

# La sédimentation littorale carbonatée

## 1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX

Les sédiments littoraux des régions de basses latitudes sont à dominance carbonatée. La raison en est le faible apport silico-clastique venant du continent, dû aux conditions topo-graphiques et climatiques, et surtout l'intensité de la production de carbonates d'origine biologique. Sous ces latitudes, les organismes marins côtiers prolifèrent et précipitent l'ion calcium prélevé de l'eau de mer sous forme de carbonate qui s'accumule puisque moins soluble dans les eaux chaudes. Le bilan du calcium en solution dans l'eau de mer reste plus ou moins équilibré : les fleuves apportent des ions calcium issus de l'altération continentale, une partie des carbonates marins est dissoute en eau froide.

La précipitation biologique de carbonate de calcium se fait de diverses façons.

\* Des animaux fixés fixent le calcium dans leur squelette et édifient des constructions carbonatées (bioconstructions): c'est le cas des coraux (coelentérés), des bryozoaires, de certaines éponges.

\* des animaux benthiques fabriquent des coquilles ou tests calcaires qui sont transportés, brisés et accumulés après leur mort, par exemple: mollusques littoraux (gastéropodes, bivalves), oursins, foraminifères benthiques.

\* des micro-organismes et organismes planctoniques accumulent le carbonate de calcium dans leur test ou leur coquille qui tombent sur le fond après la mort: exemple des foraminifères planctoniques, des coccolithophoridés (à l'origine de la craie), des ptéropodes (gastéropodes pélagiques). Leur contribution devient prépondérante en haute mer.

\* des algues et des cyanobactéries (ou "algues bleues") précipitent le carbonate autour de leur thalle et agglomèrent les particules calcaires par des mucilages pour former des constructions appelées stromatolites.

Il existe également une précipitation purement chimique du carbonate autour de particules en suspension, quoique l'intervention de micro-organismes ne peut pas être exclue (formation des oolites).

Enfin, les sédiments carbonatés peuvent provenir du remaniement par les vagues de roches calcaires pré-existantes: sur les côtes atlantiques marocaines, les conditions actuelles sont plutôt favorables à la sédimentation silico-clastique mais les vagues remanient des dépôts quaternaires carbonatés et les mélangent aux éléments détritiques siliceux: les sédiments sont de composition mixte.

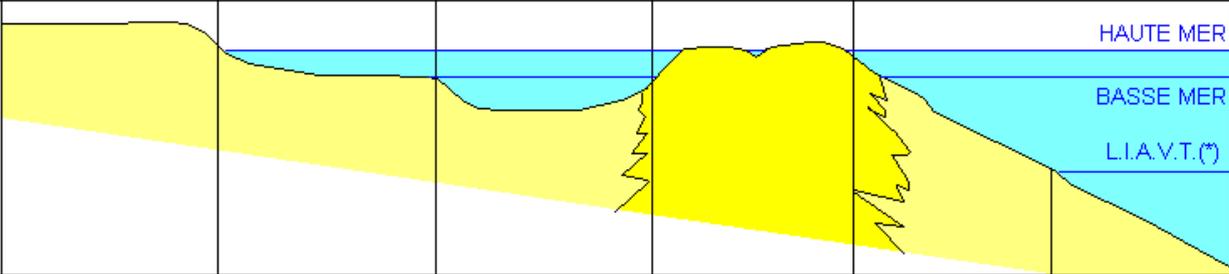
Les sédiments calcaires littoraux comprennent donc des constructions autochtones massives (récifs) ou réduites (stromatolites), des accumulations d'éléments brisés provenant de restes d'organismes ou de roches calcaires érodées, des vases calcaires formées des particules fines d'origine détritique, chimique ou biochimique, des précipitations carbonatées localisées autour de particules quelconques (oolites).

Le carbonate de calcium est sous forme d'aragonite, de calcite, de calcite magnésienne (contenant une quantité variable de  $MgCO_3$ ) et de dolomite ( $(Ca,Mg)CO_3$ ).

## 2. ZONATION DU LITTORAL ET SÉDIMENTATION

### 2.1 Disposition générale

La plate-forme littorale est généralement coupée par une barrière parallèle à la côte qui isole une plate-forme interne protégée d'une plate-forme externe soumise à l'action des vagues. Comme sur les plages à sédimentation silico-clastique, le balancement des marées détermine les zones supra-, inter- et sub-tidales.

MILIEUX	PLATE-FORME INTERNE			BARRIERE	PLATE-FORME EXTERNE	
ETAGE	Supratidal (supralittoral)	Intertidal (médiolittoral)	Subtidal (infralittoral)	Barre ou Barrière ( Récif)	Marin ouvert (circalittoral)	
						
ENERGIE	variable	moyenne à basse	basse	très forte	moyenne	basse
FAUNE	limnique saumâtre ou sursalée	benthique oligospécifique plus variée		constructeurs ou désert oolithique	benthique et pélagique Bryozoaires Echinodermes	
FLORE	Characées	Cynobactéries Stromatolites	Algues vertes Oncolites	Algues rouges		

(\*) Limite Inférieure d'Action des Vagues de Tempête

Figure 1: zonation d'un littoral à sédimentation carbonatée.

La distance de la barrière à la ligne de côte est très variable; lorsqu'elle est adossée au rivage, elle constitue les récifs frangeants. Les exemples actuels sont pris dans les îles Bahamas, le Golfe du Mexique, la "Grande Barrière" australienne, le Golfe Persique.

Le cas des atolls du Pacifique est particulier; la barrière de récif ceinture l'île et isole une plate-forme interne annulaire; si l'île s'enfonçe, ou le niveau général de la mer monte, la barrière isole un lagon circulaire.

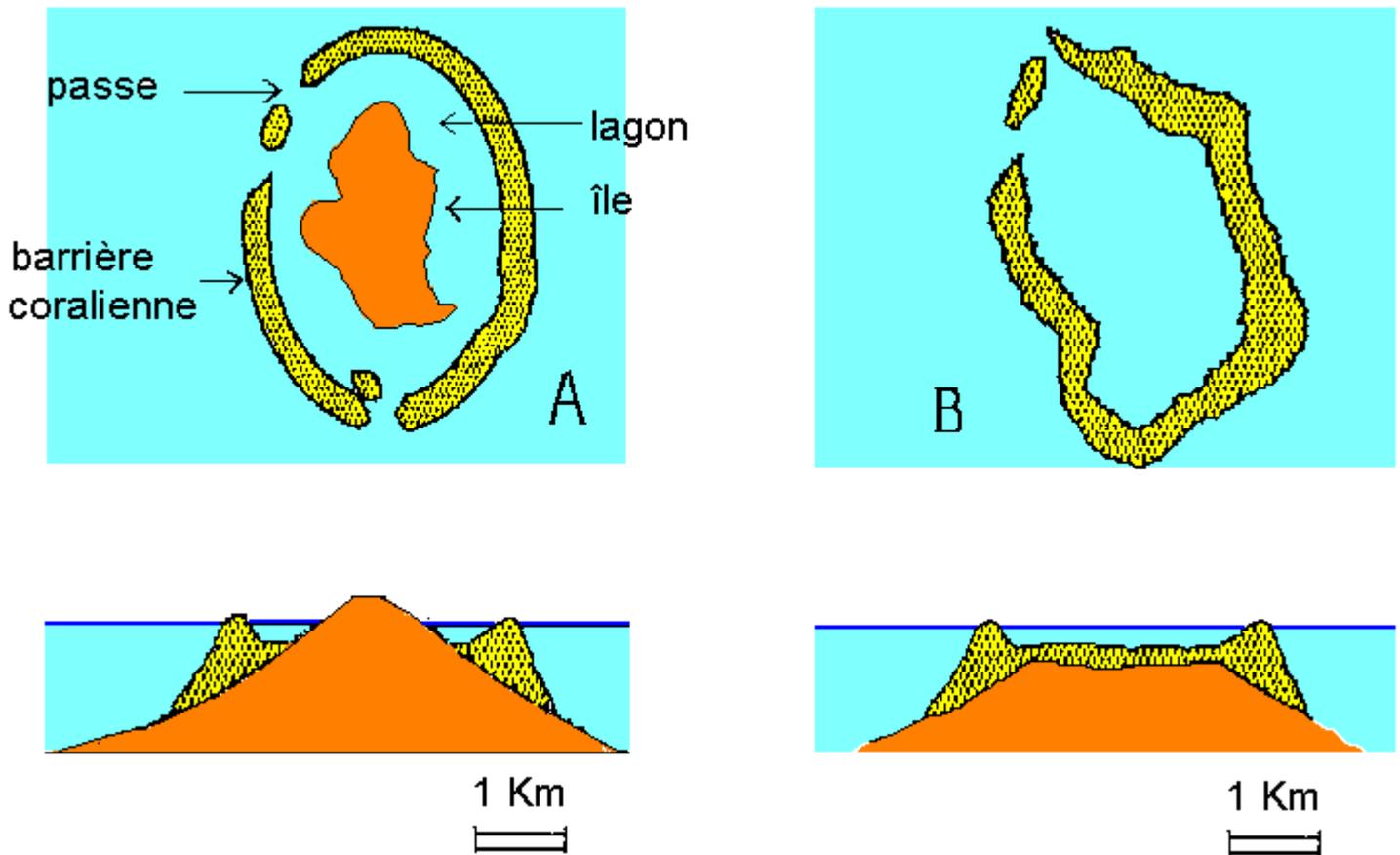


Figure 2: Formation d'un atoll. (A) cas actuel de l'île d'Uvea ; (B) cas de l'île de Tongareva (Polynésie).

## 2.2 La plate-forme interne

L'hydrodynamisme est faible, il augmente à marée haute, quand les vagues franchissent la barrière, et en face des passes. La zone intertidale correspond à un niveau d'énergie moyen à faible. Sur la plage s'accumulent un sable bioclastique, formé de débris de squelettes et coquilles calcaires. Des débris moyens à grossiers et des oolites se déposent dans les chenaux de marées. Dans la partie supérieure de la zone intertidale peuvent se développer des encroûtements ou des constructions algaires (stromatolites). Dans certaines régions prolifère la mangrove, végétation particulière faite de végétaux supérieurs adaptés à l'eau salée dont les palétuviers sont les plus représentatifs. La zone supratidale peut inclure des dunes éoliennes, des marécages et lagunes à tendance évaporitique (sebkha littorale). La zone subtidale est un milieu très calme de décantation; il s'y dépose une vase calcaire.

## 2.3 La barrière

La barrière est généralement construite par les coraux; elle est recouverte à marée haute mais partiellement émergée à marée basse; elle est localement interrompue par des passes qui mettent en communication la plate-forme interne avec le large et qui permettent la navigation. Le récif corallien représente une bioconstruction complexe dont la charpente est constituée par les coraux eux-mêmes (de nos jours des Hexacoralliaires) auxquels s'adjoignent des éponges, des bryozoaires, des algues encroûtantes, d'autres coelentérés... Il s'installe généralement sur un support solide, dans des eaux chaudes, agitées, limpides et de faible profondeur: la lumière est indispensable à la photosynthèse des algues symbiotiques que renferment les polypes. Des eaux turbides empêchent le développement des coraux: la grande barrière australienne est interrompue aux embouchures des fleuves côtiers.

Un très grand nombre d'espèces vivent dans le biotope particulier que constitue le récif: mollusques, échinodermes, poissons... (biocénose corallienne). La face externe de la barrière, du côté de la haute mer, est détruite par l'action des vagues; les éléments fins sont mis en suspension, des blocs s'éboulent sur la pente du récif. Le récif compense cette destruction par une croissance orientée par rapport à la direction du vent dominant qui génère les vagues. Du côté interne, l'action destructrice des organismes perforants ou brouteurs de récifs produit des particules fines qui se décantent dans le lagon.

Sur les côtes des pays tempérés existent quelques bioconstructions d'ampleur beaucoup plus limitée mais qui peuvent s'opposer à l'énergie des vagues et favoriser la sédimentation: c'est le cas de certaines algues incrustantes qui édifient des trottoirs et des platiers en Méditerranée, des récifs d'hermelles (annélides coloniaux fixées) dans la Baie du Mont Saint Michel.

## 2.4 La plate-forme externe

L'énergie sur le fond est moyenne dans la zone d'action des vagues. A partir d'une certaine profondeur, une cinquantaine de mètres, l'hydrodynamisme est très faible. Les sédiments se déposent en fonction de ce gradient d'énergie: éléments grossiers à proximité de la barrière, boue calcaire ou argilo-carbonatée au large. La faune comprend des espèces benthiques et pélagiques de haute mer. Lorsque la production et l'apport de carbonates sont importants, la plate-forme s'étend vers le large et prograde dans le bassin marin.

## 3. ROCHES CARBONATÉES NÉRITIQUES

La majeure partie des roches carbonatées des séries géologiques provient de la lithification de sédiments carbonatés littoraux.

### 3.1 Lithification du sédiment

La diagenèse des sédiments carbonatés commence très précocement. Elle comprend deux aspects principaux: (1) la cimentation, (2) la transformation isochimique des éléments ou néomorphisme. Des changements de composition chimique conduisent à la silicification ou la dolomitisation de la roche. Enfin l'enfouissement produit des dissolutions locales qui constituent des stylolites. La cimentation diffère selon la zone littorale considérée. Elle a été bien étudiée dans les milieux actuels.

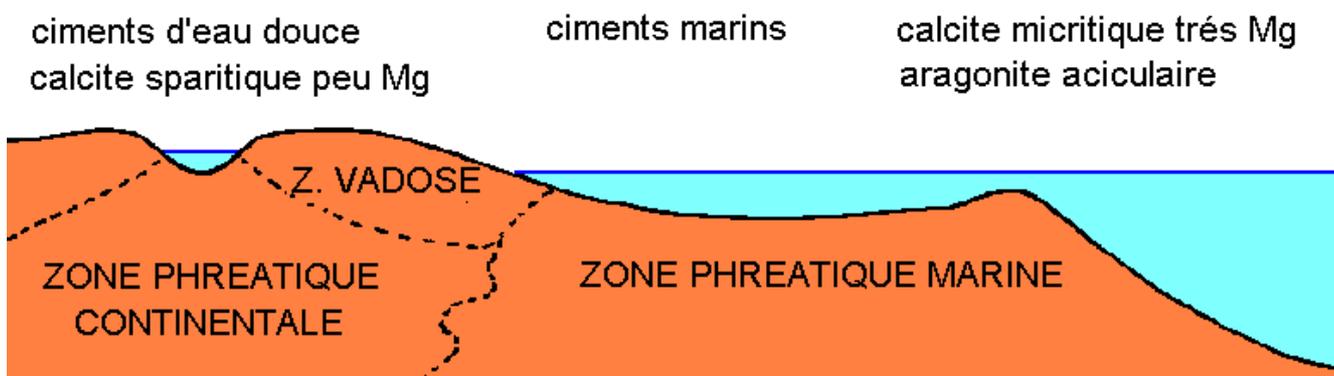


Figure 3: Diagenèse des sédiments carbonatés dans les principaux milieux littoraux.

Dans la zone supratidale et le domaine continental, les pores du sédiment sont remplis alternativement d'eau douce ou d'air dans la zone vadose ou constamment remplis d'eau douce dans la zone phréatique plus profonde.

\* En zone vadose, le carbonate précipite dans les vides d'abord sous forme de ciment gravitaire (ou

stalactitique) à la face inférieure des grains et de ciment en ménisque entre les grains. La précipitation se poursuit sous forme de calcite peu magnésienne en grande cristaux irréguliers (sparite drusique) qui peuvent se développer de façon syntaxiale (en continuité avec le réseau cristallin de l'élément entouré par le ciment: ce phénomène affecte surtout les débris d'échinodermes). L'aragonite des débris d'organismes est dissoute; le magnésium des grains en calcite magnésienne est lessivé.

\* En zone phréatique, le ciment est d'abord isopaque, en frange autour des grains; la sparite remplit ensuite les vides.

Dans la zone intertidale, les sables de plage sont cimentés par des cristaux aciculaires d'aragonite et de calcite magnésienne; le ciment est isopaque dans la zone phréatique marine; il est en ménisque dans la zone vadose.

Dans la zone subtidale, des cristaux aciculaires d'aragonite et des petits cristaux de calcite magnésienne remplissent les cavités des fragments calcaires d'organismes. Les grains sont rassemblés en agrégats, le fond peut être induré en surface ("hard ground" ou surface durcie). En milieu plus profond, la calcite magnésienne microcristalline domine.

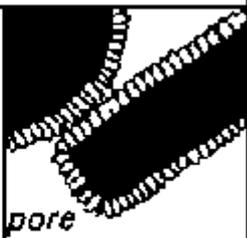
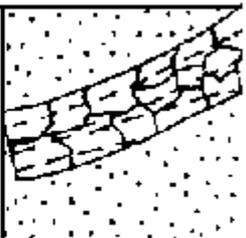
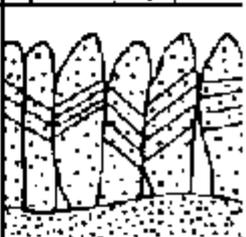
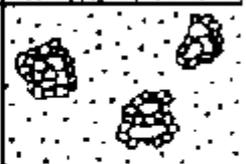
A. CIMENTATIONS	B. RECRISTALLISATIONS		
fibres ou aiguilles isopaques		calcitisation de squelette aragonitique	
sparite drusique		calcite fibreuse développée sur carbonate aciculaire	
ciment syntaxial		microsparitisation de calcilutite	
ciment microgranulaire		néomorphisme de dégradation	

Figure 4: Aspects de la diagenèse carbonatée en lame mince.

Les phénomènes de cimentation continuent pendant l'enfouissement; la calcite sparitique précipite dans les pores. Les cristaux changent de forme et de structure par recristallisation (néomorphisme): remplacement aragonite/calcite, calcite fibreuse/calcite micritique, recristallisation des grains squelettiques...La transformation de calcite en dolomite peut apparaître précocement, peu après le dépôt, ou dans les derniers stades de la diagenèse. La dolomite précipite actuellement dans les milieux supratidaux et évaporitiques. Les séries anciennes sont souvent dolomitisées par action des ions magnésium des eaux interstitielles. La silicification est un phénomène plus restreint; la silice, sous forme

de calcédoine ou de quartz, remplace les éléments squelettiques, se concentre en nodules ou couche ou cimente les grains; elle provient surtout de la dissolution des spicules d'éponges et des tests de radiolaires.

### 3.2 Structures des roches carbonatées

Les sédiments carbonatés contiennent des grains et de la boue carbonatée qui sont ensuite liés par un (ou plusieurs) ciment.

#### a) Les grains

Ce sont des fragments carbonatés d'organismes (grains squelettiques ou bioclastes) ou des grains d'autre origine (grains non squelettiques). Les grains squelettiques sont fournis par de nombreuses espèces qui varient selon les conditions des milieux et la période géologique.

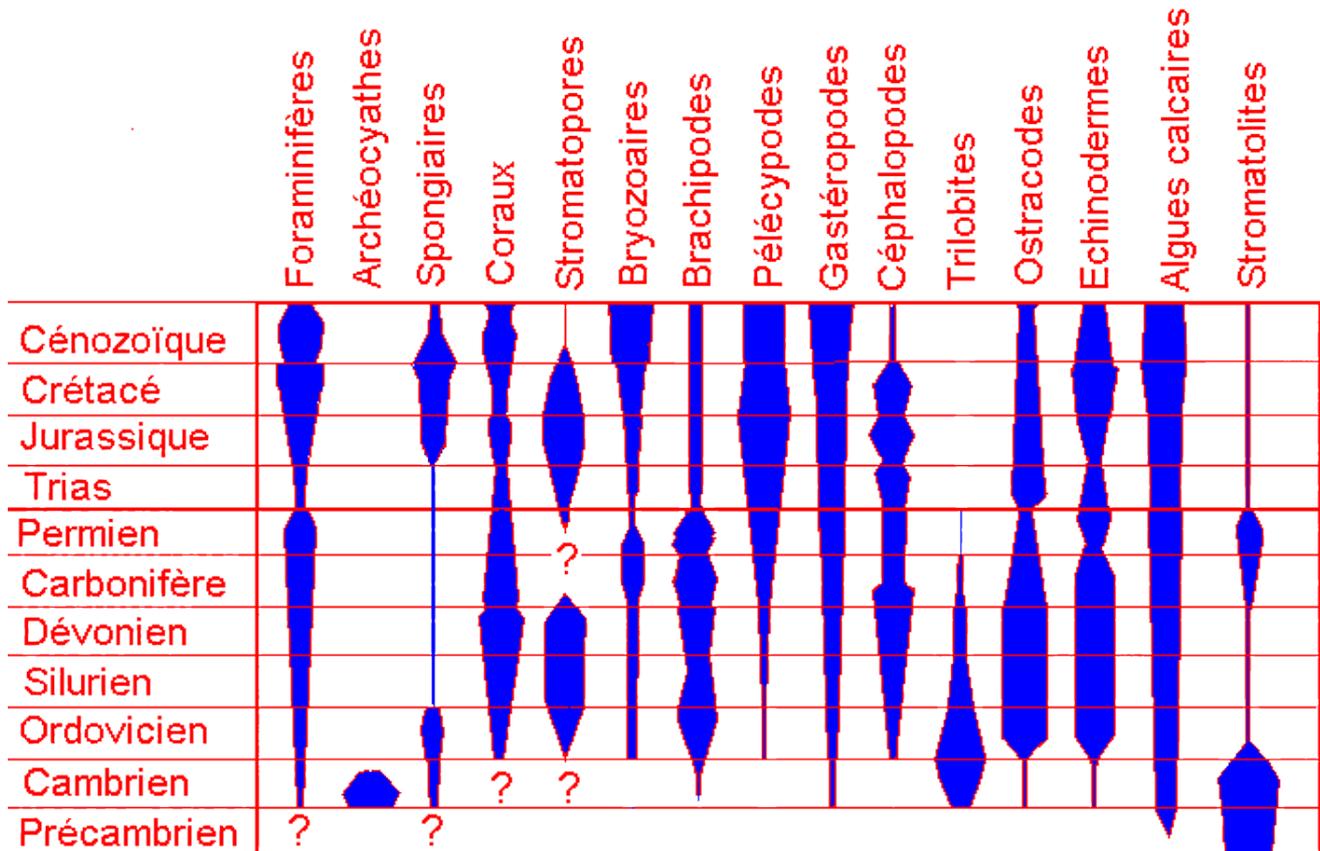


Figure 8-5: Principaux groupes fournissant des grains squelettiques.

Les bivalves et les gastéropodes sont nombreux dans les milieux littoraux et contribuent grandement à la sédimentation carbonatée. Les coquilles épaisses et résistantes, comme celles des huîtres, peuvent rester entières; les autres sont cassées et entrent dans la composition des sables (sables coquilliers).

Les coquilles des céphalopodes pélagiques s'accumulent surtout sur la plate-forme externe (calcaires et marnes à nautilus et à ammonites).

Les brachiopodes sont communs dans roches calcaires néritiques du Paléozoïque et Mésozoïque. Leur coquille est souvent conservée en entier. On les trouve plutôt dans les zones subtidales.

Les crinoïdes et les oursins, de l'embranchement des échinodermes, ont un squelette formé de plaques calcaires bien cristallisées qui se cassent facilement et forment une grande partie des bioclastes des zones subtidales.

Les foraminifères planctoniques jouent un grand rôle dans la sédimentation pélagique (voir chapitre suivant). Les foraminifères benthiques agglutinent souvent le sédiment.

Les coraux et les bryozoaires édifient des bioconstructions qui fournissent des débris de toute taille. Les algues vertes, rouges et les cyanobactéries précipitent le carbonate de calcium en petits cristaux (micrite) qui forment de véritables bioconstructions ou fournissent des parties fines aux sédiments.

Les grains non squelettiques comprennent les ooïdes, les péloïdes, les agrégats et les intraclastes. Les ooïdes sont des grains sphériques millimétriques composés d'une ou plusieurs couches autour d'un noyau central. Les oolites ont des lamelles concentriques, les pisolites sont des oolites plus grosses de taille centimétrique. Les grains revêtus (coated grains) n'ont qu'une couche autour du noyau. Les ooïdes à structure radiales s'appellent encore sphérulites.

Les péloïdes sont des grains arrondis ou allongés, parfois anguleux, formés de carbonate microcristallin (micrite). Beaucoup sont des déjections d'êtres vivants, comme les gastéropodes, les crustacés: ce sont alors des pellets. D'autres péloïdes proviennent de la transformation des bioclastes en micrite.

Les intraclastes sont des fragments de sédiment carbonaté partiellement lithifié. Les agrégats sont des particules agglomérées par un ciment micritique ou organique.

#### b) La boue carbonatée

Dans [les roches](#) calcaires, les grains sont souvent entourés par une phase calcaire microcristalline, la micrite, qui correspond à une boue déposée en même temps que les grains. Cette boue est généralement produite par la désintégration des algues fixant le calcaire, l'érosion des bioconstructions par les organismes perforants et l'usure mécanique des grains par l'agitation des algues; dans les lagons à tendance évaporitique, une précipitation purement chimique peut avoir lieu.

### 3.3 Classification des roches calcaires

Plusieurs classifications sont employées.

a) Classification de "type détritique" : elle repose sur la taille des grains: calcirudites (> 2mm), calcarénites (entre 2 mm et 62 µm) et calcilutites (> 62 µm).

b) Classification de Folk, reposant sur la nature des grains (ou allochems), de la matrice et du ciment.

Principaux allochems	LIANT A CRISTAUX > 4 μ		LIANT A CRISTAUX < 4 μ	
bioclastes (squelettes calcaires)	biosparite		biomicrite	
oolithes, ooides (< 2mm)	oosparite		oomicrite	
pelotes fécales, péloïdes (< 2mm)	pelsparite		pelmicrite	
intraclastes (clastes divers)	intrasparite		intramicrite	
calcaire formé in situ	biolithite (calcaire construit)		dismicrite (calcaire fenestré)	

Figure 6: Classification de Folk.

c) Classification de Dunham, répartissant [les roches](#) d'après leur texture, c'est à dire la disposition respective de grains et la quantité de matrice ou ciment.

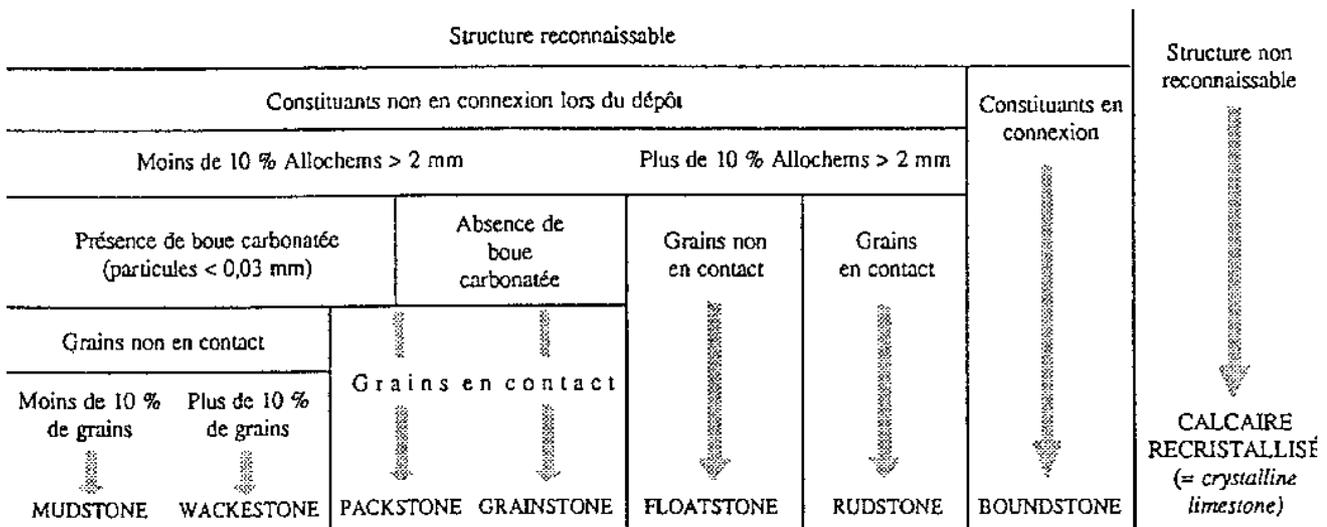


Figure 7: Classification de Dunham.

[Les roches](#) les plus fréquentes sont les grainstones (oosparites et biosparites), les wackestones (biomicrites et pelmicrites) et les boundstones (biolithites).

## MILIEUX MARINS LITTORAUX ET FACIES CARBONATES

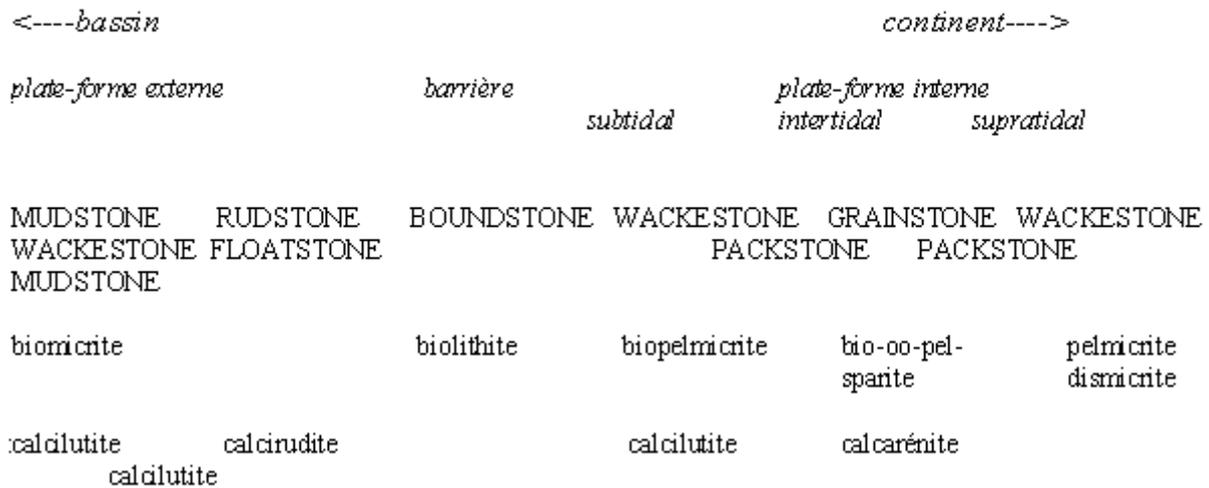


Figure 8: Milieux marins littoraux et faciès carbonatés; la terminologie des 3 classifications est utilisée.

### 3.4 Les calcaires dans les séries géologiques.

Bien que de nombreux stromatolites, souvent de grandes tailles, soient connus dans les séries du Précambrien, les grands dépôts de plate-forme carbonatée commencent au Cambrien. Des bioconstructions sont édifiées par des organismes coloniaux proches des éponges (?), les Archéocyathes. Comme beaucoup d'autres calcaires paléozoïques, ces carbonates sont souvent dolomitiques. A partir du Dévonien se développent les récifs de coraux (Tétracoralliaires, Tabulés) qui déterminent des milieux de sédimentation assez proches de ceux de nos jours; les bioconstruction dévoniennes et dinantiennes de l'Ardenne sont célèbres.

Au cours du Mésozoïque, les milieux de plate-forme carbonatée se développent sur l'Europe: série carbonatée triasique des Dolomites, série jurassique du Jura, de Bourgogne, des chaînes subalpines...

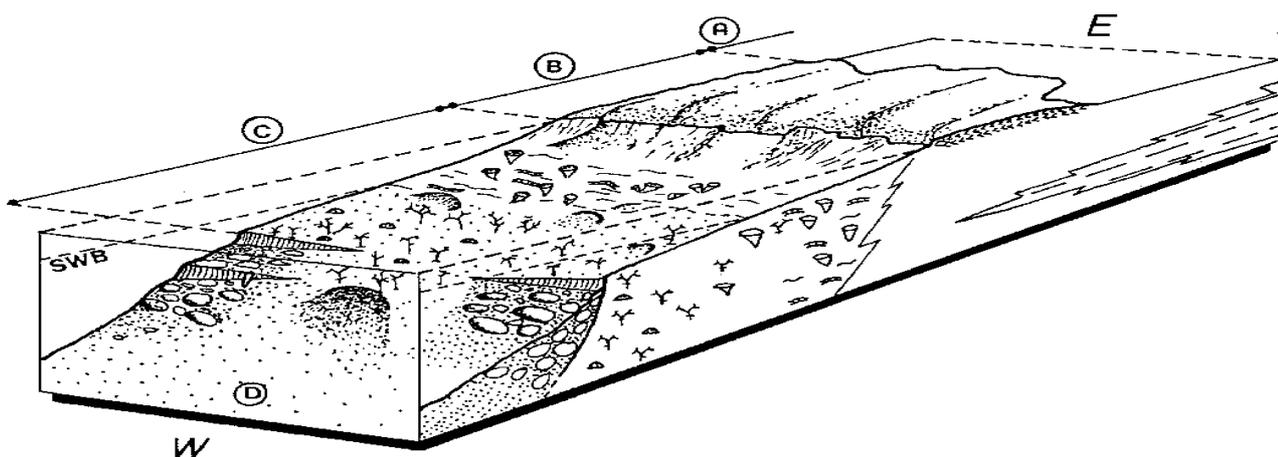


Figure 9: Reconstitution d'un milieu récifal au Carbonifère. (A) plate-forme interne; (B) récif mort; (C) récif vivant; (D) pente récifale ; (SWB) limite inférieure d'action des vagues