



Identification microscopique des principaux constituants des roches sédimentaires (notes de travaux pratiques)

Pr Dr F. Boulvain, 2023

ROCHES CARBONATEES	3
identification des constituants	3
Le ciment	3
La matrice	6
la porosité	7
Classification des calcaires	7
Structures sédimentaires	8
Les grains ou éléments figurés d'origine non-squelettique	10
Lithoclastes ou microbrèches	11
Ooïdes.....	11
Lumps-peloïdes-oncoïdes-mcg.....	13
Les fossiles	15
Echinodermes	15
Bryozoaires.....	18
Brachiopodes.....	19

Coelentérés	21
Arthropodes	22
Mollusques	23
Eponges	26
Stromatopores.....	26
Vers encroûtants	27
Foraminifères.....	28
Algues.....	35
Interpretation des paléoenvironnements.....	40
Phénomènes de remplacement	43
Dolomitisation	43
Silicification	44
FICHE DESCRIPTIVE POUR LAME DE ROCHE CARBONATÉE	45
<i>ROCHES DETRITIQUES</i>	46
Conglomérats	46
Grès	47
Pélites	48
Mélanges	48
Quelques minéraux accessoires des roches détritiques	50
Chartes d'abondance, de classement et de degré d'arrondi/sphéricité	51
FICHE DESCRIPTIVE POUR LAME DE ROCHE DÉTRITIQUE	53
<i>ROCHES MIXTES (DETRITIQUES + CARBONATES)</i>.....	54
<i>EVAPORITES</i>	54
<i>ROCHES SILICEUSES OU SILICITES</i>.....	57
<i>ROCHES FERRIFERES</i>.....	58
<i>PHOSPHORITES ET ROCHES PHOSPHATEES</i>	60
<i>PYROCLASTITES</i>	61

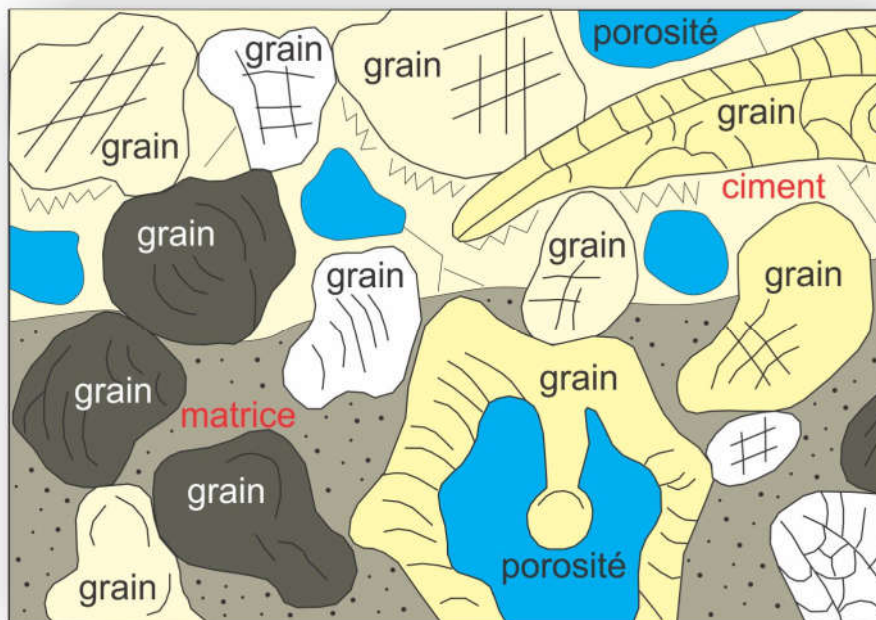
Ces notes très schématiques se veulent une aide à la détermination des constituants des roches sédimentaires en lame mince et à l'interprétation des faciès carbonatés. **D'autres supports sont également conseillés :**

- A.E. Adams & W.S. MacKenzie, 1998. Carbonate sediments and rocks under the microscope. Manson Publishing, 180 pp. *Un atlas visuel des carbonates, avec de très bonnes photographies en couleur.*
- A.E. Adams, W.S. MacKenzie & C. Guilford, 1994. Atlas des roches sédimentaires. Masson, 104 pp. *Même chose pour toutes les roches sédimentaires.*

- E. Flügel, 2004. Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application. Springer-Verlag, 976 pp. *Une véritable somme sur les microfaciès carbonatés! Bibliographie gigantesque.*
- O.P Majewske, 1969. Recognition of invertebrate fossil fragments in rocks and thin sections. Brill, 101 pp., 106 pl. *Vraiment tout sur la reconnaissance des fossiles en lame mince!*
- E. Vennin, M. Aretz, F. Boulvain. & A. Munnecke, 2007. Facies from Palaeozoic reefs and bioaccumulations. Mém. Museum national Histoire naturelle, Paris, T. 195, 341 pp. *Un atlas des faciès des bioconstructions paléozoïques. Photos disponibles sur CD.*

ROCHES CARBONATEES

IDENTIFICATION DES CONSTITUANTS : grains ; matrice ; ciment ; porosité.



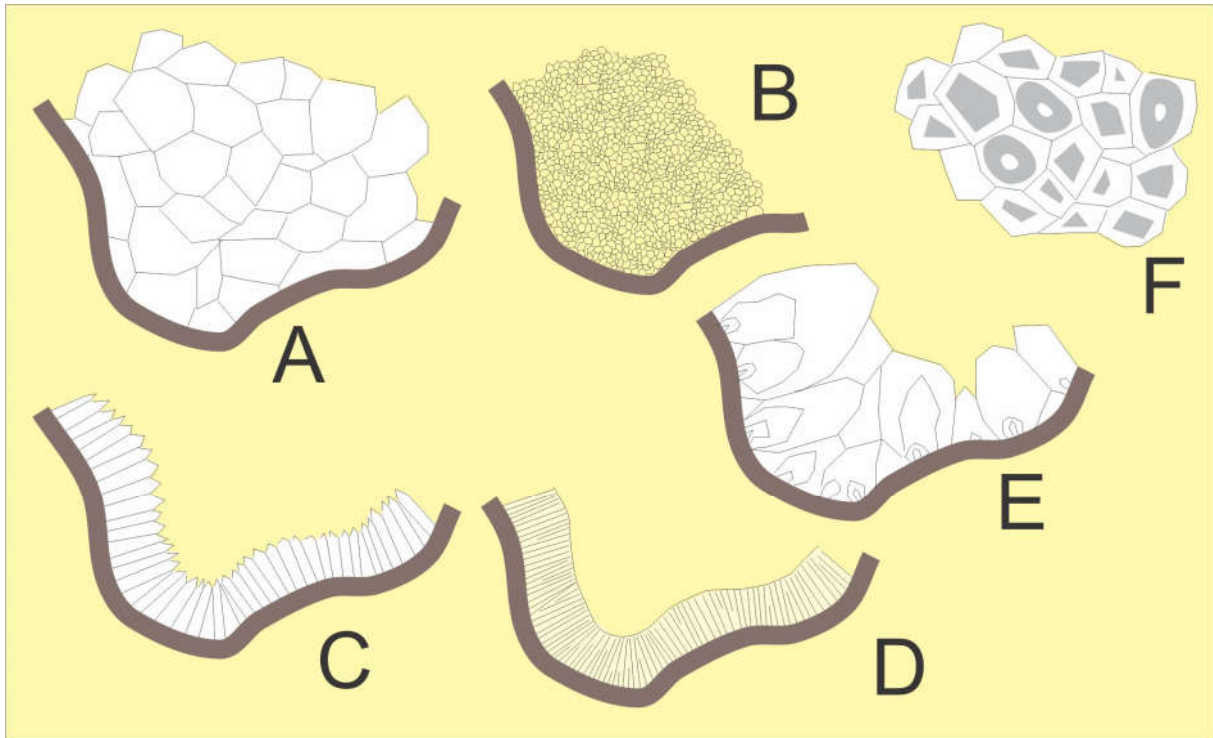
Les différents constituants d'un calcaire en lame mince sont : les GRAINS (=éléments figurés =corpuscules), la MATRICE (=la boue qui s'est infiltrée entre les grains, pendant le dépôt), le CIMENT (=la calcite ou l'aragonite qui précipite entre les grains après le dépôt) et la POROSITE (qui peut être remplie d'eau, d'air, d'hydrocarbures) ; dans le schéma ci-dessus, la porosité est représentée en bleu (on ajoute souvent un colorant bleu dans la résine utilisée pour confectionner les lames minces afin de faire ressortir la porosité).

LE CIMENT

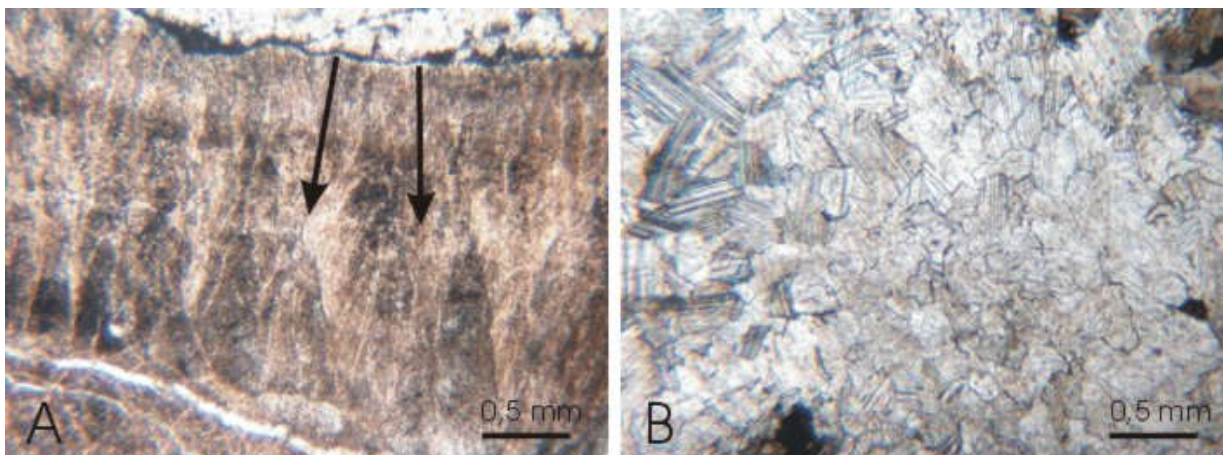
La plupart des ciments sont constitués de sparite.

On appelle SPARITE des cristaux de calcite de grande dimension, en général $> 50\mu\text{m}$. Ces cristaux sont clairs en lame mince.

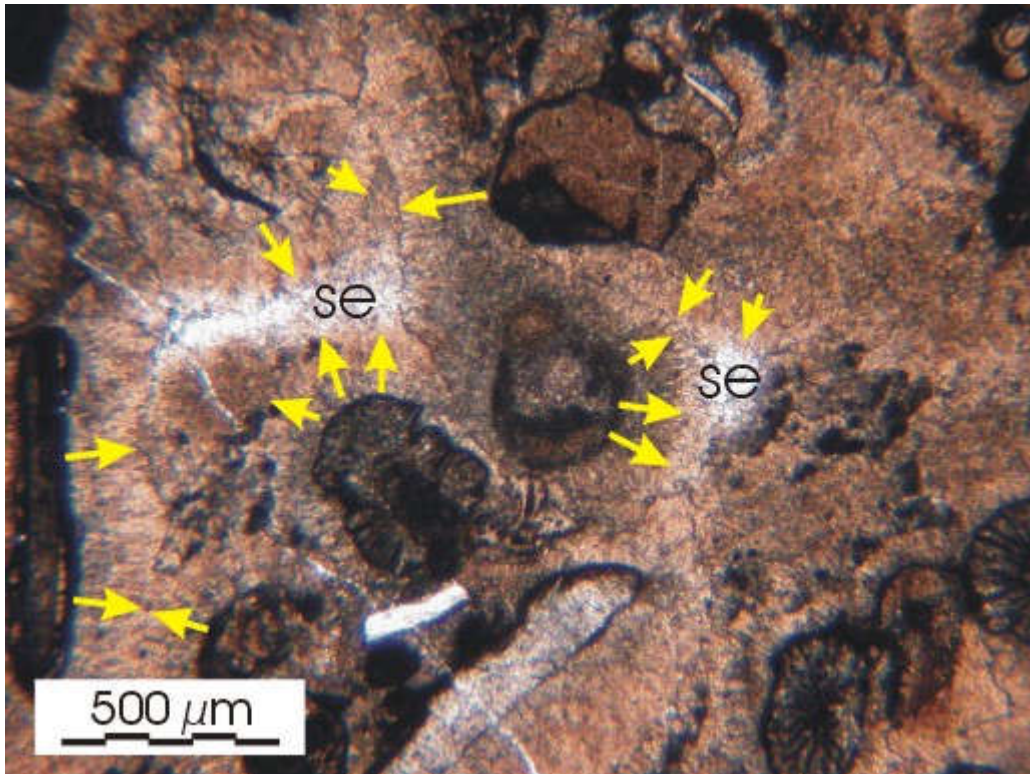
Il existe plusieurs types de CEMENTS SPARITIQUES : équigranulaire, fibreux, drusique... (cf. Diagenèse).



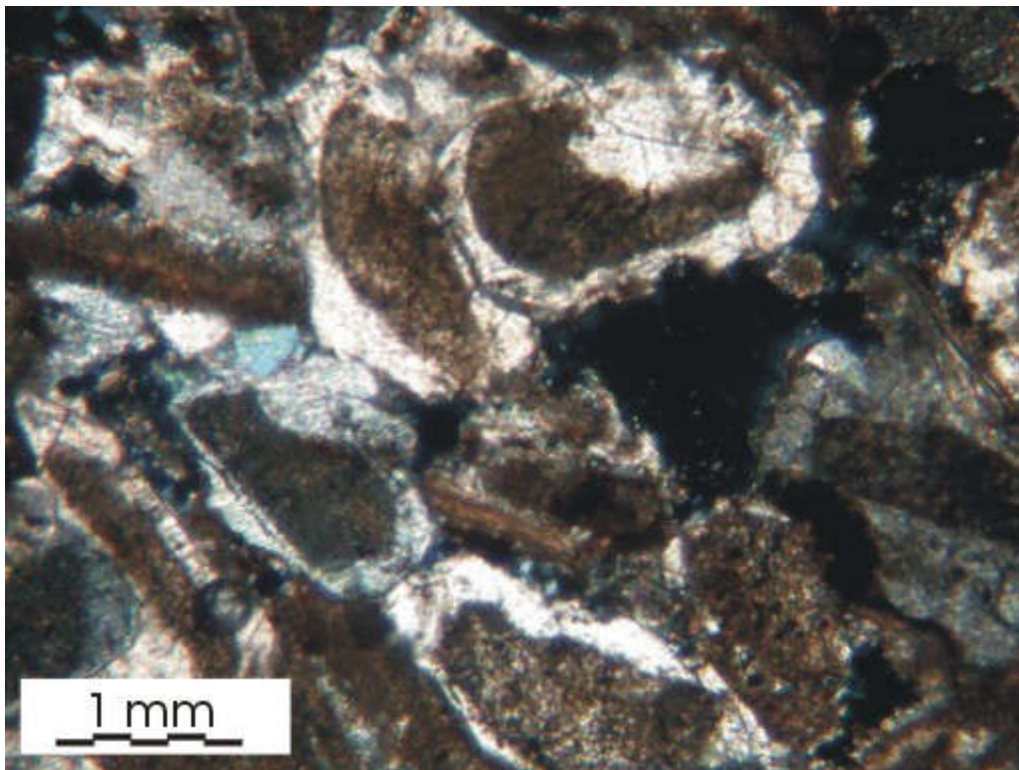
Différents types de ciments. A : sparite équigranulaire (tous les cristaux ont la même taille). B : microspar équigranulaire (il pourrait s'agir soit de ciment, soit d'une matrice ayant subi une recristallisation ou néomorphisme, cf. ci-dessous). C : sparite en lames formant une frange isopaque (de même épaisseur) sur le bord d'une cavité. D : sparite fibreuse, également en frange isopaque. E : sparite drusique (les premiers cristaux sont petits, ensuite leur taille croît au cours du temps vers le centre de la cavité). F : ciment sparitique syntaxique ou coaxial sur des plaques d'échinodermes. Le ciment syntaxique est en continuité cristalline et donc optique avec les plaques d'échinodermes : l'ensemble « s'éteint d'un bloc » en nicols croisés.



Exemples de ciments sparitiques. A : sparite fibreuse (variété radiaxiale) ; les flèches indiquent la direction de croissance des fibres. B : sparite équigranulaire. Lames minces, lumière naturelle.



Autre exemple de ciment fibreux (aspect plus rosé). Les directions de croissance des fibres sont indiquées par les flèches ; dans les zones où les fibres ne se rencontrent pas au centre des cavités, cristallise ensuite de la sparite équigranulaire (se). Lame mince, lumière naturelle.

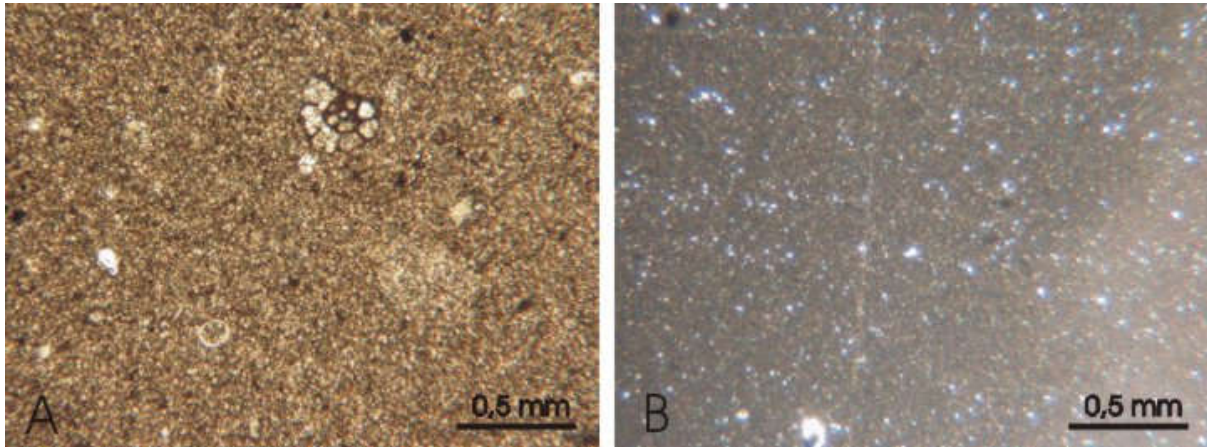


Ciment syntaxique ou coaxial sur des plaques d'échinodermes. La sparite a cristallisé en continuité optique avec les plaques.

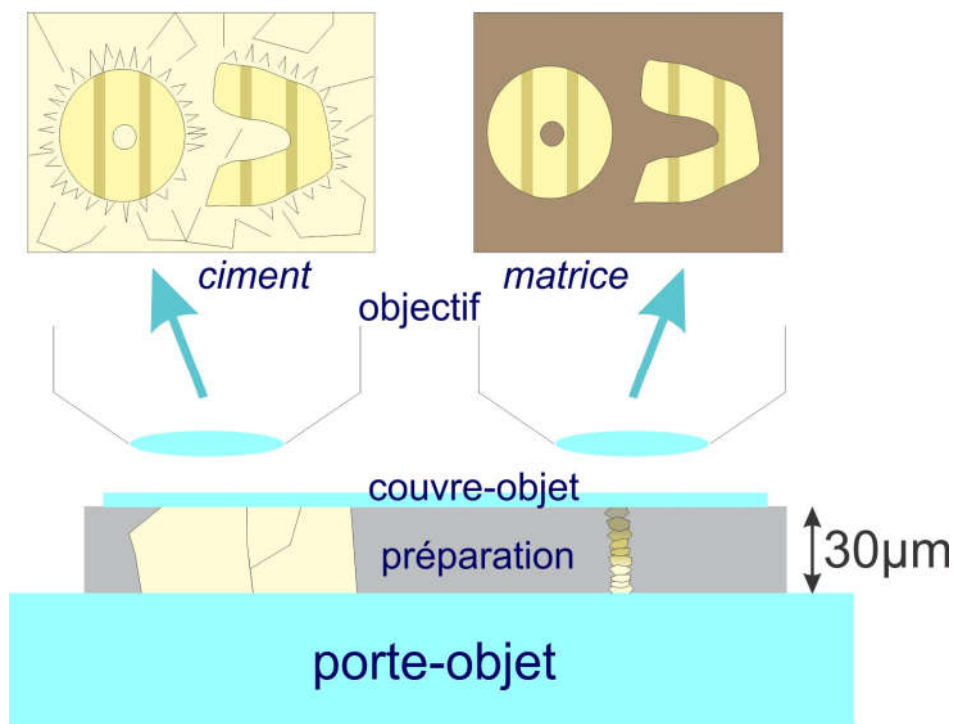
La **MATRICE** est donc la boue microcristalline existant au moment du dépôt \gg CIMENT qui précipite par après entre les grains. Cette boue microcristalline est appelée MICRITE. Par la suite, après le dépôt et durant la diagenèse, la micrite peut recristalliser (*néomorphisme*) avec augmentation de la taille des cristaux : on obtient du MICROSPAR ou du PSEUDOSPAR.

MICRITE	< 4 μm
MICROSPAR	4-10 μm
PSEUDOSPAR	10-50 μm

Classification de la matrice suivant Tucker (1981)



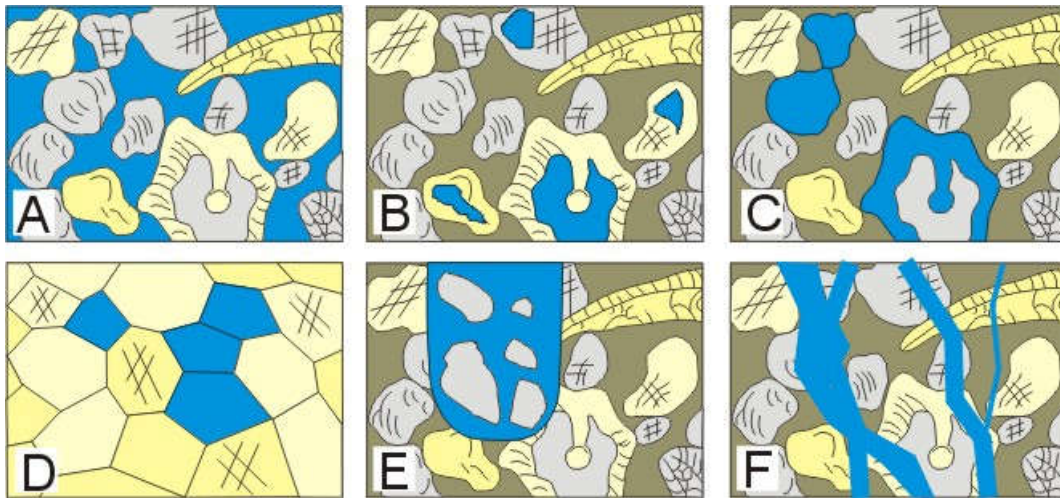
A : microspar (mudstone). B : micrite (également un mudstone). Lames minces, lumière naturelle.



Reconnaissance : en lame, le CIMENT est clair, la MATRICE est sombre... A noter que certains ciments, rares, précipités à partir de solutions très saturées, peuvent être micritiques ou microsparitiques (cf. Diagenèse).

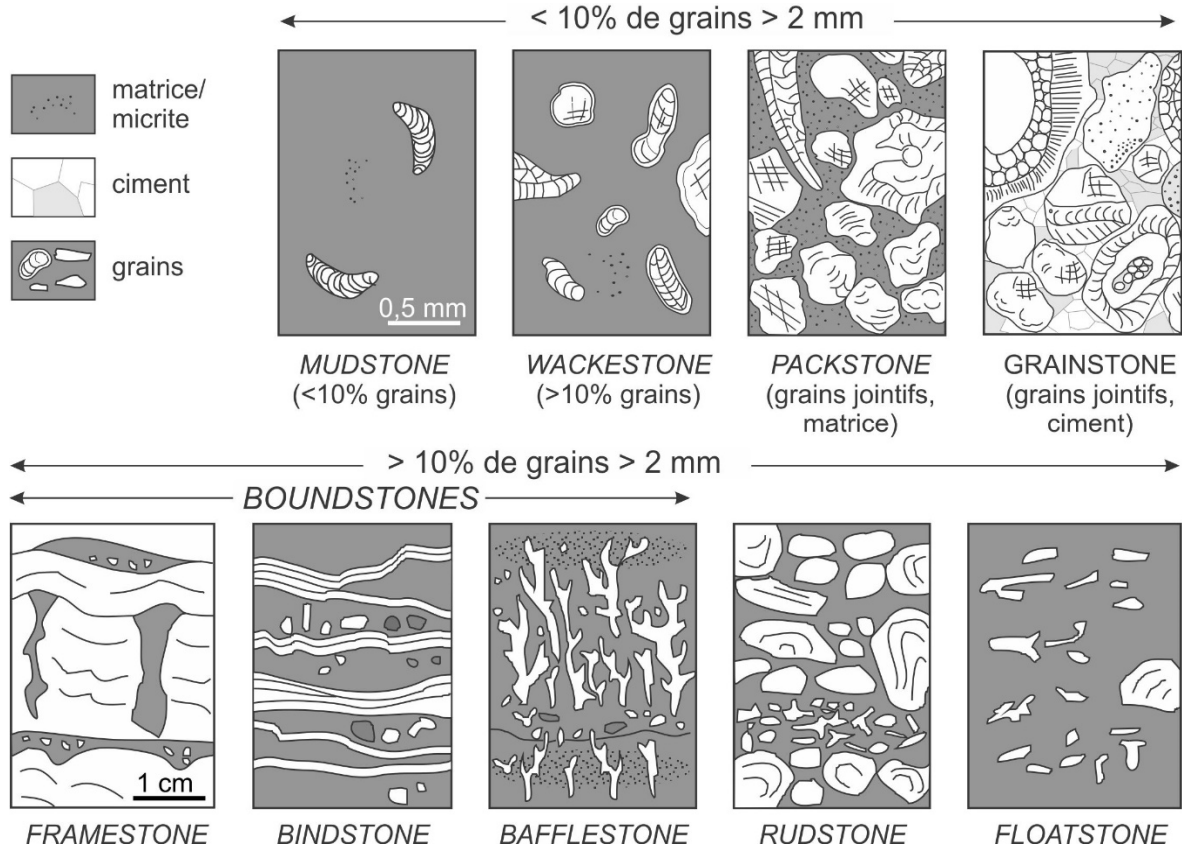
LA POROSITE

On utilise une classification simple de la porosité, comme celle illustrée ci-dessous. La proportion est déduite d'une estimation visuelle à l'aide de chartes (cf. ci-dessous).



A : porosité **intergranulaire**. B : porosité **intragranulaire**. C : porosité de dissolution sélective de grains. D : porosité intercrystalline (acquise au cours d'un remplacement, par exemple). E : porosité liée à des perforations. F : porosité de fracture. Porosité en bleu.

CLASSIFICATION DES CALCAIRES

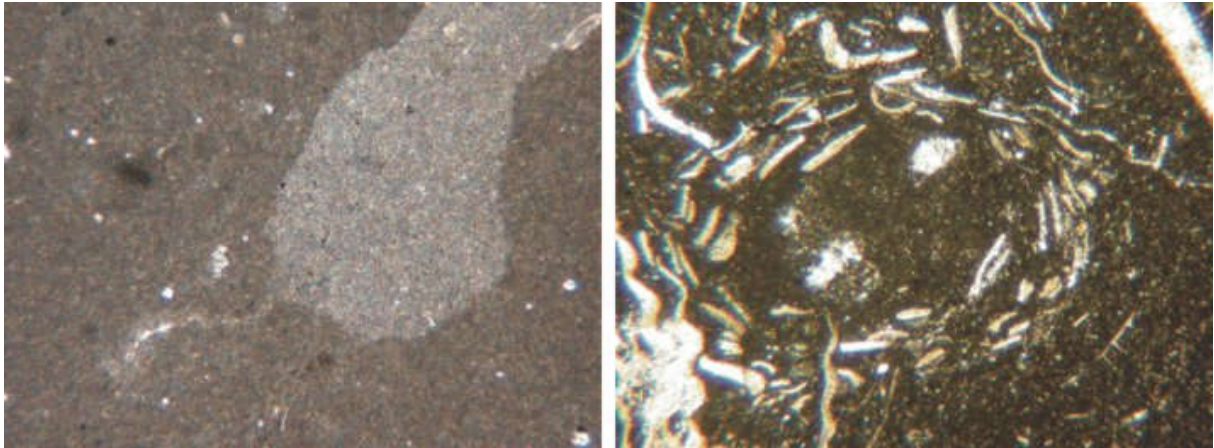


Classification de Dunham (1962), élargie par Embry & Klovan (1971).

STRUCTURES SEDIMENTAIRES

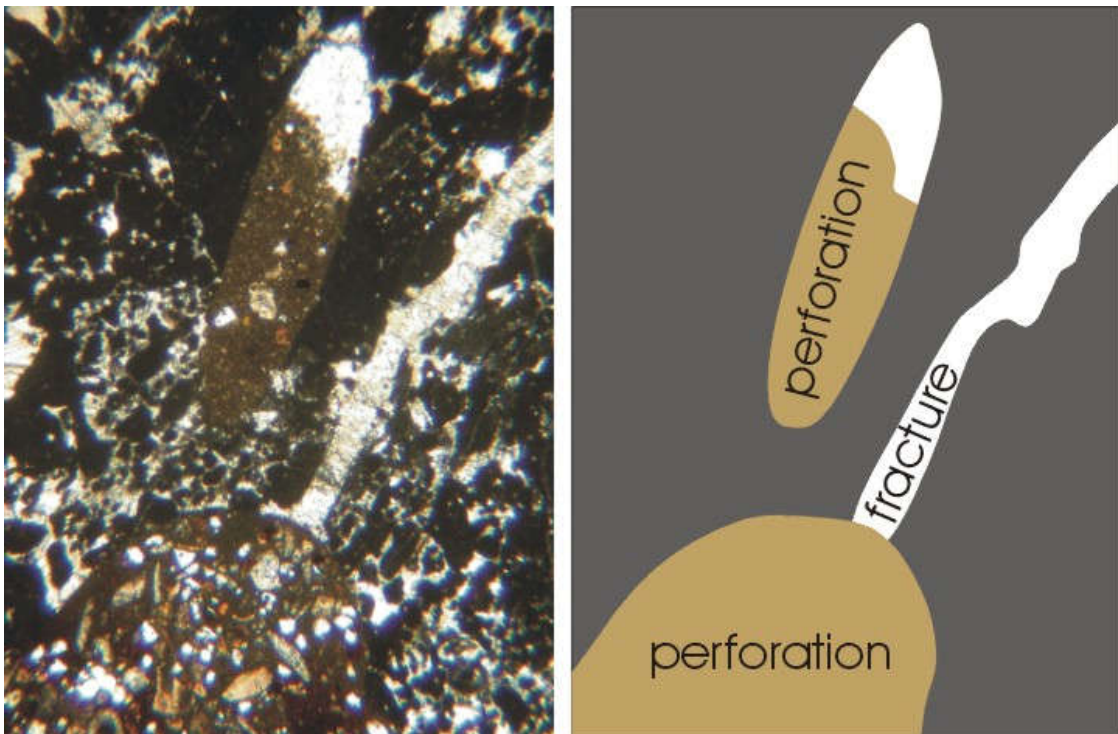
A identifier également en lame mince : laminations, bioturbations, présence de fenestrae (=cavités remplies par du ciment), etc.

EXEMPLES DE STRUCTURES



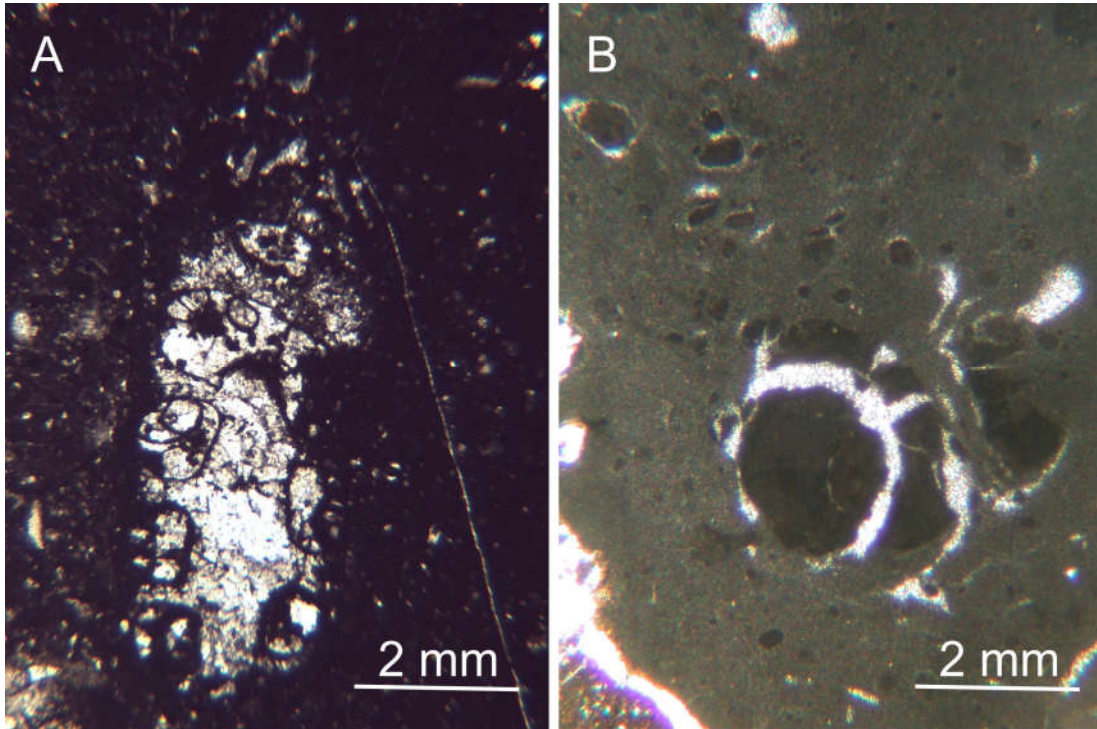
Exemples de BIOTURBATIONS. Dans le mudstone à gauche, il s'agit d'un terrier "ouvert" avec un remplissage différent (microspar) du sédiment primaire (micrite) ; le terrier est celui d'un suspensivore. Dans le wackestone à droite, la bioturbation n'est apparente que suite à une réorientation des fragments de coquille ; le terrier est un terrier de détritivore ; (petit côté des microphotos~2,5 mm). Lames minces, lumière naturelle.

Les PERFORATIONS sont des bioturbations tronquant un substrat induré, lithifié:

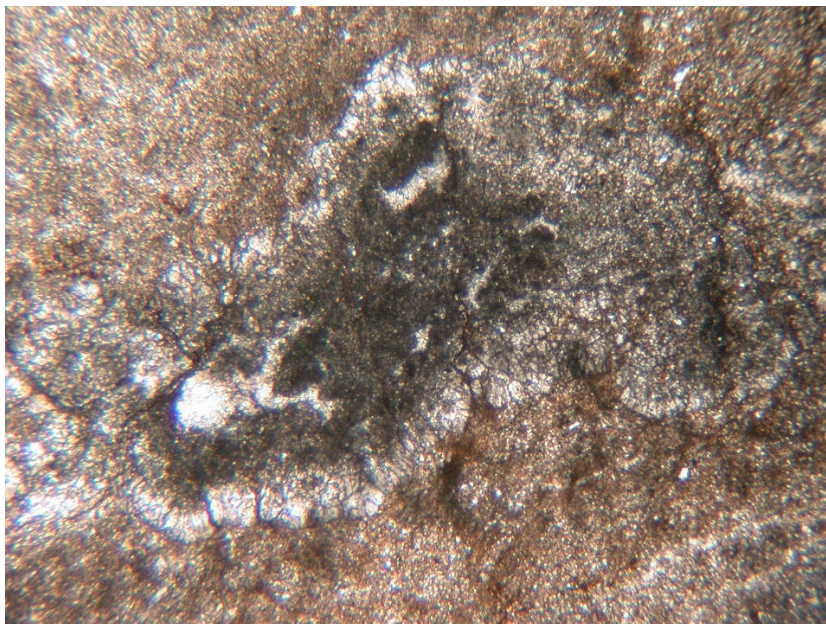


Dans l'exemple ci-dessus, la perforation recoupe même une fracture de la roche. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

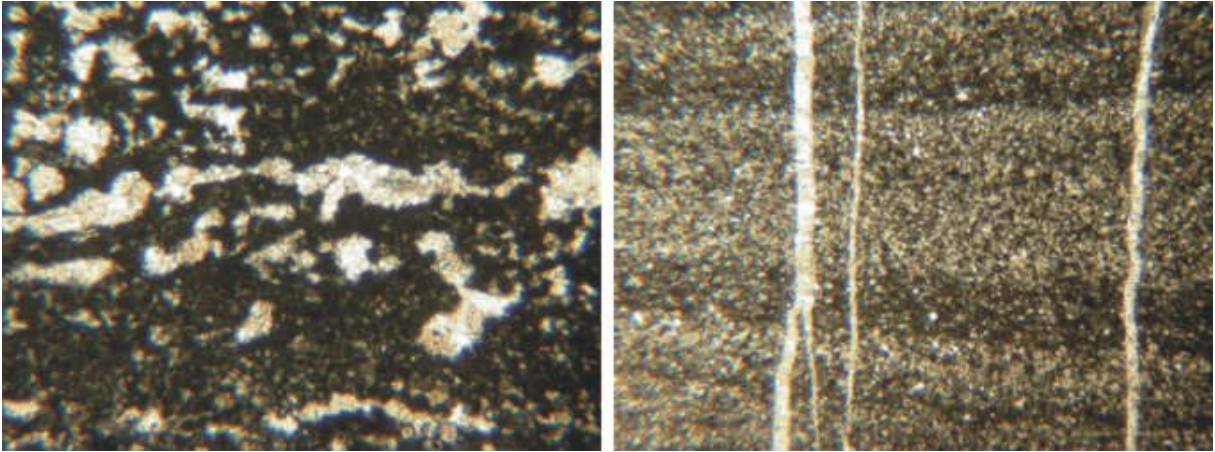
Il existe aussi des bioturbations liées à des racines. On les distingue des terriers par leur caractère plus irrégulier, conique, fourchu et par leur association avec des structures pédogénétiques.



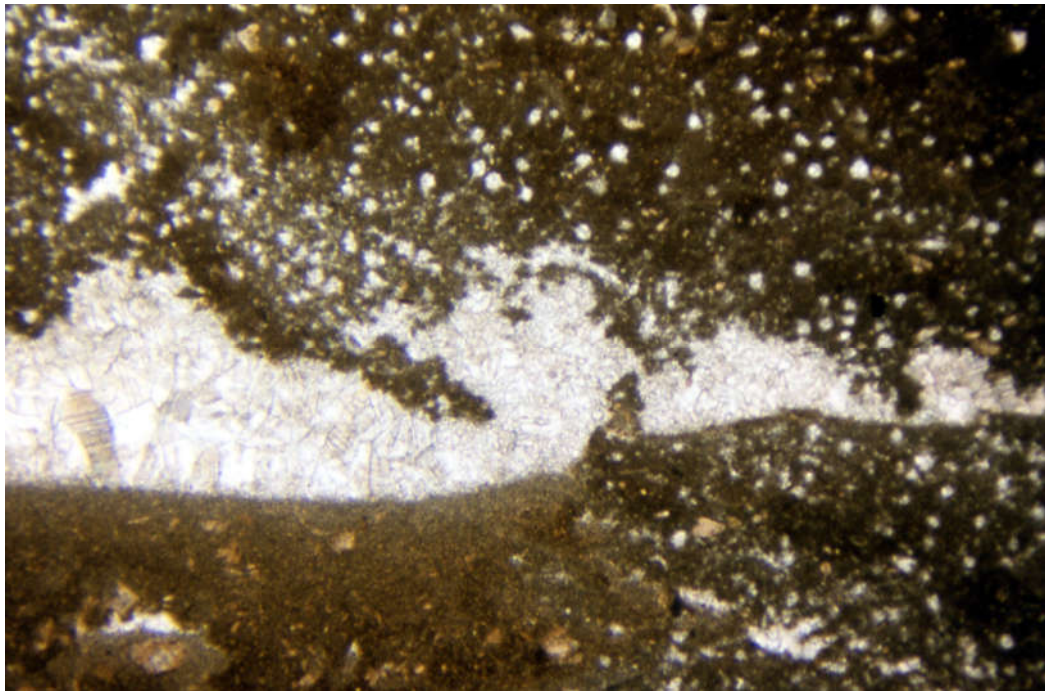
STRUCTURES PÉDOGÉNÉTIQUES. A : structures alvéolaires. B : fractures courbes circumgranulaires. Lames minces, lumière naturelle.



Manchon racinaire sparitique et remplissage micritique de l'intérieur de la racine dans un mudstone microsparitique. Petit côté de la microphoto~2,5 mm). Lame mince, lumière naturelle



Autres exemples de structures à repérer en lame mince : à gauche, des fenestrae emplies de sparite granulaire (un ciment) dans un packstone à peloïdes (cf. ci-dessous). A droite, laminations dues à un changement de texture (grainstone/packstone) ; (petit côté des microphotos~2,5 mm). Lames minces, lumière naturelle.



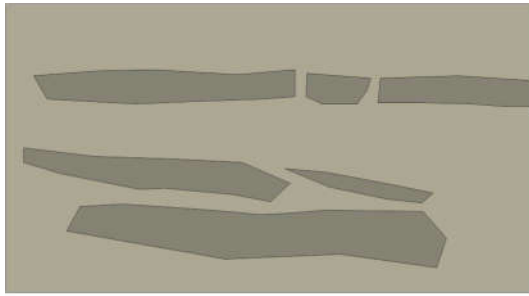
Fenestra à ciment de sparite équigranulaire (cavité laissée par une éponge) dans un mudstone à spicules d'éponges (petit côté de la microphoto~2,5 mm)

LES GRAINS OU ELEMENTS FIGURES D'ORIGINE NON-SQUELETTIQUE

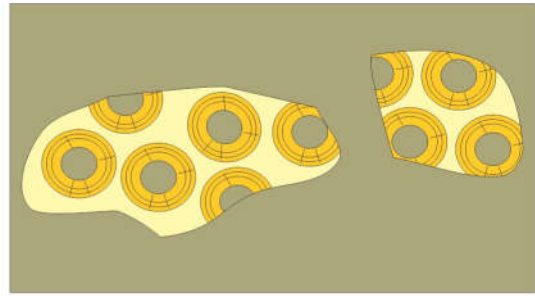
Il s'agit des grains qui ne correspondent pas à des fossiles ou fragments de fossiles. La plupart de ces grains caractérisent des milieux peu profonds, en plate-forme carbonatée tropicale.

LITHOCLASTES ou MICROBRECHES

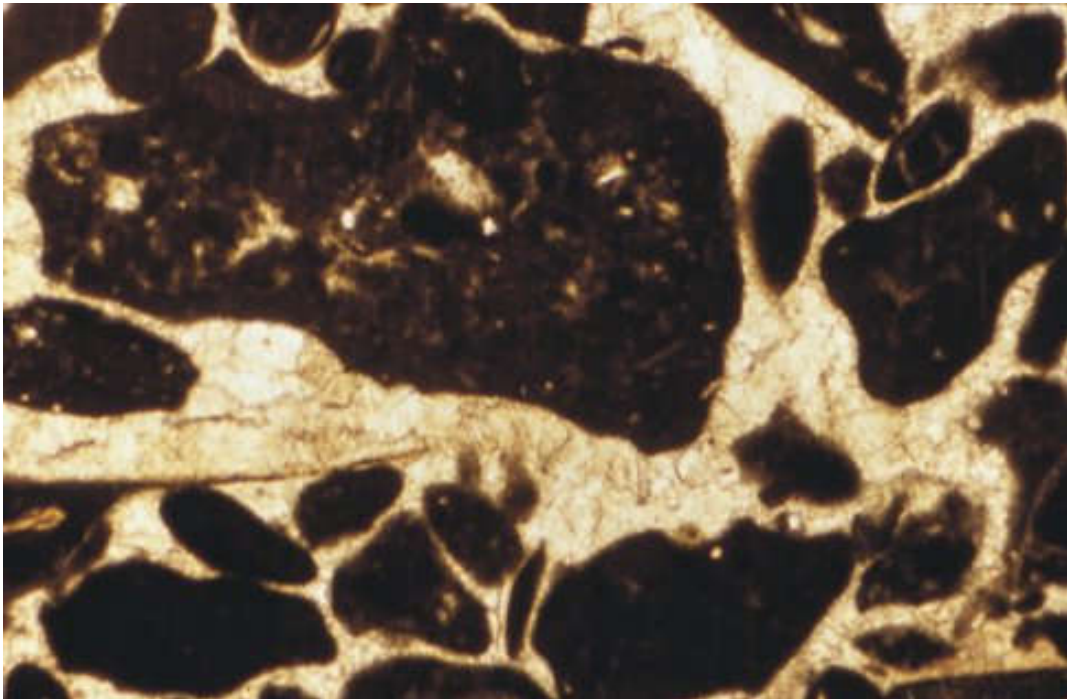
On distingue les **endoclastes** (remaniement local de sédiment déjà déposé) des **exoclastes** (apport de matériel "exotique" par rapport au milieu de sédimentation).



endoclastes



exoclastes



Grainstone à lithoclastes irréguliers (foncés). Le ciment (clair) est de la sparite équigranulaire. Lamelle mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

OOIDES

« Ooïde » est le terme général. Il comprend les oolithes, les sphérulites et les bahamites.

Ce sont des 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.

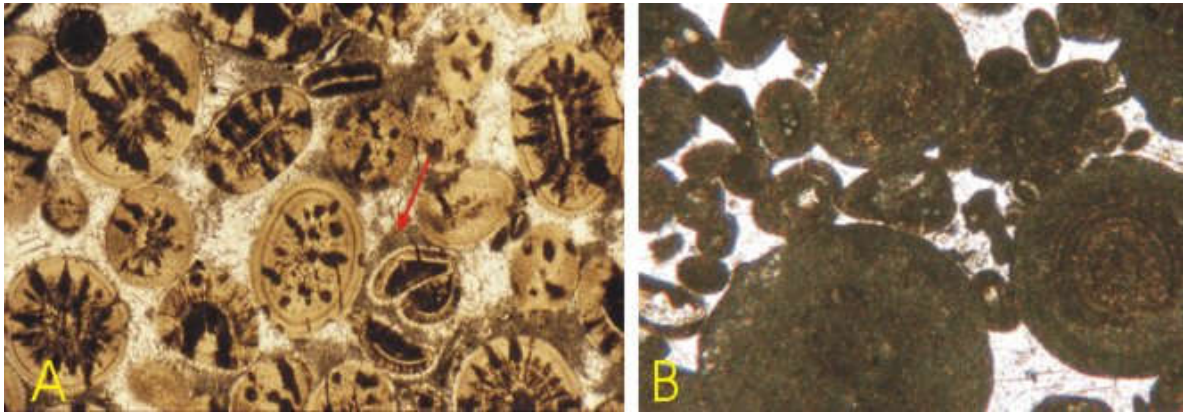
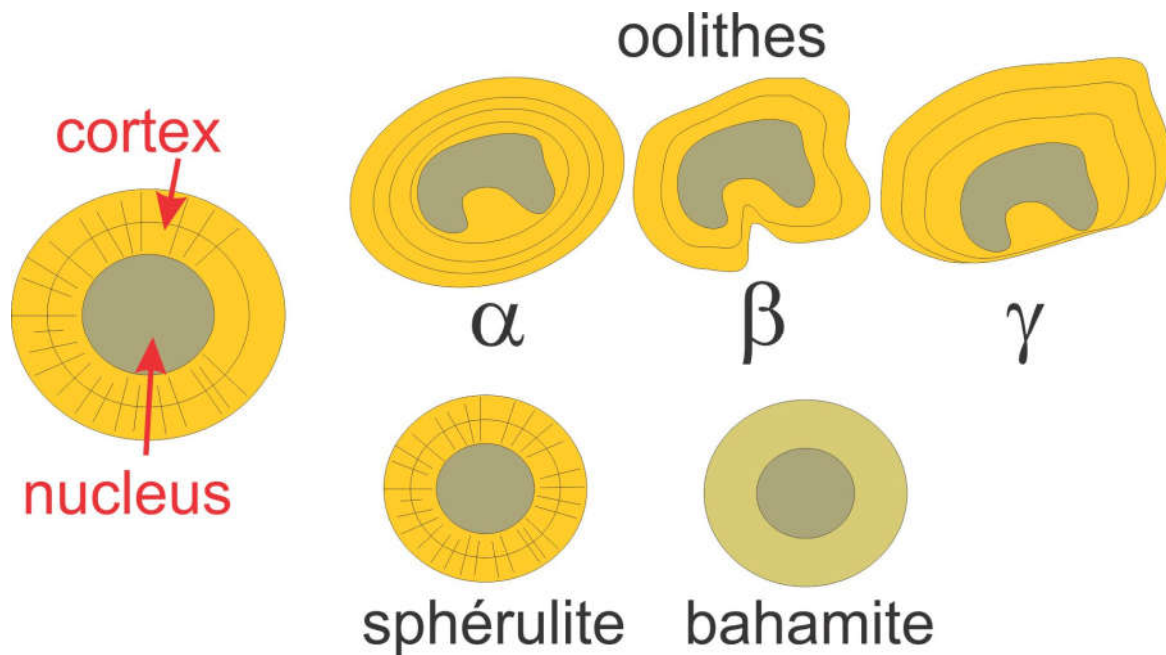
Il s'agit de précipitation (bio)chimique dans des milieux proches de la saturation (plate-forme carbonatée tropicale), à très faible profondeur. On fait en général intervenir des courants (tidaux) pour expliquer la forme ovoïde.



Oolithe actuelle montrant la lamination concentrique (cortex) autour d'un nucleus constitué de boue calcaire avec quelques grains de sable. Dans la partie gauche du cortex, nombreuses perforations d'organismes endolithiques (cyanobactéries?). Ceci montre que l'oolithe a été exposée à moitié à l'action de la bioérosion, l'autre moitié étant protégée par du sédiment. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~1 mm).

On peut distinguer plusieurs types d'ooïdes :

- **Oolithes de type α** : laminations corticales régularisant la morphologie du nucleus : oolithes marines des milieux agités, chenaux (abrasion).
- **Oolithes de type β** : laminations corticales conservant la morphologie du nucleus : oolithes marines des milieux calmes abrités.
- **Oolithes de type γ** : laminations localisées sur un côté du nucleus : pas de transport : oolithes marines des milieux très abrités.
- **Sphérulites** : cortex radiaire : recristallisation lors de la diagenèse.
- **Bahamites** : micritisation du cortex (par perforation répétée par des algues ou des bactéries).



A: grainstone à sphérulites ; la flèche montre un peu de micrite infiltrée entre les ooïdes, pendant des périodes de calme ; cette micrite est antérieure à la précipitation du ciment (sparite équigranulaire). B : grainstone à bahamites. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos ~2,5 mm).

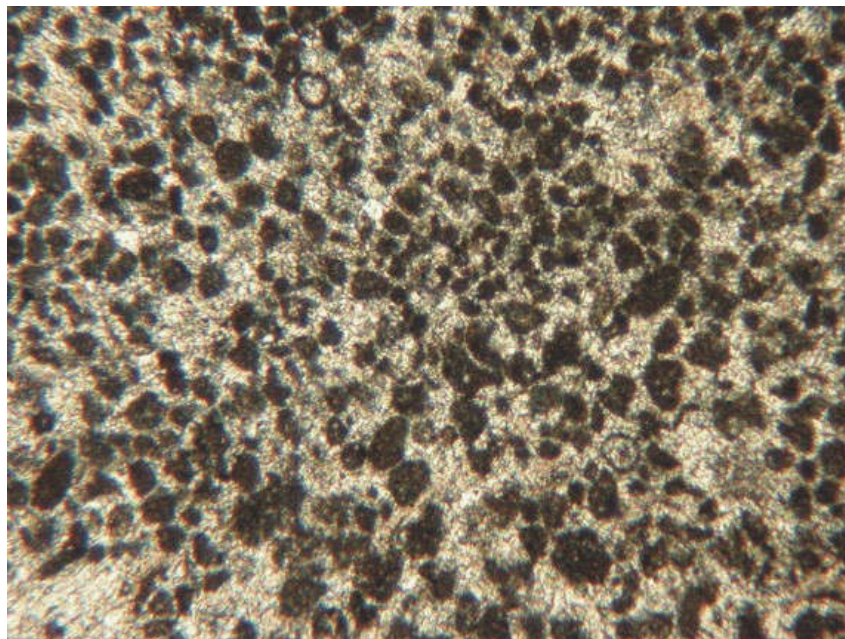
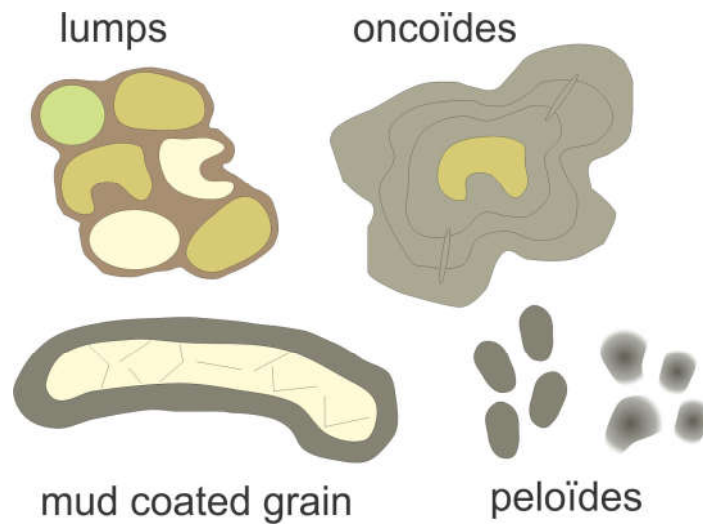
LUMPS-PELOIDES-ONCOIDES-MCG

Lumps : agglutination de grains : lithification syng edimentaire en milieu calme et peu profond.

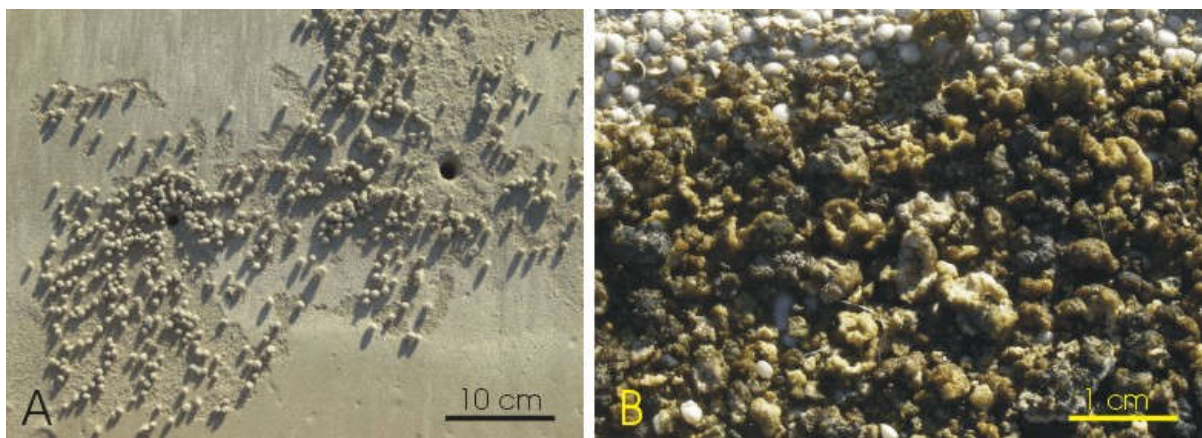
Peloïdes : boules de micrite   morphologie plus ou moins régulière, structure interne rare. Origines multiples : pelotes fécales, micritisation d'autres grains, fragments de tapis algaires... Milieux peu profonds, souvent prot eg es. Remarque : on utilise le terme *pellets* uniquement pour les pelotes fécales ; tous les autres sont des *péloïdes*.

Oncoides : le nucleus est un fossile, un fragment végétal... Cortex d'origine algale ou microbienne, morphologie externe irrégulière, concavités ; milieu marin ou fluviatile peu profond, agitation intermittente.

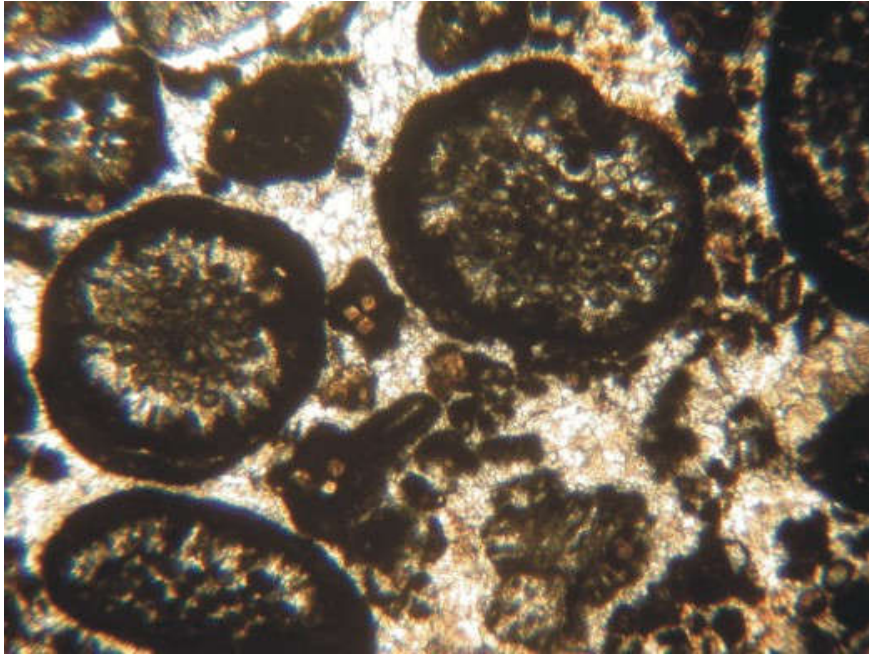
Mud coated grains : micritisation de fragments de coquille. Le fragment servant de nucleus est recristallis e ou remplac e par du ciment; milieu très calme (rivage).



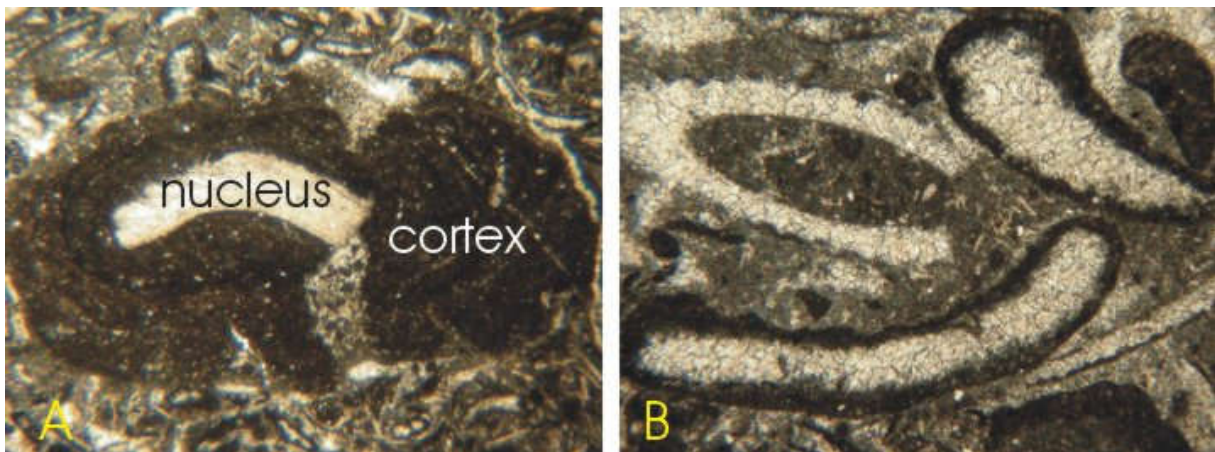
Grainstone à peloïdes. lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



Exemples actuels de peloïdes. A : pellets fécaux de crabe sur une plage. B : peloïdes constitués de fragments plus ou moins roulés de tapis algo-microbiens (Australie).



Grainstone à oncoïdes. Les nuclei sont des algues calcaires (udoteaceae). Le ciment est de la sparite équigranulaire. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



A : oncoïde dans un packstone bioclastique. B : mud coated grains ; il s'agit probablement de fragments de gastéropodes. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos~2,5 mm).

LES FOSSILES

ECHINODERMES

Exclusivement marins, abondants à partir de l'Ordovicien.

Deux grands groupes :

Fixés : Pelmatozoaires

- Crinoïdes

- Blastoïdes
- Cystoïdes

Mobiles : Eleuthérozoaires

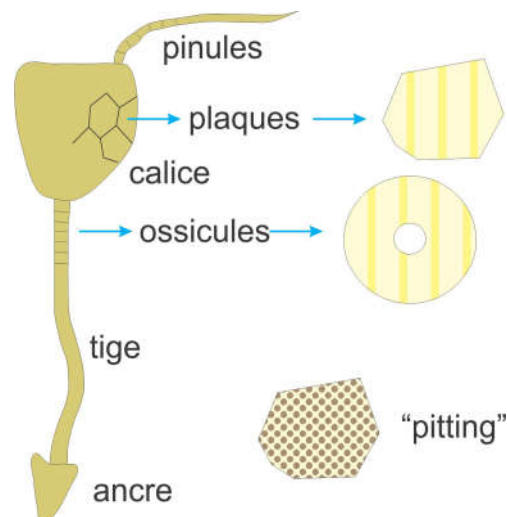
- Echinides
- Stelleroïdes (peu calcifiés)
- Holothuroïdes (partiellement calcifiés)

Ils sont caractérisés par la sécrétion de poutrelles de calcite ; épitaxie du ciment sur ces poutrelles → **plaques à même orientation optique** (en nicols croisés, s'éteignent d'un bloc!!)

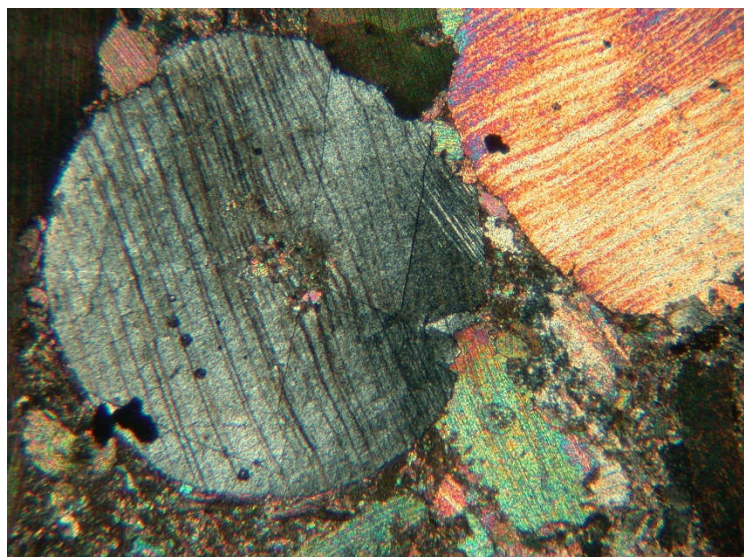
Lors du transport, la calcite épitaxiale se dissout la première → phénomène de *pitting* où la porosité au sein de la structure en poutrelles est remplie de micrite ou d'oxydes de fer (=meilleur critère pour estimer le transport du fossile). Si les plaques sont fraîches, elles sont pratiquement en place → *prairies* d'échinodermes.

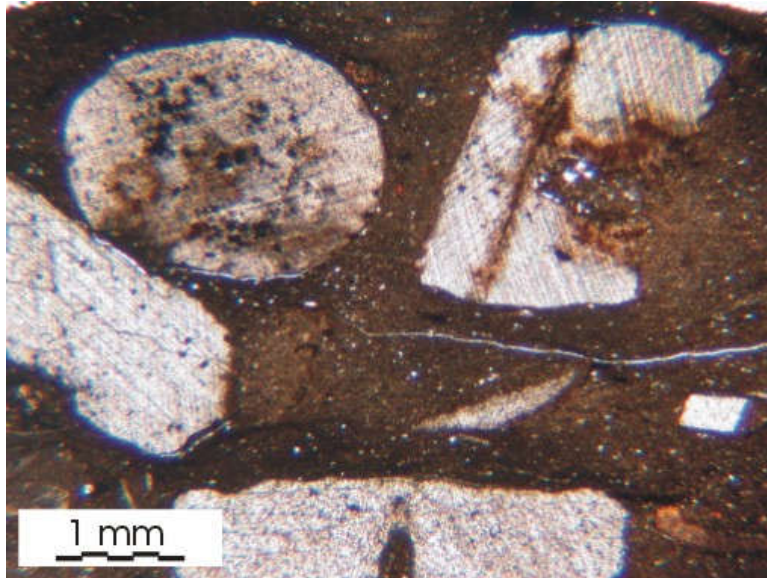
Remarque : dans les grainstones, le ciment cristallise en continuité optique avec les plaques.

FRAGILE : milieu marin ouvert, sous la zone d'action des vagues (20-30 m).

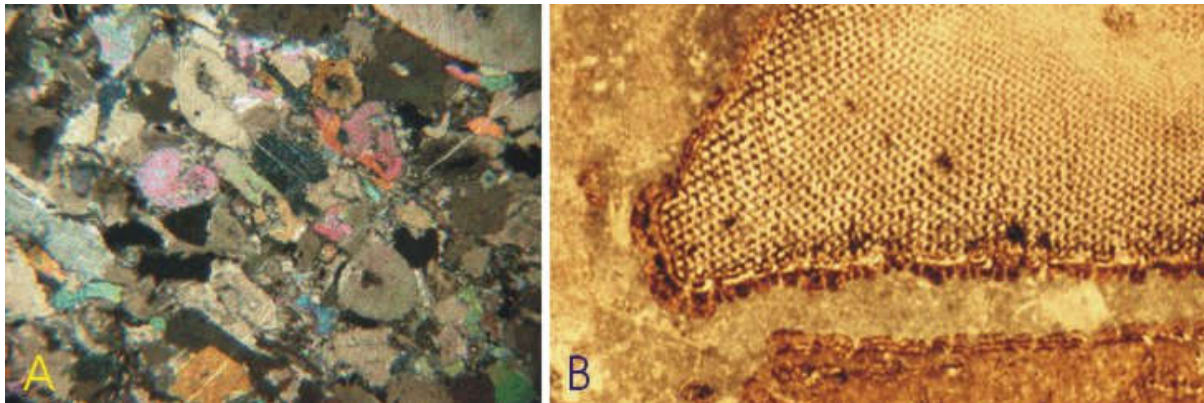


Ossicules de crinoïdes en nicols croisés. On constate l'extinction en un bloc du fossile. Les lignes plus foncées correspondent à des macles ou des clivages dans la calcite. Petit côté de la microphoto ~2,5 mm. lame mince, nicols croisés.



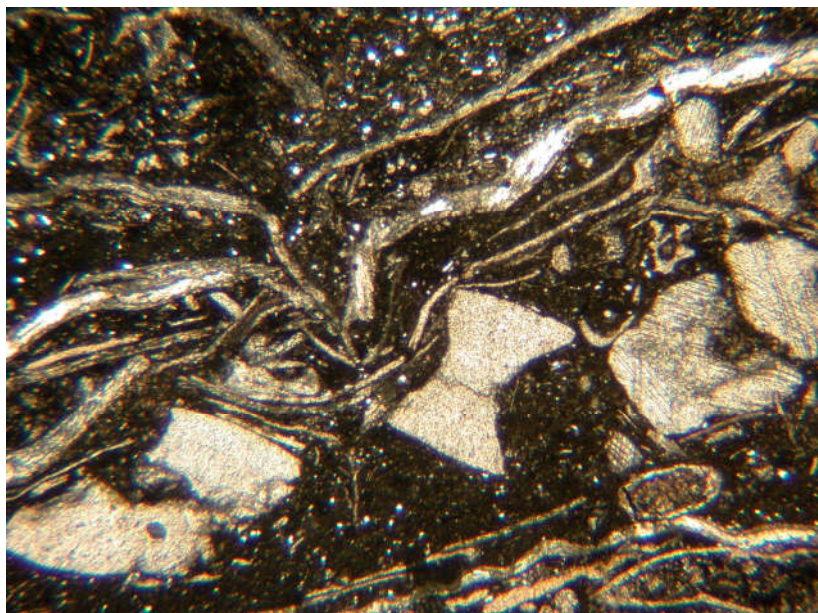


Wackestone à crinoïdes. lame mince, lumière naturelle.



A : grainstone à crinoïdes, nicols croisés ; observer le caractère monocristallin des ossicules et plaques ; (petit côté de la microphoto~2,5 mm). B : plaque de crinoïde affectée de *pitting*, indicateur de transport (il s'agit de turbidites). La porosité est occupée par de l'hématite de précipitation bactérienne. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos~1 mm).

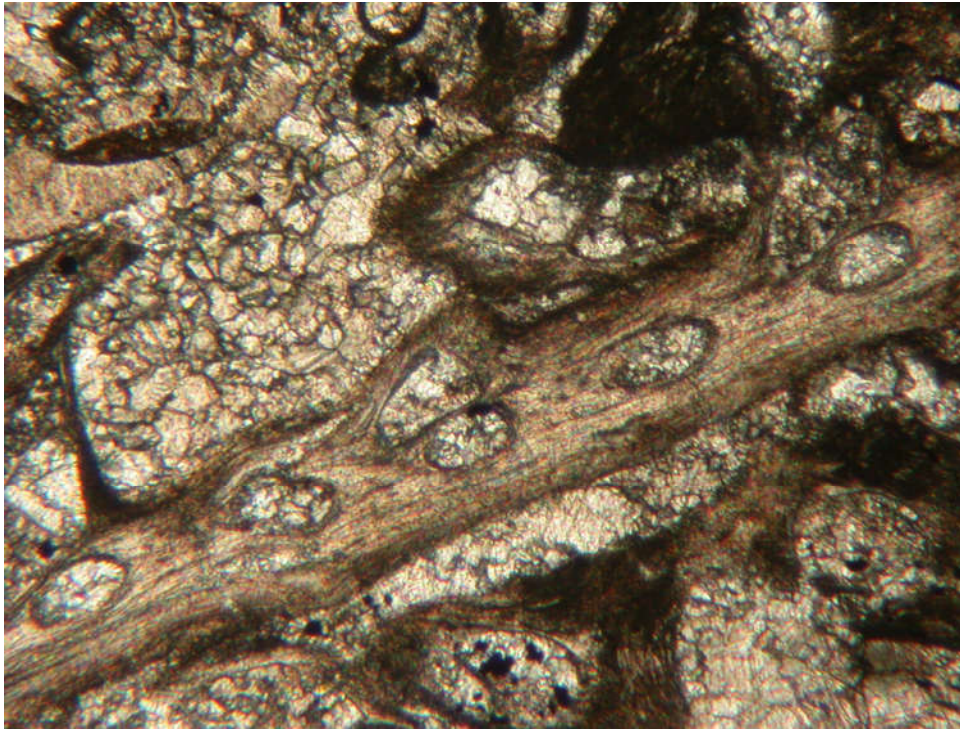
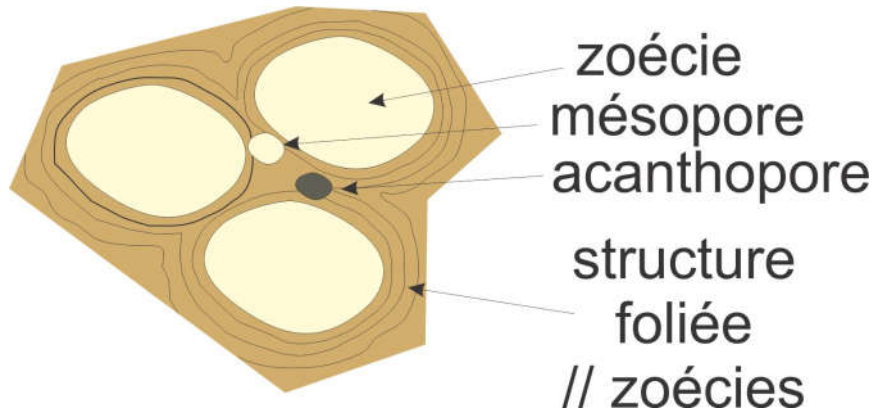
Encore des échinodermes dans un wackestone, avec également des mollusques et des brachiopodes. lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~1 mm).



BRYOZOAIRES

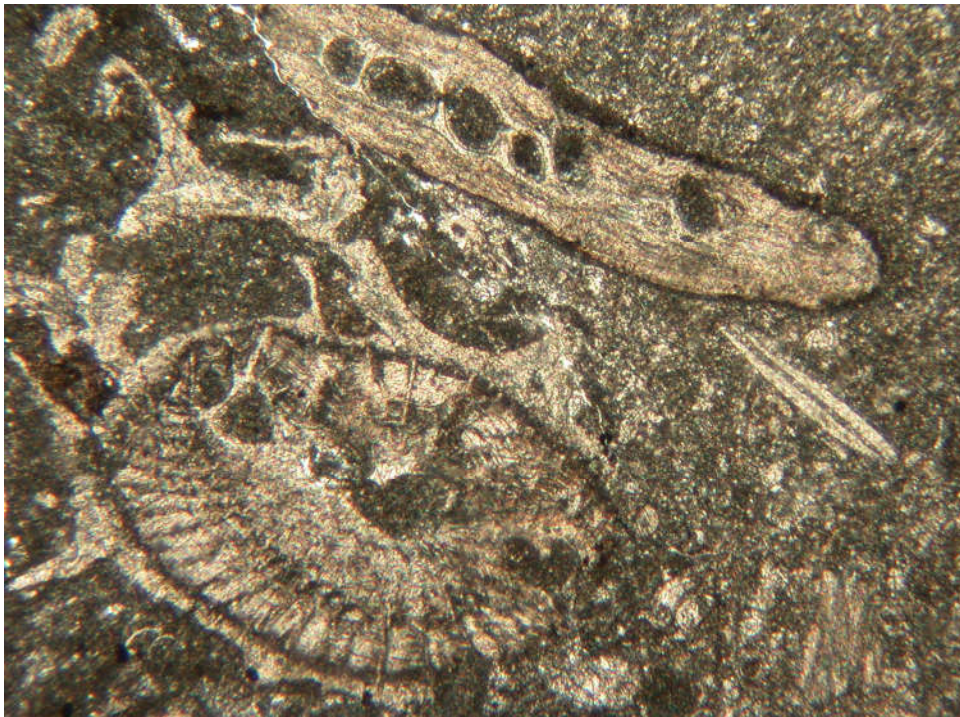
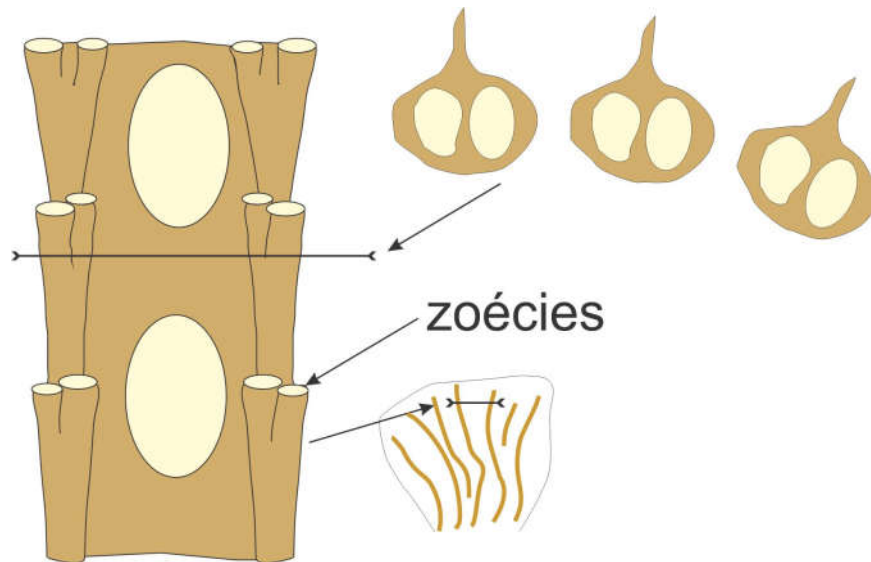
Organismes coloniaux : branchus, encroûtants, érigés ; milieu calme, sous la zone d'action des vagues. Organismes ubiquistes ou pionniers.

Structure foliée // aux zoécies!



Section de bryzoaire montrant la structure foliée dans un grainstone. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~1 mm).

Les fénestelles sont des organismes piègeurs de sédiment (bafflestones). Milieu également très calme, bioconstructions sous la zone d'action des vagues. En coupe, aspect de "petits fantômes"...



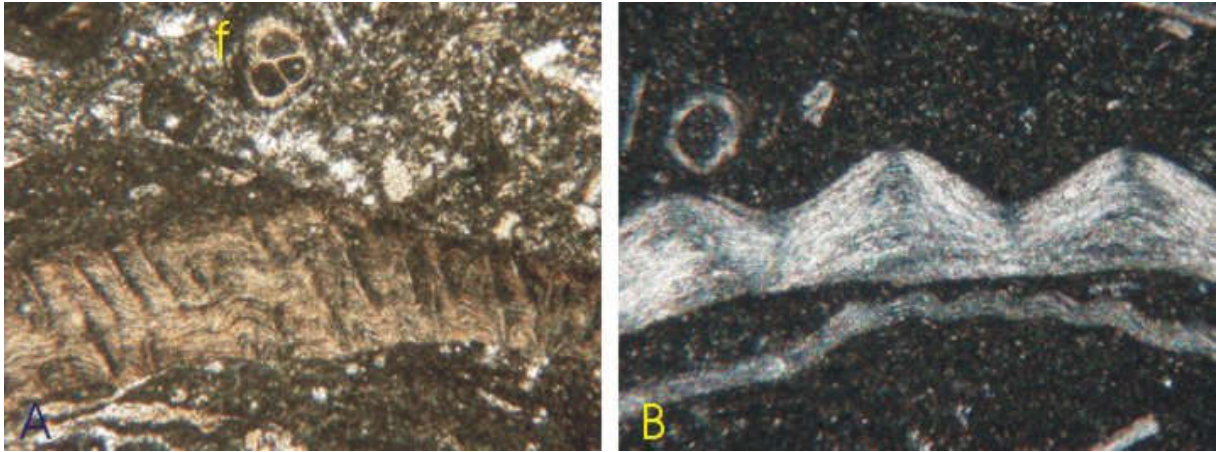
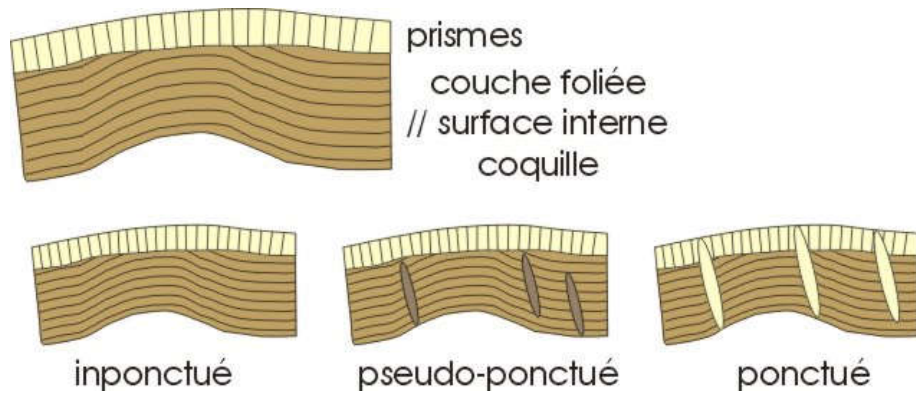
Sections diverses dans des fenestelles. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

BRACHIOPODES

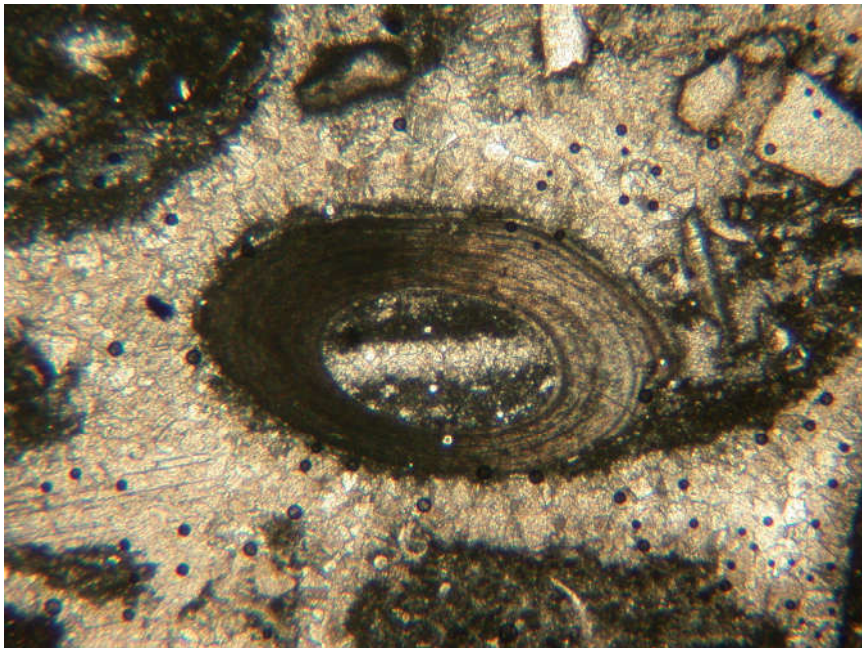
Deux valves, symétrie bilatérale (valves ventrale et dorsale). Cambrien-Actuel.

La coquille comprend une couche foliée très développée et une couche prismatique mince, souvent écaillée ou absente. La couche foliée est parallèle à la surface interne de la coquille! Autre ubiquiste... Fréquent dans les milieux ouverts.

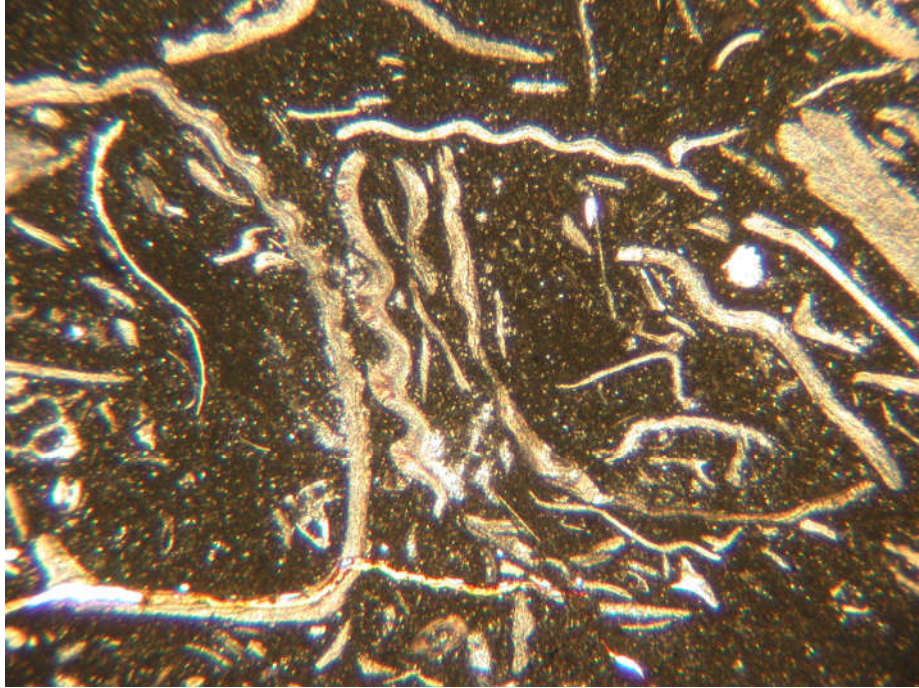
Les sections dans les épines des brachiopodes donnent des figures circulaires avec une foliation parallèle à la surface. Ne pas confondre avec une oolithe. Le nucleus n'est pas présent !



A : brachiopode pseudo-ponctué, dans un wackestone bioclastique ; f : fenestelle (lumière naturelle). B : détail d'un autre brachiopode, montrant la structure foliée ; mudstone (nicols croisés) ; lames minces, petit côté des microphotos~2,5 mm.



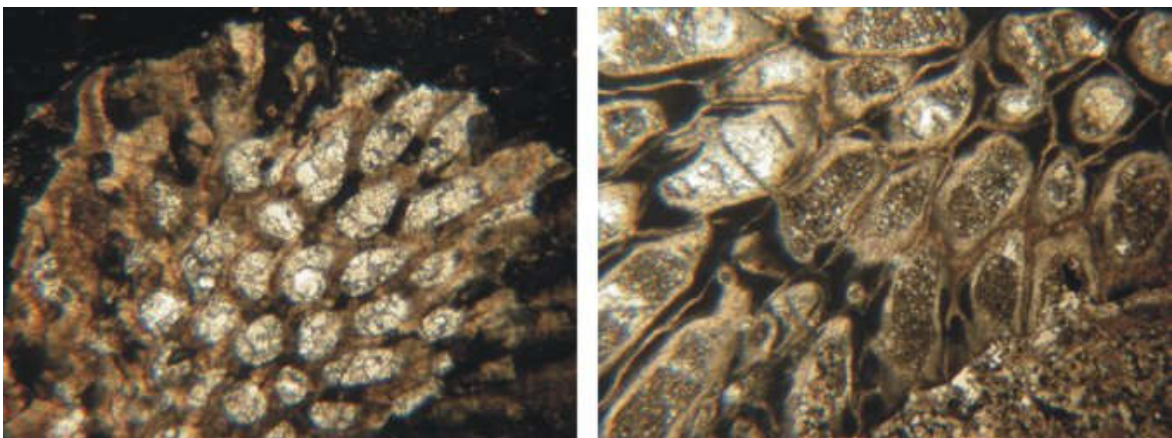
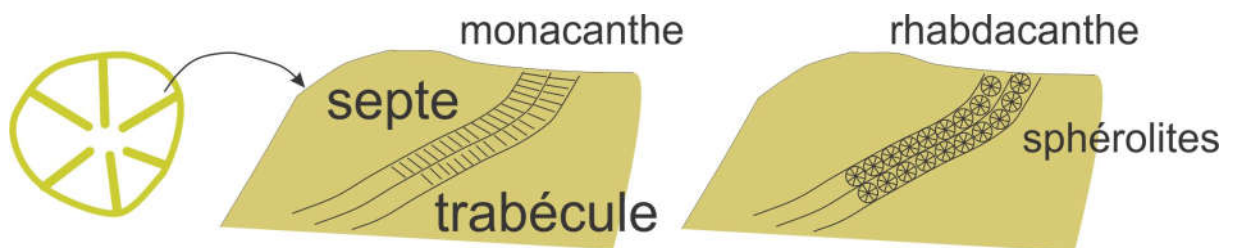
Section dans une épine de brachiopode : structure foliée. Lame mince, lumière naturelle, petit côté de la microphoto~ 1mm.



Wackestone à brachiopodes. Lame mince, lumière naturelle, petit côté de la microphoto~ 2,5mm.

COELENTERES

Organismes constructeurs. Rugueux et tabulés au Paléozoïque. Muraille complexe (>> bryozoaires!). Trabécules monacanthes et rhabdacanthes.

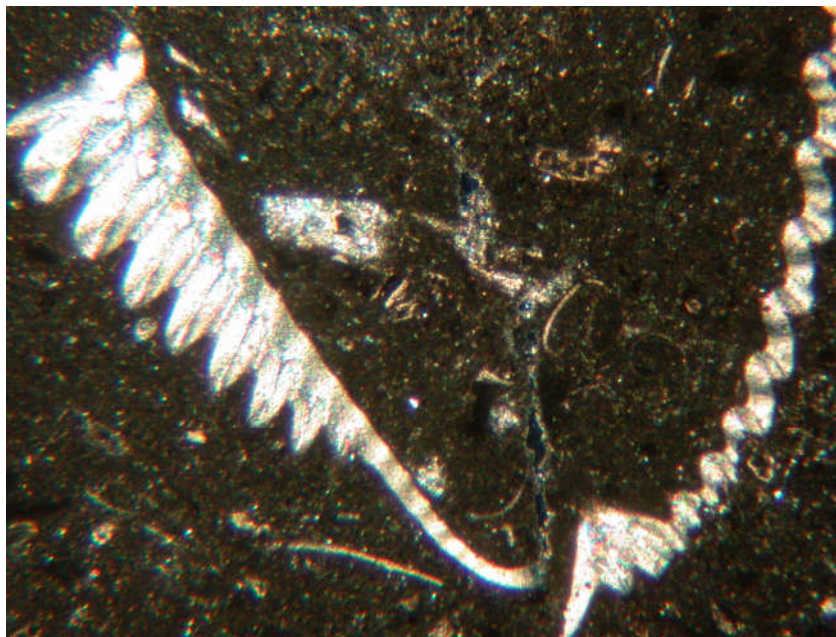
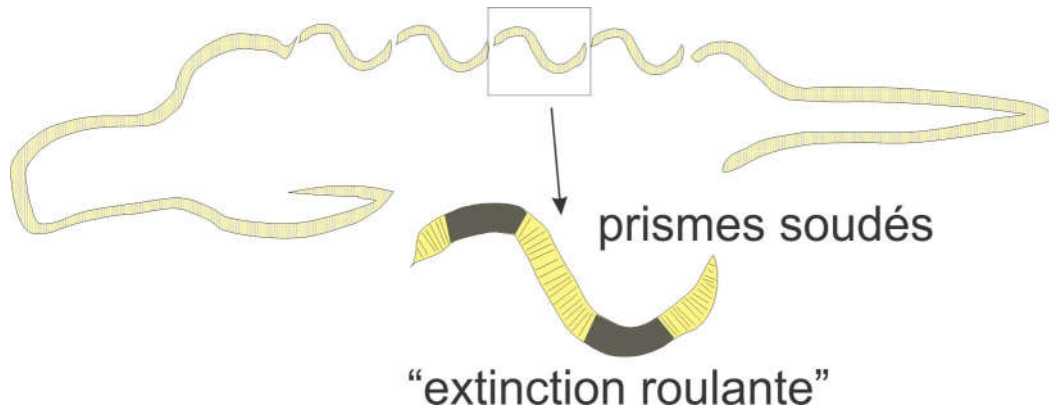


Deux sections dans des coraux tabulés (formes branchues) ; remarquer la muraille complexe. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos~2,5 mm et ~1 mm).

ARTHROPODES

Muraille à prismes soudés : **extinction roulante**.

Trilobites : organismes marins : plate-forme sous la zone d'action des vagues et bassin. En coupe, leurs épines peuvent ressembler aux épines de brachiopodes, mais l'orientation des cristaux est perpendiculaire à la surface. La morphologie générale aide à l'identification.

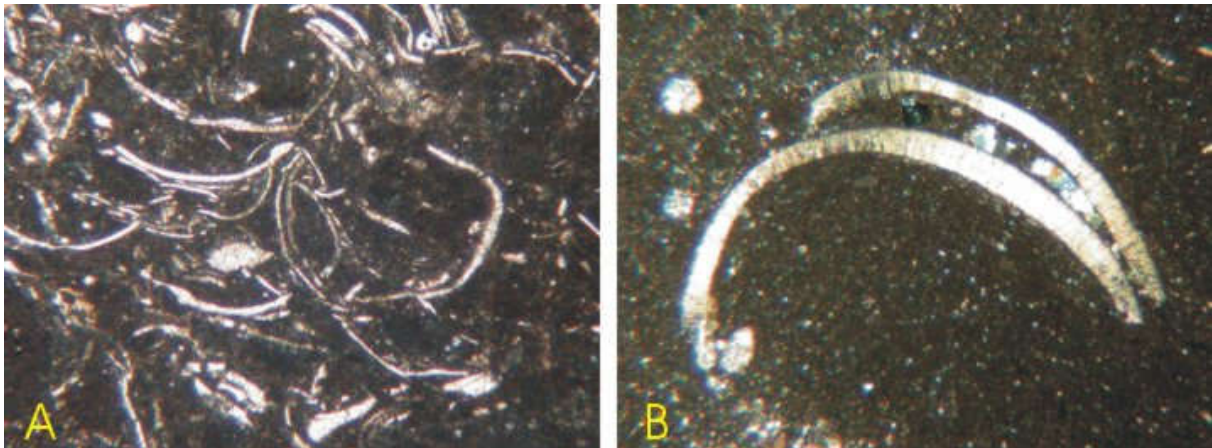


Section de trilobite dans un mudstone ; lame mince, nicols croisés, petit côté de la microphoto~ 2,5 mm.



Section de trilobite dans un packstone ; lame mince, nicols croisés, petit côté de la microphoto~2,5 mm.

Ostracodes: 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.

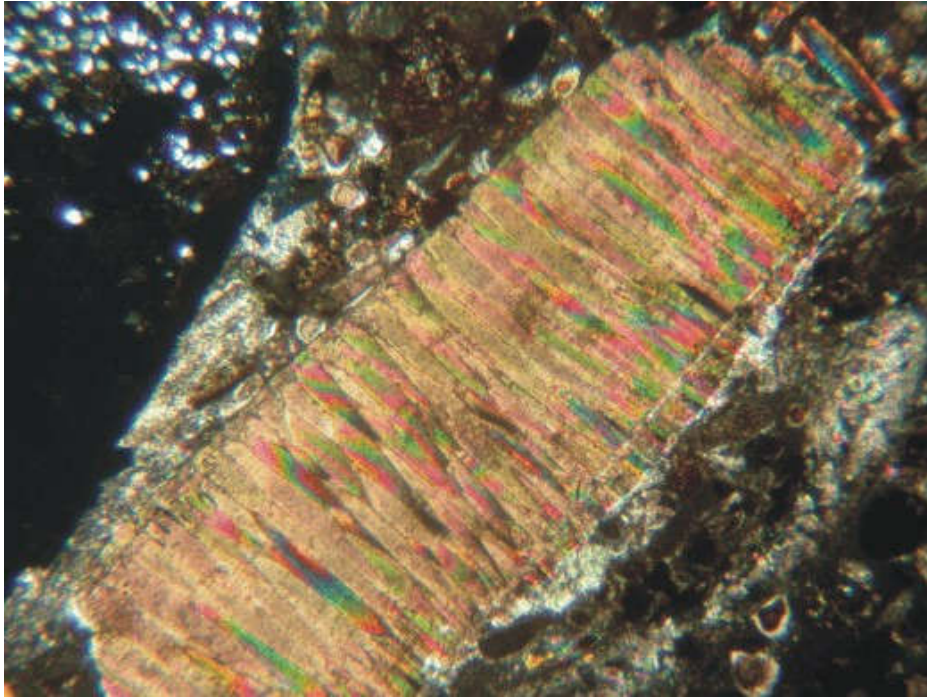


A : petits ostracodes pélagiques dans un wackestone ; lumière naturelle (lame mince, petit côté de la microphoto~2,5 mm). B : détail d'une valve de *Leperditia* montrant les prismes soudés de grande taille ; mudstone, nicols croisés (lame mince, petit côté de la microphoto~1 mm).

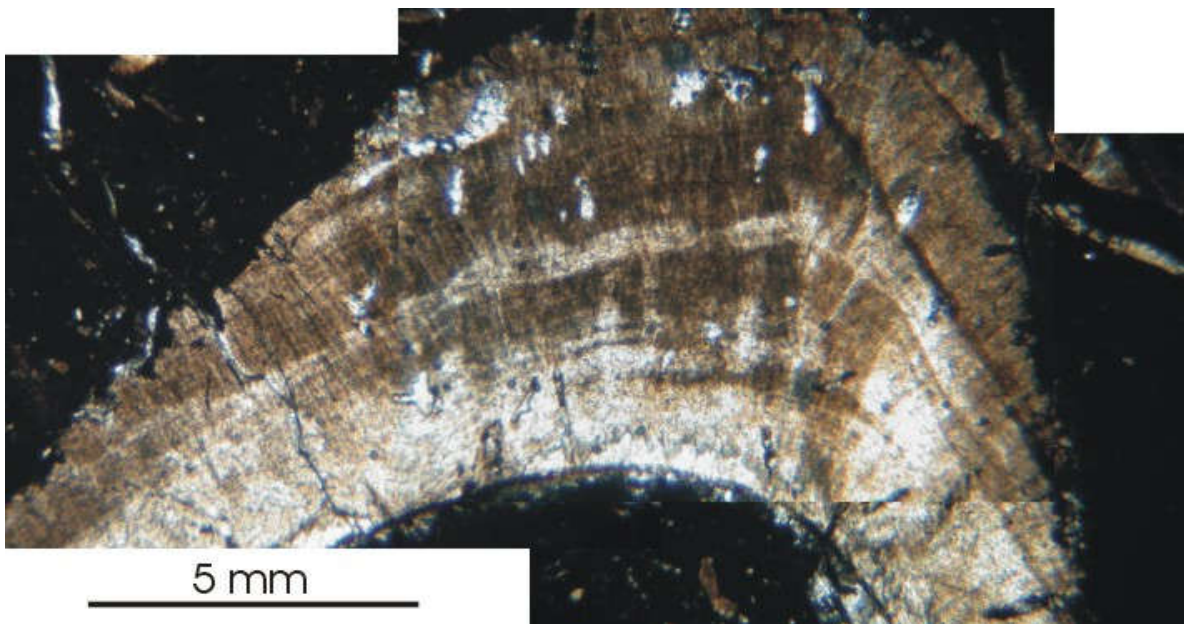
MOLLUSQUES

Bivalves : symétrie gauche-droite. Majorité = néritiques. **Muraille généralement assez complexe**, parfois en plusieurs couches. Souvent muraille à lamelles entrecroisées ou en prismes. S'il existe une structure foliée (cf. brachiopodes), présence néanmoins de la couche à lamelles entrecroisées.

Cas particulier : les rudistes, constructeurs de récifs du Jurassique au Crétacé.

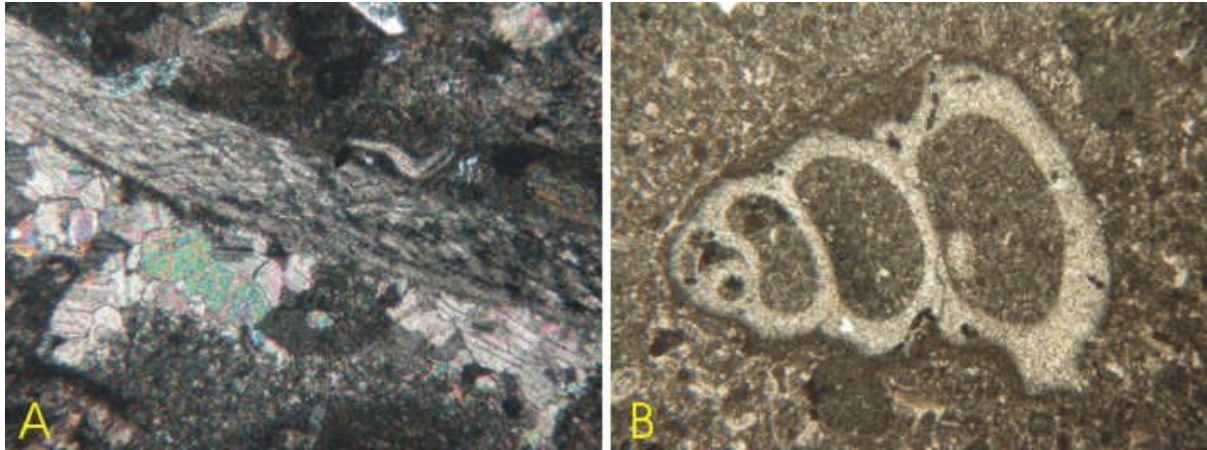
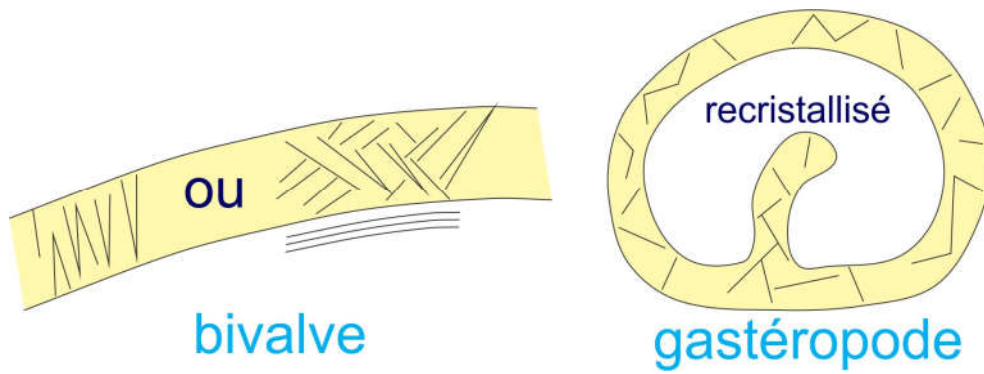


Structure prismatique dans une coquille de lamellibranche. Nicols croisés (lame mince, petit côté de la microphoto~2,5 mm).



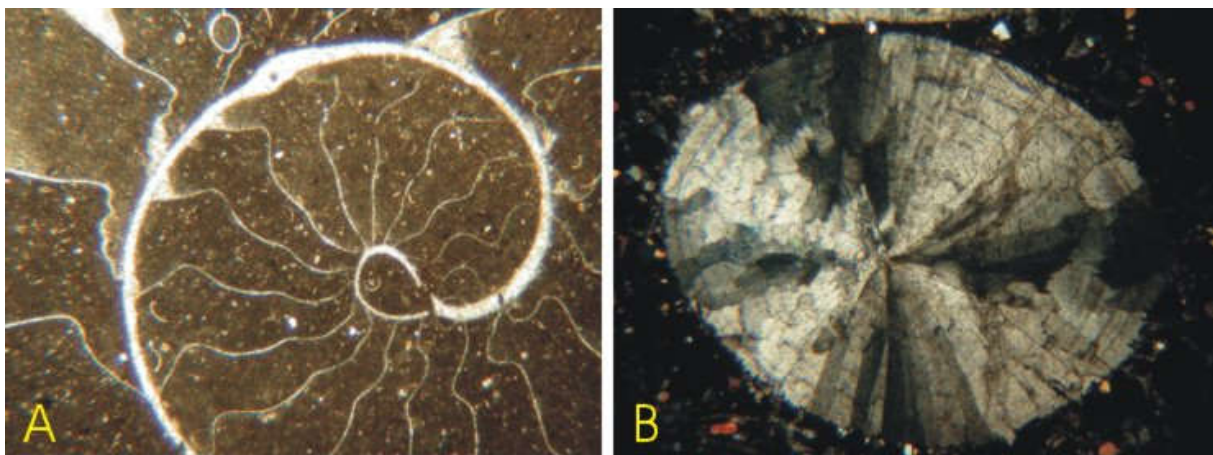
Structure prismatique dans un rudiste. Assemblage de microphotos. Lame mince, lumière naturelle.

Gastéropodes : tous enroulés (hélice, planispire, trochospire). Majorité : très faible profondeur, littoraux, lagunaires. **La muraille est souvent recristallisée. Reconnaissance facile grâce à la forme enroulée.**



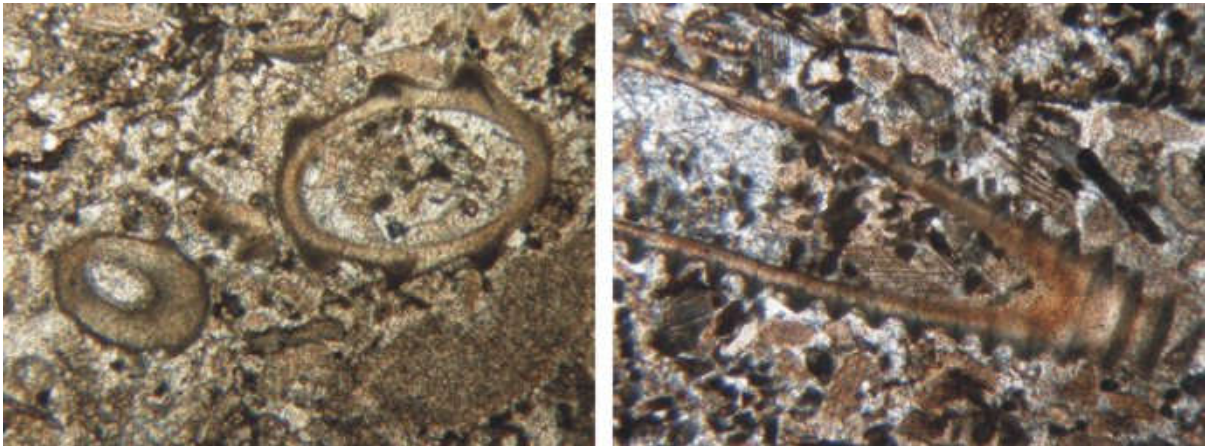
A : coquille de lamellibranche montrant la superposition d'une mince couche prismatique et d'une couche à lamelles entrecroisées ; nicols croisés. B : gastéropode à coquille recrystallisée ; remarquer la bioérosion (perforation de la coquille) et la micritisation (lumière naturelle) (lames minces, petit côté des microphotos~2,5 mm).

Céphalopodes : murailles relativement simples (micritiques, prismes perpendiculaires à la paroi) ou recrystallisées, souvent minces. Dans le cas des nautiloïdes, ammonites et goniatites, présence des cloisons entre les chambres. Les chambres communiquent par l'intermédiaire d'un siphon, visible sur certaines sections.



A : ammonite (lumière naturelle) et B : rostre de bélemnite (nicols croisés) ; attention, il s'agit toujours de grands corpuscules... Lames minces, petit côté des microphotos~2,5 mm.

Cricoconarides : petits (mm-cm) mollusques pélagiques, assez fréquents dans les faciès ouverts de l'Ordovicien au Dévonien. Les tentaculites en font partie.

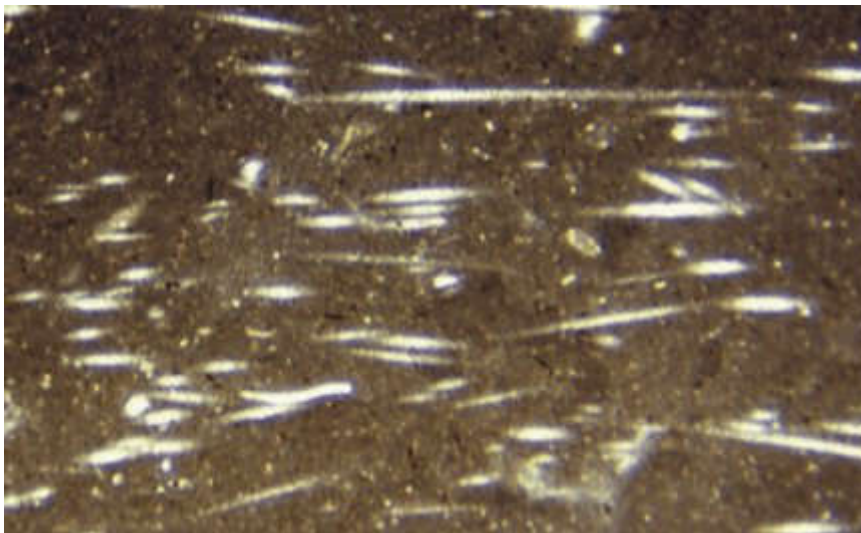


Sections diverses dans des cricoconarides ; grainstones bioclastiques. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos~2,5 mm).

EPONGES

Organismes filtrant. Toutes sédentaires. Environnement variable, souvent pionniers ou présents là où les autres organismes ne peuvent se développer.

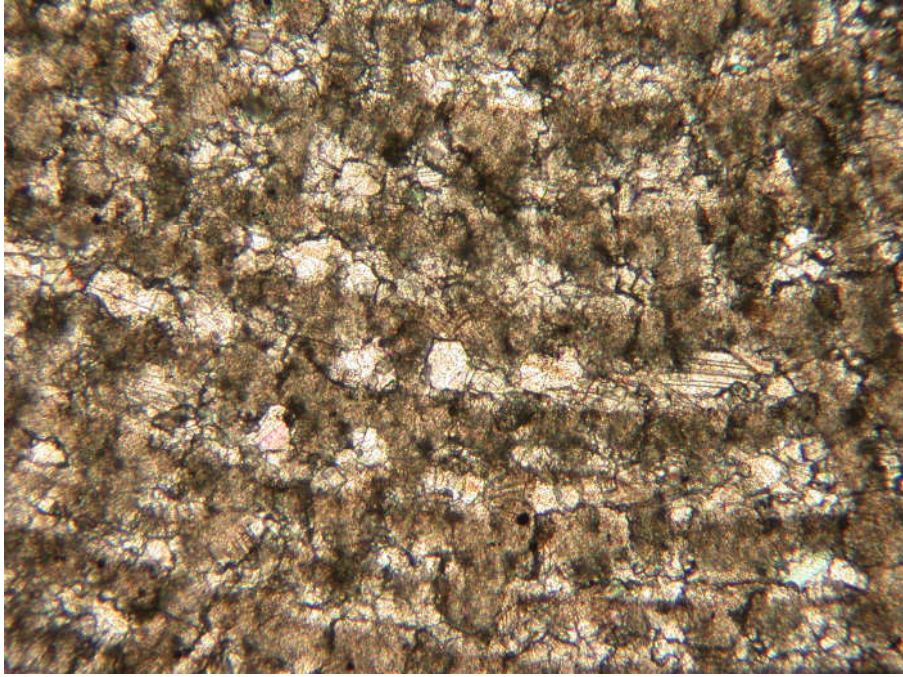
Les spicules seules sont conservées + quelquefois le vide laissé par la disparition des tissus mous (cf. stromatactis).



Mudstone à spicules d'éponge. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

STROMATOPORES

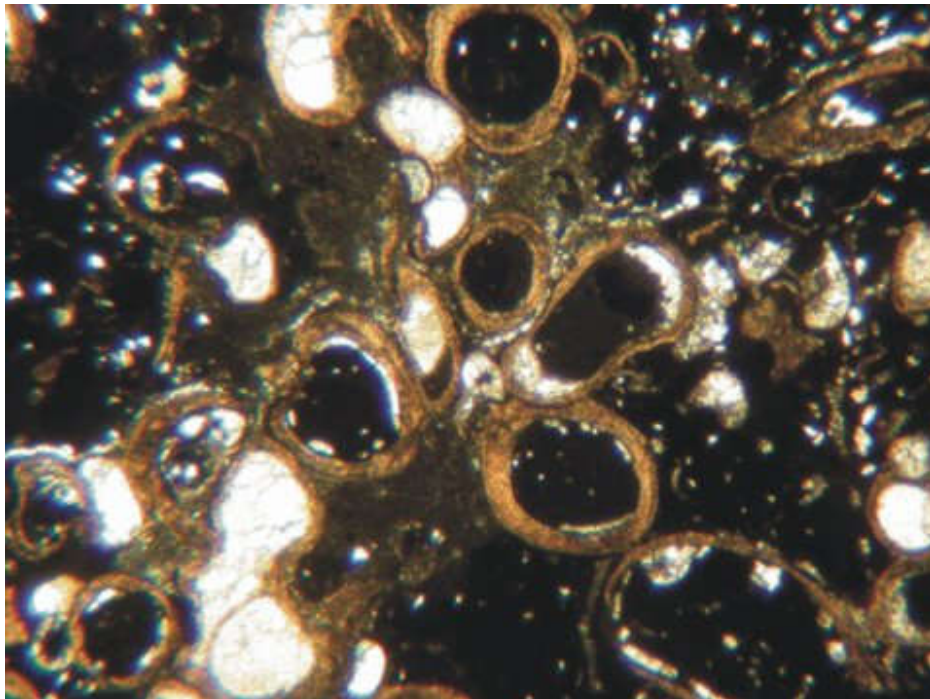
Organismes constructeurs coloniaux, surtout paléozoïques. Morphologie variable : laminaires, tabulaires, branchus, massifs... Milieu récifal, lagunaire, péri-récifal suivant la morphologie. Structure en piliers et laminae. Aspect souvent jaunâtre de la muraille recristallisée.



Structure d'un stromatopore en piliers et laminae. On note l'aspect jaunâtre de la muraille. La porosité intragranulaire est cimentée par de la sparite équi-granulaire. lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

VERS ENCROUTANTS

Ces vers peuvent construire de petits édifices, souvent situés dans la zone d'action des vagues. En lame, les formes en haricot sont fréquentes.

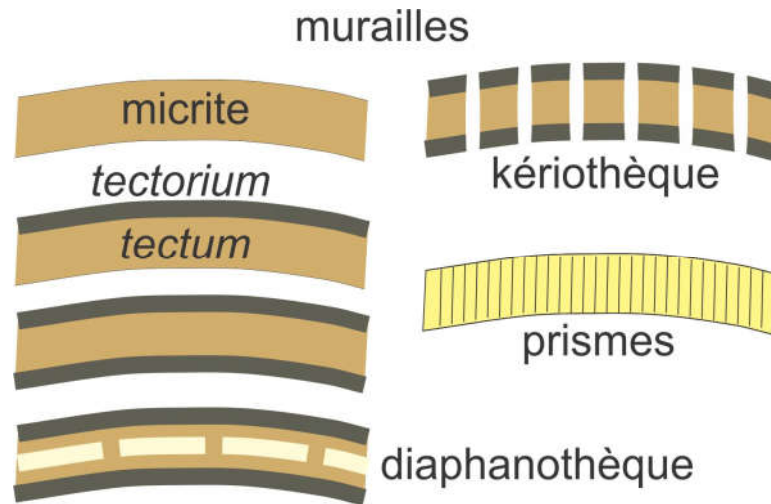


Bafflestone à serpules (vers encroûtants). lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

LES FORAMINIFERES

Protozoaires protégés par une thèque. **Toujours un proloculum (rond)**. Vivent dans la dernière chambre. La taille de chacune des chambres est assez homogène. Grande variété de formes, de tailles et de types de murailles.

Les formes benthoniques (souvent à parois épaisses) bougent peu et vivent sur la plate-forme; les formes planctoniques (souvent fragiles) se répartissent partout ; certaines formes sont fixées et peuvent construire des récifs (rares).



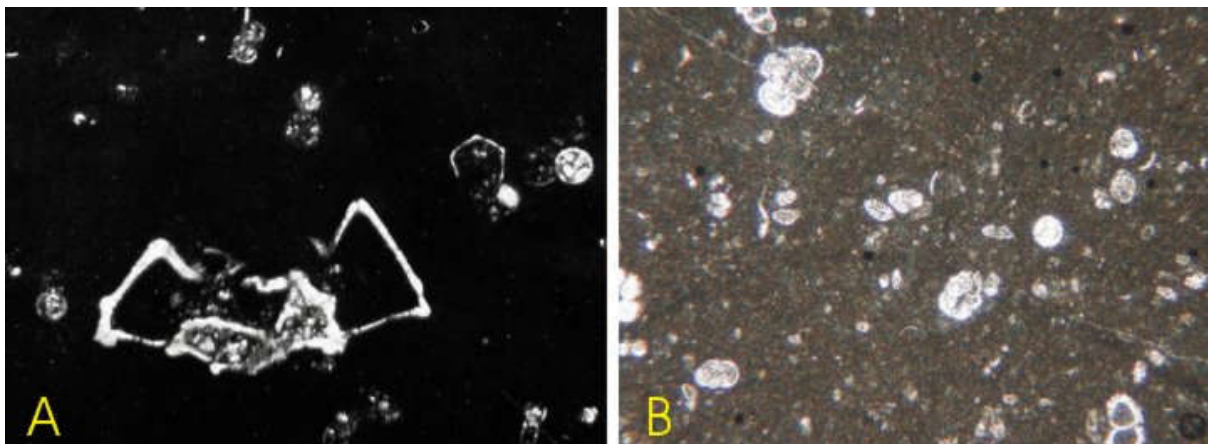
Types de murailles chez les foraminifères. Tectorium = « minimicrite » très dense.

Globotruncanidae (Rosalines)

Crétacé supérieur. Formes pélagiques, dans le faciès tithonique (calcaire micritique profond), parfois sous la lysocline → tests partiellement dissous.

Globigérines

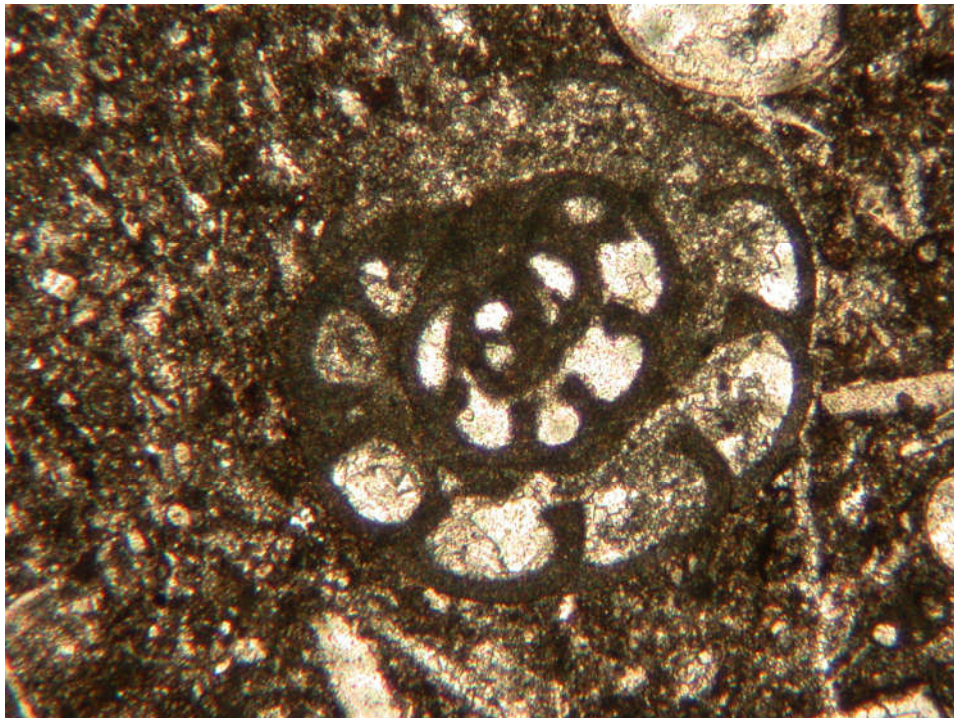
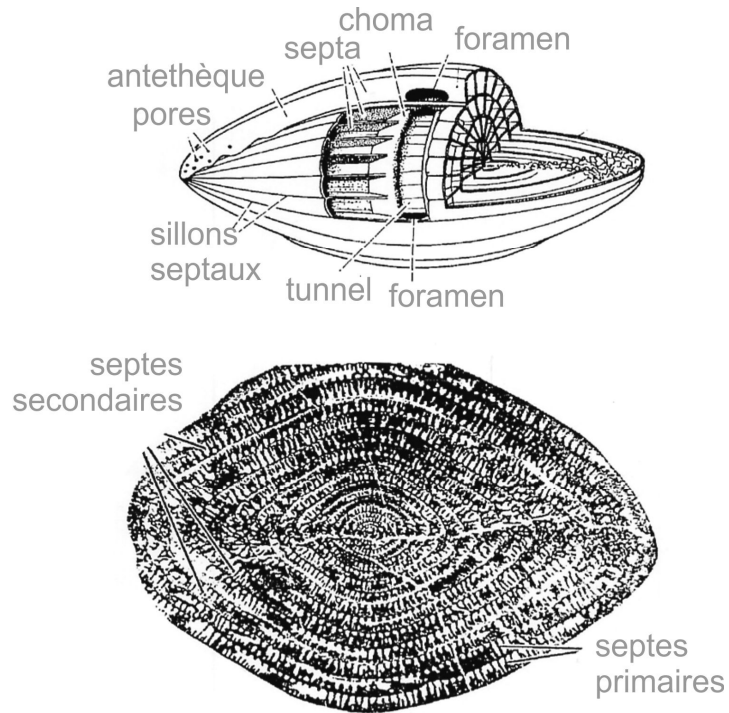
Un autre foraminifère planctonique, fréquent depuis le Crétacé. Faciès profonds.



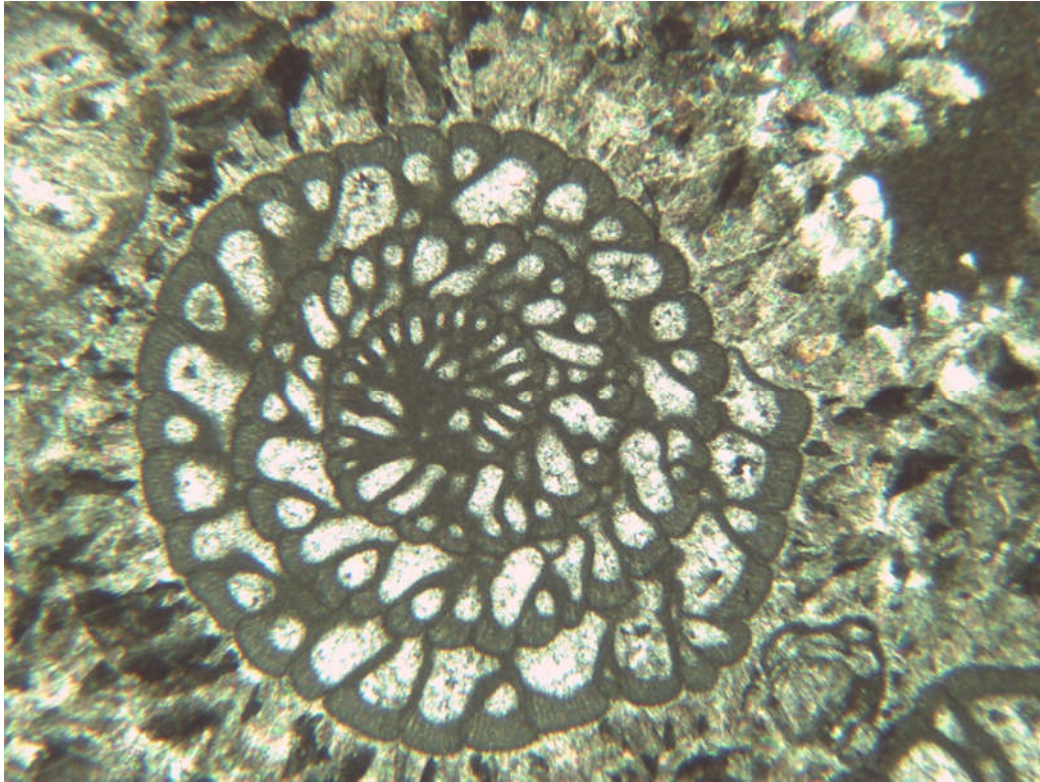
A : *Globotruncana* dans un mudstone. B : globigérines, également dans un mudstone. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos ~1 mm).

Fusulines

"Grands" foraminifères. Apparaissent au Carbonifère moyen et s'éteignent au sommet du Permien. Formes benthiques, milieu peu profond (partie supérieure de la zone photique), souvent en association avec des algues. Type de muraille varié : tectum et tectoria, diaphanothèque, kériothèque.



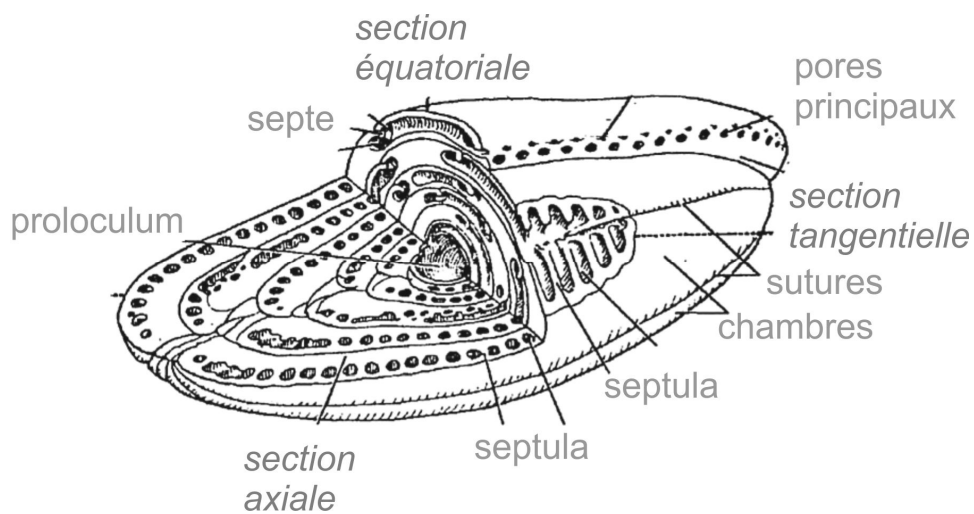
Fusuline dans un packstone microsparitique. lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~1 mm).

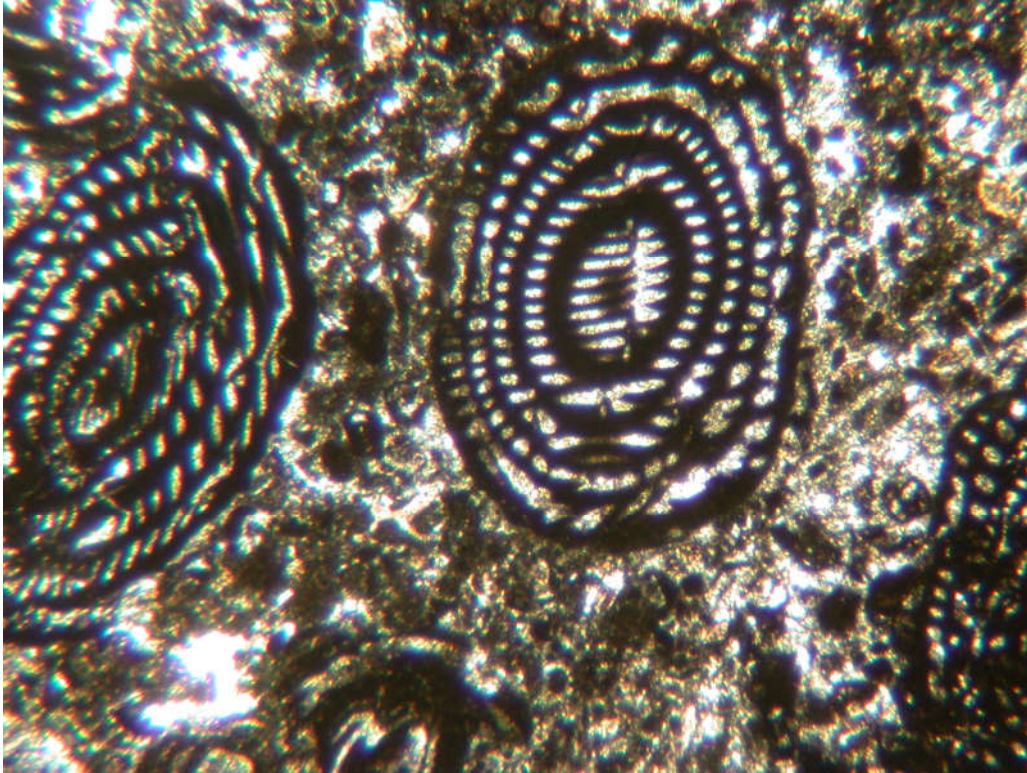


Autre fusuline à cloisons plus complexes dans un grainstone. Lamelle mince, nicols croisés (petit côté de la microphoto~1 mm).

Alvéolines

"Grands" foraminifères. Crétacé à Actuel. Formes porcelanées (la micrite de la paroi est très fine). Le proloculum est suivi d'un *appareil embryonnaire* (=premières loges différentes). Plate-forme carbonatée dans la zone photique.

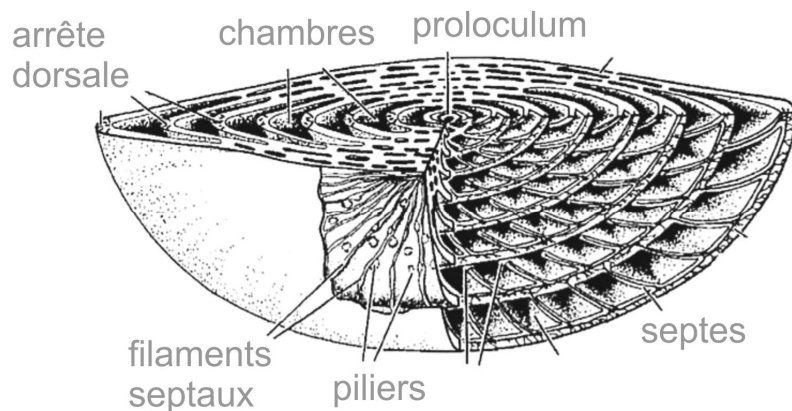


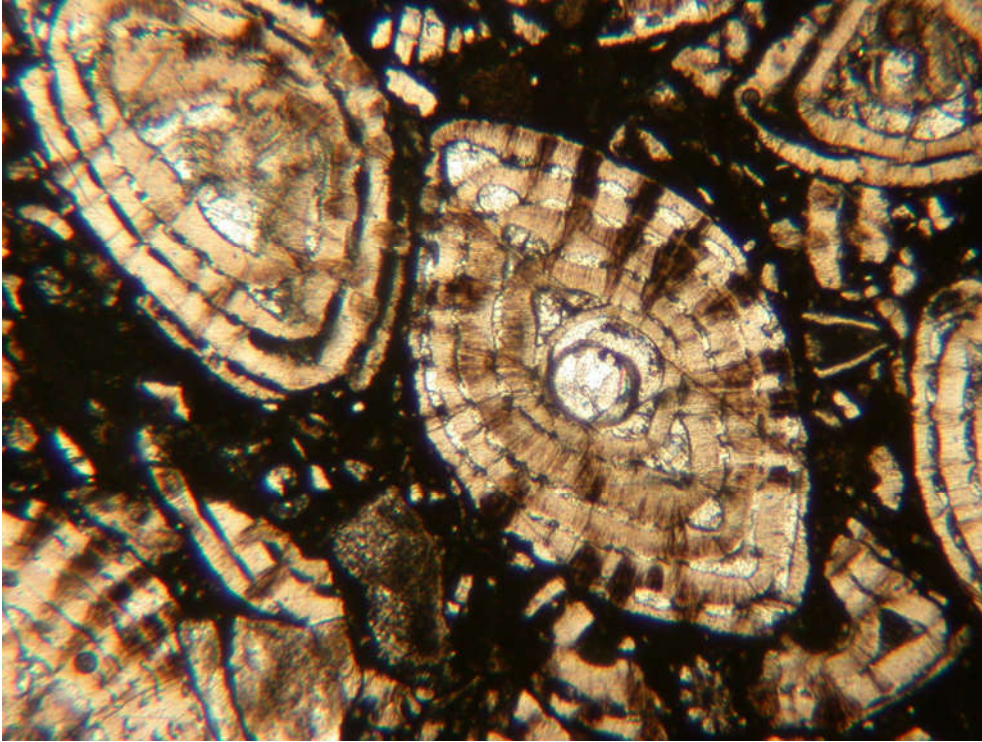


Alvéoline dans un grainstone bioclastique. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~1 mm).

Nummulites

"Grands" foraminifères. Sommet Crétacé à Actuel, très caractéristiques du Paléocène supérieur à l'Oligocène. Murailles épaisses de prismes soudés en gerbes. Dimorphisme : formes microsphériques (petit proloculum, grandes loges) et formes macrosphériques (grand proloculum, petites loges). Plates-formes carbonatées, en général, milieu peu profond.

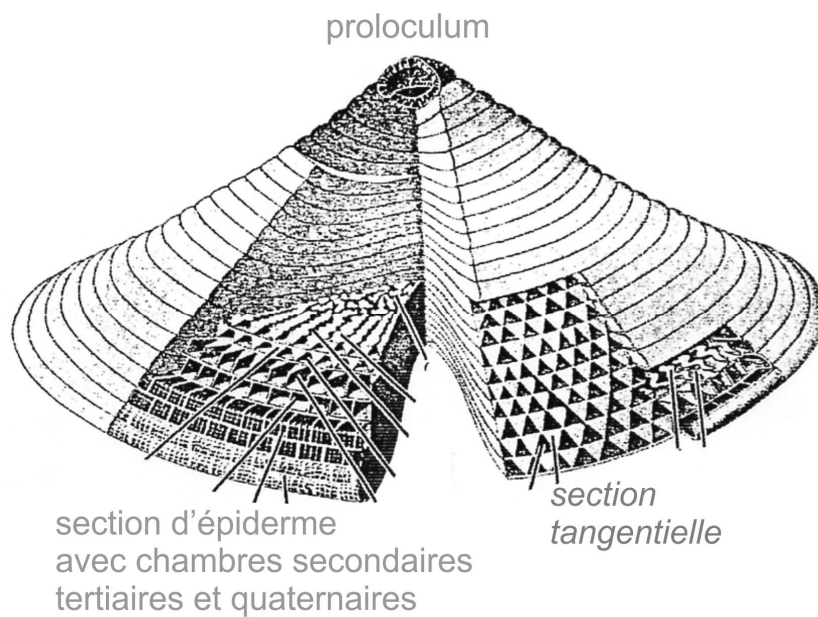


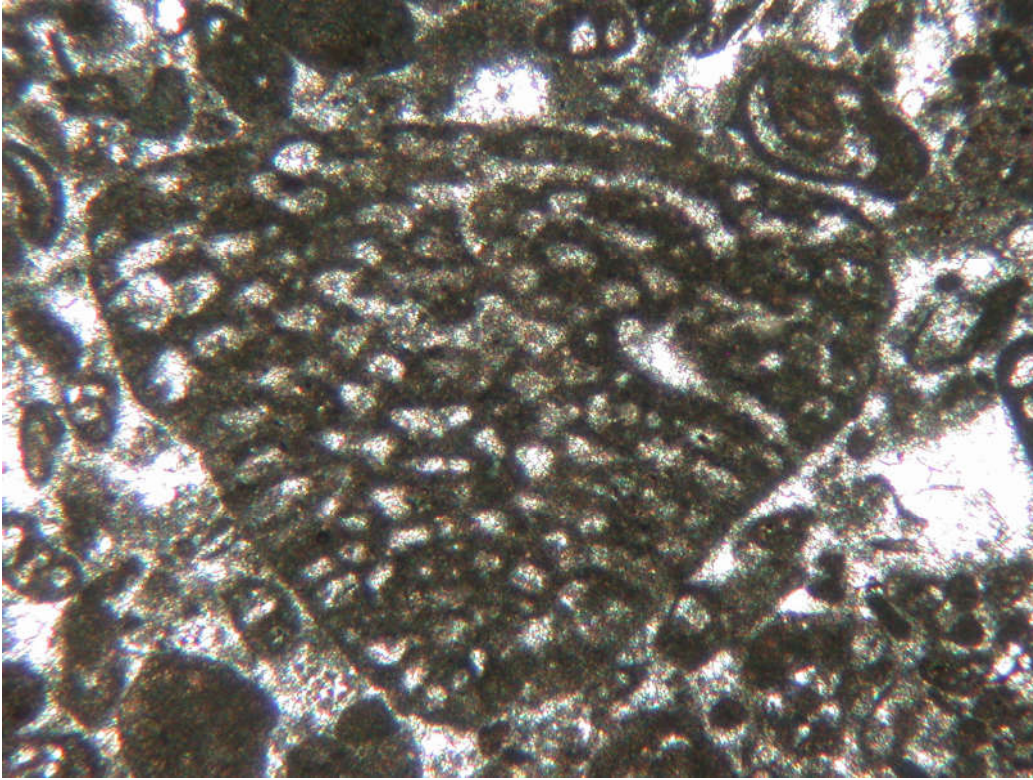


Nummulites ; remarquer le proloculum bien marqué. lame mince, lumière naturelle (petit côté des microphotos~2,5 mm).

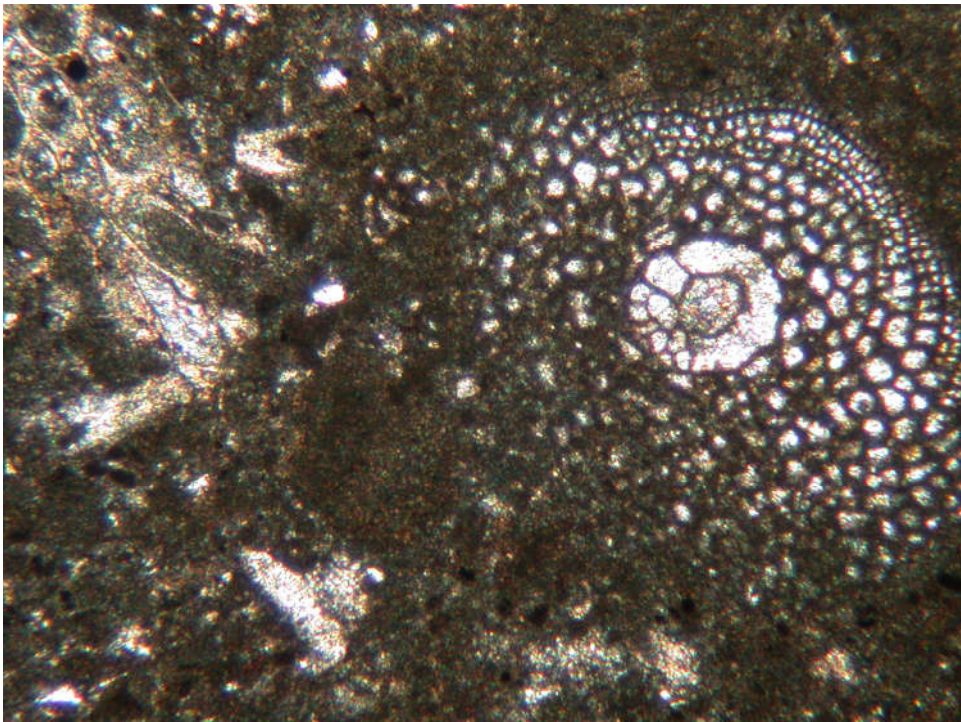
Orbitolines

"Grands" foraminifères. Sommet Crétacé à Paléocène. Divisés en chambres soutenues par des piliers. Possèdent un épiderme formé par un grillage de chambres secondaires, tertiaires, quaternaires. Cet épiderme est agglutiné. Plate-forme carbonatée peu profonde, faciès récifal, péri-récifal, côtier agité.





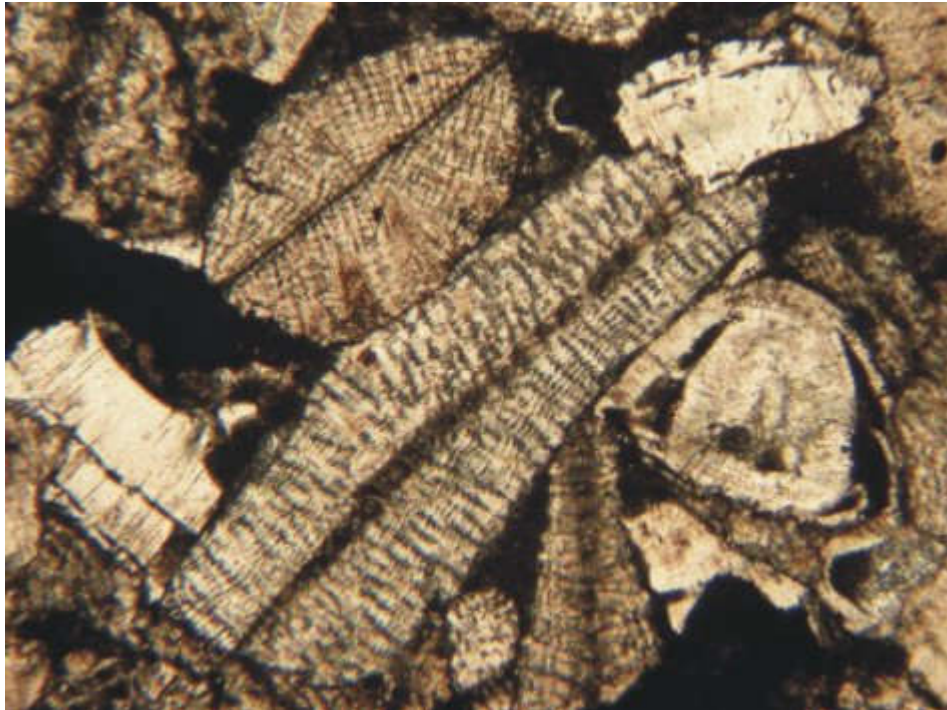
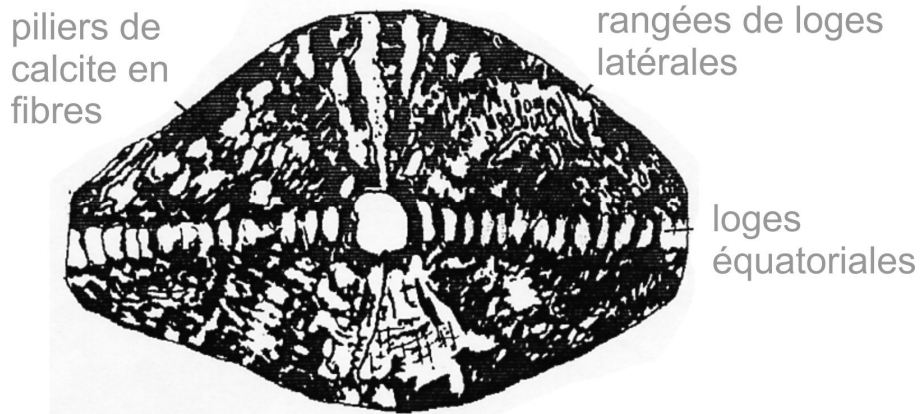
Orbitoline en section longitudinale dans un grainstone. Lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



Orbitoline en section transversale dans un packstone. Noter le proloculum au milieu de la section. Un bryozoaire en haut à gauche. Lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

Orbitoïdes

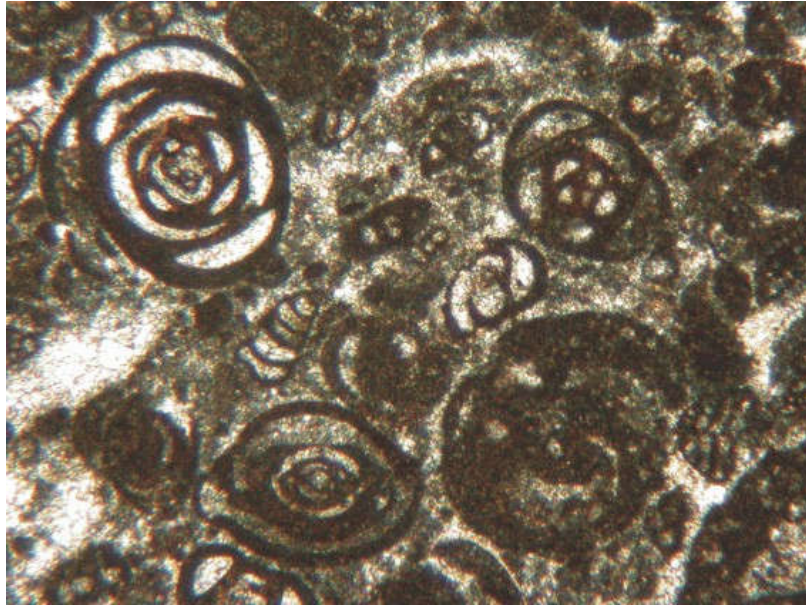
Grandes formes lenticulaires. Crétacé à Oligocène. Appareil embryonnaire constitué de plusieurs chambres. Plate-forme carbonatée peu profonde.



Orbitoïdes (discocyclines). lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto ~2,5 mm).

Milioles

Grandes formes pluriloculaires dont les loges, au moins les dernières, s'arrangent selon une symétrie axiale d'ordre 2, 3 ou 5. Jurassique à Actuel. Ce sont des formes marines surtout d'eaux peu profondes et chaudes. Elles s'accommodent aussi de milieux à salinité anormale.



Packstone-grainstone à milioles. lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

LES ALGUES

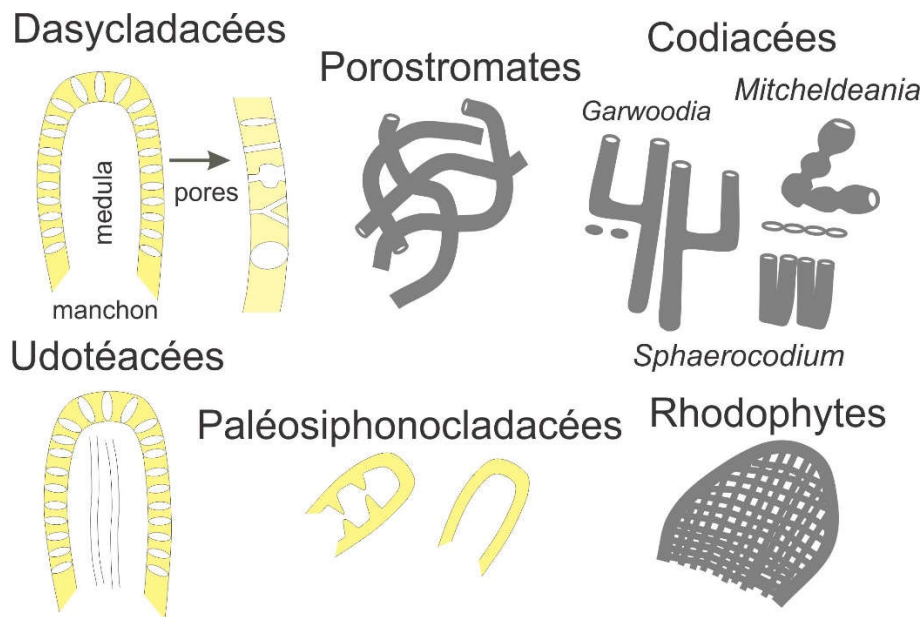
Il existe des formes non calcifiées et des formes calcifiées (seules conservées en tant que fossiles). Suivant la nature du pigment, l'écologie et la bathymétrie sont variables (elles n'utilisent pas la même partie du spectre lumineux, variable suivant la profondeur).

Idée de classification (sujette à de fréquents remaniements!)

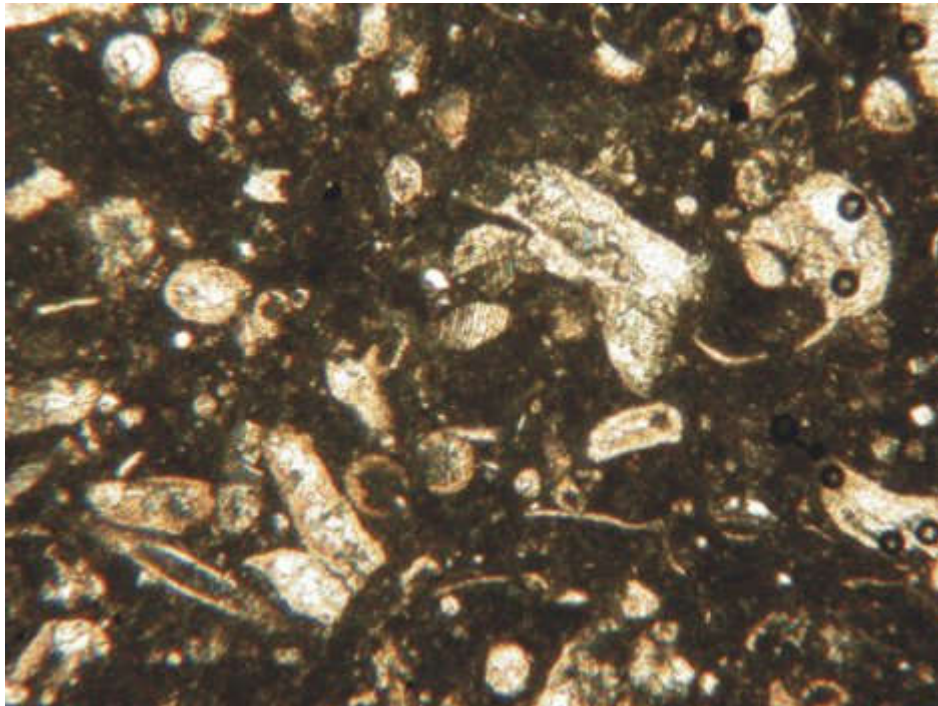
CYANOPHYTES	Spongiostromates (stromatolithes, etc...) Porostrumates (<i>Girvanella</i> , <i>Rectangulina</i>)
CHLOROPHYTES	Codiacées (<i>Ortonella</i> , <i>Sphaerocodium</i> , <i>Bevocastrina</i> ...) Paléosiphonocladacées* (<i>Kamaena</i> , <i>Issinella</i> ...) Dasycladacées (<i>Koninckopora</i> ...) Udotécées (<i>Trelonella</i> ...) Characées (<i>Umbella</i> ...)
RHODOPHYTES	Corallinacées Solénoporacées (<i>Solenopora</i> , <i>Chaetetes</i> ...)? Gymnocodiacées Squamariacées
PHAEOPHYCOPHYTES	

* correspond aussi aux "algosponges", groupe potentiellement non-photosynthétique.

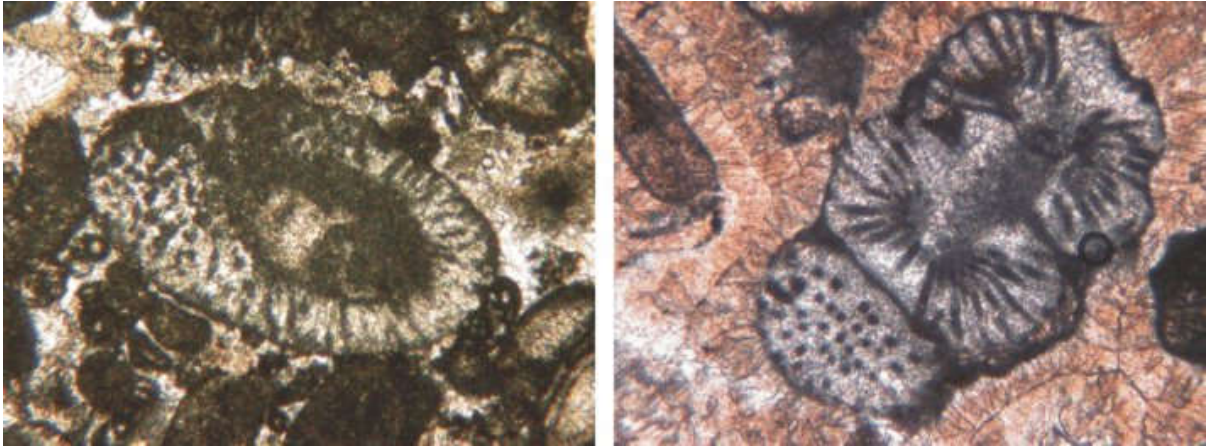
La muraille des porostromates, des codiacées et des rhodophytes est de type micritique. Celle des dasycladacées, des udotécées et des paléosiphonocladacées est sparitique, ordinairement fibreuse et souvent recristallisée (manchon). Les characées ont une muraille en prismes.



Les **dasycladacées** et les **udotécées** s'observent dans des environnements peu profonds, souvent récifaux ou d'arrière-récif. Les **codiacées** s'étendent un peu plus vers les environnements d'avant-récif. Les **paléosiphonocladacées** sont caractéristiques des lagons et autres environnements protégés. Les **characées** sont souvent lacustres ou palustres. Les **porostromates** et **spongiostromates** ont une répartition assez variable, mais surtout littorale. Enfin, la plupart des **rhodophytes** colonisent la crête récifale, dans des milieux très agités.



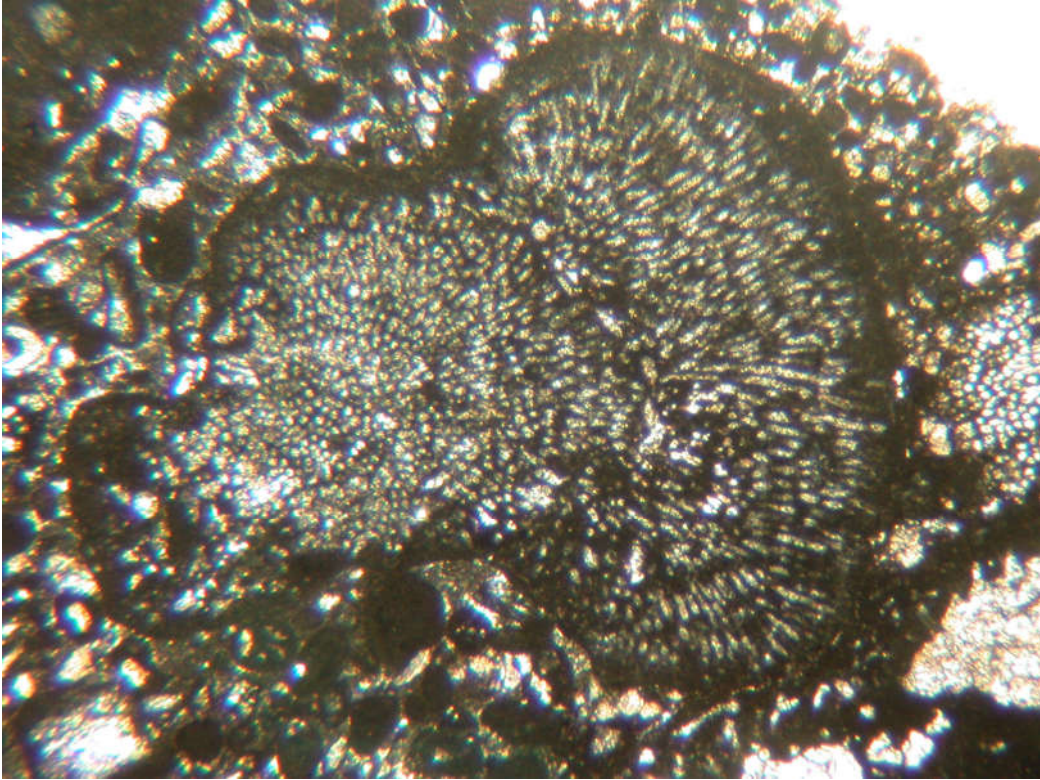
Wackestone (bafflestone?) à paléosiphonocladacées (issinelles). lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto ~1 mm).



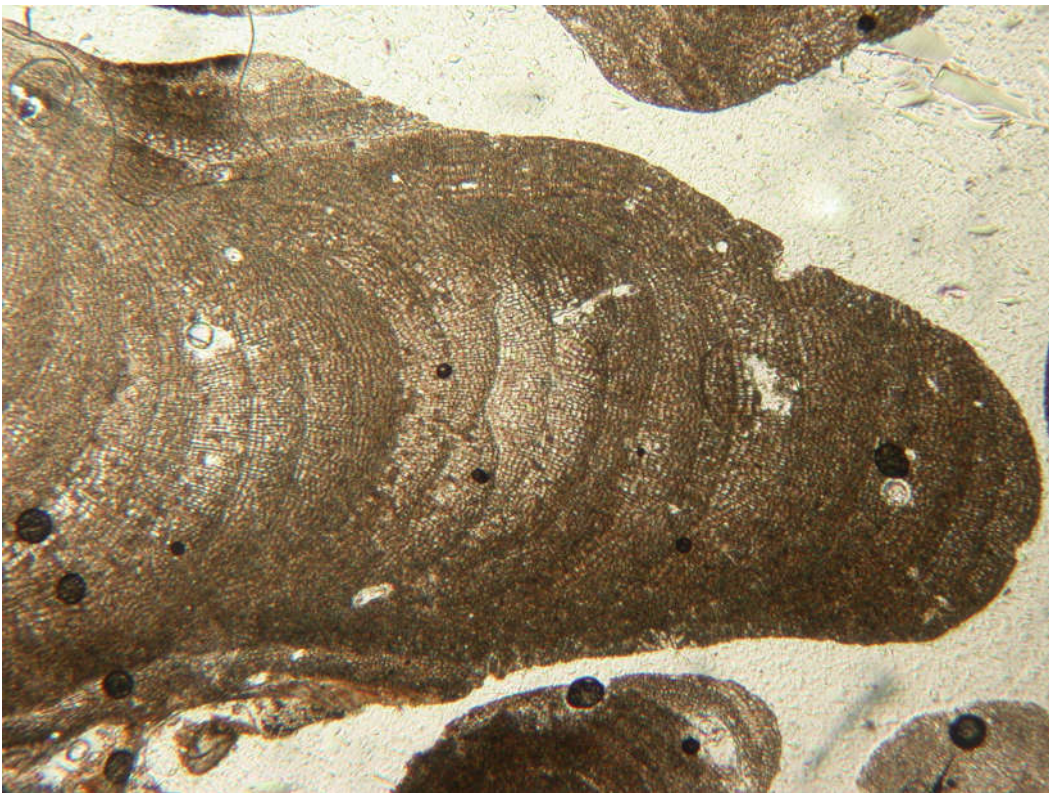
Dasycladacées dans un grainstone ; remarquer la recristallisation du manchon et les pores remplis de micrite. Lames minces, lumière naturelle (petit côté des microphotos~2,5 mm).



Cas particulier de dasycladacée à muraille micritique : *Koninckopora*. Les pores sont néanmoins bien visibles mais ils sont cimentés et non remplis de micrite comme dans l'exemple précédent. Grainstone, lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



Nodule de codiacée ; noter les nombreuses dichotomies des filaments. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

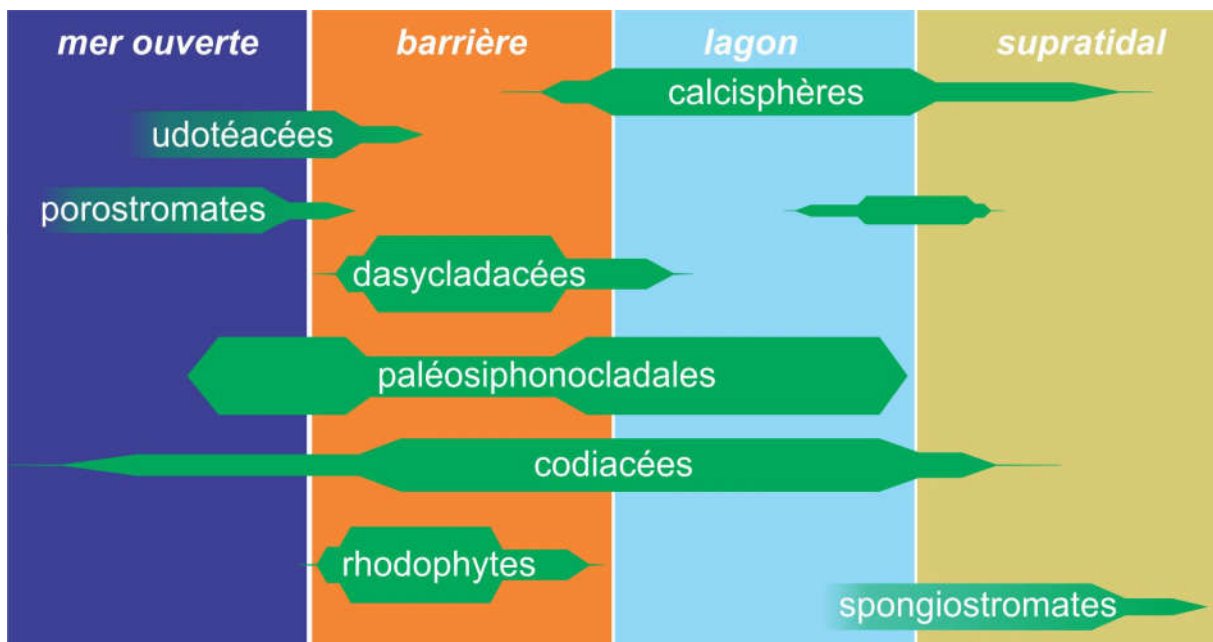


Algue rouge ou rhodophyte ; sable actuel à *Lithothamnium*. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



Characée. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~1 mm).

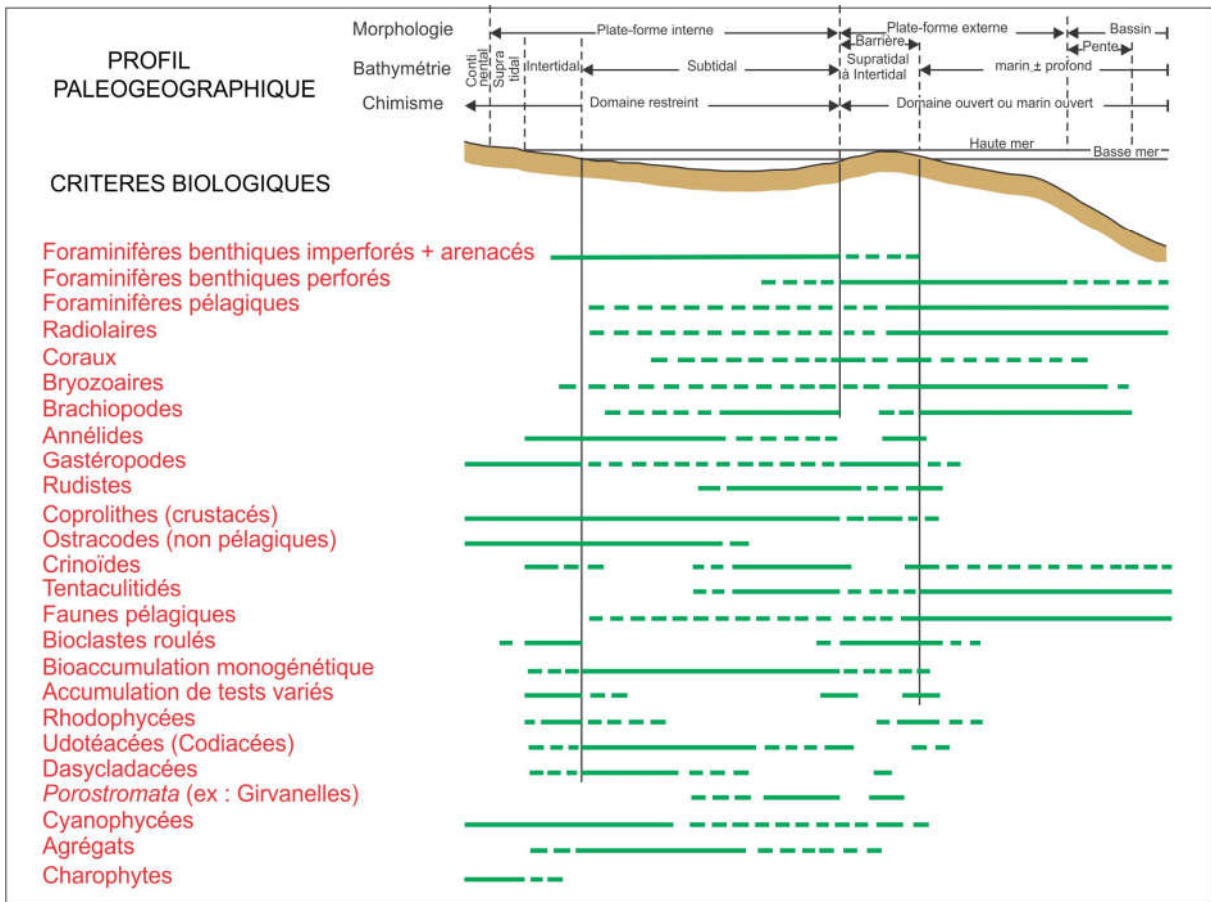
REPARTITION DES ALGUES (modèle paléozoïque)



Modèle de répartition des algues calcaires sur une plate-forme carbonatée avec barrière.

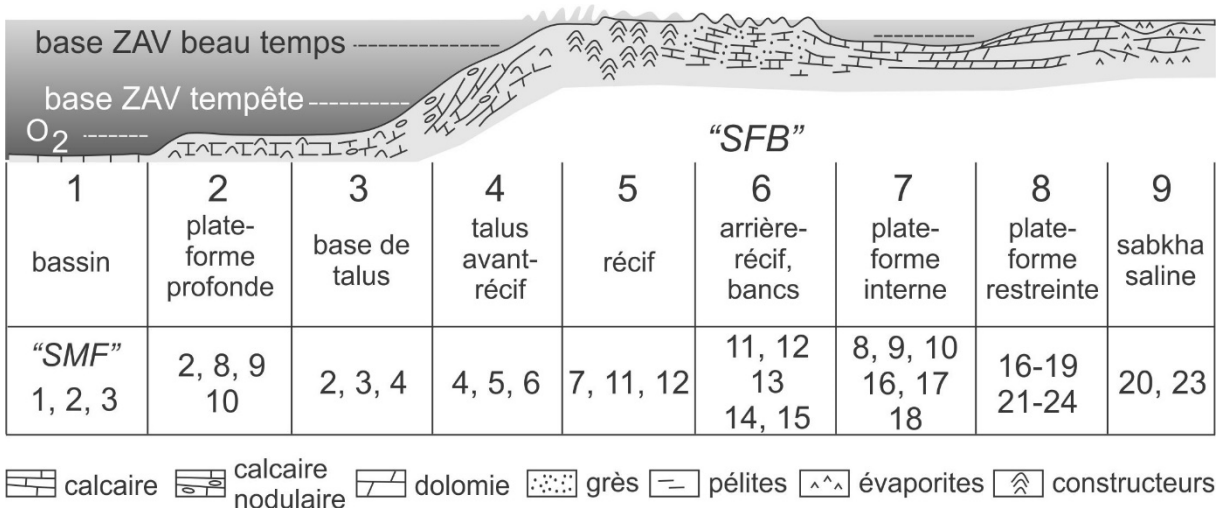
INTERPRETATION DES PALEOENVIRONNEMENTS

INTERPRETATION EN FONCTION DES CRITERES BIOLOGIQUES. Le modèle utilisé est un profil de plate-forme carbonatée avec barrière récifale.



MICROFACIES STANDARDS-PLATE-FORME CARBONATEE

Il s'agit de la proposition de Wilson (1975) qui concerne aussi **une plate-forme carbonatée avec barrière** ! Le maximum d'énergie est localisé au niveau de la barrière récifale et un lagon protégé à faible diversité est observé en arrière de celle-ci.



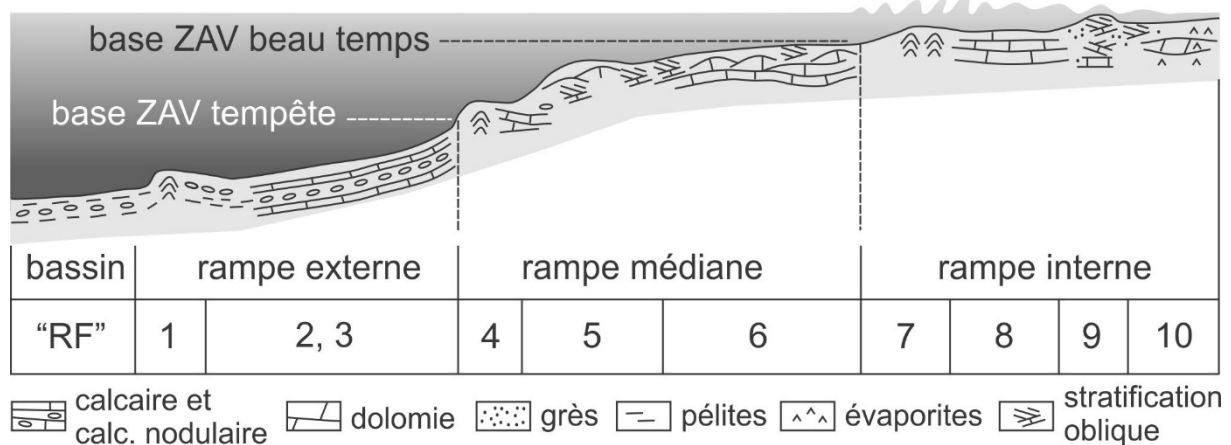
SMF signifie « Standard MicroFacies ». SFB, « Standard Facies Belt ».

- SMF1 : spiculite : mudstones ou wackestones argileux sombres, riches en matière organique et/ou spicules d'éponges. SFB1, bassin.
- SMF2 : packstones microbioclastiques : grainstones et packstones à très petits bioclastes et péloïdes. SFB1, SFB2, SFB3.
- SMF3 : mudstones et wackestones à organismes pélagiques (exemple : globigérines, certains lamellibranches, etc.). SFB1, SFB3.
- SMF4 : microbrèche ou packstones à lithoclastes et bioclastes : mono- ou polymictique ; peut inclure également du quartz ou chert. SFB3, SFB4, avant-talus.
- SMF5 : grainstones/packstones ou floatstones à éléments récifaux ; géopètes et structures d'ombrelle dus à l'infiltration de sédiments fins. SFB4, flanc récifal.
- SMF6 : rudstones à éléments récifaux ; gros fragments de constructeurs, peu de matrice. SFB4, talus d'avant-récif.
- SMF7 : boundstone : organismes constructeurs en position de vie. SFB5, récif, environnement de haute énergie.
- SMF8 : wackestones et floatstones avec fossiles bien conservés, quelques bioclastes. SFB2, SFB7, plate-forme ou lagon ouvert, sous la zone d'action des vagues.
- SMF9 : wackestones bioclastiques bioturbés ; les bioclastes peuvent être micritisés. SFB2, SFB7, plate-forme ouverte peu profonde, près de la zone d'action des vagues.
- SMF10 : packstones/wackestones avec bioclastes dégradés et encroûtés. SFB2, SFB7, grains provenant d'environnements à forte agitation, déposés en milieu calme.
- SMF11 : grainstones à bioclastes encroûtés. SFB5, SFB6, corps sableux dans la zone d'action des vagues, éventuellement en bordure de plate-forme.
- SMF12 : grainstones/packstones/rudstones bioclastiques, avec prédominance de certains types d'organismes (crinoïdes, bivalves, dasycladales...). SFB5, SFB6, bordure de plate-forme.
- SMF13 : grainstones à oncoïdes et bioclastes. SFB6, agitation assez importante, profondeur très faible.
- SMF14 : "lags" : grains dégradés et encroûtés, localement mélangés à des oolithes et des péloïdes, voire des lithoclastes ; phosphates, oxydes de fer. SFB6, accumulation lente de matériaux grossiers dans des zones agitées.
- SMF15 : grainstones à oolithes, à stratification entrecroisée. SFB 6, bancs, dunes, cordons oolithiques en milieu agité.
- SMF16 : grainstones à péloïdes, souvent mélangés à quelques bioclastes (ostracodes, foraminifères...). SFB7, SFB8, environnement très peu profond à circulation modérée.
- SMF17 : "grapestone" : grainstones à grains agrégés (lumps, bahamite), quelques péloïdes, et grains encroûtés. SFB7, SFB8, plate-forme à circulation restreinte, "tidal flats".
- SMF18 : grainstones à foraminifères ou dasycladales. SFB7, SFB8, cordons littoraux, chenaux lagunaires.
- SMF19 : loferite : mudstones/wackestones laminaires à péloïdes et fenestrae, passant à des grainstones à péloïdes ; ostracodes, quelques foraminifères, gastéropodes et algues. SFB8, mares et lagons à circulation restreinte.
- SMF20 & 21 : mudstones à stromatolithes (tapis algo-microbiens). SFB8, SFB9, mares intertidales.
- SMF22 : wackestones à oncoïdes. SFB8, environnement calme, souvent en arrière-récif.
- SMF23 : mudstones homogènes, non fossilifères ; évaporites possibles. SFB8, SFB9, mares hypersalines.

- SMF24 : packstone/wackestone à lithoclastes de micrite non fossilifère. SFB8, "lag deposit" de fond de chenaux tidaux.

MICROFACIES STANDARDS-RAMPE CARBONATEE

Dans ce cas, le maximum d'énergie est localisé au niveau du rivage. Il n'y a pas de domaine restreint ou protégé.



La rampe externe est localisée sous la zone d'action des vagues de tempête, à une profondeur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres. On y observe des sédiments carbonatés fins, autochtones ou allochtones, associés à des dépôts hémipélagiques. Les bioconstructions y sont de type monticule récifal. RF signifie « Ramp Facies ».

- RF1 : monticule récifal (type micritique) : bioconstruction isolée, riche en matrice calcaire et comprenant des éponges et des microbes ; tous les organismes sont en position de vie.
- RF2 : marno-calcaires : mudstones et wackestones argileux microbioclastiques alternant avec des argiles ; la faune est benthique, nectonique, planctonique avec un net caractère ouvert : bryozoaires, éponges, foraminifères planctoniques, échinodermes, mollusques. La bioturbation est présente.
- RF3 : tempestites distales : minces niveaux granoclassés dans des sédiments fins. Ces niveaux un peu plus grossiers peuvent inclure des sédiments remaniés issus de zones moins profondes de la rampe.

La rampe médiane correspond à la zone située entre la base de la zone d'action des vagues de beau temps et la base de la zone d'action des vagues de tempête. La profondeur y est de quelques dizaines de mètres. Les tempestites sont les dépôts dominants, associés souvent à des niveaux intraclastiques.

- RF4 : monticules récifaux (type squelettique) et récifs : il s'agit de bioconstructions à faune plus diversifiée, incluant des niveaux à organismes en position de vie et d'autres remaniés par l'action des vagues ; les constructeurs comprennent des bryozoaires, coraux, éponges, échinodermes, algues rouges...
- RF5 : "shoals" : grainstones et packstones à bioclastes remaniés (bryozoaires, crinoïdes, brachiopodes...), stratifications obliques.

- RF6 : tempestites proximales, souvent amalgamées : sédiments granoclassés, transportés, structures de type HCS, grainstones et packstones. Les éventuelles périodes de calme sont représentées par des sédiments plus fins, de type wackestone, bioturbés.

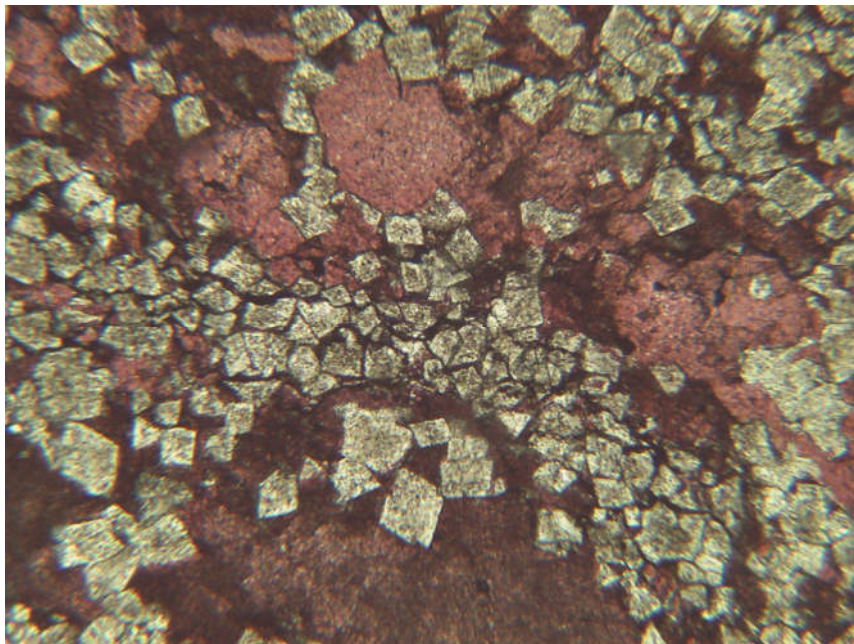
La rampe interne comprend la zone située entre la plage et la base de la zone d'action des vagues de beau temps. Cette portion de rampe est située dans la zone photique et le fond marin est remanié pratiquement en permanence par les vagues et les courants. On observe les faciès suivants :

- RF7 : récifs : récifs et patch-reefs à coraux, lamellibranches, rudistes, stromatopores ; les constructeurs sont rarement en position de vie ; nombreux remaniements.
- RF8 : packstones et grainstones à bioclastes variés.
- RF9 : shoals oolithiques et bioclastiques ; grainstones et packstones à stratification entrecroisée ; oolithes, péloïdes, bioclastes (algues vertes, foraminifères, mollusques, échinodermes...)
- RF10 : plage et mares : grainstones et packstones bien classés à stratification plane et/ou mudstones et wackestones bioturbés à faune et flore variée. *Les bioclastes gardent un caractère varié et partiellement ouvert même au niveau du rivage !*

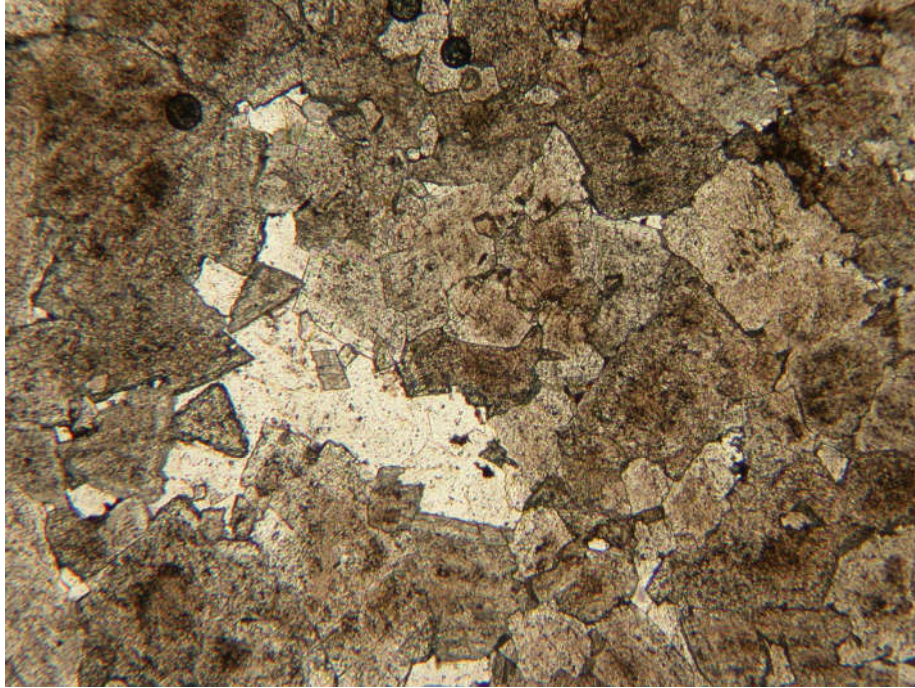
PHENOMENES DE REMPLACEMENT

De deux types dans les calcaires : dolomitisation et silicification. La dolomitisation, si elle est importante et relativement tardive, oblitère les caractères du microfaciès, empêchant en général une interprétation. La silicification peut préserver les caractéristiques du microfaciès ou les détruire.

DOLOMITISATION

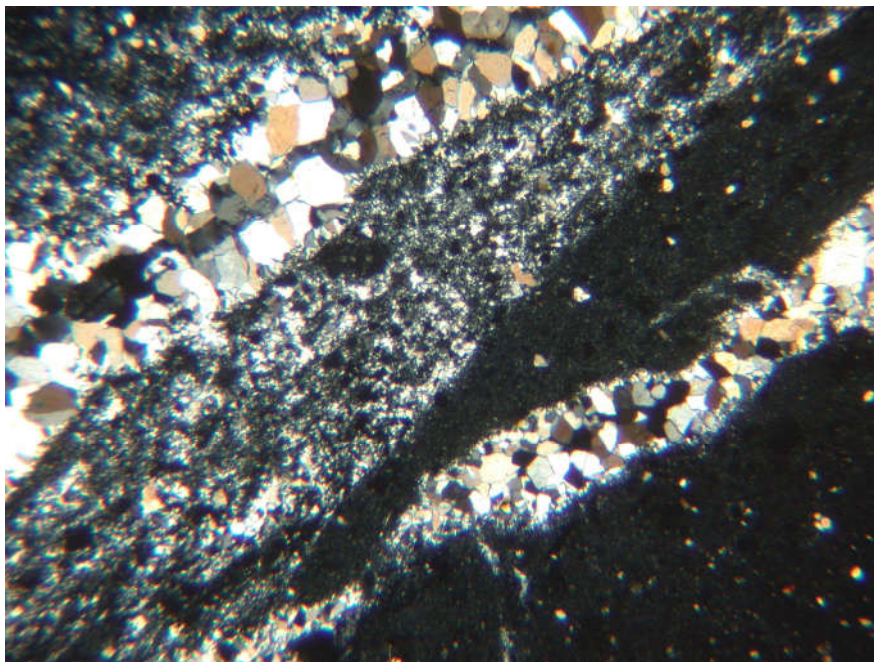


Dolomitisation partielle d'un calcaire. Noter les rhomboèdres de dolomite, caractérisés par leur forme automorphe et leur relief élevé typique. Lame mince colorée par l'alizarine : la calcite est en rose, la dolomite est incolore. Lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



Dolomitisation pratiquement totale d'un calcaire. lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

SILICIFICATION



Silicification totale d'un calcaire par du microquartz et du mégaquartz.

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.)

2) 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

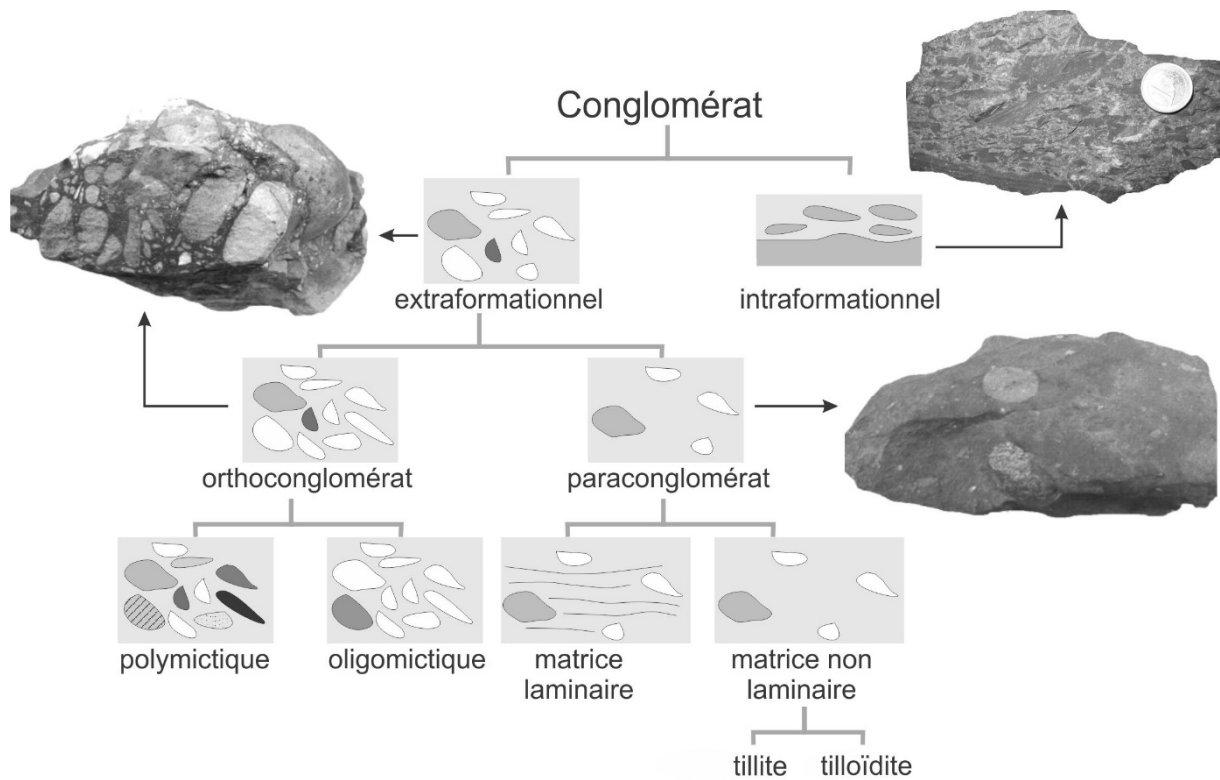
En fonction de la description : degré d'agitation, de confinement, paléobathymétrie, ceinture de faciès, SMF ou RF.

ROCHES DETRITIQUES

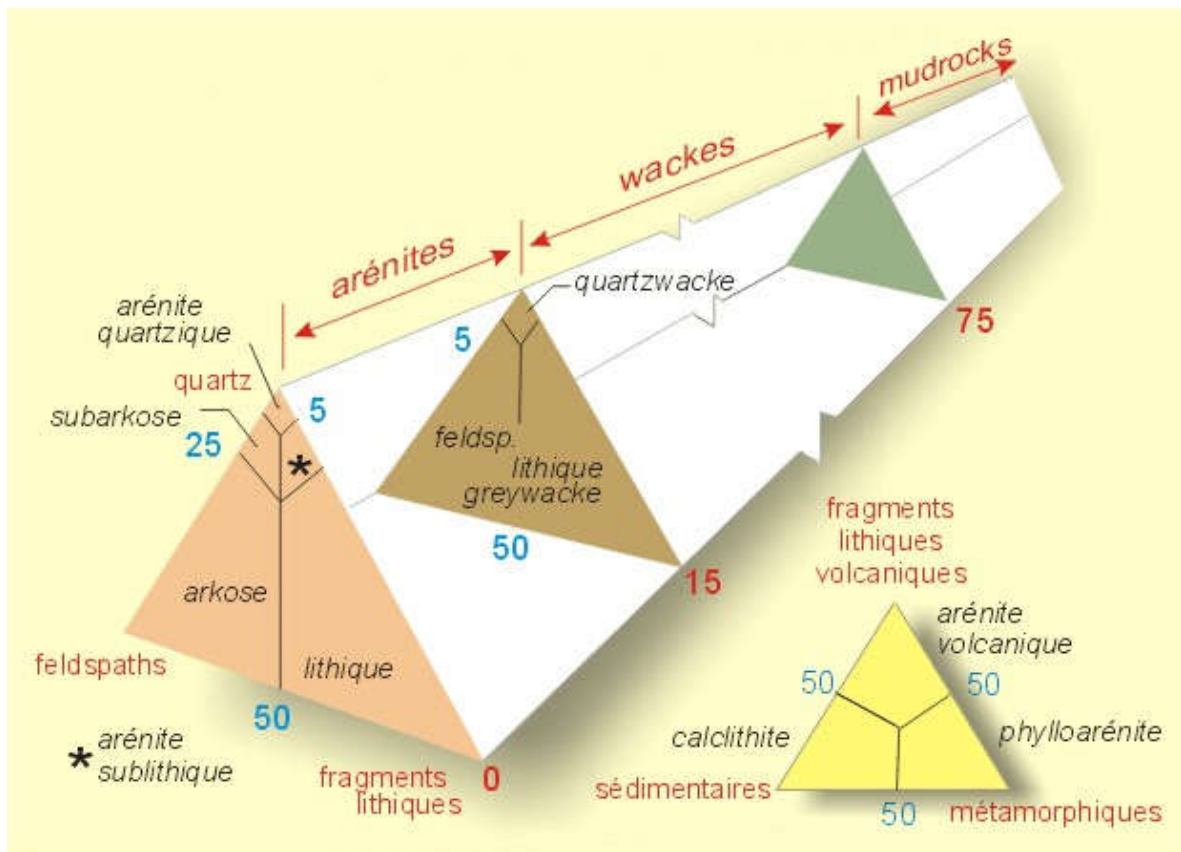
Classification générale selon la granulométrie.

<i>Diamètre des grains</i>	<i>Brongniart (1813)</i>	<i>Grabau (1904)</i>	<i>Sédiments et roches meubles</i>	<i>Roches cohérentes</i>
> 2 mm	pséphite	rudite	2 à 20 cm galets	conglomérat , brèche
			< 2 cm gravier	
2 mm à 62 µm	psammite	arénite	sable	grès
< 62 µm	pélite	lutite	4 µm à 62 µm silt	4 µm à 62 µm siltite
			< 4 µm argile	< 4 µm argilite

CONGLOMERATS (PROTHERO & SCHWAB, 1996)



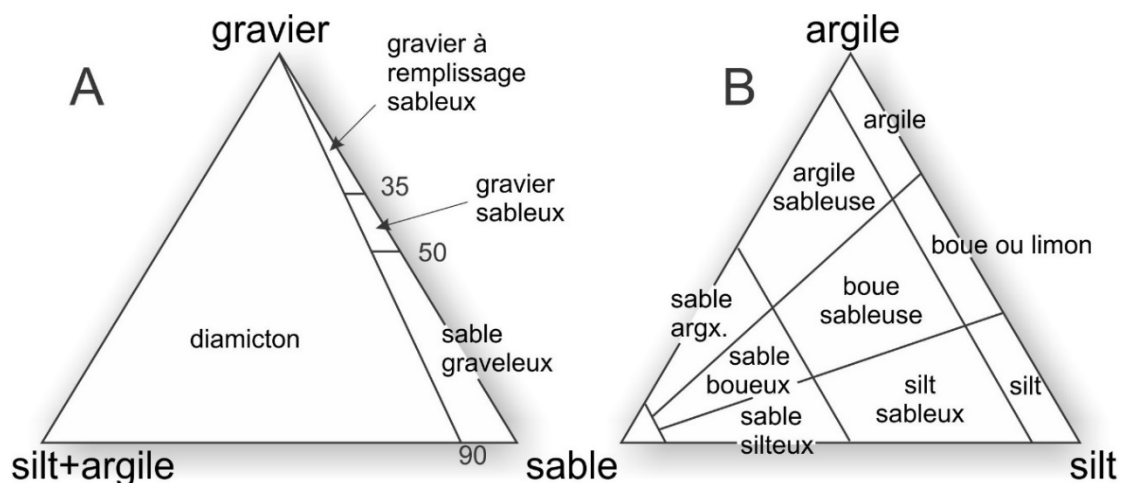
GRES (classification de DOTT, 1964)

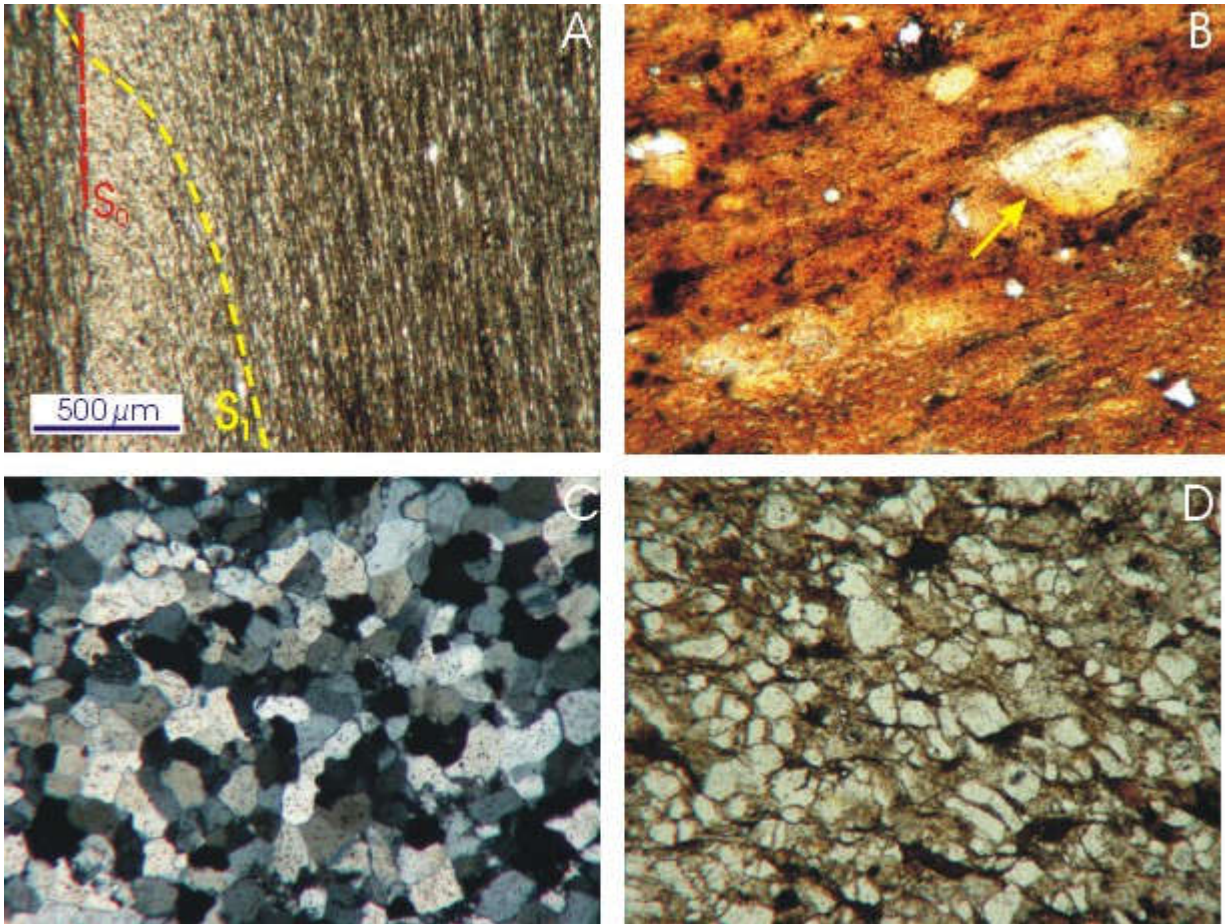


grès très grossier	1-2 mm
grès grossier	500 µm-1 mm
grès moyen	250 µm-500 µm
grès fin	125 µm-250 µm
grès très fin	62 µm-125 µm

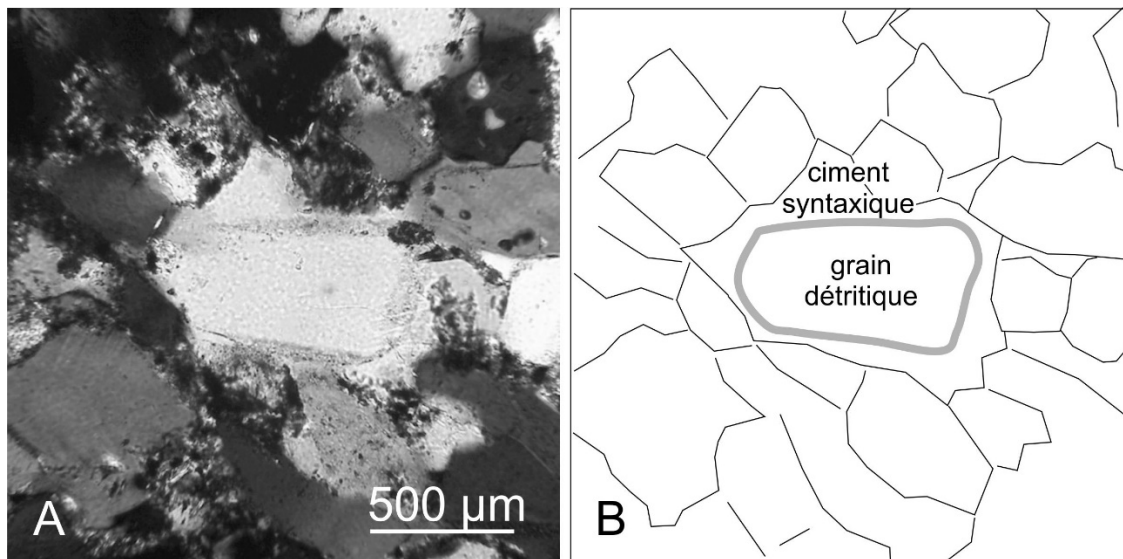
PELITES (LUNDEGARD & SAMUELS, 1980)

<i>Roches meubles /sédiments</i>	<i>Roches indurées</i>	<i>Faible métamorphisme</i>	<i>Métamorphisme plus élevé</i>
SILT	SILTITE	SILTITE	QUARTZITE ?
2/3 silt			
BOUE MUD	Non laminaire MUDSTONE SILTITE ARGILEUSE	Schistosité SLATE	ARGILLITE (pas de schistosité)
	Laminaire et fissile (// à S ₀) MUDSHALE SILTITE ARGILEUSE LAMINAIRE	SCHISTE SILTO-ARGILEUX	Schistosité SCHIST PHYLLADE
1/3 silt			
ARGILE CLAY	Non laminaire CLAYSTONE, ARGILITE	schistosité SLATE	ARGILLITE (pas de schistosité)
	Laminaire et fissile (// à S ₀) CLAYSHALE ARGILITE LAMINAIRE	SCHISTE ARGILEUX	schistosité SCHIST ARDOISE, PHYLLADE

MELANGES


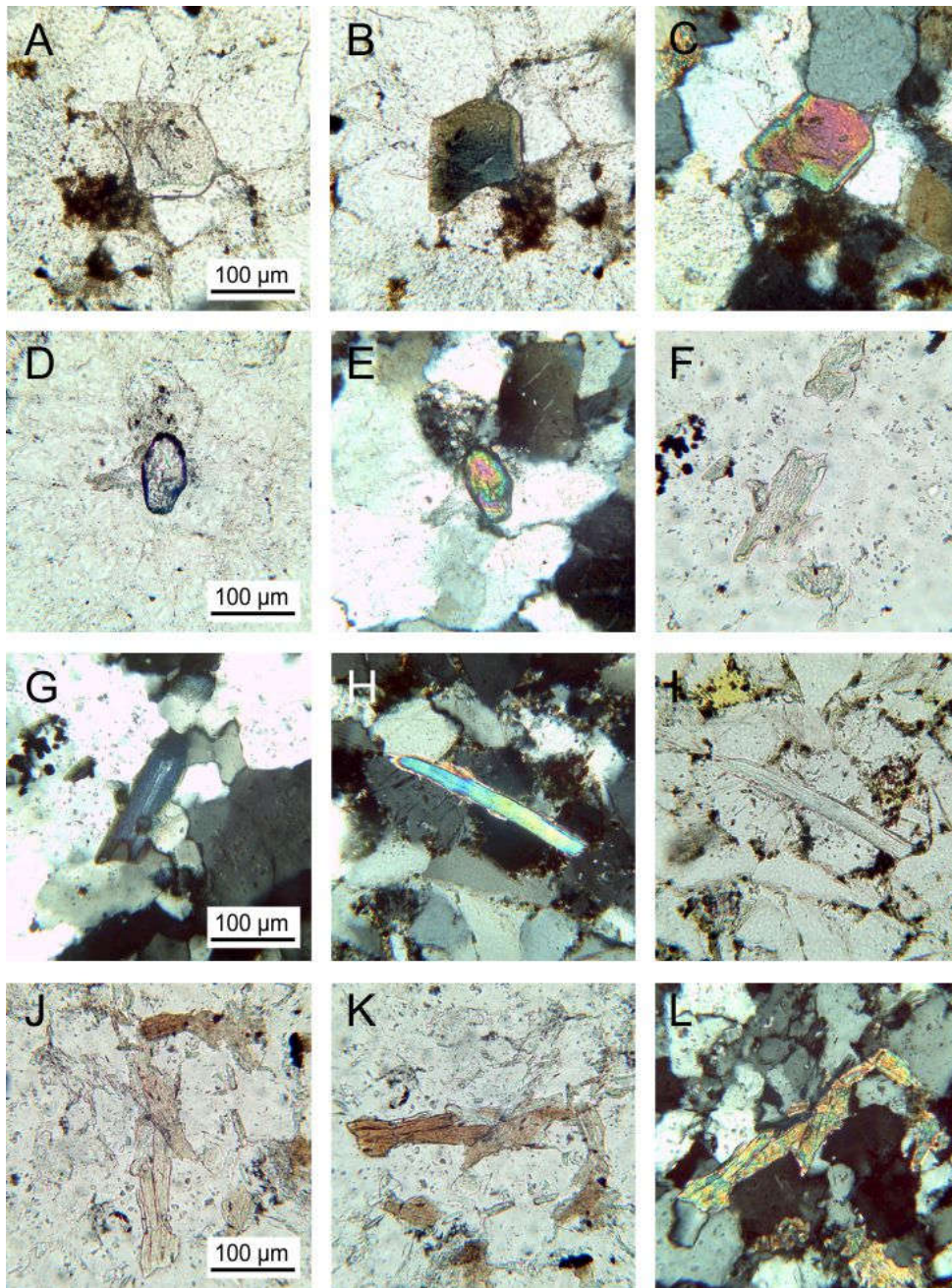


Exemples de roches détritiques en lame mince. A : quartzophyllade ; noter la réfraction de la schistosité (S_1) et la stratification (S_0), soulignée par un lit plus grossier (lumière naturelle) ; B : schiste à chlorite (flèche) (lumière naturelle) ; C : arénite quartzique à structure quartzitique (nicols croisés) ; D : quartzwacke (lumière naturelle). Lames minces.



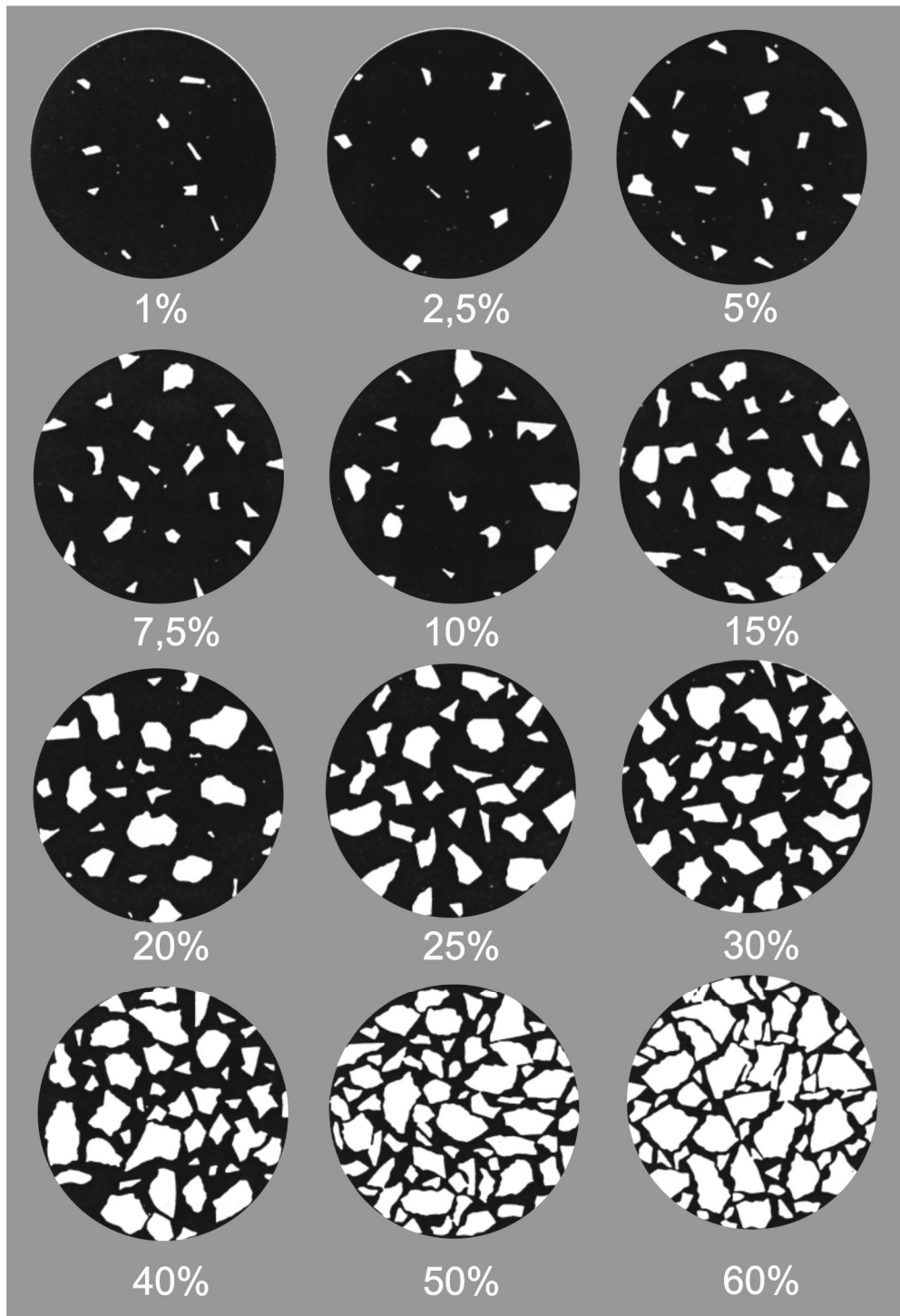
Structure quartzitique, par croissance de ciment siliceux syntaxique autour d'un grain détritique dans un grès.

QUELQUES MINÉRAUX ACCESSOIRES DES ROCHES DÉTRITIQUES



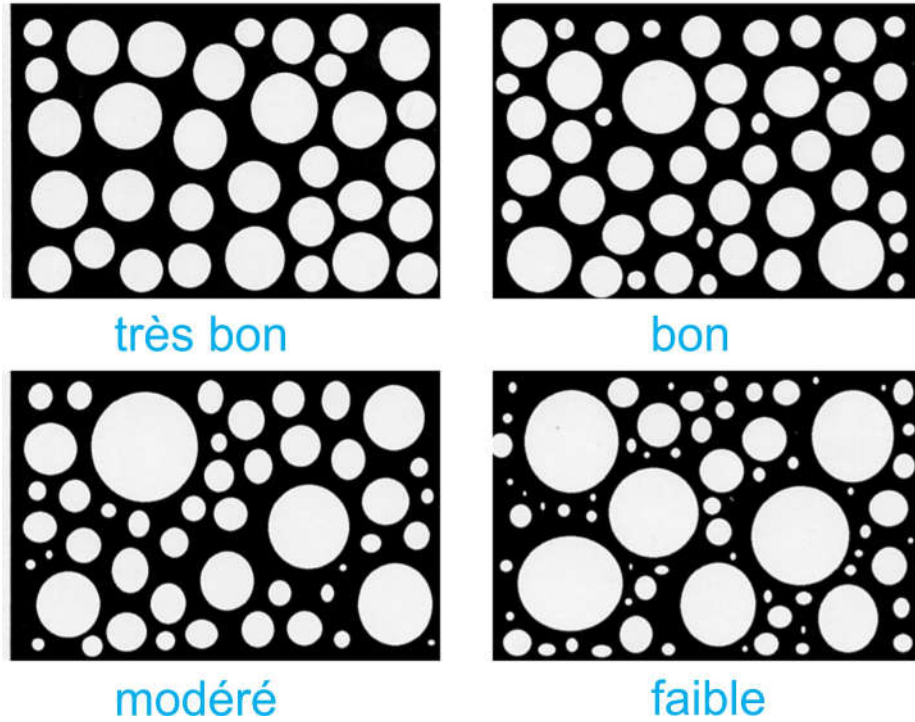
A, B : tourmaline en LN (lumière naturelle) montrant le fort pléochroïsme. C : tourmaline en NC (nicols croisés) ; la tourmaline est facilement caractérisée par sa teinte en LN (verte, bleue, jaune, rose) et son caractère fortement pléochroïque ; ses teintes de biréfringence sont des verts ou roses du 2^e ordre. D : zircon (LN). E : zircon (NC) ; le zircon se reconnaît grâce à son relief énorme et sa biréfringence très élevée. F : chlorite (LN). G : chlorite (NC) ; la chlorite est verte, jaune en LN et très pléochroïque ; en NC, la chlorite montre une biréfringence très faible avec des teintes "anormales" de bleu de Berlin. H : muscovite (LN). I : muscovite (NC) ; la muscovite est incolore en LN et montre un clivage basal très marqué ; en NC, sa biréfringence est du 2^e ordre. J, K : biotite en LN montrant le pléochroïsme. L : biotite (NC) ; la biotite est brune en LN et pléochroïque avec un clivage basal ; en NC, sa biréfringence est dans la partie supérieure du 2^e ordre ; elle montre souvent des halos pléochroïques dûs à la dégradation du cristal autour d'inclusions de zircons radioactifs.

**CHARTES D'ABONDANCE, DE CLASSEMENT et de DEGRE
D'ARRONDI/SPHERICITE**

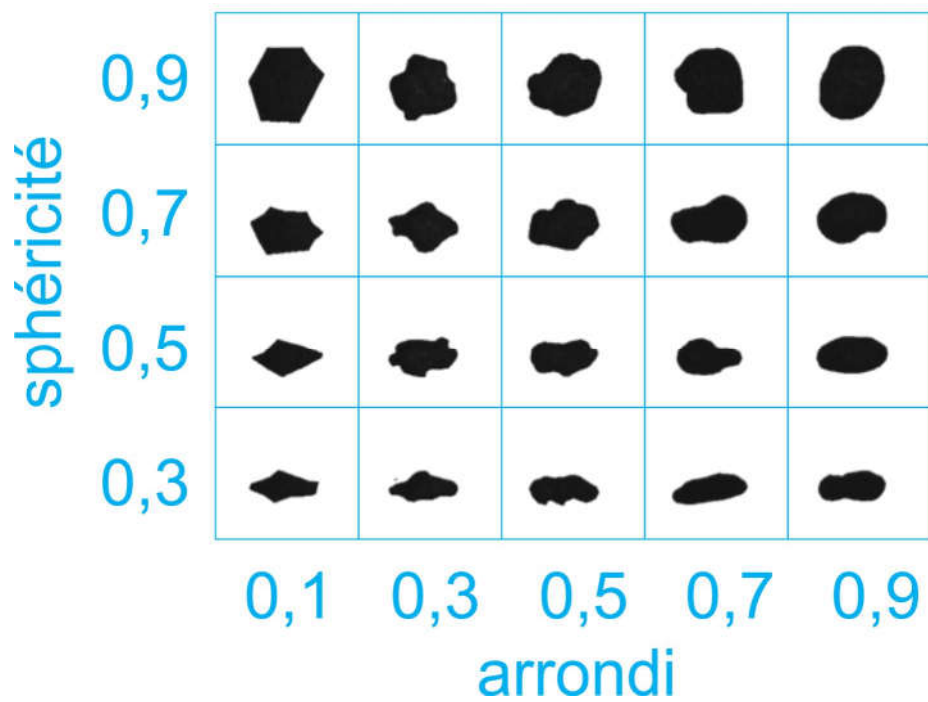


Charte d'abondance des grains et de la matrice.

classement



Charte de classement.



Charte pour le rapport sphéricité/arrondi.

FICHE DESCRIPTIVE POUR LAME DE ROCHE DETRITIQUE**DESCRIPTION****1) Macroscopie**

- Couleur, caractère plus ou moins homogène de la roche.
- Structures sédimentaires macroscopiques (lamination, bioturbation, etc.)

2) Microscopie

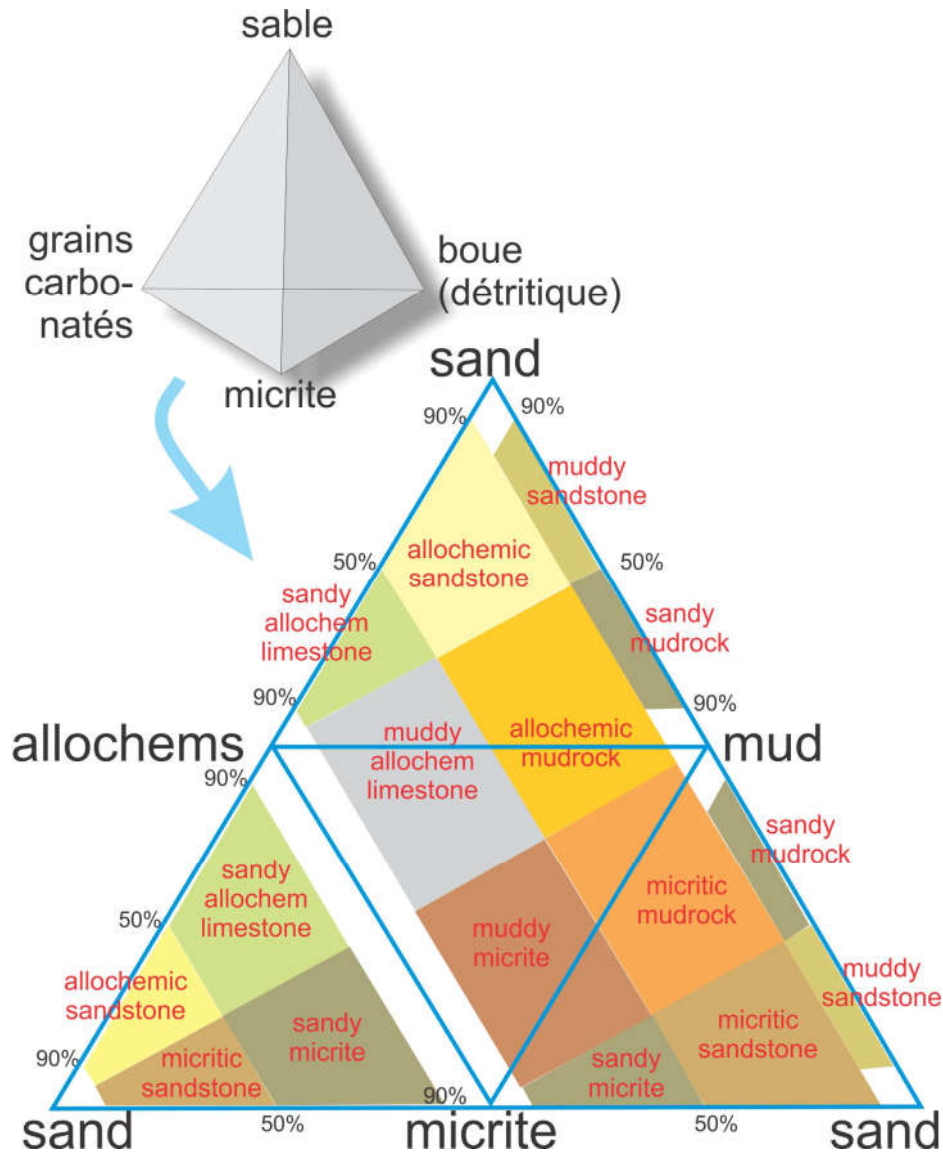
- Nature, abondance (%), taille, arrondi des grains.
- Classement, structures sédimentaires.
- Nature et répartition du ciment et/ou de la matrice.
- Présence éventuelle de porosité.

3) Nom

- Utilisation d'une des classifications (conglomérat, grès, pélites).

ROCHES MIXTES (DETRITIQUES + CARBONATES)

Classification de Mount (1985). Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology*, 32, 435-442.



Ou bien, utiliser des appellations composites du genre : "calcaire grés-argileux", "grès à matrice argilo-carbonatée", "calcaire argileux à lamines gréseuses"...

EVAPORITES

Quelques sulfates...

Baryte $BaSO_4$

Orthorhombique ; $n = 1,64$; $2V = 36-37^\circ$; opt (+) ; extinction // au meilleur clivage ; incolore en lame ; biréfringence faible (cf. quartz) ; généralement en amas plumeux.

Célestite SrSO_4

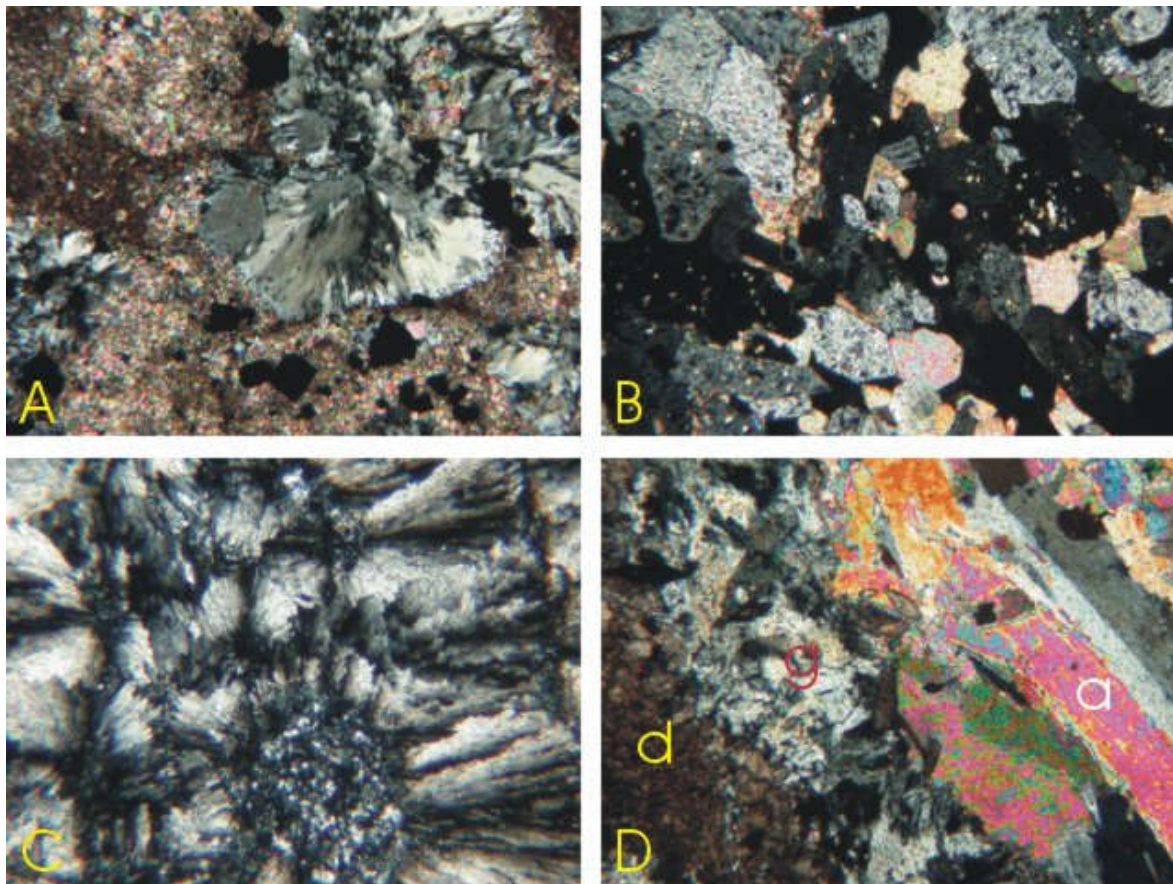
Orthorhombique ; $n= 1,62$; $2V= 51^\circ$; opt (+) ; extinction // aux clivages et aux faces ; incolore en lame ; biréfringence faible (cf. quartz) ; généralement en cristaux tabulaires.

Anhydrite CaSO_4

Orthorhombique ; $n= 1,57-1,61$; $2V= 42^\circ$; opt (+) ; extinction // aux clivages ; incolore en lame ; biréfringence forte (couleurs vives du 3e ordre) ; généralement en cristaux anhétraux à subhétraux, en lattes.

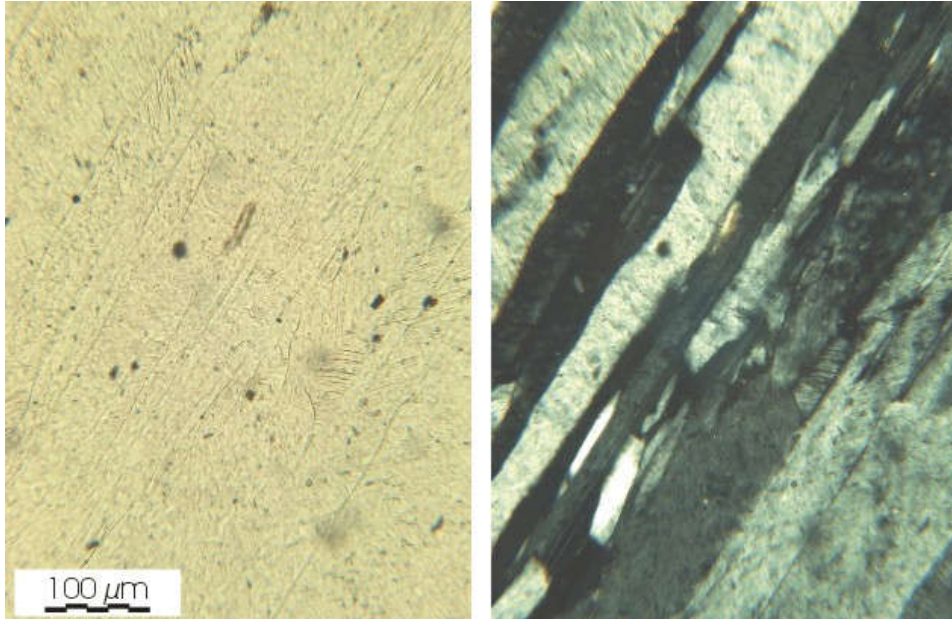
Gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Monoclinique ; $n= 1,52-1,53$; $2V= 58^\circ$; opt (+) ; extinction // au meilleur clivage ; incolore en lame ; biréfringence faible (cf. quartz) ; généralement en cristaux anhétraux à subhétraux, allongés, en masses fibreuses.



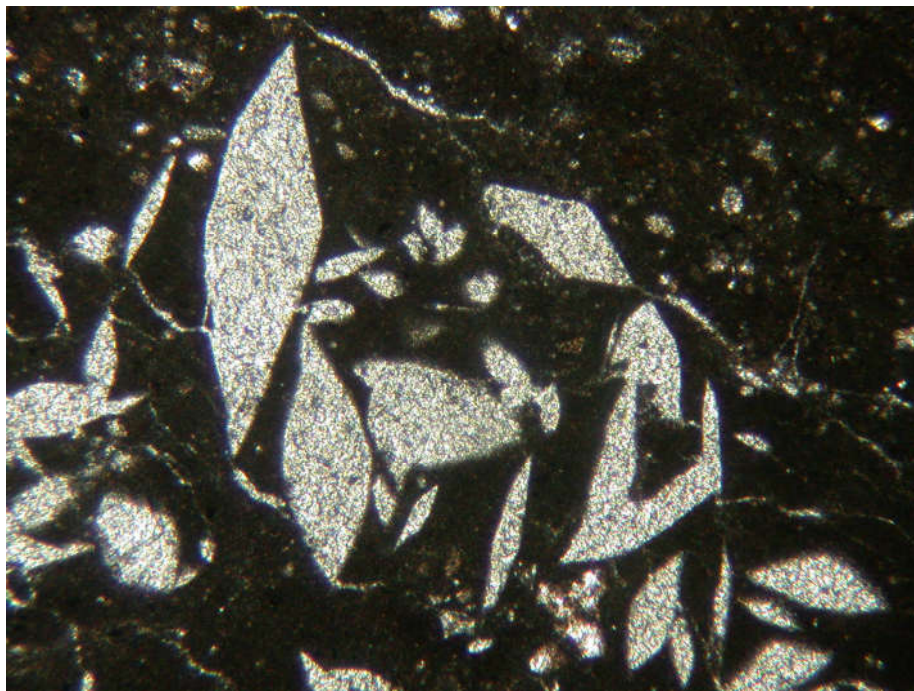
A : dolomite et gypse en rosettes. B : célestite. C : barytine. D : de gauche à droite, successivement : dolomite (d) ; gypse (g) ; anhydrite (a). Lames minces, nicols croisés (petit côté des microphotos~2,5 mm).

ATTENTION: ne pas confondre calcédoine et gypse ; même si la biréfringence est semblable, le gypse possède des CLIVAGES!

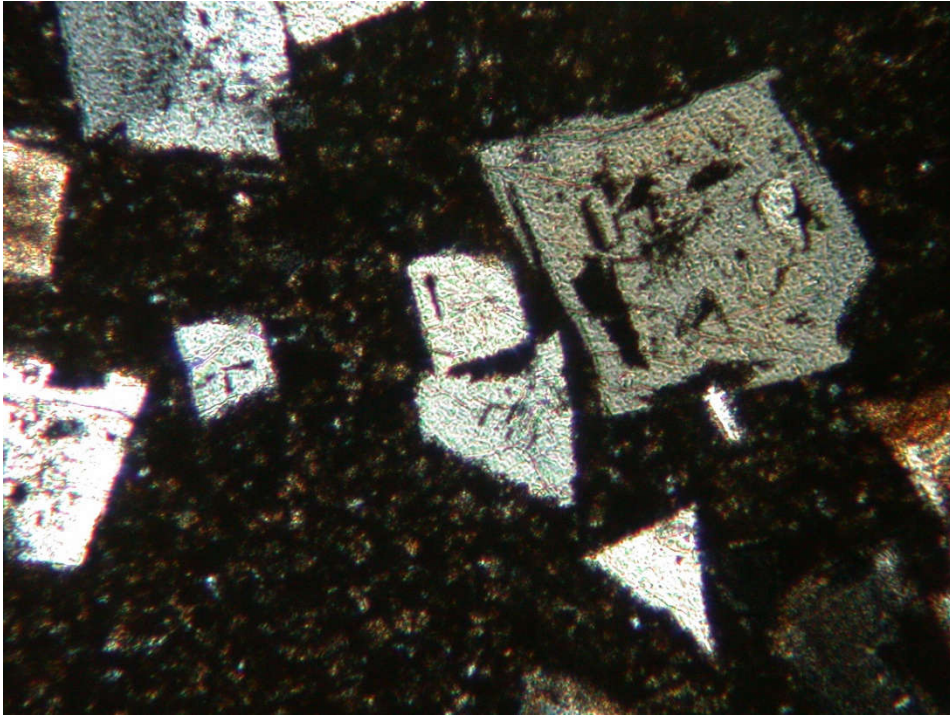


Gypse fibreux en lumière naturelle (à gauche) et en nicols croisés (à droite). Les clivages sont bien visibles! Lamme mince.

Ne pas oublier qu'au cours de la diagenèse, **les minéraux des évaporites peuvent être remplacés** par de la calcite ou de la silice en gardant leur morphologie extérieure. Il faut donc reconnaître ces **pseudomorphes** qui témoignent de la présence de gypse, halite, etc.



Pseudomorphes calcitiques de gypse dans un mudstone calcaire. Lamme mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



Pseudomorphes siliceux de halite dans un mudstone calcaire. lame mince, nicols croisés (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

ROCHES SILICEUSES OU SILICITES

Quelques formes de la silice (roches sédimentaires)...

Quartz α

Rhomboédrique ; $n = 1,54-1,55$; opt (+) ; extinction // allongement ; incolore en lame ; biréfringence faible (gris) ; microquartz et mégaquartz.

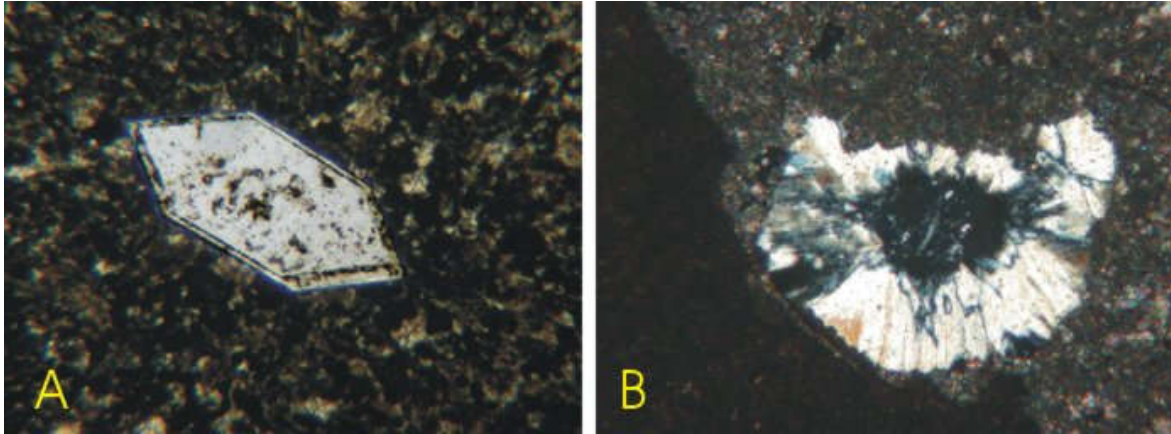
Calcédoines = formes fibreuses ; incolores en lame ; biréfringence faible (gris)

- Quartzine : allongement (+), sphérolites ou éventails ;
- Lutécite : allongement (+), faisceaux se croisant à angle droit, chevrons ;
- Calcédonite : allongement (-), sphérolites, éventails ; calcédonite à enroulement (\rightarrow variations de la biréfringence le long d'une même fibre) ;
- Lussatite : $n=1,45$, biréfringence très faible, allongement (+) (cf. opale CT).

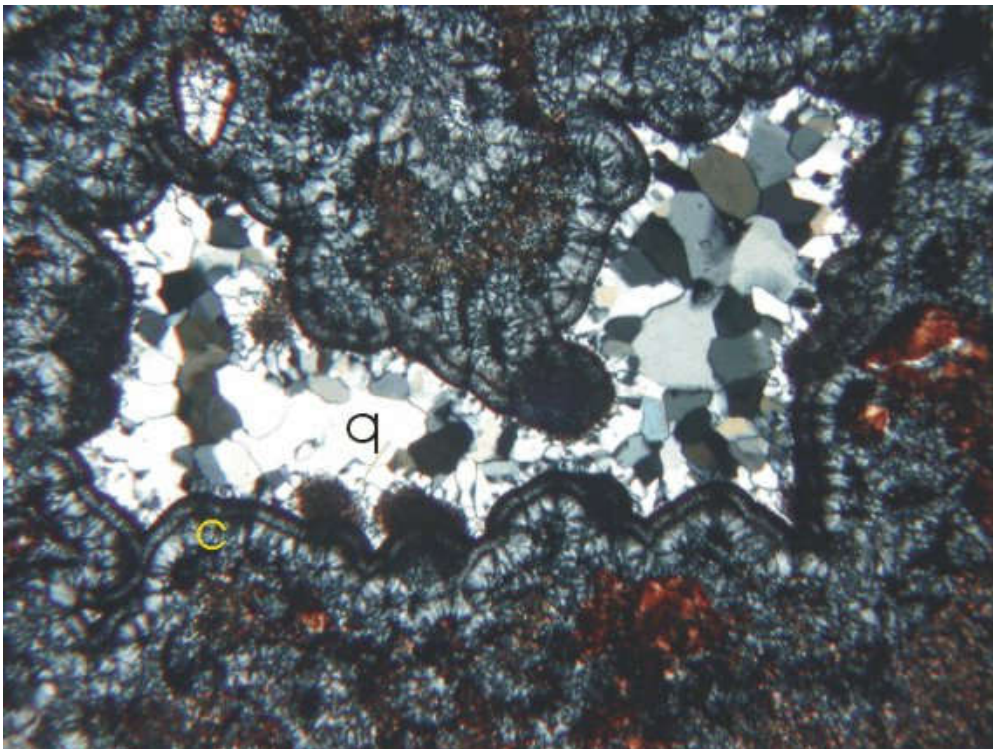
LES FORMES A ALLONGEMENT (+) \rightarrow CRISTALLISATION EN PRESENCE DE SULFATES!!

Opale

Forme amorphe et hydratée (donc non biréfringente !).



A : quartz automorphe dans un calcaire ; remarquer la zonation de croissance. B : lutécite montrant la structure fibreuse en chevrons. Lames minces, nicols croisés (petit côté des microphotos~1 mm).



Calcédonite (c) et mégaquartz xénomorphe (q) dans un calcaire. La silicification s'est faite de manière centripète dans une cavité. La matrice est remplacée par du microquartz. Lame mince, nicols croisés (petit côté de la microphoto~2,5 mm).

ROCHES FERRIFERES

L'**hématite** (rouge vif en réflexion) se présente surtout en ooïdes et imprégnations secondaires de fossiles, sauf dans les BIF's où elle peut former des lamines ou des niveaux massifs.

La **goethite** (couleur jaune brunâtre) forme en général des ooïdes. La **limonite**, un mélange de goethite, d'argiles et d'eau, est un produit de l'altération subaérienne des oxydes de fer.

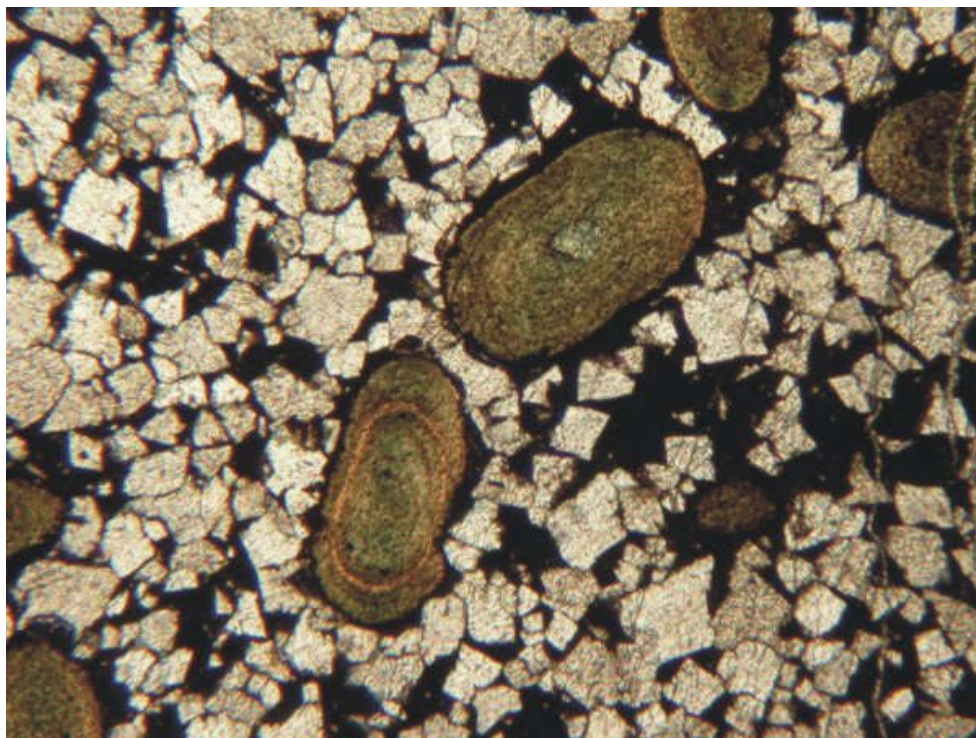
La **sidérite** remplace généralement des oïdes et des bioclastes et peut former des ciments. On observe soit des cristaux de grande taille à clivage rhomboédrique (comme la calcite), soit des micro-rhomboèdres de taille micronique, soit encore des fibres regroupées en sphérulites.

La **pyrite** est facilement reconnaissable par ses cristaux cubiques et sa couleur jaune vif en réflexion ; elle peut former des agrégats de microcristaux appelés *framboïdes*. La **marcassite** n'est fréquente qu'en nodules dans les craies et les charbons.

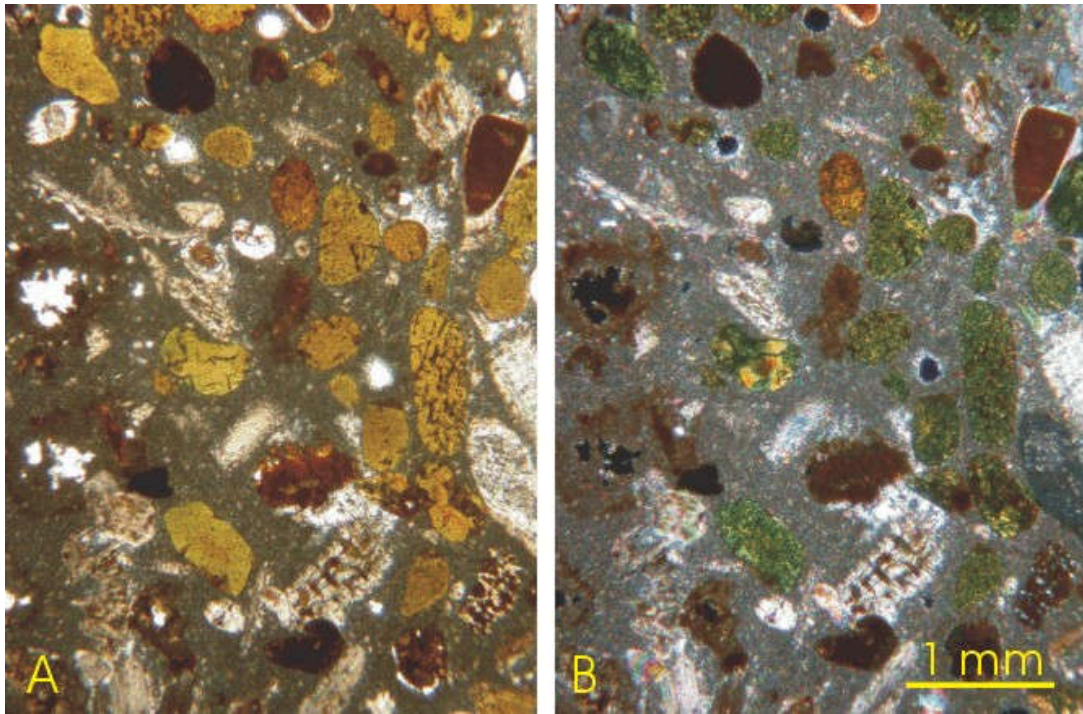
La **berthierine** est un phyllosilicate du groupe des serpentines (espacement réticulaire de 7 Å), riche en fer, tandis que la **chamosite** est une chlorite (espacement réticulaire de 14 Å), avec Fe^{++} comme cation principal dans les sites octaédriques. La berthierine est un minéral primaire qui se transforme en chamosite à partir de 120-160°C. Berthierine et chamosite (toutes deux vertes et à faible biréfringence) forment souvent des oïdes (déformés) dans les sédiments ferrifères phanérozoïques.

La **greenalite** est un minéral probablement très proche de la berthierine-chamosite, verte et isotrope. On la trouve généralement en péloïdes.

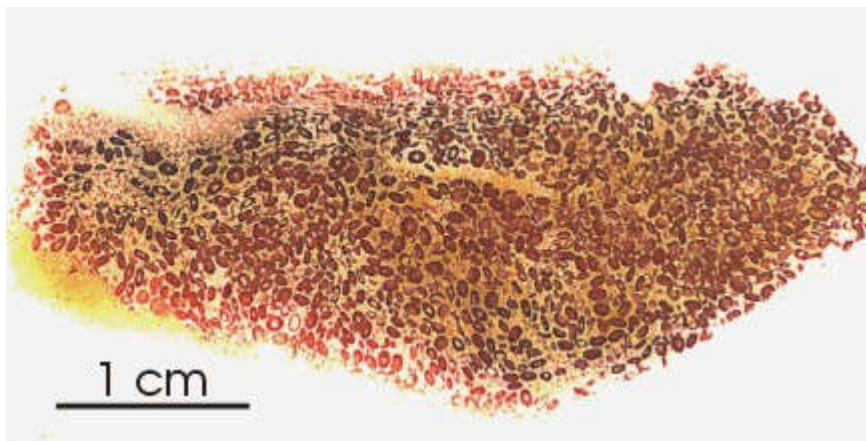
La **glauconite** est souvent observée sous la forme de péloïdes, de couleur verte, habituellement pléochroïque et d'aspect microcristallin. La glauconite est fréquente dans les sables et grès (faciès de plate-forme ouverte).



Oïdes (déformés) de chamosite (verts), cristaux de sidérite (rhomboèdres incolores) et ciment d'oxyde de fer (opaque). Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~2,5 mm).



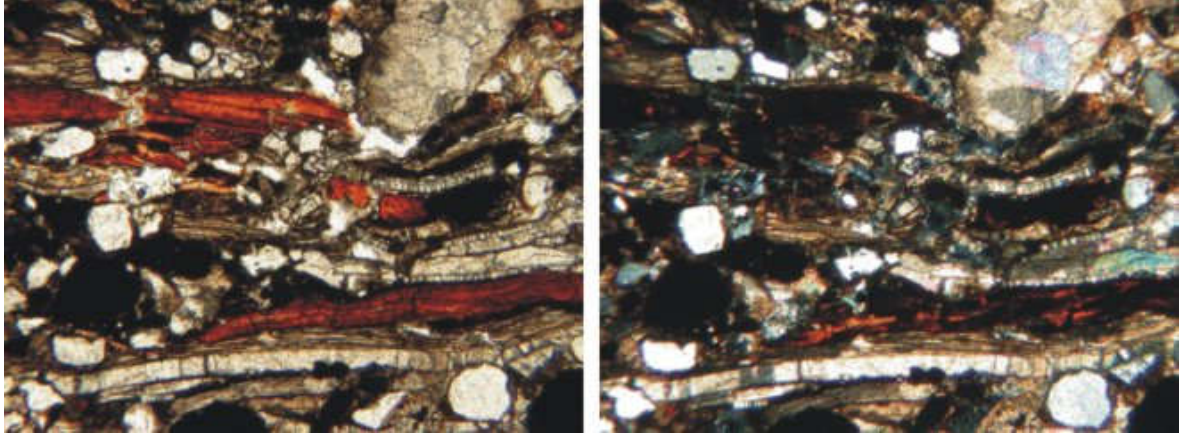
Grains de glauconite (verdâtres) dans un packstone bioclastique. Lames minces A : lumière naturelle ; B : nicols croisés.



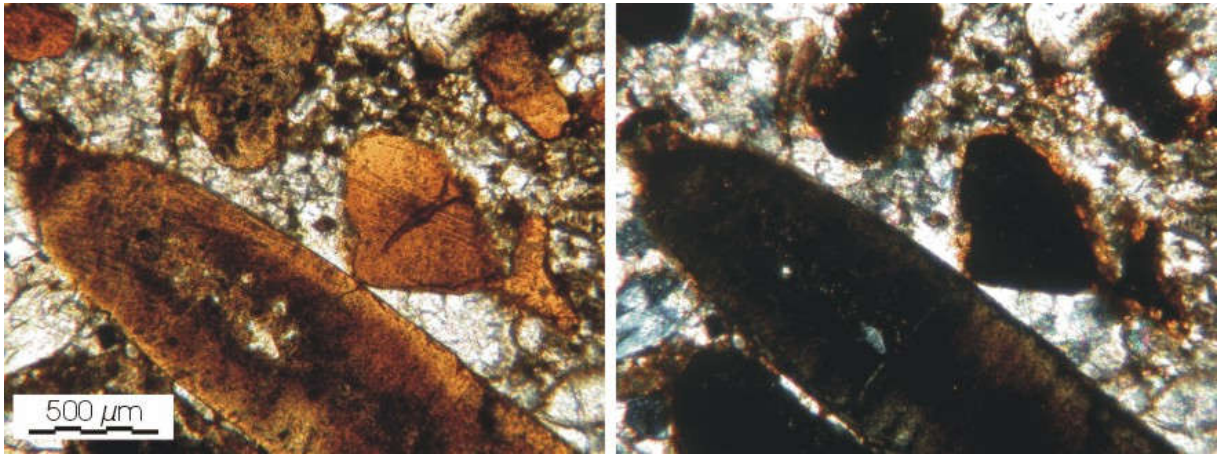
Ooïdes hématitiques. Lame mince, lumière naturelle (petit côté de la microphoto~30 mm).

PHOSPHORITES ET ROCHES PHOSPHATEES

Outre l'apatite cristalline (minéral détritique), on trouve dans les roches sédimentaires l'apatite sous la forme de coprolithes et de fragments d'os et de dents. Ces fragments possèdent une couleur jaune d'or, sont isotropes et montrent souvent des structures de croissance.



Grains phosphatés (jaune orange), en lumière naturelle (à gauche) et en nicols croisés (à droite) (lame mince, petit côté des microphotos~2,5 mm).

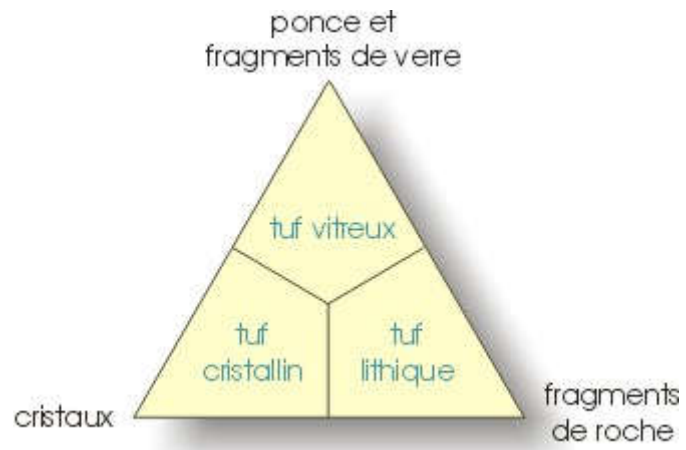


Grains phosphatés (jaune orange), en lumière naturelle (à gauche) et en nicols croisés (à droite).

PYROCLASTITES

<i>Taille des constituants</i>	<i>Equivalent détritique</i>	<i>Tephra</i>	<i>Roche pyroclastique</i>
>62 mm	galets, blocs	blocs (anguleux)	brèche volcanique
		bombes (arrondies)	agglomérat
2-62 mm	graviers, granules	lapilli	tuf à lapilli
62 µm-2 mm	sable	cendre grossière	tuf grossier
<62 µm	silt et argile	cendre fine	tuf fin

Classification granulométrique des roches pyroclastiques.



Classification des roches pyroclastiques en fonction des constituants.