
Granuleux: cristaux d'orientations optiques différentes
Fibroradiés: cristaux perpendiculaires à la surface de la paroi

MODE DE VIE

Généralement marins et sténohalins

Parfois milieux confinés voire saumâtres

95 % = benthiques dans zones littorales; 5 % = pélagiques

STRATIGRAPHIE

PRECAMBRIEN-Actuel

Les grains squelettiques zoogènes

Exemple de Foraminifères benthique

Les formes benthoniques (souvent à parois épaisses) bougent peu et vivent sur la plate-forme.

Bour, Duchamp 2009



Alveolinidés



Miliolidés



Nummulitidae



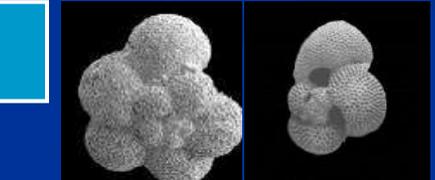
Orbitoïtidés

x 10

Exemple de Foraminifères planctoniques

Les formes planctoniques (souvent fragiles) se répartissent partout.

Bour, Duchamp 2009



x 10

Hedbergellidés (test bicarenés, bisériés, ...)

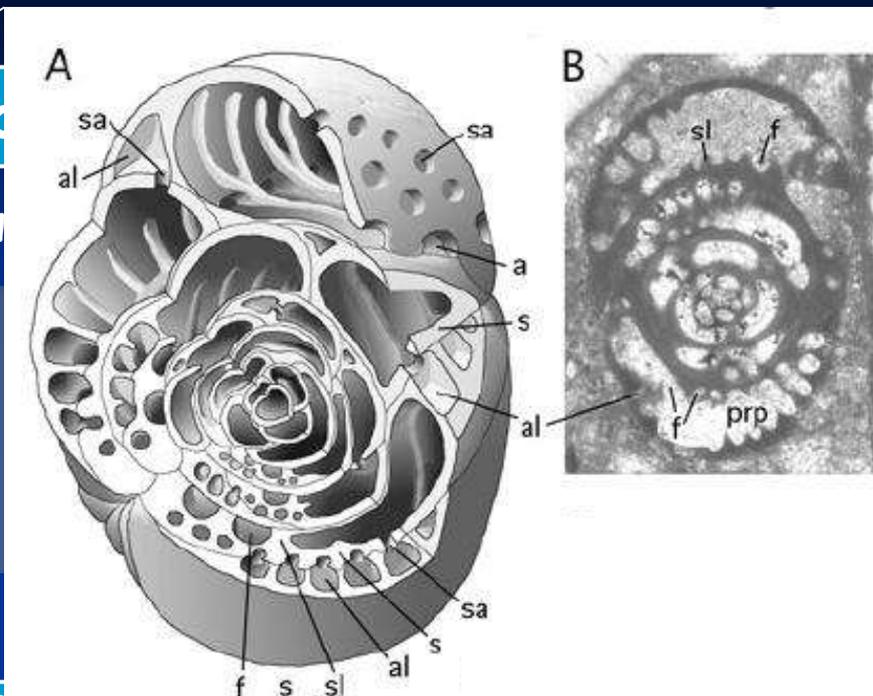
Les grains squelettiques zoogènes

Exemple de Foraminifères benthiques

Les formes benthiques vivent sur la plate-forme.



Alveolinidés



Les formes planctoniques se répartissent partout.



x 10

Orbitoididés

Exemple de Foraminifères planctoniques

Les formes planctoniques (souvent fragiles) se répartissent partout.



x 10

Hedbergellidés (test bicarenés, bisériés, ...)

Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Métazoaires

Les Mollusques

TEST

Calcaire

Calcite et Aragonite

Agrégats de cristaux de petite taille (qlq μm) disposés en lits

•Bivalves

Aragonite et Calcite

Couche externe = conchyoline

Couche moyenne prismatique

Couche interne nacré

(entrecroisées ou lamellaire)

•Gastéropodes

Aragonite

•Céphalopodes

Aragonite

MODE DE VIE

•Gastéropodes

Marin, eaux douces, terrestre

Surface de substrats meubles ou durs

Si Marin, généralement peu profond

•Bivalves

Généralement Marin

Peu profond

Fouisseur ou à la surface du sédiment

Parfois eau douce ou lacustre

•Céphalopodes

Marin

Pélagique ou benthique

STRATIGRAPHIE

•Bivalves

CAMBRIEN - Actuel

•Gastéropodes

CAMBRIEN - Actuel

Caractéristique du Cénozoïque

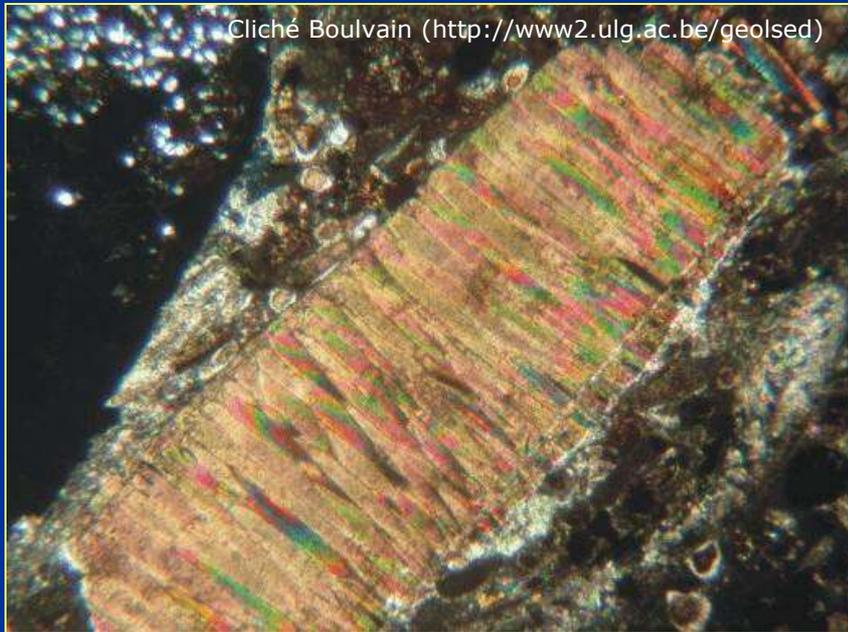
•Céphalopodes

DEVONIEN - Actuel

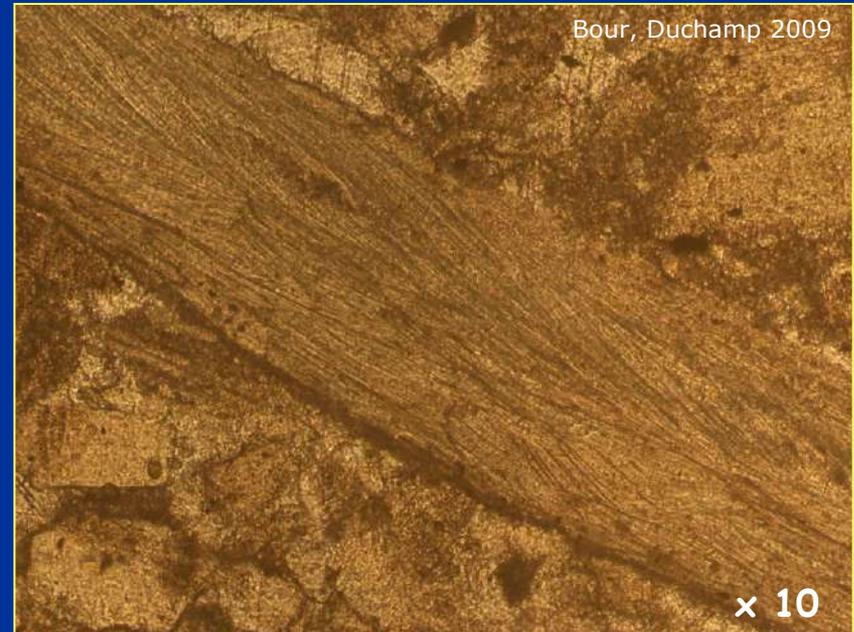
Les grains squelettiques zoogènes

Les mollusques

Bivalves : symétrie gauche-droite. Muraille généralement assez complexe, parfois en plusieurs couches. Souvent muraille à lamelles entrecroisées ou en prismes.



Structure prismatique
dans une coquille de lamellibranche



Coquille de lamellibranche montrant la
superposition d'une mince couche prismatique
et d'une couche à lamelles entrecroisées

Les grains squelettiques zoogènes

Les mollusques

Gastéropodes : tous enroulés (hélice, planispire, trochospire).

Ecologie : très faible profondeur, littoraux, lagunaires.
La muraille est recristallisée.



Bour, Duchamp 2009

Cliché Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



**Gastéropodes à coquille recristallisée ;
remarquer la bioérosion (perforation de la
coquille) et la micritisation (lumière naturelle)**

Les grains squelettiques zoogènes

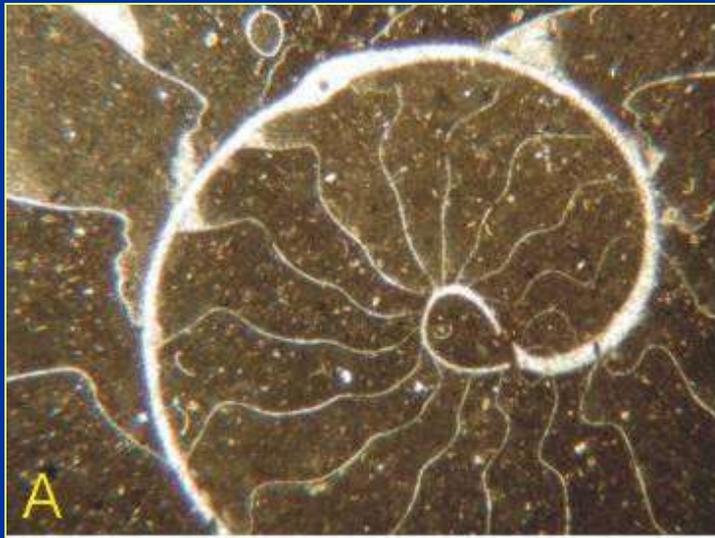
Les mollusques

Céphalopodes : exemple des Ammonoïdes (coquille externe enroulé en spire logarithmique et Belemnoïdes (coquille interne en rostre)



Aptychus : clapet de fermeture (mmtrique à pluri-cmtrique)

Clichés Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



A : ammonite (lumière naturelle) et **B** : rostre de bélemnite avec système rayonnant de calcite (lumière polarisée); attention, il s'agit toujours de grands corpuscules...

Les Brachiopodes

TEST

Calcaire

Calcite (parfois chitino-phosphatée)
Valves souvent ornementées (côtes, bourrelets, sinus...) et perforées
(1- qlq cm)

MODE DE VIE

Marin

Attachés par le pédoncule/ fixés par une valve
sur un substrat dur ou meuble/ fousseurs (terriers)/
Libres (posés sur le fond)
Médialittoral à 5000 m de profondeur
Fort hydrodynamisme et Faible taux de sédimentation

STRATIGRAPHIE

CAMBRIEN à l'Actuel
Fossile stratigraphique du Dévonien-Carbonifère
et Jurassique

Les grains squelettiques zoogènes

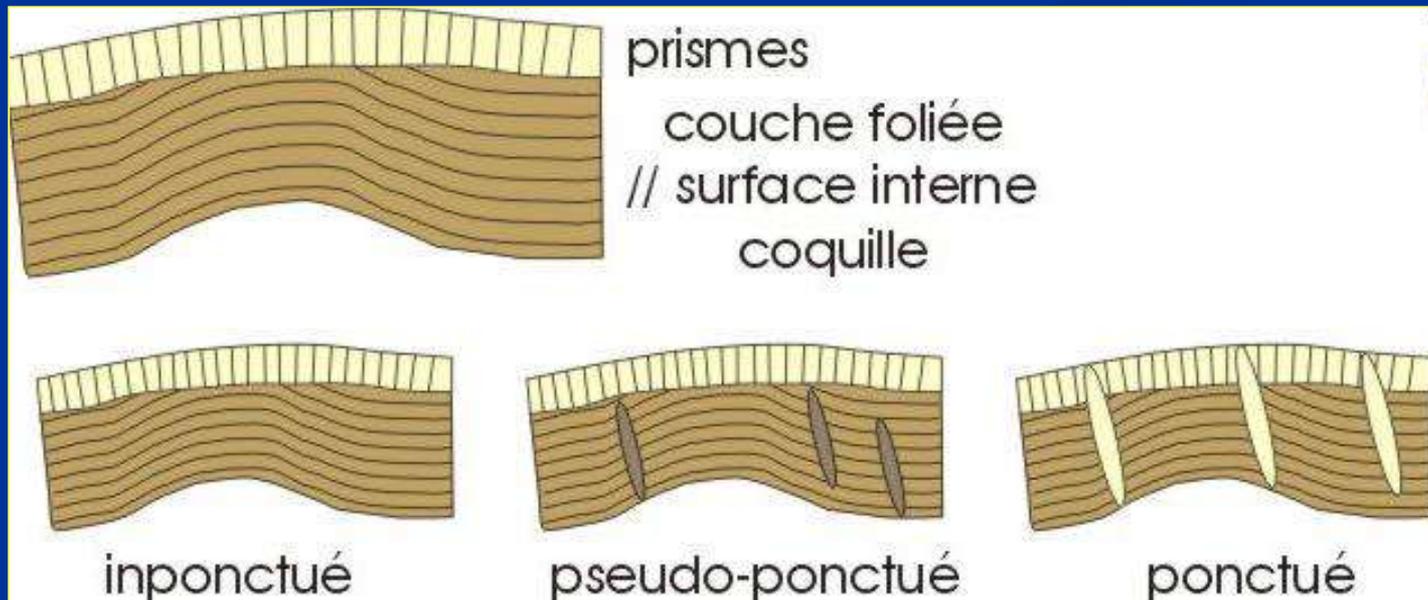
Les brachiopodes

Monomérides

Deux valves, symétrie bilatérale (valves ventrale et dorsale). Cambrien-Actuel.

La coquille comprend une couche foliée très développée et une couche prismatique mince, souvent écaillée. La couche foliée est parallèle à la surface interne de la coquille.

Caractéristique principal des coquilles de brachiopodes :
présence de canalicules traversant la paroi.

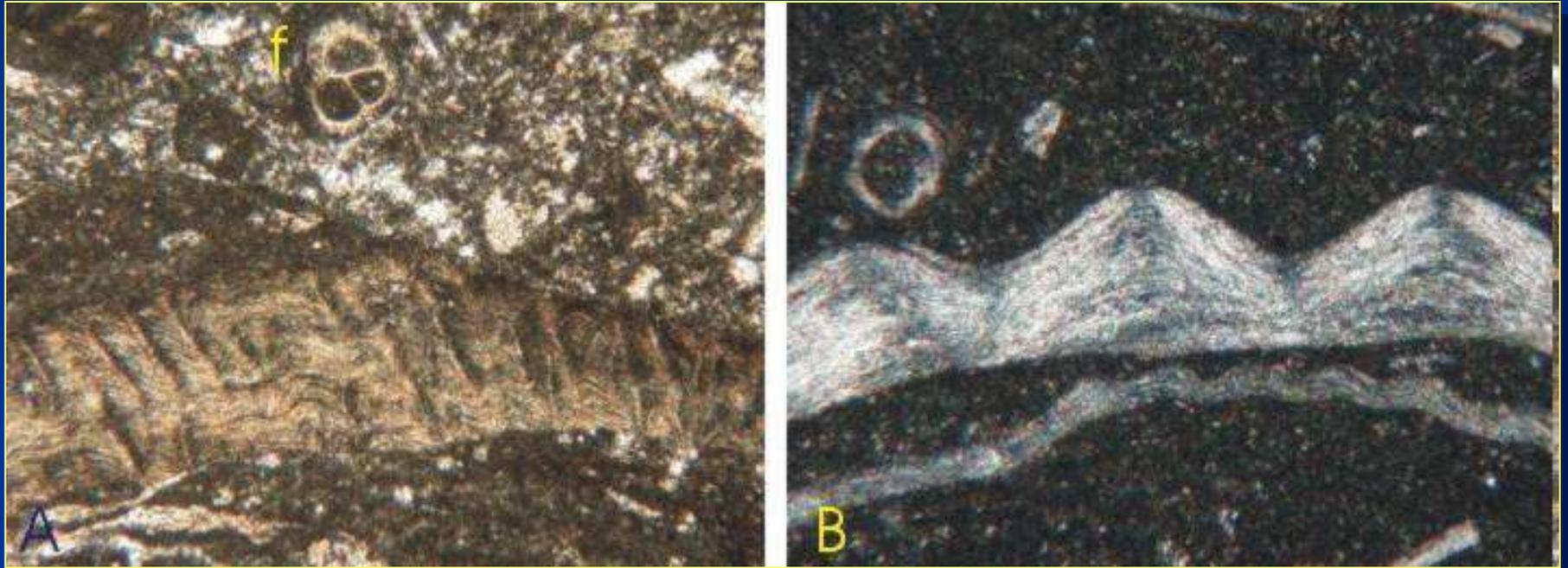


Les grains squelettiques zoogènes

Les brachiopodes

Monomérides

Clichés Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



A : brachiopode pseudoponctué, dans un wackestone bioclastique; f: fenestelle (lumière naturelle).

B : détail d'un autre brachiopode, montrant la structure foliée dans un mudstone (lumière polarisée)

Les grains squelettiques zoogènes

Les Bryozoaires

Animaux
Métazoaires

TEST

Calcaire

Calcite (parfois microlamellaire et flexueuse)

Organismes coloniaux vivants dans des loges allongées non cloisonnées

1 organisme = millimétrique à inframillimétrique

1 colonie = 1-10 cm

MODE DE VIE

Marin

Ouvert

Eaux chaudes

Préférentiellement dans des milieux peu profonds

STRATIGRAPHIE

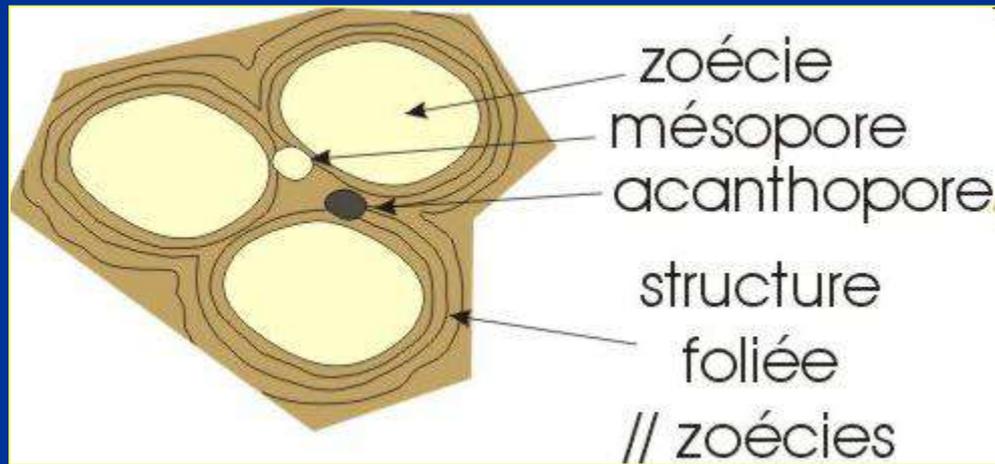
CAMBRIEN - Actuel

Les grains squelettiques zoogènes

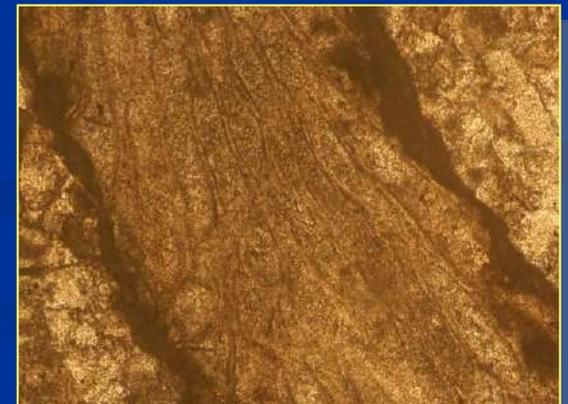
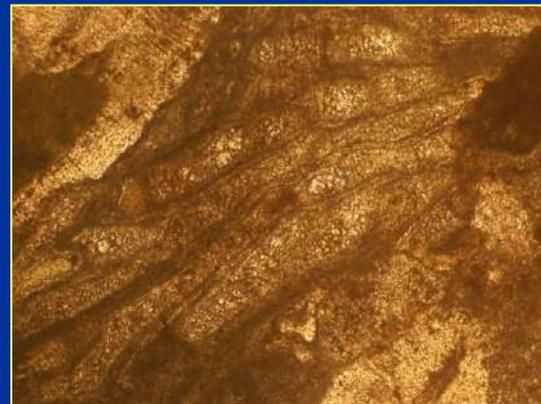
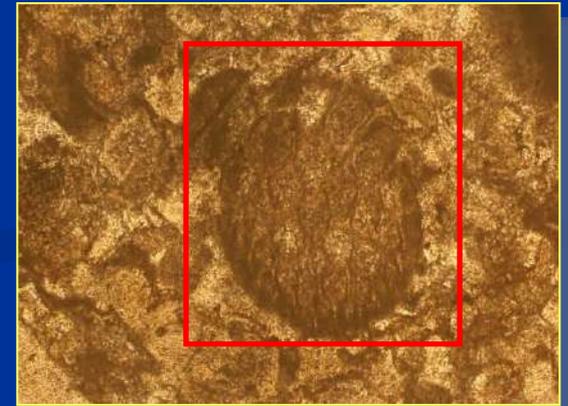
Les bryozoaires

Monomérides

Organismes coloniaux: branchus, encroûtants, érigés ; milieu calme, sous la zone d'action des vagues. "Ubiquistes" ou pionniers.
Structure foliée // aux zoécies!

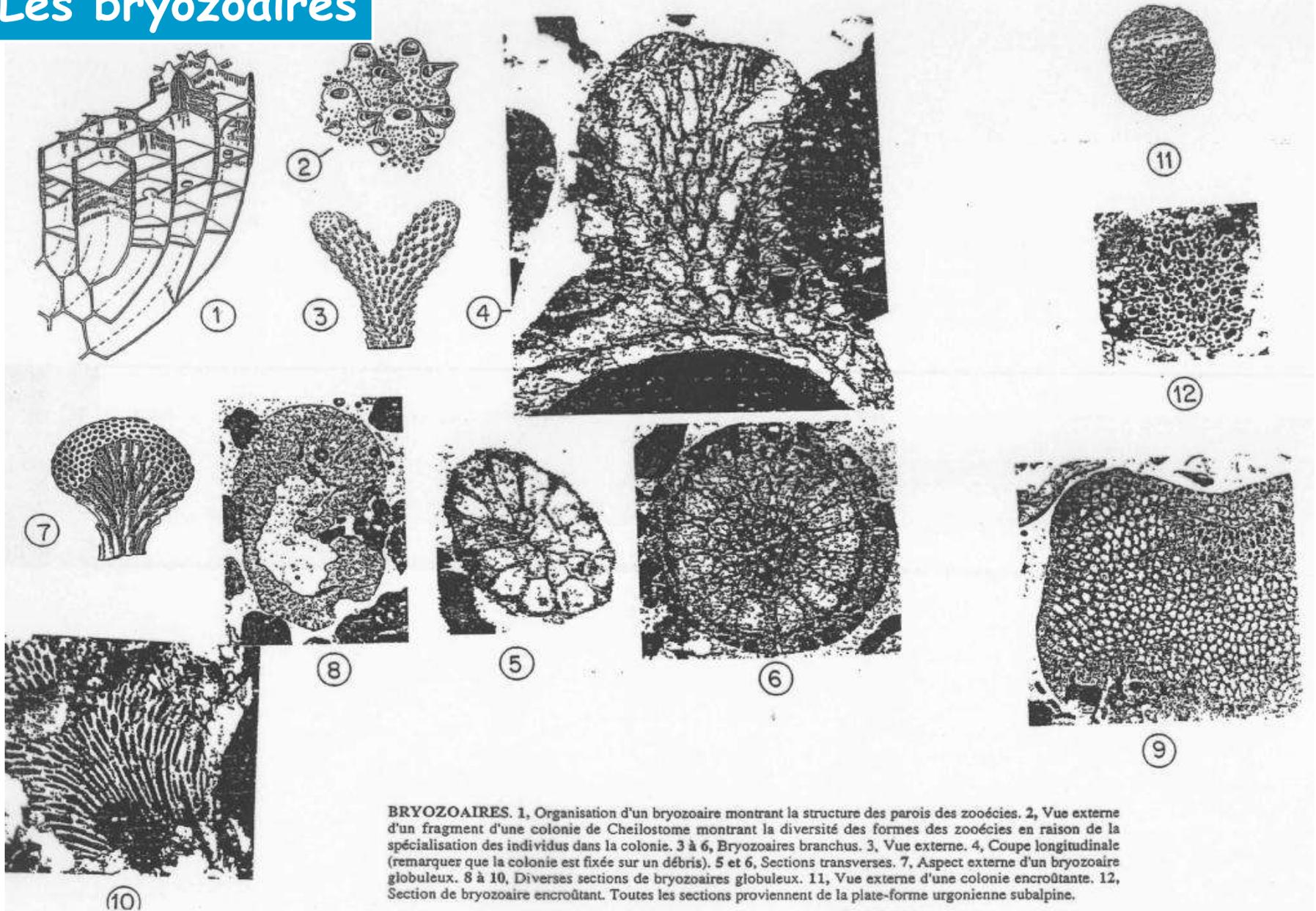


Bour, Duchamp 2009



Les grains squelettiques zoogènes

Les bryozoaires



BRYOZOAIRES. 1, Organisation d'un bryozoaire montrant la structure des parois des zooécies. 2, Vue externe d'un fragment d'une colonie de Cheilostome montrant la diversité des formes des zooécies en raison de la spécialisation des individus dans la colonie. 3 à 6, Bryozoaires branchus. 3, Vue externe. 4, Coupe longitudinale (remarquer que la colonie est fixée sur un débris). 5 et 6, Sections transverses. 7, Aspect externe d'un bryozoaire globuleux. 8 à 10, Diverses sections de bryozoaires globuleux. 11, Vue externe d'une colonie encroûtante. 12, Section de bryozoaire encroûtant. Toutes les sections proviennent de la plate-forme urgonienne subalpine.

Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Métazoaires

Les Cnidaires

TEST

Calcaire

Fibres calcitiques ou aragonitiques
Solitaires (1-10 cm) ou coloniaux (qlq mm-pls m)

MODE DE VIE

Marin, soit exclusivement fixé (polype à squelette calcaire), soit libre (méduse).

Milieu récifal, lagunaire, péri-récifal
suivant la morphologie.

STRATIGRAPHIE

CAMBRIEN - Actuel

Les grains squelettiques zoogènes

Les cnidaires

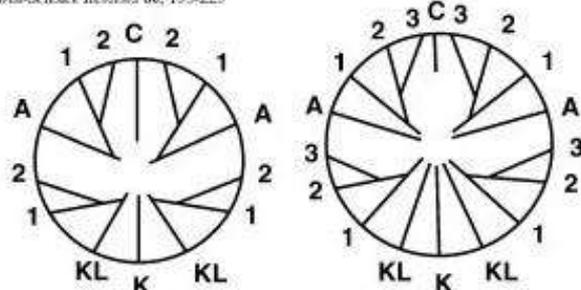
Les seules formes fossilisables sont celles à squelette calcaire =>

Anthozoaires.

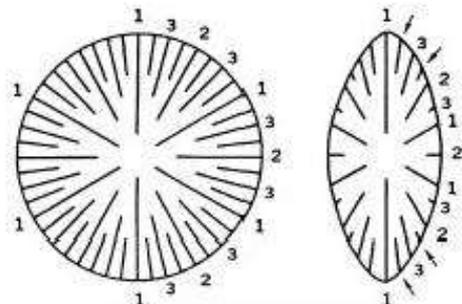
Organismes constructeurs coloniaux, surtout paléozoïques. Morphologie variable: laminaires, tabulaires, branchus, massifs,...

Structure en piliers et laminée, symétrie radiale.

Stanley G.D. (2003). The evolution of modern corals and their early history. *Earth-Science Reviews* 60, 195-225



Plan des Rugueux

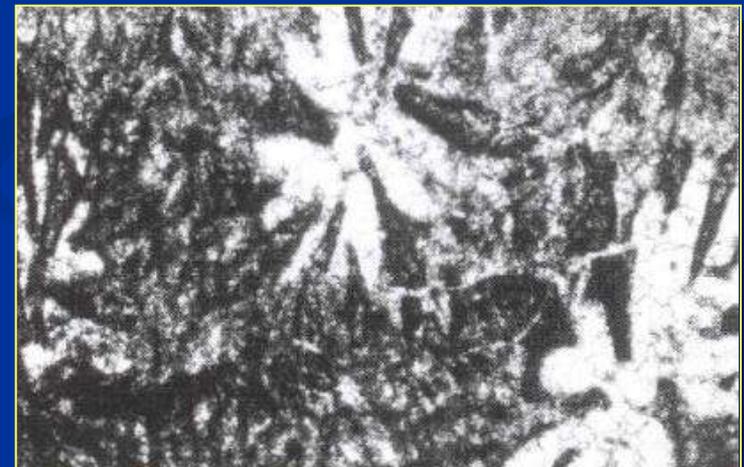


Plan des Scléactiniaires

Disposition schématique des septes dans le plan septal des Rugueux et des Scléactiniaires.

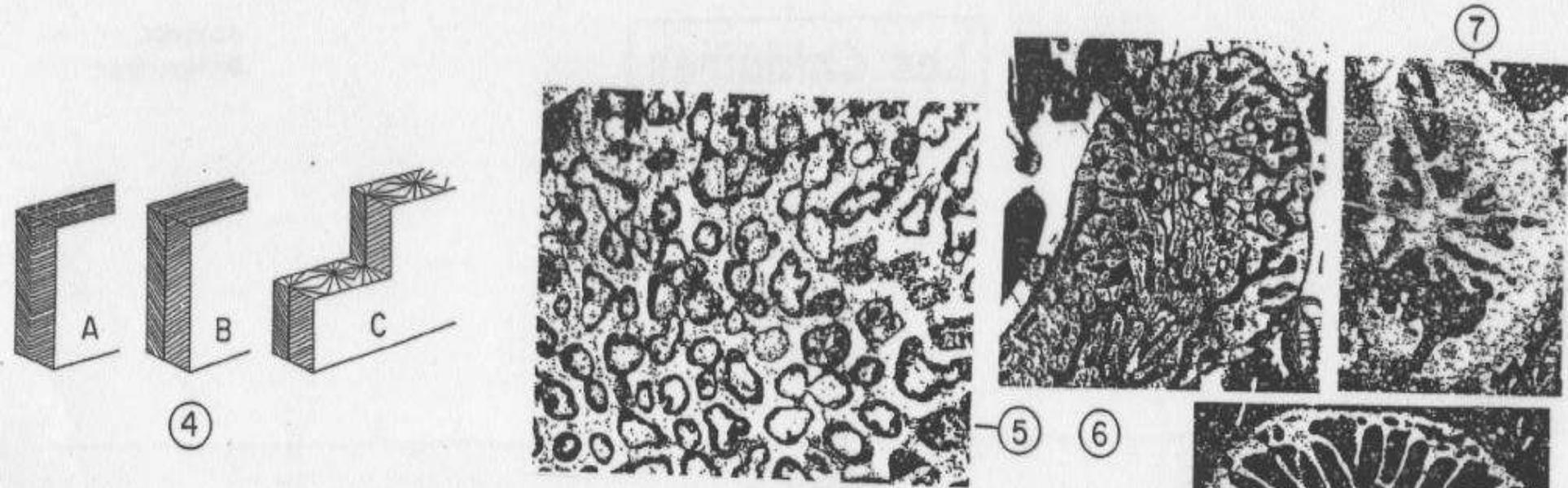
Dans le plan des Rugueux, les septes primaires (*protoseptes*) comprennent les septes cardinaux (C), les contre-septes (K) et les septes contra-latéraux (KL) et les septes alaires (A). Les numéros indiquent l'ordre d'insertion des septes suivants (*métaseptes*), qui apparaissent par quartier de plan. Chez les Scléactiniaires, par contre, les insertions de septes s'effectuent en divisant le plan par 6, puis 12, 24, etc. Les symétries radiales et bilatérales caractérisent les Scléactiniaires.

D'après Oliver, 1996.

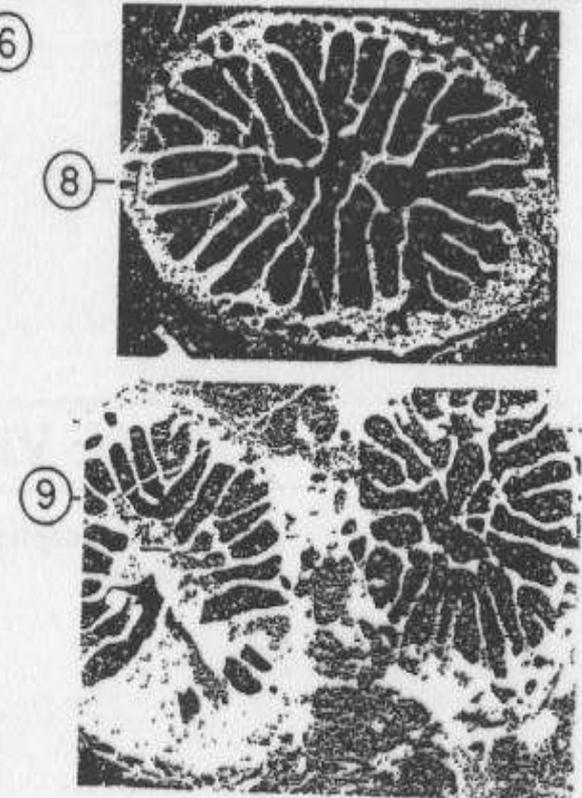


section de scléactiniaires

Biolithite



CNIDAIRES. 4, Structure de la paroi des coraux. A, microstructure fibreuse avec plan axial marqué seulement par un changement de la direction des fibres. B, Microstructure rugueuse avec plan axial bien marqué par la jonction des fibres d'orientation différente. C, Structure trabéculaire marquée par la présence de fibres radiales agencées selon une disposition *cone-in-cone*. 5, Fragment de colonie de madréporaire dont la structure des murailles est mal préservée (aragonite remplacée par de la calcite en mosaïque). 6, Fragment de colonie de madréporaire montrant les calices comblés par un sédiment micritique. 7, Section transverse d'un polypier isolé. 8, Section transverse d'un individu isolé. 9, Section transverse de deux individus d'une colonie branchue.



Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Métazoaires

Les Spongiaires

TEST

Calcaire ou Siliceux

Paroi poreuse

MODE DE VIE

Marin

**Rares exceptions en milieu d'eau douce.
Latitudes et profondeurs très variables.
Organismes filtrant.**

Touts sédentaires.

**Environnement variable, souvent
"pionniers" ou présents là où les autres
organismes ne peuvent se développer.**

STRATIGRAPHIE

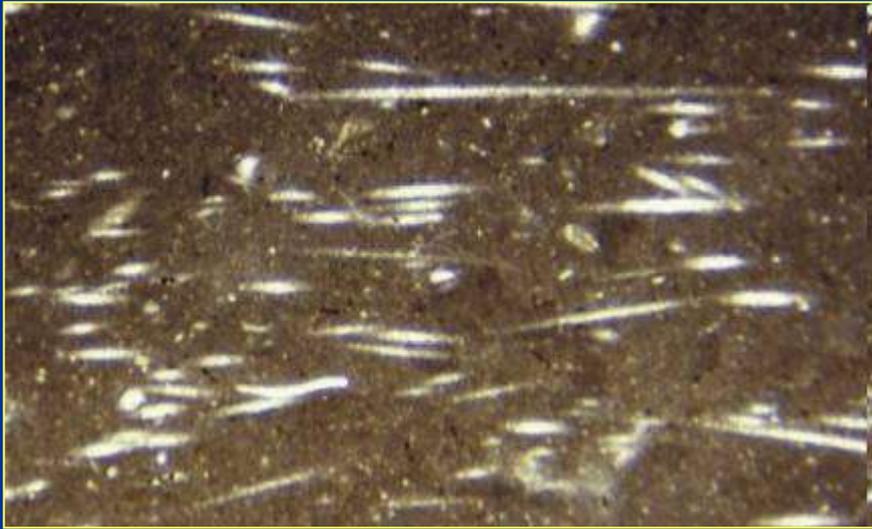
CAMBRIEN - Actuel

Les grains squelettiques zoogènes

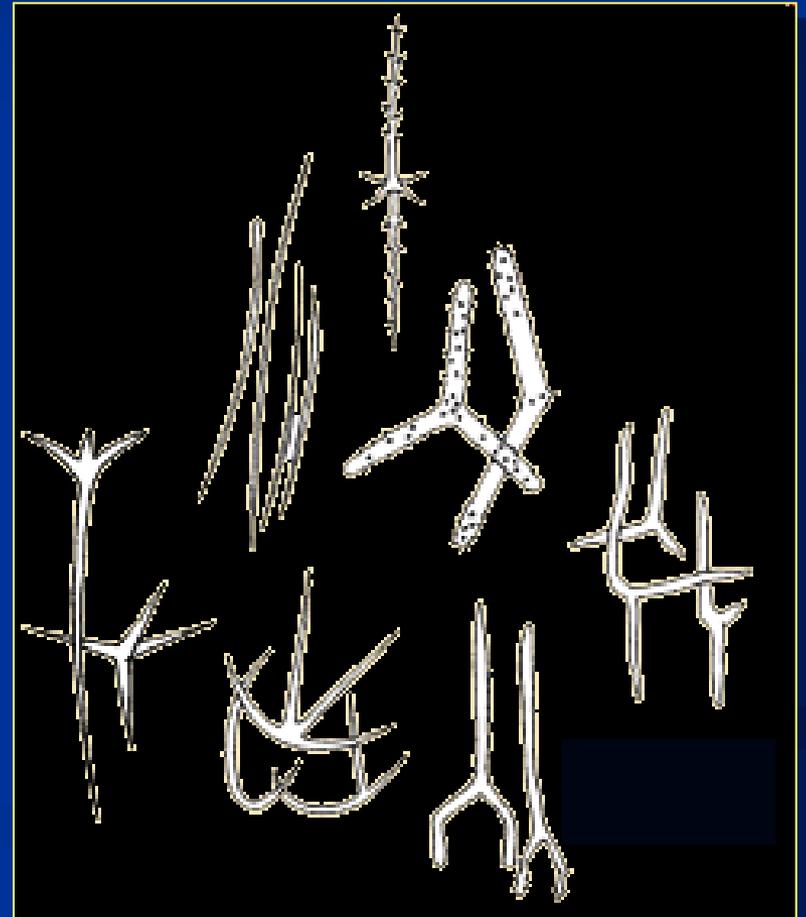
Les spongiaires

Seules les spicules sont conservées + quelquefois le vide laissé par la disparition des tissus mous

Cliché Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



Mudstone à spicules d'éponge.



Variétés de spicules d'éponge.

Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Métazoaires

Les Annélides

ou serpulidés

TEST

Calcaire voire phosphatés

Agglutinés

Tubes généralement droit, parfois incliné ou spiralé

MODE DE VIE

Ubiquistes

Marin ouvert, confiné ou saumâtre

STRATIGRAPHIE

CAMBRIEN - Actuel

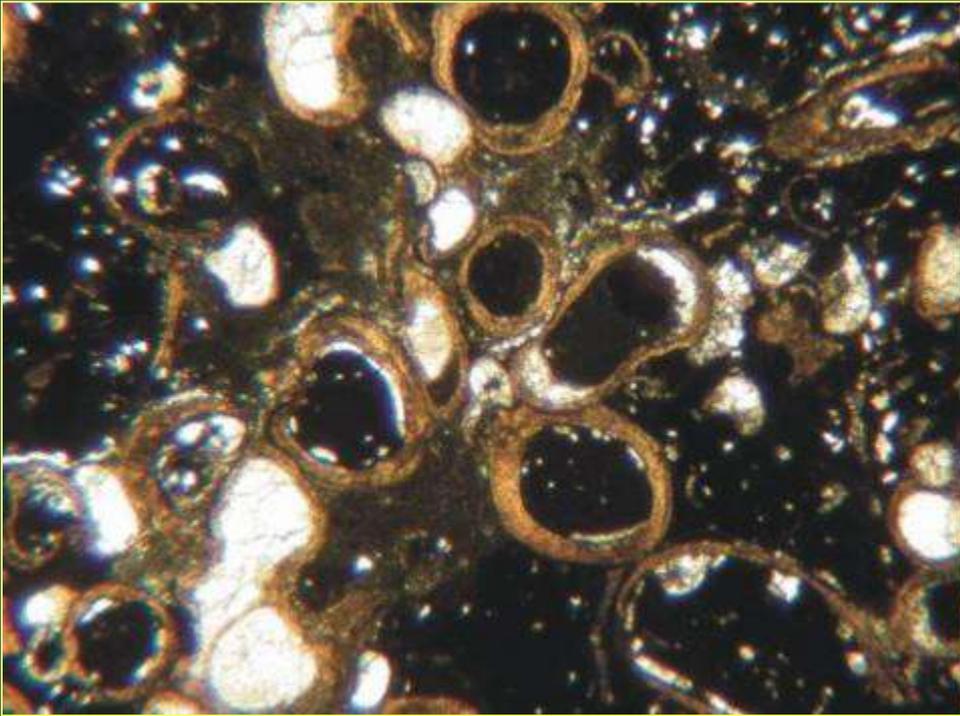
**Souvent situés dans la zone d'action
des vagues**

Les grains squelettiques zoogènes

Les serpulidés

Vers polychètes encroûtant vivant à l'intérieur d'un tube calcaire en section ronde ou carrée. => Constructeur de petits édifices. En lame, les formes "en haricot" sont fréquentes.

Cliché Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



Bafflestone à serpules (section ronde). Lumière naturelle



Bafflestone à serpules (section carrée).

Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Métazoaires

Les Echinodermes

TEST

Calcaire

Calcite magnésienne

Superposition de plaquettes à forte porosité

1 plaquette = 1 article = 1 monocristal de calcite

Particularité en lame mince: entouré par de la calcite syntaxiale; extinction nette et brutale en LP
~0.1 mm

MODE DE VIE

Marin

Milieu ouvert oxygénés

Faibles variations de T°C et de salinité

STRATIGRAPHIE

Fossiles stratigraphiques du CRETACE

Les grains squelettiques zoogènes

Les échinodermes fixés

Crinoïdes :

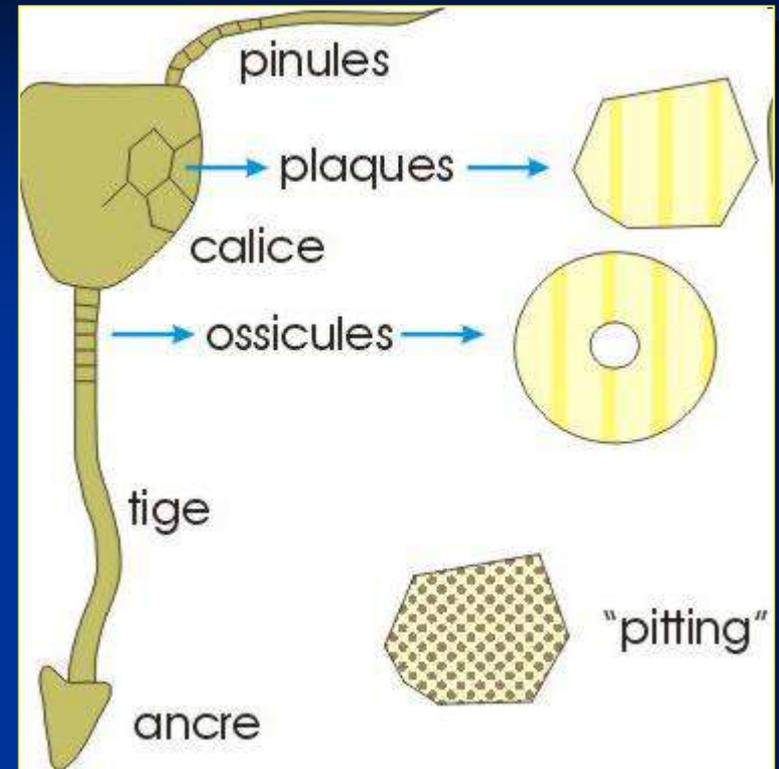
Lors du transport, la calcite épitaxiale se dissout la première => phénomène de "pitting" : ponctuation micritique = **stéréomes rayonnant**.
On retrouve les restes de l'axe columelaire.
Présence d'un canal axial

Les échinodermes mobiles

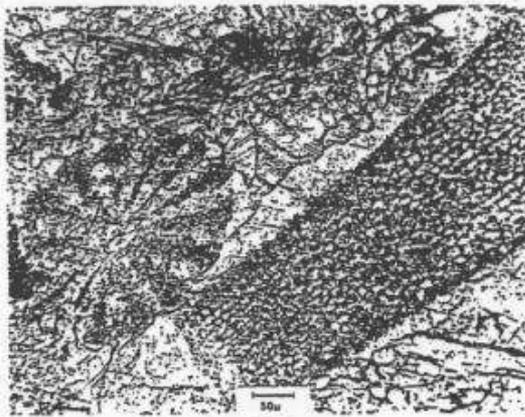
Echinides :

Pas de canal axial,
Réseau micritique de plus grande taille que chez les crinoïdes,
Sections rondes, radiales rayonnantes.

Caractérisés par la sécrétion de poutrelles de calcite ; épitaxie du ciment sur ces poutrelles => plaques à même orientation optique.



D'après Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



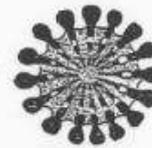
1



2



3



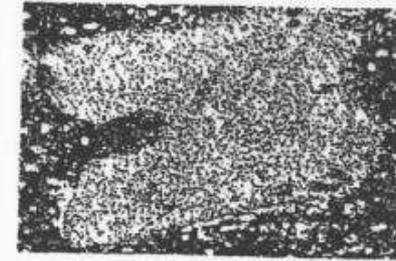
4



5



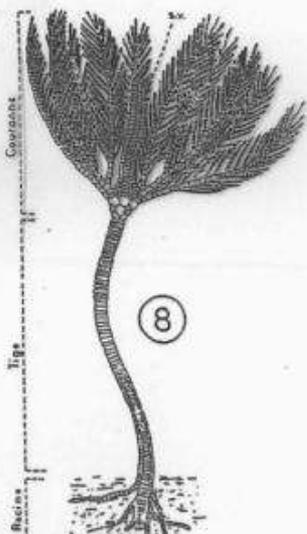
6



14



13



8



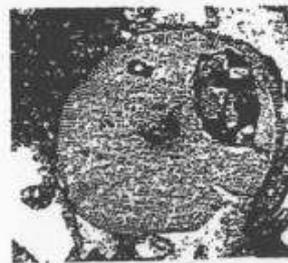
10



11



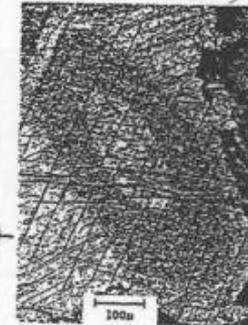
7



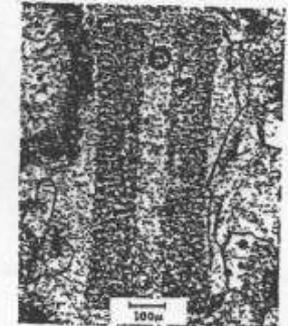
12



9



15

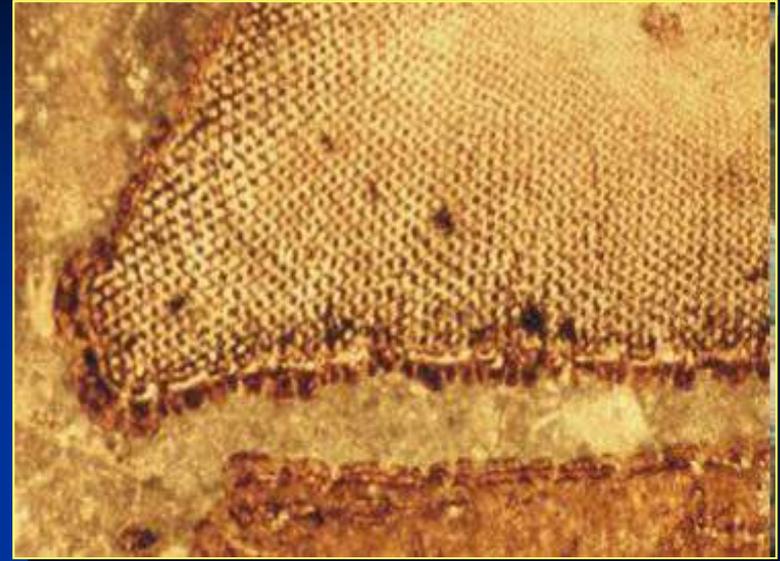


16

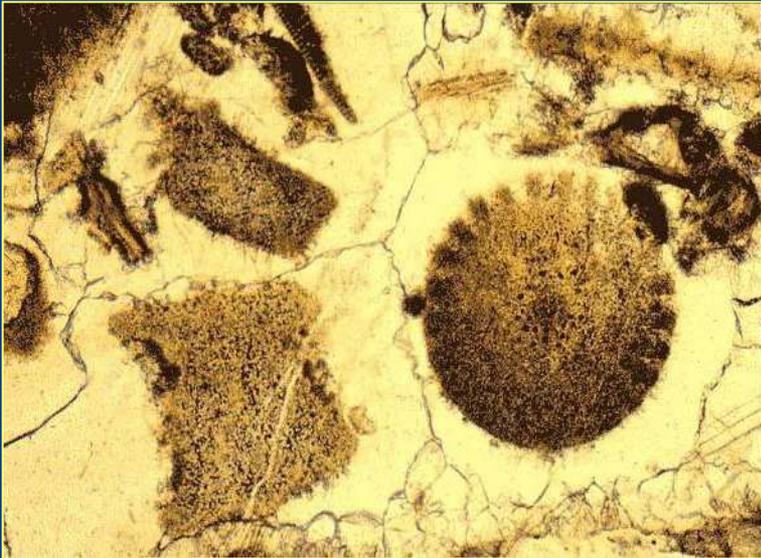
ECHINODERMES. ECHINIDES. 1, Section transverse et section longitudinale de radioles d'échinides. 2 à 6, Différents types de sections transverses de radioles d'échinides. 2, *Cidaris*. 3, *Echinocardium*. 4, *Clypeaster*. 5, *Strongylocentrotus*. 6, *Arbacia*. 7, Section transverse légèrement oblique dans un radiole d'oursin actuel montrant la disposition du réseau échinodermique (monocristal de calcite faiblement magnésienne).
CRINOIDÉS. 8, Vue externe d'un Crinoïde. 9, Fragment de tige montrant l'empilement des articles. 10, Section transverse d'un article de tige. 11, Vue externe d'un article de tige de *Pentacrine*. 12, Section transverse d'un article de tige. 13, Vue externe d'un article de bras. 14, Section longitudinale oblique d'un article de tige. 15, Section longitudinale oblique d'un article de tige. 16, section longitudinale d'articles de tiges (remarquer le ciment syntaxial autour des articles) [Bathurst, 1971].



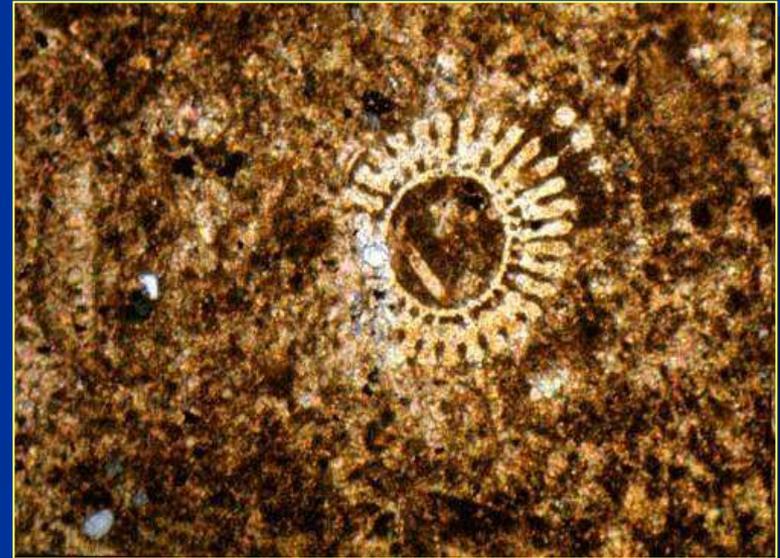
Wackestone à crinoïdes. *Lumière naturelle.*



Plaque de crinoïde affectée de "pitting",
indicateur de transport.



Fragments d'échinides



Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Métazoaires

Les Ostracodes

Groupe des Arthropodes

TEST

Calcaire

Calcite (prismes)

Carapace constituée de 2 valves inégales

Lisses ou ornementées

< 1 mm

MODE DE VIE

Marin ou eau douce

Benthiques (0-2000m)

Abondent dans les milieux calmes

STRATIGRAPHIE

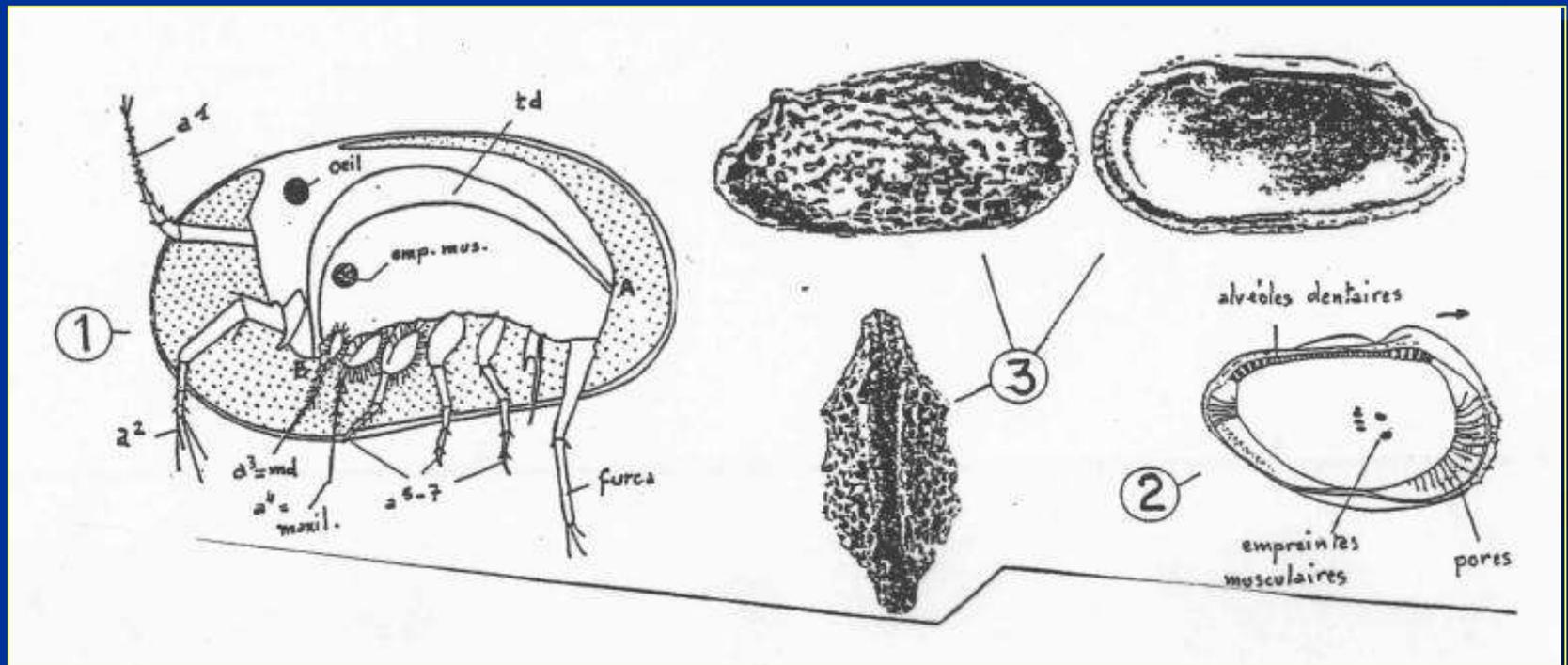
CAMBRIEN - Actuel

Les grains squelettiques zoogènes

Les ostracodes

Crustacés vivant à l'intérieur de valves

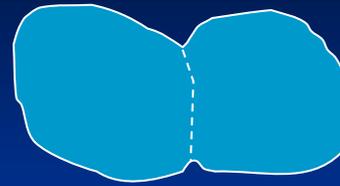
Possèdent deux valves en calcite. Leur taille est de l'ordre de 1 mm. Pélagiques. Certaines grandes formes (*Leperditia*) sont cependant caractéristiques de milieux lagunaires.



OSTRACODES. 1: Vue interne d'une valve droite. 2, Morphologie interne d'une valve gauche. 3, *Acanthocythereis meslei*, Maastrichtien.

Les grains squelettiques zoogènes

Les ostracodes



Clichés Boulvain (<http://www2.ulg.ac.be/geolsed>)



- A** : petits ostracodes pélagiques dans un wackestone (lumière naturelle) ;
B : détail d'une valve de *Leperditia* montrant les prismes soudés de grande taille ; mudstone (lumière polarisée).

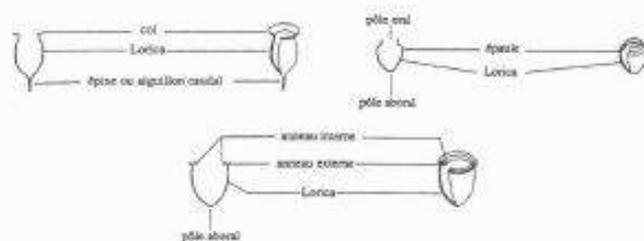
Les Calpionelles

Groupe des Infusoires ciliés proches des Tintinnoïdiens actuels

TEST

Calcaire

? Calcite ou Aragonite
Loge en forme d'amphore = Lorica
~0.1 mm



Reconstruction 3D



Section axiale de quelques espèces
(Remane, 1971)

MODE DE VIE

Marin
Pélagiques
Eaux chaudes
Téthys

STRATIGRAPHIE

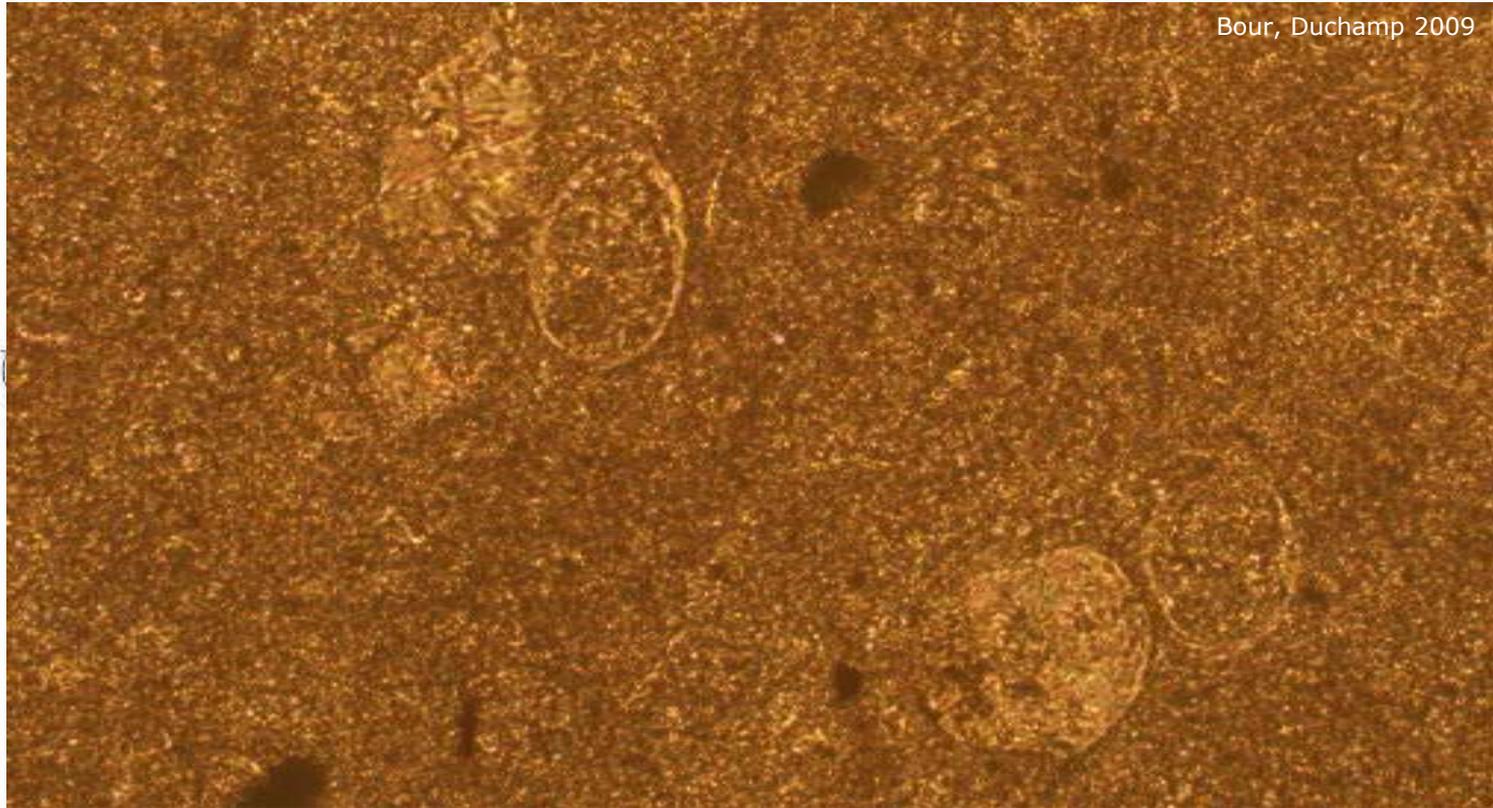
JURASSIQUE SUPERIEUR-CRETACE INFERIEUR
Tithonien supérieur- Hautérivien inférieur

Les grains squelettiques zoogènes

Les Calpionelles

Animaux
Protozoaires

Groupe des Infusoires ciliés proches des Tintinnoïdiens actuels



Bour, Duchamp 2009

MODE DE VIE

Marin
Pélagiques
Eaux chaudes
Téthys

STRATIGRAPHIE

JURASSIQUE SUPERIEUR-CRETACE INFERIEUR
Tithonien supérieur- Hautérivien inférieur

Les grains squelettiques zoogènes

Les Conodontes

Groupe des Chordés

TEST

Phosphate de calcium

Pièces de la région buccale d'annélides ou autres

Formes simples (dents, crochets) à complexes

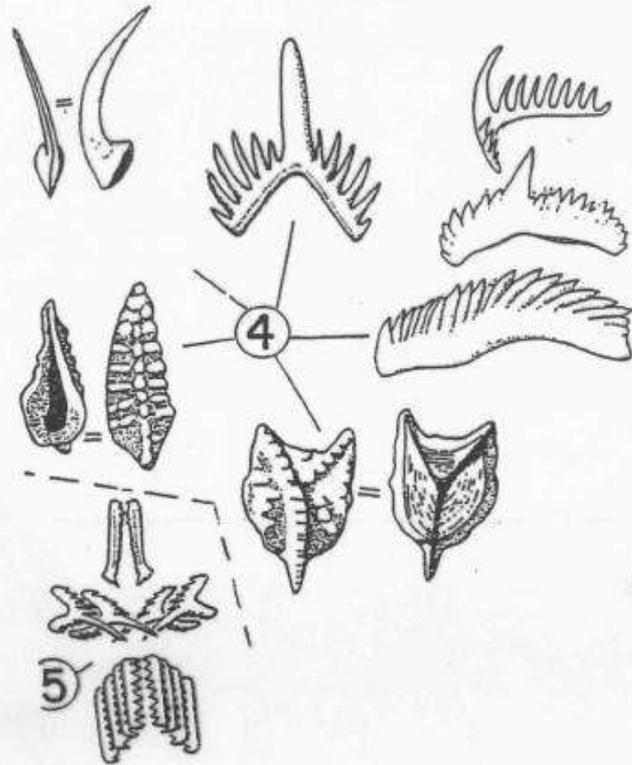
~ 1 mm

MODE DE VIE

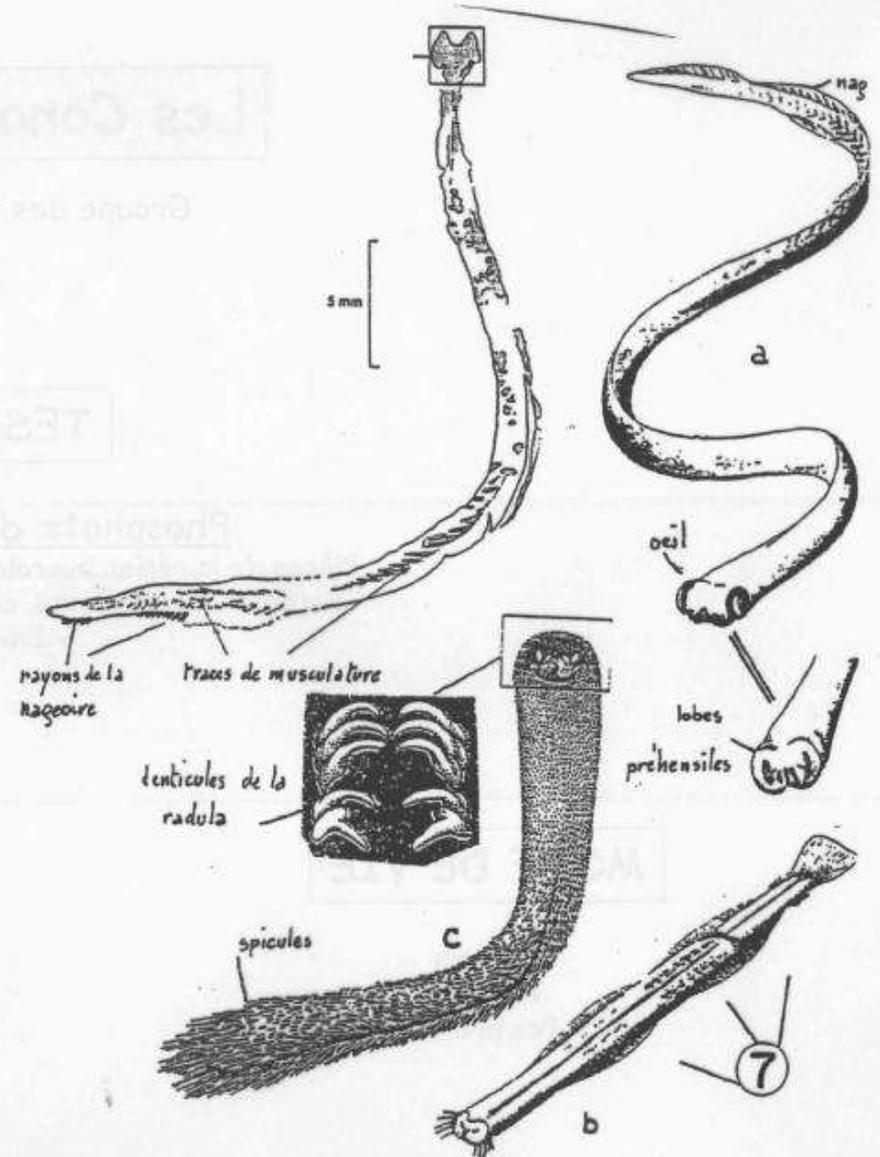
Marin
Pélagique
Peu profond

STRATIGRAPHIE

CAMBRIEN-TRIAS
Développement maximal au DEVONIEN



L'« animal-conodonte »



CONODONTES. 4, Différents types de Conodontes. 5, Assemblage naturel de Conodontes. 6, "L'animal Conodonte", Carbonifère d'Ecosse (Briggs *et al.*, 1983). 7, Trois interprétations possibles : a, Vertébré voisin des Myxinoïdes; b, Chaetognathe; c, Mollusque aplacophore.

Les grains squelettiques zoogènes

Animaux
Protozoaires

Les Radiolaires

Groupe des Actinopodes

TEST

Silice

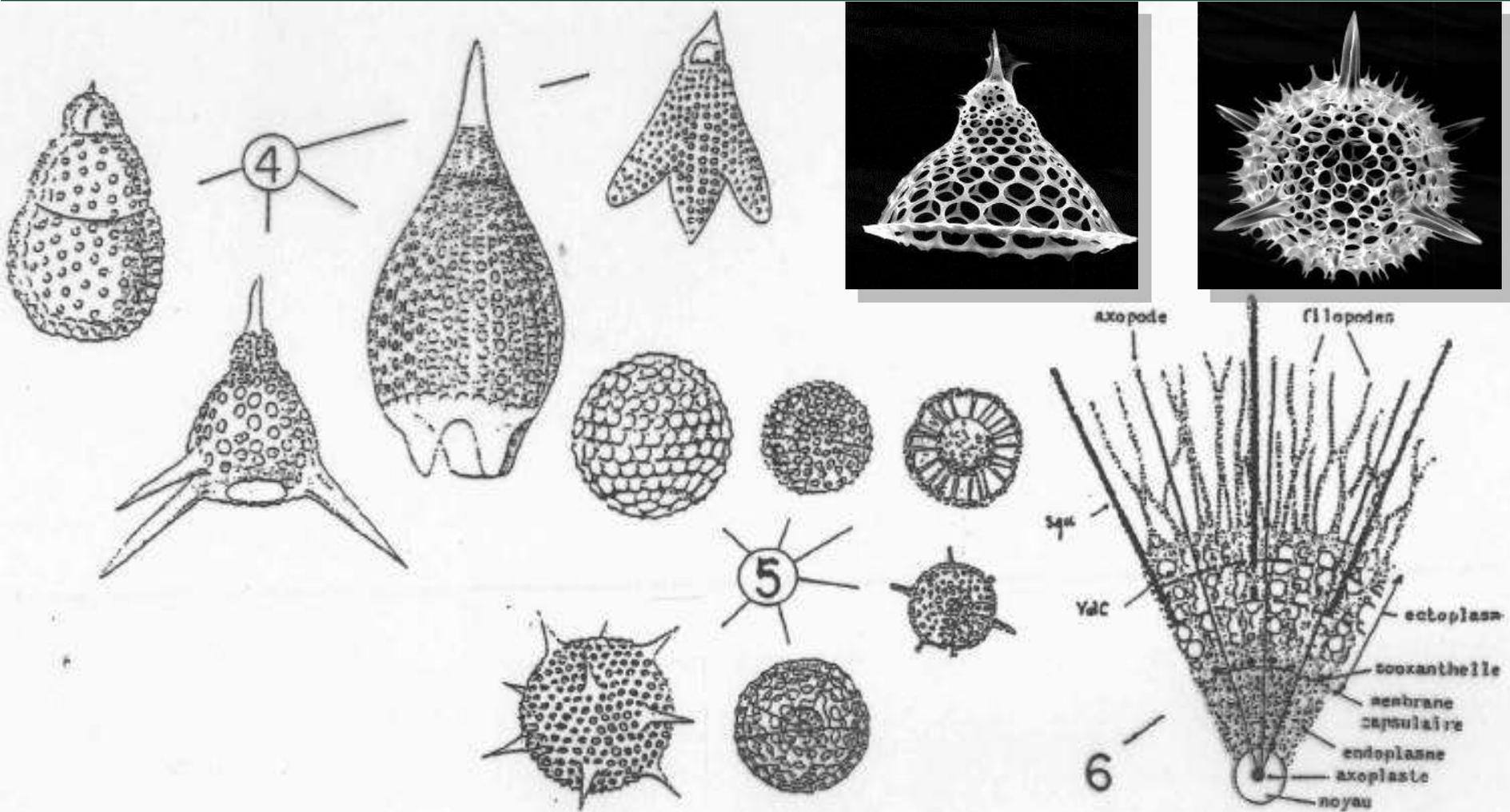
Squelette réticulé
Symétrie axiale (Nassellaires)
Symétrie sphérique (Spumellaires)
0.1-0.2 mm

MODE DE VIE

Marins et sténohalins
Planctonique (0-100 m)
Eaux chaudes

STRATIGRAPHIE

ORDOVICIEN à l'Actuel



RADIOLAIRES. 4, Différents types de Radiolaires Nassellaires (Piveteau, 1952). 5, Différents types de Radiolaires Spumellaires (Piveteau, 1952). 6, Schéma d'organisation d'un Radiolaire spumellaire.

Grains squelettiques phytogènes

- *Cyano-bactéries*
 - *Algues pluricellulaires*
- 

Coccolithophoridées

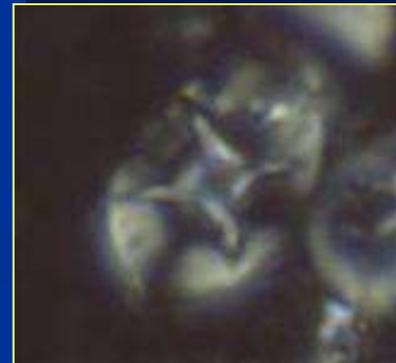
- Algues unicellulaires formés par des cristaux de carbonate de calcium : les coccolithes.
- Très abondants du Mésozoïque inférieur à nos jours (radiation au Crétacé).
- Une centaine d'espèces connues.
- Retrouvés généralement dans les moyennes et hautes latitudes, et dans les zones côtières.



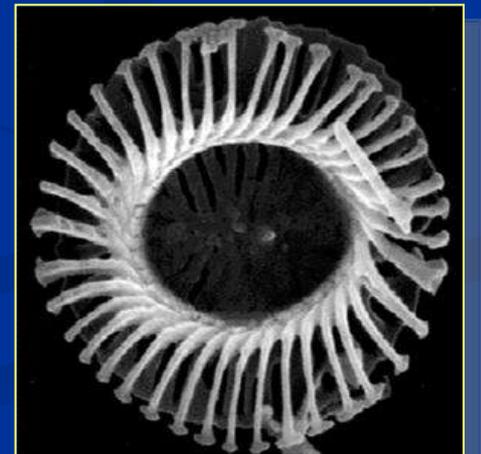
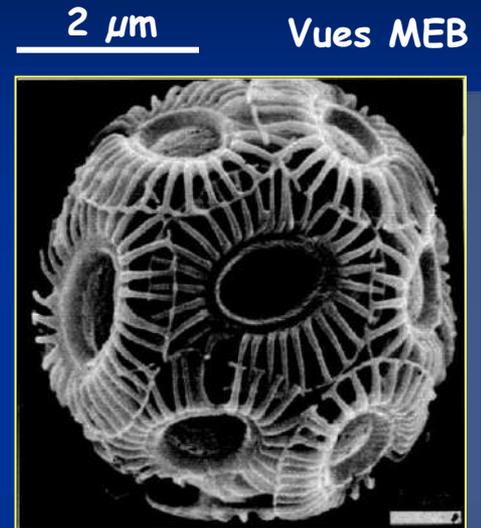
Vues lames minces



Coccosphère



Coccolithe



Coccolithophoridées

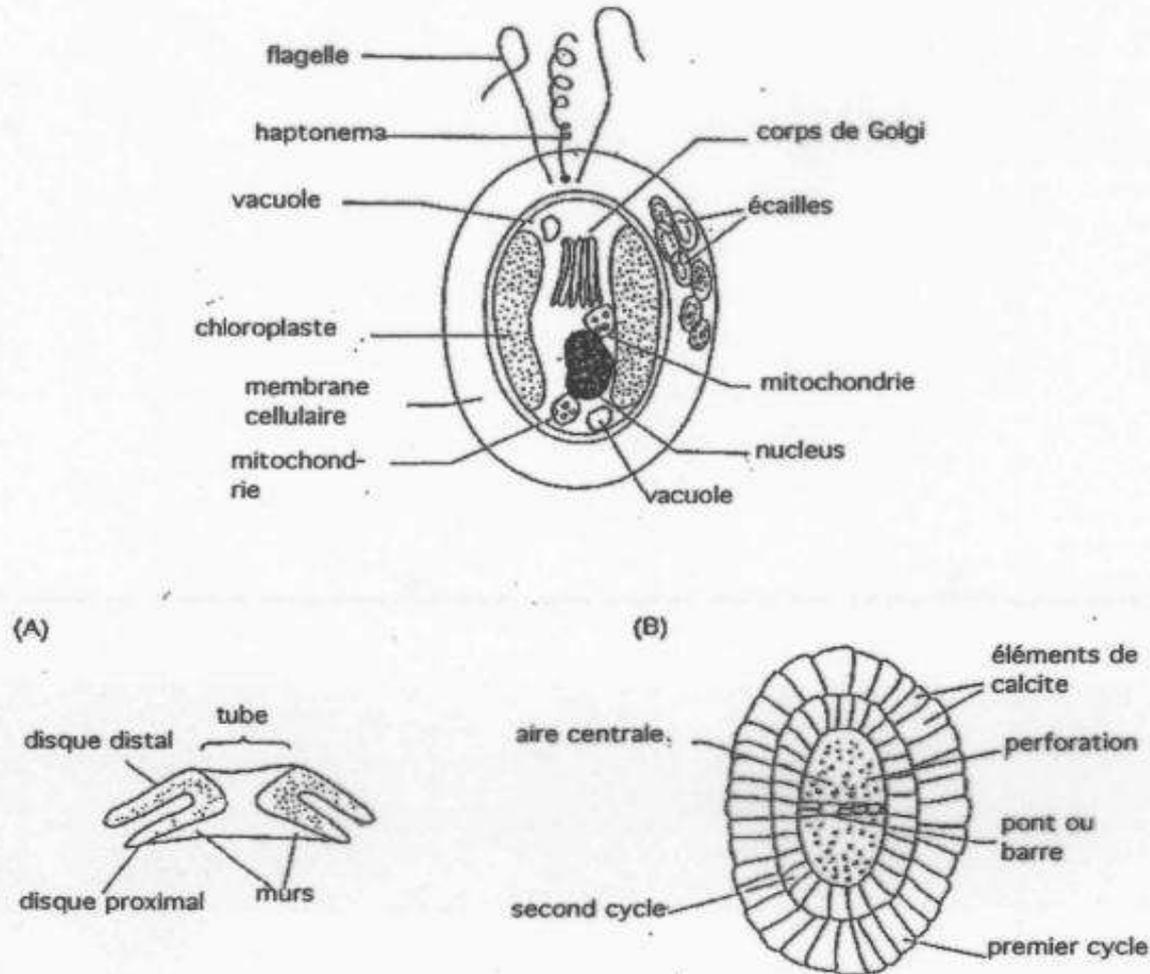
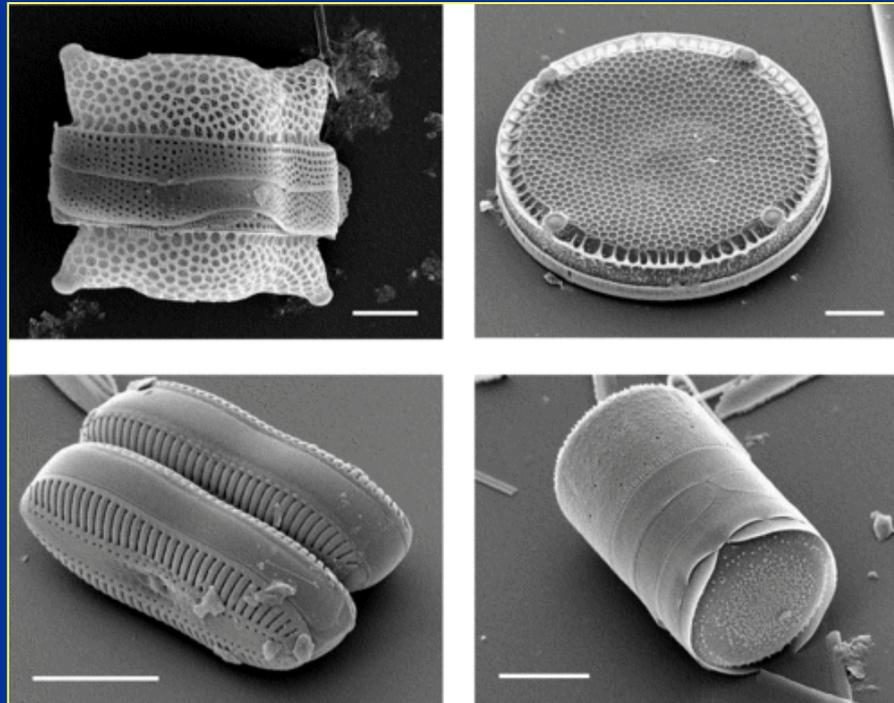


Fig. 3. Représentation schématique de la cellule d'une coccolithophore vivante. Stade mobile avec les flagelles. Durant la phase immobile, les flagelles sont absents.

Représentation schématique d'un coccolithe A: transversale. B: vue du dessus du disque distal. D'après Siesser 1992.

Diatomées

- Algues unicellulaires formés par des cristaux de silice : les frustules,
- Organismes marins actuels les plus abondants de la planète.
- 100000 espèces connues.
- Retrouvés dans tous les milieux aquatiques (avec une préférence pour les eaux froides).
- Elles peuvent vivre isolées ou en colonie, de manière libres ou fixées.



Vues au MEB :
Biddulphia reticulata,
Diploneis,
Eupodiscus radiatus,
Melosira varians.

Les grains squelettiques phylogènes

Cyanobactéries

2 groupes :

- 1- **spongiostrome** => filaments de cyano-bactérie entourés par une gaine mucilagineuse dont on ne retrouve que le produit résultant de leur activité ;
- 2- **porostrome** => gaine périphérique calcaire préservée et fossilisée.

2 formes :



- Girvanelles : filaments pelotonnés de manière désordonnée,
- Cayeuxia : en forme d'une mûre bourgeonnante < 1cm. Disposition rayonnante de filaments (épisodiquement divisés façon dichotomique).

Les grains squelettiques phylogènes

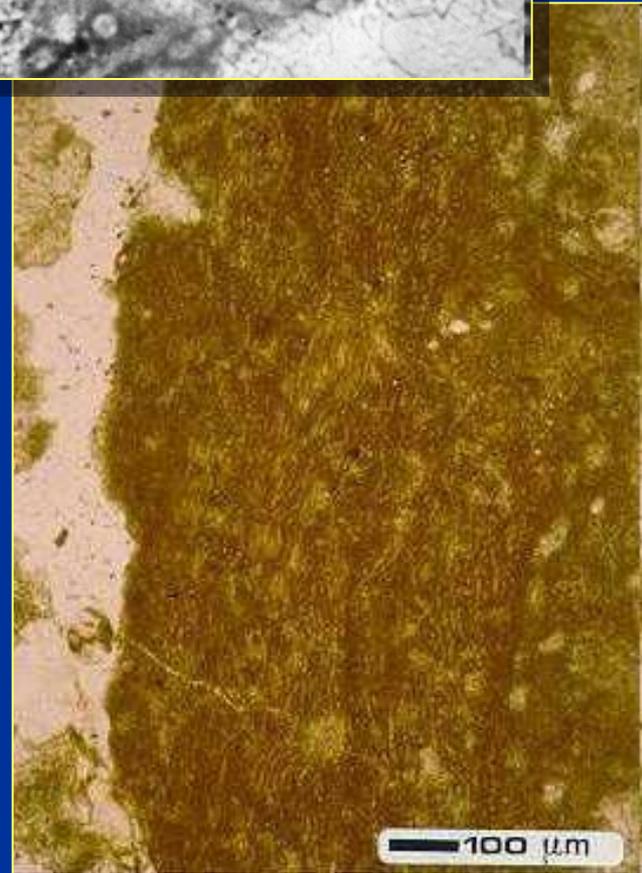


Girvanella

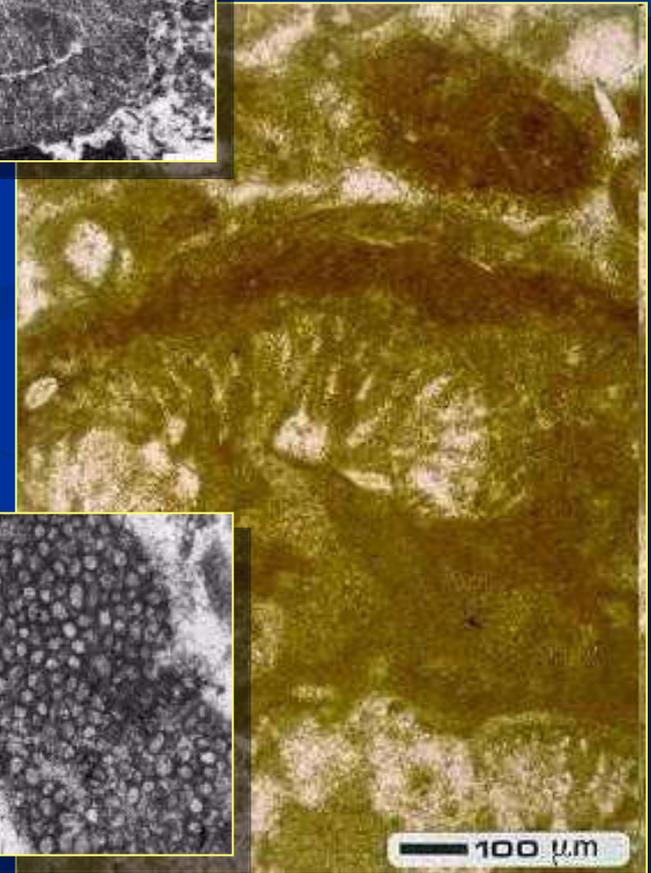
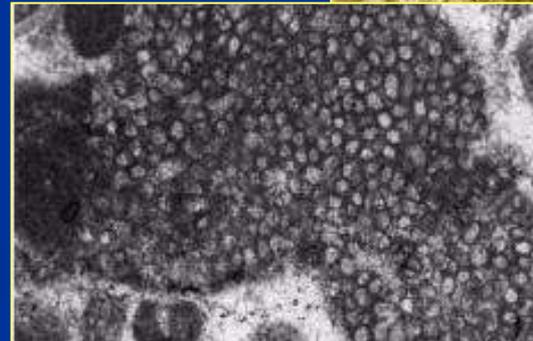
Structures filamenteuses
buissonnantes de type
Cayeuxia



Section
longitudinale



Section
transversale



Les Algues pluricellulaires

1) Les Algues Rouges (Rhodophycées = Floridées = mélobésiées)

TEST

Calcaire

Calcite

Thalle = tissu cellulaire

MODE DE VIE

Varié

STRATIGRAPHIE

CRETACE à l'Actuel

2) Les Algues Vertes (Chlorophycées = Dasycladacées)

TEST

Calcaire

Aragonite

Axe cylindrique entouré d'un manchon calcaire à rameaux

MODE DE VIE

Marin ou saumâtre
Peu profond
Eaux chaudes

STRATIGRAPHIE

ORDOVICIEN à l'Actuel

Les grains squelettiques phylogènes

Rhodophycées

Rhodophytes



ou algues rouges

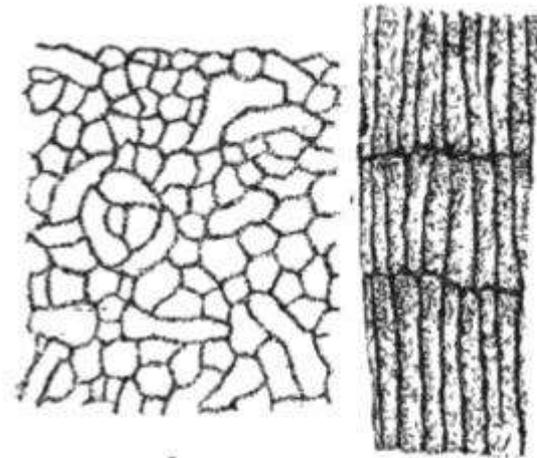
Section transversale



2 groupes :

1- **Solenoporacées** : *G. Solenopora*

- Algues calcaires en formes de masses noduleuses ou branchues de quelques centimètres,
- Constituées par des filaments rayonnants. Les filaments ne se divisent pas et ne se superpose pas,
- Partition interne (section à l'intérieur de chaque tube,
- Zone calcitique épisodique,
- Pigmentation rouge parfois préservée



A

B

Solenopora compacta (Billings). A. Tangential section. $\times 100$.
B. Vertical section. $\times 50$. (After Brown.)

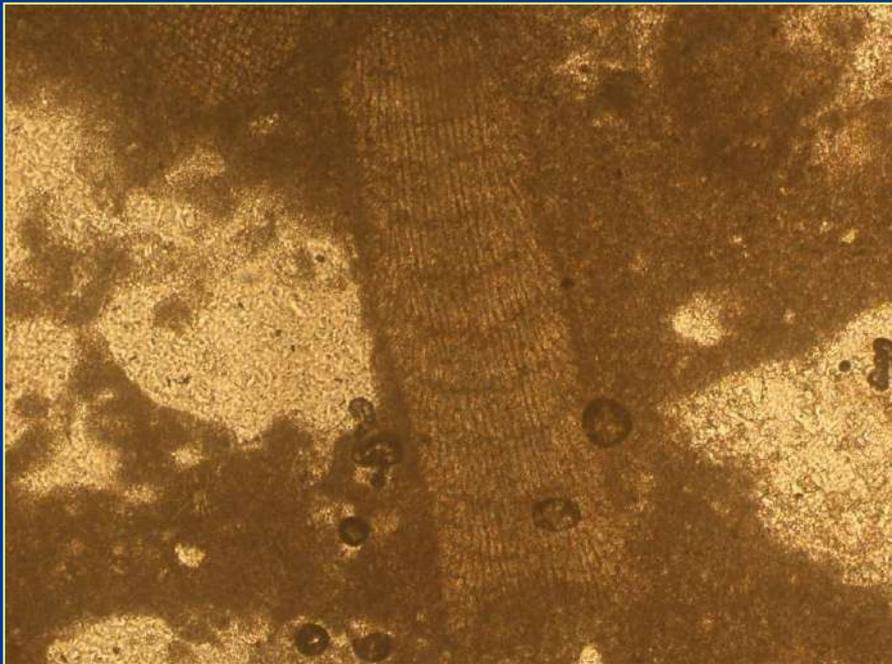
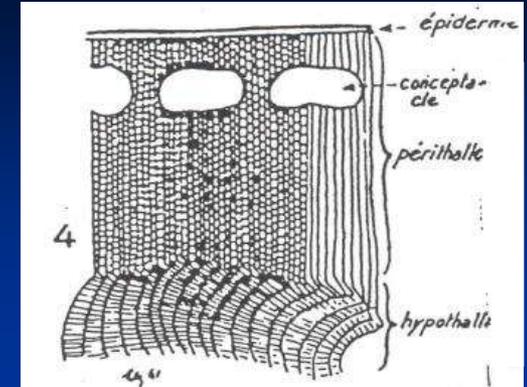
Les grains squelettiques phylogènes

Rhodophycées

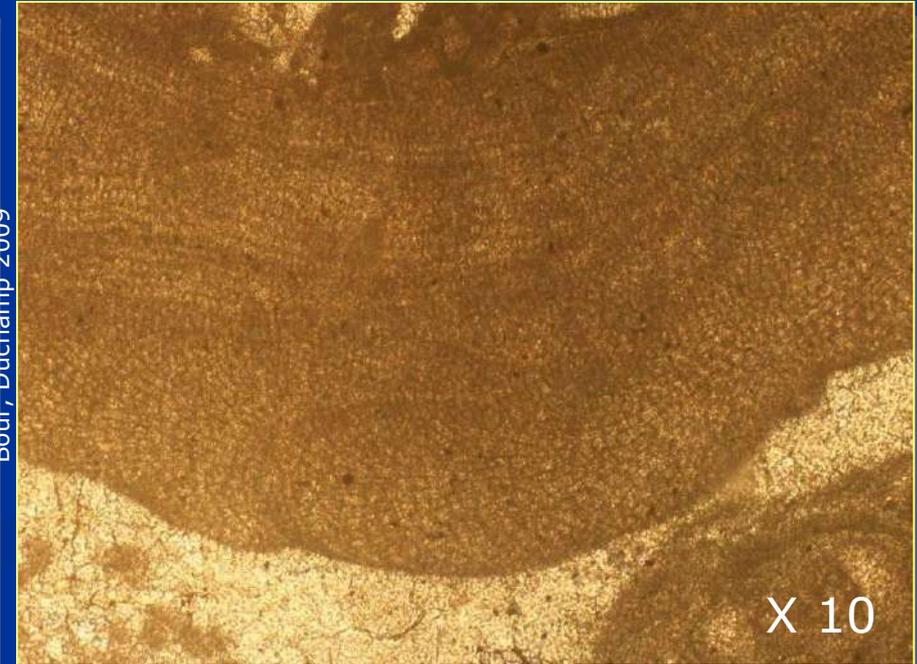
ou algues rouges

2- **Lithothamniées** : *Lithothamnium*

- Forme massives en boule ou arborescente,
- Se présente en 2 parties :
 - **partie inf.** : réseau très fin de cellules => **hypothalle**,
 - **partie sup.** : constituée de cellules de grandes dimensions ± rayonnantes => **périthalle**. Presence de zones calcitiques.



Bour, Duchamp 2009



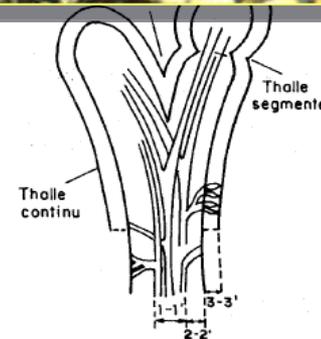
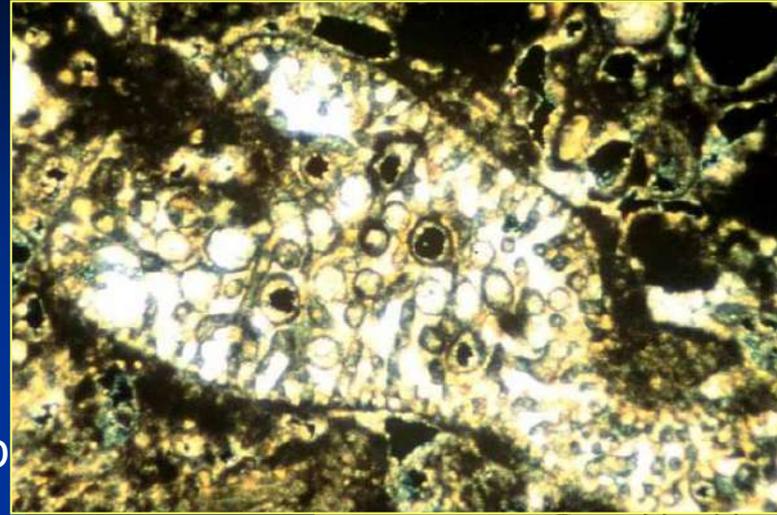
Les grains squelettiques phylogènes

Chlorophycées

2 groupes :

1- **Udotéacées** : G.

- forme fixée sur substratoïdes,
- thalle constitué de segments cylindriques, simples ou divisés, avec dans la zone médullaire des filaments latéraux se divisant de plus en plus fins,
- formation de cristaux de calcite dans les espaces intercellulaires par la photosynthèse,



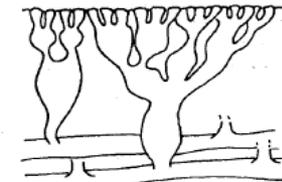
Thalle: gaine (calcaire, calcifiée)
cylindre calcifié
tige cylindrique

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1. Cavité interne | 1. Tubes médullaires |
| Zone médullaire | Filaments médullaires |
| 2. Partie périphérique | 2. Filaments latéraux |
| Zone des filaments cellulaires | Ramifications latérales |
| 3. Zone corticale | 3. Ramifications terminales |

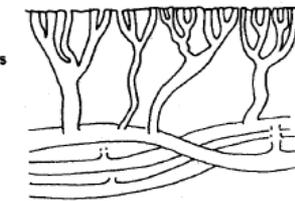
A



B



C



D

Figure 12. SIPHONALES : Représentation schématique : A d'une Udotéacée (d'après J.-P. Bassoullet *et alii*, 1983) ; B-D des filaments médullaires et latéraux chez les genres *Arabicodium* (B), *Halimeda* (C) et *Boueina* (D) (d'après G.F. Elliott, 1982).

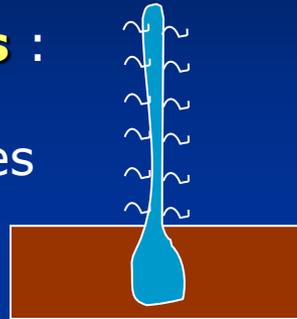
Les grains squelettiques phylogènes

Chlorophycées

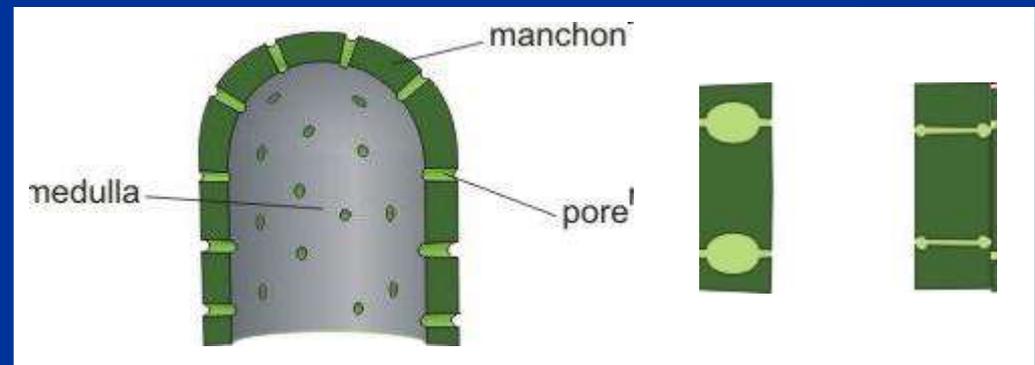
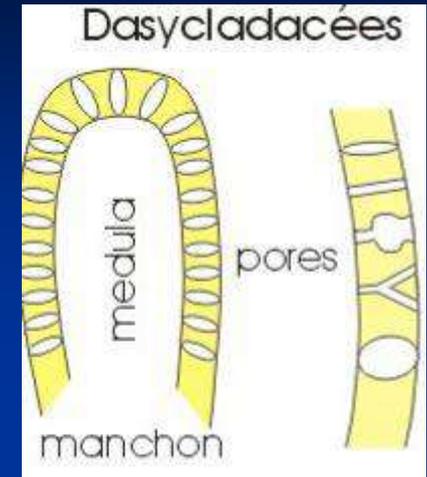
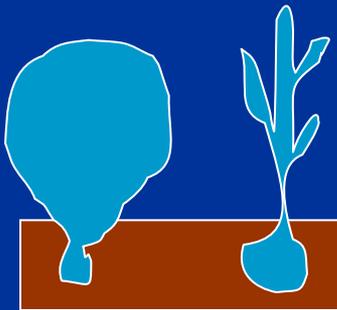
ou algues vertes

2- **Dasycladacées** :

- formes simples



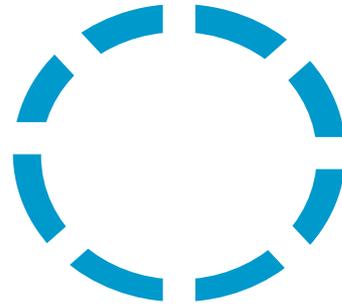
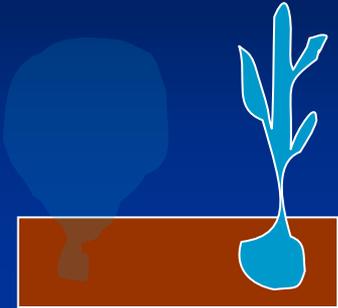
- formes complexes



Le *thalle* est continu ou *verticillé* (segmentées), certaines Dasycladacées verticillées ont un thalle continu mais divisé par des septa.

Les pores sont de petits cylindres de diverses formes et pouvant se dichotomiser.

2- Dasycladacées :



Section axiale



Section transversale

Tube creux,
ramification simple



Dasycladacées dans un grainstone.
Recristallisation du manchon et pores remplis de micrite. *Lumière naturelle*

Les grains squelettiques phylogènes

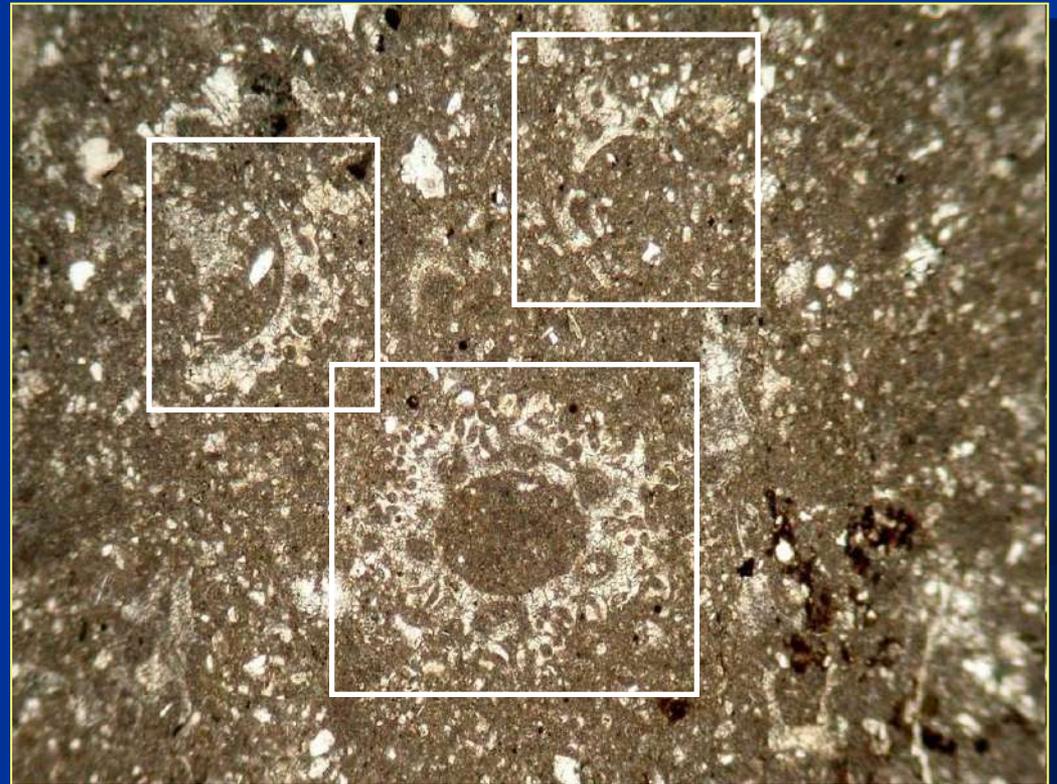
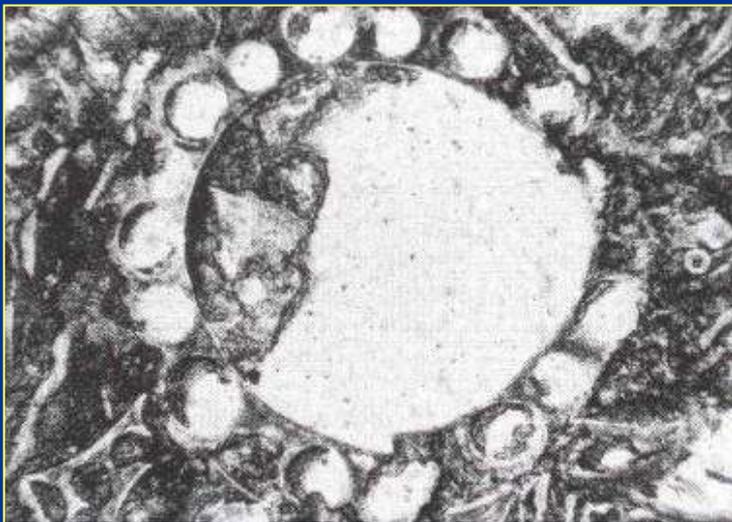
Charophycées

ou algues vertes d'eau douce

- Formation de cristaux de calcite dans les parois cellulaires par la photosynthèse,
- Caractérisé par des oogones que l'on trouve en périphérie avec une disposition rayonnante sur la section du tube calcitique.



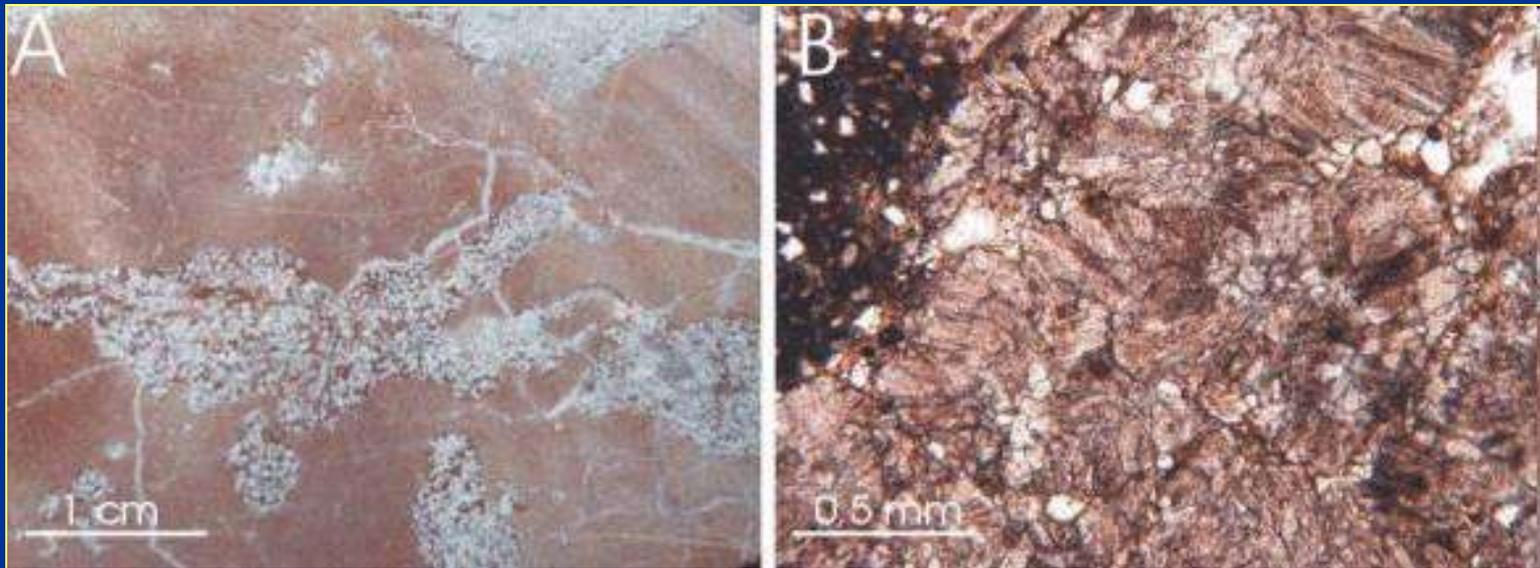
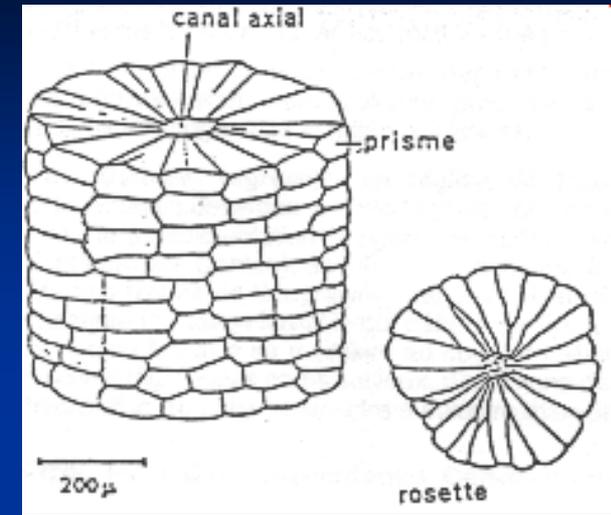
Section d'une tige fossile



Les grains squelettiques phylogènes

Microcodium

- Filaments mycéliens qui se développent au dépend de la roche calcaire en milieu continentale,
- Dégradent un substratum calcaire à partir d'un sol hydromorphe,
- Cristaux en disposition de rosasse.



Microcodium dans un sol tertiaire

A : aspect en surface sciée (les microcodium se concentrent dans les racines) ;

B : lame mince, lumière naturelle.

FICHE DESCRIPTIVE POUR LAME DE ROCHE CARBONATEE

DESCRIPTION

1) Macroscopie

- Caractère plus ou moins homogène de la lame. Si nécessaire, identifier plusieurs zones par un dessin.
- Structures sédimentaires macroscopiques (lamination, bioturbation, etc.)

1) Microscopie

- Texture de la lame (DUNHAM).
- Granulométrie, classement.
- Description du ciment (équigranulaire, fibreux, répartition), de la matrice (micrite, microspar, répartition).
- Présence éventuelle de fenestrae, de porosité.
- Liste des différents constituants, par ordre décroissant d'abondance, avec état des grains (encroûtement, micritisation, caractère plus ou moins brisé, arrondi, etc.)

3) Nom

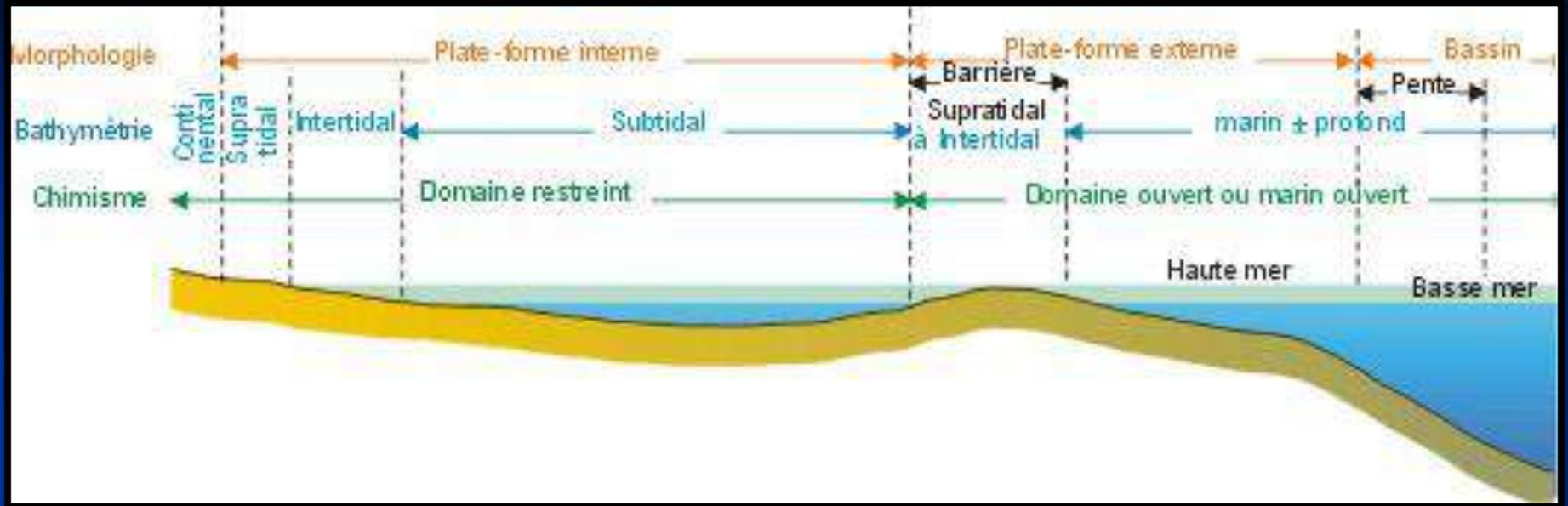
- Texture + constituants majeurs (ex: "wackestone bioturbé à brachiopodes, bryozoaires")

INTERPRETATION

En fonction de la description: *degré d'agitation, de confinement, paléobathymétrie*

Interprétation des paléoenvironnements

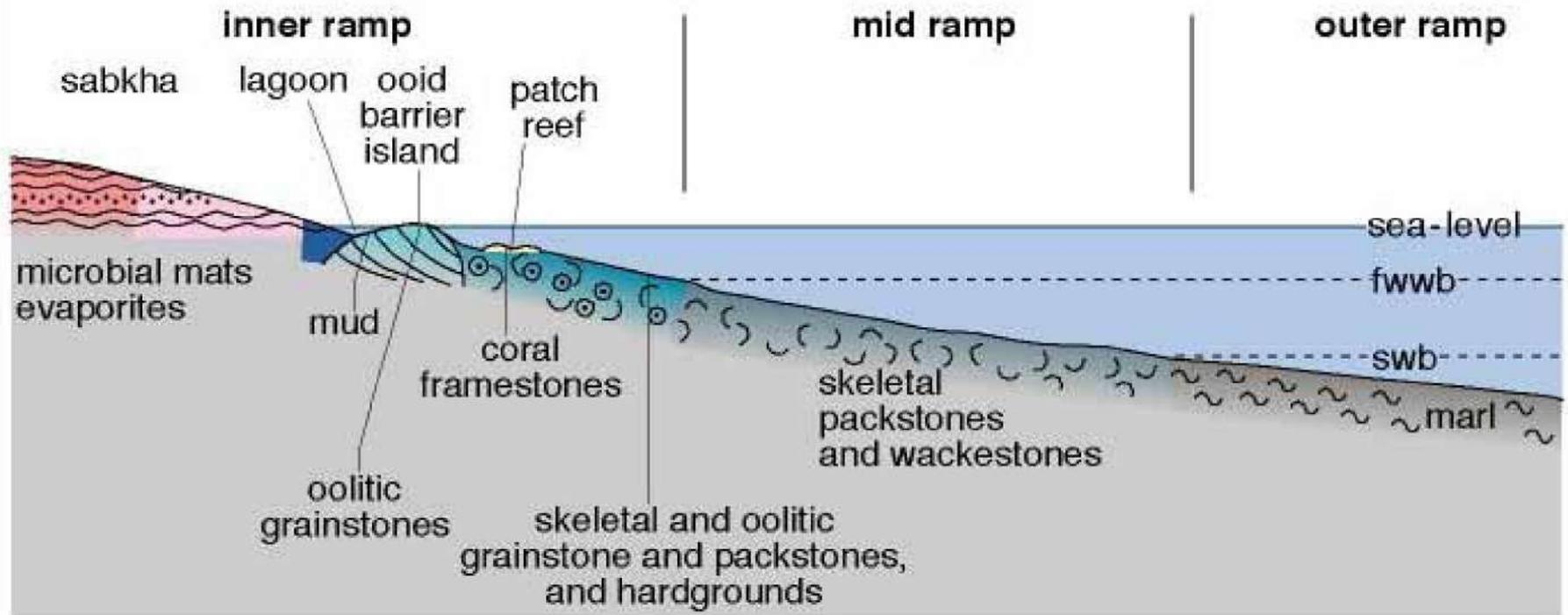




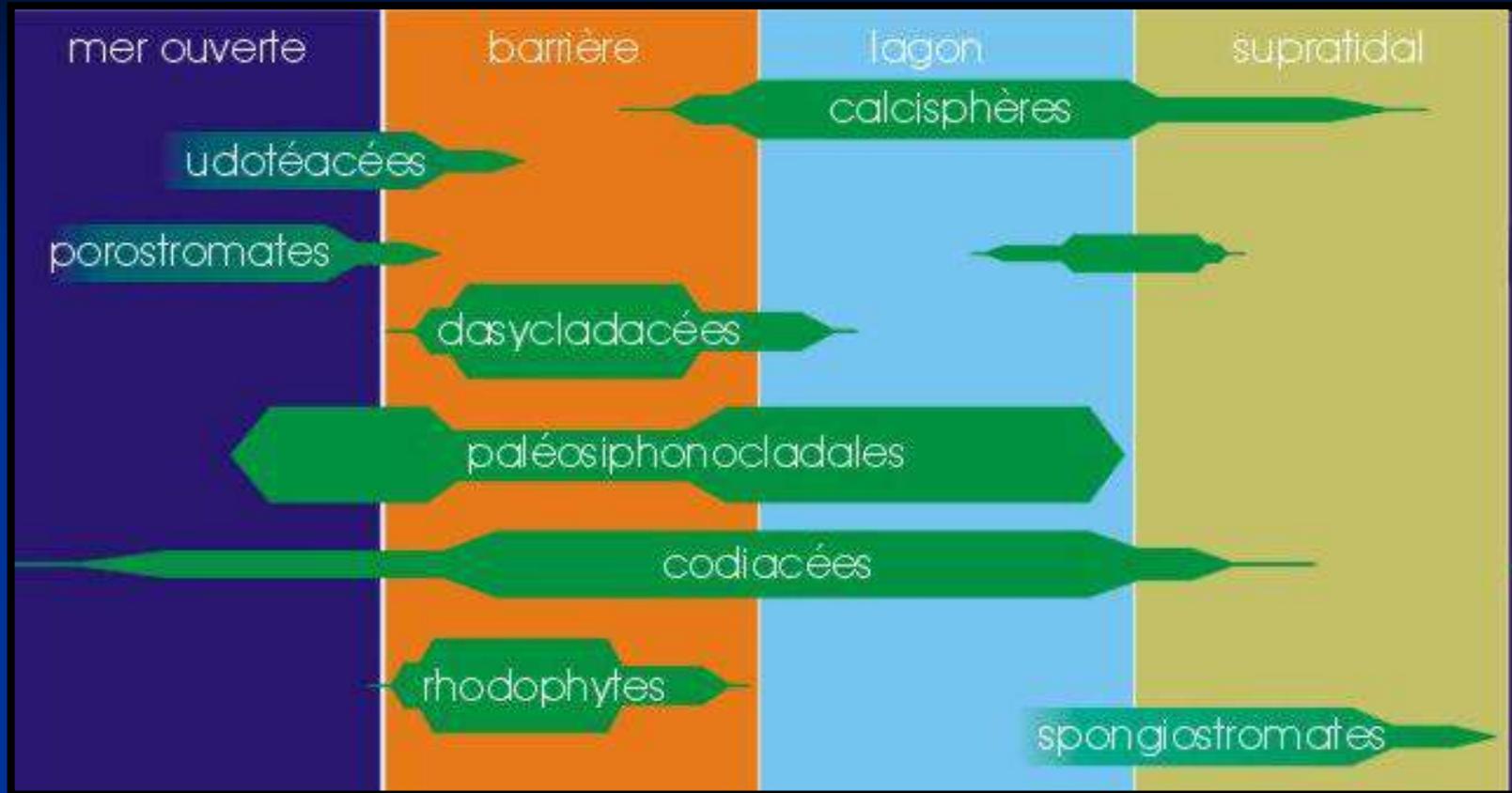
Organisation d'un système côtier

SOUTH

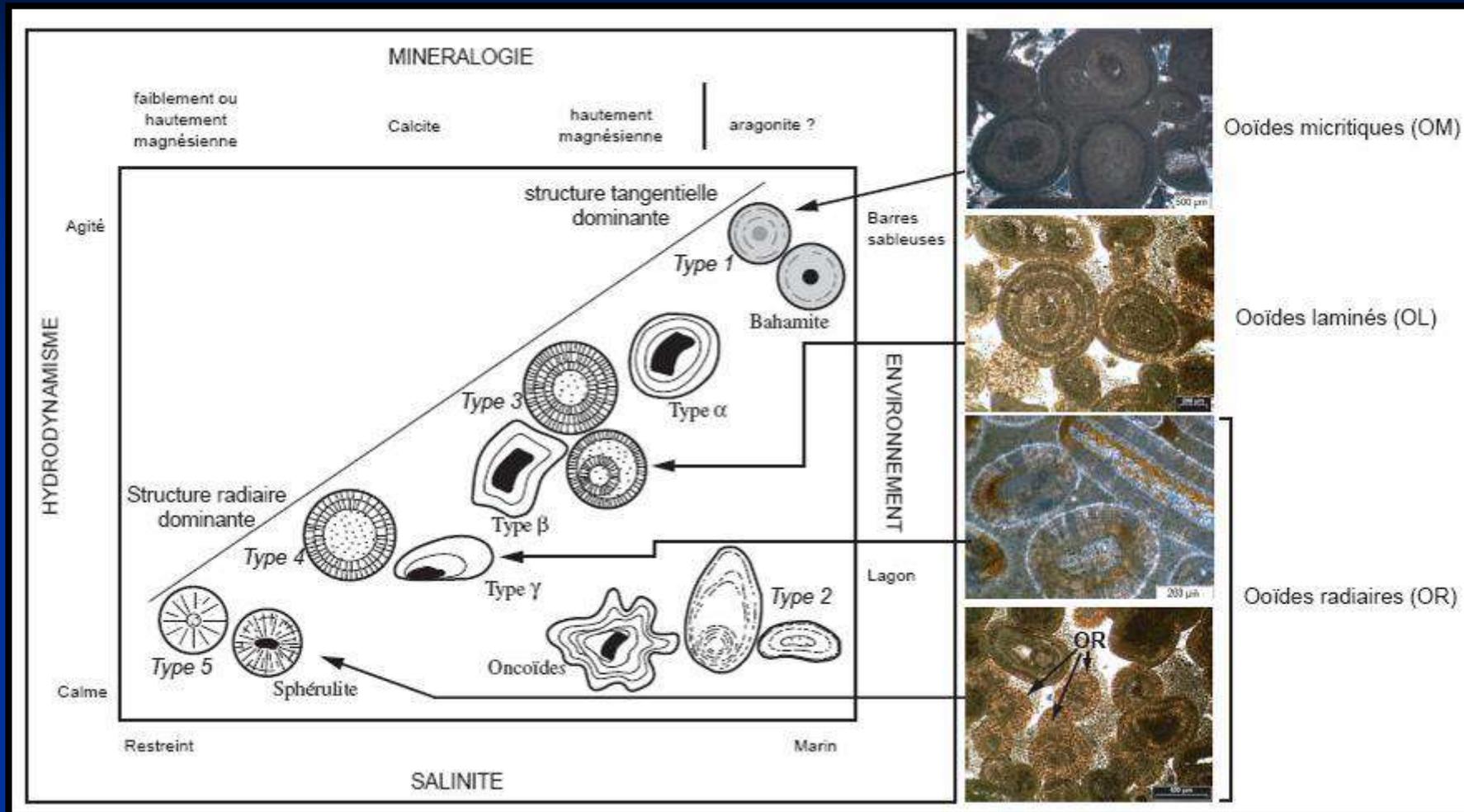
NORTH



Répartition des différents faciès carbonatés en domaine côtier



REPARTITION DES ALGUES (modèle paléozoïque)



Correspondance des structures internes des ooïdes avec la Salinité et l'hydrodynamisme

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

