

LES ENVIRONNEMENTS SEDIMENTAIRES

LES MILIEUX CARBONATES

(Milieu et sédimentation récifale)

I. INTRODUCTION :

A côté des unités morphologiques : plateau continental, pente continentale - talus et glacis- et grands fonds, résultant de la structure de la croûte terrestre, une unité morphologique très particulière résulte **de l'action des organismes** : elle est constituée par **des récifs**. Les récifs se présentent surtout **sur le talus continental**, mais on peut **trouver aussi en milieu franchement océanique (atolls)**. Les récifs sont connus sous le nom de **récifs coralliens (= récifs organique)** car **les polypiers** ne sont pas les seuls organismes responsables de la croissance de ces constructions. Le terme de récif est à l'origine un terme de navigateur. Un récif pour un marin est un édifice qui présente un danger pour la navigation.

Dans les séries géologiques anciennes, il existe **trois termes** :

1. Biohermes : édifices coralliens construits par des **organismes constructeurs (en général des coraux ou des algues)** restés le plus souvent **en position de vie**. Elle une forme **en lentille** ou en **dôme épaisse**, non litées et indépendante de la stratification des couches avoisinantes (**Fig.213**).

2. Biostromes : édifices coralliens construits par des **organismes constructeurs, d'épaisseur faible** par rapport à son diamètre, et forme une **couche interstratifiée** dans les couches avoisinantes (**Fig.213**).

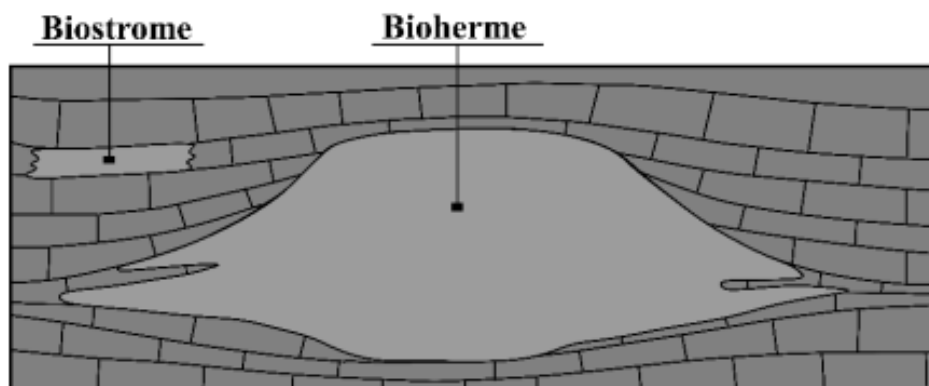


Fig.213.Aspect géométrique d'un bioherme et d'un biostrome

3. Mud Mounds : encore appelés "*micritic mounds*" sont des constructions en **lentilles ellipsoïdales** ou en **forme de dômes (Fig.215)**. Leur **matrice est une micrite (*mud*)** structurée par une **construction interne** liée aux **Madrépores, Stromatopores ou algues**. La **structure externe** de ces mud mounds **apparaît massive** et se montrent très apparente dans le paysage. Les **dépôts terrigènes** ou **bioclastiques** se retrouvent à la base constituant la "**sole**" de la construction. Les **calcarénites** scellent complètement la zone sommitale (top). Il est appelé également "**récif écologique**". Il est constitué d'une seule masse récifale **sans discontinuité internes**. La construction s'est faite pendant une période donnée (**T1-T2**), les surfaces isochrones ultérieures (**T3-T4**) viennent buter sur la masse récifale (**Fig.214**).

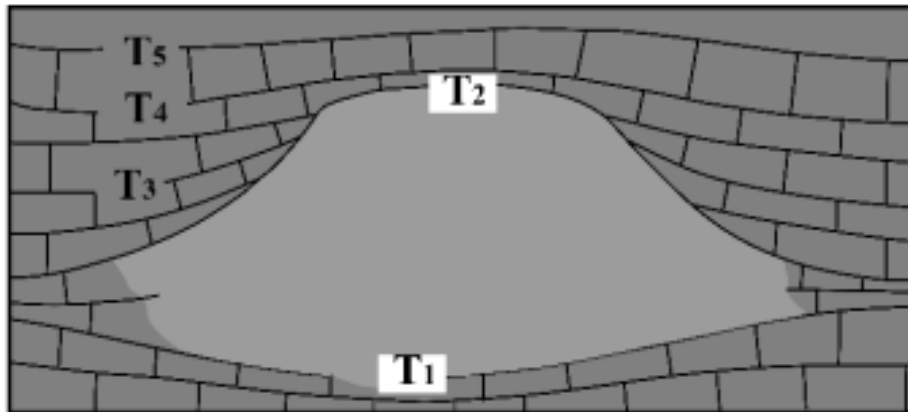


Fig.214. Aspect géométrique d'un "mud mound" ou récif "écologique"



Fig.215. Mud-mounds du Dévonien moyen ; Bassin de l'Ahnet, Sahara algérien

4. **Récif "stratigraphique"** : constitué par l'empilement de plusieurs biohermes successifs où les discontinuités internes permettent de retrouver les isochrones (T1 à T5) (Fig.216).

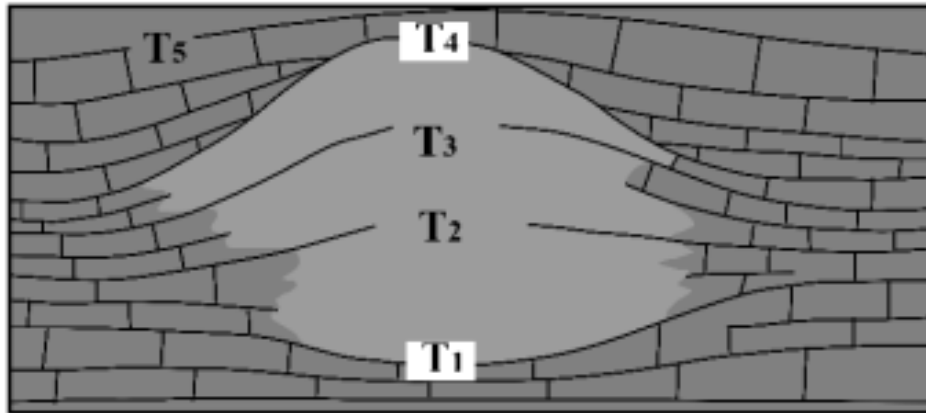


Fig.216. Aspect géométrique d'un récif "stratigraphique"

II. DEFINITION D'UN RECIF :

Il s'agit d'un édifice construit au fond de la mer. La masse récifale n'est pas construite uniquement par **les organismes constructeurs vivants : coraux ou algues calcaires** mais aussi par son auréole de débris qui, en volume, est souvent beaucoup plus importante que la masse construite elle-même (Fig.217). L'ensemble organisme constructeur et débris forme le "complexe récifal".



217. Récif d'âge Messinien de Souk el Khemis (Wilaya de Tlemcen)

III. CONDITIONS D'EXISTENCE DES RECIFS CORALLIENS :

1. Profondeur faible (- 35 m < optimum < - 40).
2. Eaux claires laissant la lumière solaire nécessaire à la fonction chlorophyllienne des algues symbiotiques.
3. Eaux à salure normale.
4. Eaux agitées et aérées
5. Température > 20°C pour les **coraux subtropicaux** et 23°C pour les **coraux tropicaux**.
6. Eaux claires laissant la lumière solaire nécessaire.
7. Substratum solide : les coraux prospèrent et se pullulent sur un substratum solide entre **35 m et 40 m**.
8. Leur vitesse d'accroissement est estimée à **03 cm/an**.

Les coraux ne sont constructeurs que dans la limite assez étroite déterminée par la température des eaux, leur profondeur, le degré de salinité et turbidité. Ces conditions sont localisées généralement dans **les zones tropicales ou équatoriales**. En dehors de ces limites, les coraux peuvent vivre isolément mais **ne donnent pas d'édifices**, ce sont les **coraux profonds = ahermatypiques** de *l'étage épibathyal*.

NB : Il en résulte que les coraux n'existent pas au débouché des fleuves qui amènent des eaux douces plus ou moins troublées, ni le long des côtes ouest de l'Amérique et de l'Afrique sièges de courants ascendants froids.

IV. CLASSIFICATION DES RECIFS (Fig.218) :

On distingue :

A. Morphologie générale :

1. **Les récifs frangeant (Fig.218)** : ils bordent une côte rocheuse de près.

2. Les récifs barrières (Fig.218) : ils forment un cordon à une certaine distance du continent dont ils sont séparés par un lagon (zone lagunaire).

Ex. : Des récifs barrières sont connus dans la série géologique. L'exemple le plus spectaculaire, c'est le « Capitan-Reef » dans le Permien de l'ouest de Texas.

3. Les récifs de plate-forme (patch reef) (Fig.218) : ils sont des récifs isolés plus petits et sans lagon.

Ex. : récif des Bahamas (très étudiés par les Américains)

4. Les atolls (Fig.218): sont des récifs les plus spectaculaires et les plus étudiés. Leur forme est circulaire (annulaire) plus ou moins régulière, dessinant en plein océan une ceinture discontinue autour d'une lagune centrale (lagon), communiquant par des passes avec le large (océan).

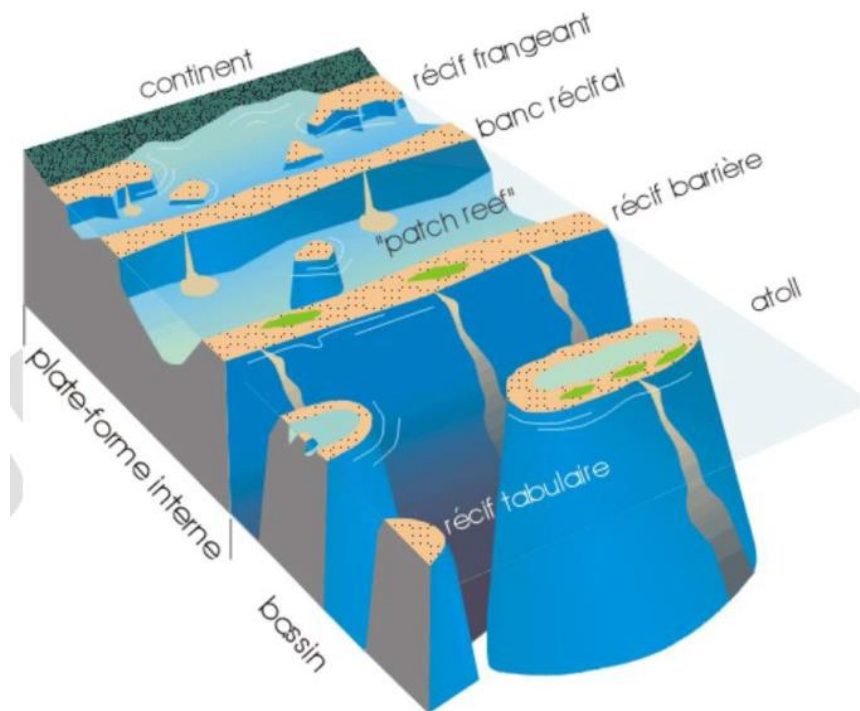


Fig.218. Différents types de récifs

V.ZONATION DES RECIFS (Fig.219) :

On distingue dans un récif frangeant, les unités suivantes en allant de la côte vers le large :

1. Zone côtière en arrière récif (*Back-reef shoals ; a*) : la sédimentation y est caractérisée par des sables calcaires et des boues formées de débris d'organismes, bien roulés. La sédimentation rapide de **calcaires dans les eaux chaudes** donne des **calcaires à *Miliolae***. Les faunes sont composées de *Miliolidae*, *Peneroplidae*, *Alveolinidae*, *Planobulinidae*, *Rotalinidae*, *Amphisteginidae* et *Orbitolinidae*.

2. Mur récifal (*Reef-wall. ; b*) : c'est le récif lui-même, se caractérise par des cavités remplies par des débris ou de calcaires précipités. La roche qui en résulte n'est pas stratifiée ; elle est très irrégulière et hétérogène. Les organismes sont des constructeurs de récifs : coraux, algues, bryozoaires, rudistes et foraminifères : *Amphistegina* et *Rotalia*.

3. Pente du talus récifal (*Reef-talus slope ; c*) : il est formé de débris en stratification. Ces débris sont anguleux, car ils sont tombés rapidement sous la limite d'action des vagues (**LAV**). Les interstices sont remplis de boue calcaire. On y trouve des échinodermes et des grands foraminifères. Quelques organismes constructeurs des récifs y vivent.

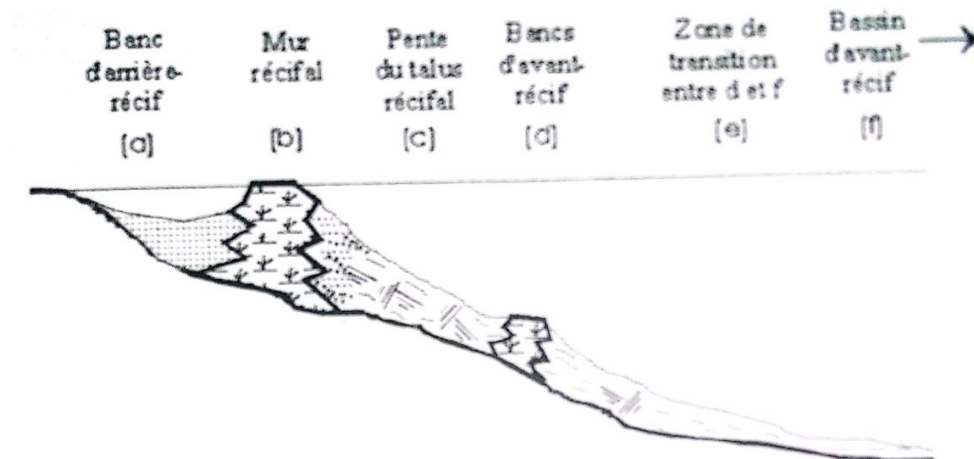


Fig.219. Répartition des sédiments et des fossiles en milieu récifal et pérorécifal

4. Banc d'avant récif (*Fore-reef shoals ; d*) : on y trouve des débris détritiques accumulés en bancs sous l'effet des marées. Les grands foraminifères y sont abondants et robustes : *Nummulitidae*, *Peneroplidae*, *Alveolinidae*, *Rotalidae*, *Myogipsinidae*, *Orbitolinidae* et *Lituolidie*.

5. Zone de transition (*fore-reef transition zone ; e*) : comme son l'indique, c'est une zone de transition entre la zone d et f. Elle est très étendue.

6. Bassin d'avant récif (*Fore-reef basin ; f*) : on quitte le récif pour entrer dans le bassin, où se déposent de craies à grains fins, à *Globigérines*, des calcaires, des argiles et des faunes pélagiques.

VI. MODELES BIOCONSTRUITS :

A. Facteurs autocyclus et allocycliques :

Deux facteurs essentiels rentrent en jeu :

1. Facteurs du 1^{er} ordre : ils déterminent si le milieu est propice ou non. Ce sont :

- **La tectonique locale** (profondeur, eustatisme et variation du niveau marin)
- **Le climat** (vents, houles, vagues, courants)
- **L'action de la lune et du soleil** (marées).

2. Facteurs du 2^{ème} ordre : ils montrent l'installation des peuplements benthiques constructeurs, parmi eux les Bryozoaires, Cnidaires, Algues...

- **La profondeur**
- **La salinité**
- **La température.**

Le renouvellement des eaux d'où apport planctoniques et nectoniques est important.

B. Texture de roches et faciès :

Tous ces facteurs précédents réunis, nous donnent l'élaboration d'une **formation bioconstruite dont trois mécanismes** la régissent (**Fig.220**) : **construction (*Framestone*)** ; **encroûtement (*Bindstone*)** ; **piégeage entre les cavités et polypes (*Bafflestone*)**.

La roche formée (***biolithe***) est l'objet d'une érosion mécanique et biologique, ce qui donne naissance à une série biodétritique.



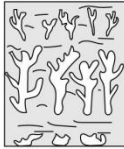
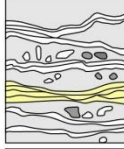
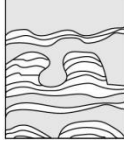
Composants non liés ensemble au moment du dépôt (éléments allochtones)	Composants liés ensemble au moment du dépôt (boundstone) (éléments autochtones)
<p>> 10 % de grains > 2 mm</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;">  <p>Floatstone Éléments non jointifs inclus dans une matrice</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">  <p>Rudstone Éléments jointifs (roche majoritairement constituée de clastes)</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;">  <p>Bafflestone Calcaires construits par des organismes branchus disposés perpendiculairement au courant, qui piègent les sédiments</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">  <p>Bindstone Calcaires construits par des organismes tubulaires ou lamellaires qui encroûtent les sédiments ou les débris de matériaux contemporains au dépôt (algues)</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">  <p>Framestone Calcaires construits par des organismes massifs, qui forment l'armature de la roche (coraux massifs des barrières coralliennes)</p> </div> </div>

Fig.220. Classification des calcaires récifaux (d'après Embry et Klovan (1971))

Il s'agit ici d'une extension de la classification de **Dunham (1962) (221)**. Ce dernier avait proposé le terme de **Boundstone** pour toutes roches qui, à l'origine était constituée en partie d'organismes et en partie de sédiments, et où les organismes avaient un rôle de liant (**roche autochtone**).

Cette classification a été modifiée par **Embry et Klovan (1971)** pour s'appliquer plus particulièrement aux faciès récifaux. Les **Boundstones** ou roches autochtones comprennent **trois catégories** :

1. Les Framestones constituées d'une charpente d'organismes à squelettes massifs et rigides (ex. les coraux scléactiniens actuels, certains Stromatopores du Silurien-Dévonien).

2. Les Bindstones formées d'organismes lamellaires encroûtants et/ou stabilisant les sédiments (ex. les algues rouges corallines des crêtes calcaires actuelles, les récifs à stromatopores lamellaires, tissus microbiens du Silurien-dévonien).

3. Les Bafflestones formées d'organismes souvent branchus qui piégeaient les sédiments en amortissant l'énergie (ex. certains coraux branchus actuels, les bryozoaires du Carbonifère, les coraux rugueux du Paléozoïque).

Chez les roches allochtones, on a ajouté deux catégories aux **mudstones** – **wackestones** – **packstones** - **grainstones** de Dunham pour désigner les roches dont les particules sont plus grossières que 02 mm : les **Floastones** dont les particules flottent dans une matrice plus fine, et les **Rudstones** dont les particules sont jointives.

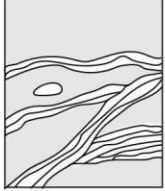
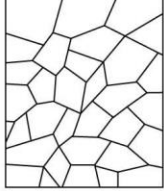
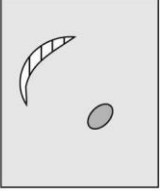
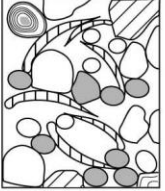
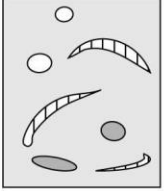
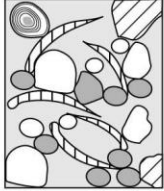
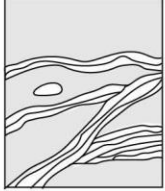
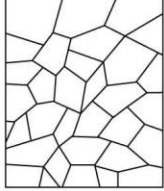
Texture d'origine reconnaissable				Composants liés au moment du dépôt	Texture d'origine non reconnaissable
Composants non liés ensemble au moment du dépôt		Composants liés ensemble au moment du dépôt			
Présence de boue carbonatée		Pas de boue			
Grains non jointifs < 10% de grains		Grains jointifs		 Boundstone	 Crystalline
 Mudstone		 Grainstone			
> 10% de grains  Wackestone		 Packstone		 Boundstone	 Crystalline

Fig.221. La classification simplifiée des roches carbonatée selon Dunham (1962)

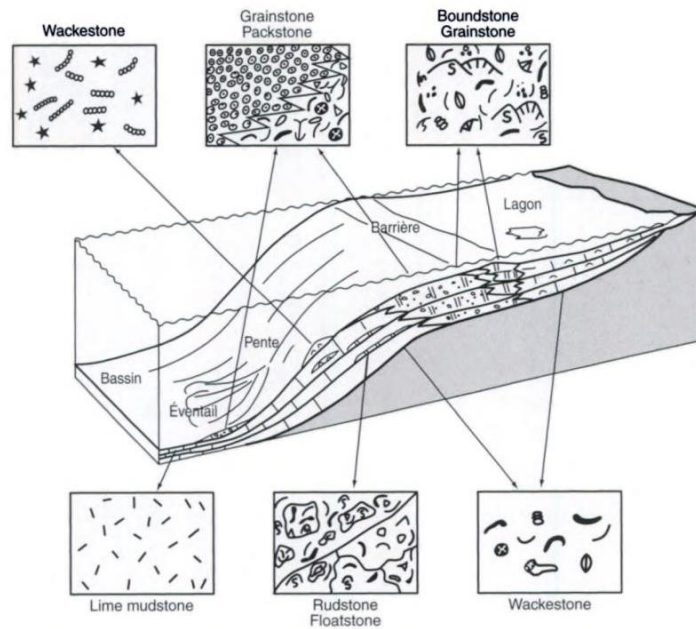


Fig.222. Coupe schématique montrant la plate-forme carbonatée/rampe avec les zones carbonatées et les types texturaux représentatifs (Dunham ; 1962 et Embry et Klovan ; 1971)

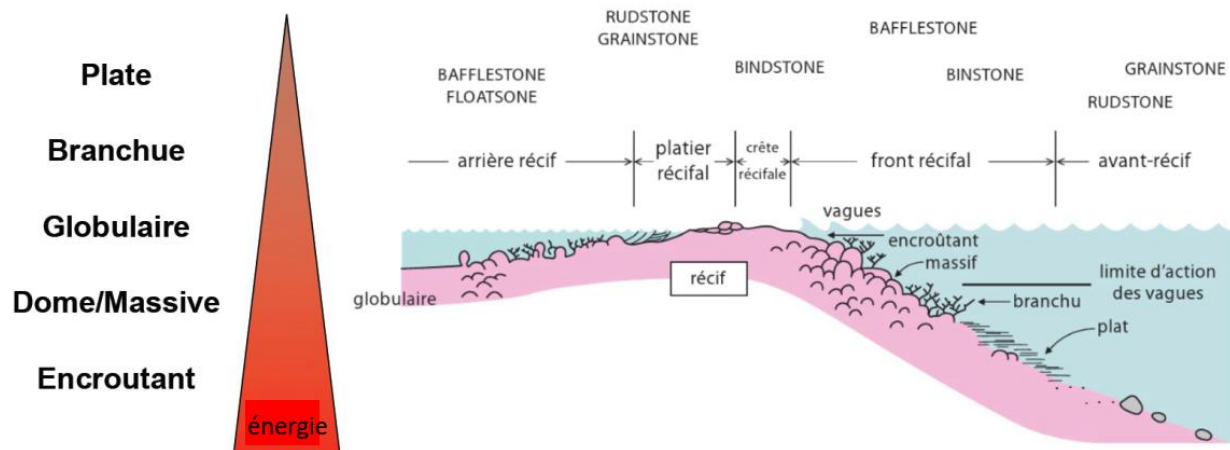


Fig. 223. Répartition théorique des différentes formes de constructions et des microfaciès à travers un récif (d'après James, 1983)

VII. EUSTATISME ET CROISSANCE RECIFALE (Fig.224) :

Les communautés biologiques qui forment les bioconstructions sont étroitement dépendantes de la bathymétrie et donc des fluctuations du niveau marin. Par conséquent, les récifs doivent s'y adapter en fonction des exigences imposées par les conditions paléogéographiques régnautes.

La réponse de la croissance récifale à la montée du niveau marin, peut se traduire de plusieurs façons. En général, **trois situations majeures** peuvent affecter les récifs d'après **Neumann et Macinthyre (1985)** :

1. Le récif renonce à suivre le niveau marin (*Give up*)....**Retrogradation (Production << Niveau marin)**
2. Le récif suit le niveau marin (*Keep up*).....**Aggradation (Production = Niveau marin)**
3. Le récif rattrape le niveau marin (*Catch up*).....**Progradation (Production > Niveau marin)**

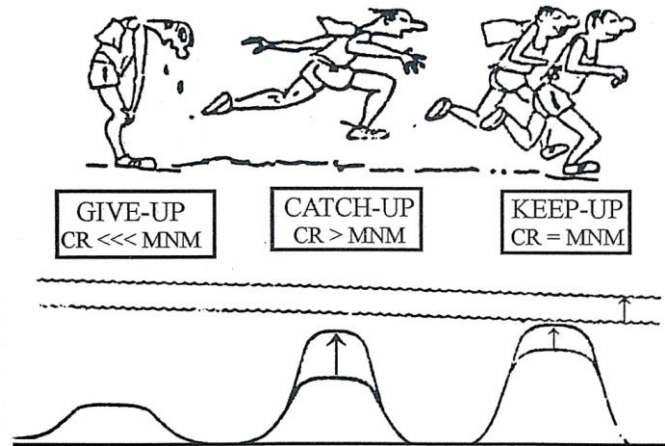


Fig.224. Réponse de la croissance récifale aux montées du niveau marin (Neumann et Macintyre, 1985).

A. Situation :

1. Situation d'abandon "Give-up" : Dans ce cas, la vitesse de croissance récifale est inférieure à la montée du niveau marin. Le récif ne peut pas suivre le niveau marin. Cette situation arrive lorsqu'il y a une remontée rapide du niveau marin. Les bioconstructions sont étouffées ou noyées par la sédimentation fine d'eau profonde.

2. Situation de suivi "Keep-up" : Dans ce cas, la séquence montrera un faciès relativement uniforme de la base vers le sommet. Le rythme de la croissance récifale est maintenu. Il est à peu près égal à la vitesse de la montée du niveau marin. Sur les flancs où la sédimentation ne peut plus suivre le même rythme, on constate un drapage du récif par les couches de sédiments qui viennent recouvrir l'anomalie récifale (*on lap*).

3. Situation de rattrapage "Catch-up" : Dans cette situation, la croissance récifale est supérieure à la vitesse de la montée du niveau marin. La séquence récifale est caractérisée par une zonation verticale. Elle s'exprime par un hydrodynamisme croissant dans le récif, de la base vers le sommet et par un empilement de construction, intercalé de passages rapides de faciès profonds.

B. Les séquences récifales :

Les trois séquences illustrées ici sur la figure 225, représentent la succession qui résultera de la réponse des communautés dépendantes de la bathymétrie à une montée du niveau marin, à la hauteur du point A (encadré), pour les trois stratégies *keep-up*, *catch-up* et *give-up*.

1. La séquence de *keep-up* montrera un faciès uniforme, de la base au sommet de la coupe, puisque la communauté maintient au **rythme de croissance égal à la vitesse de montée du niveau marin**.

2. La séquence de *catch-up* présentera une zonation verticale qui, de la base au sommet, s'exprimera d'abord par le passage très rapide du **faciès peu profond au faciès profond (*deepening upward*)**, correspondant à une courte période où la communauté a réagi trop lentement à la montée du niveau marin, puis progressivement la succession des **faciès profonds, intermédiaires et peu profonds (*shallowing upward*)**, correspond à un rattrapage progressif.

3. La séquence de *give-up* présentera, de la base vers le sommet, **un passage du faciès peu profond au faciès profond (*deepening upward*)**, puis sera **chapeauté par un hiatus ou une surface indurée (*hard-ground*)**, ou recouverte de **faciès non-récifaux d'eau profonde**, correspondant à **la démission de la communauté récifale**.

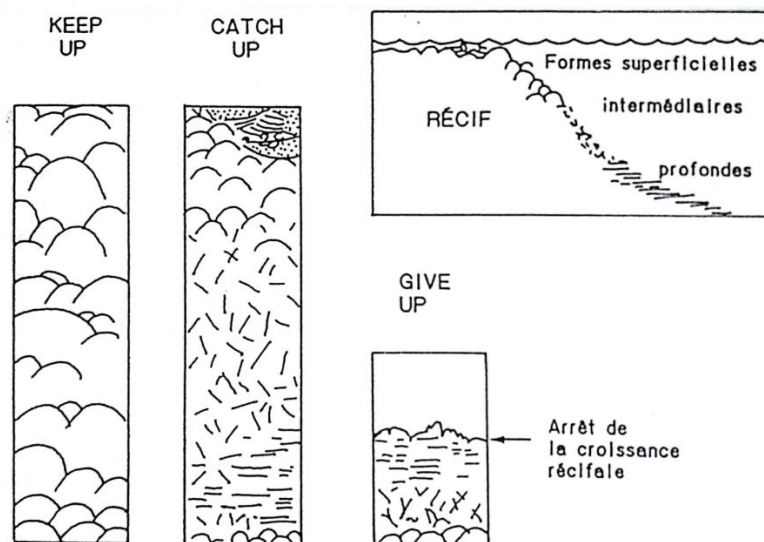


Fig.225. Trois successions verticales résultant de la réponse des communautés récifales à la montée du niveau marin

C. Stades écologiques d'évolution d'un récif :

Quatre stades écologiques ont été distingués (Fig.226):

1. **Un stade de stabilisation**, pendant lequel se développent des **barres d'accumulation de sables calcaires coquillers (pelmatozoaires, lamelibranches, brachiopodes, algues calcaires)** sur lesquelles **s'implantent des prairies sous-marines qui stabilisent le substrat.**

2. **L'état de colonisation**, voit de **l'apparition de quelques espèces constructrices**, le plus souvent massives ou lamellaires, cependant des **blocs monospécifiques de formes branchues** peuvent exister.

3. **Le stade de diversification**, voit au moins doubler, **le nombre de type de constructeurs et les biotopes associés se diversifier ce qui augmente la production de débris organiques.** Les structures construites sont alors suffisamment conséquentes pour modifier l'hydrodynamisme et la sédimentation.

4. **Le stade de domination**, se marque **une réduction des types de constructeurs** où dominent les formes **lamellaires et encroûtantes**, adaptées aux **eaux très agitées.**

Les **deux premiers stades** correspondent à des **stades pionniers** constitués de **formes opportunistes à large répartition géographique.** De petite taille, solitaires, à croissance et taux de reproduction rapides, elles tolèrent des eaux turbides et peuvent s'adapter facilement à de nouveaux substrats. Les assemblages sont peu diversifiés et les fossiles groupés en amas séparés.

Les **deux derniers stades** sont **des phases matures (climax)** où les communautés sont composées d'espèces spécialisées endémiques occupant des niches écologiques restreintes (donc très sensibles aux fluctuations de l'environnement). Les taux de croissance sont lents mais les individus sont de grande taille et présentent une grande variété de formes.





TYPE	STADE		MICROFACIÈS	DIVERSITÉ	FORME
RÉCIF	Domination		Bindstone Framestone	Faible	Laminée Encroûtante
	Climax Diversification		Framestone Bindstone	Forte	Dôme Massive Lamellaire Branchue Encroûtante
MONTICULE	Colonisation		Bafflestone Floatstone	Faible	Branchue Lamellaire
	Pionnier Stabilisation		Grainstone Rudstone	Faible	Débris Squeletiques

Fig.226. Succession schématique des différentes communautés biologiques au cours du développement d'une construction récifale (d'après James, 1983)

IX. INTÉRÊT ECONOMIQUE DES RECIFS :

Les calcaires récifaux sont plus favorables à l'accumulation de pétrole. Le type le plus connu de réservoir de pétrole lié à un récif est celui du champ de Leduc dans l'Alberta (Canada) (Fig.227).

La production y a été trouvée dans deux zones de calcaires dolomitiques Dévoniens. Le gisement est de type stratigraphique et dû à l'existence d'un massif récifal dont les couches du bas sont de type transgressif, et celles du haut de type régressif. La couverture est formée par de l'anhydrite. La présence de l'anhydrite à ce niveau est tout à fait normale, le récif supérieur étant de type régressif. La mer s'est retirée et derrière elle s'est installé un régime lagunaire, avec précipitation d'anhydrite.

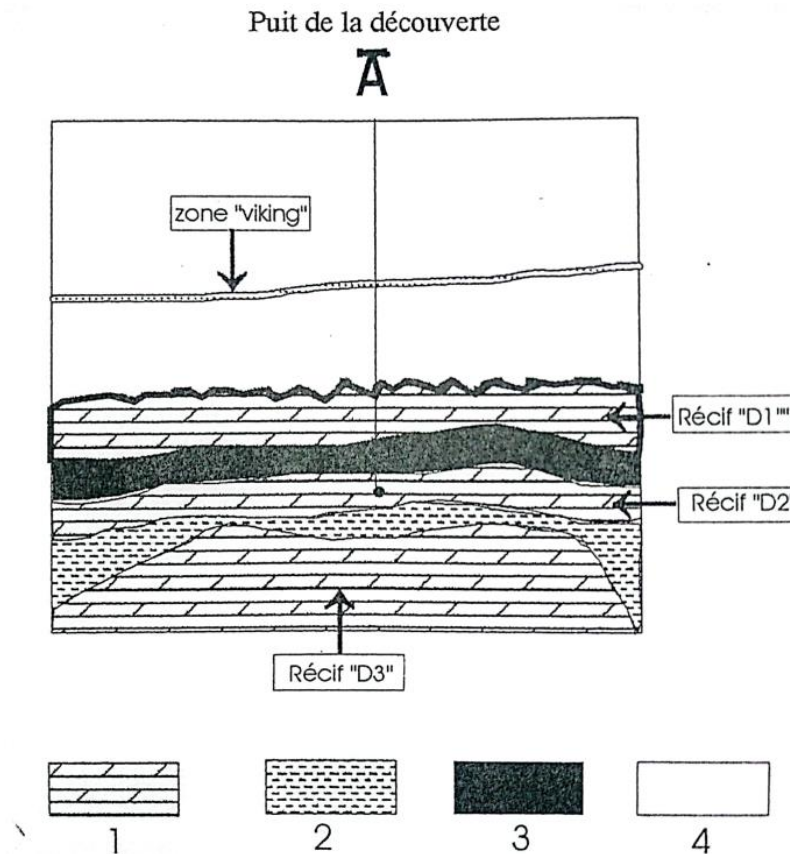


Fig. 227. Coupe schématique du champ de Leduc (Alberta, Canada).

1. Calcaires dolomitiques (Dévonien) ;
2. Marnes vertes ;
3. Couches rouges à anhydrites ;
4. Crétacé inférieur