

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

#### Les Stromatopores dans l'évolution d'un paléoenvironnement biostromal frasnien de Tailfer (Nord de Dinant)

Mergen, Patricia

*Award date:*  
1995

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

0 1 DEC. 1995

**FACULTES UNIVERSITAIRES N.-D. DE LA PAIX  
NAMUR  
FACULTE DES SCIENCES**

---



**Les Stromatopores dans l'évolution d'un  
paléoenvironnement biostromal frasnien de Tailfer  
(Nord de Dinant)**

Mémoire présenté pour l'obtention du grade  
de Licencié en Sciences  
biologiques

**MERGEN Patricia  
Décembre 1995**

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix  
FACULTE DES SCIENCES  
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR  
Tél. 081/72.41.11 - Telex 59222 Facnam-b - Telefax 081/72.44.20

## Les Stromatopores dans l'évolution d'un paléoenvironnement biostromal frasnien de Tailfer (Nord de Dinant)

MERGEN Patricia

### Résumé

Dans le cadre d'une étude paléocéologique d'un biostrome frasnien (377-367 Ma B.P.), un examen détaillé des parois accessibles dans l'ancienne carrière de Tailfer (Profondeville, au Sud de Namur, Belgique) a été effectué. Les résultats, après confrontation avec les descriptions antérieures, nous ont permis d'apporter des données nouvelles sur l'orientation des Stromatopores et sur le paléoenvironnement du site, concernant notamment des surfaces d'émersions et les tempestites.

### Astract

A paleological study of a frasnian Biostrom (377-367 MY B.P.) has been carried out by a detailed examination of some plane-cut walls of the ancien quarry of Tailfer (Profondeville South of Namur, Belgium). Some comparisons with previous descriptions brought new informations about Stromatopores orientation and the Paleoenvironment of this site such as surfaces of subaerial exposures and storm deposits.

Mémoire de licence en Sciences Biologiques

Décembre 1995

Promoteur : C. Gillet

Co-promoteurs : P. Overlau & C. Cornet

## *Remerciements:*

*Au terme de ce travail je tiens à remercier tout particulièrement*

*P. Overlau pour ses conseils, sa présence lors des études de terrains, et son initiation aux techniques d'escalade.*

*C. Cornet pour son aide et ses conseils forts judicieux et sa disponibilité*

*J. Dagnelie pour son aide dans les travaux techniques, notamment en ce qui concerne le maniement des roches et la fabrication de lames minces, ainsi que pour ses conseils en informatique*

*I. Mergaie pour sa présence et sa bonne humeur*

*P. Gyhsel pour ses conseils statistiques*

*Mes parents qui ont rendu possibles mes études*

*Ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidée et encouragée de près ou de loin durant la réalisation de ce mémoire*

# Table des matières

	N° page
<b>Liste des Figures</b>	I
<b>Liste des Tableaux</b>	II
<b>Liste des Photographies</b>	II
<b>Avant-propos</b>	1
<b>Introduction</b>	2
<b>1. Localisation du site étudié</b>	3
<b>1.1. Cadres géographique et géologiques</b>	3
<b>1.2. Échelle des temps géologiques</b>	4
<i>1.2.1 Exactitude temporelle en Géologie</i>	4
<i>1.2.2. Échelle Chronométrique</i>	4
<i>1.2.3. Échelle chronostratigraphique</i>	5
<i>1.2.4. Échelle géochronologique</i>	5
<i>1.2.5. Calibrage chronométrique des limites d'étage</i>	5
<b>1.3. Dévonien</b>	7
<i>1.3.1. Historique et classification</i>	7
<i>1.3.2. Éodévonien</i>	8
<i>1.3.3. Mésodévonien</i>	8

1.3.4. <i>Néodévonien</i>	9
<b>1.4. Paléogéographie</b>	10
<b>2. Stromatopores</b>	11
<b>2.1. Identification macroscopique</b>	11
2.1.1. <i>À la surface externe du fossile</i>	11
2.1.2. <i>ENnsection</i>	11
<b>2.2. Organisation du squelette</b>	12
2.2.1 <i>Piliers ou pilae</i>	12
2.2.2. <i>Lamelles ou laminae</i>	12
2.2.3. <i>Latilaminae</i>	13
2.2.4. <i>Chambres</i>	13
2.2.5. <i>Dissépiments et septa</i>	13
2.2.6. <i>Astrorhizes</i>	14
<b>2.3 Microstructure</b>	15
<b>2.4. Position systématique des Stromatopores</b>	17
2.4.1 <i>Historique</i>	17
2.4.2. <i>Affinités avec les Foraminifères</i>	17
2.4.3. <i>Affinités avec les Cyanobactéries</i>	17
2.4.4. <i>Affinités avec les Hydrozoaires</i>	18

a) Hydrozoaires	19
b) Rôle des astrorhizes	20
c) Objection à une parenté avec les Hydrozoaires	21
<i>2.4.5. Affinités avec les Spongiaires</i>	21
a) Spongiaires ou Porifères	21
b) Parenté avec les Spongiaires	22
c) Objection à une parenté avec les Spongiaires	23
1) Astrorhizes et canaux hydrophores	23
2) Absence de spicules	23
3) Microstructures	24
4) Dissépiments et structure lamellaire	24
d) Conclusion	24
<b>2.5 Écologie</b>	25
<b>2.6. Répartition stratigraphique</b>	27
<i>2.6.1. Stromatopores paléozoïques</i>	27
<i>2.6.2. Stromatopores mésozoïques</i>	27
<i>2.6.3. Histoire stratigraphique</i>	28
2.6.3.1. Deux groupes différents ?	28
2.6.3.2. Un groupe unique ?	28

<b>2.7. Stromatoporoïdes: individus solitaires ou cloniaux</b>	29
Conclusion du point de vue affinités	30
<b>3. Présentation des autres fossiles observés à Tailfer</b>	31
<b>3.1. Rugosa</b>	31
3.1.1. <i>Tabulophylum</i>	31
3.1.2. <i>Hexagonaria</i>	31
<b>3.2. Tabulata</b>	32
3.2.1. <i>Alveolites</i>	32
3.2.2. <i>Thamnopara</i>	32
3.2.3. <i>Thecostegites</i>	33
<b>3.3. Les Brachiopodes</b>	33
<b>3.4. Les Crinoïdes</b>	34
<b>3.5. Les Mollusques</b>	35
3.5.1. <i>Les Gastéropodes</i>	35
3.5.2. <i>Les Céphalopodes</i>	35
<b>4. Techniques d'étude</b>	36
<b>4.1. sur le terrain</b>	36
4.1.1. <i>Numérotation des bancs</i>	36
4.1.2. <i>Délimitation de la zone d'étude</i>	37

4.1.3. <i>Techniques d'accès aux parois</i>	37
4.1.4. <i>Nettoyage des parois</i>	37
4.1.5. <i>Photographies</i>	38
4.1.6. <i>Échantillonnage</i>	38
<b>4.2. Au laboratoire</b>	<b>38</b>
4.2.2. <i>Sciage des roches</i>	38
4.2.2. <i>Polissage des roches</i>	38
4.2.3. <i>Fabrication d'une lame mince</i>	39
4.2.4. <i>Méthode des quadrats</i>	40
4.2.5. <i>Charte visuelle des proportions</i>	40
<u>Objectifs</u>	40
<u>Construction de la charte visuelle</u>	41
<b>5. Interprétations antérieures</b>	<b>42</b>
<b>5.1. Interprétations de M. Lecompte (1959-1965)</b>	<b>42</b>
<u>Les cinq zones bathymétriques (M. Lecompte 1965)</u>	42
1. La zone de turbulence	42
2. La zone sub-turbulente	42
3. La zone sous-turbulente	43
4. La zone quiescente	43

5. La zone profonde	43
<b>5.2. Corrélations avec les travaux antérieurs</b>	45
<b>6. Données nouvelles</b>	46
<b>6.1 Banc 57</b>	46
<b>6.2 Banc 58: la base du biostrome</b>	47
<i>6.2.1. La base</i>	47
<i>6.2.2. Les subdivisions internes du banc 58</i>	47
<i>6.2.3. Le sommet raviné du banc 58</i>	48
<b>6.3. Banc 59: le biostrome</b>	49
<i>6.3.1 Le conglomérat de base</i>	50
<i>6.3.2. Caractères communs au Biostrome proprement dit</i>	51
a) Diversité des faunes	51
b) Quasi absence de traces de fousseurs	51
c) Stromatopores à base claire	52
d) Stromatopores à mamelons bien développés	52
e) Stromatopores lamellaires retournés	53
f) Stromatopores lamellaires fracturés	54
g) Stromatopores à inclusions de sédiment	55
h) Les structures géotropes	55

i) Structures géotropes et tassement différentiel	56
j) Structures géotropes et Stromatopores	56
k) Stromatopores à mamelons tronqués	56
l) Les joints stylolythiques ou stylolithes	57
6.3.3. <i>La sous-unité inférieure</i>	57
a) Caractères généraux	57
b) Stromatopores affectés par des perforants	58
6.3.4. <i>La sous-unité moyenne</i>	59
6.3.5. <i>La sous-unité supérieure</i>	59
6.4. Banc 60	60
<b>7 Conclusion: le biostrome à Stromatopores lamellaires de Tailfer</b>	62
<b>Lexique</b>	65
<b>Références bibliographiques</b>	79
<b>Ouvrages généraux consultés</b>	85
<b>Annexes</b>	
<b>Annexe 1</b>	88
<b>1. L'environnement récifal</b>	88
<b>1.1. Récifs</b>	88

<b>1.2. Biostrome et bioherme</b>	89
<b>1.3. Constituants d'un récif</b>	90
<b>1.4. Classification morphologique des récifs</b>	91
<b>1.5. Zonation récifale</b>	92
<b>1.6. Lagon</b>	94
<b>1.7. Conditions écologiques influençant les milieux récifaux</b>	95
1.7.1. <i>Récifs actuels</i>	95
1.7.2. <i>Récifs fossiles</i>	96
<b>1.8. Mortalité récifale</b>	97
<b>Annexe 2</b>	99
<b>2.1. La calcite</b>	99
2.1.1. <i>Le minéral</i>	99
2.1.2. <i>La roche calcaire</i>	99
2.1.2.1. <i>La forme des cristaux</i>	99
2.1.2.2. <i>La taille des cristaux</i>	99
2.1.3. <i>Précipitation directe à partir de solutions</i>	100
2.1.4. <i>Remplacement de l'aragonite</i>	100
2.1.5. <i>Recristallisation</i>	100
2.1.6. <i>Épigénie</i>	100

<b>2.2. L'aragonite</b>	101
2.2.1. <i>Le Minéral</i>	101
<b>2.3. La dolomie</b>	101
2.3.1. <i>Le minéral</i>	101
2.3.2. <i>La dolomie</i>	101
<b>Annexe 3</b>	103
<b>3. La classification des roches carbonatées</b>	103
3.1. Classification de R. FOLK (1959)	103
3.2. Classification de R. J. DUNHAM (1961)	107
3.3. Critiques de Friedman	107
<b>Annexe 4</b>	109
4.1. Extrait de la description de M. Lecompte (1959)	109
4.2. Extrait de la description de E. van Winkel (1964)	109
4.3. Extrait de la description de H.H. Tsien <i>et al.</i> (1973)	112
4.4. Extrait de la description de M. Coen-Aubert et M. Coen (1974)	114
4.5. Extrait de la description de H. Wilder (1985)	115
<b>Annexe 5</b>	118
<b>5. Données de Comptages</b>	118

## Liste des Figures

- Figure 1 Extrait de la carte topographique de Belgique Namur-Huy N° 112, 1: 100 000, IGNB, 1986
- Figure 2 Situation géologique d'après P. de Bethune (s.d)
- Figure 3 Les Formations du Dévonien moyen de la Belgique par P. Bultynck *et al.*, 1991
- Figure 4 Évolution des datations pour le Dévonien, d'après Harland, GTS89, p. 7
- Figure 5 Construction de l'échelle des temps géologiques d'après GTS 89, p. 1
- Figure 6 Chronogrammes, d'après GTS89, p. 106-107
- Figure 7 Exemples de Chronogrammes, d'après GTS, p. 206
- Figure 8 Configuration du monde au Néodévonien, d'après B. Ducarme, 1979; p. 86, planche VI
- Figure 9 Position du rivage continental et des îles, d'après H. H. Tsien, 1977
- Figure 10 Les vertébrés de Dévonien, d'après B. Ducarme, 1979, pp. 18-19
- Figure 11 Morphologie d'un Stromatopore, adapté d'après H. Wilder, 1985, p. 24
- Figure 12 Squelette d'un Stromatopore observé à la loupe, d'après C. Babin 1991, p. 229
- Figure 13 Principales variations affectant la forme et la disposition des éléments du squelette, d'après P. Cornet, fig. 1
- Figure 14 Représentation en lame mince du Foraminifère *Gypsina* d'après R. Moore, p. C 697
- Figure 15 Schéma d'une cellule urticante, d'après P. Grassé, 1970, p. 145
- Figure 16 Schéma d'un Hydroïde calyptoblastique, d'après P. Devos, 1991, p. 3.6.
- Figure 17 Schéma de Spongiaires, d'après P. Devos, 1991, p. 2.2.
- Figure 18 Spongiaire comparable à un Stromatopore, d'après D. Kühlmann, 1985, p. 147
- Figure 19 Evolution des formes ecologiques en fonction des conditions de milieux, d'après P. Cornet, Annexes, Tableau II
- Figure 20 Distribution des formes écologiques dans les milieux récifaux, d'après P. Cornet, Annexes, Tableau I
- Figure 21 Répartition Stratigraphique des Stromatopores, modifiée d'après R. Conil, 1988
- Figure 22 Comparaison entre la courbe de Sandberg, 1983 et la répartition des Stromatopores paléozoïques et mésozoïques, d'après B. Mistiaen, 1984, p. 1242
- Figure 23 Schéma d'un Crinoïde, d'après Bather dans J. Piveteau, 1953, tome III, p. 659

- Figure 24 Aspects de la tige d'un Crinoïde, d'après Bather dans J. Piveteau, tome III, p. 715
- Figure 25 Reconstitution en perspective du site étudié, P. Overlau, 1995
- Figure 26 Correspondance entre les dimensions exprimées en "grains", en "mesh", et en microns, d'après AB METAL DIGEST, 1968
- Figure 27 Découpes de papier utilisées pour la charte visuelle, échelle 1/4
- Figure 28 Corrélations avec les études antérieures. Niveaux à schistes verts et à mud cracks cités par tous les auterus, pris comme référence
- Figure 29 Dénomination des différentes parois de la carrière
- Figure 30 Organism associated with platy Bajocian reef corals, d'après Geister J. 1991, p. 14, fig. 16
- Figure 31 Classification des récifs (Maxwell, 1968), d'après L. Laporte, 1974, p. 2
- Figure 32 Diagramme reprenant les formes récifales et leur distribution océanique, d'après D. Kühlmann, 1985, p. 60
- Figure 33 La zonation récifale, d'après P. Overlau, 1995
- Figure 34 Mouvement de l'eau et sédimentation dans un récif barrière, d'après D. Kühlmann, 1985, p. 38
- Figure 35 Reconstitution d'un récif dévonien, d'après D. Kühlmann, 1985, p; 22
- Figure 36 Kausalkettenprozesse im Bereich der oberdevonischen Biosphäre, d'après H. Wilder, 1985, p. 121

### Liste des Tableaux

- Tableau I Échelle linéaire du Paléozoïque d'après GTS89, p. 176
- Tableau II Équivalences stratigraphiques avec les stratotypes et taxon-guides du Dévonien, d'après la Commission Internationale de Stratigraphie de l'IUGS au congrès géologiques International de Washington en 1989 (= GTS89)
- Tableau II Les principales caractéristiques de la communauté récifale, d'après P. Overlau, 1995

### Liste des Photographies

- Photo 1 Mamelons en vue polaire sur un bloc intransportable
- Photo 2 Stromatopore présentant des mamelons bien développés, base de la paroi CD, à noter la présence de *fenestrae*
- Photo 3 Stromatopores possédant des mamelons bien développés, base de la paroi CD, à noter la base plus marquée, due probablement à des corrosions au contact du substrat sous-jacent
- Photo 4 Lamelles et piliers en lame mince
- Photo 5 Lamelles et piliers, détail Stromatopore de la paroi CD

- Photo 6                   Stromatopores montrant des latilaminae bien visibles, paroi KJ
- Photo 7                   Stromatopore à latilaminae bien v isibles, ayant épousé la forme ondulée du substrat, paroi MN
- Photo 8                   Astrorhizes en coupe longitudinale, détail Stromatopore, paroi CD
- Photo 9                   Astrorhizes en vue polaire, en lame mince, échantillon PM 12, (1 cran = 1 cm )
- Photo 10                  Tabulophylum en coupe transversale, échantillon PM30
- Photo 11                  Hexagonaria en coupe tranversale, base de la paroi OP
- Photo 12                  Hexagonaria en coupe longitudinale, paroi CD
- Photo 13                  Hexagonaria en coupe tranversale, paroi KJ
- Photo 14                  Alveolites, paroi CD
- Photo 15                  Alvéolites en lame mince, échantillon PM 3, en bas Stromatopores avec astrorhize, noter la veinule de calcite, qui recoupe indifféremment fossiles et sédiment
- Photo 16                  Alveolites dressé, paroi OP
- Photo 17                  Thamnopora, paroi CD
- Photo 18                  Thecostegites encroûté par Alveolites, paroi CD
- Photo 19                  Détail de Thecostegites, échantillon PM 23 b
- Photo 20                  Thecostegites en lame mince, éclat de la paroi Cd, éch elle 1 cran = 10 mm
- Photo 21                  Brachiopode en coupe transversale paroi CD
- Photo 22                  Crinoïdes en coupe transversale, paroi KJ
- Photo 23                  Gastéropode en coupe transversale, montrant la columelle retournée vers le centre, paroi CD, Noter la structure géotrope avec le sédiment interne et le remplissage de sparite claire
- Photo 24                  Céphalopode en coupe longitudinale, noter le remplissage de sparite (calcite claire) qui met en évidence le cloisonnement du tube, Paroi CD
- Photo 25                  La prise de vue restitue l'horizontale originelle de la sédimentation actuellement basculée de 50°
- Photo 26                  Échantillonnage sur le terrain
- Photo 27                  Exemple de lame mince 5Échantillon PM ;14), Noter la présence d'Alveolites en section circulaire et d'un Stromatopore montrant des astrorhizes en coupe longitudinale
- Photo 28                  Exemple d'un carré de 20x20 cm, à noter un Stromatopore retourné de plus de 30 cm d'envergure, possédant des mamelons bien développés
- Photo 29                  La paroi MN
- Photo 30                  La paroi LN

- Photo 31 La paroi CD, à noter que suite à la disparition de tas de gravier les carrés supérieurs sont devenus quasiment inaccessibles
- Photo 32 Traçage des carrés pour la méthode des quadrats
- Photo 33 Vue générale de la "Grande Dalle" de Tailfer
- Photo 34 Vue de la paroi IL au début de la période d'étude
- Photo 35 La paroi IJ en fin de période d'étude, remarquer l'accès rendu plus difficile par disparition des tas de graviers
- Photo 36 Vue générale de la paroi IK
- Photo 37 Vue générale de la paroi GH
- Photo 38 Vue de banc 57 au niveau de la paroi OP
- Photo 39 Détail du banc 57 de la paroi OP, montrant la variabilité latérale
- Photo 40 Vue du banc 57 au niveau de la paroi KL
- Photo 41 Stromatopore en boule du banc 57 en KL, noter les Stylolithes qui le marquent en haut à droite et en bas à gauche
- Photo 42 Le banc 57 au niveau de la paroi IK
- Photo 43 Stromatopore en boule du banc 57 en IK, noter sa position inversée et sa base tronquée
- Photo 44 Les "mud cracks" au niveau du point F
- Photo 45 Partie supérieure du banc 58, qui miroite au soleil au niveau de la paroi IK
- Photo 46 Lame mince dans la partie supérieure du banc 58 en lumière polarisée
- Photo 47 Calcite présumée présenter de la pseudomorphose de Gypse, base du banc 59 au niveau de la paroi CD
- Photo 48 "Flame structure" au niveau de la paroi IK
- Photo 49 Paroi IK, montrant le banc 58 supérieur, le joint argileux fragile, et le conglomérat de base du banc 59
- Photo 50 Détail de la photo 49, montrant le joint argileux et un Hexagonaria incroûté par un Stromatopore
- Photo 51 Échantillon PM 12b, montrant des Stromatopores à mamelons forts développés, à base plus claire, à sédiment plus foncé entre les mamelons, les mamelons du Stromatopore central sont tronqués par du sédiment
- Photo 52 Corail actuel présentant une base corrodée d'aspect différent
- Photo 53 Stromatopores avec les mamelons dans les deux sens
- Photo 54 Stromatopores présentant des ondulations
- Photo 55 Détail d'une fracture dans un Stromatopore, paroi CD

- Photo 56           Stromatopore présentant une cassure avec du sédiment et de la calcite, à noter la base claire où la réticulation corrodée semble mieux visible
- Photo 57           Structure géotrope et fenestrae avec une base plane indiquant le haut et le bas
- Photo 58           Stromatopore englobant une structure géotrope
- Photo 59           Géotrope dans un Stromatopore retourné
- Photo 60           Géotrope en lame mince, probablement un Ostracode
- Photo 61           Géotropes et tassement différentiel, paroi CD
- Photo 62           Stylolithes en perspective, échantillon de démonstration ne provenant pas de Tailfer
- Photo 63           Stylolithes en lame mince ( banc 57 en KL), à noter en haut, coupe transversale dans des stromatopores branchus, probablement Stachyodes ou Amphipora
- Photo 64           Stromatopore affecté de perforation, paroi CD
- Photo 65           Stromatopore perforé, paroi CD
- Photo 66           Stromatopore perforé de grande envergure, paroi CD
- Photo 67           Base du banc 60 paroi KJ
- Photo 68           Base du banc 60, paroi MN
- Photo 69           Sommet du banc 60, paroi MN, montrant un grand stylolithe, quelques Alveolites branchus et des "fluid escapes"

## Avant-propos

Toute étude paléoécologique demande de la part du biologiste un apprentissage des conventions et des méthodes géologiques. Bien que Biologie et Paléontologie soient fortement apparentées, il existe un langage propre aux deux disciplines. De plus dans l'étude d'un récif fossile il faut tenir compte de composantes aussi bien écologiques que géologiques, tels que sédimentologie, fossilisation, ... . Il faut également se méfier des termes semblables utilisés dans les deux disciplines mais qui ne traduisent pas le même concept.

Prenons comme exemple le mot " espèce " qui, en Biologie se fonde sur le concept d'interfécondité. Comment constater ce phénomène sur des organismes morts depuis des millions d'années et pour lesquels nous ne disposons que des restes fossilisés? De plus dans le cas des Stromatopores, la survivance d'individus actuels est fort incertaine, ceci ne permet aucune comparaison fiable. Les dimorphismes sexuels ainsi que les changements d'aspect au cours des cycles vitaux peuvent complètement échapper au paléontologue et rendre l'interprétation de la systématique paléontologique souvent fort précaire.

Les classements en Paléontologie se font essentiellement par des comparaisons morphologiques et par des rapprochements avec les êtres vivants actuels. Les convergences de forme, bien connues dans le monde actuel (par exemple les vautours d'Afrique et d'Amérique qui descendent de lignées tout à fait différentes) viennent à leur tour rendre toute phylogénie incertaine.

De plus, il est parfois difficile de distinguer les caractéristiques propres à l'individu de celles qui sont dues aux conditions de sédimentation et de fossilisation.

De même, les facteurs écologiques modelant les individus ne peuvent être mis en évidence qu'indirectement ou par analogie avec des êtres qui vivent dans un milieu similaire à celui où vivaient les spécimens étudiés. Dans notre étude, les récifs à Stromatopores seront comparés aux récifs actuels à Coraux. Nous appliquons donc ici la théorie de l'Actualisme encore nommée "Principe des causes actuelles et anciennes", postulant que les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé.

## Introduction

De 1956 à 1961, lors des visites de terrain la carrière de Tailfer, le professeur M. Lecompte de l'U.C.L.<sup>1</sup> prenait un banc remarquable (notre banc n° 59) comme exemple de biostrome. Il insistait sur la subdivision de ce banc en 3 zones distinctes: de bas en haut le calcaire devient foncé, en suite il apparaît plus clair et enfin il paraît plus hétérogène et plus foncé. Son interprétation faisait état de la prédominance quasi exclusive des Stromatopores dans la zone claire centrale, indiquant un milieu plus spécialisé, par opposition au milieu plus ouvert de la base (zone subturbulente). Il interprétait l'apparition brutale de cet ensemble biostromal sur les boues du banc inférieur (notre banc n° 58) comme résultant d'une rupture de barrière récifale due à des tempêtes, qui auraient ouvert le lagon aux influences du large. Dans le niveau supérieur, la barrière s'étant reformée, a fermé le lagon et les organismes ont fini par disparaître, car le milieu leur était devenu défavorable.

Depuis 1967, le professeur P. Overlau, reprenant les idées de M. Lecompte, complète cette description en mettant en évidence le niveau d'érosion ravinant le fond "boueux" du lagon antérieur surmonté par un amas de galets d'*Hexagonaria* à la base du biostrome. Il utilise le vocable de typhon plutôt que de tempête pour insister sur la situation tropicale du bassin frasnien à cette époque. Le sommet du biostrome se caractérise aussi par l'apparition de formes géantes et isolées de Stromatopores lamellaires. Le banc sus-jacent formé essentiellement de boues est marqué par l'abondance des "fluid escape", mais contient encore quelques Stromatopores dispersés dont la forme apparaît très différente de ceux du milieu précédant.

Le double objectif de ce travail consiste, premièrement, à analyser cette description en précisant si ce qui est apparent est conforme à un examen détaillé des parois, et deuxièmement à préciser l'évolution paléoécologique du biostrome dans son environnement paléogéographique hypothétique.

---

<sup>1</sup> communication personnelle de P. Overlau.

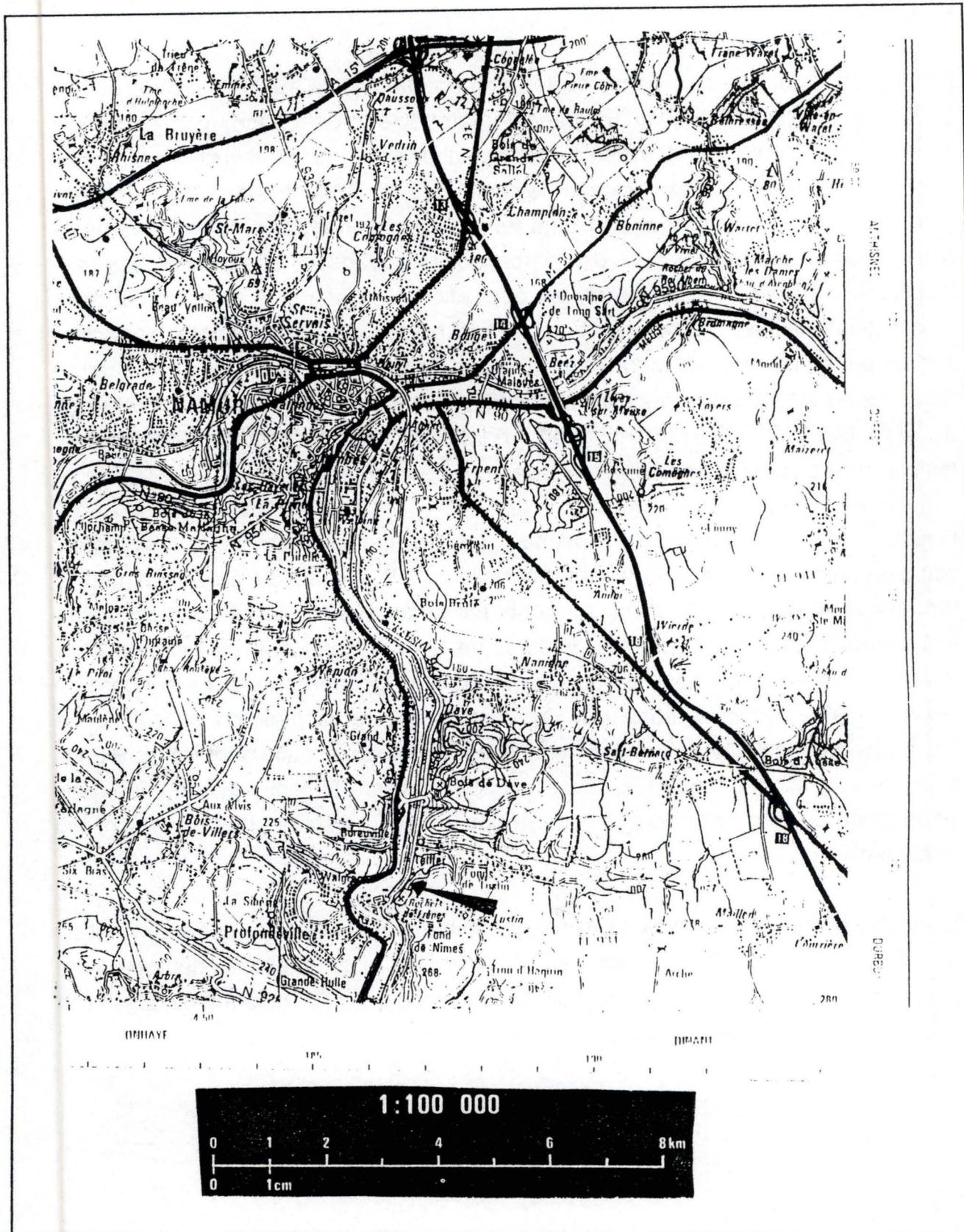


Figure 1: Extrait de la carte topographique de Belgique NAMUR-HUY N° 112 , 1:100 000 IGNB 1986

# 1. Localisation du site étudié

## 1.1. Cadres géographique et géologique

Notre étude porte sur le biostrome observable dans la carrière de Tailfer, située sur la commune de Profondeville, le long de la route Jambes-Dinant, entre Dave et Lustin, sur la rive droite de la Meuse,  $4^{\circ} 52' 57''$  de longitude Est et  $50^{\circ} 23' 12''$  de latitude Nord et 186,45; 119,65 de coordonnées Lambert (figure 1).

Actuellement, le grès famennien de la carrière est exploité par la société Gralex. Le calcaire frasnien n'est plus en exploitation et un classement comme site protégé est à l'étude à la Commune de Profondeville. Un avis d'enquête publique a été publié dans la presse. La clôture de cette enquête était fixée au mercredi 25 octobre 1995.

La carrière est ouverte dans le flanc nord du Synclinal de Walgrappe (figure 2) qui se situe dans le bord Nord du Synclinorium de Dinant (figure 3). Le pendage général des couches est de  $50^{\circ}$  S à Tailfer et de  $75^{\circ}$  N aux Rochers de Frênes à Lustin (1,5 km au sud). Cette structure plissée correspond à un pli déjeté révélant une poussée venue du sud.

Le site étudié, communément nommé " Grande Dalle de Tailfer ", est d'âge Frasnien (377-367 M Y B.P.<sup>2</sup>). Il est à remarquer qu'il faut être prudent lors du dépouillement de la littérature car parfois d'autres dénominations utilisent le terme de Tailfer. Ceci peut prêter à confusion avec les nombreux autres affleurements de la région. On peut citer par exemple le " Calcaire de Tailfer ", qui désigne une "Formation" d'âge Givetien (381-377 Ma) qui affleure à  $\pm 150$  m au Nord de notre site d'étude, derrière l'établissement " Au Rocher ". On peut aussi citer "le poudingue de Tailfer" d'âge Eifélien (386-381 Ma) qui affleure 300 m au nord.

Ma	Étage	Formation géologique	Dénomination locale
367	Frasnien	La Marlagne	Dalle de Tailfer
377	Givetien	Calcaire de Tailfer	
381	Eifélien	Poudingue de Tailfer	
386			

<sup>2</sup>Ma Y.P. = Million years before Present. Cette convention s'appuie sur la dernière publication en date: Geological time scale 1989 (GTS 89).

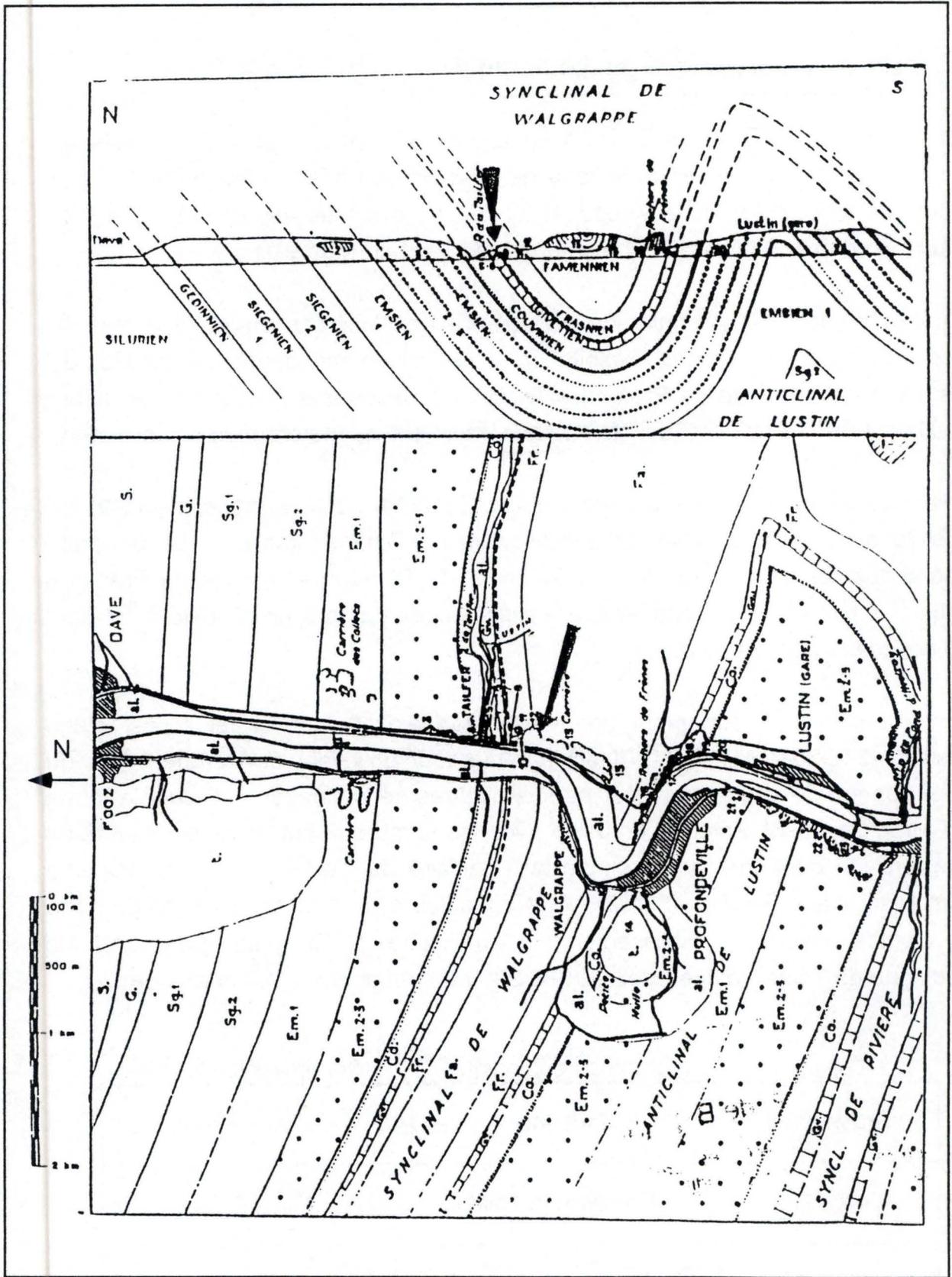


Figure 2: Situation géologique d'après P. de Bethune (s.d.).

Les étages Gedinnien, Siegenien, Emsien et Couvinien selon les dominations en usage durant les années 1965-1970 ont été partiellement modifié, en Lochkovien, Praguien, Emsien et Eifelien.

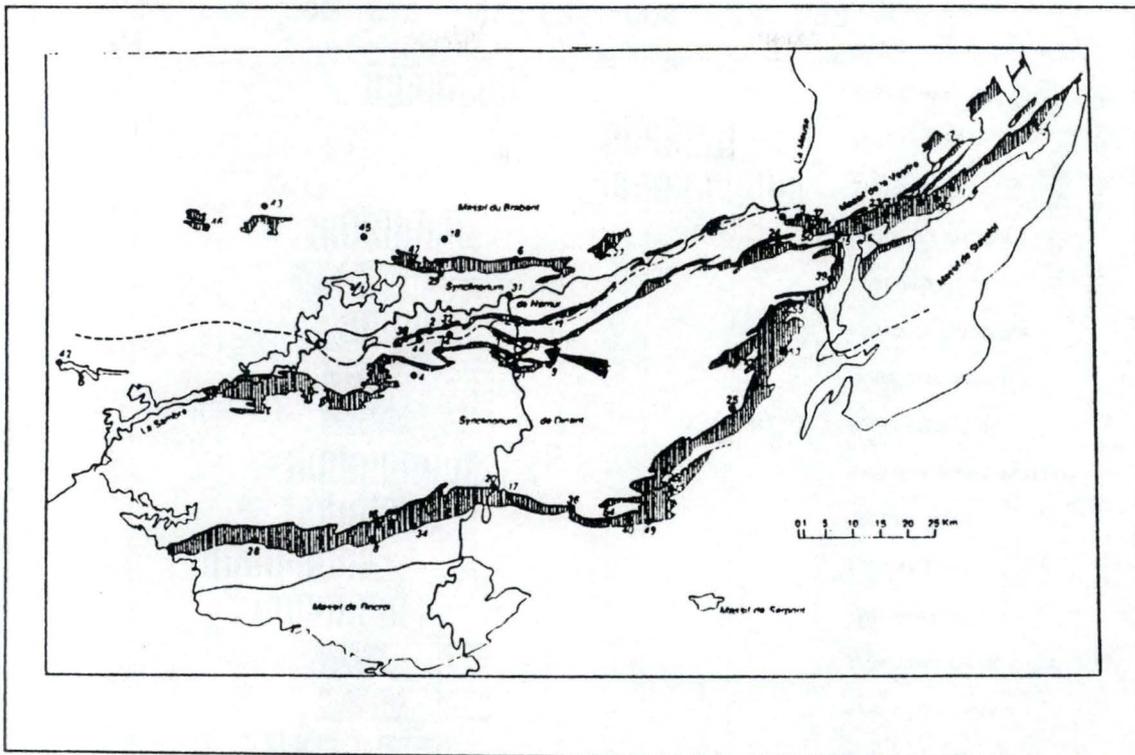


Figure 3: Les formations du Dévonien moyen de la Belgique par P. Bultynck *et al.* 1991, p. 4-5, Mémoire N° 30 (Mémoires pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique.

La carrière de Tailfer est au n° 48

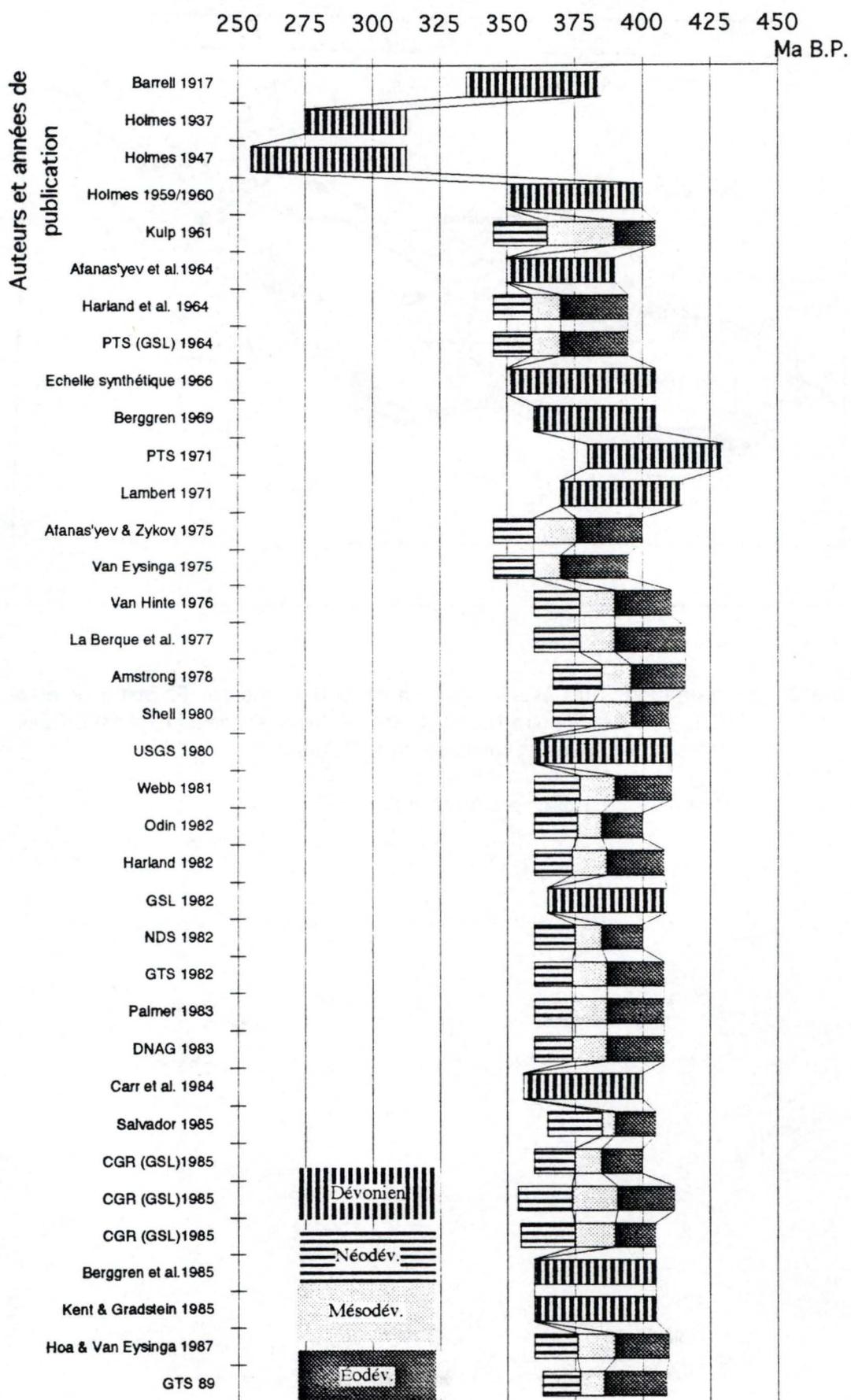


Figure 4: Evolution des datations pour le Dévonien, d'après Harland, GTS89, p. 7

## 1.2. Échelle des temps géologiques

### 1.2.1. Exactitude temporelle en géologie

Bien que d'énormes progrès aient été réalisés en ce qui concerne les datations par les radioéléments, les tableaux stratigraphiques proposés reposent sur des conventions internationales, car les roches sédimentaires et fossilifères contiennent trop peu d'éléments radioactifs complètement isolés. Les bonnes déterminations radioisotopiques se font sur des roches magmatiques cristallisées quasi toujours absentes dans les roches sédimentaires. De plus, il faut retenir que les datations proposées sont données avec une précision variable comprise entre 1 et 2,5 Ma pour la période frasnienne qui nous intéresse.

La figure 4 montre l'évolution des datations de la période dévonienne, au cours des années 1917-1989.

Il faut donc rester prudent quand au concept de simultanéité et d'exactitude temporelle en Géologie, car lorsqu'on parle d'événements géologiques (causes et effets) s'étant produit à peu près au même moment, il ne faut pas perdre de vue que cet "à peu près" peut durer de 1 à 2,5 millions d'années.

L'échelle conventionnelle des temps géologiques ou échelle géochronologique est en fait une échelle hybride. Elle est obtenue en combinant une échelle chronométrique et une échelle chronostratigraphique :

### 1.2.2. Échelle chronométrique

L'échelle chronométrique est une échelle numérique basée sur des unités de durée. L'unité fondamentale de temps est la seconde, mais l'année est également acceptée. L'unité utilisée en Géologie est le million d'années (Ma)<sup>3</sup>. Les âges sont exprimés en années "before present" (BP) avec 1950 comme année de référence. L'utilisation des âges ACN, "Ante Christum natum", servant en Histoire et en Archéologie, n'est pas d'usage courant en Géologie. La référence 1950 est liée à la prolifération des essais nucléaires qui couvrent la Terre de poussières radioactives artificielles, faciles à repérer.

---

<sup>3</sup>En Géologie du quaternaire on emploie l'année ou le millier d'année

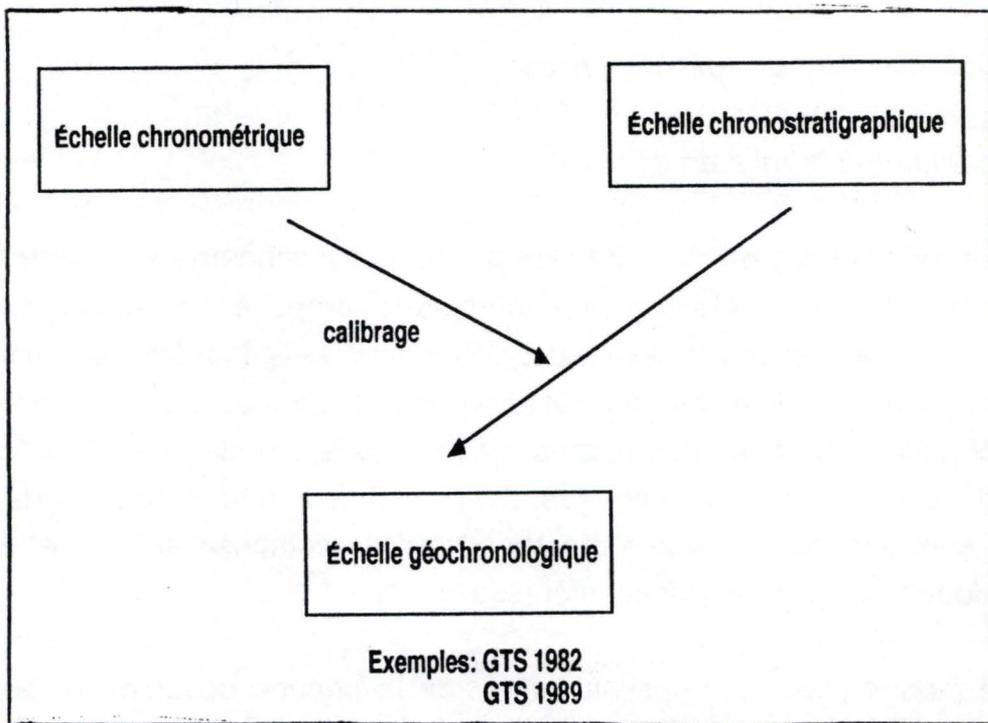


Figure 5: Construction de l'échelle des temps géologiques d'après GTS 89, p. 1

Ma	Eon	Era	Period Sub period	Epoch	Stage	Age in Ma	Chronogram error in Ma 5 10 15	Ma					
-250	Phanerozoic	Mz	Triassic	Tr <sub>3</sub>	Campan	Cm	215	[Chronogram error bars]	-250				
					2 stages	241							
					245	Syrthian	Syr			2 stages	250		
					Zechstein		Lopingian			256			
					Zec	Guadalupian	260						
					Permian	P	Rotliegendes			Artinskian	Art	269	
										Sakmarian	Sak	281.5	
										Arcadian	Art	290	
										7 stages	295		
										Gzelian	Gze	303	
										Kasimovian	Kas	3 stages	311.5
										Moscovian	Mos	4 stages	323
										Bashkirian	Bsh	5 stages	333
										Serpukhovian	Sph	4 stages	345
										Visean	Vis	4 stages	349.5
					Carboniferous	Late Pz	Pennsylvanian			Cheslean	Ch	354	
										Assian	Ass	362.5	
										Tournaisian	Tou	367	
										Frasnian	Frs	377.5	
										Devonian	D	D <sub>1</sub>	381
					D <sub>2</sub>	386							
					D <sub>3</sub>	390.5							
					396.5								
					Silurian	Paleozoic	Dev			Pridoli	Pri	408.5	
										Ludlow	Lud	411	
415	Coronian	Cor	474										
Wenlock	Wen	3 stages	474										
Llandovery	Lly	3 stages	474										
Ashgill	Ash	4 stages	474										
Ordovician	Early Pz	Bala	Caradoc	Crd				464					
			Llanerid	Lle				468.5					
			Llanvirn	Lln				476					
			Arenig	Arg				493					
			Tremadoc	Tre	510								
Cambrian	D	Canadian	Merioneth	Mer	514								
			517	St David's	StD	530							
			536	Caerfai	Crf	554							
			561	Ediacara	Edi	570							
			580	Varanger	Var	590							

Tableau I: Échelle lineaire du Paléozoïque d'après GTS 89, p.176

### *1.2.3. Échelle chronostratigraphique*

L'échelle chronostratigraphique est une échelle représentée par une séquence de couches géologiques formées au cours d'un certain intervalle de temps. Les limites de la séquence sont choisies conventionnellement. Celles-ci peuvent donc être modifiées en fonction des travaux et découvertes successives et devraient, en principe, se caler sur des repères chronométriques.

### *1.2.4. Échelle géochronologique*

L'un des objectifs de la classification chronostratigraphique est d'établir une hiérarchie des unités stratigraphiques de valeur universelle, pour qu'elles puissent servir d'échelle de référence, étalon pour la datation de toutes les roches (Hedberg H., 1979). C'est l'échelle géochronologique. Celle-ci ne peut être considérée comme définitivement établie. De ce fait, par convention, on parle de "GTS" (Geological time scale) suivi de l'année de sa parution, HARLAND (1989), GTS89 dans notre cas (Figure 5). La publication précédente date de 1982.

### *1.2.5. Calibrage chronométrique des limites d'étage.*

Le calibrage chronométrique est basé sur un échantillonnage des dates isotopiques. Malheureusement une simple analyse statistique sur celles-ci est impossible car, excepté pour le Cénozoïque et le Crétacé, les données sont éparses et inégalement distribuées et hétérogènes (les mesures ont été effectuées sur des minéraux différents par des méthodes différentes).

Une autre difficulté est liée au fait que la corrélation entre la datation à l'intérieur d'un étage biostratigraphique local et celle de l'étage entier peut être imparfaite. Un remède serait d'assigner une erreur chronostratigraphique à chaque date.

De plus les mesures réalisées datent rarement une division stratigraphique mais servent à les situer par rapport aux limites conventionnelles.

Enfin ces dates de références présentent des marges d'erreur différentes et contiennent des valeurs qui se chevauchent.

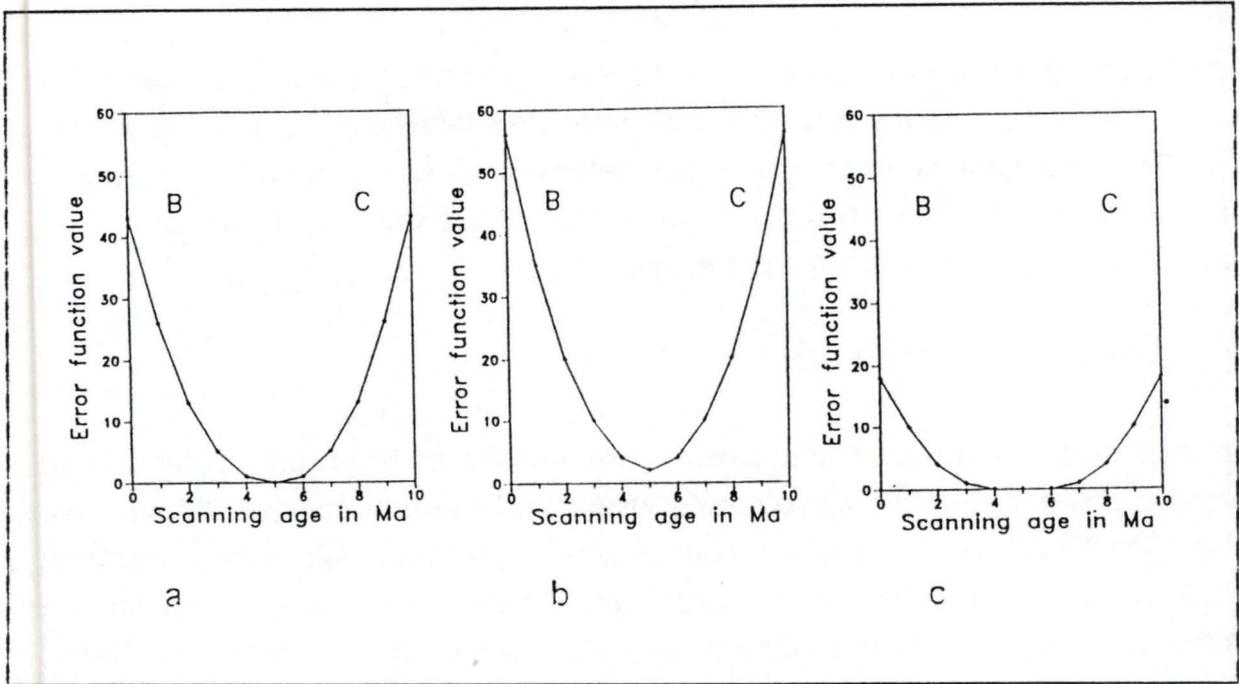


Figure 6: Chronogrammes: a - idéal, b - valeurs de chevauchement, c- lacune dans les données d'après GTS89, p. 106-107

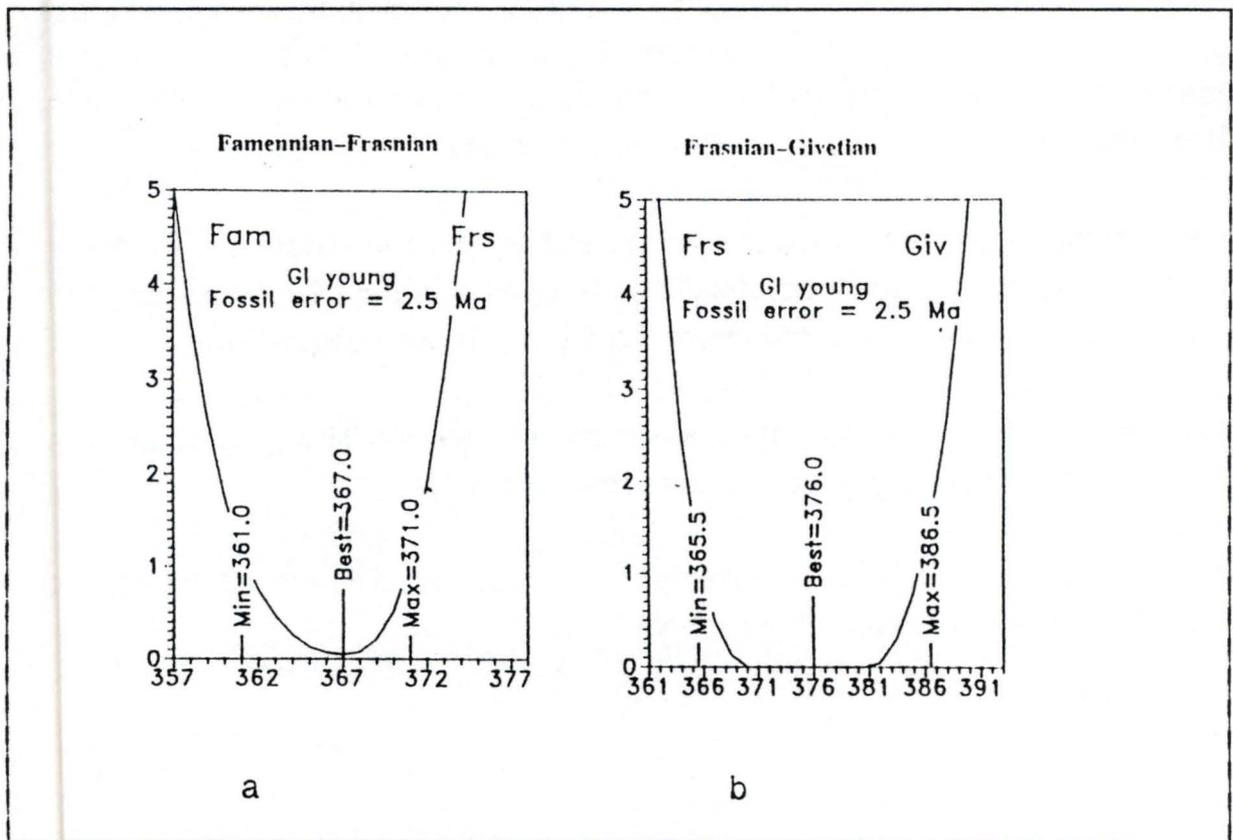


Figure 7: Exemples de Chronogrammes, d'après GTS 89, p. 206

On utilise la méthode des chronogrammes pour évaluer l'âge de chaque limite stratigraphique. Un chronogramme est un graphique de la fonction d'erreur par rapport aux âges obtenus en millions d'années. Le chronogramme idéal est asymptotique des deux côtés et tombe à zéro en son centre (figure 6a). Un chronogramme dont la valeur minimale est significativement différente de zéro comporte beaucoup de valeurs se chevauchant (figure 6b). Une lacune dans les données change l'allure de la courbe comme indiqué dans la figure 6c. On constate un aplatissement de la courbe. Une asymétrie marquée indique des valeurs éparses d'un côté du minimum.

Dans notre cas on peut montrer par exemple que le chronogramme de la limite Famenien-Frasnien (figure 7a), n'indique qu'une légère asymétrie. Le chronogramme Frasnien-Givetien (figure 7b) révèle au contraire des lacunes dans les données.

## Équivalences stratigraphiques

Nomenclature internationale 1989			Légende officielle de Belgique 1889-1922		
GTS 89	Taxon-guide	Stratotype	Stratotype ancien	Étages belges	1970
Tounaisien	<i>Siphonodella sulcata</i>	non fixé	Hastière	Tounaisien	
Famennien	<i>Palmatolepis triangularis</i> *	non fixé	Senzeilles	Famennien	
Frasnien	<i>Polygnathus asymmetricus</i>	Puech de la Suque Montagne Noire, Fance	Frasne lez Couvin	Frasnien	
Givetien	non fixé	non fixé	Givet (France)	Givetien	
Eifelien	<i>Polygnathus costatus partitus</i>	Tranchée de Welleldorf Eifel, Allemagne	Couvin	Couvinien	
Emsien	non fixé	non fixé	Le Burnot (rivière)	Burnotien	Emsien 1900
Praguien	<i>Eognathidus sulcatus</i> *	Velka Chuchle, Bohème*	Coblencien (Allemagne)	Coblencien	Siegenien 1900
Lochkovien	<i>Monograptus uniformis uniformis</i>	Klonk, Bohème	Gedinne	Gedinnien	
Ludlow					

\* Choix non encore entériné par l'IUGS

Tableau II: Équivalences stratigraphiques avec les stratotypes et taxon-guide<sup>v</sup> du Dévonien d'après la Commission Internationale de Stratigraphie de l'IUGS au congrès géologique International de Washington en 1989 (= GTS89)

### 1.3. Dévonien<sup>4</sup>

D'après Harland, GTS89, le Dévonien se situe entre 408,5 et 362,5 Ma.

#### 1.3.1. Historique et classification

Le terme Dévonien a été proposé par Sedwick et Murchinson en 1839 en prenant comme région type le Devon en Grande-Bretagne. Les principales divisions du Dévonien furent arrêtées en 1984 par l'ICS "*International Commission of Stratigraphy*" (Ziegler et Klapper 1985):

Tableau géochronologique du Dévonien			GTS 1989	
Période	Époques	Étages (âges) <sup>5</sup>	Ma	
<b>D É V O N I E N</b>	Néodévonien <i>(Late Devonian)</i>	Famennien	363	
		Frasnien	367	
	Mésodévonien <i>(Mid Devonian)</i>	Givetien	377	
		Eifelien	381	
	Éodévonien <i>(Early Devonian)</i>	Emsien	386	
		Praguien	390	
		Lochkovien	396	
				409

<sup>4</sup>Les noms d'auteurs cités dans ce chapitre sont extraits des publications de Harland, Olivier et Morzadec.

<sup>5</sup>Traditionnellement, le terme "étage" désigne une unité chronostratigraphique (ISSC guide, HEDBERG, 1979). Dans le GTS 1989, p. 21, les auteurs proposent de remplacer le terme "âge", unité géochronologique, par ce même terme.

### 1.3.2. Éodévonien

L'étage **Lochkovien** remplace le **Gedinnien**, qui avait été défini par Dumont en 1848 à Gedinne en Belgique. Faisant suite au Silurien il constitue la base du Dévonien. La limite inférieure du stratotype a été définie à Klonk près de Prague dans la région barrandienne de la Bohême, en Tchéquie. Sa limite inférieure coïncide avec la première apparition de *Monograptus uniformis* chez les Graptolites.

L'étage **Praguien** fut adopté à la place du **Siegenien**, car la séquence faunistique est meilleure en Bohême. La limite inférieure correspond à l'apparition du Conodonte *Eognathodus sulcatus*. Le **Siegenien**, de Siegen en Allemagne, proposé par Kayser en 1881 correspond au **Coblencien** de Dumont décrit en 1848 et au **Coblencien** inférieur de Gosselet décrit en 1880-88 adoptée par la carte géologique de Belgique de 1889-1922.

L'étage **Emsien** fut introduit par de Dorlodot en 1900 en se basant sur Bad Ems en Allemagne. Le taxon-guide n'est pas encore fixé actuellement et ses nouvelles limites sont essentiellement différentes de l'Emsien de de Dorlodot.

### 1.3.3. Mésodévonien

L'étage **Eifelien**, définie dans l'Eifel en Allemagne, fut d'abord attribué par Dumont en 1848 à une séquence stratigraphique de plus grande extension temporelle. Il fut restreint à ses dimensions actuelles en 1937. Le nom **Couvinien**, de Couvin en Belgique cité par Dupont en 1885, a été utilisé pour la carte géologique de Belgique. Il correspond à l'**Eifelien** actuel et à une partie de l'Emsien supérieur ancien. De ce fait le terme Couvinien n'est plus recommandé pour l'établissement de l'échelle stratigraphique standard. Le stratotype de référence est une tranchée dans la formation de Heisdorf creusée en 1937 et approfondie en 1982. Cette formation, accessible et protégée, se situe au sud-sud-est de la ville de Schönecken-Wetteldorf, Eifel Hills, Allemagne. La limite inférieure de l'Eifelien coïncide avec la première apparition du Conodonte *Polygnathus costatus partitus* (Klapper, Ziegler et Mashkova, 1978).

L'étage **Givetien**, nommé ainsi par J. Gosselet en 1879, d'après le Calcaire de Givet en France n'a pratiquement pas changé depuis sa création. Il fait suite à l'**Eifelien**. Sa limite inférieure correspond à l'arrivée des Brachiopodes *Stringocephalus burtini* pour les auteurs allemands. La commission internationale de stratigraphie en 1989 n'a pas encore pris de décision quant à la désignation du taxon-guide.

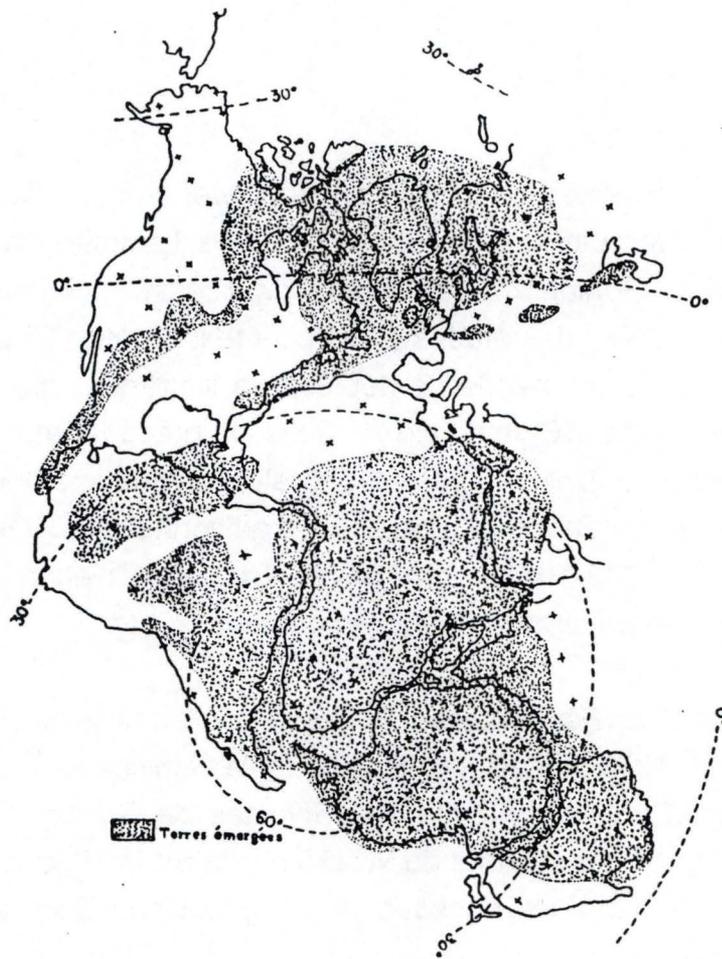
#### 1.3.4. Néodévonien

L'étage **Frasnien**, de Frasnes les Couvin en Belgique, cité par Gosselet en 1880, a toujours approximativement sa signification d'origine. La limite inférieure placée à la base du banc à Goniatite *Phaciceras lunulicosta* (Ammonoïde) de la Manticoceras Stufe. D'après des études plus récentes sur les Conodontes (Ziegler et Klapper 1985), il est recommandé de déplacer la limite à la première apparition d'*Ancyrodella rotundiloba* (Bryant s.d.). Celle-ci précéderait l'apparition de ammonoïdes. Le début du Frasnien correspond alors approximativement à la base de l'assise de Frasnes en Belgique, une limite traditionnelle du Givetien-Frasnien (Olivier et Chlupac 1979-1989). La limite Frasnien-Givetien correspond à l'apparition du Conodonte *Polygnathus asymmetricus*.

L'étage **Famennien** de Famenne en Belgique a été utilisé la première fois en 1885 par Dumont. En 1879 Gosselet l'utilisa dans sa signification actuelle. Sa limite inférieure se trouverait près de la base des Schistes de Senzeille (Belgique). Sa limite supérieure se place au sommet du Wocklumeria Stufe et sous le Gattendorfia Stufe. Le banc se termine en dessous du Tournaisien. Son taxon-guide est *Palmatolepis triangularis*.

Il est à noter que, d'après Mc Laren (1983) in Harland, GTS89, la limite Frasnien-Famennien est proche d'une crise biotique avec des extinctions massives, attribuées par certains auteurs à des impacts de " bolides ".

PALEOGEOGRAPHIE DU MONDE AU DEVONIEN  
SUPERIEUR



d'après W. A. OLIVER Jr. in "Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology..", Vol. 22, N° 2,  
ELSEVIER, Amsterdam, 1977.

Figure 8: Configuration du monde au Néodévonien, d'après B. Ducarme  
La Géologie du Marbre de Rance, 1979, p. 86, planche VI

#### 1.4. Paléogéographie

Au début du Dévonien, vers 400 Ma, la Terre ne possédait pas du tout sa configuration actuelle. Le Dévonien est une période de transition entre les deux grands cycles orogéniques, calédonien et hercynien.

À cette époque la paléogéographie de l'Europe (figure 8) est caractérisée par la présence du continent des Vieux Grès Rouges (Old Red Sandstone ou O.R.S. des géologues britanniques). Cette entité comprenait sur le Spitzberg, le Nord-Ouest de la Russie, le Groenland, l'Amérique du Nord, la Norvège et l'Écosse qui achevaient de se regrouper en un seul continent au cours du Dévonien inférieur. Déjà une vaste aire océanique parsemée d'îles s'étendait entre le continent des Vieux Grès Rouges et celui du Gondwana au Sud (figure 9).

Les modifications paléogéographiques sont, à l'époque liées aux avancées et aux reculs de la mer sur le continent des O.R.S. d'une part et sur le Gondwana au Sud d'autre part. Nos régions se situent, alors dans la zone des tropiques, au sud de l'Équateur.

Le Dévonien correspond à un tournant fondamental dans l'évolution de la vie : le début du peuplement des terres émergées par les plantes et les animaux.

Citons notamment l'apparition des premiers vertébrés tels que les poissons Placodermes (figure 10a) au Dévonien inférieur ainsi que l'émergence au Dévonien supérieur des premiers tétrapodes amphibiens (*Ichtyostega* figure 10b). Ceux-ci, malgré leur étroit assujettissement au milieu aquatique, donnent le départ de la grande aventure des vertébrés terrestres.

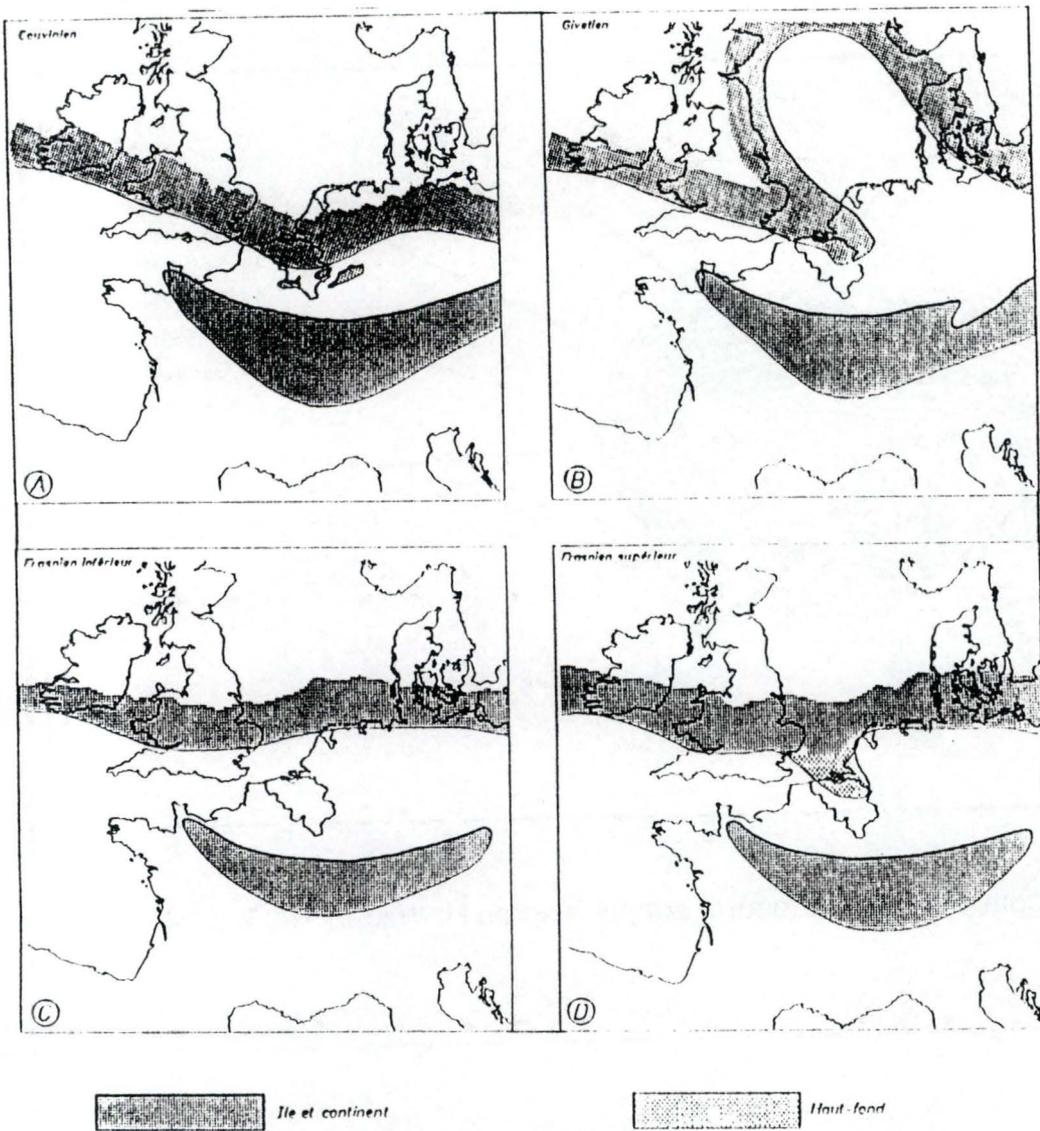


Figure 9: Position du rivage continental et des îles à la fin du Couvinien (A), Du Givétien (B), du Frasnien inférieur (C) et <sup>supérieur</sup> (D) (D'après Tsien, 1977)

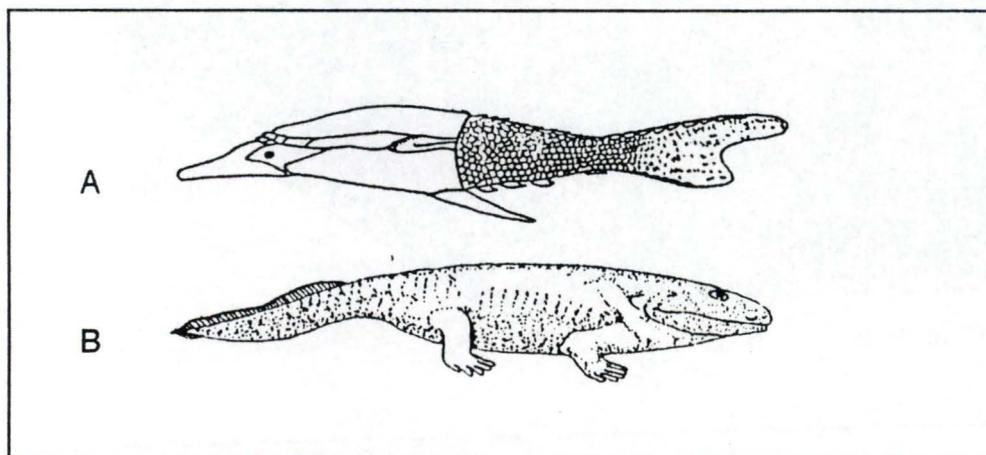


Figure 10: Les vertébrés du Dévonien, Placoderme (A), Amphibien (B), (D'après, B. Ducarme, 1979, pp.18-19)

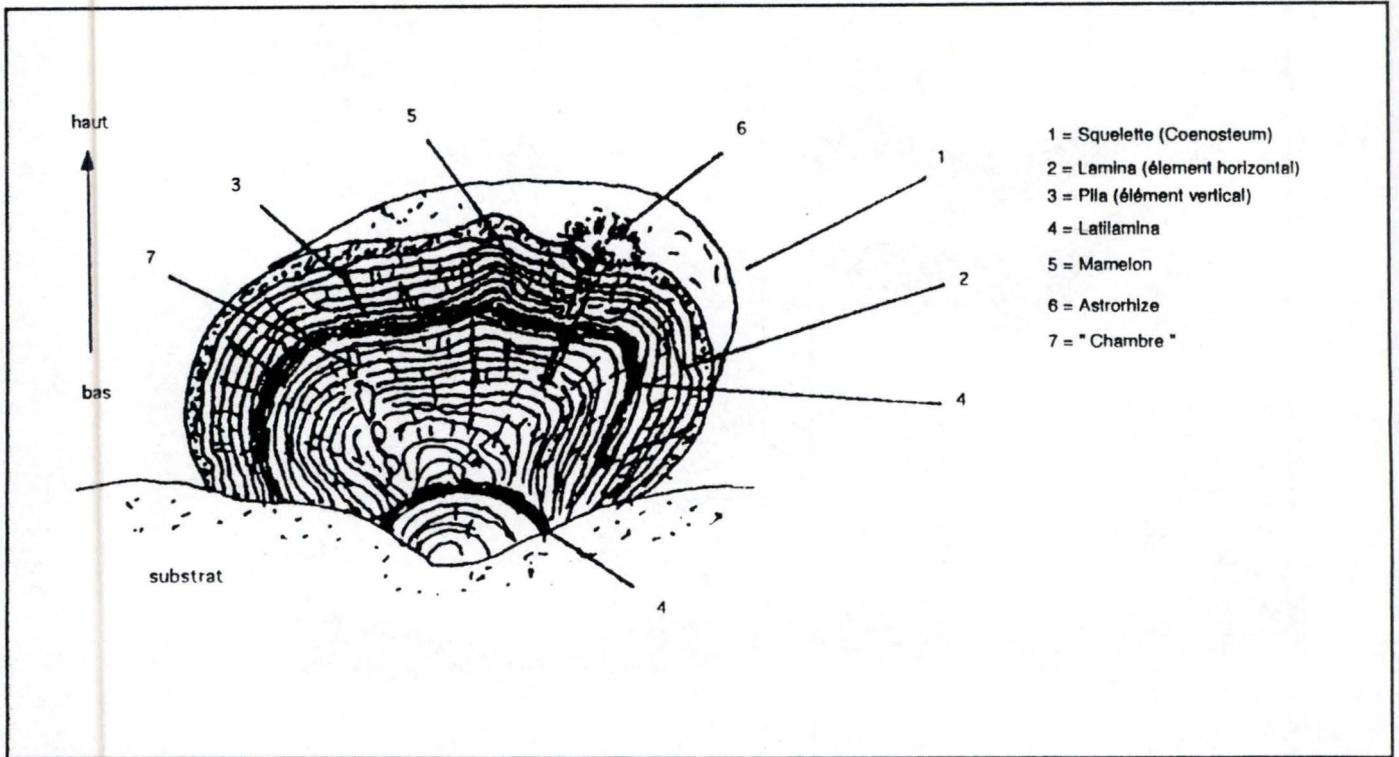


Figure 11: Morphologie d'un Stromatopore, adapté d'après H. Wilder, 1985, p.24

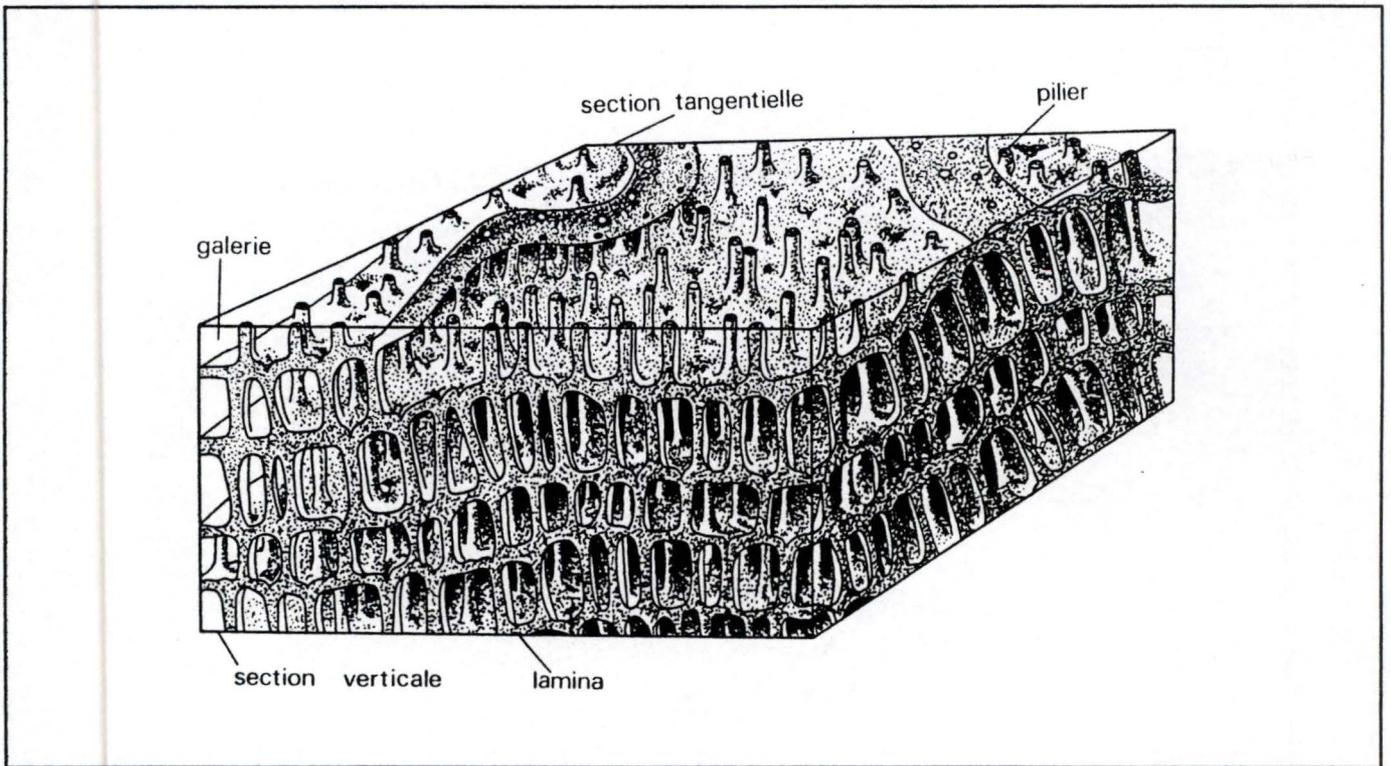


Figure 12: Squelette d'un Stromatopore observé à la loupe, d'après C. Babin, 1991, Principes de Paléontologie, p.229

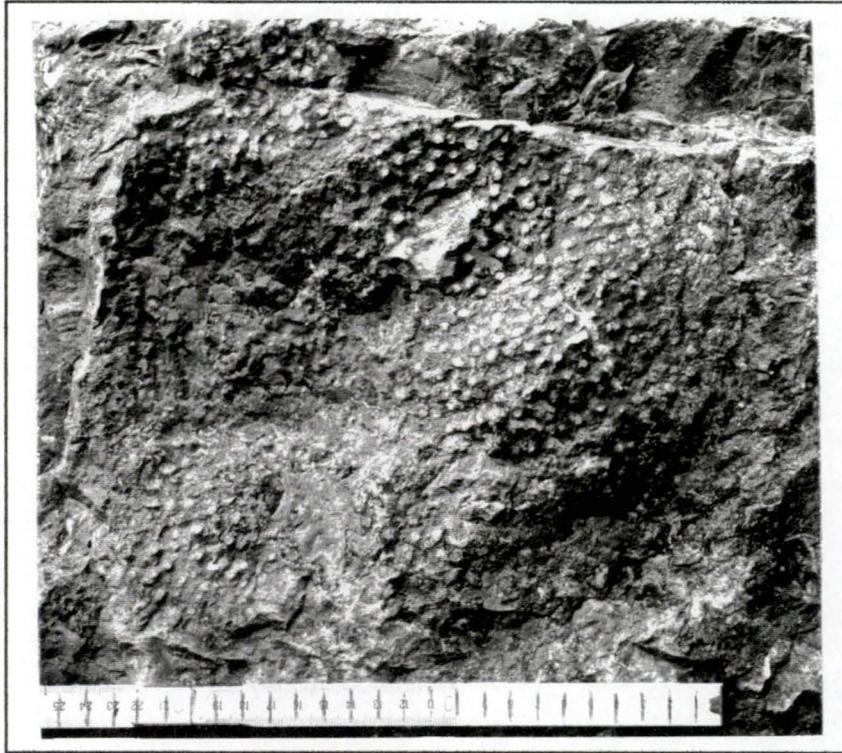


Photo 1: Mamelons en vue polaire, sur un bloc intransportable

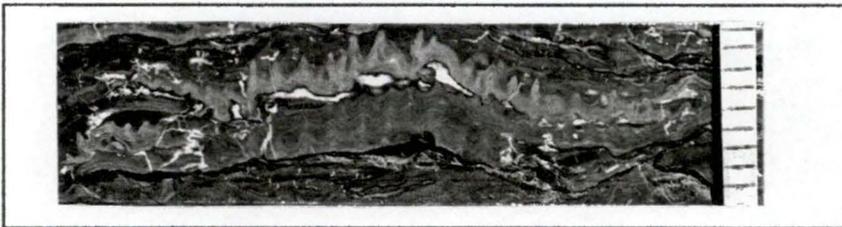


Photo 2: Stromatopore présentant des mamelons bien développés, base de la paroi CD, à noter la présence de *fenestae*

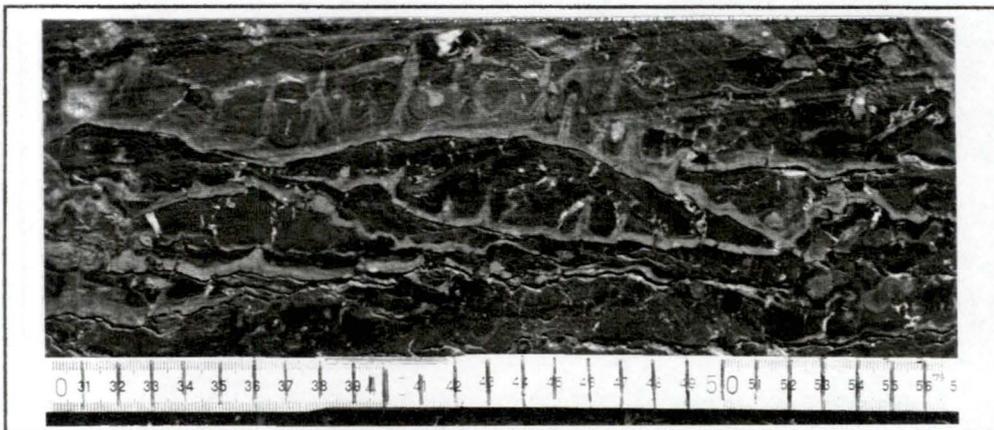


Photo 3: Stromatopore, possédant des mamelons bien développés, base de la paroi CD, à noter la base plus marquée, due probablement à des corrosions au contact du substrat sous-jacent.

## 2. STROMATOPORES

Les Stromatopores sont des organismes fossiles marins. Les spécimens du Paléozoïque étaient des constructeurs de récifs dans les mers tropicales, ceux du Mésozoïque avaient un rôle plus secondaire dans l'édification récifale.

### 2.1. Identification macroscopique

#### 2.1.1. À la surface externe du fossile

La surface extérieure des Stromatopores montre (figure 11) parfois des petites saillies plurimillimétriques arrondies: les mamelons (Photos 1-3).

Sur certaines surfaces écaillées ou corrodées, on peut observer de fins canaux inframillimétriques ondulés, plus ou moins ramifiés et rayonnants: ce sont les astrorhizes.

Très souvent, les astrorhizes aboutissent au sommet des mamelons. Toutefois, il peut exister des mamelons sans astrorhizes et inversement.

#### 2.1.2. En section

La présence de Stromatopores dans une roche se reconnaît à la structure feuilletée du squelette qui apparaît sur des fractures, elle correspond à des zonations de croissance.

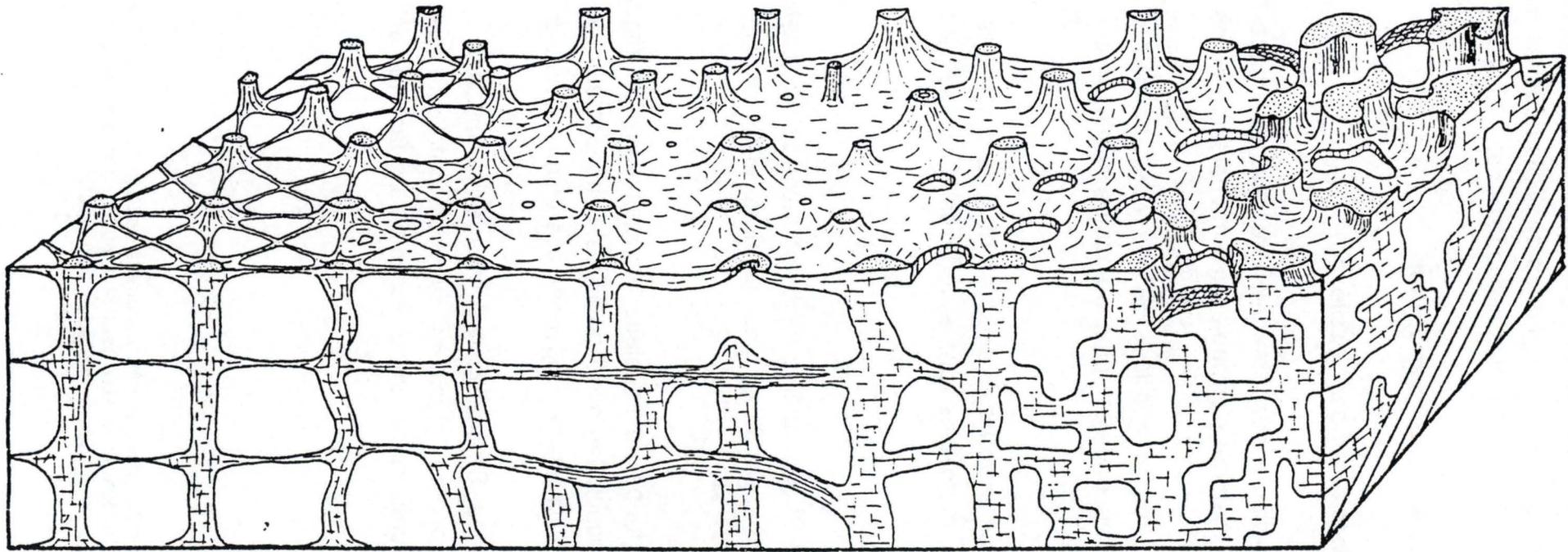
Observé à la loupe, le squelette apparaît constitué (figure 12) par un réseau d'éléments verticaux, les *pilae* ou piliers, et horizontaux, les *laminae*<sup>6</sup> ou lamelles, de 2 à 10 par millimètres en moyenne et plus ou moins bien différenciées.

Le squelette des Stromatopores montre parfois une zonation régulière plus grossière regroupant plusieurs *laminae*, attribuée par les auteurs à des périodicités de croissance. Un tel ensemble de *laminae* est appelé une *latilamina*.

---

<sup>6</sup>Le terme *laminae* a été utilisé par M. Lecompte sous le vocable de lamelles. Ce terme peut prêter à confusion car la "structure lamellaire" peut se rapporter soit à la microstructure du test, soit à la forme d'un type de colonie développé en plateau ou en galette.

PRINCIPALES VARIATIONS AFFECTANT LA FORME ET LA DISPOSITION  
DES ELEMENTS DU SQUELETTE - diagramme schématique



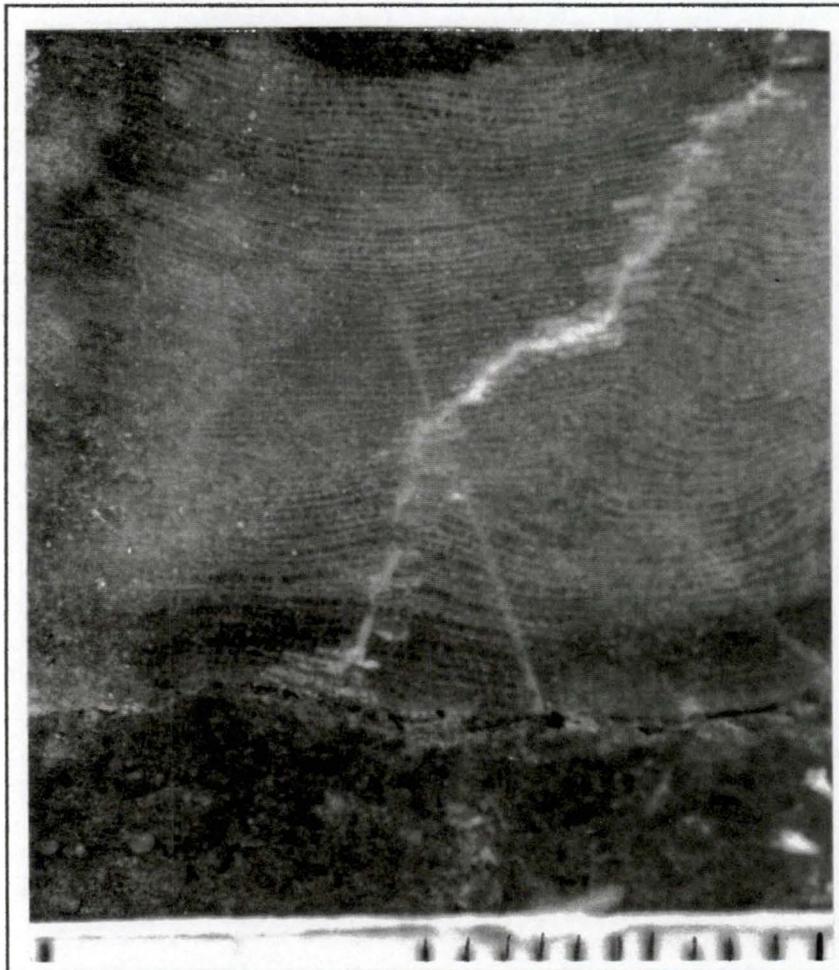
1 mm.

T.P.C. 1972

Figure 13: D'après P. Cornet, 1975, fig 1.



Photo 4: Lamelles et piliers en lame mince



(1 cran = 1mm)

Photo 5 : Lamelles et piliers, détail Stromatopore de la paroi CD

## 2.2. Organisation du squelette (Figure 13)

### 2.2.1. Piliers ou pilae (Photos 4 et 5)

Ce sont les éléments verticaux du squelette, de longueur et de taille très variables. Il existe des piliers continus qui recourent plusieurs *laminae* et des piliers discontinus restreints à un seul espace interlaminaire.

La continuité des piliers est plus ou moins grande selon les espèces. En effet, plusieurs éléments discontinus peuvent se superposer d'un étage interlaminaire à l'autre: ils donnent alors l'illusion de piliers continus. Mais, dans ce cas, les différents tronçons restent séparés par les lamelles qui recourent l'ensemble. Cet agencement est désigné par le terme de "surimposition" qui donne lieu aux "piliers surimposés".

Les piliers semblent parfois être traversés de part en part par une cavité axiale, les faisant apparaître comme des cylindres creux, ne s'ouvrant pas toujours à la surface. L'existence de cette cavité correspond en fait à l'occurrence, dans la région axiale, d'une zone fortement pigmentée ou plus claire. La zone axiale des piliers, qu'elle soit sombre ou claire, est constituée de carbonate de calcium qui a tous les caractères d'une sécrétion organique, colorée parfois par un pigment charbonneux.

### 2.2.2. Lamelles ou laminae (Photos 4 et 5)

Elles représentent les éléments horizontaux du squelette formant un réseau plus ou moins continu de fibres horizontales reliant les piliers.

Les lamelles peuvent être minces ou épaisses mais, en règle générale, elles restent inférieures au millimètre. Dans un même genre ou une même espèce, des variations peuvent exister, bien que l'influence du milieu soit difficile à déceler.

Le plus souvent, l'observation en section polie tangentielle montre que les lamelles sont réellement formées par une pellicule calcaire continue, plus ou moins épaisse, perforée ou non de piliers. Dans un certain nombre de formes, elles constituent des plaques lamellaires percées de pores arrondis, correspondant aux centres des mailles et mettant en communication les chambres des étages superposés.



Photo 6: Stromatopore montrant des latilaminae bien visibles, paroi KJ



Photo 7: Stromatopore à latilaminae bien visibles, ayant épousé la forme ondulée du substrat, paroi MN

### 2.2.3. *Latilaminae* (Photos 6 et 7)

Le squelette de certains Stromatopores montre parfois une zonation régulière plurimillimétrique, d'épaisseur peu variable dans une même colonie. Ce sont les *latilaminae*.

Elles se marquent généralement par une pigmentation plus intense, un épaissement ou un resserrement des lamelles au niveau de séparation et, dans un certain nombre de cas, par un lit astrorhizal plus développé à la base de chaque zone. Le sommet de chaque zone montre un épaissement en même temps qu'une individualisation des piliers. Par endroits, les piliers chevauchent deux ou plusieurs zones. La latilamination peut aussi s'atténuer localement.

Le phénomène se présente comme un ralentissement périodique dans la croissance vers le haut. La reprise de l'activité de la colonie est marquée par un niveau astrorhizal très développé à la base de chaque *latilamina*.

Parfois, les *latilaminae* peuvent être confondues avec les hiatus (arrêt complet) plus ou moins prononcés qui marquent le développement vertical de nombreuses formes massives.

### 2.2.4. *Chambres*

L'espace compris entre deux piliers et deux *laminae*, observable en coupe verticale, est désigné sous le terme de chambre. Cette dénomination peut sembler incorrecte étant donné que l'espace compris entre deux *laminae* n'est pas subdivisé par une véritable cloison, mais par une succession de piliers plus ou moins rapprochés.

P. CORNET (1975, p.10) suggère d'utiliser le terme d'espace interlaminaire à la place de chambre, et, de désigner les vides apparaissant en coupe verticale par celui de maille.

### 2.2.5. *Dissépiments et septa*

Ce sont de minces pellicules calcaires plus ou moins bombées recoupant les espaces interlaminaires en tous sens. Leur présence est souvent aléatoire, même au sein d'un spécimen. De nombreux auteurs les associent à la présence des astrorhizes.



Photo 8: Astrorhizes en coupe longitudinale, détail Stromatopore,  
paroi CD

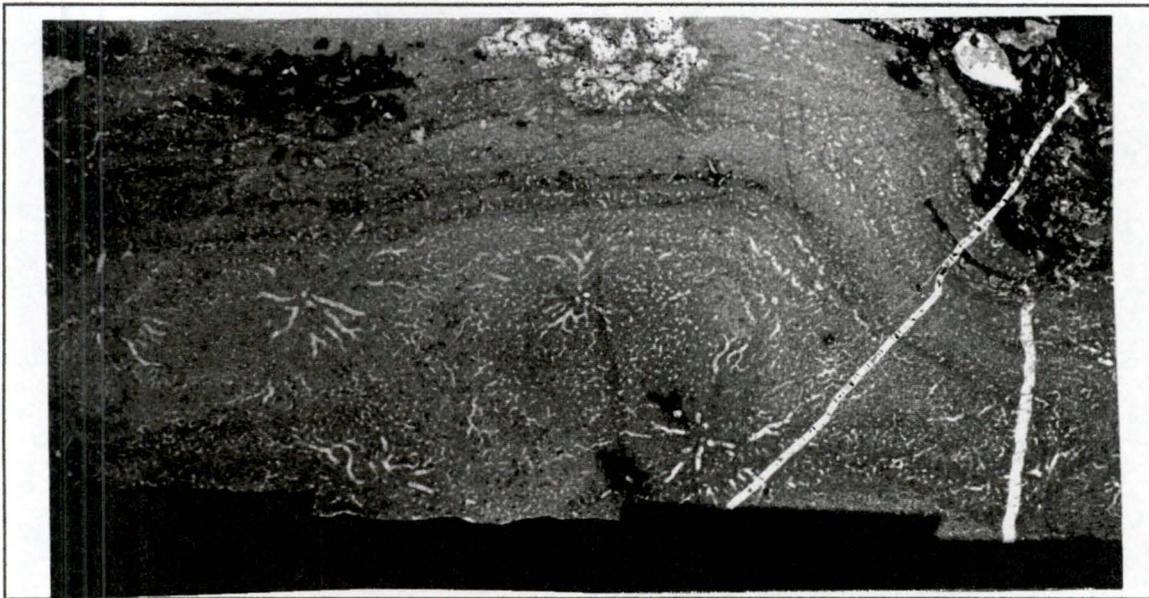


Photo 9: Astrorhizes en vue polaire, en lame mince, échantillon PM 12, (1 cran = 1 cm)

### 2.2.6. *Astrorhizes* (Photos 8 et 9)

Ces structures, ainsi désignées par H. J. CARTER (1880) in P. Cornet (1975) par analogie avec les hydrorhizes des Hydrozoaires, constituent la particularité la plus remarquable des Stromatopores.

Elles se présentent à la surface du squelette en groupements étoilés de canaux dépourvus de parois propres. Elles convergent le plus souvent sur une ouverture centrale circulaire qui débouche au sommet d'un mamelon, plus rarement sur les flancs de celui-ci, ou sur la surface lamellaire non mamelonnée.

A chaque phase de développement vertical du squelette, elles se forment et se referment au moment où la colonie construit un nouvel étage. La colonie vivait donc essentiellement en surface, en tapis réticulé, entièrement logé dans les gouttières astrorhizales et les ramifications intercalaires. La reprise de la croissance, après un hiatus accidentel ou à la base des *latilaminae*, se marque par un lit astrorhizal souvent particulièrement développé.

La taille et l'écartement des unités astrorhizales s'avèrent fort variables. Le diamètre des canaux diminue en s'éloignant de l'espace central ouvert où elles convergent.

Souvent, les ouvertures des niveaux successifs de phases de croissance se superposent formant un pseudo-canal vertical. Cette surimposition des astrorhizes en systèmes verticaux n'est pas rare. Elle existe même en l'absence de mamelons.

Les astrorhizes sont présentes à chaque niveau laminaire, les branches astrorhizales étant généralement conformes à la lamination. Leur occurrence est d'autant plus manifeste que la coupe est proche de l'axe du système astrorhizal. Parfois elles sont peu apparentes en coupe verticale lorsqu'elles se confondent avec les espaces interlaminaires et qu'elles ne sont pas signalées par des dissépiments.

Les dissépiments sont d'occurrence variable dans les systèmes astrorhizaux. Dans les canaux axiaux, leur présence est constante. Dans les ramifications, d'une manière générale, leur fréquence est en rapport avec la largeur des canaux; ils sont plus abondants dans les formes à astrorhizes grossières et, absents ou rares dans les formes à astrorhizes étroites. Mais c'est un caractère très variable selon les espèces.

Les Stromatopores branchus ont des canaux axiaux et radiaux qui sont analogues aux systèmes astrorhizaux. En effet, lorsque les mamelons des Stromatopores lamellaires à astrorhizes superposées sont hauts et minces, ils ne peuvent être distingués des Stromatopores dendroïdes.

La signification des astrorhizes est la plus discutée. Elle est liée au problème de la position systématique du groupe. Quatre hypothèses de base ont été proposées à la fonction des astrorhizes :

- 1) les astrorhizes sont homologues aux hydrorhizes des Hydrozoaires tels que *Hydractinia*.
- 2) Les astrorhizes sont la trace de tubes contenant des zooïdes spéciaux, comme par exemple les zooïdes reproducteurs.
- 3) Les astrorhizes sont la trace d'organismes parasites ou symbiotiques étrangers aux Stromatopores.
- 4) Les astrorhizes représentent le système de canaux aquifères exhalants des spongiaires.

L'identification du rôle des astrorhizes n'est pas résolu. Ce qui est certain, c'est qu'au niveau de la vie et du développement de la colonie, elles jouaient un rôle important, pas uniquement celui d'une simple irrigation de la colonie, et elles contribuaient à la sécrétion du squelette.

### **2.3. Microstructure**

Plusieurs interprétations ont été tentées sur la microstructure des Stromatopores. Les développements récents sur la diagenèse des carbonates ont amené certains auteurs à rejeter la plupart des subdivisions appuyées sur la microstructure.

L'objet de notre travail et la méthode utilisée qui fait peu appel à l'interprétation de lames minces au niveau microscopique, ne nous a pas permis de développer cet aspect de la recherche.

D'après Stearn (1972) on peut retenir néanmoins que les premières descriptions ne faisaient état que de deux types de microstructure: le type compact et le type cellulaire. Dans la suite, de nombreuses subdivisions furent proposées, parmi lesquelles bon nombre se sont révélées artificielles parce que dues à des phénomènes de recristallisation.

Tous les Stromatopores sont conservés sous forme de calcite. Certaines microstructures observées chez les Stromatopores paléozoïques sont secondaires résultant d'une diagenèse des éléments squelettiques, d'autres sont primaires. La microstructure est souvent décrite en terme de plages sombres et claires. Les plages sombres représentent des carbonates micritiques.

Le problème de l'origine des carbonates dans les fossiles n'est pas l'apanage des Stromatoporoïdes, mais concerne bon nombre d'organismes fossilisés. De leur vivant ces organismes sécrétaient de l'aragonite, mais les parties dures préservées sont composées de calcite. L'aragonite aurait été remplacée par de la calcite par inversion tout en gardant la structure originelle. Mais durant cette inversion il peut y avoir destruction plus ou moins complète de la microstructure d'origine et il ne reste plus qu'une mosaïque de calcite équigranulaire.

Galloway (1957 in Stearn, 1972) réexamina l'hypothèse de Nicholson (1886 in Stearn, 1972), pour qui les Stromatopores étaient originellement en aragonite et en conclut qu'il sécrétaient plutôt de la calcite. Toutefois l'observation en lame mince des bords vagues et des structures internes sombres indiquerait plutôt que le carbonate a recristallisé rapidement et qu'il avait été sécrété sous forme d'aragonite. La préservation de la microstructure pourraient dépendre de la quantité de matière organique incorporée dans le carbonate durant la sécrétion.

Dans certains Stromatopores l'inversion peut avoir détruit complètement la structure originelle, dans d'autres les traces de cette structure peuvent avoir été conservées.

Les Stromatopores mésozoïques se différencient des Stromatopores paléozoïques par une structure microscopique différente.

Pour St Jean 1957 in Stearn 1972, les Stromatopores paléozoïques et mésozoïques sécrétaient, tous deux, de l'aragonite. L'inversion en calcite préserve la structure d'origine avec des degrés de conservation différents selon leur âge, les conditions de fossilisation et de diagenèse, ce qui peut expliquer les différences

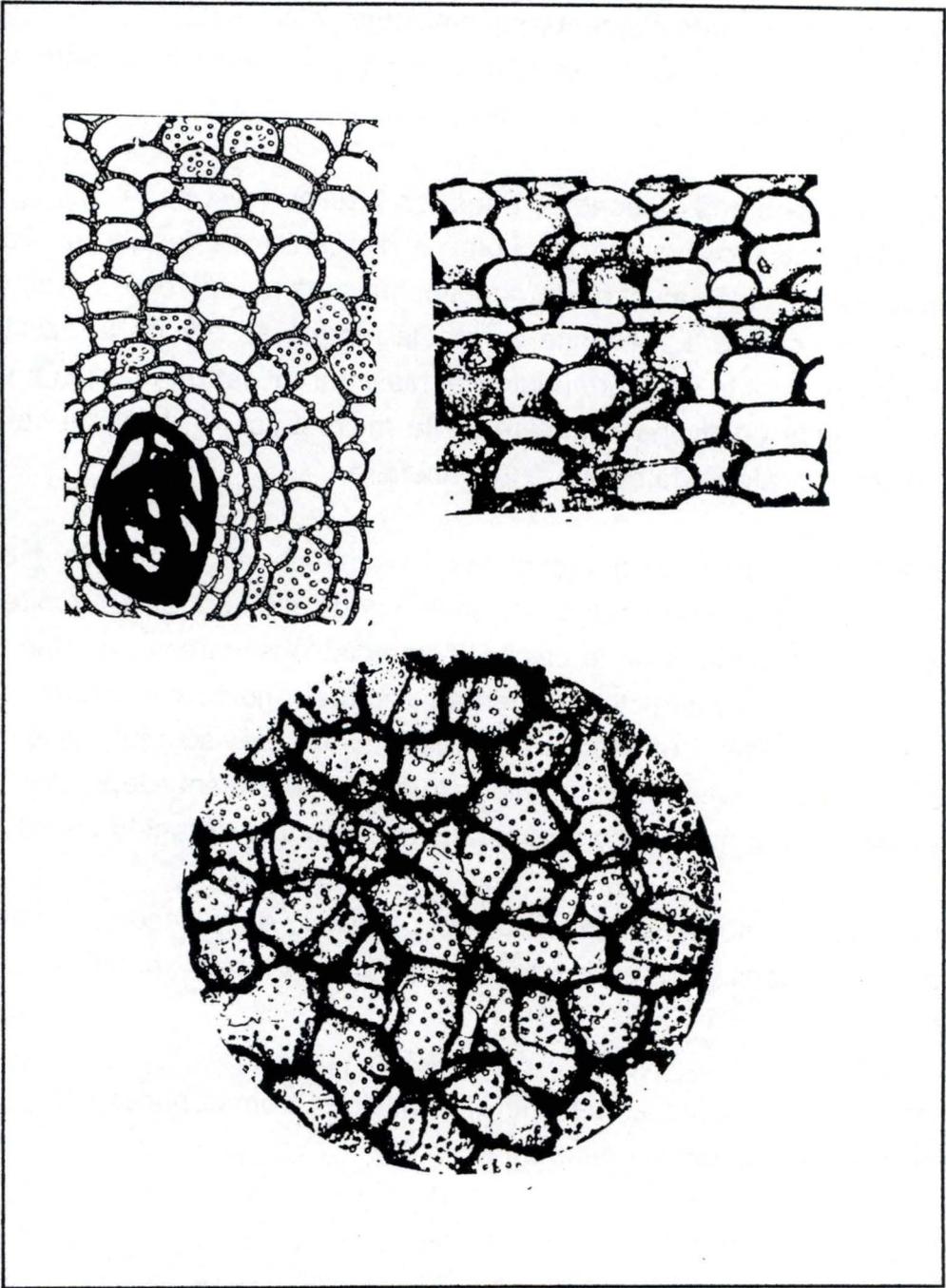


Figure 14: Représentation en lame mince du Foraminifère *Gypsina*, d'après R. Moore, 1964, p. C697

## 2.4. Position systématique des Stromatopores

### 2.4.1. Historique

Les caractères propres de ce groupe, entièrement fossile, et son manque d'affinité avec des groupes vivants, ont porté les auteurs à rechercher ses relations avec divers embranchements.

La position systématique des Stromatoporoïdes a fait et fait encore l'objet de controverses. Ces organismes ont notamment été rapprochés des Foraminifères, des Cyanobactéries, des Hydrozoaires et des Spongiaires. L'historique de la question est rapportée en détail dans l'ouvrage de M. Lecompte (1951).

Les principaux points de vue sont présentés ci-après, avec les arguments pour et contre:

### 2.4.2. Affinités avec les Foraminifères

Les pseudo-chambres du squelette des Stromatopores ont été rapprochées des loges de certains Foraminifères (*Gypsina* Figure 14) (J. HICKSON, 1934; W. A. PARKS, 1935 in Lecompte 1951). Ces organismes sont des protozoaires surtout marins, du groupe des Rhizopodes. Ils s'entourent d'une coquille percée d'un ou de plusieurs orifices par lesquels sortent des pseudopodes.

Si l'hypothèse de la parenté des Stromatopores avec les Foraminifères est correcte, les canaux astrorhizaux seraient des orifices permettant la protusion des pseudopodes. Cependant, les *laminae* ne montrent pas d'ouvertures assimilables aux forams.

### 2.4.3. Affinités avec les Cyanobactéries

Kazmierczak (1969 in Stearn 1972) émet l'hypothèse que les astrorhizes sont des traces d'organismes (plantes ou animaux) parasites ou symbiotiques, étrangers aux Stromatopores.

Le large calibre des tubes qui pénètrent les spécimens *Hermostroma* et *Stromatoporella* du Dévonien de Pologne, sur lesquels il base son hypothèse, auraient pu être des symbiotes, mais ils ne sont pas typiques des canaux astrorhizaux des autres Stromatoporoïdes.

En effet, quatre critères semblent suffisants pour prouver que les canaux astrorhizaux font partie intégrante des Stromatoporoïdes :

- 1) la régularité des espaces et des formes au sein d'un *coenosteum* individuel ne ressemble pas du tout à un organisme étranger.
- 2) la relation symbiotique des astrorhizes avec les Stromatopores qui aurait duré pendant plusieurs millions d'années est sans parallèle dans les relevés paléontologiques.
- 3) la symétrie des systèmes astrorhizaux dans les *coenostea* ramifiés des Stromatopores dendroïdes ne peut être attribuée à des intrusions accidentelles d'organismes étrangers.
- 4) les formes modernes similaires par leur morphologie et leur habitat aux Stromatopores ont des mécanismes qui empêchent les larves d'organismes benthiques de coloniser leurs surfaces. Sans ce mécanisme, les Stromatopores auraient été rapidement étouffés.

En 1976, Kasmierczak maintient cette interprétation et rattache les Stromatoporoïdes aux Cyanobactéries: ils représenteraient des colonies minéralisées de Cyanobactéries coccoïdes fortement apparentées aux Stromatolites calcaires fossiles et modernes, formées par la précipitation *in situ* de carbonate de calcium.

#### 2.4.4. Affinité avec les Hydrozoaires

Bien que l'appartenance des Stromatopores aux Spongiaires ait été préconisée dès la fin du XIX siècle (KIRKPATRICK 1909, 1910; HEINRICH 1914; TWITCHELL, 1928-1929; in CORNET 1975 et in STEARN 1972), l'opinion qui prévalait était de les rattacher aux Hydrozoaires.

Remarquons que le mode de vie de ces deux types d'organismes est tout à fait différent. Les Spongiaires font passer l'eau à travers leur corps pour en extraire les particules alimentaires, tandis que les Hydrozoaires sont des colonies munies de tentacules avec des nématocytes leur permettant de capturer des petites proies.

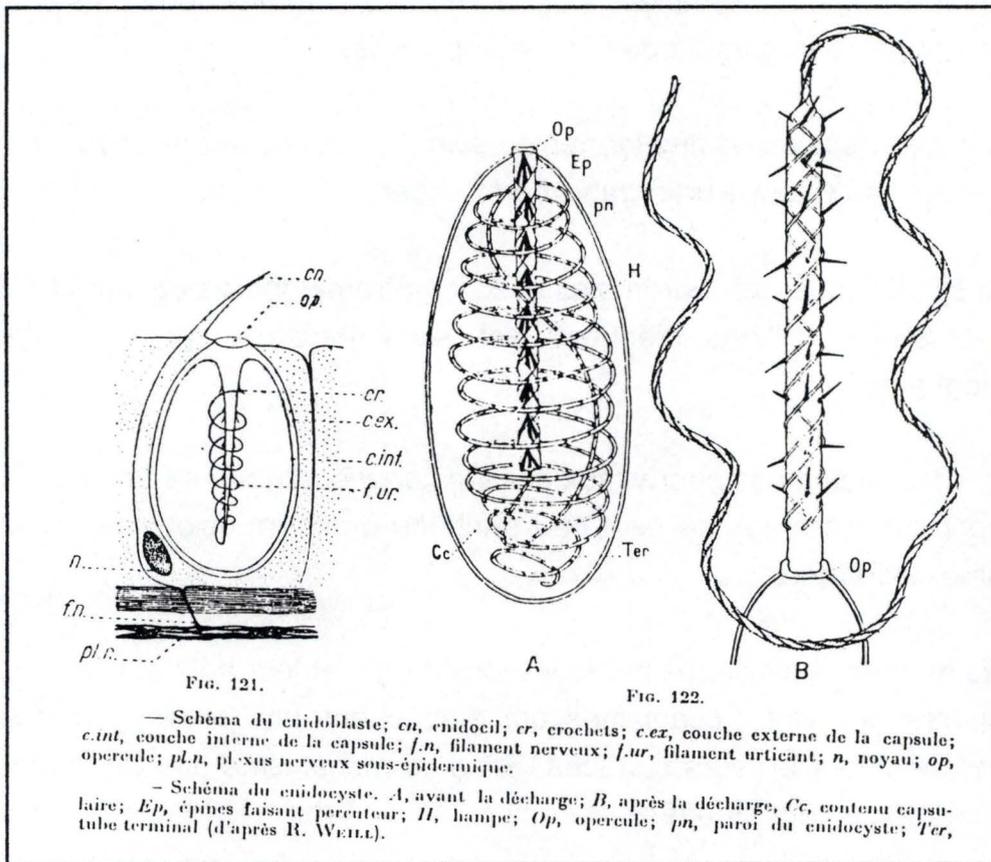


Figure 15: Schéma d'une cellule urticante, d'après P. Grassé, 1970, p. 145

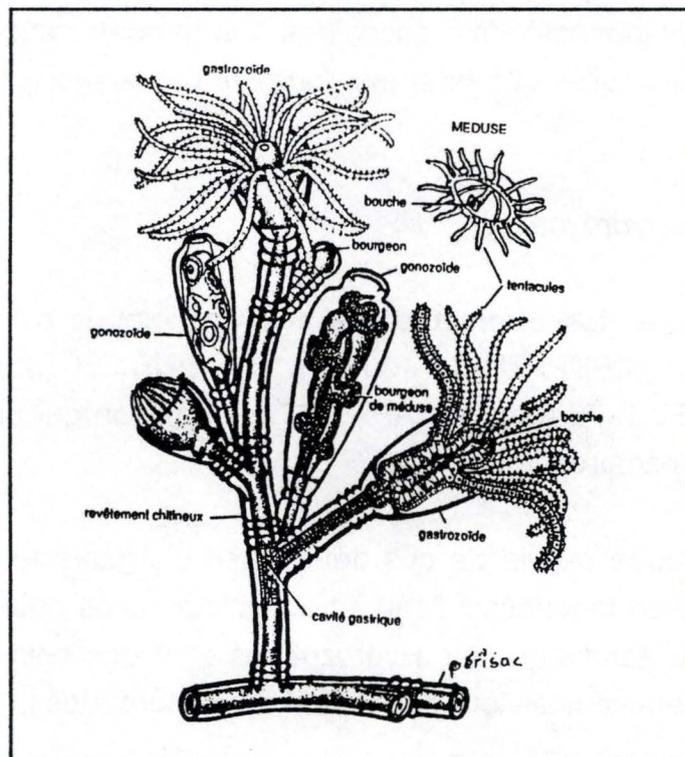


Figure 16: Schéma d'un Hydroïde calyptoblastique, d'après P. Devos, 1991, p. 3.6.

## a) Hydrozoaires

Les Hydrozoaires font partie de l'embranchement des Cnidaires qui regroupent les organismes possédant des cellules urticantes ou nématocytes (figure 15). Ils sont solitaires ou coloniaux et possèdent une bouche saillante, pas de pharynx et une cavité gastro-vasculaire sans cloisons. Le squelette ou *coenosteum*, lorsqu'il existe, est externe. Il consiste en un revêtement chitineux ou rarement calcaire.

Un polype isolé est appelé hydranthe. Il est porté par un pédoncule qui se prolonge le plus souvent par une tige, l'hydrocaule qui le met en relation avec un système de stolons radiculaires ou hydrorhizes, fixé sur le substratum.

Les hydranthes formant la colonie sont polymorphes. On peut distinguer :

- les gastrozooïdes ou polypes nourriciers, munis d'une couronne de tentacules;
- les dactylozooïdes ou polypes défenseurs, recourbés en spirale;
- les gonozooïdes ou polypes reproducteurs.

L'ensemble des trois couches (ectoderme, mésoglée et endoderme) qui constitue la paroi des hydranthes, des hydrocaules et des hydrorhizes forme le *coenosarc*.

Dans la classification des Hydrozoaires, l'ordre des *Hydroïda* Johnson 1836 regroupe des espèces à polypes et méduses solitaires et des formes coloniales fixées. Chez les formes coloniales, il existe à la surface de l'ectoderme une cuticule chitineuse ou rarement calcaire qui recouvre les stolons et les hydrocaules. Le sous-ordre des Gymnoblastes (Allman 1871) ou des Athécates (Hinckes 1868) regroupe les espèces chez lesquelles le périderme ne recouvre aucune partie des hydranthes ou des gonozooïdes. Chez les Calyptoblastes (Allman 1871), une hydrothèque chitineuse (figure 16) protège l'hydranthe et une gonothèque, les gonozooïdes.

## b) Rôle des astrorhizes

La fonction des astrorhizes a été différemment attribuée par les auteurs qui rattachent les Stromatopores aux Hydrozoaires.

Si les astrorhizes sont l'homologue des hydrorhizes (CARTER, 1880; NICHOLSON, 1886 ; STEINER, 1932; YAVORSKY, 1955 ; in CORNET, 1975), les canaux verticaux correspondent aux loges des hydranthes de la colonie.

Or, il est certain que les troncs verticaux ne sont pas des cylindres fermés sur leur pourtour (CORNET 1975). Ils ne peuvent donc pas correspondre à des tubes zooïdaux. De plus, si les centres du réseau stellaire portaient seuls des zooïdes, leur écartement et leur disposition parfois irrégulière apparaissent incompatibles avec l'établissement d'une colonie complète. Qui plus est, on observe également l'absence des troncs verticaux chez certains Stromatopores.

Pour TRIPP (1928 in Lecompte 1951), le système de canaux astrorhizaux correspondrait aux stolons émis par les épines (échinooïdes) des Hydrozoaires récents.

Toutefois, P. CORNET (1975) fait remarquer que les stolons émis par ces épines n'ont pas une extension comparable à celle des astrorhizes, et qu'ils n'influencent pas la disposition des mailles du squelette, comme c'est le cas pour les astrorhizes.

Divers auteurs ont attribués une fonction reproductrice aux astrorhizes.

KUHN (1939 in Lecompte 1951) les considère comme des tubes abritant des gonozooïdes. Or, les astrozhizes ne peuvent être considérés comme des tubes zooïdaux (voir précédemment). De plus, les gonozooïdes des Hydrozoaires actuels ne se distinguent en rien des autres hydranthes pour ce qui est de leur implantation dans le squelette.

Pour GALLOWAY (1957) in Wilder 1985, les astrozhizes témoigneraient plutôt d'un dimorphisme sexuel. Cette hypothèse lui permet d'expliquer l'absence de canaux astrorhizaux chez un grand nombre de formes.

Mais M. LECOMPTE (1951) et P. CORNET (1975) ont montré que cette absence n'est pas réelle; elle est due simplement à la petitesse de leur taille.

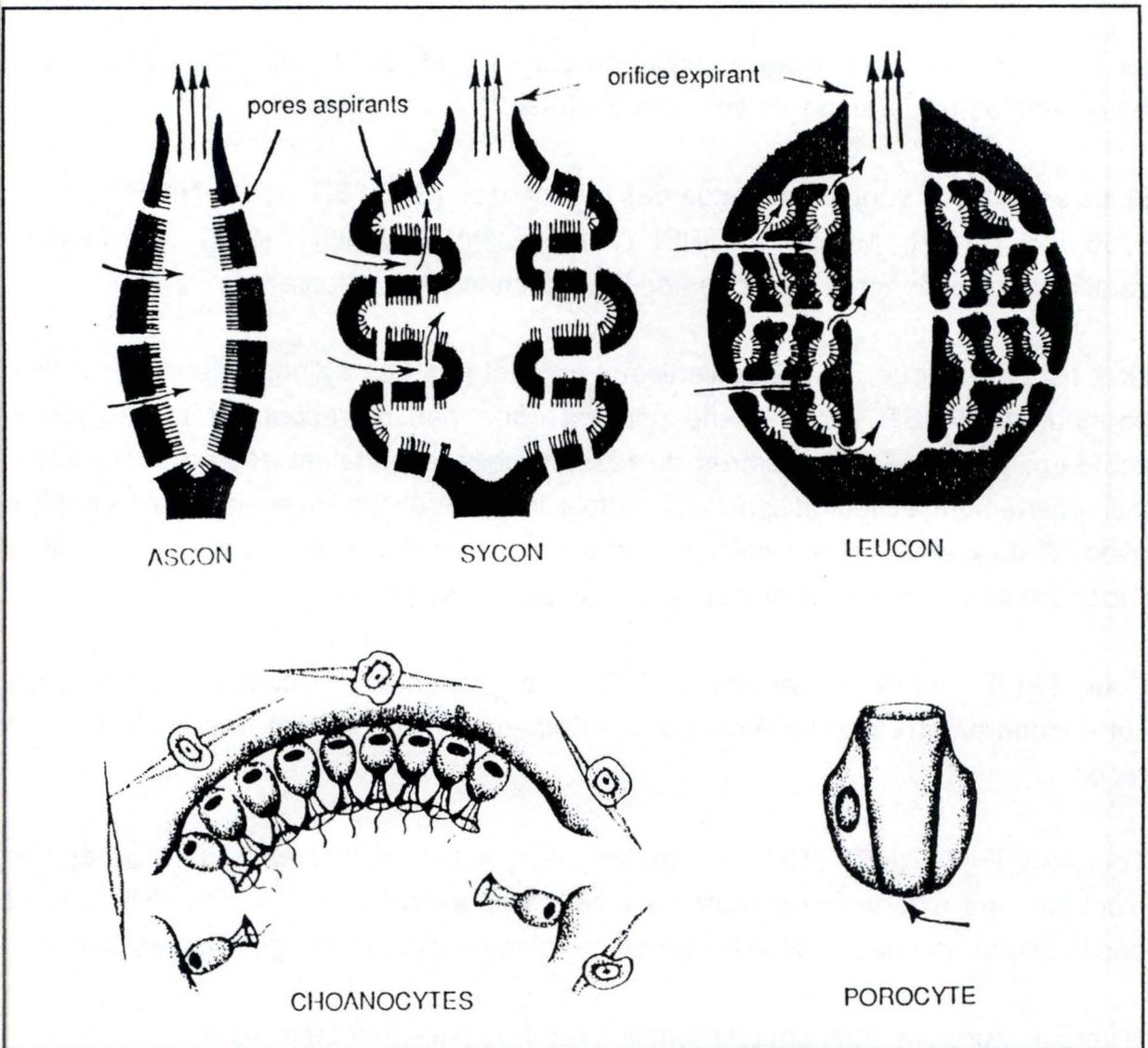


Figure 17: Schéma de Spongiaires, d'après P. Devos, 1991, p. 2.2.

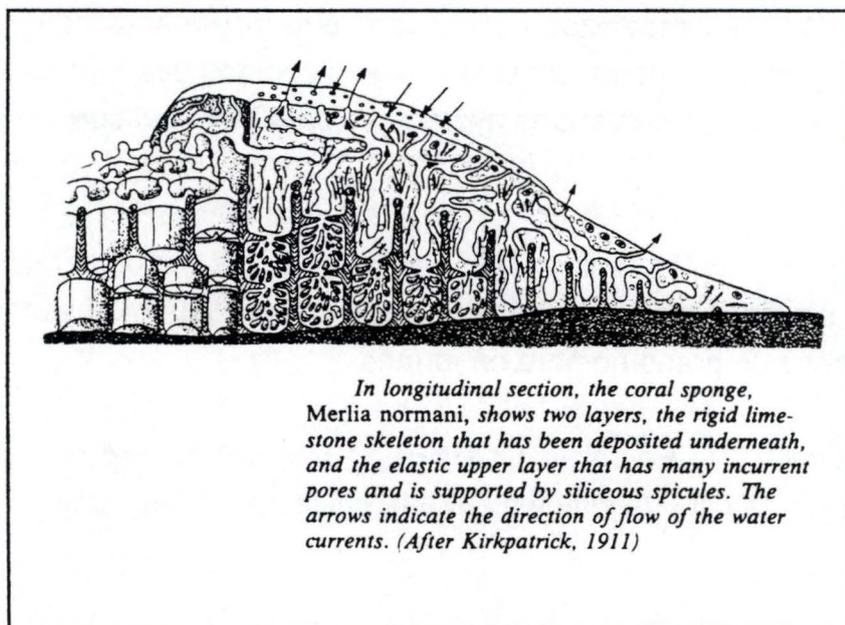


Figure 18: Spongiaire comparable à un Stromatopore, d'après D. Kühlmann, 1985, p. 147

Pour P. CORNET (1975), les astrorhizes seraient attribuables à des individus spécialisés appelés individus-astrorhizes, émettant un réseau de stolons ramifiés sur lesquels bourgeonnent les autres hydranthes (gonozooïdes, gastrozooïdes, dactylozooïdes) de la colonie. La fonction de ces individus-astrorhizes était l'organisation de l'architecture générale de la colonie par l'intermédiaire de leurs prolongements stoloniaux.

#### c) Objection à une parenté avec les Hydrozoaires

Il existe une difficulté quant à considérer l'équivalence des canaux astrorhizaux avec les canaux coenosarcaux : les canaux astrorhizaux contiennent très souvent des dissépiments. Or ceux-ci sont absents dans les canaux coenosarcaux.

#### 2.4.5. Affinités avec les Spongiaires

Le rapprochement avec les Spongiaires fut inspiré par l'apparente homologie existant entre les astrorhizes des Stromatopores et le système de canaux hydrophores des Porifères.

La reconnaissance en 1970 par HARTMAN et GOREAU des Sclérosponges comme un groupe de Porifères avec des caractères coralliens renforce l'idée que les Stromatopores sont proches des Spongiaires.

La surface supérieure des Sclérosponges est formée par une fine couche translucide de cellules percées par des oscules, larges pores exhalants du système étoilé des canaux et par de petits pores inhalants.

Quant à STEARN (1972), il suggère que les Stromatopores constituent un subphylum des Porifères.

#### a) Spongiaires ou Porifères

Les Spongiaires sont les métazoaires les plus simples. Les spécialisations cellulaires sont nombreuses, mais aucun organe n'apparaît. La plupart sont marins, seules les Spongillidés sont dulcicoles. Les formes les plus anciennes sont antécambriennes.

Les Porifères sont des individus diploblastiques, dont le feuillet externe, fait de cellules plates ou pinacocytes, constitue un épithélium de recouvrement pouvant se prolonger à l'intérieur. Entre ces cellules se trouvent les pores inhalants constitués de porocytes (figure 17). Le feuillet interne est fait de cellules à collerette, les

choanocytes (figure 17), qui tapissent une cavité nommée atrium. Munies de flagelles ces cellules amènent l'eau, source d'oxygène, de bactéries et d'algues unicellulaires dont se nourrit l'éponge. Entre les deux feuillets se trouve la mésogée, sécrétée par le feuillet externe.

C'est une sorte de gelée comportant différents types cellulaires:

- les amœbocytes, cellules mobiles intervenant dans la nutrition;
- les collencytes formant un réseau polysaccharidique ou circulent les amœbocytes;
- les cellules neuroïdes qui constituent un système nerveux rudimentaire diffus;
- les scléroblastes élaborant les spicules calcaires ou siliceux;
- les spongioblastes élaborant la spongine.

La forme la plus primitive des éponges (figure 17) est le type Ascon, décrivant une sorte de vase. Le type Sycon a des replis dans sa paroi, alors que le type Leucon forme de véritables chambres à choanocytes.

Du point de vue du squelette on distingue les éponges calcaires, les éponges siliceuses, les éponges qui ne contiennent pas de spicules, mais de la spongine et les éponges cornéo-siliceuses. La classification est basée sur les formes des spicules et sur la localisation des choanocytes.

#### b) Parenté avec les Spongiaires

Après leurs découvertes faites en 1970 sur la côte nord de la Jamaïque et dans l'océan Pacifique, HARTMAN et GOREAU établirent une nouvelle classe d'éponges, les Sclérosponges ou "éponges-coraux", regroupant les six nouveaux genres *Ceratoporella*, *Astrosclera*, *Merlia*, *Stromatospongia*, *Goreauiella* et *Hispidopetra*. Ce seraient les représentants vivants des Stromatopores paléozoïques et mésozoïques (figure 18).

La similitude entre les canaux hydrophores et les astrorhizes est mise en évidence par la disposition en étoile des canaux superficiels confluant vers une ouverture centrale souvent située au sommet d'un bombement. Les traces de ces canaux apparaissent à la surface du squelette sous forme de rigoles. Chez les Sclérosponges, cette particularité est due à la circulation d'un courant d'eau dans les canaux hydrophores proprement dits, constitués de matière organique. La circulation d'eau empêche le développement du squelette sous-jacent.

En plus de leur squelette carbonaté, tous les genres de Sclérosponges, à une seule exception près - le genre *Astrosclera*, renferment de simples spicules siliceux partiellement altérés mais toujours discernables qui peuvent être encastrés dans l'aragonite quand la surface de sécrétion se déplace vers le haut.

L'arrangement des éléments microstructuraux de la fibre squelettique des Sclérosponges est comparable à certains types de microstructures observés chez des Stromatopores, surtout mésozoïques.

### c) Objections à une parenté avec les Spongiaires

#### 1) Astrorhizes et canaux hydrophores:

Plusieurs considérations s'opposent à la similitude entre les astrorhizes et les canaux hydrophores. Tout d'abord, le fait que les astrorhizes se répartissent dans toute la masse du squelette des Stromatopores, alors que les canaux des Spongiaires restent superficiels. Ensuite, la répartition parfois très irrégulière des astrorhizes dans un même spécimen ne permet pas d'y voir la trace de structures physiologiquement aussi indispensables que les canaux aquifères des éponges.

Si les empreintes de canaux hydrophores à la surface du squelette s'expliquent par l'empêchement de la croissance du squelette dû à la circulation d'un courant d'eau, comment expliquer la formation de dissépinements dans les astrorhizes?

#### 2) L'absence de spicules

L'absence de spicules chez les Stromatoporoïdes a toujours été un obstacle à leur rapprochement avec les Spongiaires. La présence de spicules chez les Sclérosponges et leur absence chez les Stromatopores reste toujours un argument de poids contre leur affinité, bien qu'il existe Sclérosponges dépourvus de spicules comme par exemple les *Astrosclera* du Pacifique.

KIRPATRICK (1912) rapporte avoir trouvé des spicules siliceux dans une large gamme de Stromatopores et de Tabulés en les examinant en lame mince à un grossissement de 1000 fois. Il les appela microscières de type sigma mais ne fit aucune figure ou description plus poussée. Afin de contrôler ces observations, Stearn dissolva des échantillons de *coenostae* bien conservés de roches dévoniennes et siluriennes, mais ne trouva aucun signe de spicules dans les résidus insolubles. Aucune étude n'a pu confirmer les observations de KIRPATRICK.

Des fragments de tubes cassés, répartis au hasard, ont parfois été regardés comme fragments de spicules. Pourquoi seraient-ils tous cassés surtout s'ils sont en place? Pour O. KÜHN (1927 in Lecompte 1951), ces fragments spiculaires proviendraient d'éponges parasites.

HARTMAN et GOREAU (1970) estiment que l'absence généralisée de spicules visibles chez les Stromatopores serait due à une corrosion chimique comparable à celle qui provoque la disparition partielle de ceux des Sclérosponges. Cette hypothèse ne tient pas compte que les squelettes de Stromatopores ne renferment pas de spicules, mêmes altérés alors que les nombreux spongiaires fossiles conservés jusqu'à ce jour ont conservé tout ou partie de leurs spicules.

### 3) Microstructures

STEARN (1972) conclut à la similitude des microstructures entre les Sclérosponges et les Stromatoporoïdes mésozoïques. Les microstructures fibreuse et en jet d'eau, observées chez les Sclérosponges, existent également chez les Stromatoporoïdes paléozoïques. Mais elles sont interprétées par STEARN (1966) comme le résultat de phénomènes secondaires.

### 4) Dissépiments et structure lamellaire

La présence de dissépiments et la structure lamellaire (*laminae* et *latilaminae*) chez les Stromatoporoïdes est difficilement rapprochable des Spongiaires. On peut proposer une périodicité basée sur les astrorhizes, mais cela prouve plutôt qu'ils ont une fonction plus importante dans la vie et le développement des Stromatopores que de simples canaux d'irrigation.

### d) Conclusion

Cette comparaison suggère que les Stromatopores étaient des organismes filtrants comme les Sclérosponges, mais qui ont évolué par la perte des spicules et une introduction périodique de dissépiments et de *laminae* par la sécrétion d'un squelette de type Cnidaire.

Ils ne peuvent donc être placés avec certitude ni dans les Sclérosponges, ni dans les Hydrozoaires et devraient être reconnus comme un subphylum des Porifères.

TABLEAU II

# EVOLUTION DES FORMES ECOLOGIQUES EN FONCTION DES CONDITIONS DE MILIEU.

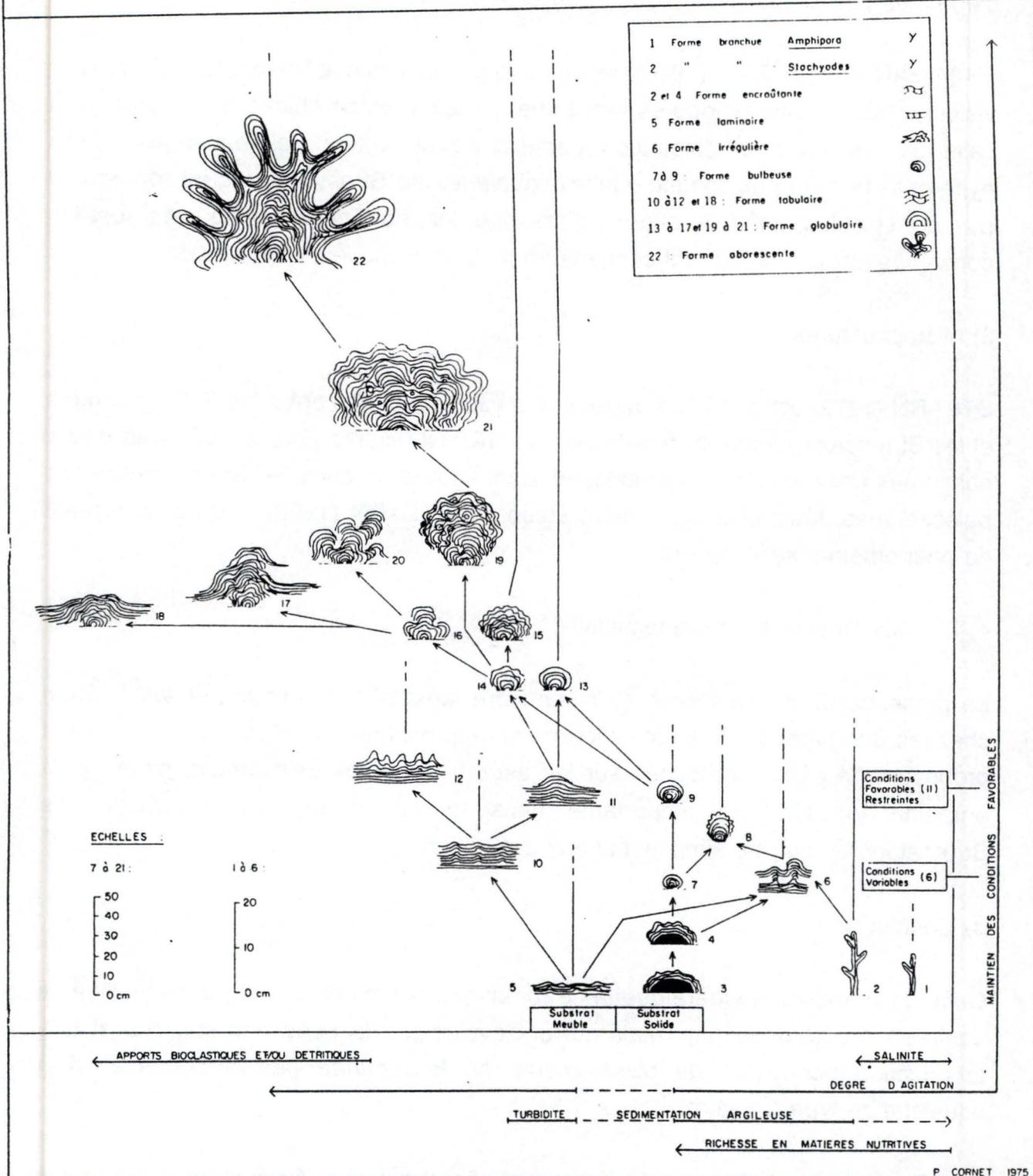


Figure 19: d'après P. Cornet, 1975, Annexes Tableau II

## 2.5. Écologie

La forme globale d'une colonie est surtout déterminée par des conditions extérieures venant diriger les mécanismes physiologiques d'édification du squelette, soit qu'elles les activent, soit qu'elles les contrecarrent. (Figure 19)

Ces deux éléments interfèrent à un point tel, qu'il est difficile de les dissocier. Schématiquement, la morphogenèse d'une colonie apparaît dès lors régie par deux composantes : l'une, horizontale, est l'extension du tapis stolonial ; l'autre, verticale, dépend de la croissance des "individus-astrorhizes". Chacune réagissant dans son sens aux influences du milieu, leur combinaison détermine la forme la plus adaptée aux conditions écologiques.

Du grand nombre de formes que peuvent prendre les colonies de Stromatoporoïdes, P. Cornet, 1975, dégage huit types principaux, adaptés à des conditions déterminées (figure 20):

A- Forme branchue, se rencontre:

- en milieu peu profond et de haute énergie (front des récifs), associée aux formes massives entre lesquelles elle semble s'ancrer.
- en milieu plus abrité, à l'abri des barrières, seule, ou associée à de petites formes bulbeuses.
- le genre Amphipora se développe en "prairies" en milieu peu profond, calme: lagons et plates-formes internes ("back reef"<sup>7</sup>).

B- Forme encroûtante : mince, souvent contournée, épousant la forme du substrat (autre fossile ou fragment), milieux argileux liés à la profondeur ou à la protection.

C- Forme laminaire<sup>8</sup> : mince (moins de 5 cm), constitue de vastes tapis fixant les sédiments argileux; milieux très protégés de plate-forme interne.

D- Forme irrégulière : très variable, intermédiaire entre les formes encroûtantes et bulbeuses; marque le seuil inférieur des conditions favorables au développement des Stromatopores.

E- Forme bulbeuse : arrondie, inférieure à 10 cm; concentrations locales en milieu protégé argileux de plate-forme interne. Indique des conditions localement plus favorables (agitation).

F- Forme tabulaire : épaisse (plus de 5 cm), régulière, souvent caractérisée par ses astrorhizes très continues verticalement; platiers, à l'abri de la bordure des récifs.

---

<sup>7</sup> Voir Annexe 1 pour l'explication de la zonation récifale

<sup>8</sup>Dénommée "lamellaire" par M. Lecompte, ce qui peut prêter à confusion avec les lamelles du squelette

TABEAU I

DISTRIBUTION DES FORMES ECOLOGIQUES DANS LES MILIEUX RECIFIAUX.

LEGENDE

- |   |                              |   |                   |   |                                  |
|---|------------------------------|---|-------------------|---|----------------------------------|
|  | FORME ARBORESCENTE           |  | FORME BULBEUSE    |  | FORME BRANCHE <i>Stectyopora</i> |
|  | FORME GLOBULAIRE IRRÉGULIERE |  | FORME IRRÉGULIERE |  | FORME BRANCHE <i>Amphipora</i>   |
|  | FORME GLOBULAIRE RÉGULIERE   |  | FORME LAMINAIRE   |  | TABLES MASSIF, LAMELLAIRE        |
|  | FORME TABULAIRE              |  | FORME ENCROUTANTE |  | RUGUEUX MASSIF, SOLITAIRE        |

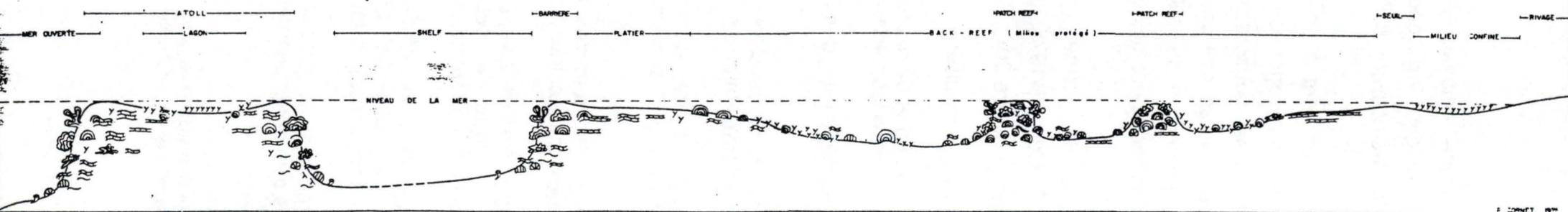


Figure 20 :D'après P. Cornet, 1975, Annexes Tableau I

G- Forme globulaire : arrondie, plus ou moins régulière, de 10 cm à plus d'un mètre; milieux agités de front de récif.

H- Forme digitée ou arborescente : forme massive de laquelle se détachent des expansions en forme de manchon; la plus adaptée aux conditions de très haute énergie, en bordure des récifs.

Les types F, G et H peuvent être regroupés sous le terme de forme massive. De nombreux intermédiaires et variantes existent entre les formes décrites, une même colonie pouvant également passer de l'une à l'autre, retraçant ainsi l'histoire de son biotope.

D'autres théories sont avancées selon les auteurs:

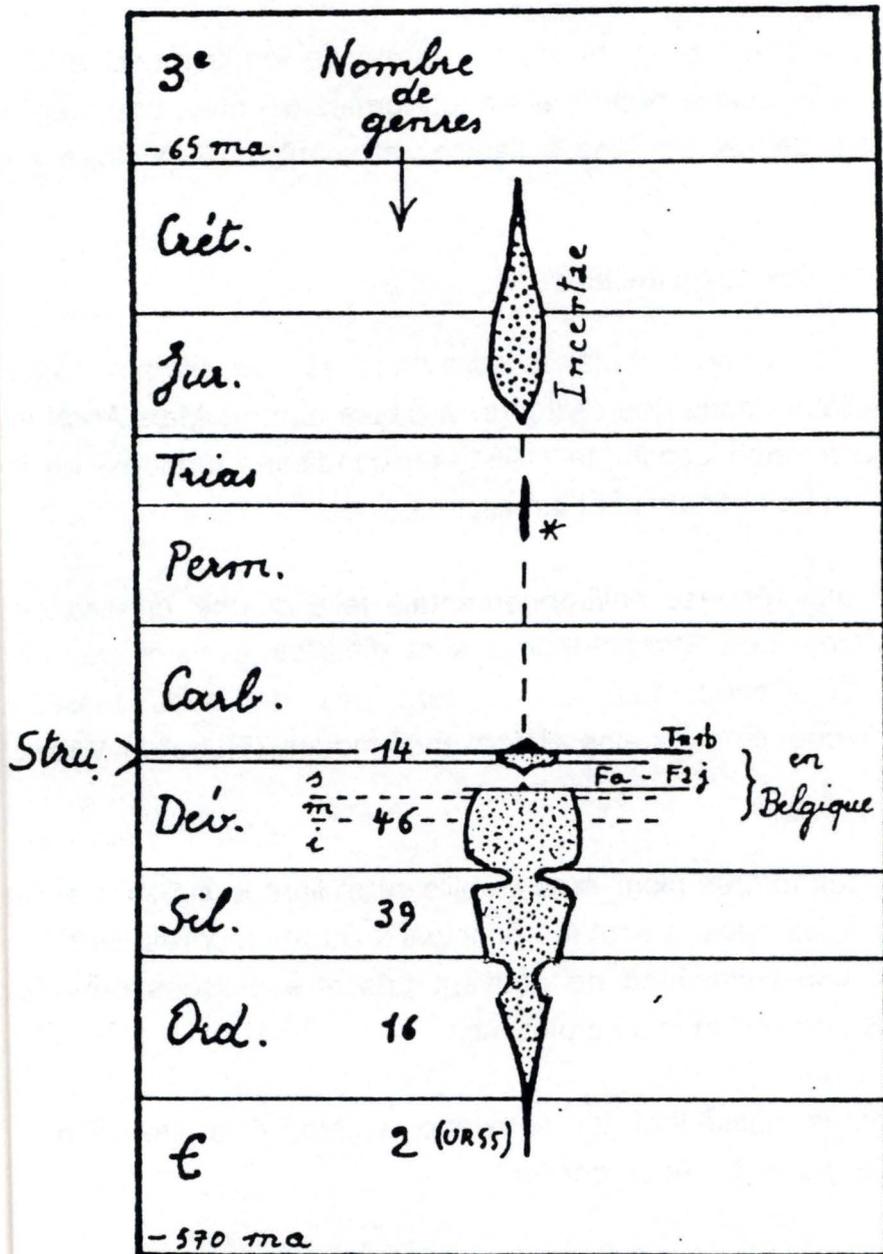
Selon Lecompte et Tsien les forme globulaires sont dans des secteurs à haute énergie et les formes lamellaires dans des secteurs à basse énergie. Mais Abott in Wilder 1985 dit le contraire. Selon Lecompte (1951) en conditions turbides, on a des Stromatopores petits ronds et finalement lamellaires

Les laminations seraient une réponse environnementale telle qu'une croissance saisonnière (max. 3 mm/an). Les Stromatopores sont difficiles à dater car en générale il n'y a pas de Conodontes. Ils ne sont pas de bons fossiles stratigraphiques car de taxonomie incertaine et fort endémiques (Flügel in Wilder 1985).

Les dendroïdes seraient des formes pionnières stabilisant et liant le substrat et le préparant pour les massifs. Les massifs sont les principaux Stromatopores, ils sont lamellaires à globulaires. Les latilaminea ne peuvent pas être utilisées pour la taxonomie car ce sont des perturbations de croissance.

Bien que les Stromatopores possèdent un squelette simple, il existerait des différences du point de vue mode de vie et fonction.

D'après M. Lecompte, 1951 les Stromatoporoïdes résisteraient moins bien aux milieux terrigènes que les polypiers. Ils sont pratiquement absents des niveaux schisteux. Les Biohermes à Polypiers du Frasnien moyen ne constitueraient pas un milieu favorable au développement des Stromatopores. Ils y sont rares, inversement les Rugueux et les Tabulés sont plus rares dans les Biostromes à Stromatopores ce qui indiquent que les Stromatopores se sont développés dans un milieu moins profond que les Biohermes à polypiers. Dans les récifs actuels il existe des zones écologiques comportant des Éponges et des Coelentérés. De telles associations existaient-elles dans les récifs anciens?



Récifs à Stromatopores

(x) : Djebel Tebaga (Termier & Vachard, 1977)

Figure 21: Répartition stratigraphique des Stromatopores  
(modifiée d'après R. Conil, 1988)

## 2.6. Répartition stratigraphique (figure 21)

### 2.6.1. Les *Stromatoporoïdes paléozoïques*

Les premiers Stromatopores connus avec certitude datent de l'Ordovicien moyen. Ils sont représentés par une faune déjà bien diversifiée (Mistiaen, 1984).

À la fin de l'Ordovicien, vers 443 millions d'années, une importante régression est responsable de l'extinction de 70 % des espèces marines (Mennessier, 1994). C'est à cette époque que la glaciation gondwanienne (traces d'une calotte glaciaire en Afrique saharienne) atteint son intensité maximale. Cette crise finioordovicienne affecte partiellement la diversité des Stromatopores.

C'est au cours du Silurien et surtout au Dévonien moyen où se situe leur acmé que les Stromatopores interviennent parmi les organismes dominants comme constructeurs de récifs.

À la fin du Frasnien, se produisit une nouvelle crise océanique. C'est à cette époque que les Stromatopores connurent un déclin spectaculaire. Ils sont inconnus dans le Famennien

Au Strunien, division stratigraphique correspondant aux couches de passage entre le Dévonien et le Carbonifère, ils recolonisent temporairement les surfaces des anciennes plates-formes.

Ensuite, ils disparaissent. Ils sont absents des faciès carbonatés du Dinantien et du Permien qui semblent cependant présenter des faciès très favorables à leur développement.

### 2.6.2. Les *Stromatoporoïdes mésozoïques*

La brusque régression des *Stromatoporoïdes* au Paléozoïque supérieur ne correspond peut être pas à leur disparition. En effet des organismes très semblables apparaissent au Bathonien (Jurassique moyen, 166 Ma) et ils s'éteignent au Crétacé supérieur (65 Ma).

### 2.6.3. Histoire stratigraphique

#### 2.6.3.1. Deux groupes différents ?

Pour certains auteurs (Hudson, 1956, 1958; Steiner, 1932; Turnsek 1966; Lecompte 1956 in Stearn 1972), l'importance de la lacune stratigraphique (qui s'étend du Carbonifère inférieur au Jurassique moyen), ainsi que les différences observables au niveau de la microstructure expliquent le maintien de deux ordres différents, les *Stromatoporoida* au Paléozoïque et les *Sphaeractinoida* au Mésozoïque (Galloway, 1957; St. Jean, 1957; Flügel et Flügel-Kahler, 1968; Flügel et Hötzl, 1966 in Stearn 1972).

#### 2.6.3.2. Un groupe unique ?

Les espèces mésozoïques montrent une structure squelettique très semblable à celle des espèces paléozoïques. Cette ressemblance explique leur groupement (Turnsek 1970; Stearn 1972). Les différences observables au niveau de la microstructure s'expliqueraient par une différence de conservation et/ ou par une évolution des caractères microstructuraux.

Pour Mistiaen (1984), l'absence de Stromatopores pendant la période du Carbonifère au Jurassique inférieur s'expliquerait par leur survie sans squelette par analogie avec le comportement du Spongiaire actuel *Merlia* étudié par Vacelet (1981, 1983c). Au Carbonifère, les Stromatopores n'auraient plus développé un squelette calcaire. Ils auraient été présents en tant qu'organismes mous, aux tissus non fossilisables. À partir du Bathonien ils auraient à nouveau édifié un squelette.

Webby (1979 in Mistiaen 1984) propose la même explication en ce qui concerne l'absence de Stromatopores à l'Ordovicien inférieur.

Quel est donc l'événement qui a pu causer au début du Carbonifère, et en sens inverse, au Jurassique moyen, une telle modification du métabolisme des Stromatopores?

D'après Mistiaen (1984), une inversion dans l'évolution du groupe est peu probable. Par contre, une modification des conditions environnementales abiotiques (éclairage, chimie de l'eau, température, ...) est plus probable.

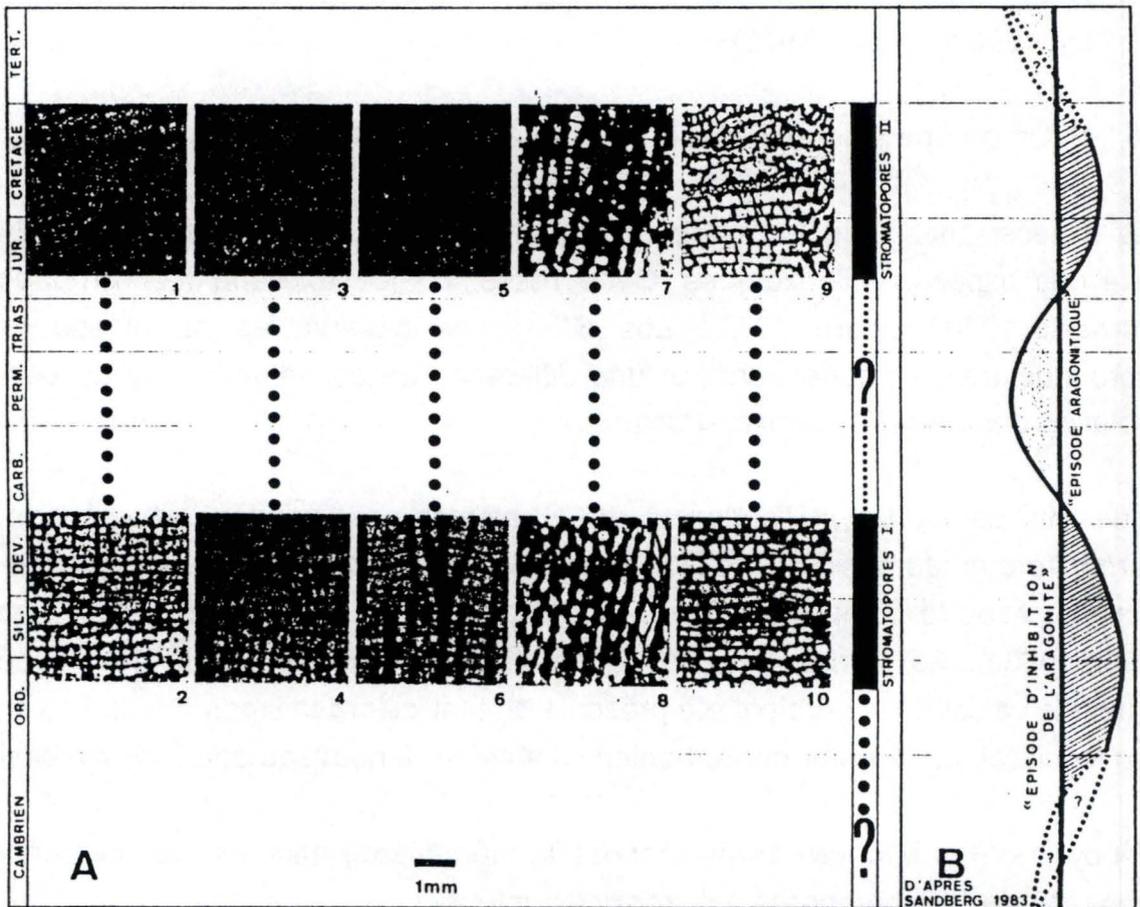


Figure 22: Comparaison entre la courbe de Sandberg (1983) et la répartition des Stromatopores paléozoïques et mésozoïques, d'après B. Mistiean, 1984, p. 1242

Un élément de réponse est peut être apporté par les travaux de Sandberg (1983) sur la nature originelle (calcite ou aragonite) des carbonates non squelettiques qui varie au cours des temps géologiques. Il distingue des périodes où les carbonates non-squelettiques sont en calcite faiblement magnésienne et d'autres au cours desquelles ils sont en calcite fortement magnésienne et partiellement en aragonite. Ces variations cycliques seraient dues à des changements de la pression en CO<sub>2</sub> atmosphérique plutôt qu'à des modifications du rapport Mg/Ca de l'eau.

La comparaison de la courbe de Sandberg et la répartition des Stromatopores (figure 22), montrerait (Mistean, 1984) une corrélation presque parfaite entre les épisodes d'inhibition de l'aragonite et les époques où les Stromatopores sont présents.

En conclusion, les Stromatopores paléozoïques et mésozoïques semblent plus proches que de nombreux auteurs ne le pensaient et le fait de les placer dans deux groupes distincts ne serait plus justifiable. Mais le problème de leur histoire géologique interrompue subsistera aussi longtemps qu'on n'aura pas pu examiner des formes intermédiaires plus ou moins certaines.

## **2.7. Stromatoporoïdes: individus solitaires ou coloniaux.**

Selon la position systématique qu'on accorde aux Stromatopores, on peut se demander s'il s'agissait de simples organismes pluricellulaires ou de colonies telles que les coraux actuels.

Un des arguments avancé par Stearn (1972) pour inclure les Stromatopores dans les Sclérospongidae est leur absence de colonialisme. Or la question s'est posée de savoir si les Spongiaires sont des colonies d'êtres unicellulaires ou des êtres pluricellulaires.

M. Pavans de Ceccatty (1989) et P. Devos (1991) les placent parmi les pluricellulaires les plus primitifs: une spécialisation cellulaire existe, mais aucun organe n'apparaît comme tel. Ces organismes se présentent comme des sacs filtrants dont la fonction semble réduite à faire circuler l'eau qui les entoure à travers leur corps pour y capter les aliments. Ils présentent tout de même une certaine complexité. Ils sont délimités en surface par un épithélium qui enferme un milieu intérieur. Il existe un circuit interne de tubes, canaux, cavités et de chambres flagellées de pompage. L'eau pénètre par des pores inhalants et ressort par l'oscule exhalant, parfois unique. Le milieu interne constitue une matrice intercellulaire semblable aux fluides des animaux supérieurs.

Depuis près de 100 ans, l'incertitude plane sur le fait de savoir si les Stromatopores sont des Coelentérés ou des Spongiaires. La comparaison effectuée par Stearn (1972) suggère que les Stromatopores sont des organismes filtrants et souvent encroûtants qui développent un squelette comme les Coelentérés.

Ces nouveaux développements suggèrent la construction, en premier lieu, de couches concentriques par la sécrétion de dissépiments, puis de laminae et de latilaminae remplaçant les spicules, qui ne sont plus nécessaires pour soutenir la structure devenue massive.

Leurs structures ressemblent à celles des coraux coloniaux mais y manque les logettes correspondantes à chaque polypièrite et, de ce fait, le squelette ne correspond pas à ce qu'on attend d'une colonie. S'ils se nourrissaient comme les spongiaires actuels, ils étaient des consommateurs de phytoplancton unicellulaire et n'entraient pas en compétition avec les coraux du point de vue alimentation. En comparant les récifs anciens et actuels, il faut donc bien se rendre compte que les Stromatopores n'occupaient pas exactement la même niche écologique que les coraux.

Mais cette reconnaissance de leur niche écologique ne permet pas de leur trouver une place dans la classification zoologique. Ils ont trop de différences de base avec les Sclérosponges pour appartenir à leur ordre. S'ils étaient des organismes filtrants, ils ne peuvent être assignés ni aux Hydrozoaires ni à tout autre groupe de Cnidaires. Stearn en conclut qu'ils sont, soit un subphyllum de Spongiaires autre que les Sclérospongidea, soit alors, un phylum à part, à placer entre les Spongiaires et les coraux. On pourrait les associer aux Archeocyathides qui partagent également des caractéristiques de Spongiaires et de Coelentérés. Khalfina et Yavorsky (1967 in Stearn 1972) considèrent ceux-ci comme les premiers Stromatopores.

Conclusion du point de vue affinités:

Les groupes qui, en Paléontologie présentent, des caractéristiques appartenant à deux phylla, sont généralement peu représentés et sont transitionnels, ils évoluent rapidement vers une population qui peut être, placée sans trop de problèmes, dans un groupe ou dans l'autre. Cependant les Stromatopores ont vécu pendant une période étalée sur plus de quatre cent millions d'années. De plus pendant les cent premiers millions d'années ils faisaient partie des éléments majeurs de la faune d'invertébrés. Ils auraient donc droit d'être reconnus comme une division principale des invertébrés.

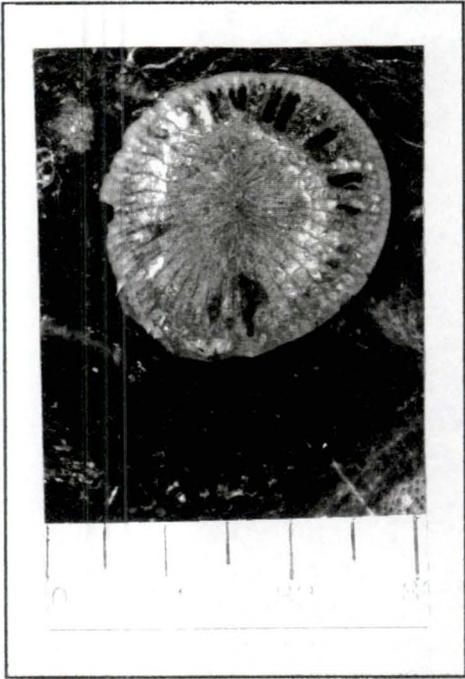


Photo 10: *Tabulophyllum* en coupe transversale, échantillon PM 30

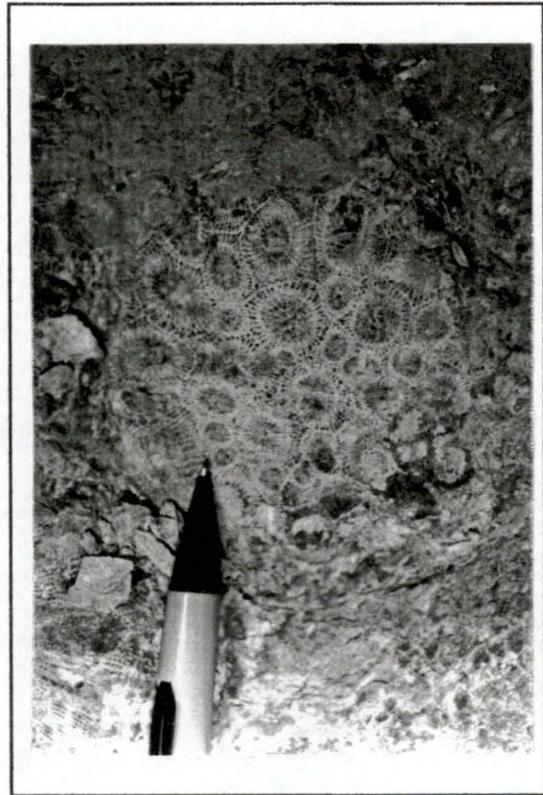


Photo 11: *Hexagonaria* en coupe transversale, base de la paroi OP

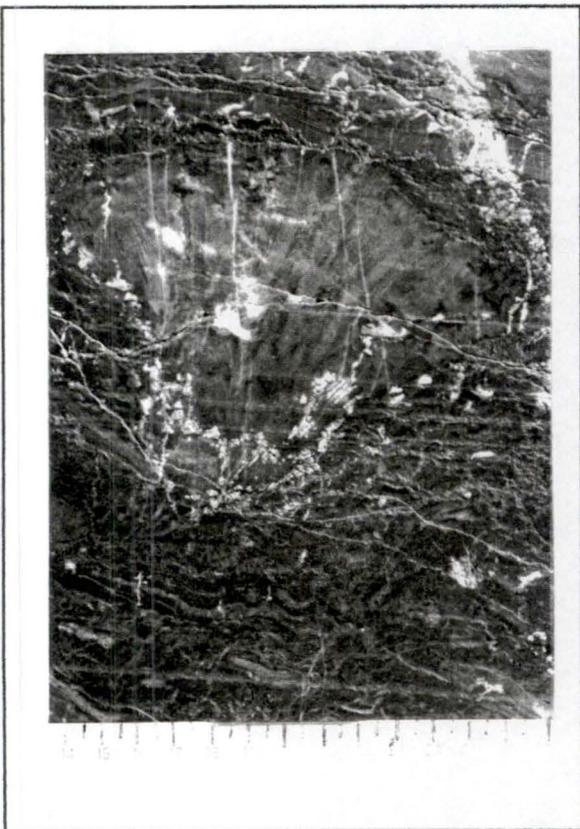


Photo 12: *Hexagonaria* en coupe longitudinale, paroi C.D.

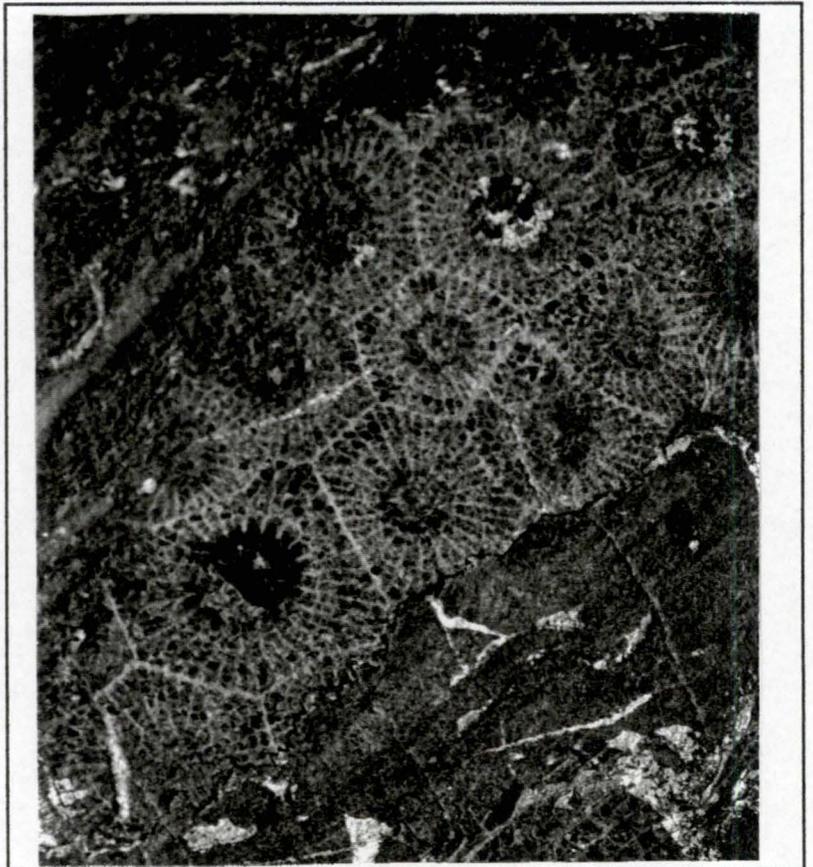


Photo 13: *Hexagonaria* en coupe transversale, paroi K J

### 3. Présentation des autres fossiles observés à Tailfer<sup>9</sup>.

L'identification des différents fossiles observés à la carrière de Tailfer s'est arrêtée à la notion de genre. La détermination systématique plus précise n'a pas été abordée. Elle aurait nécessité la fabrication et l'analyse de nombreuses lames minces à étudier en lumière polarisée qui eût constitué une technique supplémentaire à acquérir; cet aspect ne faisait pas partie des objectifs de ce travail.

#### 3.1. Rugosa

Les Rugueux font partie de l'embranchement des Cnidaires et de l'ordre des Tétracoralliaires Haeckel (*Rugosa* Milne-Edwards s.d.). Ils sécrètent un exosquelette, le polypier, simple ou composé, selon qu'ils vivent en solitaire ou en colonie.

##### 3.1.1. *Tabulophylum* (Photo 10)

D'après les descriptions de H. H. Tsien (1973) et de M. Coen (1974), les rugueux solitaires seraient *Tabulophylum smithi* Fenton et Fenton 1924 de la famille des *Stringophyllidae*. Il s'agit d'un gros corail solitaire ou en faible agrégat. Les septa sont de deux ordres, continus ou dégénérés périphériquement, faisant alors place à un manchon de dissépiments. Les septa majeurs se prolongent jusque dans l'axe et sont ordonnés près de celui-ci en symétrie bilatérale. Les planchers sont complets et incomplets, en disposition fortement concave.

Répartition stratigraphique: Dévonien supérieur

##### 3.1.2. *Hexagonaria* (photos 11-13)

E. Van Winkel (1964) a indentifié à Tailfer *Hexagonaria hypocateriformis* Goldfuss, de la famille des *Disphyllidae*. C'est un *Rugueux* colonial. Les polypiers sont composés, les septa sont habituellement plus ou moins épaissis périphériquement, atténués axialement, souvent carénés. Les septa majeurs atteignent ou non l'axe. Les planchers sont typiquement différenciés en séries axiale et périaxiale et les petits dissépiments sont globulaires.

Répartition stratigraphique: Dévonien moyen et supérieur.

---

<sup>9</sup>Les noms d'auterus des différents organismes ont été repris dans les divers traités de Paléontologie mentionnés dans les ouvrages généraux.

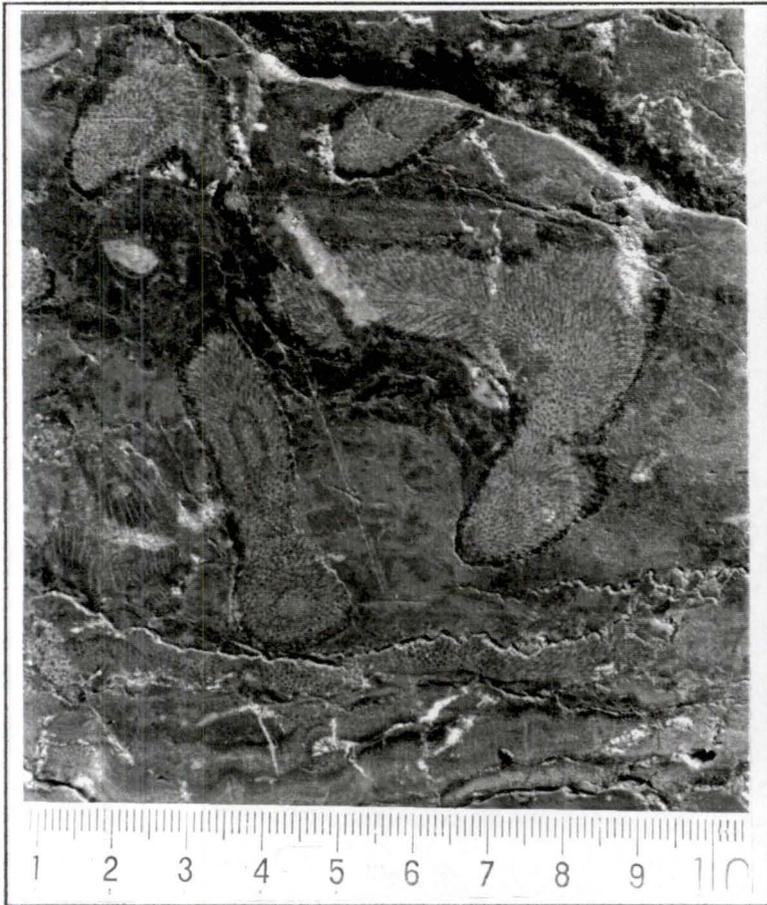


Photo 14: *Alveolites*, paroi CD

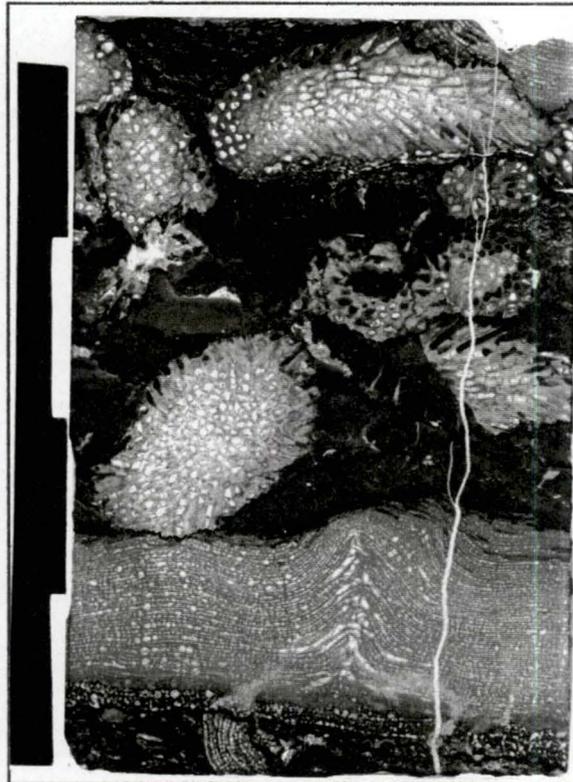


Photo 15: *Alveolites* en L.M. Éch PM3  
 en bas Stromatopores avec astrorhize,  
 noter la veinule de calcite, qui recoupe  
 indifféremment fossiles et sédiment



Photo 16: *Alveolites* dressé, paroi OP



Photo 17: *Thamnopora*, paroi CD

### 3.2. Tabulata

Nous avons rencontré *Alveolites* et *Thamnopora* de l'ordre des *Tabulata* Milne-Edward et Haime . Ils constituent un groupe hétérogène, proposé et créé en 1850 par Milne-Edwards et Haime pour un ensemble de genres aberrants dont on ne savait que faire. Ce sont des polypiers en colonies, composées de polypiérites tubiformes ou prismatiques séparés ou soudés sans l'intermédiaire de coenenchyme, communiquant généralement entre eux par des raccords transversaux tubiformes ou par des pores muraux. Septa habituellement rudimentaires, parfois absents. Planchers généralement bien développés, complets ou incomplets. Le polypier se présente sous une multitude de formes qui ont rarement un caractère spécifique. Il est souvent malaisé de saisir l'influence du milieu sur la forme réalisée par la colonie. Des formes massives peuvent bourgeonner des ébauches de rameaux ou même se muer en colonie branchue ou en forme lamellaire.

#### 3.2.1. *Alveolites* Lamarck 1801 (photos 14-16)

Les *Alveolites* sont caractérisés en général par des polypiers massifs, lamellaires ou branchus, constitués de polypiérites comprimés, soudés, s'ouvrant obliquement, à la surface. Calices typiquement subtriangulaires à semilunaires de diamètre généralement inférieur au millimètre. Parois minces ou épaisses, percées de pores muraux larges, plus ou moins nombreux. Appareil septal inexistant ou représenté par des épines disposées en rangées verticales. Planchers minces, complets, droits ou peu déformés.

Répartition stratigraphique de l'Ordovicien au Carbonifère.

#### 3.2.2. *Thamnopora* Steineniger 1831 (Photo 17)

On rencontre également *Thamnopora*. Le genre *Thamnopora* possède un polypier massif, tubéreux ou branchu. Polypiérites polygonaux soudés, arrondis intérieurement de diamètre généralement supérieur au millimètre. Appareil septal inexistant ou représenté par des épines peu développées. Pores muraux nombreux. Les parois sont plus épaisses que chez *Alveolites*. Planchers complets, minces.

Répartition stratigraphique du Dévonien au Permien.



Photo 18: *Thecostegites* encroûté  
par *Alveolites*, paroi CD

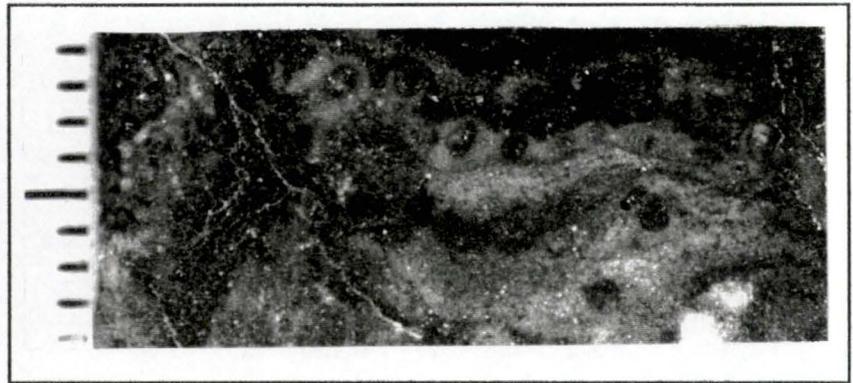


Photo 19: Détail de *Thecostegites*, Éch. PM 23 b

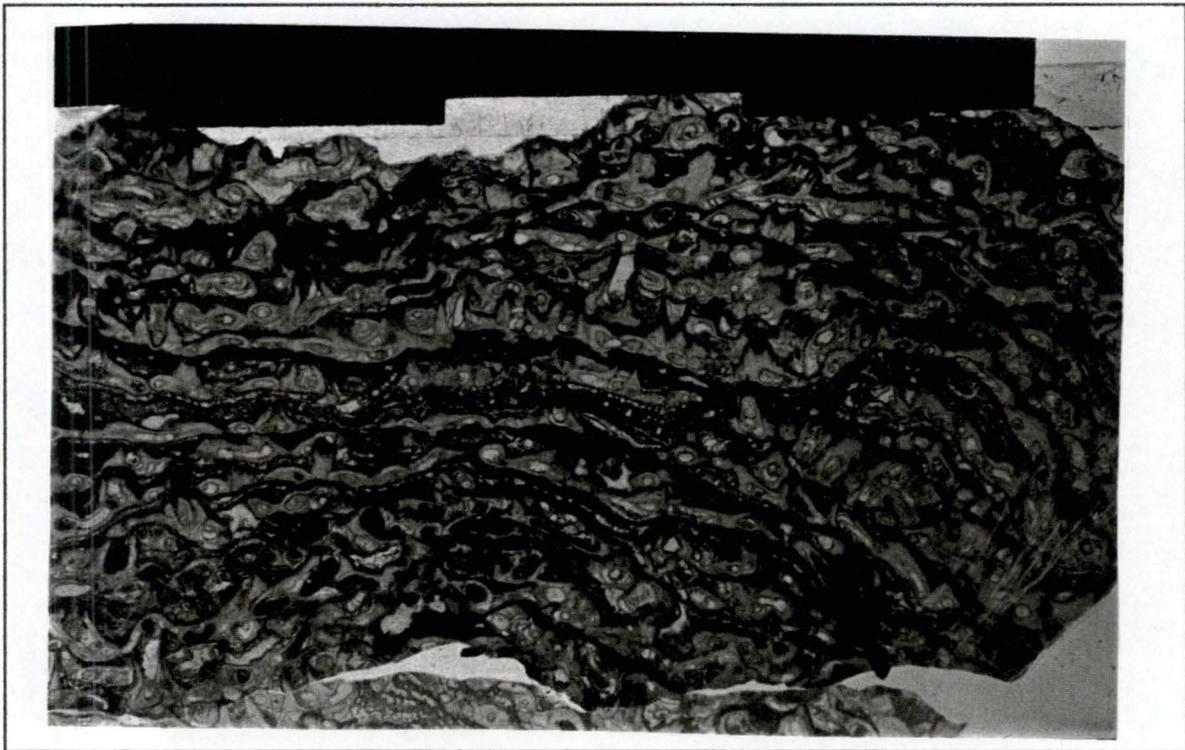


Photo 20: *Thecostegites* en L.M. , éclat de la paroi CD, échelle 1 cran = 10 mm

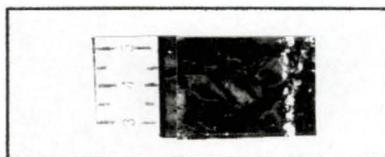


Photo 21: Brachiopode en coupe transversale  
paroi CD

### 3.2.3. *Thecostegites* Milne-Edwards et Haime 1849 (Photos 18-20)

Sporadiquement, nous avons rencontré de fins filaments, possédant de petites structures circulaires. Nous avons d'abord pensé à des Stromatopores embryonnaires. Un examen à la loupe sur le terrain pouvait faire penser à un tabulés de la famille des *Auloporidae*. Un examen en lame mince (photo ) au laboratoire a permis d'identifier un *Thecostegites* de la famille des *Syringoporidae*. Il possède un polypier massif encroûtant. Les polypières sont cylindro-des à parois épaisses, puissamment unis par un lacis de stolons horizontaux plus ou moins individualisés formant un complexe lamellaire. Les planchers montrent une structure vésiculaire très prononcée, aussi bien dans les stolons que dans les polypières. Ces derniers n'ont pas une course illimitée: ils peuvent s'arrêter sur un raccord horizontal ou prendre naissance sur ceux-ci, occasionnellement, ils se rabattent horizontalement et inversement; les raccords transversaux peuvent se relever en polypières dressés.

Répartition stratigraphique: Dévonien supérieur.

### 3.3. Les Brachiopodes (photo 21)

Les observations de terrain nous ont montré des sections diverses d'organismes bivalves, mais aucune cassure ne nous a permis d'observer la morphologie externe des coquilles. Par analogie, on peut penser à des *Atrypidae* des autres récifs. Les Brachiopodes de l'embranchement des Lophophoriens présentent comme structure fondamentale: une couronne de tentacules ciliés ou lophophore autour de la bouche et un axe antéro-postérieur raccourci en relation avec un tube digestif recourbé en forme d'anse. Leur corps est protégé par une coquille bivalve. Le plan de symétrie est perpendiculaire au plan d'accolement des deux valves. Les valves sont de morphologie fort variée. La valve ventrale, généralement plus bombée, est fixée au substrat, soit directement, soit via un pédoncule. Tous les Brachiopodes sont marins et sédentaires. Ils vivent essentiellement sur le plateau continental. À l'intérieur de la coquille, se trouvent deux bras plus ou moins longs enroulés en hélice, les lophophores souvent soutenus par un appareil brachiale carbonaté. La bouche est située à la base de ceux-ci. Ils sont ciliés et creusés d'une gouttière. Le battement des cils amène la nourriture vers la bouche. Le tube digestif ne comporte pas d'anus. Les Brachiopodes possèdent un appareil circulatoire ouvert avec un coeur situé dorsalement. Leur cavité générale constitue un véritable coelome; la masse des organes n'occupe qu'une toute petite place dans la coquille qui, pour une bonne part, est remplie d'eau.

Répartition stratigraphique: Cambrien à l'Actuel.

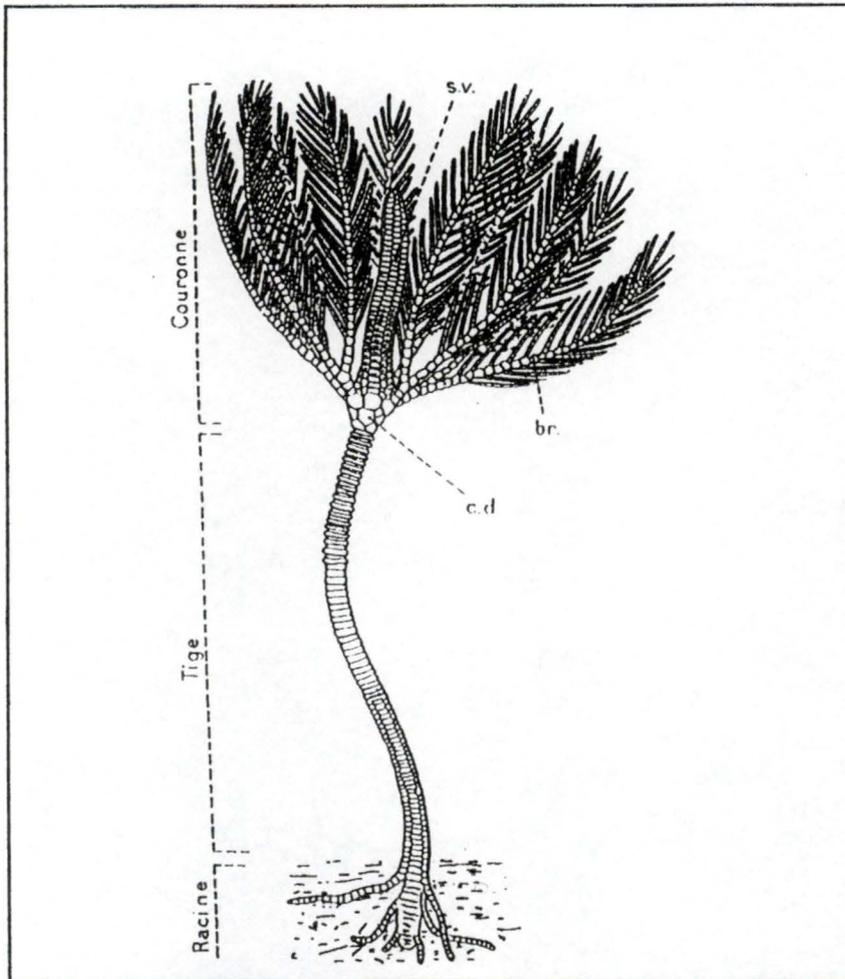


Figure 23: Schéma d'un Crinoïde, br (bras), c.d. (capsule ventrale), s.v. (sac ventral), d'après Bather dans J. Piveteau, 1953 tome III, p. 659



Photo 22: Crinoïde en coupe transversale, parois KJ

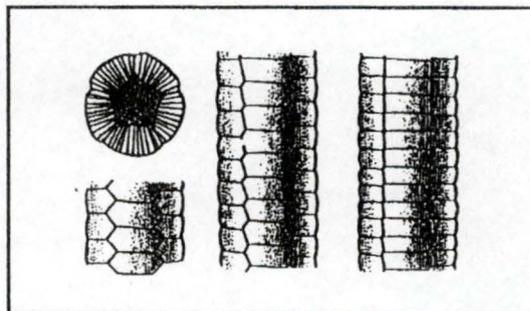


Figure 24: Aspects de la tige d'un Crinoïde, d'après Bather dans J. Piveteau, tome III, p. 715

### 3.4. Les Crinoïdes (Photo 22 et Figures 23 et 24)

On peut également signaler la présence de Crinoïdes (*Crinoidea* 1821) de l'embranchement des Échinodermes. Le Crinoïdes est un Pelmatozoaire, dont le corps comprend trois parties: une tige, une thèque et des bras. L'ensemble constitué par la thèque et les bras s'appelle couronne. La tige est fixée au sol par des racines.

La thèque est distinctement différenciée en une portion aborale, la capsule dorsale, et une portion orale le tegmen, respectivement situées sous et au-dessus de l'origine des bras libres. La bouche s'ouvre, en général, au centre du tegmen ou sous le tegmen, lequel, chez la plupart des formes, est percé par l'anus. Les bras, dont le support squelettique prolonge celui de la capsule dorsale, portent du côté oral des rainures nutritives et des expansions des divers systèmes d'organes et des cavités enfermés dans la thèque.

Les bras reposent chacun sur une plaque théciale, dite radiale. Sous les radiales il existe toujours un ou deux cercles de plaques (ou vestiges de ces cercles) constituant la base. Le squelette et maints systèmes d'organes développent une symétrie radiaire dominée par le nombre cinq et surimposée à l'asymétrie de la larve. Les bras et la tige sont constitués d'articles empilés, perforés d'un canal axial dans lequel passe le cordon nerveux.

Les plaques calcaires qui recouvrent le corps des Échinodermes, sont constituées d'une trame de matière organique au sein de laquelle se précipite du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ . Dans une même plaque, toutes les particules de calcite ont une orientation cristallographique identique. Lors de la fossilisation, les vides abandonnés par la destruction de la matière organique se remplissent de calcite qui s'oriente de la même façon, formant ainsi un monocristal apparemment compact. Une plaque de crinoïde se comporte donc comme un cristal qui se cassera selon les trois plans de clivage de la calcite, ce qui se repère par le miroitement de la lumière.

Répartition stratigraphique: Ordovicien inférieur à l'Actuel.



Photo 23: Gastéropode en coupe transversale, montrant la columelle retournée vers le centre, paroi CD

Noter la structure géotrope avec le sédiment interne et le remplissage de sparite claire.

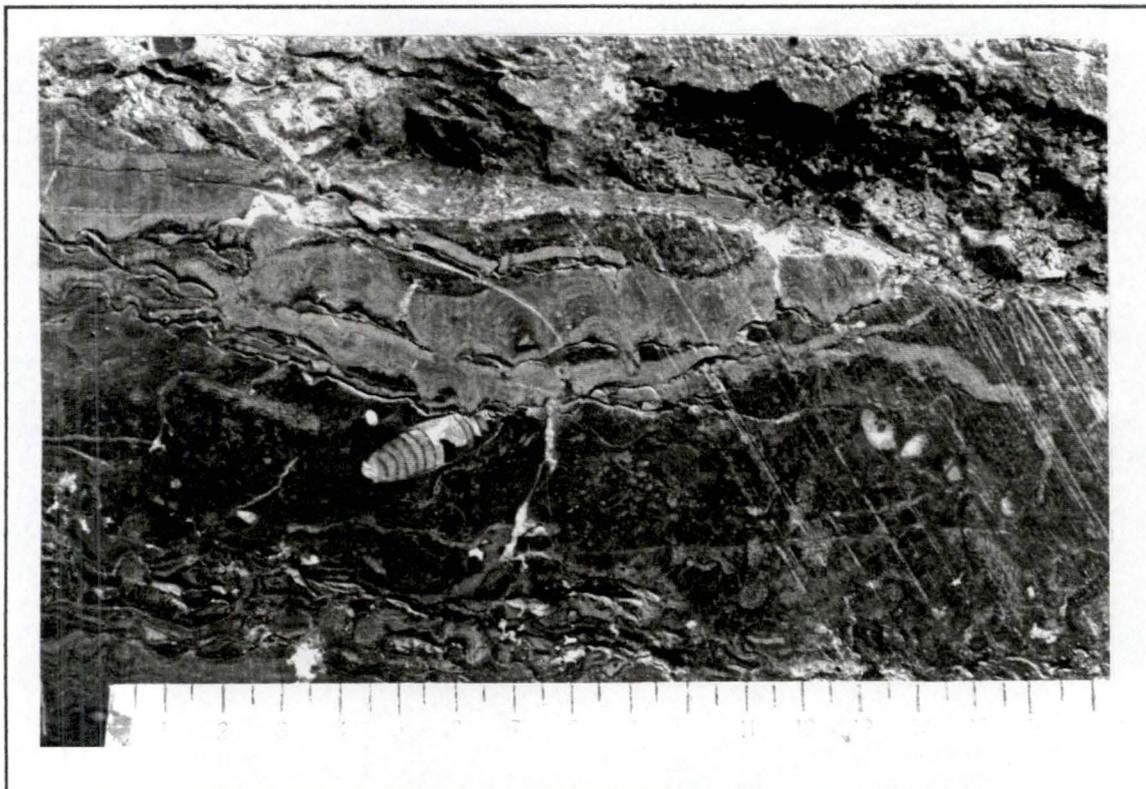


Photo 24: Céphalopde en coupe longitudinale, noter le remplissage de sparite (calcite claire) qui met en évidence le cloisonnement du tube, paroi CD

### 3.5. Les Mollusques

#### 3.5. 1. Les Gastéropodes (Photo 23)

On peut encore citer la présence de rares Gastéropodes, dont on aperçoit parfois la columelle en coupe transversale ou la tourelle en coupe longitudinale. Le tube est non cloisonné, ce qui les différencie des céphalopodes.

#### 3.5. 2. Les Céphalopodes (Photo 24)

Ce sont des mollusques marins à symétrie bilatérale, avec une tête bien différenciée. Le bord du pied sont transformés en bras tentaculaire entourant la tête; ils portent des ventouses et remplissent diverses fonctions (locomotion, recherche de nourriture, accouplement, port des oeufs ...).

Un entonnoir situé en arrière de la tête coiffe l'ouverture palléale dont il évacue l'eau. Les Ganglions nerveux sont concentrés dans la tête et sont enfermés dans une pièce cartilagineuse. Les gros yeux latéraux sont bien organisés.

La plupart sont pélagiques. Ce sont des animaux très répandus. Leur dispersion et leur évolution rapide dès le Dévonien jusqu'à la fin du Mésozoïque en font des guides biostratigraphiques de valeur exceptionnelle.

La coquille lorsqu'elle est présente, peut être interne ou externe (droite, enroulée ou intermédiaire). Son mode d'enroulement, la position et la forme du siphon et surtout son cloisonnement intérieur constituent des caractères de systématique.

Sur le terrain, nous supposons avoir observé des *Nautilioidea* Linnée 1758. Ils se caractérisent par une coquille droite, courbe ou spiralée. Les cloisons sont concaves vers l'avant avec des sutures étroites ou faiblement ondulées. Le siphon subcentral avec goulots rétrosiphonnés.

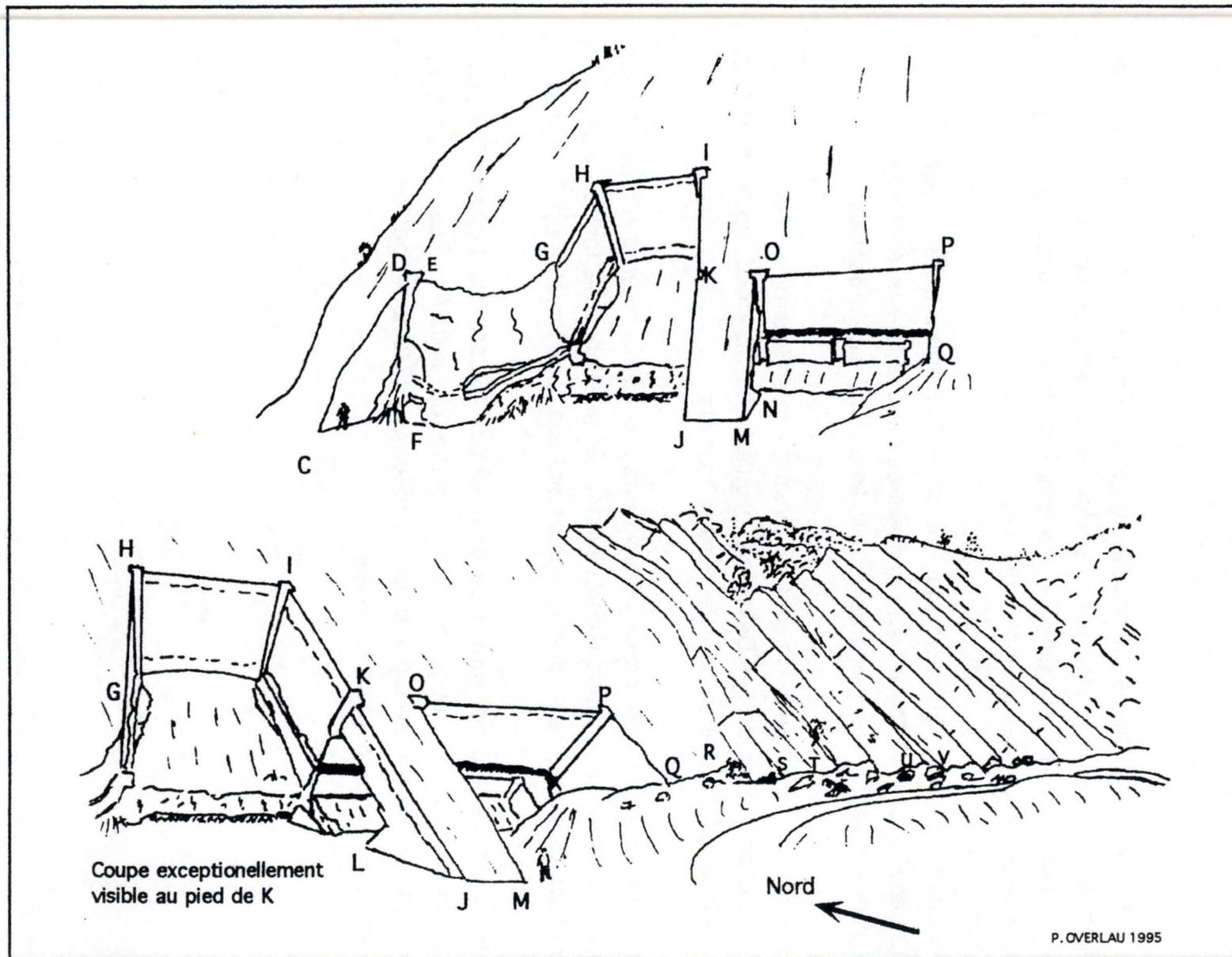


Figure 25: Reconstitution en perspective du site étudié

## 4. Techniques d'étude

### 4.1. Sur le terrain

#### 4.1.1. Numérotation des bancs.

Quelques numéros, de 30 à 35 sont inscrits à la peinture sur la roche en couleur jaune: leur origine est inconnue. Ils vont croissants des bancs les plus jeunes vers les plus vieux.

Pour éviter toute confusion avec cette numérotation incomplète et pour permettre une numérotation continue vers les bancs inférieurs observables le long de la route Dinant-Namur (rive droite), le numéro 60 a été arbitrairement attribué au banc correspondant à la surface supérieure de la "dalle" de Tailfer.

C'est dans cette dalle que des blocs ont été découpés par sciage au fil dans les années 1945 à 1960, au cours de l'exploitation.

Notre numérotation va croissant dans le sens stratigraphique c'est-à-dire du bas vers le haut du plus ancien au plus récent.

La coupe étudiée en détail commence au banc numéroté 57 dont les 3 m inférieurs et les 2 m supérieurs sont sciés. Elle s'arrête au sommet du banc 60.

Cette délimitation, purement arbitraire, a été adoptée pour les "facilités" d'examen que présentent les parois sciées. En cours d'étude, il est apparu que l'ensemble 58-59-60 constitue une séquence sédimentaire, commençant à la base du banc 58 et se terminant par les boues calcaires apparemment homogènes du banc 60, englobant un ensemble (59) qualifié de récifal dans la littérature, à cause de l'abondance des organismes constructeurs.

Le banc 57, tout comme le banc 58, pourrait être subdivisé en sous-unités localement délimitées par des joints argileux, plus ou moins épais. Toutefois leur caractère discontinu, observable en moins de 10 m, n'incite pas à les considérer, comme des marqueurs corrélables à distance, et donc comme des unités sédimentaire distinctes.

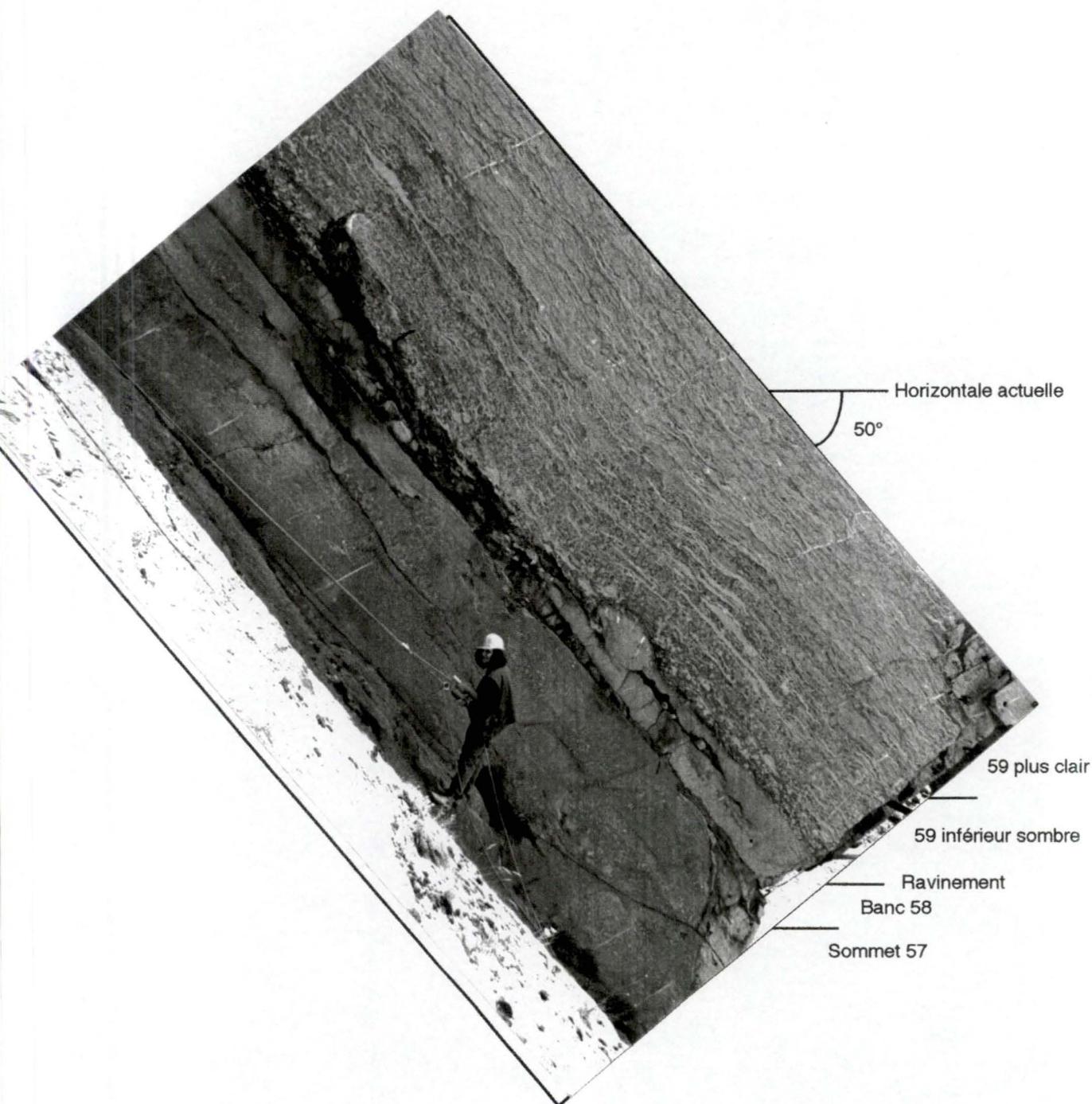


Photo 25 : La prise de vue restitue l'horizontale originelle de la sédimentation actuellement basculée de 50°

#### *4.1.2. Délimitation de la zone d'étude.*

Dès le début, il a été décidé de restreindre notre étude aux parois sciées qui sont plus ou moins facilement accessibles dans la carrière. Ces surfaces quasi-planes permettent des observations latérales sur 5 à 15 m en continu suivant les coupes.

La figure 25 permet l'identification des différentes parois qui ont été observées dans la carrière. Au total, plus de 20 visites ont été nécessaires, en équipe de 2 ou 3 personnes pour permettre l'accès aux parois, les nettoyer, les photographier et les étudier. Les fortes pluies du début de l'année et les fortes chaleurs qui ont suivi ont parfois rendu le travail difficile voir même impossible.

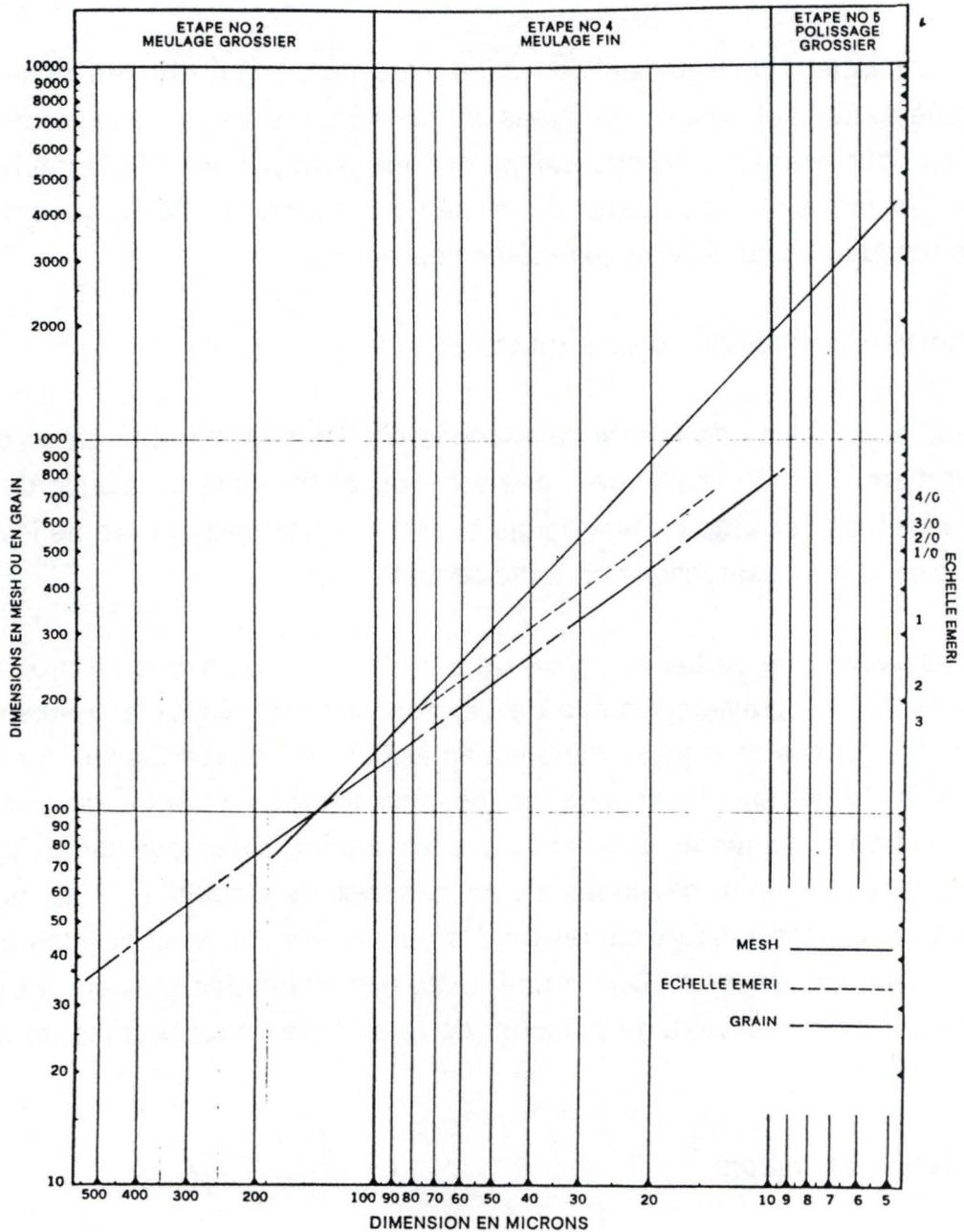
#### *4.1.3 Techniques d'accès aux parois (photo 25)*

L'accès aux faces sciées de la grande encoche n'a été possible que grâce à des techniques d'escalade. Pour d'autres, des échelles et du matériel d'encordement furent nécessaires pour accéder aux parois et pour pouvoir réaliser les nettoyages indispensables et les observations en toute sécurité.

Lors de l'observation de certaines parois de la carrière, nous avons pu profiter de l'existence de tas de graviers extraits de l'exploitation des Grés famenniens du synclinal de Walgrappe et stockés dans la carrière par la société Gralex. Au cours de notre levé de terrain, le volume de ces accumulations variait au gré de l'exploitation et de la demande. C'est ainsi que les coupes observées sur les parois sciées au printemps sont devenues quasi-inaccessibles depuis l'été la double échelle ne suffisant pas toujours car les dépôts de graviers placés contre les parois de la carrière ont été enlevés. D'autre part, cette disparition des graviers a permis d'observer les parois au niveau du plancher de la carrière, inaccessibles au début du levé de terrain.

#### *4.1.4. Nettoyage des parois*

Un nettoyage par projection d'acide acétique dilué suivi par un brossage énergique et d'abondants rinçages permet d'éliminer les traînées organiques et/ou argileuses. Ceci permet une identification nettement plus aisée des organismes et facilite l'étude des relations géométriques existant entre sédiment et fossiles inclus. Dans quelques cas, un polissage au papier émeri a été effectué afin de parfaire l'observation et de permettre la photographie.



Correspondance entre les dimensions exprimées en « grain », en « mesh » et en microns  
 Pour convertir en microns, porter la granulométrie sur l'ordonnée convenable, trouver le point  
 correspondant sur la droite appropriée puis déterminer l'abscisse correspondante. Appliquer  
 le processus inverse pour convertir la dimension exprimée en microns, en grains

Figure 26: d'après AB METAL DIGEST, 1968, Tissus de polissages abrasifs  
 et produits pour métallographie, Vol. 10

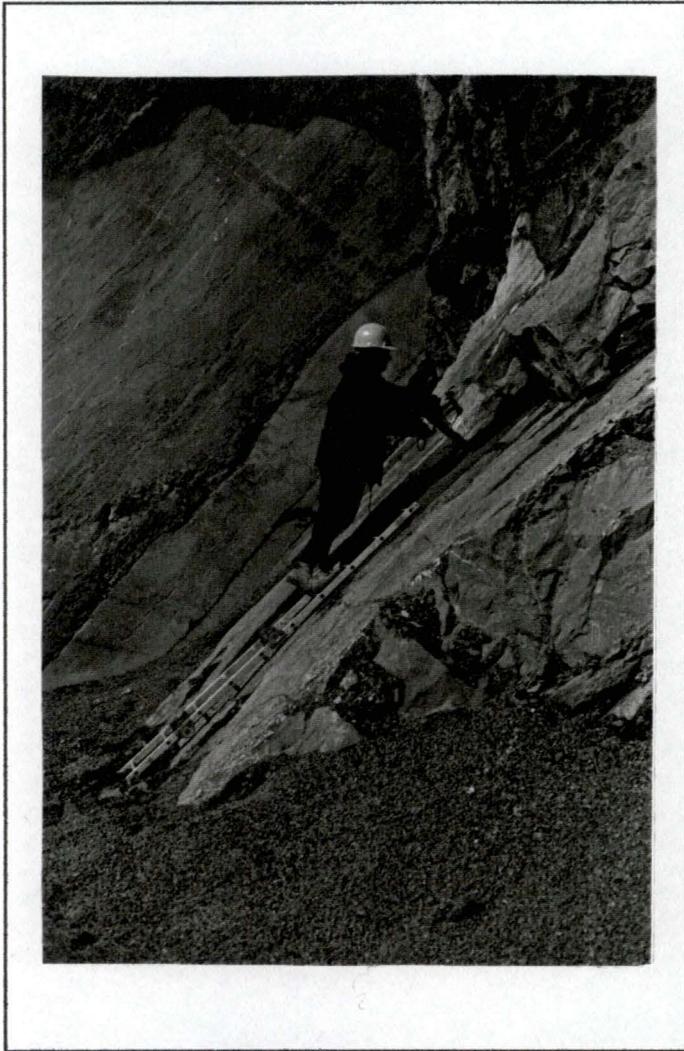


Photo 26: Échantillonnage sur le terrain

#### 4.1.5. Photographies

Les photographies ( $\pm$  30 films) des différentes parois ont été très utiles pour la description des bancs en laboratoire et afin de ne pas avoir à multiplier les escalades longues et fatigantes. Elles ont de plus facilité les reconstitutions géométriques en laboratoire et permis des vérifications rapides des observations.

#### 4.1.6. Échantillonnage (Photo 26)

Un échantillonnage sur parois sciées s'est avéré quasi impossible. Seuls quelques rares prélèvements ont pu être réalisés in situ. De nombreux blocs sciés se retrouvent de ci de là dans la carrière, témoins de l'exploitation d'antan. Les plus grands sont intransportables. Pour les plus petits, il n'est guère facile de les relocaliser dans les 6 m 30 du banc à Stromatopores, vu son caractère assez homogène.

### 4.2. Au laboratoire

#### 4.2.1 Sciage des roches

Les échantillons de roches récoltés sur le terrain, trop volumineux ou ne possédant pas de face plane sont soumis à un sciage préalable à la scie diamantée. Il s'avère souhaitable de recouper les échantillons selon différentes orientations afin de les observer dans les trois directions de l'espace.

#### 4.2.2. Polissage des roches

Le polissage des faces planes permet de faire mieux ressortir certains détails et d'avoir une meilleure visibilité des structures macroscopiques et mésoscopiques de la roche. Le polissage se fait par usure manuelle des faces sciées, plus ou moins irrégulières et corrodées sur une plaque de verre saupoudrée de Carborundum (grains de carbure de silicium SiC) mélangé à de l'eau. Ceci permet de réduire progressivement la rugosité des surfaces d'observation.

Les granulométries du Carborundum utilisées s'étalent de 24 à 800 mesh. La correspondance des dimensions exprimées en mesh et en micromètres est obtenue graphiquement (figure 26).



Photo 27: Exemple de lame mince (Échantillon PM 14),  
Noter la présence d'*Alvéolites* en section circulaire et d'un  
Stromatopore montrant des astérozoïdes en coupe longitudinale

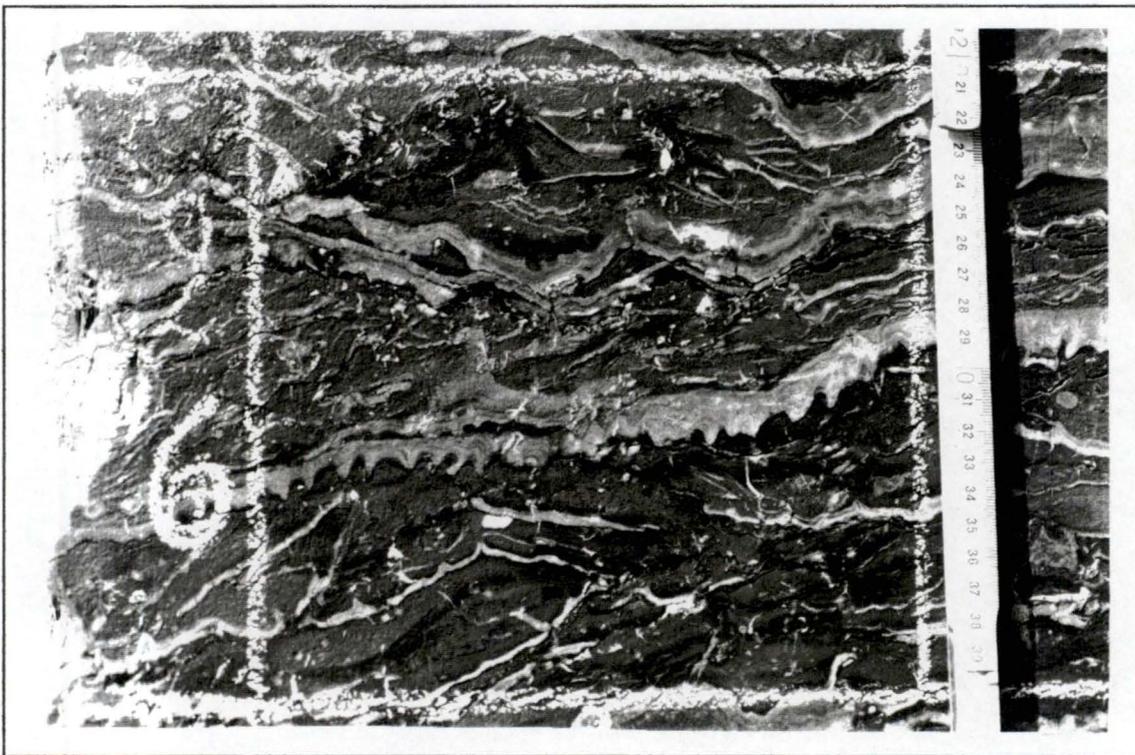


Photo 28: Exemple d'un carré de 20x20 cm., à noter un Stromatopore retourné  
de plus de 30 cm d'envergure, possédant des mamelons bien développés.

À chaque taille de Carborundum correspond une plaque de verre, afin d'éviter toute contamination qui conduirait au rayage des faces. On choisit la granulométrie de départ en fonction de l'état de la surface à traiter en commençant toujours par la granulométrie plus grossière. Les échantillons qui ont été sciés autrefois lors de l'exploitation du calcaire étaient plus ou moins rugueux. On a donc commencé avec un grain 80. Les échantillons sciés en laboratoire possèdent un trait de scie plus net, et on pouvait parfois commencer le polissage avec un grain de 300. Ensuite on continue avec un grain de 500, puis éventuellement de 800 selon les structures, qu'on veut mettre en évidence. Quand la surface est suffisamment plane, on obtient le brillant en forçant l'échantillon sur une roue en rotation constituée par des feuilles de coton enduit de cire (brique à polir). Les échantillons sont ensuite marqués pour identification par griffage et au marqueur noir sur une partie non polie. Le marquage utilisé est P. M. (mes initiales) suivi d'un chiffre.

#### 4.2.3. Fabrication d'une lame mince (Photo 27)

Une lame mince est un échantillon de roche aminci jusqu'à le rendre transparent afin d'en permettre l'observation en lumière transmise au microscope optique (généralement au microscope polarisant). Une lame mince s'obtient de la manière suivante:

1. Dépolissage du porte-objet au grain 500.
2. Découpage de l'échantillon aux dimensions approximatives du porte-objet.
3. Polissage d'une face de l'échantillon par étapes successives jusqu'au grain 800.
4. Sur une plaque chauffante à  $\pm 80$  °C, on colle la face polie sur le porte-objet dépoli avec de la résine d'époxy (Epofix Resin, Struers) et un durcisseur (Epofix Hardener, Struers) en veillant à chasser les bulles. En général, on utilise 8 à 10 parts de résine pour une part de durcisseur.
5. Sur une meule à boisseau diamantée, on réduit l'épaisseur de l'échantillon par passes successives jusqu'à 80-100  $\mu\text{m}$ .
6. On achève la mise à épaisseur par usure manuelle sur plaque de verre et Carborundum. En minéralogie, l'épaisseur conventionnelle est de 30  $\mu\text{m}$ . Mais en paléontologie les épaisseurs sont variables, généralement supérieure, selon les structures à observer.
7. Collage du couvre-objet sur l'échantillon avec du baume du Canada (Art.1691 MERK Kanadabalsam für die Mikroskopie), résine produite par le conifère *Abies balsamifera* et dont l'indice de réfraction, voisin de celui du verre, ne modifie pas le comportement optique des minéraux.
8. Nettoyage de la préparation au Xylol [ $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ ], puis à l'eau savonneuse.
9. Marquage de la lame par rayure sur le bord ou au marqueur noir. Le marquage correspond à celui de l'échantillon dont la lame a été extraite.

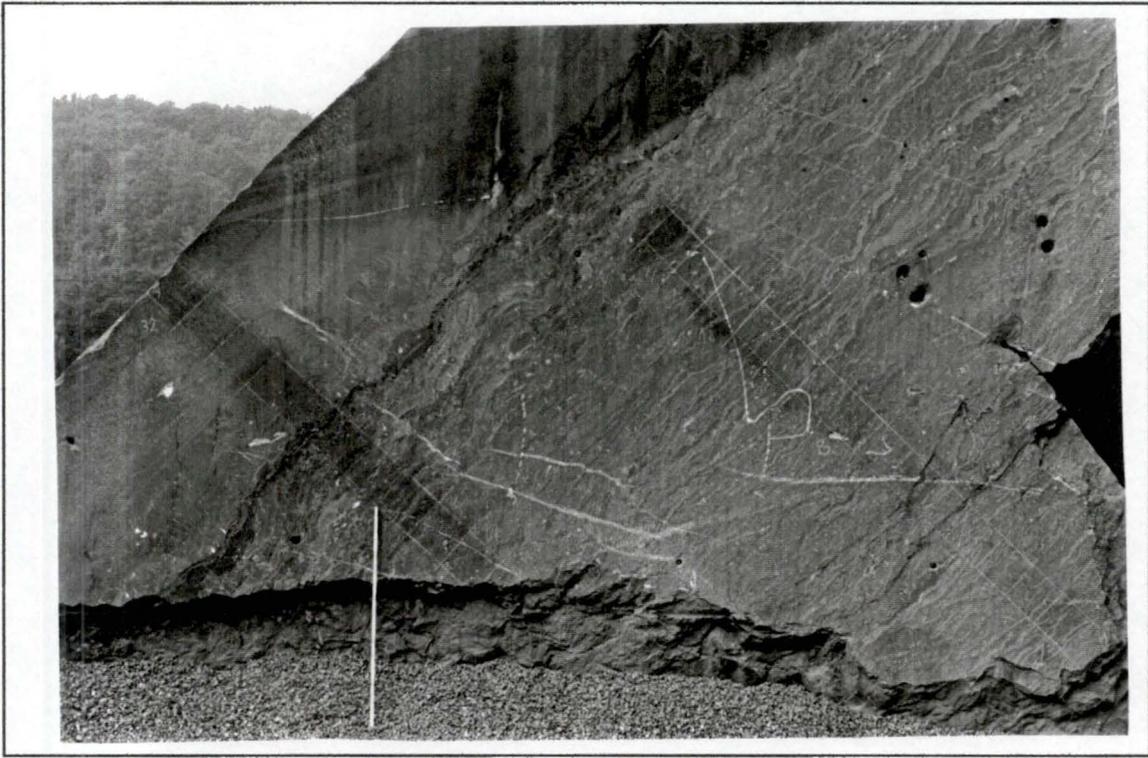


Photo 29: La paroi MN

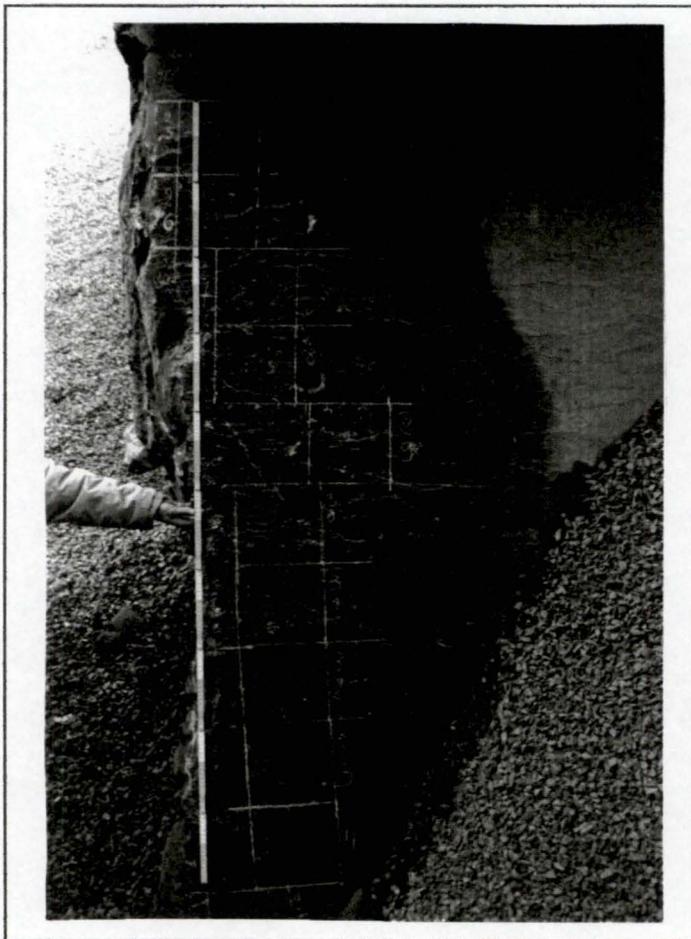


Photo 30: La paroi LN

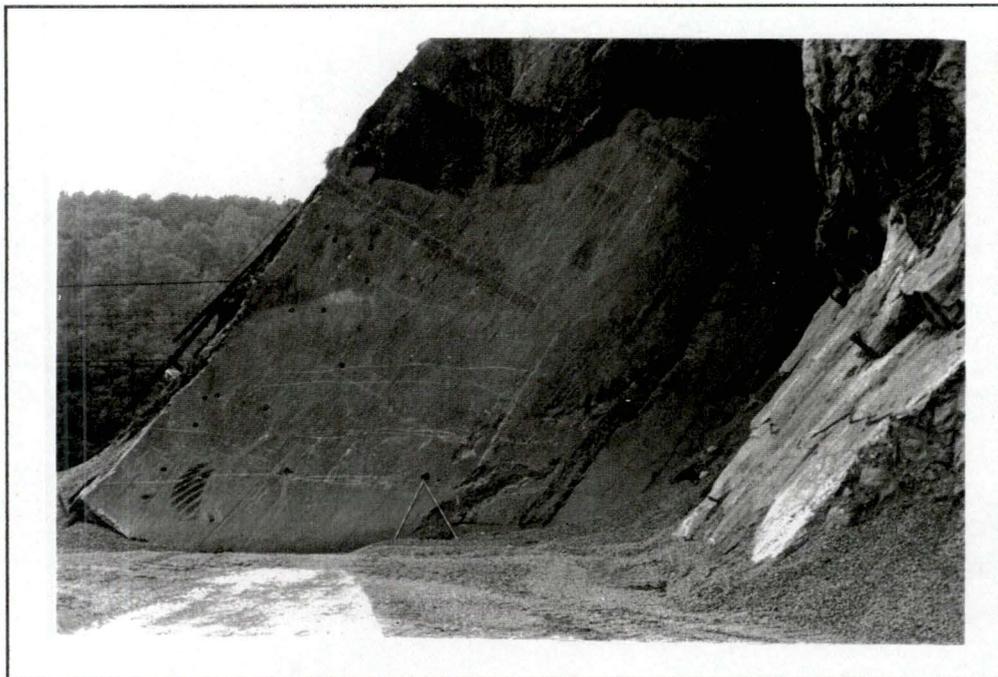


Photo 31: La paroi CD, à noter que suite à la disparition du tas de gravier les carrés supérieurs sont devenus quasiment inaccessibles



Photo 32: Traçage des carrés pour la méthode des quadrats

#### 4.2.4. Méthode des quadrats.

Dans le but de dénombrer les organismes présents sur les parois MN (Photo 29), LN (Photo 30) et CD (Photo 31) de la carrière et de déceler une éventuelle zonation, nous avons tracé des carrés contigus et alignés de 20 cm de côté (Photos 28 et 32). Pour chaque carré, on a effectué un comptage des organismes en nous limitant au niveau systématique reconnaissable sur le terrain (annexe 5). Des classes de longueur, largeur et diamètre ont également été adoptées pour ces comptages. Les Stromatopores ont, de plus, été analysés plus attentivement (annexe 5):

1° position normale ou retournée

2° éléments de leur squelette discernables sur le terrain: réticulation, présence de mamelons, d'astrorhizes ou de *latilaminae*.

Nous avons également tenu compte de caractères diagénétiques ou sédimentologiques tels que la présence de fissures remplies de calcite et/ou de sédiment, de cassures simples ou de *fenestrae* à l'intérieur des organismes.

Les statistiques communément utilisées en écologie pour la méthode des quadrats sont inadéquates pour estimer les densités spatiales des populations fossiles observables sur des tranches perpendiculaires à la stratification. Il ne faut, en effet, pas oublier qu'en plus de la dimension spatiale, nous avons une dimension temporelle, ce qui est situé au-dessus est normalement plus jeune.

#### 4.2.5. Charte visuelle des proportions

Une charte visuelle d'évaluation des pourcentages relatifs des allochèmes<sup>10</sup> a été mise au point pour l'analyse des carrés de la méthode des quadrats, aussi bien sur le terrain que lors de l'examen des photos. Les pourcentages obtenus sur les photos étaient du même ordre de grandeur que ceux obtenus directement sur le terrain.

##### Objectif:

Appréciation à 10 % près de la surface occupée par les organismes et déduction de celle occupée par le sédiment englobant dans le but de vérifier si la zonation du récif en 3 niveaux différenciés par leur aspect foncé ou clair, proposée par M. Lecompte correspondait à des données quantifiables.

---

<sup>10</sup>voir définition en annexe 3

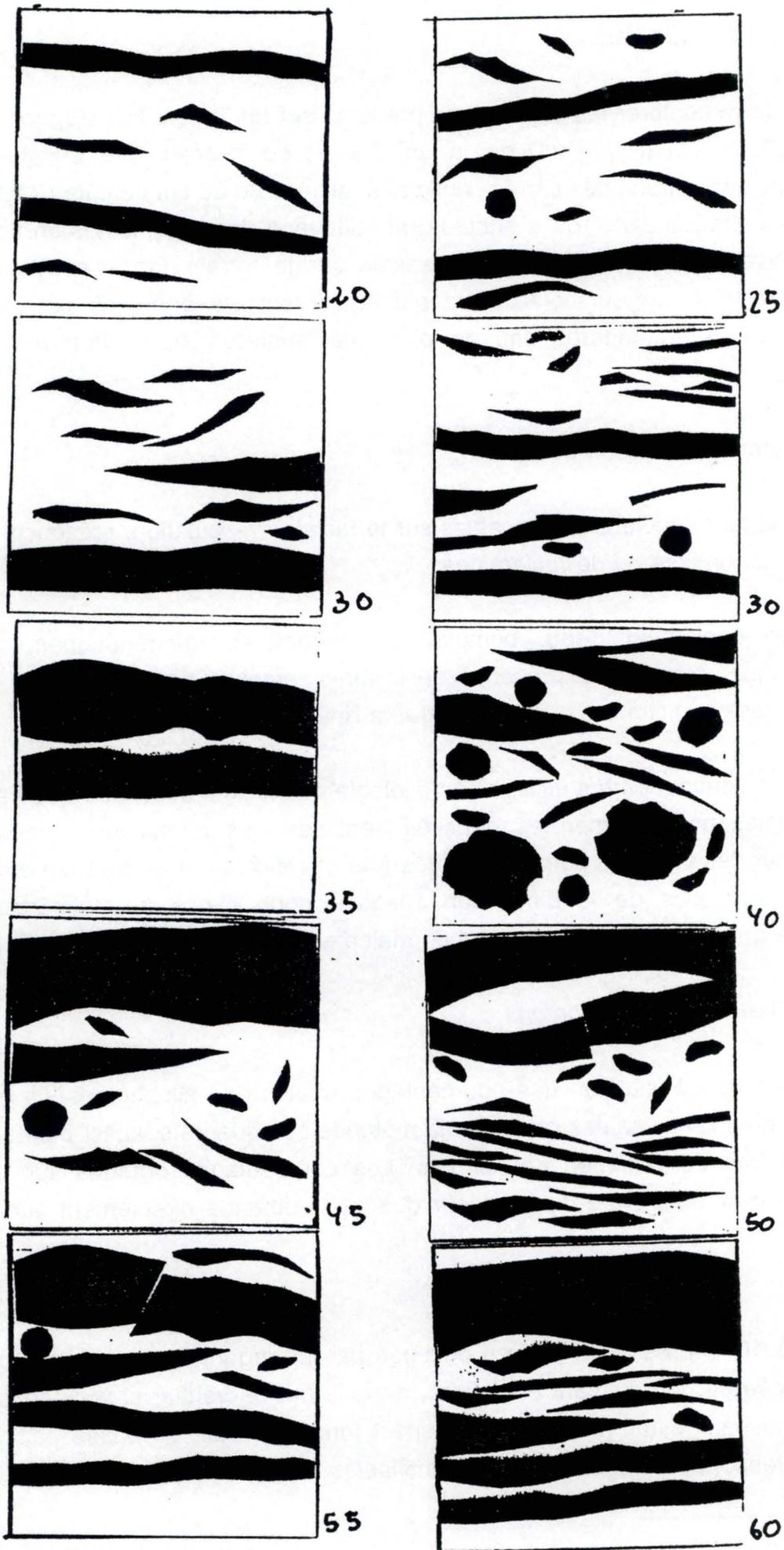


Figure 27: Découpes de papier utilisées pour la charte visuelle, échelle 1/4.

### Construction de la charte visuelle:

La réalisation a été faite en prenant quelques photos de terrain pour évaluer les formes des objets. Ceux-ci ont été représentés de manière schématique par des découpes de papier (figure 27). Pour chaque carré, le pourcentage des organismes par rapport au sédiment est évalué par la pesée des découpes de papier rapportée au poids du carré de 20 x 20 cm de ce même papier.

## 5. Interprétations antérieures

### 5.1. Interprétation de M. Lecompte (1959-1965)

L'interprétation de M. Lecompte, développée ci-après, est déduite de ses publications de 1959 et de 1965, ainsi que des commentaires qu'il développait dans le cadre des journées de terrain dans les années 1956 à 1961 (communication personnelle de P. Overlau)

#### Les cinq zones bathymétriques ( M. Lecompte 1965):

##### 1. La zone de turbulence:

En eau peu profonde, le fond marin est soumis à l'action des vagues. Dans cette zone, s'édifie la plus grande partie des récifs, à prédominance de Stromatopores massifs, accompagnés de Stromatopores branchus plus ou moins nombreux, tels que Stachyodes et Amphipora. On retrouve en moins grand nombre: des Stromatopores lamellaires, des Crinoïdes, des coraux massifs, branchus et solitaires. En proportion accessoire, on trouve quelques Brachiopodes irrégulièrement répartis.

Le caractère peu profond de l'eau dans laquelle vivaient les Stromatopores massifs apparaît plus clairement sur le shelf où fréquemment s'installe sur les bancs à Stromatopores un milieu sublagunaire représenté par des calcaires noirs fins stériles perforés à leur sommet de tubulations organiques et parfois fendillés ou marqués de mud cracks.

Cette turbulence n'est pas due qu'à l'action normale des vagues mais elle dépend aussi des turbulences périodiques occasionnées par les tempêtes et les ouragans

##### 2. La zone sub-turbulente:

Cette zone se trouve au-dessous de la zone turbulente. Le calcaire y est moins pur, il se charge progressivement de boue argileuse vers le bas et les constructeurs sont essentiellement des Stromatopores lamellaires, accompagnés en proportion croissante vers le haut de Brachiopodes et vers le bas par des coraux .

### 3. La zone sous-turbulente:

Les Stromatopores disparaissent, dérangés par les dépôts d'argile trop abondante, dans cette zone calme. Les constructeurs dominants sont des coraux coloniaux, principalement les Tabulés.

### 4. La zone quiescente:

Elle est schisteuse, avec d'abord des petits lits calcaires interstratifiés, puis avec des nodules calcaires où vivent Bryozoaires, Ostracodes, Foraminifères et Conodontes.

### 5. La zone profonde:

Elle consiste en schistes fins pauvres en macrofaune benthonique. Seule la faune pélagique est bien représentée, parfois cette zone est complètement stérile. Sur le shelf, cette zonation est moins bien différenciée à mesure que l'on se rapproche de la zone littorale. L'interférence croissante de la turbidité favorise les coraux par rapport aux Stromatopores et les Stromatopores lamellaires par rapport aux Stromatopores massifs. En effet l'amplitude des oscillations bathymétriques est fortement réduite, les phases de subsidence n'atteignent jamais la zone profonde et rarement la zone quiescente. La succession est donc toujours incomplète vers le bas, mais vers le haut, elle peut se compléter par la zone sublagunaire où se déposent des calcaires fins, stériles ou très pauvres en organismes et par la zone lagunaire où se déposent des évaporites. Un milieu intermédiaire peut être représenté par des calcaires fins foncés à *Amphipora* et Ostracodes.

Parallèlement à ces considérations liées à la profondeur, il faut tenir compte d'autres facteurs tels la turbidité et la salinité. Sur le shelf la turbidité ne s'harmonise plus avec la profondeur mais interfère avec celle-ci. La salinité se manifeste moins directement.

Dans un premier stade, M. Lecompte expliquait le "feutrage" du biostrome supérieur de Tailfer comme le résultat d'une succession de paléoenvironnements consécutive à la rupture d'une barrière récifale localisée au sud de Tailfer.

Au début, le site de Tailfer correspond à une sédimentation fine, attribuée à un "lagon en arrière-récif".

À la suite d'une tempête, la rupture de la barrière récifale ouvre cet ancien lagon, ce qui amène les changements suivants:

1. L'apparition de cette ouverture permet une meilleure oxygénation de l'eau puisque le milieu n'est plus abrité des vagues venant du large.
2. Les substances nutritives y arrivent quasi librement pour la même raison.

Ceci se traduit par une colonisation caractérisée à la fois par l'abondance et/ou la diversité des organismes fixés: Stromatopores lamellaires, *Hexagonaria* et Tabulés branchus. La couleur sombre et la teneur en argile de ce sédiment seraient dues à la richesse en matières organiques et à la remobilisation des sédiments apportés par la tempête. Les Stromatopores lamellaires étaient décrits en positions de vie (1959, p. 129-130) et interprétés par M. Lecompte comme représentatifs d'un milieu sous-turbulent. Dans son article de 1965 (p. 146 et p. 166, fig. 7) M. Lecompte revoit sa position, les Stromatopores lamellaires caractériseraient la zone sub-turbulente. Il précise que sa succession bathymétrique (turbulente, sub-turbulente, sous-turbulente, quiescente et profonde) caractéristique du sud de l'Ardenne est moins bien différenciée sur le shelf du fait de l'influence de la turbidité et de la salinité.

Ensuite la barrière récifale se reconstitue fermant progressivement l'ancien lagon. Les Stromatopores lamellaires deviennent nettement dominants indiquant un milieu spécialisé: le calcaire paraît plus homogène et plus pâle par altération, signe d'une plus forte teneur en carbone, c'est-à-dire en matières organiques.

Dans une quatrième phase le milieu se ferme et ramène des conditions lagunaires où se déposent essentiellement des boues.

Cet épisode correspond, selon M. Lecompte (1959,1965), à la fin du deuxième et dernier biostrome (F2gh) du Frasnien moyen de Tailfer.

Lecompte 1965: " L'apparition des Stromatoporoïdes dans la séquence verticale du récif coïncide toujours avec une diminution très sensible de la teneur en argile: à ce moment où les coraux font place aux Stromatoporoïdes dans un milieu légèrement turbide, ces derniers ont un habitus exclusivement lamellaire. Plus haut, le calcaire devient très fin et les Stromatoporoïdes prennent une forme massive ou globulaire tandis qu'ils sont dérangés de leur position de vie."

M. LECOMPTE (1959) E. van WINKEL (1964) H. H. TSIEN *et al.* (1973) M. COEN-AUBERT M. COEN (1974) H. WILDER (1985) P. MERGEN *et al.* (1995)

Schistes verts et mud cracks

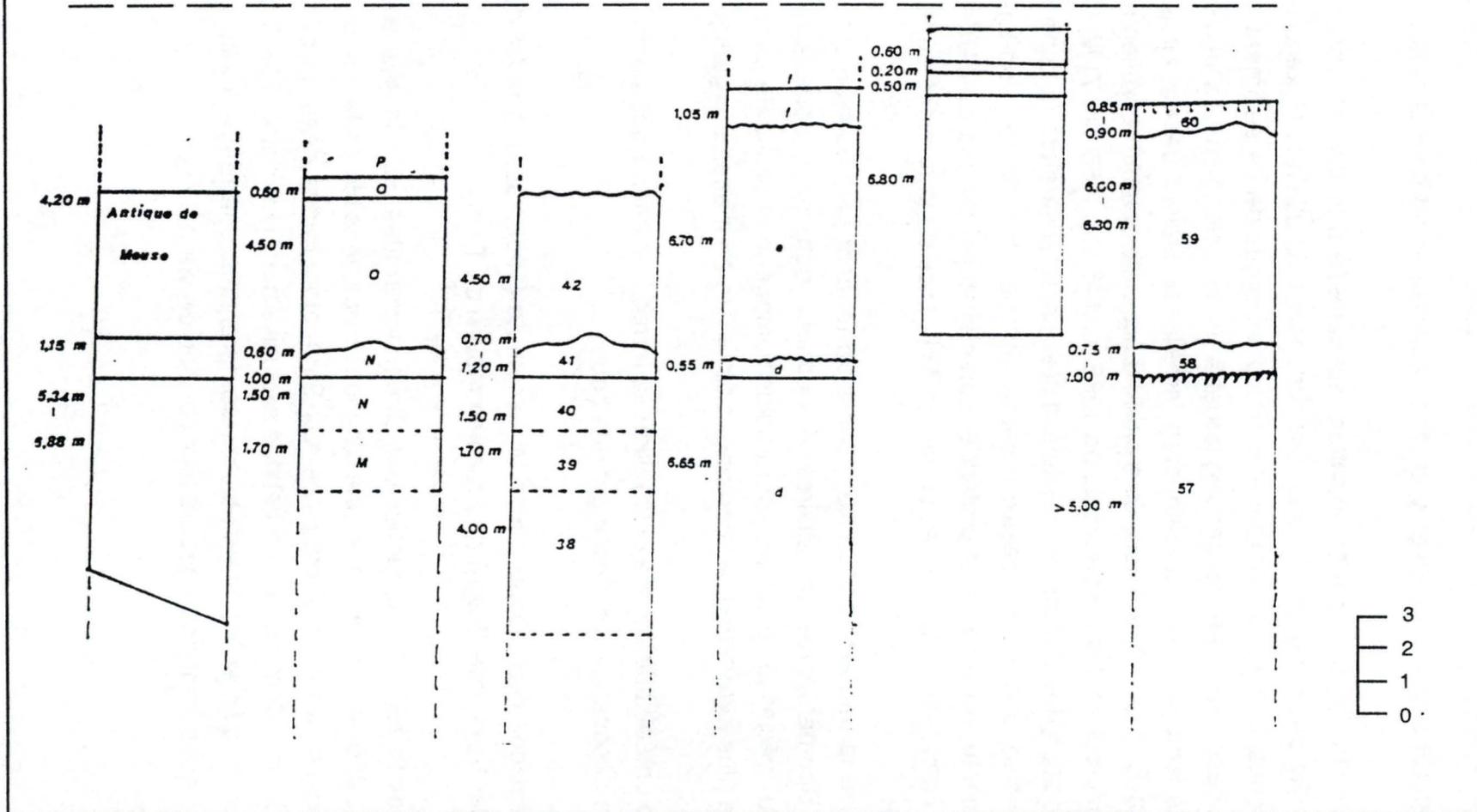


Figure 28: Corrélations avec les études antérieures. Niveaux à schistes verts et à mud cracks cités par tous les auteurs, pris comme référence.

## 5.2. Corrélation avec les travaux antérieurs

La coupe de Tailfer est un site géologique important du bord nord du synclinorium de Dinant. Elle a fait l'objet de plusieurs études où pratiquement seul l'aspect stratigraphique a été mis en évidence. Les informations de cinq publications ont été utilisées pour situer de manière précise la zone étudiée: M. Lecompte (1959), E. van Winkel (1964), H. H. Tsien et al (1973), M. Coen-Aubert et M. Coen (1974) et H. Wilder (1985). L'annexe 4 reprend les extraits des textes et des illustrations des cinq publications utilisées.

La lecture de ces publications amène quelques commentaires:

- 1.- Certaines descriptions diffèrent d'un auteur à l'autre.
- 2.- Certaines épaisseurs des bancs posent problème, particulièrement pour le banc 59, qui pour les trois premiers auteurs ne mesurent que 4,50 m au lieu des 6 à 6,30 m observés. Dans certains cas, les épaisseurs mentionnées regroupent les bancs 59 et 60.
- 3.- Le repérage de certains bancs reste difficile sur le terrain.

Heureusement, la présence du niveau de schistes verts affecté de mud-cracks est cité par les différents auteurs et permet de vérifier les corrélations entre les différentes publications (voir figure 28).

Le banc 59 de notre étude est délimité à sa base et à son sommet par un joint ravinant. Sur le terrain son épaisseur varie de 6 à 6 m 30 au niveau de la coupe PQ.

Le joint ravinant inférieur est cité et dessiné par E. Van Winkel (1964, p. 24), H. H. Tsien et al. (1973, p.7), et M. Coen-Aubert et M. Coen (1974, p.513). Quant au joint ravinant supérieur il est représenté sur la coupe de H. H. Tsien et al. (1973) mais n'est pas cité dans le texte. Il est dessiné et cité chez M. Coen-Aubert et M. Coen (1974).

Le banc 59 étudié correspond ainsi au niveau du banc répertorié::

- O partie inférieure (épaisseur 4,5 m) chez E. Van Winkel (1964).
- 42 (épaisseur 4,5 m) chez Tsien et al. (1973) dans la formation de Gougnyes.
- e (épaisseur 6,7 m) chez M. Coen-Aubert et M. Coen (1974) où il est attribué à la formation de Lustin

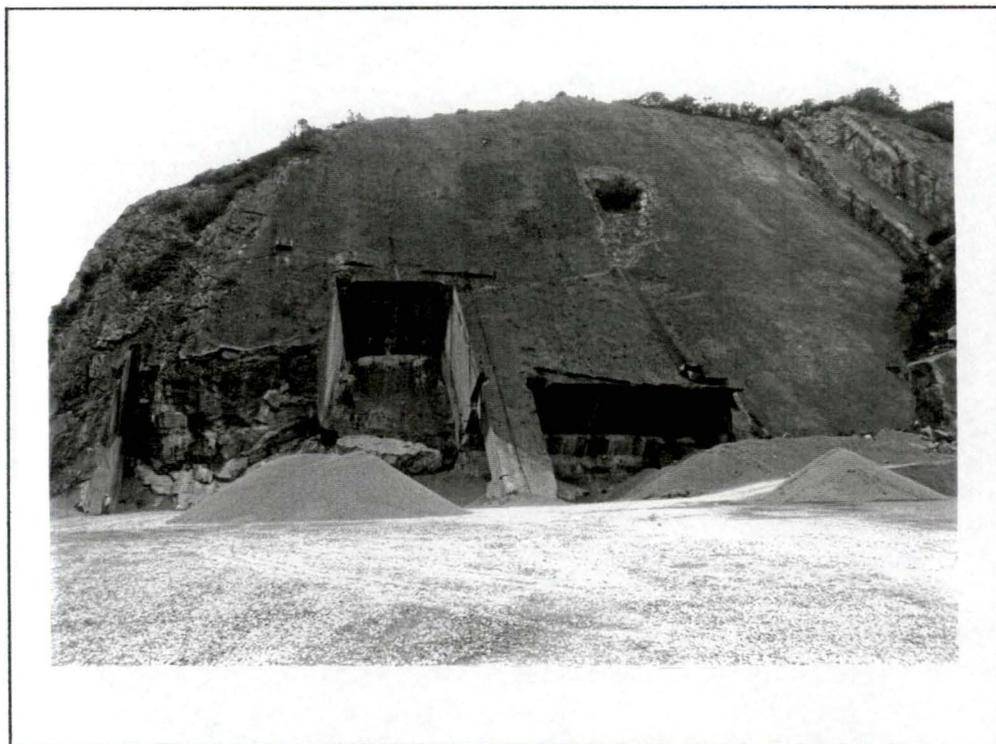


Photo 33: Vue générale de la "Grande Dalle" de Tailfer.

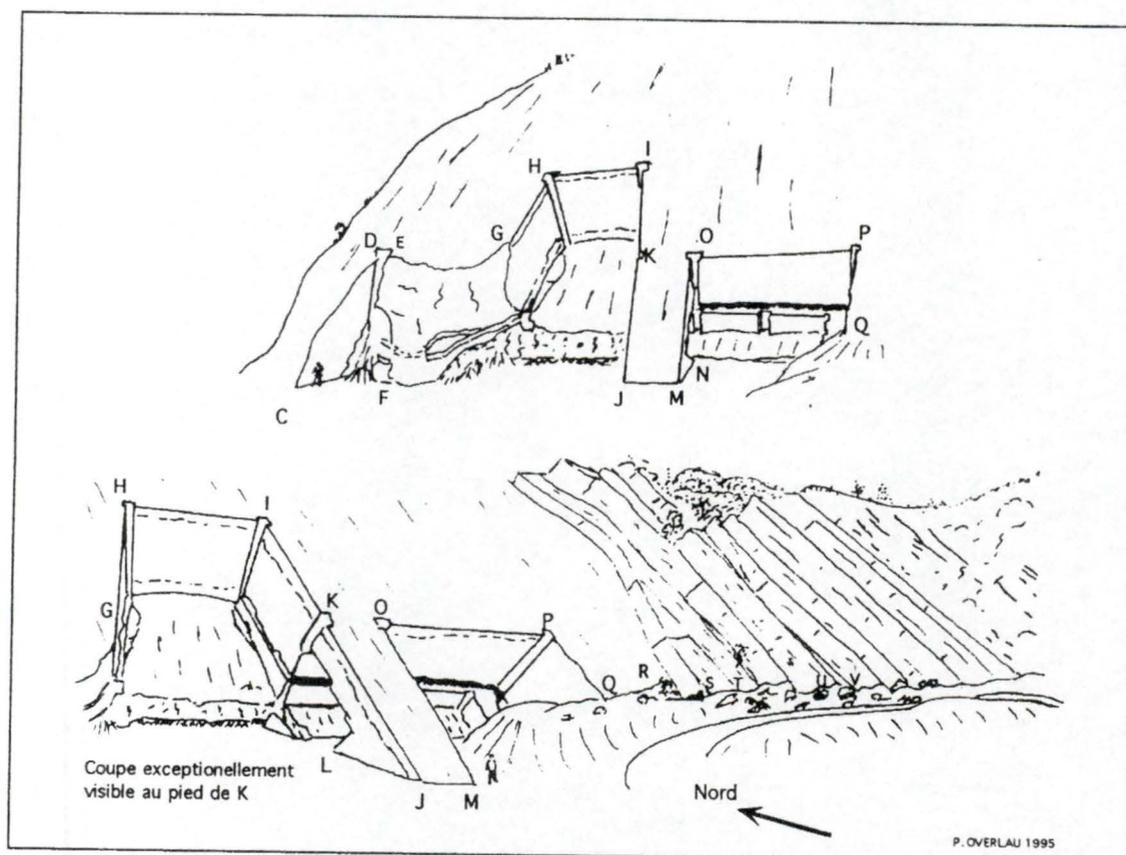


Figure 29: Dénomination des différentes parois de la carrière.

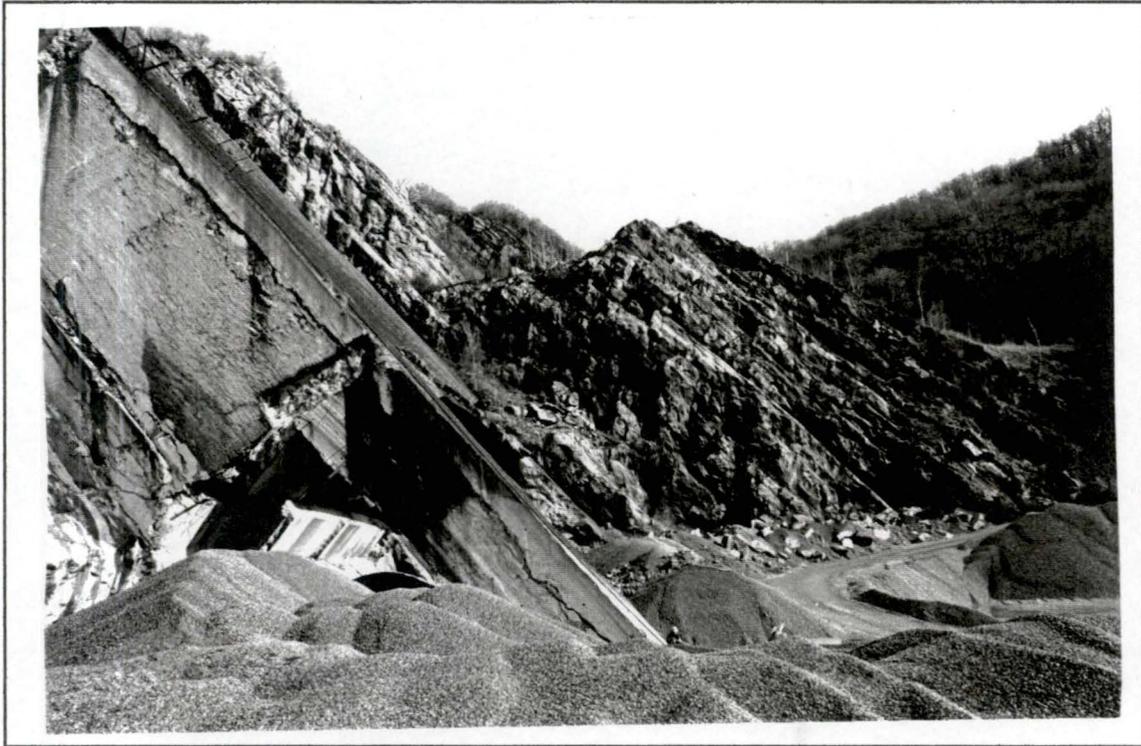


Photo 34 : Vue de la paroi IJ au début de la période d'étude

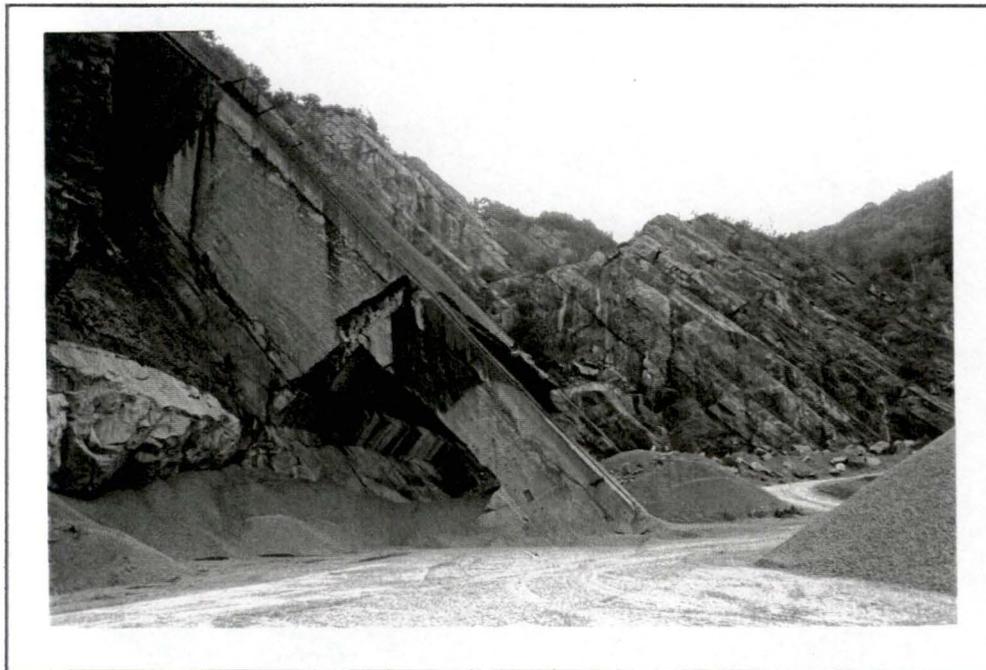
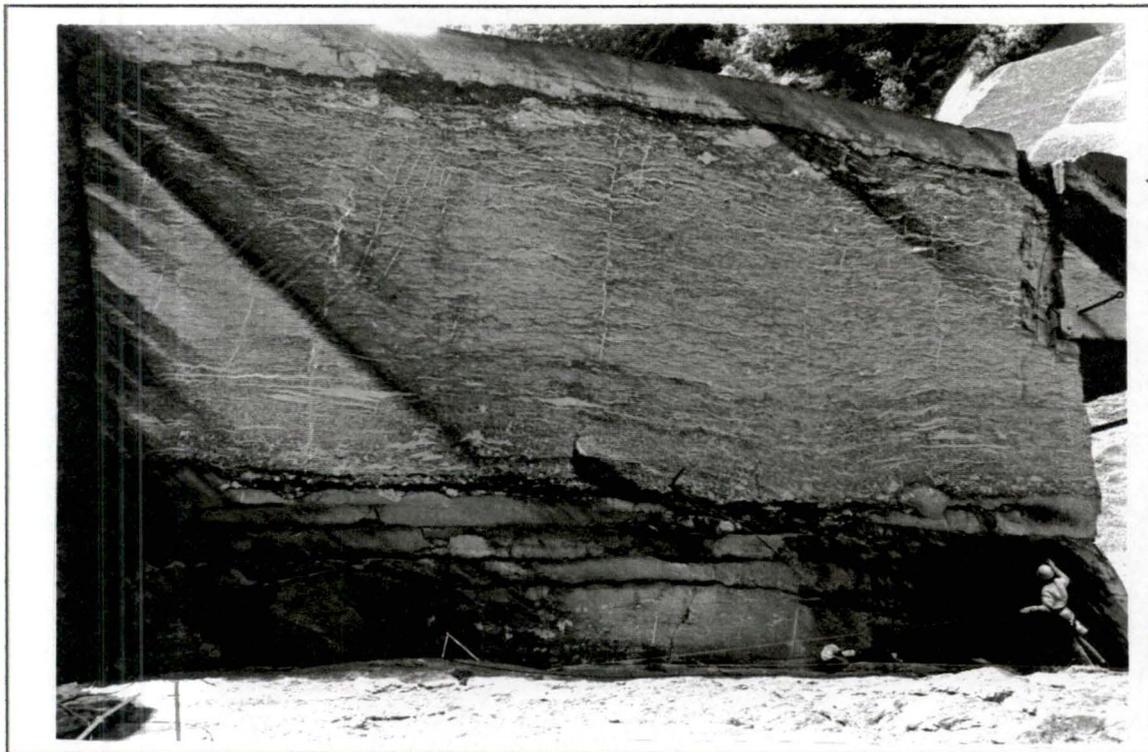


Photo 35: La paroi IJ en fin de période d'étude, remarquer l'accès rendu plus difficile par disparition des tas de graviers.



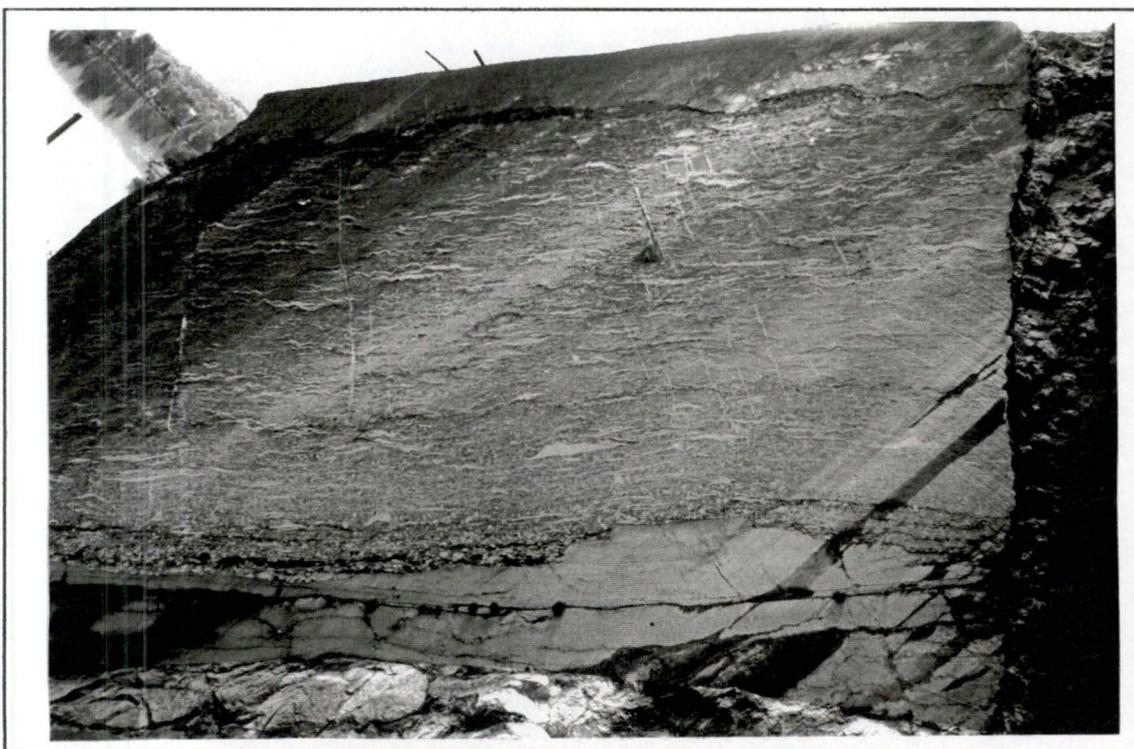
60

59

58

57

Photo 36: Vue générale de la paroi IK



60

59

58

57

Photo 37: Vue générale de la paroi GH

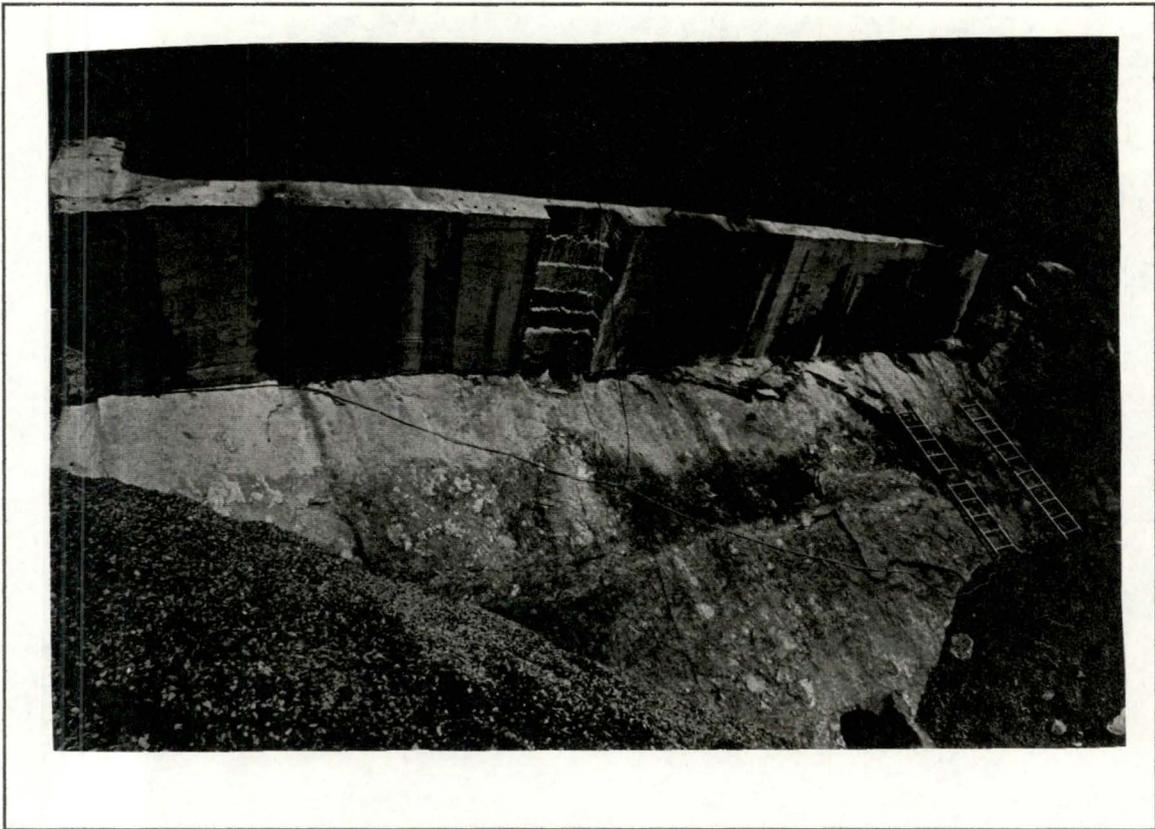


Photo 38: Vue du banc 57 au niveau de la paroi OP

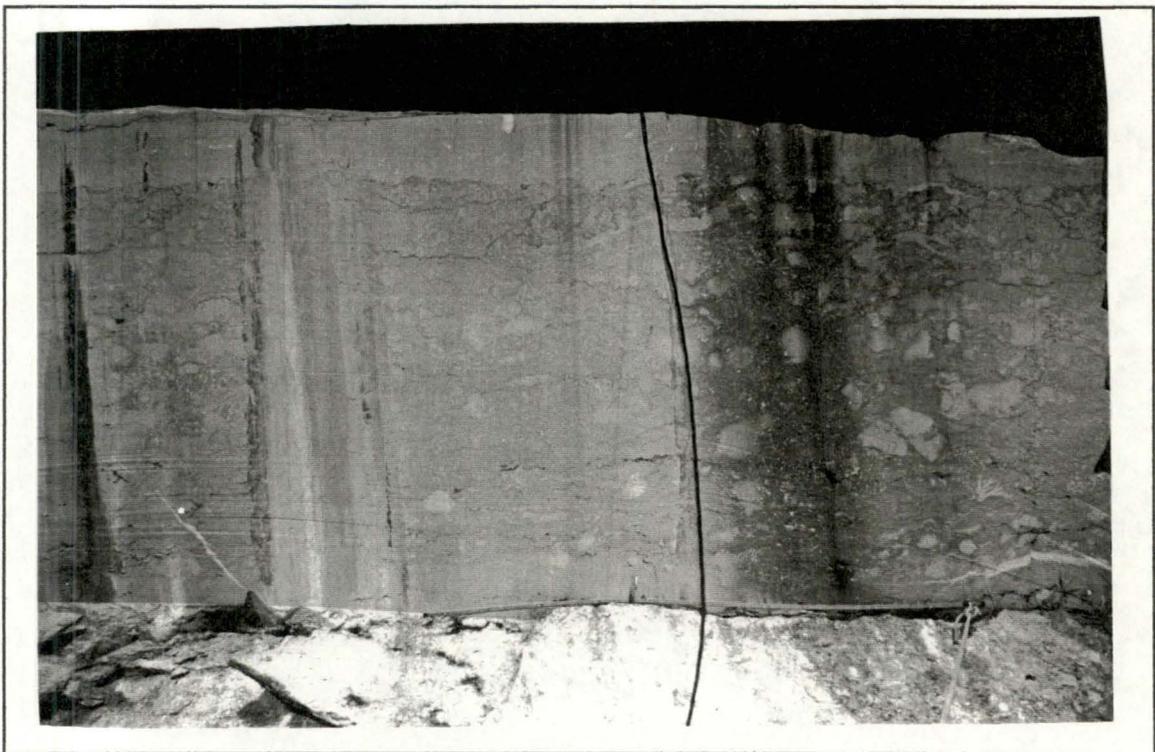


Photo 39: Détail du banc 57 de la paroi OP, montrant la variabilité latérale

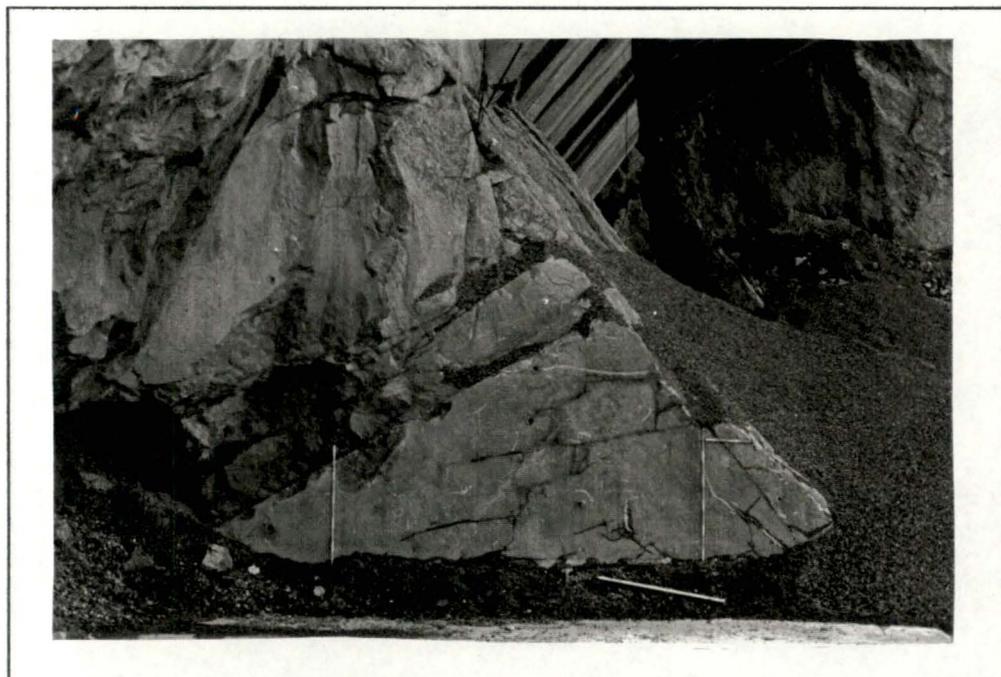


Photo 40: Vue du banc 57 au niveau de la paroi KL

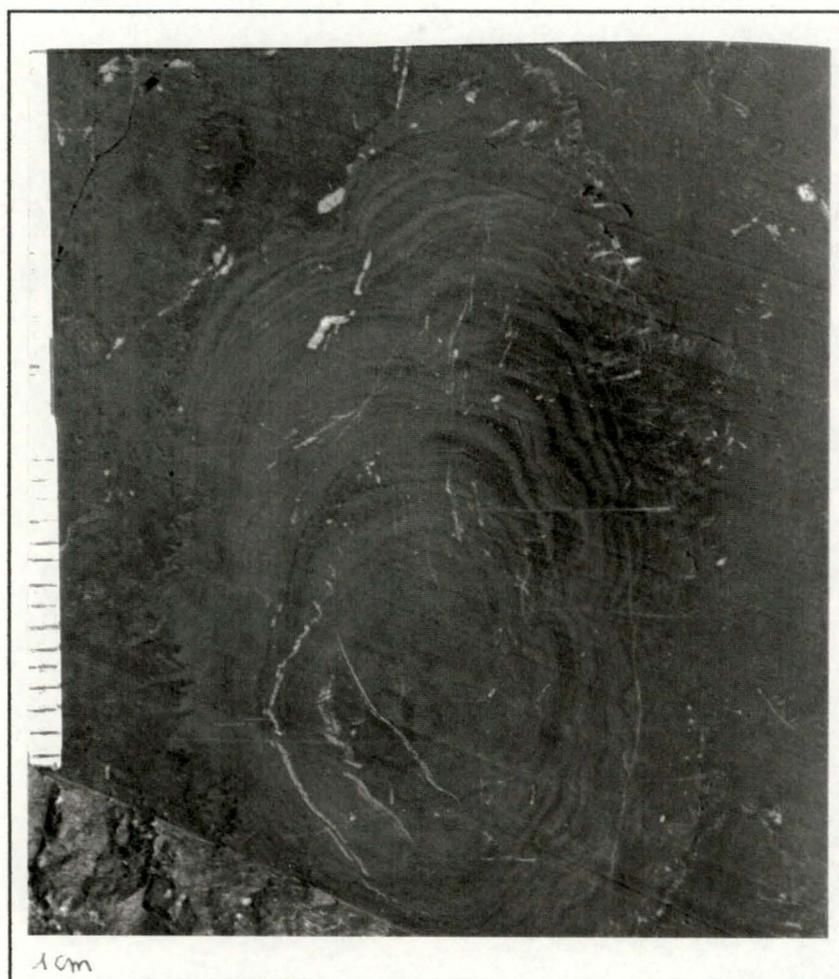


Photo 41: Stromatopore en boule du banc 57 en KL,  
noter les Stylolithes qui le marquent en haut à droite et  
en bas à gauche

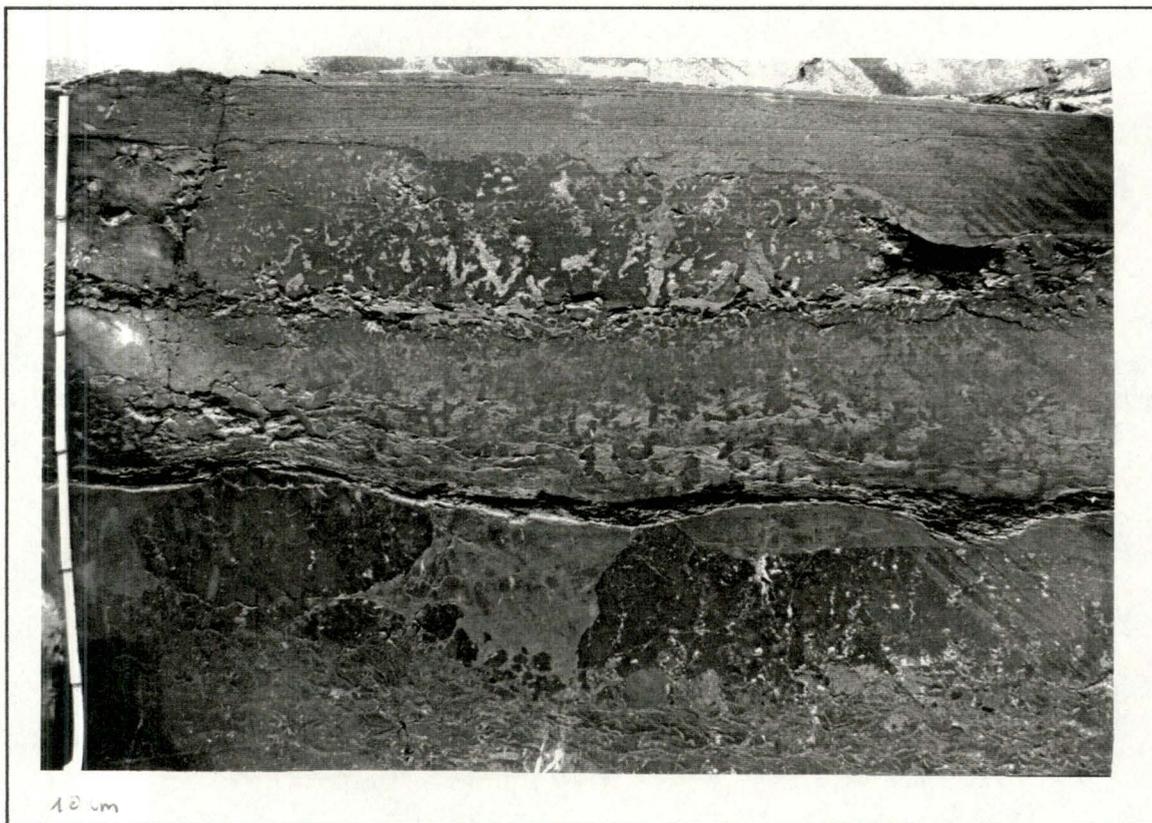


Photo 42: Le banc 57 au niveau de la paroi IK

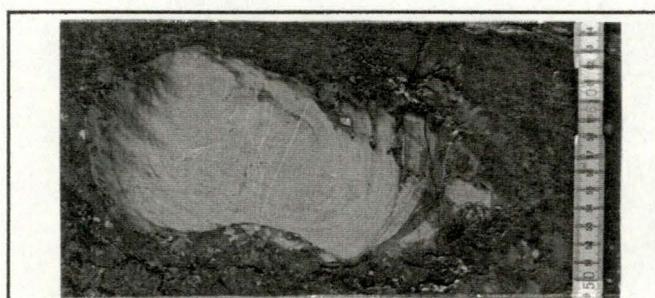


Photo 43: Stromatopore en boule du banc 57 en IK, noter sa position inversée et sa base tronquée

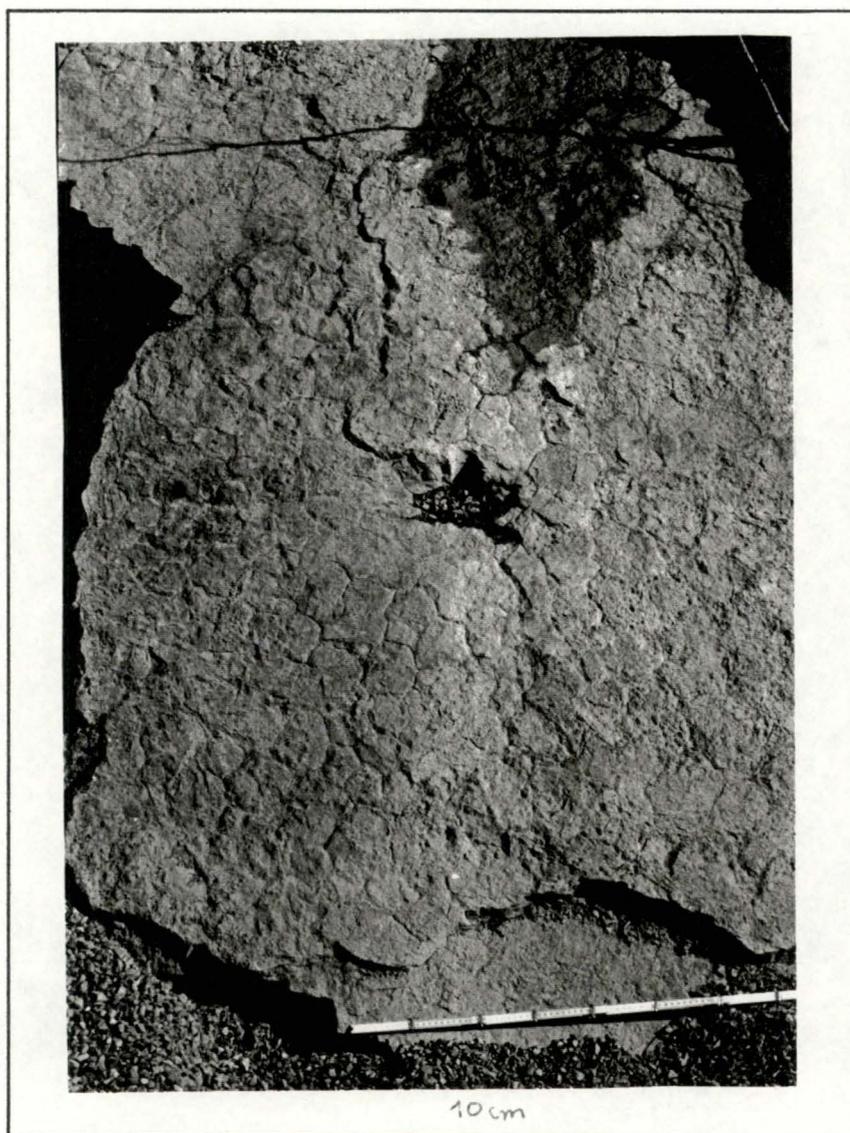


Photo 44: Les "mud cracks" au niveau du point F

## 6. Données nouvelles

Les photos 33-37 montrent des vues générales du site étudié et la figure 29 reprend la dénomination des différentes parois.

### 6.1. Banc 57 ( photos 38,40,42)

La description du banc 57 avait été initialement prévue dans ce mémoire, surtout du fait de la présence des Stromatopores en boules (photos 41 et 43). Malheureusement, la variabilité des observations, sur quelques mètres de distance (photo 39), posait un problème dépassant le cadre de ce travail.

La base de la séquence étudiée commence, en réalité, au niveau de la surface supérieure du banc 57 observable en plusieurs endroits et sur plusieurs m<sup>2</sup> dans la carrière.

Le sommet du banc 57 présente, en effet, des craquelures qui dessinent grossièrement un réseau polygonal de 10 à 15 cm de diamètre. Ces fentes, perpendiculaires à la stratification, disparaissent en profondeur, et les polygones sont parfois déprimés vers leur centre.

Ce réseau polygonal correspond à des figures de rétraction, classiques dans les sédiments boueux soumis à la dessiccation. Il est décrit, le plus souvent, sous le vocable anglais de "Mud cracks".

À la fin de la sédimentation du banc 57, le niveau de la mer se serait donc abaissé jusqu'à émergence de l'ancien fond marin.

Ces structures n'ont jamais été signalées auparavant et sont observables en quatre endroits de la carrière:

- 1) au niveau de la coupe IK, elles forment un ruban étroit, accessible exclusivement par escalade.
- 2) près du point P, très ténues en épaisseur (1 à 1,5 cm), elles sont visibles sur une vingtaine de m<sup>2</sup>.
- 3) près du point F, (Photo 44). sur 2,5 m<sup>2</sup> environ, mais vers l'Est, elles disparaissent pour réapparaître 5-6 m plus loin, près du point G, sur une lamination argileuse de 2 à 3 cm d'épaisseur.
- 4) au pied du point G, elles couvrent encore 2 m<sup>2</sup>.

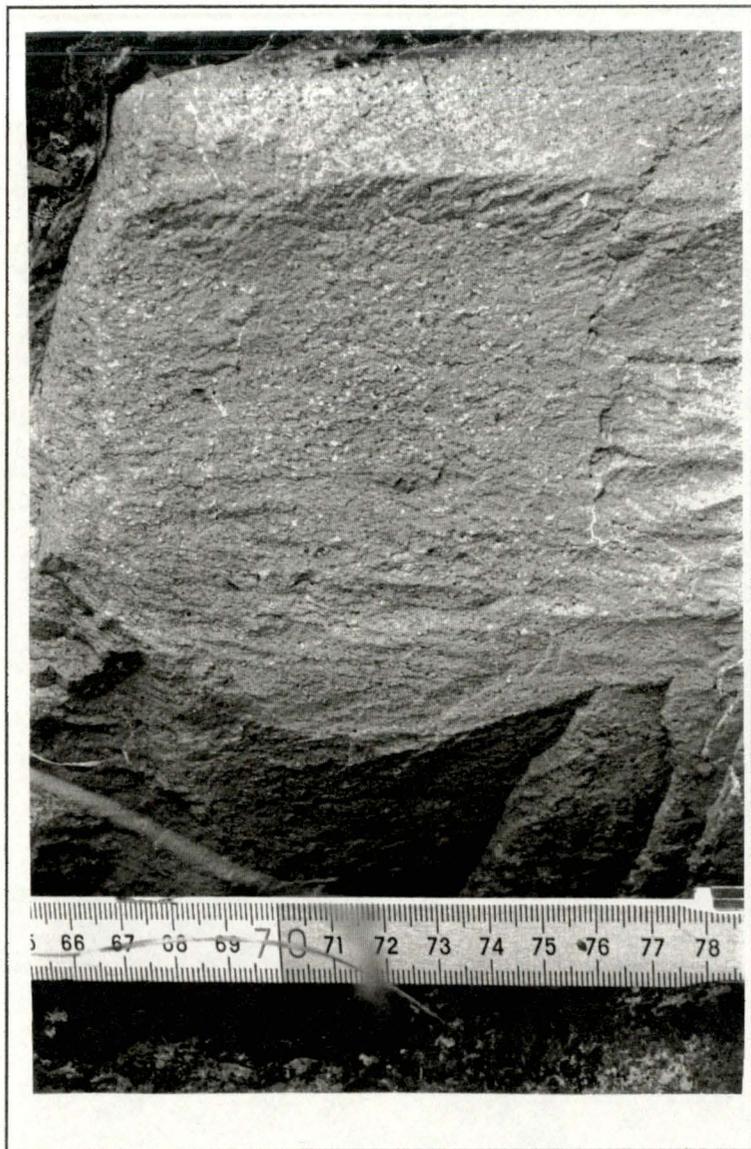


Photo 45: Partie supérieure du banc 58, qui miroite au soleil au niveau de la paroi IK

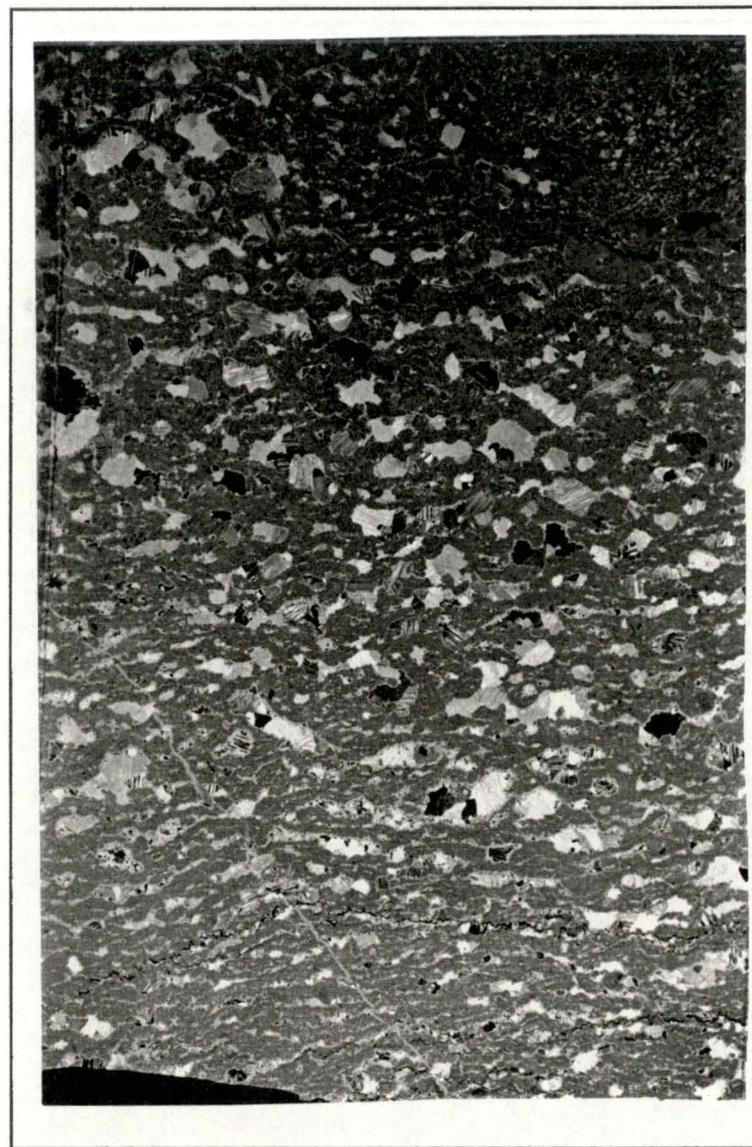


Photo 46: lame mince dans la partie supérieure du banc 58 en lumière polarisée

## 6.2. Banc 58: la base du biostrome

Le banc 58 recouvre donc une surface d'émersion et constitue la base d'une nouvelle séquence sédimentaire. Il apparaît localement subdivisé en 2 ou 3 sous-unités. Son épaisseur globale varie de 15 à 100 cm car son sommet est tronqué par un niveau d'érosion accusé, riche en matière organique noire, qui constitue la base du banc 59.

### 6.2.1. La base

A sa base, sur la face IK, le banc 58 semble présenter un biseau qui s'amincit du Nord au Sud (de I vers K et de H vers G, photos 36 et 37) jusqu'à disparaître latéralement en moins de 5 m de distance. Quelques coupes révèlent localement l'existence de subdivisions internes dont les limites ne sont pas nettes et, surtout ne sont pas parallèles entre elles.

### 6.2.2. Les subdivisions internes du banc 58

En FG, le banc 58 présente deux subdivisions.

- La partie inférieure est homogène et monolithique, mais latéralement, 2 à 3 m plus à l'Est, on observe des zonations granulométriques, alternativement plus fines et plus grossières.
- La partie supérieure est tronquée en biseau. Elle miroite au soleil.

En I, c'est aussi la partie supérieure qui miroite au soleil, mais à mi-distance entre I et K, (Photo 45) c'est la base qui présente cette particularité qui évoque immédiatement la fracture des calcaires crinoïdiques.

En effet, les articles de crinoïdes se comportent individuellement comme des monocristaux de calcite qui se brisent suivant les 3 plans privilégiés de clivage.

En cassure fraîche et à la loupe, on ne repère cependant aucun crinoïde. La lame mince, en revanche, révèle des cristallisations de calcite aux formes variables, analogues à des remplissages de vides (photo 46).

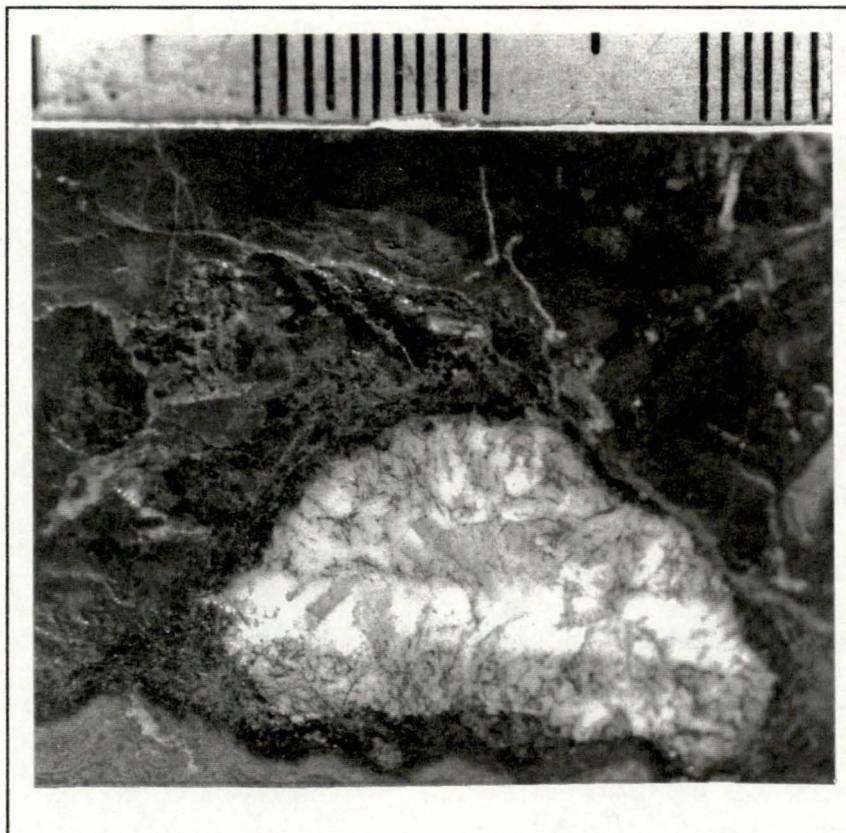


Photo 47: Calcite présumée présenter de la pseudomorphose de Gypse, base du banc 59 au niveau de la paroi CD

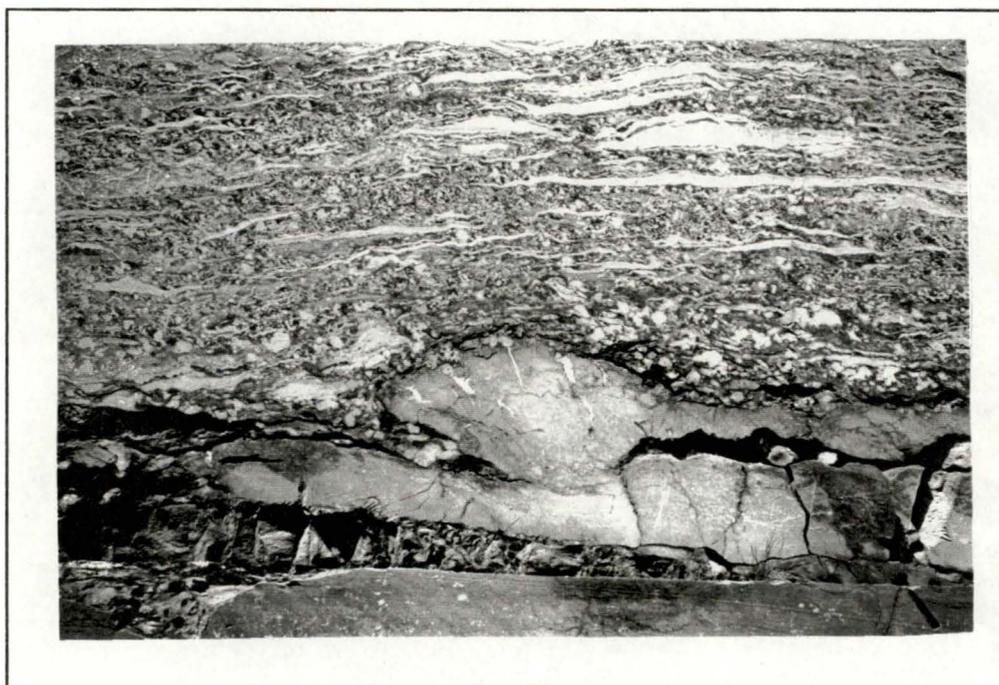


Photo 48: "flame structure" au niveau de la paroi IK

Certaines formes suggèrent des pseudomorphoses d'évaporites, mais cette interprétation reste encore à vérifier.

La **pseudomorphose** est un phénomène de remplacement d'un minéral par un autre, avec préservation des formes cristallines héritées du premier, même si les propriétés cristallographiques du second sont nettement différentes. Ainsi les formes orthorhombiques du Gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) ou de l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) persistent-elles, malgré un remplacement de ces minéraux par de la calcite, au cours de l'évolution des roches (photo 47).

Ces pseudomorphes indiqueraient donc que des minéraux évaporitiques ont précipités, soit à la surface d'un sédiment boueux, soit à faible profondeur sous celle-ci, indiquant un environnement lagunaire en climat chaud et aride. Cette précipitation commence dès que la saturation en sels est atteinte sans qu'une dessiccation complète soit nécessaire.

Après l'émersion que révèle le sommet du banc 57, la transgression marine aurait donc commencé par des apports de boues calcareuses très fines dans des conditions probablement évaporitiques parfaitement compatibles avec l'environnement tropical reconnu de notre Dévonien.

### 6.2.3. Le sommet raviné du banc 58 (Photo 36 et 37)

Le niveau d'érosion qui tronque son sommet, y découpe des paliers qui semblent correspondre à 2 joints internes et discontinus du banc 58. Ceci est très net au niveau de la paroi IK, à 2 m et vers 8 à 11 m en partant du point I (au Nord).

L'agitation des eaux, seule explication plausible pour l'érosion d'un fond marin subhorizontal, a donc mis fin à la sédimentation correspondant au banc 58. De plus sa violence a permis le remaniement et l'érosion d'une partie appréciable des dépôts du banc 58. Ces sédiments ont du constituer un "courant chargé" que la tempête a redistribué en d'autres lieux.

Vers 7-8 m, le ravinement semble bien avoir atteint la base du banc 58, mais l'état de l'affleurement, très attaqué par le gel, et les conditions acrobatiques d'accès ne permettent pas une observation suffisamment nette.

Le volume de sédiment boueux érodé est difficile à évaluer, mais les profondeurs atteintes par ce ravinement atteignent, et peut-être dépassent, le mètre. Ceci indique une agitation particulièrement intense qui ne peut exister que dans des zones à faible profondeur d'eau balayées par des Typhons ou des Raz de marées.

A 3 m au Nord du point K, le niveau d'érosion expose une structure pluridécimétrique de déchirure avec décollement partiel d'une masse appartenant au banc 58, et injection de sédiment conglomératique appartenant au banc 59, dans la crevasse (photo 48) Cette masse incomplètement décollée est boursouflée vers le Sud est spectaculairement soulignée par l'aspect en éventail des veinules de distension de calcite qui ont affecté la masse boueuse en voie de décollement.

Ce type de structure, influencé par des différences de densité et de viscosité de courant chargé ou de sédiment partiellement fluidisé, est connu sous le nom de "**flame structure**" (Michel et Fairbridge 1992). Il est attribué à des empreintes de charge, avec décollement, arrachement et entraînement de fragments encore mous et injection avec remontée en forme de flammes dans le banc sus-jacent

Le niveau d'érosion par paliers parallèles à la stratification interne du banc 58 prouve que l'érosion a procédé par décollements successifs de masses boueuses appartenant au sommet du banc 58, bien avant leur induration complète.

Des structures analogues, repérées dans la partie supérieure du banc 57, prouvent que ce mode d'érosion est commun dans ce genre d'environnement lagunaire à sédimentation très rapide.

### **6.3. Banc 59: le biostrome (photo 36 et 37)**

L'aspect général du banc 59 montre un feutrage de Stromatopores lamellaires. Il s'étend entre deux joints ondulants et sombres, ravinant le toit de la couche qu'ils recouvrent.

Au niveau de la coupe PQ, son épaisseur est facilement mesurable et varie entre 6 m et 6 m 30, mais de plus fortes variations d'épaisseur sont possibles, compte tenu de la hauteur, parfois métrique, des ravinements qui affectent son sommet et son pied.

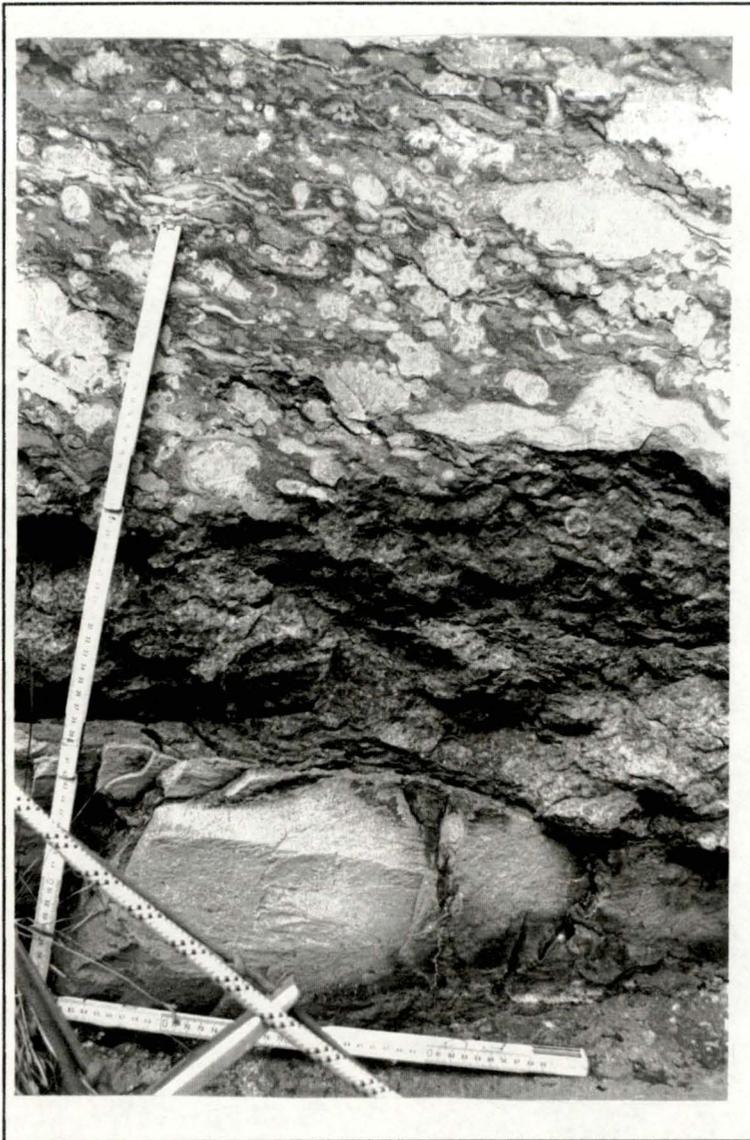


Photo 49: Paroi IK, montrant le banc 58 supérieur, le joint argileux fragile, et le conglomérat de base du banc 59

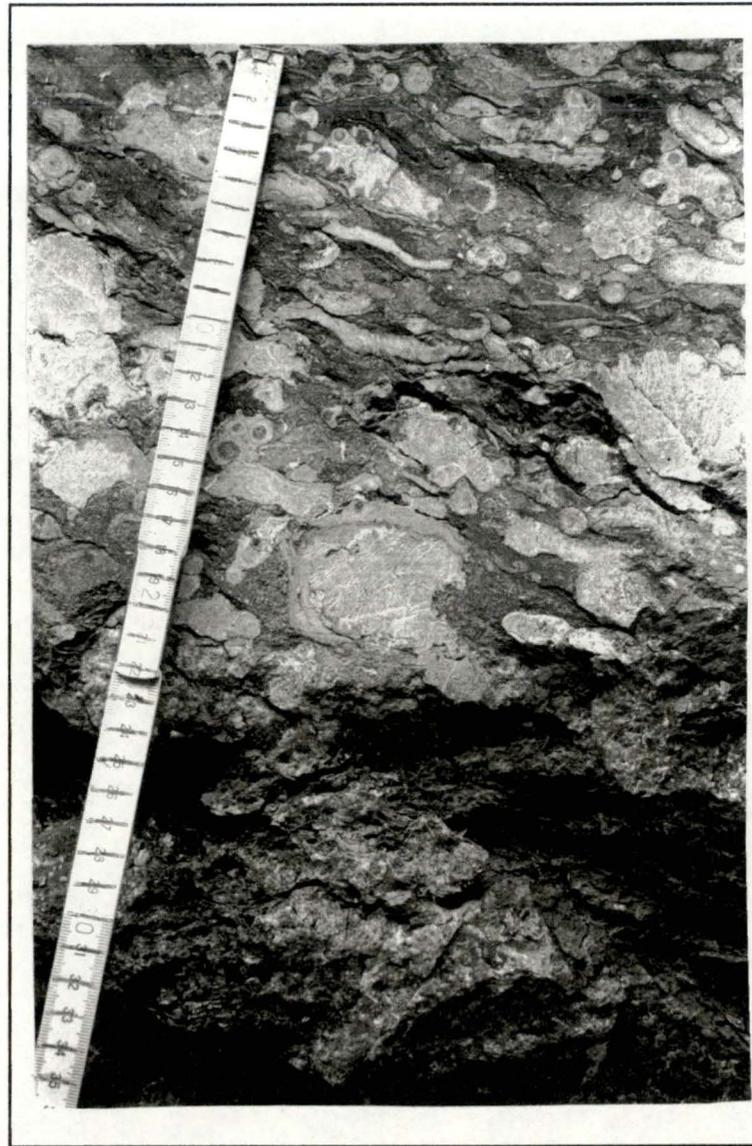


Photo 50: Détail de la photo 49, montrant le joint argileux et un *Hexagonaria* incroûté par un Stromatopore

Vu de loin, le banc semble se subdiviser en 5 sous-unités. Son "conglomérat de base et sa partie inférieure", épaisse de 2 m environ ainsi que son sommet, sur 40 à 80 cm, semblent plus sombres que la partie centrale plus pâle, elle-même subdivisée en deux: l'inférieure, épaisse d'1,5 m, plus homogène et la supérieure plus hétérogène d'aspect et qui atteint 2 m environ.

#### 6.3.1. Le conglomérat de base ( $\pm 0,5$ m) (photo 49 et 50)

La base du banc est soulignée par un joint ondulant très altérable que surmonte 0,5 m de sédiment calco-argileux, altérable assez riche en matières organiques qui présente l'aspect d'un conglomérat englobant des débris pluricentrimétriques d'*Hexagonaria* orientés en tous sens, accompagnés de *Thamnopora* et d'*Alveolites* branchus et massifs et de très rares Stromatopores. Suivant les sites d'observation, ce conglomérat de base, d'épaisseur comprise entre 30 à 50 cm, présente des concentrations variables de débris alignés en laminations très faiblement inclinées.

Le joint centimétrique de base est fort altérable et souligne un changement appréciable dans le type de sédiments. L'ondulation de ce joint recoupe les subdivisions du banc 58 sous-jacent et caractérise le ravinement érosif produit par une violente agitation des eaux. Le calibre et le désordre des fossiles dispersés dans la boue calcaire révèle l'intervention d'un courant chargé et très puissant. L'absence, dans le sédiment boueux sous-jacent, des fossiles mentionnés plus haut tout autant que leur calibre, indique une allochtonie certaine. Leur assemblage montre qu'ils proviennent d'un milieu favorable au développement des coraux massifs.

Le ravinement est donc interprété comme le résultat d'un typhon puissant ou d'une succession de tempêtes particulièrement violentes qui auraient éventré la barrière récifale et dispersés ses débris mélangés à des dépôts érodés dans l'arrière récif, c'est-à-dire dans le lagon.

Plus haut, dans le sommet de la sous-unité inférieure, le sédiment s'éclaircit quelque peu et les Stromatopores lamellaires apparaissent, puis deviennent rapidement prédominants (visible sur la photo 48).

### 6.3.2. Caractères communs au Biostrome proprement dit

#### a). Diversité des faunes

Les Stromatopores lamellaires, rapidement prédominants (photo 48), représentent de 20 à 70 % de la roche, ils sont dispersés dans un "Wakestone"<sup>11</sup>, c'est-à-dire une boue calcaire (<62  $\mu\text{m}$ ), mélange de micrite (<4 $\mu\text{m}$ ) et de débris divers, de taille le plus souvent, infra millimétrique. Les bioclastes (débris d'organismes fossiles), du fait de leur taille réduite, sont à peine reconnaissables et très dispersés dans la micrite. Quelques rares laminations irrégulières atteignent des teneurs en bioclastes dépassant 50 % avec des tailles plurimillimétriques et correspondent ainsi à des Grainstones<sup>12</sup>.

La dominance des Stromatopores, et la fréquence des *Alveolites*, ainsi que les débris d'*Hexagonaria*, associés à quelques autres fossiles, plus rarement observés, indique un changement radical des conditions de vie qui peut être attribué à l'ouverture du lagon aux eaux riches et oxygénées du large.

La faible épaisseur de la formation récifale, de l'ordre de 6 mètres et son extension latérale, reconnue sur plusieurs kilomètres, correspond bien à la définition morphologique du Biostrome.

#### b). Quasi absence de traces de fousseurs

Les sédiments qui entourent les Stromatopores se caractérisent par de fortes variations de teneurs en bioclastes et présentent des laminations irrégulières sans classement granulométrique. Aucune déformation des structures sédimentaires n'est attribuable à des bioturbations (traces d'activité biologique attribuables à des terriers ou à des pistes),

La sédimentation des micrites ne provient pas donc pas d'une décantation autochtone en milieu calme qui se marquerait par des microlaminations granodécroissantes vers le haut. Les laminations, déformées au voisinage des fossiles, évoquent, au contraire, des apports massifs et successifs d'eau boueuses contenant des fossiles et enterrant les débris et organismes présents sur place. La majorité des sédiments provient donc probablement de l'importation de sédiments du remaniés, c'est-à-dire allochtones comme on en verra des exemples plus loin.

---

<sup>11</sup>Voir en Annexe 3

<sup>12</sup>oir en Annexe 3

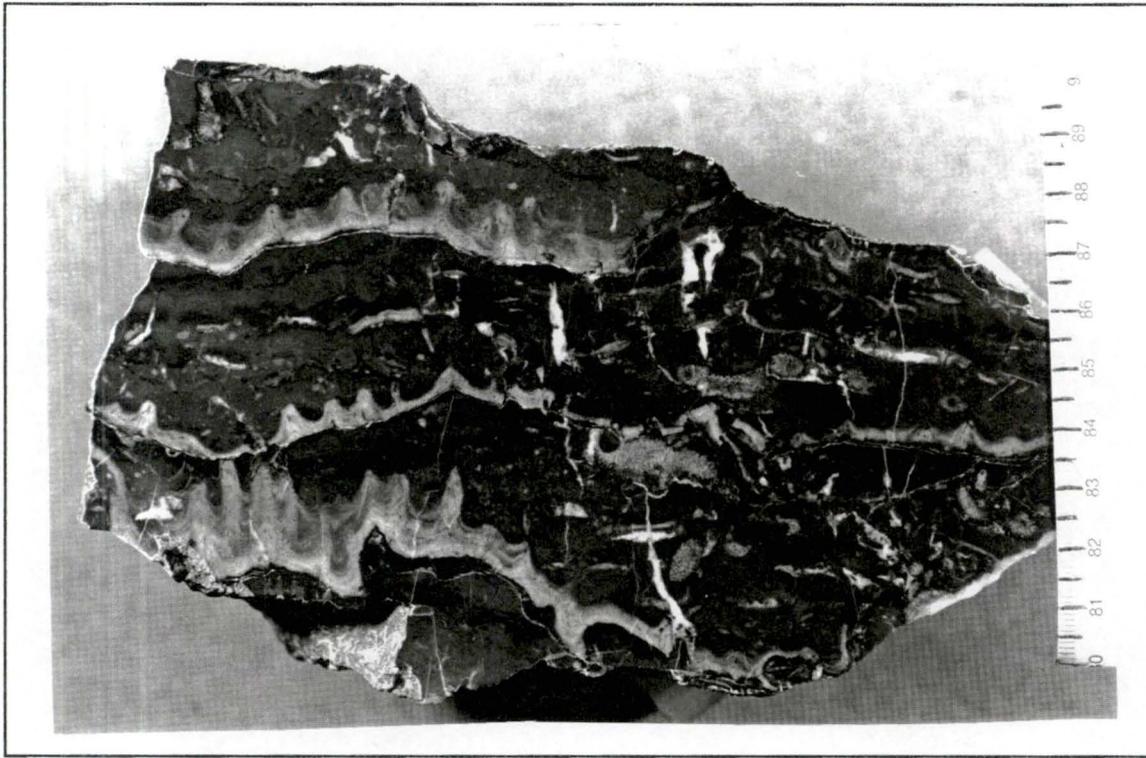


Photo 51: Échantillon PM12b, montrant des Stromatopores à mamelons forts développés, à base plus claire, à sédiment plus foncé entre les mamelons, les mamelons du Stromatopore central sont tronqués par du sédiment

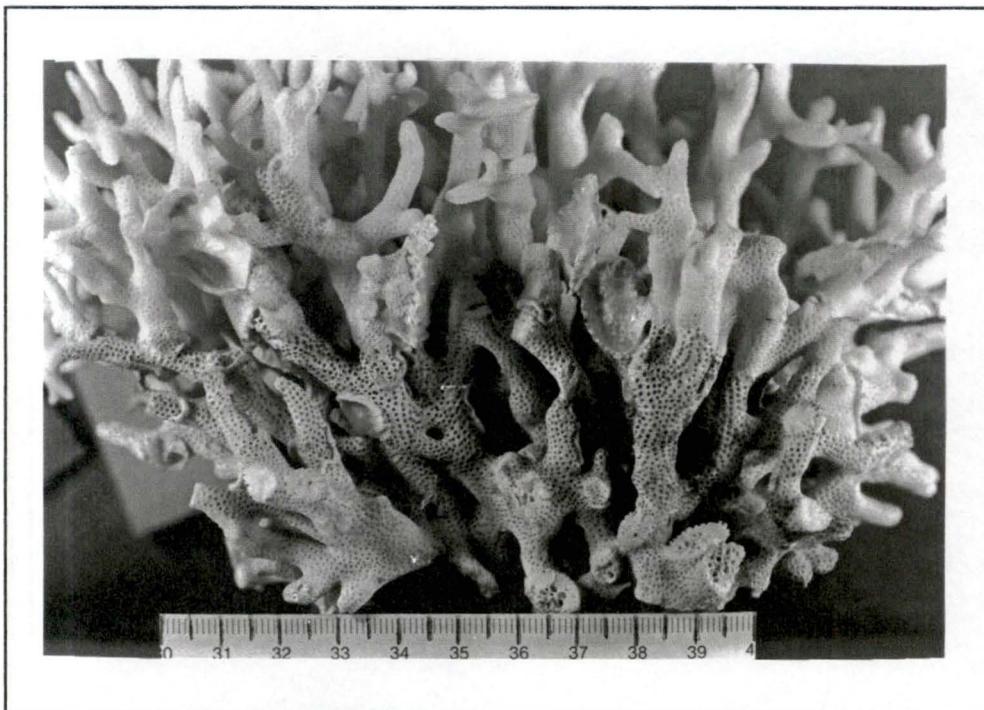


Photo 52: Corail actuel présentant une base corrodée d'aspect différent

La sédimentation en masse de ces sédiments fins, remaniés, mais riches en matières organiques en putréfaction plus ou moins avancée, empêche toute aération du dépôt où, rapidement se développent des conditions anoxyques qui interdisent l'accès aux fousseurs.

#### c). Stromatopores à base claire

La plupart des Stromatopores se présentent avec une base souvent plus claire sur quelques millimètres d'épaisseur que le reste de la "colonie". Cette observation se vérifie fréquemment, aussi bien sur les organismes en position normale que sur ceux qui sont retournés ou qui sont en fragments dispersés (photo 51).

L'étude de quelques squelettes de coraux actuels a montré que le pied des organismes dendroïdes dressés présentait un aspect totalement différent de la partie supérieure qui correspondait à la partie vivante de la colonie.

La zone de transition présente parfois des encroûtements qui indiquent clairement que le pied était enterré dans des accumulations sédimentaires; il apparaît profondément corrodé sur une épaisseur de quelques centimètres (photo 52). Cette corrosion peut facilement s'expliquer par les fortes teneurs en CO<sub>2</sub> et en acides organiques libérés par la putréfaction des matières organiques incluses dans les sédiments fraîchement accumulés.

La corrosion des bases de Stromatopores aurait eu pour effet d'ouvrir plus largement les mailles du squelette permettant un remplissage plus important par de la sparite claire de remplissage de vides. Une étude au microscope polarisant ou au microscope à balayage permettrait probablement de vérifier l'hypothèse.

#### d). Stromatopores à mamelons bien développés (photo 51, 2 et 3)

Alors que la plupart des Stromatopores présentent des mamelons dont le relief ne dépasse pas beaucoup le demi centimètre, on observe, de-ci de-là, des individus caractérisés par une protubérance anormale atteignant, voire dépassant les 2 cm. Dans certains de ces cas, on observe que la micrite foncée qui les envase, présente une fine zonation parallèle à la surface comprise entre les mamelons.(photo 51)

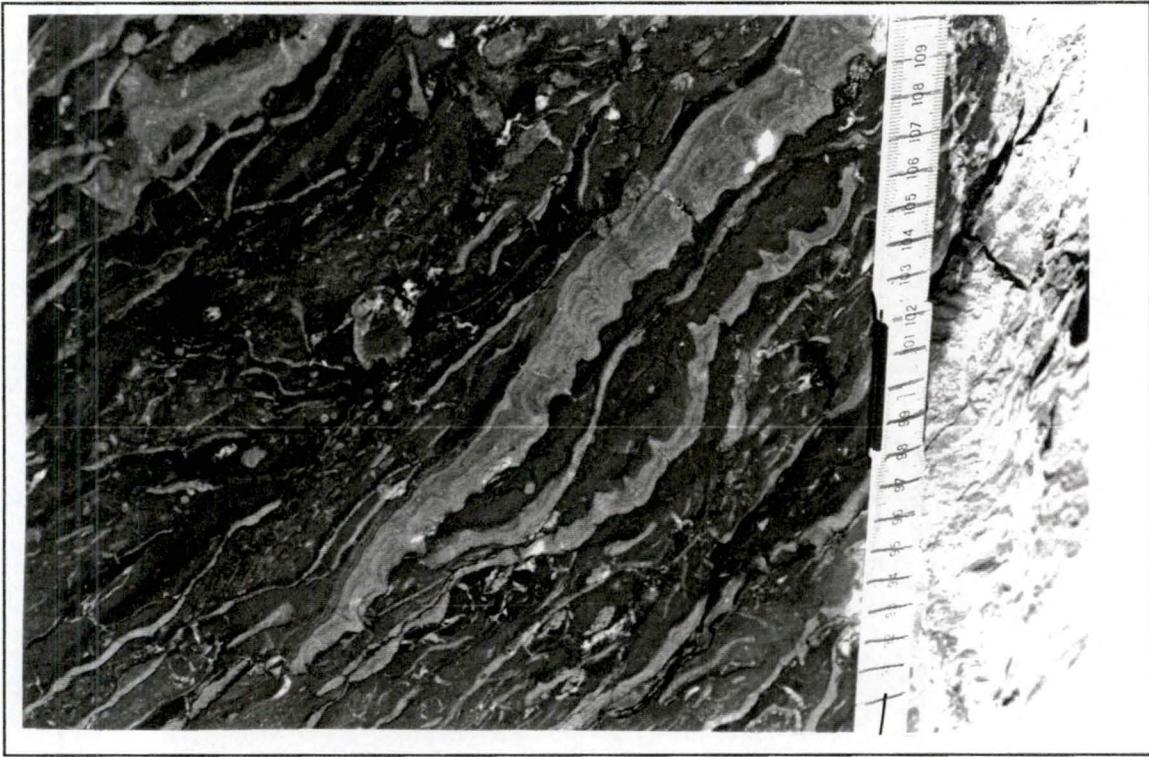


Photo 53 : Stromatopores avec les mamelons dans les deux sens



Photo 54 Stromatopore présentant des ondulations

Ceci semble indiquer une décantation boueuse compatible avec la croissance biologique, mais qui aurait forcé les Stromatopores à une croissance verticale pour éviter la submersion.

La décantation de certaines micrites semble donc prouvée.

e). Stromatopores lamellaires retournés (Photo 53 )

Parmi les Stromatopores lamellaires d'épaisseur centimétrique, 30 % se présentent avec leurs mamelons et/ou leurs astrorhizes pointant vers le bas (Photo 53).

Cette curiosité, signalée, comme aberante, par M. Lecompte, est interprétée comme l'indication de colonies en position de vie ou retournées. En effet, les structures concentriques des mamelons sont un signe indéniable de croissance. Ceci s'observe de façon plus nette sur les formes en boule (photo 41 et 43). Il ne semble pas possible que de tels organismes puissent croître sur la face sur laquelle ils s'appuient.

La structure concentrique des mamelons, observable en section tangentielle, est généralement interprétée comme l'indice d'une croissance qui ne pouvait se développer que vers l'extérieur c'est-à-dire vers le haut pour des colonies benthiques. Les mamelons et les astrorhizes des Stromatopores constituent en eux-mêmes des critères de polarité<sup>13</sup> des colonies, car il est communément admis que ceux-ci, de leur vivant, étaient dirigés vers le haut . Les mamelons et astrorhizes tournés vers le bas sont donc révélateurs de **colonies retournées** et tuées par ce fait même.

Mamelons et astrorhizes tournés vers le haut ne sont donc pas garants de fossiles restés en position de vie car un organisme peut avoir été retourné plusieurs fois après sa mort et être retombé dans un position que nous désignerons par la suite de normale avant sa fossilisation .

Plusieurs causes écologiques sont possibles pour expliquer de tels retournements et feraient intervenir des fousseurs, des prédateurs, une agitation intense, ou l'effondrement de formes dressées.

La présence de boues bioclastiques, discutée précédemment, peut sembler incompatible avec l'agitation intense évoquée ci-dessus, car les boues exigent un calme quasi absolu pour se déposer, sauf s'il s'agit de boues remaniées et déposées en fin de période d'agitation (tempêtes) ou à l'abris

---

<sup>13</sup> La polarité désigne l'orientation originelle d'un corps géologique par rapport à la gravité.

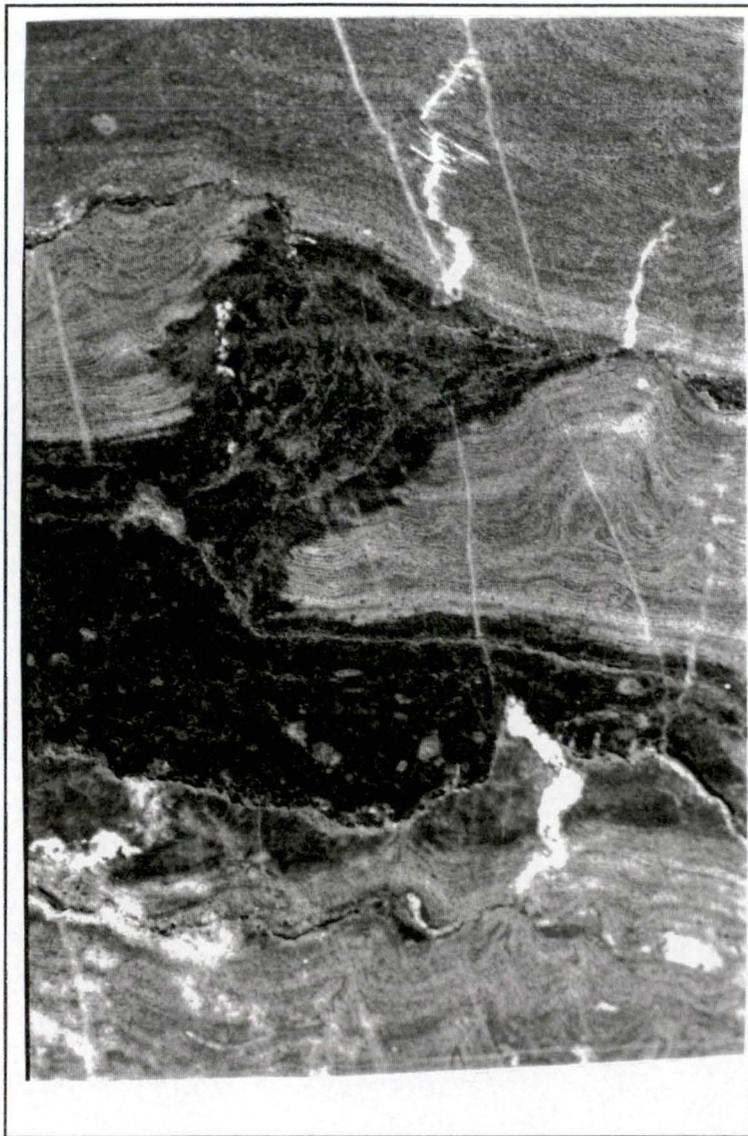


Photo 55: Détail d'une fracture dans un Stromatopore, paroi CD

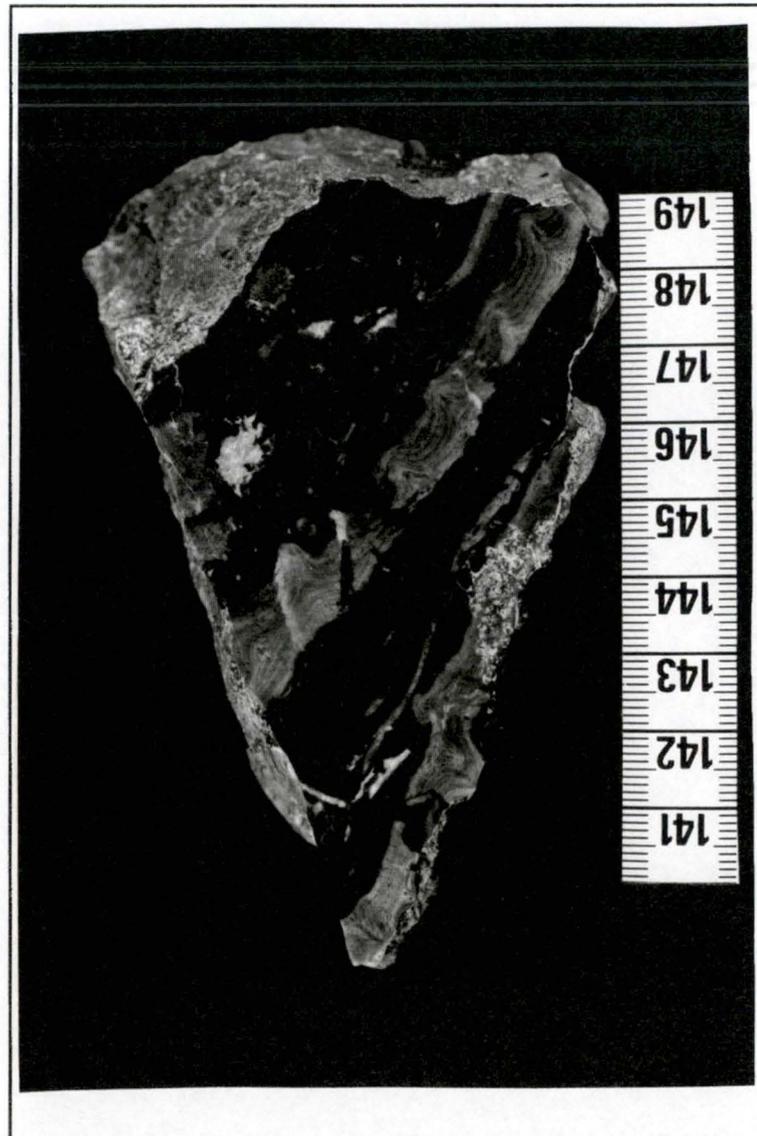


Photo 56: Stromatopore présentant une cassure avec du sédiment et de la calcite, à noter la base claire et où la réticulation corrodée semble mieux visible

d'organismes filtreurs (Bafflestone<sup>14</sup>). La présence de Grainstones et de menus débris d'organismes, dispersés mais reconnaissables, suggère, dans ce cas, l'occurrence de périodes temporaires de plus forte agitation.

f). Stromatopores lamellaires fracturés

Un grand nombre de Stromatopores lamellaires d'envergure dépassant les 20 cm se présente avec des ondulations, parfois serrées, qui pourraient faire penser que leur squelette pouvait avoir été souple, voire articulé, comme c'est le cas chez la plupart des spongiaires à spicules (photo 54 et 7).

Plusieurs de ces individus se présentent sous forme de fragments, parfois presque jointifs (photo 55), mais séparés, soit par du sédiment, soit par de la sparite de remplissage de vide ou les deux à la fois (photo 56).

Le remplissage boueux indique une fracturation précoce, intervenue quand le sédiment environnant était encore fluide. La calcite, au contraire, révèle des fractures plus tardives. Deux cas sont alors possibles :

- la veinule de calcite traverse indifféremment Stromatopore et sédiment encaissant, ceci indique une fracture tardive après induration du sédiment.
- la veinule de calcite se limite à l'épaisseur du seul Stromatopore, ceci démontre que le sédiment est encore souple mais a perdu sa fluidité primitive au moment de la fracture.

De nombreux tronçons de Stromatopores sont dispersés dans les "Mudstones" ou "Wakestones" entre des individus entiers.

Cette observation démontre que certains Stromatopores ont été fragmentés, emportés et dispersés comme de simples matériaux sédimentaires au cours de périodes d'agitation exceptionnellement forte de l'eau. Leur taille parfois respectable, prouve qu'ils avaient pu se développer normalement avant la tempête exceptionnelle qui les a déracinés et fragmentés.

---

<sup>14</sup>voir définition en Annexe 1

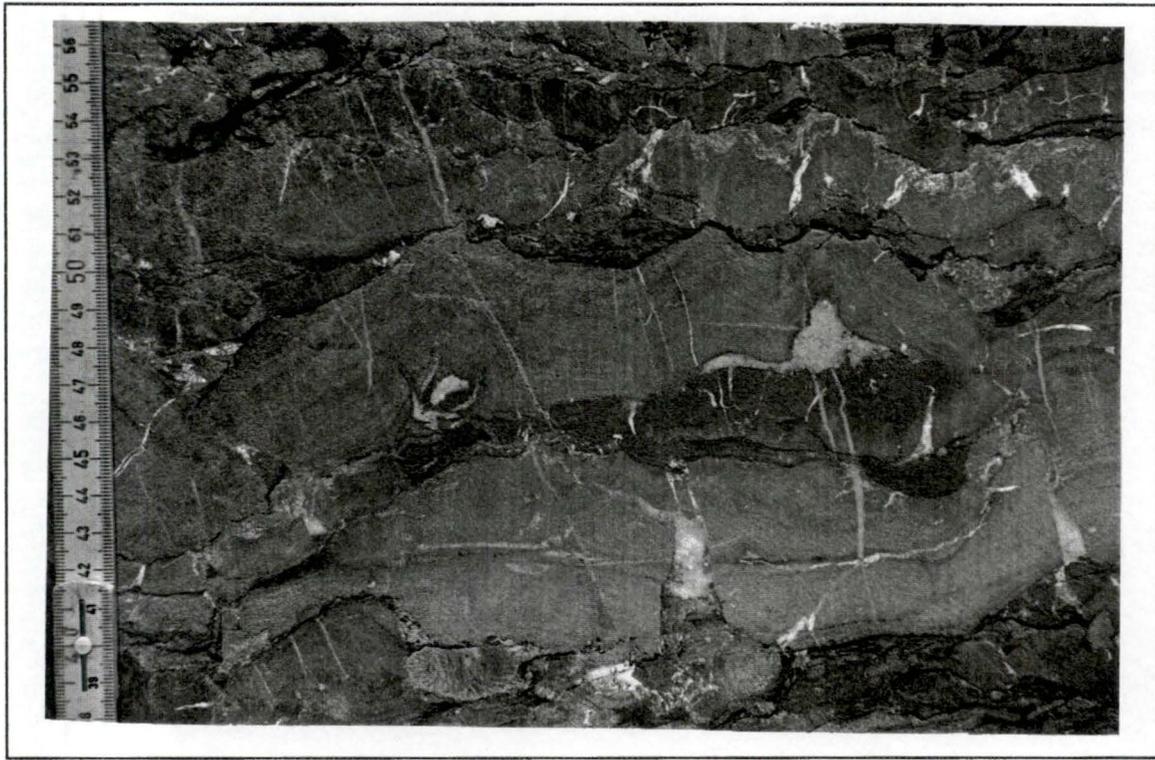


Photo 57: Structure géotrope et fenestrae avec base plane indiquant le bas et le haut

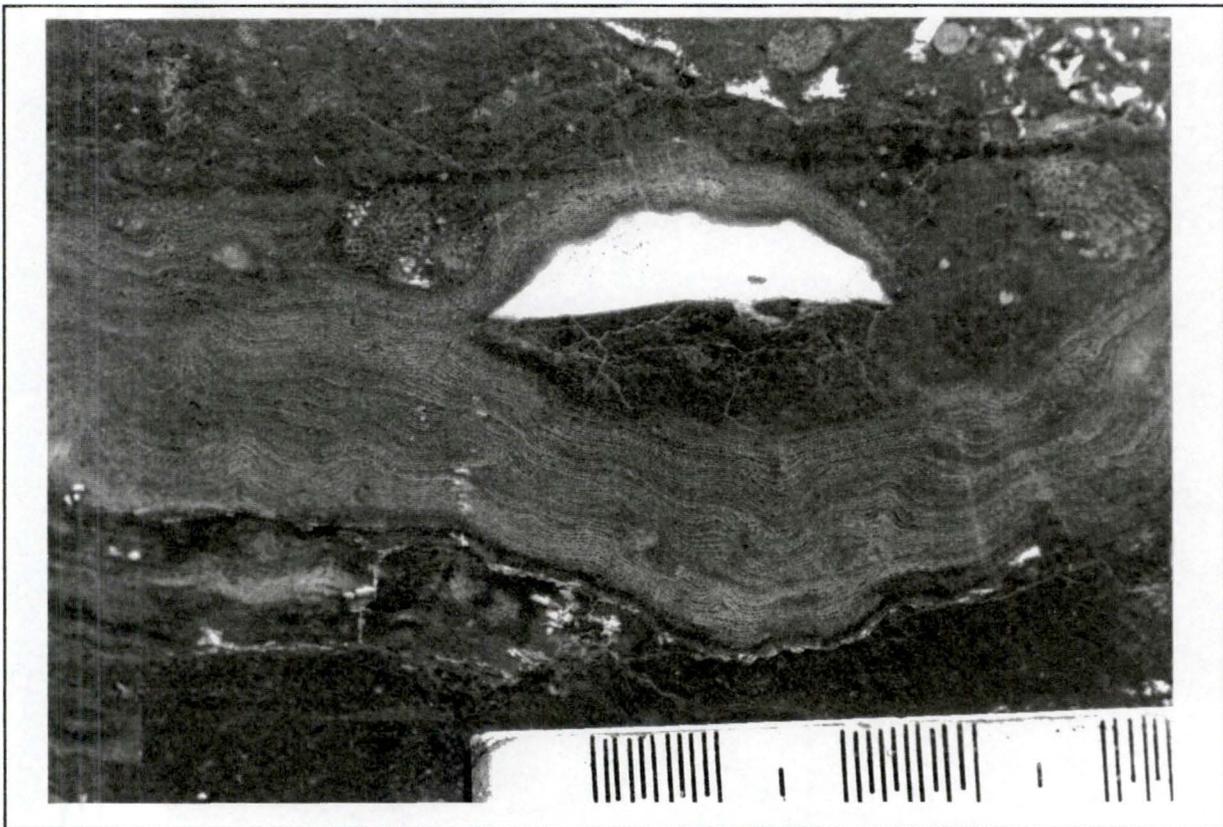


Photo 58: Stromatopore englobant une structure géotrope

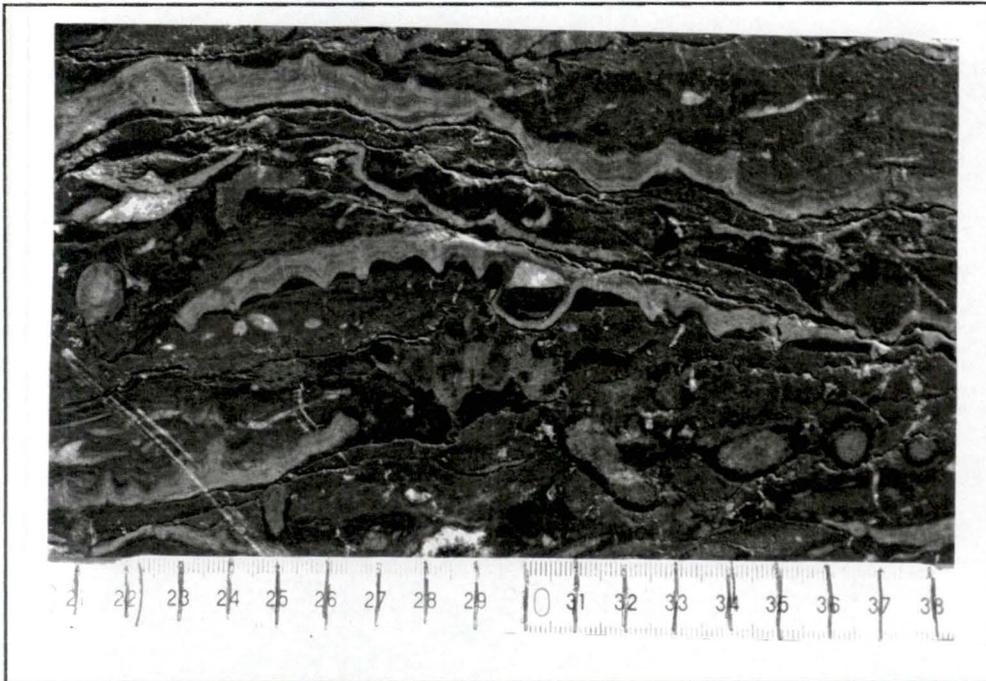


Photo 59: Géotrope dans un Stromatopore retourné



Photo 60: Géotrope en lame mince, probablement un Ostracode

#### g). Stromatopores à inclusions de sédiment

Certains Stromatopores, partiellement recouverts par des masses trop épaisses de boues, ont continué leur développement en englobant des "poches" de sédiment.

Ces inclusions étroitement localisées et parfois épaisses d'1 ou 2 cm indique que cette sédimentation boueuse ne peut provenir d'un saupoudrage lent et continu en milieu très calme mais que la sédimentation d'une partie des boues s'est produite par essaimage sporadique de paquets de boues remaniées.

#### h). Les structures géotropes (photos 57-60)

Les "Wakestone" et "Mudstone" qui englobent les Stromatopores contiennent fréquemment des cavités partiellement remplies, vers le haut stratigraphique, par de la calcite claire et par un sédiment de type microsparitique à la base. La séparation entre les deux remplissages apparaît assez régulièrement plane.

Ces cavités sont d'origine et de formes diverses: coquilles à valves jointives, crevasses ondulantes plus ou moins perpendiculaires à la stratification ou encore cavités aux formes irrégulières qui proviendraient de bulles de gaz, de petits terriers ou de vides laissés par la putréfaction des matières organiques rapidement ensevelies etc.

Une structure géotrope (le terme "géopétal" toujours en usage, est un anglicisme) désigne toute structure sédimentaire qui permet de déterminer la polarité du dépôt, c'est-à-dire le haut et le bas correspondant au moment de la sédimentation. Le sédiment interne s'est accumulé au bas de la cavité et le volume restant, d'abord occupé par de l'eau ou par des gaz, s'est progressivement et plus tardivement rempli par des précipités chimiques en relation directe avec la roche encaissante, soit généralement de la calcite ou de la silice figeant définitivement la structure.

On appelle "bird eye" (Photo 57), Bathurst (1970), ou "fenestrae", des structures géotropes à développement horizontal prédominant, souvent alignées dans des sédiments calcareux ou dolomitiques à grain fin. Leur abondance semble caractéristique des milieux de sédimentation sous faible épaisseur d'eau.

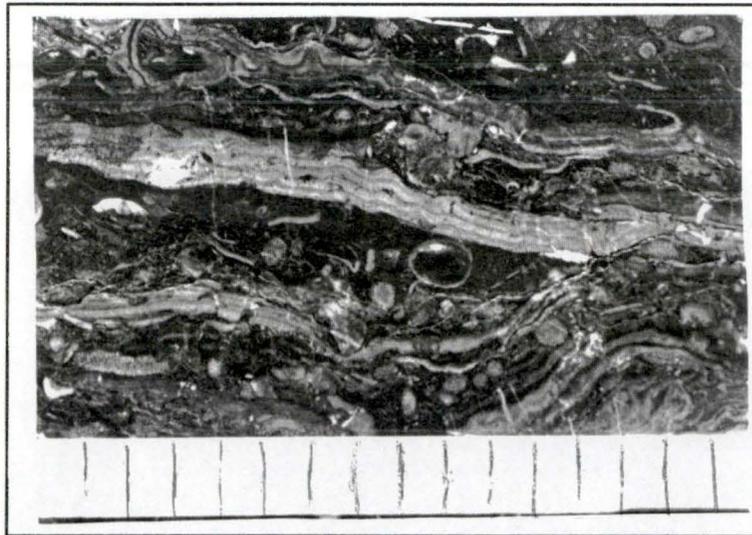


Photo 61: Géotropes et tassement différentiel, paroi CD

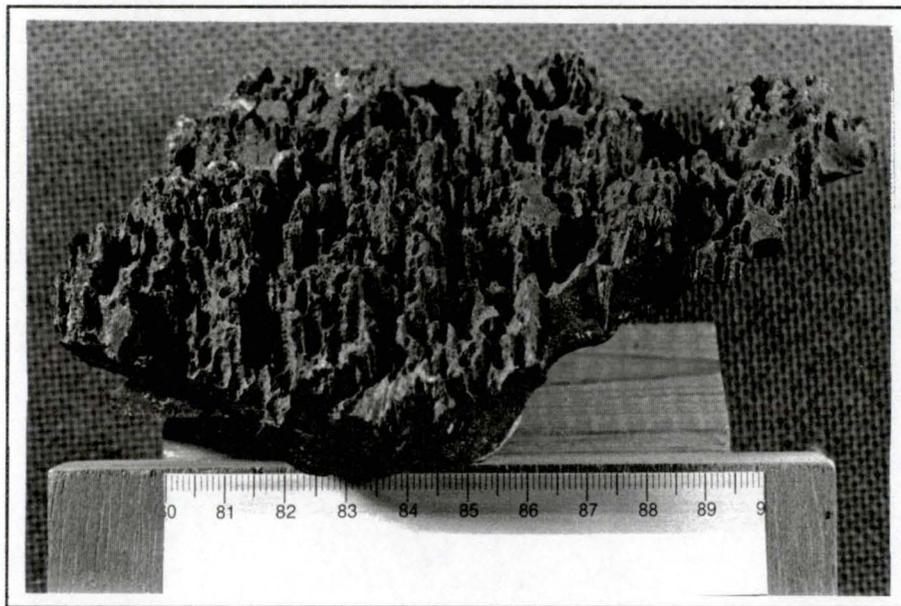


Photo 62: Stylolithe en perspective, échantillon de démonstration ne provenant pas de Tailfer

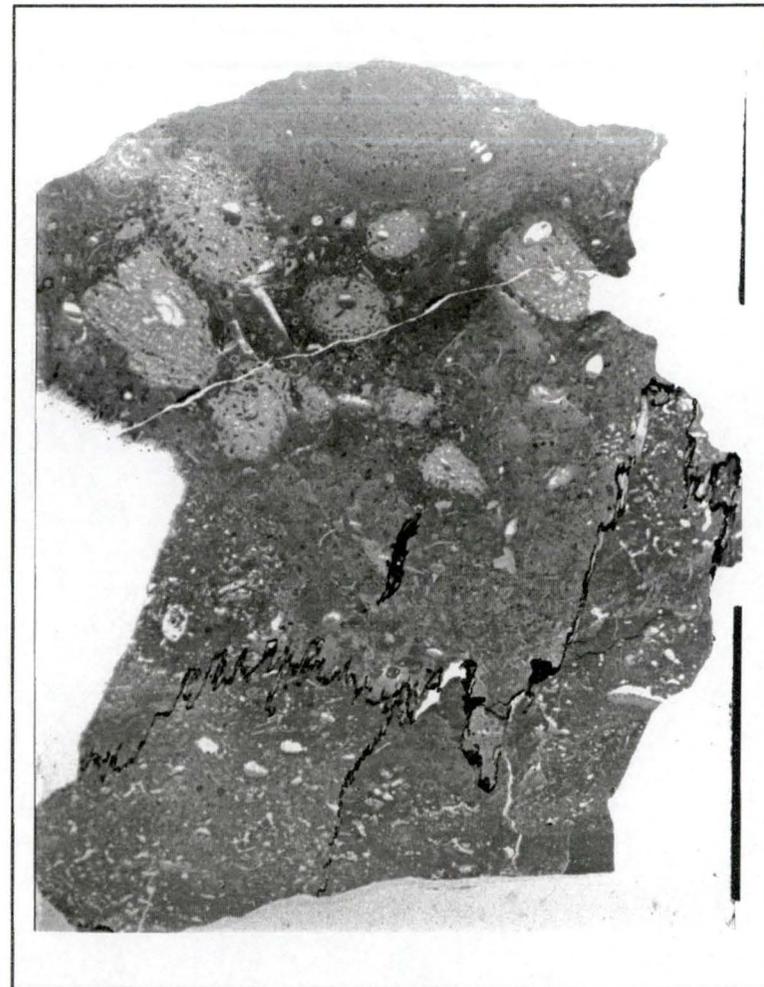


Photo 63: Stylolithe en lame mince (banc 57 en KL), à noter en haut, coupe transversale dans des Stromatopores branchus, probablement *Stachyodes* ou *Amphipora*

Les orientations déduites des structures géotropes observées dans le biostrome sont conformes à la stratigraphie locale.

i). Structures géotropes et tassement différentiel

Dans la coupe CD, sur quelques cm de distance, on peut observer des structures géotropes voisines, qui ne sont pas rigoureusement parallèles entre elles (photo 61).

Ces variations d'inclinaison indiqueraient que les dépôts se déformaient encore, par tassement différentiel probablement, après qu'une première induration ait figé les sédiments internes.

j). Structures géotropes et Stromatopores (Photo 58)

La fréquence des cavités remplies de sparite (calcite claire de remplissage de vide) dont le plafond est constitué par des Stromatopores, incite à croire que la micrite dans ce contexte biostromal est bien un sédiment d'eau calme au sens de Folk (1958) et non pas un précipité dans les vides intergranulaires de type "High magnesian calcite" comme le suggère Friedman (1978)<sup>15</sup>. Pourquoi, en effet, la cimentation aurait-elle donné un précipité de "High magnesian calcite" préservant des endroits pour de la sparite.

k). Stromatopores à mamelons tronqués (Photo 51)

Les mamelons de certains Stromatopores sont visiblement tronqués.

Deux interprétations sont possibles, l'une biologique, ce seraient des traces de prédation, l'autre mécanique, ce seraient des indices d'impacts dus aux apports massifs de sédiments contenant des corps durs, tels que d'autres Stromatopores:

---

<sup>15</sup> voir critique de Friedman en Annexe 3

## l). Les joints stylolithiques ou stylolithes

L'examen de la tranche des bancs de la carrière, révèle la fréquence de ces structures linéaires, minces, noires et ondulantes présentant parfois des angles vifs. Ce sont des structures tridimensionnelles en dents de scie, acérées ou arrondies qui se présentent comme de petites colonnettes parallèles, de hauteurs variables s'interpénétrant au sein de roches calcaires ou marno-calcaires en dessinant des joints irréguliers, généralement soulignés par une surface noirâtre ou brunâtre (produit charbonneux ou argileux).

Ces figures, que l'érosion peut mettre en évidence, correspondent à des surfaces de dissolution sélective sous pression, et permettent notamment de déterminer la direction de la compression qui leur a donné naissance et qui est parallèle à l'allongement des colonnettes. (Photos 62 et 63).

Ces dissolutions ont donc fait disparaître un certain volume de roche: fossile ou sédiment .

Les épaisseurs actuelles des bancs sont donc inférieures aux épaisseurs effectivement sédimentées puisque la compaction a affecté ces calcaires en expulsant l'eau excédentaire d'abord, en dissolvant un certain volume de roche ensuite. L'épaisseur du résidu insoluble est donc proportionnelle à l'épaisseur dissoute, pour autant que l'on connaisse la teneur en insoluble du calcaire qui a été dissout.

Il faut remarquer que les stylolithes sont fréquents et affectent indifféremment, roches et fossiles.

### 6.3.3. La sous-unité inférieure ( $\pm 1,5$ m) du banc 59 (photos 36,37 et 48)

#### a). Caractères généraux

Ce niveau qui surmonte le conglomérat de base se différencie essentiellement de la sous unité suivante par son apparence un peu plus sombre sur les faces sciées de la carrière. L'examen détaillé des parois a parfois révèle la présence de quelques minces niveaux de "Wakestone" plus sombres et l'étude des quadrats n'a pas fait apparaître de différence significative dans la répartition ou les teneurs en fossiles de types divers.

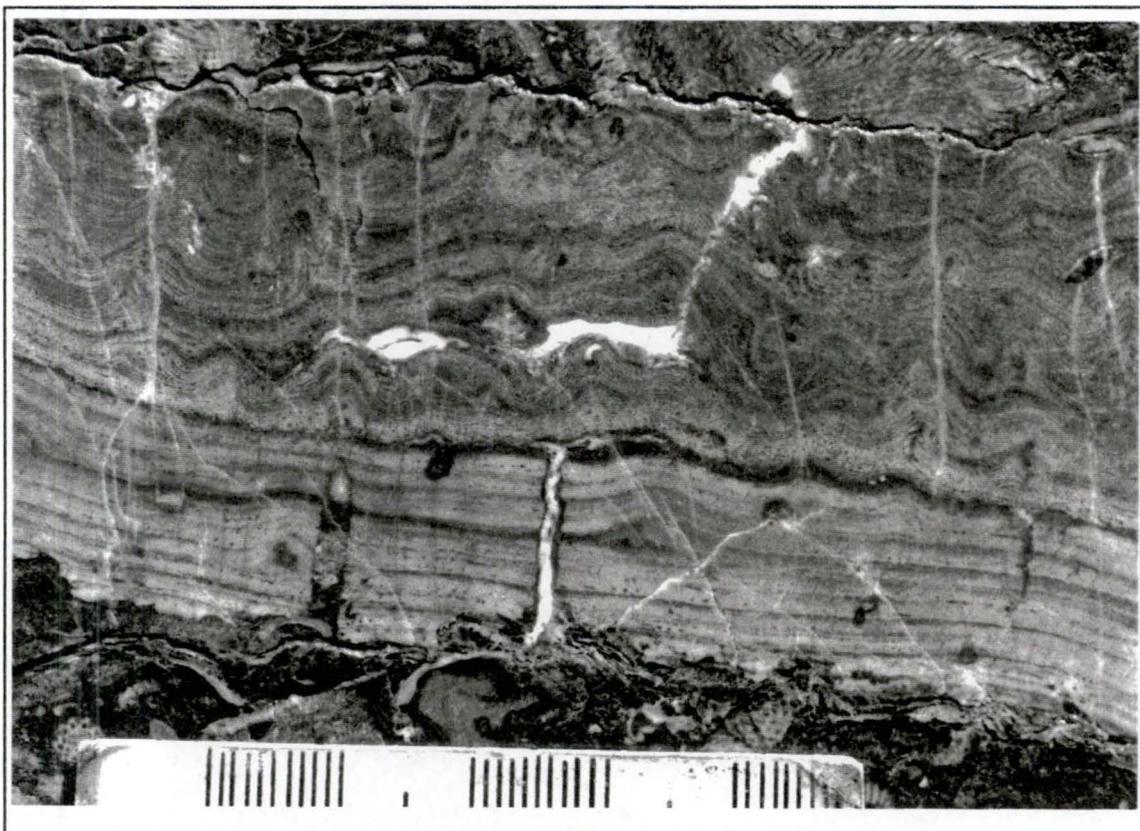


Photo 64: Stromatopore affecté de perforations, paroi CD

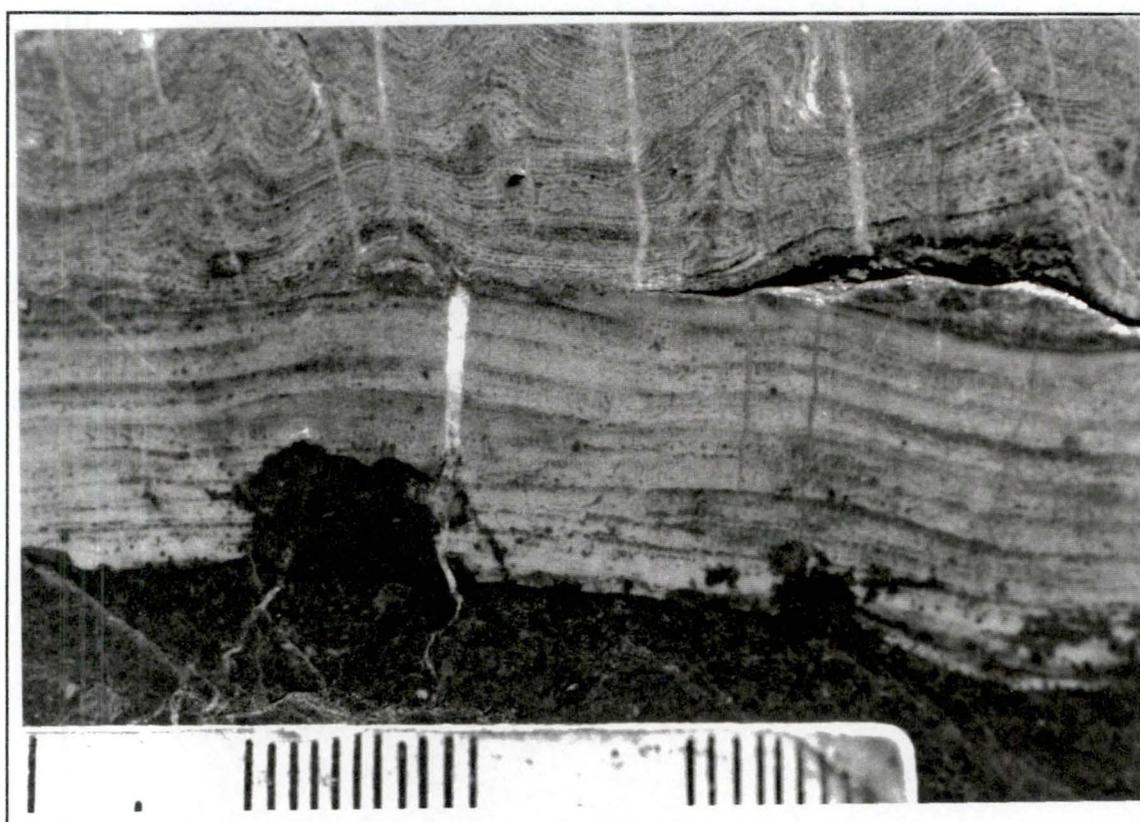
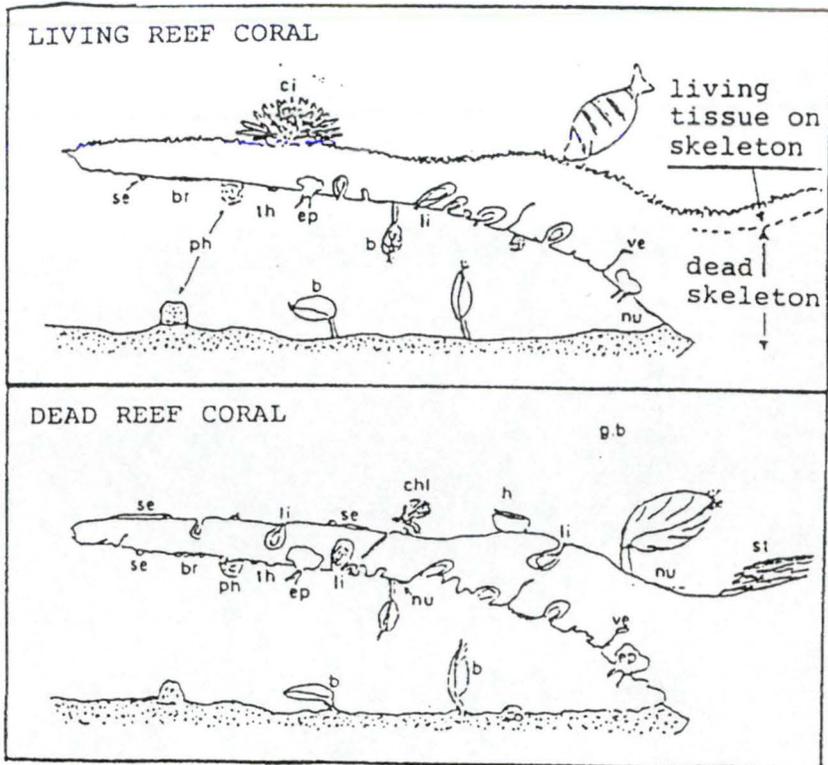


Photo 65: Stromatopore perforé, paroi CD



Organisms associated with platy Bajocian reef corals

- |                   |                       |                        |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| se = serpula      | ep = boring sponge    | nu = nubecularian      |
| br = bryozoan     | b = small brachiopod  | ci = cidarid           |
| ph = pharetronid  | li = lithophagan      | chl = <i>Chlamys</i>   |
| th = thecidean    | ve = vermiform boring | lgb = large brachiopod |
| st = stromatolite |                       |                        |

Modified from LATHUILIERE (1982)



Photo 66: Stromatopore perforé de grande envergure, paroi CD

Figure 30: D'après Geister J., 1991, p 14, fig 26

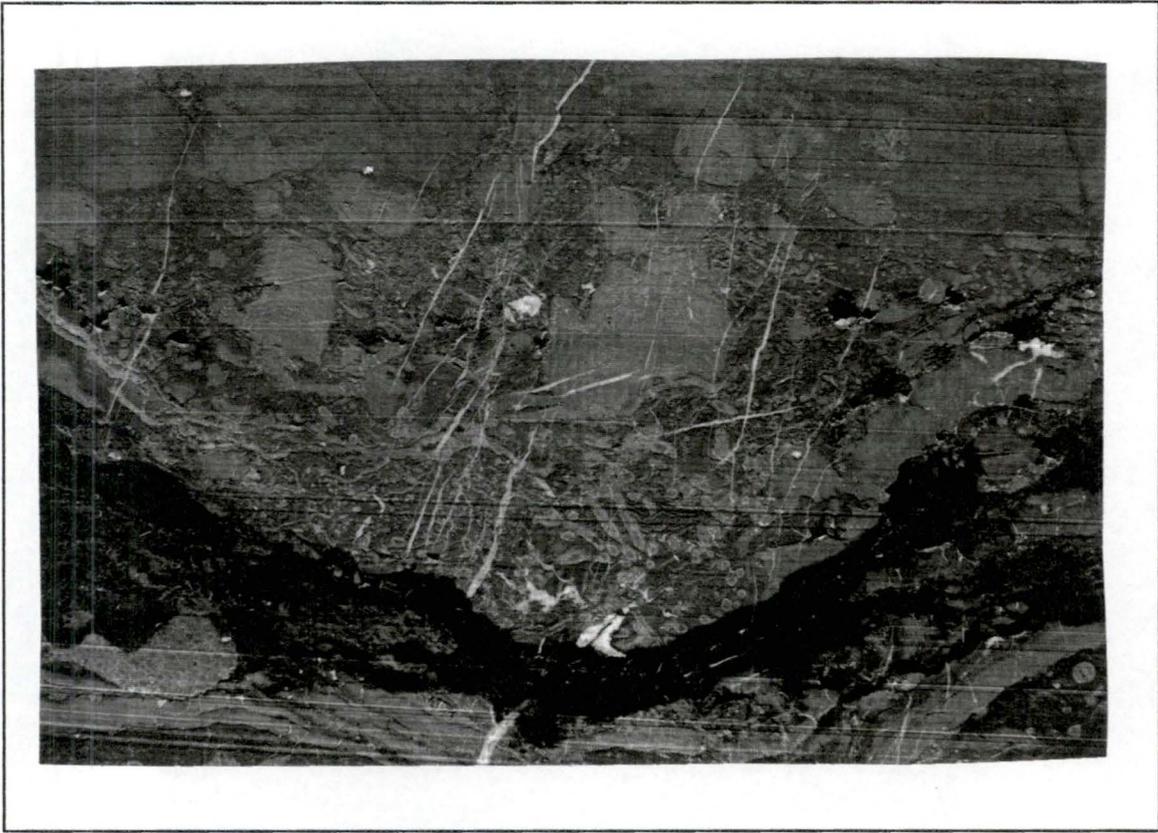


Photo 67: Base du banc 60 , paroi KJ

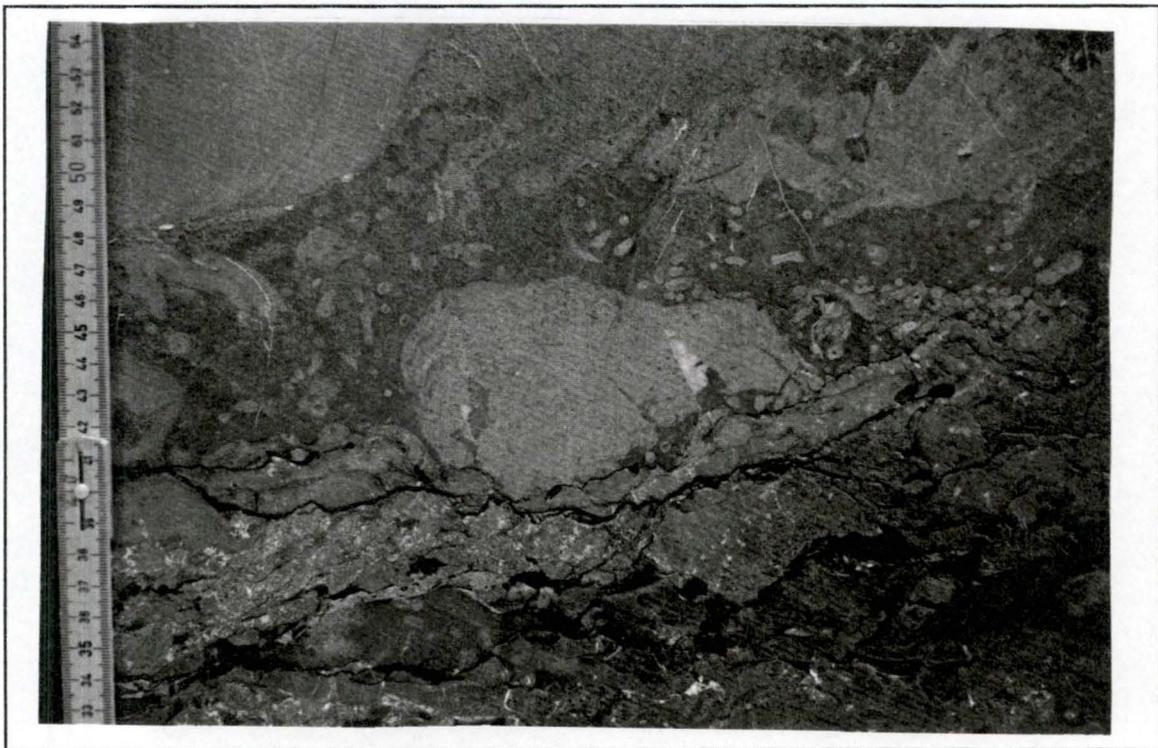


Photo 68: Base du banc 60, paroi MN

On notera cependant que, dans les 2 coupes étudiées, MN et CD, on a observé plus de Stromatopores à mamelons développés dans ce niveau que dans ceux qui suivent.

b) Stromatopores affectés par des perforants (photo 64 et 65 et figure 30)

Les coupes CD, MN et P ont permis d'observer quelques rares Stromatopores de grande envergure qui présentaient des perforations dans leur squelette. Les limites de ces perforations sont parfois nettes et ressemblent à celle que peuvent produire des lithophages, d'autres font penser à des figures de corrosion à contours dentelé ou flou (Photo 66) .

Ces perforations se situent toutes à la base de "colonies" en position normale.

On sait que des organismes sciaphiles peuvent se développer sous les surplombs que créent certaines colonies coralliennes profitant ainsi d'un support surélevé, bien drainé et à l'abri de la lumière trop vive. Quelques publications récentes ont permis de reconnaître de telles formes dans des récifs du secondaire.

Un tel modèle appliqué aux Stromatopores lamellaires dévoniens bousculerait toutes les hypothèses actuellement admises qui préconisent que les formes lamellaires correspondent à des formes sessiles. Il s'agirait d'une adaptation qui permet à ces organismes de s'étaler sur des sédiments meubles sans risque de s'y enfoncer.

Certains Stromatopores lamellaires pourraient-ils s'être développés en hauteur, décollés du fond marin?

La rareté de cette occurrence suggère que tel n'était pas le cas. Il conviendrait cependant de procéder à des déterminations précises pour prouver que ces occurrences ne sont liées à un espèce bien déterminée. Dans cette hypothèse, on pourrait admettre que la création de niche écologique serait liée plutôt à des affouillements locaux, sous des Stromatopores vivants ou morts qui auraient profité de ce toit offert pour s'installer et creuser leur trou...

Il convient aussi de signaler que dans ces mêmes niveaux, on a cru reconnaître, à la base de certains Stromatopores, des tubulations irrégulières, attribuées d'abord à des *Auloporidae*. Une lame mince (photo 20) a permis par la suite d'identifier un *Tecostegites* dans des échantillons d'origine imprécise présentant des structures analogues.

#### 6.3.4. La sous-unité moyenne ( $\pm 3,5$ m) du banc 59 (Photo 36 et 37)

Cet ensemble, apparemment plus homogène dans sa partie inférieure (1,5 m), apparaît plus claire par altération et contient moins de niveaux argileux altérables que ce qui l'encadre.

Elle se différencie de ce qui précède par une apparente domination des Stromatopores lamellaires, réputés en position de vie (M. Lecompte 1959 & 1965). L'aspect rubané du reste du banc 59 tient à l'alignement quasi parallèle des Stromatopores lamellaires qui ont des dimensions moyennes de 1 à quelques cm d'épaisseur et des envergures dépassant fréquemment les 80 cm. Quelques uns,, alignés par niveaux, dépassent les 5 à 10 cm d'épaisseur et les 150 cm. Il faut aussi signaler l'abondance parfois localisée de "ministromatopores" de quelques mm d'épaisseur et de 5 à 7 cm de longueur. On constate aussi une diminution nette de la teneur et de la taille des *Hexagonaria* qui, pratiquement, sont tous fragmentés. On observe aussi des niveaux plus riches en débris d'*Alvéolites* branchus et quelques sections de coraux solitaires ou dendroïdes.

La subdivision en sous-zones d'homogénéité différente, repérable sur les parois sciées, n'apparaît pas clairement dans l'étude détaillée des quadrats, pas plus que dans les analyses statistiques réalisées. Elle pourrait dépendre de la fréquence et surtout de l'épaisseur relative des laminations de "Mudstone" et "Wakestone" qui séparent les Stromatopores.

#### 6.3.5. La sous-unité supérieure (0,4 à 0,8 m) du banc 59 (Photo 36 et 37)

1 m environ sous le joint supérieur du banc 59, un niveau très continu et plus riche en micrite contient quelques rugueux solitaires (*Tabulophyllum*) (photo 10) de 2 à 3 cm de diamètre, atteignant parfois 30 cm de longueur; il marque le début de la zone sombre supérieur du banc 59.

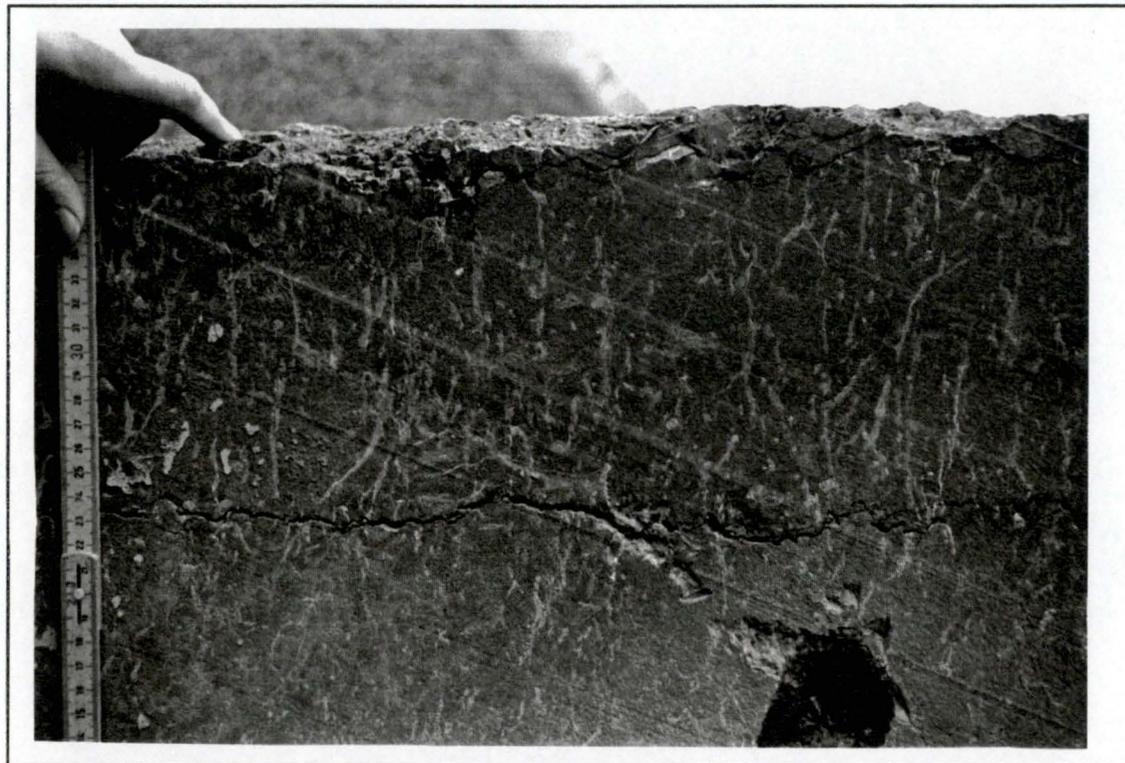


Photo 69: Sommet du banc 60, paroi MN, montrant un grand stylolithe, quelques *Alveolites branchus* et des "fluid escape"

La présence de rugueux solitaires peut s'interpréter comme le résultat, soit d'un apport venu d'ailleurs (individus suballochtones ou allochtones suivant la distance), soit de l'installation sur place de conditions écologiques favorables à leur développement .

On note cependant que les Stromatopores continuent à se développer au dessus du niveau à *Tabulophyllum*. La couleur plus sombre du sédiment révèle un changement de conditions difficile à interpréter car dans l'ensemble, on retrouve les mêmes caractéristiques que précédemment.

L'extrême sommet du banc 59 présente de ci de là quelques colonies remarquables de Stromatopores lamellaires atteignant 15 à 30 cm d'épaisseur et 50 à 250 cm d'envergure (Photo 34 et 34 au point J).

Faut-il voir dans leur présence le témoignage de l'installation de conditions nettement plus défavorables où seuls survivraient quelques individus plus robustes ?

La coloration plus foncée du sédiment et la présence du joint argileux qui les recouvrent constituent des arguments en faveur de cette interprétation.

#### **6.4. Banc 60**

Le banc 60, de couleur gris moyen, varie de 82 cm à 120 cm d'épaisseur. Il est directement accessible dans les parois JL et MN et observable à distance sur les parois FG et IK ( Figure 29).

Au-dessus du joint ravinant formant sa limite inférieure et sur une dizaine de cm d'épaisseur, se rencontrent quelques rares Stromatopores lamellaires (Photo 67 et 68) , quelques Stromatopores en boules dispersés et quelques fragments épars d'*Hexagonaria* et des *Alvéolites* branchus. Plus haut, les organismes deviennent peu nombreux et sont surtout représentés par quelques Stromatopores en boules dispersés et basculés (Photo 67 et 68)

Dans les 40 cm supérieurs (paroi MN) se rencontrent deux stylolithes d'une hauteur de 2 mm (Photo 69).

Les 20 cm de la partie supérieure contiennent quelques très rares débris d'*Alveolites* dispersés dans un calcaire très fin ( Photo 69).

La caractéristique frappante de ce sommet de banc est l'abondance des fissures subparallèles de 10 à 20 cm de long, étirées perpendiculairement à la stratification et dont le calibre ténu au départ s'élargit jusqu'à quelques mm au sommet du banc. Ces structures sédimentaires sont attribuées à des figures d'échappement de fluides ("fluid escape") particulièrement communes dans les sédiments plutôt meubles et dans des environnements à sédimentation rapide. Leur formation est le résultat du tassement sous leur propre poids des sédiments fins gorgés d'eau et /ou de matières organiques en putréfaction. L'expulsion progressive des eaux et des gaz excédentaires s'est faite progressivement vers le haut, durant la déposition, l'assèchement et la diagenèse précoce, en creusant littéralement de canaux de drainage préférentiels qui, par la suite se sont remplis de sparite de remplissage de vide, parfois partiellement dolomitisée. Le concept de fluidisation a été appliqué au transport de sédiments et à la formation de fluid escape (Lowe 1982). (Photo 69)

## **7. Conclusion: le biostrome à Stromatopores lamellaires de Tailfer**

Le contexte paléogéographique de la région de Tailfer nous ramène au Dévonien supérieur (-377 Ma) sur une plate-forme carbonatée comprise entre un continent nordique, éloigné et désertique (Old Red Sandstone), et une mer plus profonde vers le Sud. Cette région se situait dans le voisinage du Tropique du Capricorne.

Après une première reconnaissance générale, la découverte d'un niveau d'émersion au sommet du banc 57 nous a permis de situer la fin d'une séquence sédimentaire. L'ensemble des bancs 58-59-60 comporte deux niveaux d'érosion remarquables, ravinant respectivement le sommet des bancs 58 et 59. En l'absence d'autres critères, nous considérons ces deux événements spectaculaires comme intervenant au cours d'une séquence.

Le banc 58, après une émersion de durée inconnue, commence donc par une sédimentation très fine, qui a peut-être été caractérisée par des dépôts évaporitiques, dont les Pseudomorphoses seraient les témoins.

À la suite de M. Lecompte, cette sédimentation fine, d'un mètre d'épaisseur au maximum, est unanimement considérée comme représentant une sédimentation lagunaire, qui serait séparée du large par une barrière récifale, localisée probablement à la latitude de Philippeville.

Un ravinement spectaculaire de plus de 50 cm de hauteur tronque le sommet de la série lagunaire, que le banc 59 recouvre d'un "conglomérat" à *Hexagonaria* avec quelques autres fossiles inclus dans une matrice calcargileuse riche en matières organiques. Cet accident pourrait correspondre à l'effet d'un ou de plusieurs typhons ravageurs, qui auraient rompu la barrière récifale protectrice. Les *Hexagonaria* du conglomérat de base proviendraient, soit de la barrière récifale, soit de son environnement immédiat.

L'ensemble du banc 59 représente un biostrome largement dominé par des Stromatopores lamellaires, dépassant fréquemment les 50 cm d'envergure. On retrouve, avec des abondances variables, des Tabulés, quelques Rugueux solitaires, des débris d'*Hexagonaria* et des petits articles dispersés de Crinoïdes, le tout noyé dans une masse de mudstone et de wakestone, atteignant souvent 50 % du volume de la roche.

Contrairement à ce qui a été publié jusqu'ici, à savoir que les Stromatopores sont en position de vie, nous avons constaté qu'un tiers des Stromatopores se trouve en position renversée, ce qui implique que le milieu devait temporairement subir des agitations très fortes, ou que les Stromatopores ont été apportés au cours de périodes de forte agitation. La présence de micrite signifie que les périodes d'agitation sont probablement brèves et sporadiques, puisque les Stromatopores ont la possibilité d'atteindre des tailles aussi importantes, parfois 1,50 m à 2,50 m d'envergure. Un tel développement ne peut se concevoir qu'en l'absence de sédimentation fine. Certains Stromatopores englobent au cours de leur croissance des boues, parfois épaisses de quelques cm. Cet apport de boue a donc dû se produire quasi instantanément et par paquets, car une décantation normale eût étouffé les colonies, or ces dernières ont poursuivi leur croissance. Cette constatation apporte un argument décisif en faveur de l'interprétation d'un sédiment boueux remanié correspondant à la micrite définie par Folk (1959). Il ne peut donc s'agir d'un précipité de remplissage de vide en milieu agité telle la "High Magnesian Calcite" décrite par Friedman (1978).

Le développement de quelques Stromatopores géants et dispersés pourrait indiquer le confinement du lagon, consécutif à la reconstitution de la barrière récifale périphérique. Quelques cas exceptionnels de Stromatopores brisés, dont les fractures sont remplies de sédiment, permettent d'exclure l'hypothèse que leur squelette, de leur vivant ou au moment de leur mort, constituait une structure souple.

L'occurrence exceptionnelle de perforations a permis de remarquer qu'elles se font de bas en haut et uniquement dans des stromatopores non retournés. Cette rareté s'explique peut-être par le fait que la niche écologique propre aux sciaphiles ne se présentait qu'exceptionnellement. En effet, les Stromatopores lamellaires sont fréquemment interprétés comme des formes sessiles développées sur un fond meuble. Deux cas seulement d'encroûtement sur un matériau cohérent (*Hexagonaria*) ont été observés. Lors des tempêtes, des affouillements pouvaient ainsi mettre certaines parties des Stromatopores lamellaires en surplomb et créer les conditions favorables au développement des sciaphiles.

Il est remarquable que les laminations de "mudstone" et de "wakestone" n'ont révélé aucune trace de terriers, ce qui tient partiellement à leur caractère anoxyque, mais plus probablement à leur mise en place de façon massive à la fin des tempêtes.

Le ravinement supérieur du banc 59 est dû à une forte tempête suivie par une sédimentation de boues très fines, incluant exceptionnellement quelques Stromatopores lamellaires, provenant peut-être du remaniement du banc 59 sous-jacent. Dans la suite, quelques Stromatopores en boule, très sporadiquement dispersés et basculés en tous sens, pourraient aussi avoir été apportés avec une masse de micrite provenant de l'arrière de la barrière récifale.

Les matières organiques piégées dans la masse de micrite remaniée seraient responsables des structures d'échappement de fluides qui caractérisent les vingt centimètres supérieurs du banc 60. Ces structures indiquent un arrêt de sédimentation, qui termine ainsi la séquence du biostrome de Tailfer, objet de notre étude.

# Lexique

## Référence :

DICTIONNAIRE DE GÉOLOGIE

A. Foucault, J. F. Raoult

MASSON 1980

abyssal	Du grec abussos, sans fond. Relatif aux milieux marins situés approximativement entre 300 et 700 m de profondeur.
abyssales (plaines)	Vastes zones océaniques à surface horizontale, situées à une profondeur de 4000 à 5000 m.
Actualisme	Uniformitarisme: Théorie postulant que les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé (principe dit des causes actuelles et des causes anciennes. Cette théorie, soutenue notamment par J. Hutton (1726-1797) et Ch. Lyell (1797-1875) s'est opposée au castrastrophisme dont un champion a été G. Cuvier (1769-1832) et selon lequel les êtres vivants du passé auraient été, à certaines époques, tués par des cataclysmes, et que d'autres êtres vivants leur auraient succédé par l'office de créations successives. L'actualisme a aujourd'hui triomphé bien que dans de nombreux domaines, il reste à démontrer.
affleurement	Partie d'un terrain visible à la surface de la Terre. Sur les cartes géologiques, les affleurements sont généralement limités par des traits fins qui sont les contours géologiques. A noter que pour ces cartes on emploie souvent et abusivement le mot affleurement pour désigner des terrains qui sont en réalité cachés par quelques décimètres de formations superficielles (sol, alluvions). Pour une couche d'épaisseur donnée, la largeur d'affleurement dépend des relations entre l'altitude de cette couche et la pente topographique. V. aussi pendage. La largeur d'affleurement d'une couche verticale est égale à l'épaisseur de celle-ci, mais lorsque la largeur d'affleurement d'une couche est égale à son épaisseur, cette couche n'est pas forcément verticale.
âge absolu	Temps qui s'est écoulé depuis un événement donné. En géologie, l'unité de temps la plus habituelle est le million d'années. Pour tenter de fixer un âge absolu on fait appel à des phénomènes qui sont fonction exclusivement du temps et dont on espère qu'ils n'ont pas sensiblement varié dans le passé. C'est notamment le cas de la radioactivité. V. radiochronologie.
âge relatif	Datation d'un événement par rapport à un autre, plus ancien, contemporain, ou plus récent. C'est le cas de toutes les méthodes stratigraphiques, paléontologiques, structurales.
agrégat	Dans une roche sédimentaire carbonatée, petite masse plus ou moins lobée, formée par la coalescence de pelote (pellets) ou de grains.
allochtone	- Venu d'ailleurs. - S'applique à une roche sédimentaire, ou à l'origine de celle-ci, lorsque ses composants ont été arrachés à une roche antérieure ou non. - Terrains déplacé d'un substratum à un autre par l'effet d'un processus tectonique.
anticlinal	Pli où les éléments situés à l'intérieur de la courbure étaient, à l'origine, les plus bas. V. aussi antiforme. Ant. synclinal. adj. <b>anticlinal, e, aux; adv. anticlinalement.</b> Remarques - (Le commentaire qui suit est également valable pour le terme synclinal à condition de substituer chaque mot entre crochets à celui qui le précède). Ce terme a eu longtemps d'autres définitions moins générales: - Définition a: pli convexe [concave] vers le haut. C'est le sens que l'on donne aujourd'hui à antiforme [synforme]. - Définition b: pli au coeur duquel on observe les couches les plus anciennes [récentes]. La définition a est en difficulté lorsqu'on passe d'un pli déversé à un pli couché à flancs horizontaux qui n'a alors plus droit au nom d'anticlinal [de synclinal]. Si, ensuite, le pli se renverse, on devrait alors l'appeler synclinal [anticlinal]. Cette définition est donc incapable de rendre compte de la continuité qui existe dans la genèse de ces plis. La définition b s'applique bien lorsqu'il s'agit de couches stratigraphiques affectées par une seule phase de plissement. Mais si l'on a affaire à des terrains métamorphiques ou éruptifs qui se bombent vers le haut [bas] elle est en défaut car leurs âges sont soit inconnus, soit non obligatoirement en rapport avec leurs superpositions de bas en haut. C'est pis si l'on s'adresse à des ensembles ayant été plissés à plusieurs reprises. Rappelons en effet qu'un pli résulte d'un unique épisode de déformation et que des plis successifs peuvent affecter un même matériel et conduire à des structures complexes. C'est ainsi que des bombements vers le haut [bas] peuvent affecter une série renversée au cours d'une phase antérieure, et donc comporter en leur coeur les couches les plus récentes [anciennes] de la série. Il est naturel de les appeler anticlinaux [synclinaux] relativement à cette phase de plissement et il faut donc abandonner la définition b. Le terme d'anticlinal [synclinal] doit donc s'appliquer à un pli correspondant à une phase de plissement définie explicitement: une série plissée en anticlinal dans un premier temps peut être en synclinal dans un second. Dans tous les cas où l'on ne connaît pas la genèse des plis dont on observe seulement la forme, la prudence conseille l'utilisation du terme antiforme [synforme].
antiforme	V. pli.
aphotique	S'utilise pour désigner les milieux marins trop profonds pour que la lumière y pénètre, et où les plantes ne peuvent donc pas subsister.
Archéocyathidés	Animaux proches des éponges calcaires de faciès marins peu profonds parfois récifaux. L'adulte est fixé mais possède une larve planctonique Cambrien inf. et moy.
arénite	Roche sédimentaire détritique meuble ou consolidée dont les éléments ont des dimensions comprises entre 1/16 mm (62,5 µm) et 2 mm. Pour certains auteurs, ce terme implique aussi que la proportion de ciment dans la roche soit inférieure à 15 %.
artéfact	Modification d'une structure ou d'un phénomène naturels par l'effet d'un traitement généralement destiné à en faciliter l'observation.
association	En paléontologie, ensemble de fossiles se trouvant dans une couche déterminée; plus l'association est riche, et mieux l'on peut préciser l'âge de la couche, et dans les cas favorables, son milieu de dépôt.
autochtone	- 1. Sens général: formé sur place. - 2. adj.: S'applique à une roche sédimentaire ou à l'origine de celle-ci lorsque ses composants ont été déposés ou élaborés sur place et n'ont pas été arrachés à une autre roche. Ex.: l'origine autochtone des latérites: les calcaires récifaux sont des roches autochtones. - 3. n. m. et adj.: Terrains qui n'ont pas été sensiblement déplacés par des mouvements tectoniques depuis leur formation. Notamment, ils n'ont pas été transportés d'un substratum sur un autre comme le sont p. ex. les nappes de charriage. Ant., dans tous les cas, allochtone. n. f. <b>autochtonie.</b>
autochtone relatif	- Ensemble de terrains dont on se sert comme référence pour caractériser le mouvement relatif d'autres terrains qui, par rapport à eux, sont allochtones. On emploie souvent ce terme pour désigner l'élément le plus bas d'un empilement de nappes de charriage dont on ne sait pas s'il est réellement autochtone ou s'il est lui-même charrié sur un substratum qu'il cache entièrement. V. paraautochtone.
bassin sédimentaire, de sédimentation	Dépression ovale ou circulaire, à fond plat ou concave, et largement évasée, à flancs en pente douce, de dimension très variable (du kilomètre à plusieurs milliers de kilomètres), qui est ou a été un lieu de sédimentation. Un bassin se trouve sur un continent ou à sa bordure. La sédimentation présente une certaine permanence tout en étant variable selon les points. Il s'agit de sédiments marins en général, et peu profonds. Selon les caractères dominants on distingue les bassins à sédimentation détritique (bassin molassique p. ex.), les bassins à sédimentation calcaire, argileuse, évaporitique, ... En France, les exemples types sont ceux du Bassin Parisien et du Bassin Aquitain. V. aussi synclise. On applique aussi le mot à de vastes aires océaniques dont le fond est souvent occupé par des plaines abyssales, avec dans ce cas des sédiments profonds. (V. océan).
bathyal	S'applique aux milieux marins profonds de 200 à 3 000 m environ, c'est-à-dire notamment à une grande partie de la pente continentale.

bathymétrie	Mesure de la profondeur des fonds sous-marins. Autrefois établie grâce à des sondes, elle l'est actuellement par <b>écho-sondage</b> : on enregistre les réflexions sur le fond d'ondes acoustiques émises à partir d'un navire, le temps de l'aller-retour pour une onde donnée permettant de calculer la profondeur. On dresse ainsi des profils, puis des cartes <b>bathymétriques</b> .
benthique	Qualifie un être vivant fixé ou non qui vit sur les fonds aquatiques. L'ensemble de ces êtres forme le benthos.
biocénose	Ensemble des organismes vivant dans un même lieu appelé biotope. Par extension ensemble des test fossilisés dans leur biotope.
bioclaste	(= biodétritique). Dans une roche, tout élément fossile entier ou plus souvent en fragment, d'origine animale ou végétale, ayant été transporté ou non. Le terme s'applique essentiellement aux débris de fossiles à test carbonaté, et implique en général que les fossiles sont pénécotemporains du sédiment dans lequel ils se trouvent. N'en font pas partie les organismes dont les tests groupés en position de vie donnent des calcaires construits (calcaires récifaux ou biolithites).
biostratigraphie	Stratigraphie fondée sur le contenu en fossiles des couches.
bioturbation	Ensemble des petits dérangements dans un sédiment dus à des déplacements d'organismes vivants: terriers, galeries, traces de fouissement ou de reptation (pistes)... Une bioturbation est un signe d'oxygénation du milieu de sédimentation, les milieux réducteurs étant peu propices au développement de la faune. adj. bioturbé, e.
biozone	V. stratigraphie.
bird eyes	Expression angl. signifiant [« yeux d'oiseau »] (Syn. fenestra) - Petites masses irrégulières, de quelques millimètres, formées de calcite spathique translucide, dispersées ou plus ou moins alignées au sein de roches calcaires ou dolomitiques à grain fin. Les petites cavités dans lesquelles la calcite a cristallisé sont d'origine mal connue, et selon les cas, il peut s'agir de petits terriers, de pores créés par émiettement d'un sédiment légèrement induré, de bulles de gaz, de fissures de retrait par dessiccation temporaire. Dans quelques autres cas, il s'agirait de plages de recristallisation: cf. dismicrite, V. carbonatées (r.-). Elles correspondent généralement à des dépôts intertidaux.
bloc	Élément rocheux d'origine quelconque dont la taille est de quelques cm à plusieurs m. Selon les classifications granulométriques retenues, un bloc aura un diamètre supérieur à 100, 200 ou 256 mm.
boue	Terme général désignant tout dépôt fin (grain inf. à 64 µm: classe des lutites), gorgé d'eau et pouvant facilement s'écouler. On désigne aussi sous ce terme, les dépôts des bassins océaniques en les distinguant selon leur nature (argiles toujours abondantes): boues calcaires (à globigérines), boues siliceuses (à radiolaires, à diatomées) « boues rouges » des grands fonds (85 % d'argile, 0 à 5 % de calcaire, 2 à 3 % de silice, poussières volcaniques, granules métalliques à Fe, Mn ...); leur taux de sédimentation est en moyenne de 1 mm par 1 000 ans. adj. <b>boueux, euse</b> .
bretonne (phase-)	Phase tectonique située à la limite du Dévonien et du Carbonifère.
C.C.D.	Abréviation de l'expression anglo-saxonne « carbonate compensation depth » traduite par niveau ou profondeur de compensation des carbonates.
caillou	Terme générale pour désigner un morceau de roche.
calédonien (cycle -)	Cycle orogénique couvrant le Cambrien, l'Ordovicien et le Silurien, et responsable de l'édification des chaînes calédoniennes (Scandinavie, Ecosse, Irlande, Appalaches <i>pro parte</i> ). V. tabl. stratigraphique.
canyon sous-marin	Vallée entaillant une marge continentale et qui, bien souvent prolonge un fleuve. Malgré leur nom, ils sont beaucoup moins encaissés que les canyons aériens. Leur genèse n'est pas toujours claire: il s'agit sans doute en partie de vallées terrestres envahies par la mer ( par eustatisme), mais aussi d'un véritable modèle sous-marin dû à l'érosion par des courants de turbidité qui y circulent, et qui à leur débouché sur le glacis continental, donnent des deltas sous-marins.
condres volcaniques	Fragment de roche effusive (éléments pyroclastiques) directement projetés par les volcans, de taille inf. à 2 mm (condres grossières de 2 à 0,6 mm, cendre fines inf. à 0,6 mm). Ces fragments sont constitués de magma pulvérisé (cendre vireuses) et/ou de roches broyées provenant en particulier des parois de la cheminée. Elles peuvent être dispersées sur de grandes étendues et leur dépôt donne des roches meubles ou consolidées (cinérite, tuf volcanique). Souvent blanchâtres à grises quand elles sont fraîches, elles brunissent rapidement par altération, et donnent des sols fertiles.
ciment	- 1. En construction, poudre qui, mélangée à de l'eau constitue une pâte qui fait prise en un temps variable (quelques minutes à quelques heures). Le ciment utilisé couramment (ciment artificiel) est fabriqué par cuisson à haute température d'un mélange de calcaire et d'argile. Il en résulte la formation de silicates et d'aluminates de Ca anhydres. C'est l'hydratation et la cristallisation de ces composés qui constituent la prise. - 2. En pétrographie, toute matière liant entre eux des éléments figurés et conduisant à des r. sédim. compactes. Remplissant les espaces intergranulaires, le ciment correspond en général à une précipitation chimique, finement à largement cristallisée, de calcite, de silice, d'oxyde de fer, de phosphate, ...; la matière le composant vient souvent en partie des débris eux-mêmes qui se dissolvent préférentiellement à leurs points de contact (V. diagenèse). Pour les r. magm. et métam. on utilisera plutôt les termes de pâte, et de mésostase. v. cimenter; adj. cimenté, e.
clastique	S'applique à une roche à une roche constituée surtout de fragments de roches, de minéraux, ou de fossiles. Le terme est souvent utilisé comme suffixe, p. ex. dans bioclastique, pyroclastique, ...
clivage	Aptitude pour un minéral ou pour une roche à se fendre facilement suivant une famille de plans parallèles bien définis. Ces plans de clivage traduisent des anisotropies mécaniques: dans un cristal, ils sont liés à l'orientation des plans atomiques dans les r. sédim. ils dépendent de l'alternance de lits différents (p. ex. lits micacés dans une psammite) et le terme délitage est alors préférable dans les r. métam. ils sont d'origine tectonique (V. schistosité).
continental, e (glacis -, marge -, pente -, talus -) compaction	V. marge continentale. 1. État compact. 2. Création d'un état compact par l'action naturelle du tassement des roches au cours du temps. Le compactage est l'ensemble des autres actions mécaniques tendant à rendre une roche compacte.
concrétion	Épaississement par accumulation de matière autour d'un noyau (concrétion globuleuse) ou sur une surface, d'origine biochimique (ex. concrétion algale) ou chimique (ex. concrétion ferrugineuse: concrétion calcaire dans les sols, dans les grottes...). adj. <b>concrétionné, e n. m. concrétionnement</b> .
conglomérat	R. sédim. détritique formée pour 50 % au moins d'éléments, de diamètre supérieur à 2 mm (classe des rudites) liés par un ciment (avec des éléments dont la taille est comprise entre 62,5 µm et 2 mm, il s'agit de <b>microconglomérat</b> ). Ce terme regroupe les <b>brèches</b> sédim. (à éléments en majorité anguleux), les <b>poudingues</b> (à éléments arrondis ou galets), et tous leurs intermédiaires. Ils peuvent être <b>monogéniques</b> (éléments de même nature) ou <b>polygéniques</b> (éléments de nature variée, ce qui est le plus fréquent). Les conglomérats sont le plus souvent dus à l'érosion de roches mises en relief par des déformations tectoniques et, à ce titre, sont un signe de phases orogéniques, qu'ils se déposent au cours de celles-ci ( <b>congl. synorogéniques</b> ), ou après ( <b>congl. postorogéniques</b> ). Leur étude régionale renseigne en particulier sur les zones soumises à l'érosion, sur l'importance de l'érosion, sur les directions et les modalités du transport. adj. <b>conglomératique</b> .

conglomérat intraformationnel	- 1. Conglomérat monogénique dont le ciment et les éléments sont de même nature (dislocation sur place d'un sédiment peu induré et cimentation par la poursuite de la sédimentation: c'est un phénomène synsédimentaire. - 2. Désigne parfois un niveau conglomératique situé au sein d'une formation et non à sa base (il est alors préférable de dire <b>conglomérat interstratifié</b> ).
Conodontes	Corps denticulés de taille de l'ordre du millimètre, connus uniquement à l'état fossile, formés de phosphate de calcium, et de nature zoologique incertaine (organes de Poissons, d'Annelides, de Gastéropodes...). On en a décrit plus de 1500 espèces qui se trouvent dans des sédiments marins. Ce sont d'excellents fossiles stratigraphiques. Répart. stratigr.: Cambrien-Trias.
continent	En géologie et géophysique, ce terme désigne non seulement les grandes aires émergées de la surface terrestre, mais aussi leur bordure peu profonde (plateau continental), et d'une façon générale toutes les parties de l'écorce qui ont les caractères d'une croûte continentale. Les petites portions isolées de cette croûte, émergées ou formant des hauts-fonds sous-marins, sont appelées microcontinents. En ce sens, le mot continent est l'antonyme d'océan (pris au sens de surface du globe correspondant à une croûte océanique). V. dérive des continents, Terre. adj. <b>continental, e, aux</b> .
couche	Ensemble sédimentaire, compris entre deux surfaces approximativement parallèles qui correspondent à des discontinuités ou à de brusques variations pétrographiques permettant de délimiter nettement cet ensemble des terrains voisins. On dit parfois aussi un banc, surtout s'il s'agit d'une roche dure (Ex. un banc calcaire). Un lit est une couche de faible épaisseur. On l'appelle aussi niveau, assise ou horizon, mais plus spécialement si on peut le caractériser sur une certaine distance par sa nature pétrographique ou son contenu paléontologique. Par extension, pour une carte géologique, on appelle couche les ensembles sédimentaires groupés sous un même figuré, ou une même couleur, et désignés par une même notation. V. aussi stratigraphie.
coupe géologique	Représentation de la section de terrains par un plan généralement vertical (on parle aussi parfois de profil géologique, mais c'est à tort, le mot profil ne désignant que le contour extérieur de la coupe ou profil topographique). Une coupe géologique peut se construire à partir de la carte géologique, complétée dans les cas favorables par d'autres renseignements sur le sous-sol (sondages, géophysique). Un travail préliminaire est l'exécution de la coupe topographique correspondante. Ensuite, c'est essentiellement à partir des différentes inclinaisons en surface des structures géologiques qu'on tente avec plus ou moins de difficulté de reconstituer leur allure en profondeur. Ces inclinaisons nous sont connues essentiellement par: - 1. les indications concernant le pendage des couches et portées sur la carte - 2. le fait qu'il existe des rapports entre le pendage d'une couche, son épaisseur, la largeur de son affleurement, et la forme de la surface topographique où elle est visible - 3. des intersections favorables avec la topographie qui permettent de déduire le sens et la valeur du pendage. C'est notamment le cas lorsque des couches ou des plans de contacts anormaux traversent une vallée, car elles y dessinent une inflexion en forme de V dont la pointe est généralement tournée dans le sens du pendage. Dans ce même cas de figure, l'absence d'inflexion indique des pendages verticaux. Ces inclinaisons en surface étant précisées, on représente ensuite l'allure la plus vraisemblable des terrains en profondeur, telle qu'elle découle logiquement de données comme l'épaisseur des couches (que l'on postule constante sauf argument contraire), le style tectonique, etc... Plus ce dernier est compliqué, plus la part d'incertitude est grande dans la coupe ainsi établie. Une coupe géologique peut également être levée sur le terrain cela consiste à indiquer sous le trait du profil topographique les amorces des couches telles qu'on les voit, à repérer les échantillons récoltés et à noter les diverses observations concernant ces terrains.
courant de turbidité	Masse d'eau contenant en suspension des matériaux détritiques terrigènes, et qui, du fait de sa densité ainsi rendue plus forte que celle des masses d'eau environnantes, descend par gravité les pentes marines ou lacustres et vient s'épancher sur le fond où, sa vitesse diminuant, se sédimentent alors les éléments transportés en donnant des <b>turbidites</b> . Ces courants de turbidité ont un rôle important dans la sédimentation des marges continentales: nourris par les sédiments détritiques déposés sur les plateaux continentaux, ils dévalent les canyons sous-marins à grande vitesse (jusqu'à 100 km/h) et viennent former, sur le glacis continental, des deltas sous-marins. Les éléments les plus fins vont se sédimenter jusque dans les plaines abyssales, ce qui en explique l'absolue planéité, ou sont repris par des courants de contour pour donner des contourites. V. turbidite, et flysch.
cycle d'érosion	Succession d'étapes qui, selon W. M. Davis (1899) amènerait la formation de reliefs à partir d'une surface originelle plane pour redonner en définitive une autre surface plane. Cette histoire, qui nécessite l'abaissement du niveau de base des rivières (p. ex. par eustatisme), qui se mettent à creuser leurs vallées par érosion régressive, comporte les stades suivants: 1. <b>initial</b> (surface topographique plane) - 2. de <b>jeunesse</b> (creusement actif des rivières, profil raide des versants) - 3. de <b>maturité</b> (creusement moins actif, versants mous) - 4. de <b>vieillesse et de sénilité</b> (le profil d'équilibre est atteint), et on aboutit à la formation d'une pénéplaine. Un <b>modélé</b> engendré dans ces conditions est appelé modélé (ou relief) cyclique. Des cycles d'érosion successifs aboutissant à leur terme ultime ou non ( <b>épicycles</b> ), et agissant sur la même région donnent des <b>modèles polycycliques</b> (p. ex. glacis emboîtés). Il est à noter que cette conception de l'évolution du relief, dite <b>morphologie devésienne</b> (ou <b>morphologie normale</b> ), repose essentiellement sur les mouvements du niveau de base des fleuves. Ce mécanisme est sans aucun doute essentiel, mais ne doit pas faire oublier le rôle d'autres facteurs, notamment climatiques.
cycle sédimentaire	Période comprise entre une transgression et une régression. Un cycle sédimentaire n'indique pas obligatoirement l'existence de mouvements orogéniques, et, de ce fait, les couches de deux cycles sédimentaires successifs peuvent être concordantes. P. ex., en France, le Jurassique correspond à un grand cycle sédimentaire qui débute au Liás, et se termine au Portlandien (comme l'indiquent les faciès régressifs purbeckiens du Jura).
datation	Action de déterminer l'âge d'une couche, d'un fossile, d'une structure... Ne pas confondre avec datage: action de porter une date sur un document. Pour dater les couches, on utilise les principes et les méthodes de la géochronologie. Pour les datations de structures, les cas de figures sont assez variés: p. ex. structures antérieures ou postérieures à d'autres structures.
déformation	Changement de forme d'un solide sous l'influence d'une contrainte. L'étude de la déformation des corps réels (rhéologie) montre qu'ils peuvent être considérés comme ayant, à des degrés divers, selon les conditions de pression et de température, les propriétés de trois solides idéaux: - 1. Solide de Hooke, parfaitement élastique que l'on peut représenter schématiquement par un ressort: sa déformation cesse lorsque disparaît la contrainte qui lui a donné naissance. - 2. Liquide de Newton, uniquement visqueux que l'on peut représenter par un amortisseur. Sa vitesse de déformation est proportionnelle à la force appliquée, et il reste déformé lorsque la contrainte disparaît. - 3. Corps de Saint-Venant, ou plastique (ou encore rigide-plastique) qui peut être représenté par un patin: il ne peut se déformer que si la force appliquée dépasse un certain seuil, et il reste déformé lorsque la contrainte disparaît. Lorsque la déformation est homogène, on peut définir un ellipsoïde de déformation qui résulte de la déformation d'une sphère de rayon unité. Cet ellipsoïde n'a pas forcément les mêmes directions principales que l'ellipsoïde des contraintes (p. ex. si le solide est anisotrope).
délitage	Fait pour une r. sédim. de se fendre selon ses plans de stratification (p. ex. délitage facile des psammites), ou pour un schiste selon ses plans de schistosité.
delta	Embouchure d'un fleuve, dans la mer ou dans un lac, généralement divisé en plusieurs bras, où s'accumulent ses sédiments (alluvions) dans une zone de forme grossièrement triangulaire.
delta sous-marin (ou cône, ou éventail sous-marin) dérive des continents	- 1. Partie d'un delta fluvial se prolongeant sur le plateau continental. - 2. Accumulation sous-marine sur le glacis continental de sédiments terrigènes, transportés par des courants de turbidité descendus par les canyons sous-marins.  Théorie selon laquelle les continents se sont déplacés d'une manière très importante les uns par rapport aux autres aux cours des temps géologiques. Bien que la possibilité d'un tel déplacement ait été évoquée dès le 19 <sup>e</sup> siècle, c'est A. Wegener qui, à partir de 1912 a été le principal champion de cette thèse. Pour lui, les continents, formés de sial flottant sur du sima auraient constitué, au début de l'ère secondaire, un bloc unique ou Pangée. Ce bloc se serait ensuite disloqué, l'écartement de l'Amérique et du bloc eurafricain ayant donné naissance à l'Atlantique. Cette théorie qui expliquait l'analogie des formes, des structures géologiques et des évolutions paléogéographiques de part et d'autre de l'Atlantique (cf. Gondwana) a été longtemps controversée. Entre 1960 et 1970, elle a reçu toute une série de confirmations, et elle est aujourd'hui généralement acceptée, avec des modifications et des précisions, sous le nom de tectonique de plaques. V. aussi mobilisme.

désagrégation	Séparation des grains d'une roche, p. ex. du fait de ruptures produites par des dilatations différentielles des grains soumis au gel et au dégel, ou encore, et plus souvent, par hydrolyse de certains minéraux qui se transforment en argiles, ce qui détruit la cohésion de la roche. Si les grains obtenus restent sur place, on obtient, p. ex., une arène ou un sable.
détritique	1. Qui est formé, en totalité ou en partie, de débris (p. ex. sédimentation détritique, r. sédim. détritique). - 2. Qui est un débris: ex. minéral détritique (ou hérité), par opposition à minéral authigène (ou néoformé) ayant cristallisé au sein de la r. sédim. (ne pas confondre avec terrigène).
détritiques (roches-)	R. sédim. composée pour 50 % au moins de débris. Les plus importantes (80 % à 90 % des r. sédim.) sont les r. <b>détritiques terrigènes</b> (ou détritiques s. s.) formées de débris issus de l'érosion d'un continent: d'autres, en général calcaires, sont dites biodétritiques (ou bioclastiques, ou organodétritiques) car formées pour l'essentiel de débris issus de squelettes et majorités d'organismes vivants. Les r. détritiques sont divisées en trois classes granulométriques selon la taille de la majorité des débris: les rudites débris > 2 mm, les arénites, à débris de 1/16 mm (62,5 µm) à 2 mm, les lutites à débris < 62,5 µm, ces limites, variant selon les auteurs (V. granulométrie). La nomenclature de ces roches est très variée et, outre la taille des grains, elle fait intervenir la nature des débris, la présence ou non d'un ciment et sa nature, ainsi que des critères génétiques (type d'altération, modalités du transport et du dépôt...). V. sédimentaires (roches), et clastique.
diaclyse	Cassure de roches ou de terrains sans déplacement relatif des parties séparées. S'emploie plus spécialement pour des cassures perpendiculaires aux couches sédimentaires.
diagenèse	Ensemble des processus qui affectent un dépôt sédimentaire et le transforment progressivement en roche sédim. solide (V. lithification). La diagenèse commence dès le dépôt du sédiment. Sa limite avec le métamorphisme est floue (anchimétamorphisme). Ses limites sont également floues avec les phénomènes épigénétiques (ou métagénétiques) affectant des r. sédim. déjà constituées. Dans des sédiments sous-aquatiques, marins surtout, les modalités sont variées car elles dépendent, entre autre, de la nature chimique du sédiment, de sa granulométrie, du taux de sédimentation contrôlant l'enfouissement. Les processus importants sont les suivants: - Dans les premiers décimètres (ou mètres), il y a diagenèse biochimique due aux organismes vivants et surtout aux bactéries: enrichissement en CO <sub>2</sub> , en produits sulfureux ou ammoniacaux, le milieu devenant plus acide et plus réducteur. On désigne aussi cette zone superficielle comme celle de la syndiagenèse. - Au-delà, la diagenèse physico-chimique (parfois nommée épidiagenèse) augmentant avec le temps et la profondeur est marquée par: - 1. la compaction du sédiment avec perte d'eau, augmentation de la densité, multiplication des points de contact entre les grains - 2. augmentation de T par enfouissement (degré géothermique) favorisant les réactions chimiques - 3. multiplication de réactions chimiques variées et complexes, avec p. ex.: aggradation des argiles, transformation de certains minéraux en d'autres (aragonite, calcite: opale calcédoine, quartz), dissolution possible des grains à leurs points de contacts, et cristallisation à partir des solutions ainsi obtenues dans les espaces intergranulaires, réaction entre les minéraux et les fluides interstitiels devenant plus acides et plus riches en CO <sub>2</sub> avec la profondeur.
direction (d'une couche)	Direction de l'intersection de cette couche et d'un plan horizontal, la direction d'une couche est perpendiculaire au sens du pendage de cette couche.
disharmonie	Fait pour deux couches contiguës, de s'être plissées de façon différente au cours d'une même phase tectonique. Ce phénomène implique généralement l'existence de surfaces de décollement et s'accompagne souvent de bourrages et d'étreintes.
dureté	Résistance d'un minéral à la destruction mécanique de sa structure; en pratique, un minéral est dit plus dur qu'un autre, s'il raye ce dernier. Les duretés sont classées par rapport à celles de 10 minéraux test (échelle de Mohs): 10: diamant, 9: corindon, 8: topaze, 7: quartz, verre, 6: orthose, lame de couteau, 5: apatite, 4: fluorine, 3: calcite, ongle 2,2; 2: gypse, 1: talc. Lorsqu'on effectue un essai de dureté, il faut essuyer soigneusement la trace obtenue, pour distinguer la rayure que produit le minéral le plus dur sur le moins dur, d'une simple traînée pulvérulente due à l'écrasement d'un minéral sur l'autre. Pour une roche, la dureté traduit la résistance à l'usure qui se fait surtout par arrachement des grains (un grès mal cimenté est une roche tendre, bien que formé de quartz, minéral dur).
éboulis	Ensemble de fragments rocheux déplacés par gravité, et donnant des nappes ou des talus d'éboulis.
échantillonnage	Prélèvement d'un échantillon. Un échantillonnage est dit aléatoire lorsqu'il n'obéit qu'aux lois du hasard, sans privilégier une portion particulière de la formation étudiée. Cette condition est nécessaire pour l'étude statistique de cette dernière; il est portant rarement possible de la respecter en géologie, notamment du fait que les roches ne sont accessibles généralement qu'en affleurement, donc sur une petite partie de leur volume, et que la position de ces affleurements ne résulte pas du hasard.
épigénie	En pétrographie, remplacement lent au sein d'une roche d'un minéral par un autre, molécule à molécule, ce phénomène étant lié à un apport de substance au point considéré, d'où le terme également employé de métamorphose. Il y a en général conservation très précise des formes de l'élément original. Ex. ammonite pyriteuse, épigénèse en pyrite, oursin siliceux dans la craie (épigénie siliceuse, épigénie en cascade faisant passer de la calcite à la dolomite (dolomitisation) puis de celle-ci à la silice. La mise en évidence de ce phénomène n'est pas toujours aisée.
ère	Une des plus grandes divisions géochronologiques. Venant après le Précambrien, on distingue dans l'ordre chronologique: l'ère paléozoïque, ou primaire (le Paléozoïque, le Primaire: 570 à 230 m.a.), l'ère mésozoïque, ou secondaire (ou le Mésozoïque, le Secondaire: 230 à 65 m.a.), l'ère cénozoïque (ou le Cénozoïque), cette dernière étant subdivisée en Tertiaire (65 à 1,8 m.a.) et Quaternaire (1,8 m.a. à nos jours). Parfois, Cénozoïque est pris comme équivalent de Tertiaire, le Quaternaire étant alors appelé, par certains, Anthropozoïque. Il est à noter que dans les pays anglo-saxons, les termes de Primaire et de Secondaire ne sont plus usités.
estran	Zone d'une côte comprise entre les niveaux de haute et de basse mer.
euédrique	Se dit d'un solide cristallin qui présente des faces bien développées (= euhedral).
eustatisme	Changement d'ensemble du niveau des mers. Cette notion a été introduite pour rendre compte de transgressions, ou de régressions, contemporaines sur tous les plateaux continentaux. Plusieurs explications ont été proposées: formation ou fusion des calottes glacières, ce qui modifie le volume des eaux océaniques (glacio-eustatisme), écrasement de fosses marines lors de la formation de chaînes de montagnes, ou changement des vitesses d'accrétion des fonds océaniques, ces phénomènes modifiant la forme et la capacité des bassins océaniques.
euxinique	Se dit d'un milieu marin dans lequel l'absence de circulation verticale interdit le renouvellement des eaux profondes, et donc leur oxygénation, ce qui leur confère un caractère réducteur propice à la conservation de la matière organique qui s'accumule sur le fond.
faciès	Catégorie dans laquelle on peut ranger une roche ou un terrain, et qui est déterminée par un ou plusieurs caractères lithologiques (lithofaciès) ou paléontologiques (biofaciès): ex. faciès gréseux, faciès calcaire, faciès de marnes à ammonites. Ce terme est également employé pour désigner une catégorie correspondant à un milieu ou à un domaine de sédimentation: ex. faciès récifal (caractérisé par la présence de Madréporaires...), faciès profond, faciès germanique du Trias (où l'on rencontre des évaporites dans le Keuper, etc.). Lorsqu'un faciès ne peut être déterminé qu'au microscope optique, on l'appelle microfaciès, et nanofaciès lorsque son étude nécessite l'emploi du microscope électronique. L'étude de la répartition des faciès permet d'établir des reconstitutions paléogéographiques. Il ne faut cependant pas confondre les cartes de répartition des faciès, où les différentes zones isopiques (c'est-à-dire de mêmes faciès) sont figurées dans leurs positions actuelles sans hypothèse concernant le lieu et le milieu de sédimentation, avec les cartes paléogéographiques établies sur un fond paléospastique, et qui représentent la répartition ancienne des zones de faciès (ou des domaines de sédimentation).

faciès- (zone de -)	1. Zone de sédimentation caractérisée en tous ses points par un certain nombre de faciès constants superposés selon le même ordre (V. hétéropique, isopique). - 2. Zone qui, dans des terrains ayant subi un métamorphisme, est caractérisée par un faciès métamorphique déterminé; la reconnaissance, et la cartographie, de ces zones est la zonéographie.
faille	<p>Cassure de terrain avec déplacement relatif des parties séparées. En pratique, ce terme désigne le plus souvent des accidents verticaux, ou à pendage fort et n'impliquant pas de recouvrement important (cf. chevauchement, charriage). La longueur des failles peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres (famille de failles se relayant plus ou moins; cf. linéament, rhegmatisme). La valeur du déplacement (le rejet) est variable selon les points pour une même faille, et peut se situer entre le décimètre et plusieurs kilomètres verticalement, plusieurs dizaines de kilomètres horizontalement. Les déplacements importants se sont effectués en plusieurs étapes liées à l'histoire tectonique de la zone considérée; il est souvent difficile d'évaluer l'ampleur des mouvements, et plus encore d'en préciser les modalités et les étapes.</p> <p>Nomenclature relative aux failles: les deux parties séparées par la faille sont appelées compartiments, les surfaces engendrées par les cassures sont les lèvres; ces dernières sont parfois polies par le frottement et donnent, lorsque l'érosion les dégage, un miroir de faille sur lequel on voit habituellement des stries qui matérialisent la direction du mouvement. L'ampleur du déplacement est le rejet. Il peut être considéré comme la somme vectorielle de trois composantes orthogonales: l'une horizontale et située dans le plan de la faille est le décrochement (rejet horizontal longitudinal); une autre horizontale et perpendiculaire à la précédente est le rejet horizontal transversal (suivant les cas, raccourcissement ou distension); la troisième, verticale, est le rejet vertical. Le regard de la faille est le côté vers lequel est tournée la lèvre du compartiment soulevé. Le sens du rejet des failles peut être connu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1. par la mise en évidence du décalage des compartiments si l'on a, dans ceux-ci, des repères suffisants (mais il peut s'agir de la somme de plusieurs déplacements successifs);</li> <li>- 2. par l'examen, sur la surface de faille, des: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 tectoglyphes, p. ex., soit des stries provoquées par la trace d'un débris situé entre les lèvres, et qui s'interrompent brusquement, soit de petites écailles formant des gradins dans le sens du mouvement;</li> <li>2.2 enduits de calcite qui cristallisent dans des cavités formées par des irrégularités de la surface de faille dans le cas d'extension;</li> <li>2.3 stylolites * qui se forment dans le cas d'une compression. Stylolites et enduits de calcite peuvent voisiner le long d'une même cassure, conformément au fait que la répartition des compressions et des distensions peut dépendre de la répartition des irrégularités de la surface de faille.</li> </ul> </li> <li>- 3. par l'observation d'un rebroussement des couches près du plan de faille (crochon de faille) qui se fait dans le sens opposé du mouvement relatif du compartiment. Dans la topographie, les failles sont souvent responsables de reliefs. Lorsque ce relief de faille est celui que donne naturellement le jeu de la faille, on parle d'un <b>escarpement de faille</b> qui sépare deux <b>gradins</b> de faille. Mais l'érosion peut atténuer ce relief, et l'on parle alors d'escarpement de ligne de faille. Elle peut aussi le niveler ou même, si les terrains du compartiment soulevé sont plus tendres que ceux du compartiment abaissé, l'inverser: on a alors un escarpement de ligne de faille inversé.</li> </ul> <p><b>Classification des failles:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1. Selon leur pendage: faille verticale ou oblique.</li> <li>- 2. Selon leur rejet: faille <b>normale</b> (= faille directe = f. de distension = f. distensive), le rejet horizontal transversal correspondant à une distension faille <b>inverse</b> (= f. de compression = f. compressive), où le rejet horizontal transversal correspond à un raccourcissement (il y a alors chevauchement du compartiment situé au-dessus du plan de faille sur l'autre compartiment): <b>décrochement</b>, à rejet uniquement horizontal et dans le plan de la faille, qui est généralement vertical ou presque.</li> <li>- 3. selon leurs rapports avec les couches: f. <b>conforme</b>, dont le pendage est dans le même sens que celui des couches qu'elle affecte: f. <b>contraire</b>, dont le pendage est en sens contraire: f. <b>directionnelle</b>, parallèle à la direction des couches: f. <b>diagonale</b>, oblique par rapport à cette direction f. <b>transversale</b>, perpendiculaire à cette direction.</li> <li>- 4. selon les rapports de leurs rejets, avec d'autres déplacements: f. <b>synthétique</b>, dont le rejet s'ajoute à un autre mouvement, p. ex. faille normale conforme ou f. inverse <b>contraire</b>: f. <b>antithétique</b>, dont le rejet se soustrait à un autre mouvement, p. ex. faille inverse conforme ou f. normale contraire.</li> <li>- 5. selon leurs rapports génétiques: <b>failles conjuguées</b>, résultant de l'action d'une même contrainte et faisant entre elles un angle donné (V. diagramme de Mohr).</li> <li>- 6. selon leur forme: faille plane ou gauche: <b>faille listrique</b>, faille dans l'ensemble proche de l'horizontale ayant une forme de cuillère concave vers le haut <b>faille panaméenne</b>, faille normale dont le pendage d'abord très fort s'affaiblit vers le bas, et qui correspond à l'effondrement d'une partie d'un versant: <b>faille plate</b>, faille subhorizontale.</li> </ul> <p>Lorsque les lèvres d'une faille se déplacent l'une par rapport à l'autre, on dit qu'elle joue et ce mouvement est appelé le jeu. Elle peut ensuite rejouer (<b>rejeu</b>) dans le même sens ou dans un autre sens. Une faille qui joue actuellement est dite <b>vivante</b> (elle a notamment comme effet d'engendrer des séismes).</p>
faille transformante	Ces structures permettant la transformation d'un mouvement en un autre, à l'extrémité d'un segment de rift océanique ou de zone de subduction.] - Frontière entre deux plaques lithosphériques, où il n'y a ni création ni destruction de croûte, mais coulissement. Une faille transformante relie soit deux portions de fosse océanique, soit une fosse et un rift, soit deux portions de rift. Dans ce dernier cas, on peut les interpréter de la manière suivante: la discontinuité et le rejet apparent de la dorsale au niveau de la faille transformante sont originaux et datent du moment de l'ouverture océanique, du fait de zones de moindre résistance au sein de la masse continentale initiale. Ensuite, l'accrétion océanique de la dorsale produit un mouvement relatif de cisaillement entre les deux plaques, uniquement dans la zone de la faille transformante située entre les segments de dorsale. Il en résulte que seule cette zone de la faille est sismiquement active, et les mouvements au foyer des séismes correspondent aux déplacements dus à l'accrétion. Dans la morphologie, une faille transformante est marquée par une dénivelée causée par la différence de subsidence des deux zones en contact (elles sont d'âges différents, ce qui entraîne des différences de température et par suite de densité). Une des conséquences en est que, dans leur prolongement, des reliefs marquent la trace des situations antérieures. Du point de vue cinématique, les failles transformantes permettent de fixer les pôles de rotation des plaques (nommés les pôles eulériens): on peut en effet, les considérer comme des arcs de cercle tracés à partir de ces pôles. V. aussi tectonique de plaques.
faille-pli	Faille subverticale qui a été déformée, près de la surface topographique, par une contrainte horizontale postérieure (ne pas confondre avec pli-faille).
fenestra	V. Bird eyes.
formation	Terrains possédant des caractères communs, et constituant un ensemble que l'on juge utile de distinguer: une formation marno-calcaire, une formation gneissique. - 2. Ensemble de strates formant une unité lithologique à laquelle on associe généralement un nom de lieu. Ex. la formation de Morriston (du Jurassique sup. continental des États-Unis). Ce sens est d'emploi bien plus répandu dans les pays anglo-saxons qu'en France. V. aussi stratigraphie.
fosse	Dépression allongée, de grandes dimensions et de grande profondeur, à flancs plus ou moins inclinés. Ce terme s'applique surtout aux grandes dépressions océaniques, longues de plusieurs milliers de kilomètres, profondes de 5 000 à 11 000 m, longeant des continents (ex. côte ouest de l'Amérique du Sud) ou des archipels volcaniques (ex. des fosses allant de l'Est du Japon à l'Est de la Nouvelle Zélande). V. aussi marge et tectonique de plaques.
fossile	Qualifie les objets ou les substances, en général liés au monde vivant, renfermés depuis longtemps dans les roches par un processus d'enfouissement ou d'infiltration: animaux fossiles, traces et pistes fossiles, combustibles fossiles, eaux fossiles.
fossile	Reste ou moulage naturel d'organisme conservé dans des sédiments.
fossile de faciès	Fossile lié à un milieu de sédimentation particulier: les oursins, les madréporaires sont, p. ex., des fossiles de faciès.

fossile stratigraphique	Espèce ayant une grande extension géographique et une existence courte à l'échelle géologique, ce qui permet de l'utiliser pour comparer l'âge de terrains situés dans des régions différentes: p. ex. les Conodontes, les ammonites, ...
fossile vivant	Animal ou végétal qui est le seul ou l'un des seuls représentants actuels d'un groupe jadis florissant. Ex. le Cœlacanthe.
fossilisation	- Ensemble des processus qui conduisent à la conservation des objets dans les sédiments. Ils sont divers et parfois difficiles à caractériser. - 1. conservation des organes sans modification ou avec des modifications discrètes (recristallisation). C'est le cas habituel des parties dures (coquilles, ossements, dents, algues calcaires), et exceptionnellement des parties molles dans des conditions très particulières: p. ex. mammouths conservés dans des sols gelés en Sibérie, ou dans des hydrocarbures (ozocérite) au N des Carpathes, insectes inclus dans des résines fossiles (ambre de la Baltique). - 2. conservation des organes après leur remplacement par une matière différente préservant leur structure avec plus ou moins de finesse (V. épigénie). Ex. silicification de troncs d'arbres, d'os de Vertébrés; ammonites pyriteuses. - 3. conservation sous forme de moulage de l'organisme, soit externe, soit interne. C'est souvent, p. ex., le cas des ammonites.
géochronologie	Ensemble des méthodes permettant d'assigner un âge aux roches ou aux minéraux. On distingue: - 1. la géochronologie (ou datation) absolue basée en particulier sur les méthodes et techniques radiométriques permettant de dater des minéraux de r. magm. ou de r. métam. (V. radiochronologie) - 2. la géochronologie (ou datation) relative, basée sur les principes de la stratigraphie et les répartitions des fossiles.
géocratique	- S'applique à une période pendant laquelle, du fait d'une importante régression marine, les plateaux continentaux sont en grande partie émergés. Ant. thalassocratique.
géologie	Science comprenant l'étude des parties de la Terre directement accessibles à l'observation, et l'élaboration des hypothèses qui permettent de reconstituer leur histoire et d'expliquer leur agencement. On parle aussi de géologie d'une région pour l'ensemble des connaissances géologiques concernant cette région. Ce terme peut éventuellement être étendu à des activités équivalentes s'exercent sur d'autres planètes ou sur des satellites. Les principales disciplines de la géologie sont: La <b>pétrographie</b> (ou pétrologie: étude des roches) qui s'appuie obligatoirement sur la <b>minéralogie</b> (étude des minéraux) et sur la <b>crystallographie</b> (étude des propriétés de l'état cristallin de la matière). Une branche spécialisée en est la <b>volcanologie</b> (ou vulcanologie: étude des volcans). Bien souvent, en fait, les pétrographes concentrent leurs efforts sur les roches éruptives et métamorphiques, les roches sédimentaires étant étudiées avec la discipline suivante. La <b>sédimentologie</b> , en effet, étudie la façon dont se déposent les sédiments, et dont se sont constituées les roches sédimentaires. La <b>géochimie</b> est l'étude du comportement chimique des éléments, en particulier dans les roches (magm., métam., sédim.), mais aussi dans les eaux (continentales et marines), et dans l'atmosphère.  La <b>stratigraphie</b> est l'étude de la succession des sédiments. Les conditions de leur dépôt étant précisées par l'analyse sédimentologique, elle permet une reconstitution des paysages du passé ou <b>paléogéographie</b> . Cette opération exige que soient remises en place les différentes régions dérangées par les mouvements de l'écorce terrestre, et doit donc tenir compte de la discipline suivante.  La <b>tectonique</b> est en effet l'étude des déformations de la partie superficielle de la terre (tectonosphère). Elle peut être envisagée à différentes échelles: centimétrique ( <b>microtectonique</b> ), régionale ( <b>géologie structurale</b> ), mondiale ( <b>tectonique globale</b> ). La <b>tectonophysique</b> en est la branche qui utilise plus spécialement des méthodes physiques. La <b>paléontologie</b> étudie les être fossiles, soit animaux (paléozoologie) soit végétaux (paléobotanique). Lorsqu'elle nécessite l'emploi d'instruments grossissants, on parle de <b>micropaléontologie</b> . Elle est très en rapport avec la stratigraphie, notamment lorsqu'elle se charge de dater les couches de terrain par l'examen de leur contenu en fossiles (paléontologie stratigraphique). La <b>géomorphologie</b> (également appelée géographie physique) étudie l'évolution des reliefs de la surface terrestre et les causes de celle-ci. Elle est à mi-chemin entre la géologie et la géographie. La <b>géologie appliquée</b> n'est pas à proprement parler une discipline particulière, mais regroupe les applications pratiques de toutes les branches de la géologie (mines, pétroles, travaux publics, hydrogéologie...). Enfin, différents noms ont été créés, plus pour souligner une manière d'envisager les problèmes, que pour désigner une section particulière de la science géologique. On peut citer la <b>géologie historique</b> (qui n'est souvent qu'un synonyme de stratigraphie), la <b>géologie dynamique ou géodynamique</b> (qui met l'accent sur les forces mises en jeu dans les phénomènes géologiques, lesquelles sont encore pratiquement inconnues), la <b>géotectonique</b> (qui envisage les problèmes tectoniques dans de vastes contextes). n. m. ou f. <b>géologue</b> , adj. <b>géologique</b>
granoclassement	Classement des grains par taille progressivement décroissante dans des sédiments détritiques, dû au dépôt plus rapide des grains les plus gros lorsque le courant de transport perd de son énergie. Granoclassement latéral: diminution progressive du grain d'une couche de l'amont vers l'aval du courant de transport. Granoclassement vertical (en angl. « agraded bedding »): diminution progressive du grain de la base au sommet d'une couche, dite alors granoclassée, cela constituant un critère de polarité.
granulométrie	1. Étude de la répartition des éléments d'une roche détritique selon leur taille. - 2. Cette répartition elle-même. Des classes granulométriques étant définies par un diamètre minimal et un diamètre maximal, la granulométrie d'un échantillon de roche est connue lorsque l'on sait quel est le nombre d'éléments correspondant à chacune de ces classes (ou plus communément, le poids de ces éléments). On étudie généralement des roches meubles (ou des roches consolidées désagrégées, p. ex. sous l'action d'un acide). La plupart du temps, on les tamise à sec au moyen de tamis calibrés emboîtés les uns sur les autres en colonne, et l'on pèse les résidus de chaque tamis. Lorsque les grains sont très petits, on utilise des méthodes de décantation. Les résultats sont souvent présentés sous forme d'histogrammes ou de courbes cumulatives. Leur examen permet d'avoir une idée sur le mode de dépôt de ces sédiments.  Échelles et classifications granulométriques: selon les dimensions de leurs composants, on classe les roches détritiques en différentes catégories dont les définitions et les noms varient considérablement selon les auteurs. On adopte assez généralement les divisions suivantes (notamment d'après C. K. Wentworth) du plus petit au plus grand: - 1. <b>lutites</b> (grain plus petit que 1/16 mm (62,5 µm) (colloïdes, argiles, limons, <i>silts</i> ). - 2. <b>arénites</b> : grain allant de 1/16 mm à 2 mm (sablons, sables). On y distingue parfois des grains très fins (de 0,062 mm à 0,125 mm), fins (de 0,125 mm à 0,25 mm), moyens (de 0,25 mm à 0,5 mm), grossiers (de 0,5 mm à 1 mm), très grossiers (de 1 mm à 2 mm). - 3. <b>rudites</b> : grain plus gros que 2 mm (granules, gravillons, cailloux, galets, blocs). adj. <b>granulométrique</b> .
habitus	Forme prise par une substance, un corps, un objet et notamment sa forme cristalline.
hadal	Relatif aux milieux marins situés à plus de 7000 m de profondeur.
Hercynien cycle	Cycle orogénique paléozoïque débutant au Dévonien et se terminant avec le Permien. Il est responsable de la formation de la chaîne hercynienne, dont les structures sont bien visibles en Europe et en Amérique du Nord (Appalaches) On y distingue de nombreuses phases tectoniques.
ingression	Transgression marine localisée qui ne se traduit que par l'invasissement des vallées ou de certaines régions basses.
intraformationnel	Qui se produit pendant le dépôt d'une formation et aux dépens de celle-ci.
lacune	Dans une série sédimentaire absence des dépôts correspondant à un certain laps de temps. Ce phénomène peut s'expliquer par une interruption de la sédimentation sur le fond sous-marin, par une érosion de ce fond, par une émergence des dépôts accompagnée ou non de plissement.
lithification	Transformation d'un sédiment meuble en roche sédimentaire consolidée par compaction et cimentation.
log	Une colonne stratigraphique (tirée de l'étude d'une région, ou correspondant à un forage), diagraphie.

lumachelle	Roche sédimentaire calcaire formée essentiellement de coquilles (lamellibranches surtout) entières ou brisées, accumulées sur place.
lutite	Ensemble de roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont de diamètre inférieur à 1/16 mm. Certains auteurs réservent ce terme aux roches meubles, les roches consolidées correspondantes étant nommées pélites.
macrofossile	Fossile de grande taille, dont on peut étudier les caractères les plus apparents à l'oeil nu. Selon qu'il s'agit de macrofossiles végétaux ou animaux, on parle de macroflore ou macrofaune.
marbre	1. Toute roche susceptible de prendre un beau poli, et d'être utilisée en décoration: dans cette acception, le mot n'a pas de sens pétrographique précis (cf. granit), même s'il s'applique le plus souvent à des marbres calcaires. - 2. R. métam. dérivant de calcaires ou de dolomies, par métamorphisme général ou de contact. Un calcaire pur se transforme en marbre blanc à grands cristaux engrenés de calcite. Une dolomie pure recristallise en plus grands cristaux pour un faible degré de métamorphisme, puis à degré croissant subit une dédolomitisation avec apparition de calcite et d'autres minéraux (p. ex. périclase, brucite,...). Les calcaires et les dolomies impurs donnent des marbres variés et colorés (V. cipolin), souvent veinés (les veines correspondent à d'anciens horizons plus argileux ou plus riches en oxydes métalliques, et elles dessinent souvent des plis synmétamorphiques accusés). Par fort métamorphisme de contact avec métasomatose, ces roches s'enrichissent en minéraux (marbres à minéraux) et passent aux skarns.
marge continentale	Région immergée de la bordure d'un continent faisant le raccord avec les fonds océaniques. On distingue aujourd'hui les marges continentales passives, où le passage de la croûte continentale à la croûte océanique se fait au sein de la même plaque lithosphérique, et les marges continentales actives, où la croûte océanique s'enfoncé par subduction sous la croûte continentale.  Une <b>marge passive</b> (ou marge de type atlantique) comprend de l'intérieur à l'extérieur (c'est-à-dire en s'éloignant du rivage): -1. le <b>plateau continental</b> , zone plane, légèrement inclinée vers la mer, large en moyenne de 80 km, profonde de 200 m tout au plus; -2. la <b>pente continentale (ou talus continental)</b> , large de 45 km en moyenne et dont la profondeur va de 200 à 4 000 m (pente: 5°), entamée çà et là par des canyons sous-marins; -3. le <b>glacis continental</b> à pente très faible (moins de 1°) qui va de 4000 à 5000 m et se raccorde aux bassins océaniques. Ce raccord n'est pas marqué par une activité sismique particulière et c'est ce qui amène à conclure que ce type de marge ne marque pas la frontière de deux plaques différentes.  Dans une <b>marge active</b> (ou marge de type pacifique), le glacis continental est remplacé par une fosse marginale large de 80 à 100 km et dont la profondeur atteint 10-11 km (zones les plus profondes des océans). Ce type de marge est marqué par une activité sismique importante, les foyers des séismes se répartissant selon une zone à peu près plane inclinée de l'océan vers le continent et nommée <b>plan de Benioff</b> ; on considère qu'elle correspond à l'enfoncement ( <b>subduction</b> ) d'une plaque à croûte océanique sous une plaque à croûte continentale. Un cas plus complexe de marge active est celui où, entre la pente continentale et la fosse marginale, existe un arc insulaire, de nature également continentale, qui ménage, entre lui et la cote un <b>bassin marginal (= mer marginale)</b> .  On pense généralement aujourd'hui que les faits ayant conduit à la notion de géosynclinal s'expliquent en grande partie par l'évolution d'une marge continentale, le sillon miogéosynclinal correspondant au plateau continental, la ride miogéoclinale à la pente continentale, le sillon eugéosynclinal aux régions situées plus au large, y compris à d'éventuels arcs insulaires ou au domaine océanique; les complexes ophiolitiques, connus dans les nappes, sont considérés comme des portions charriées de croûte océanique (V. aussi tectonique de plaques). Notons que les domaines internes du géosynclinal, du fait de la nomenclature actuellement utilisée, correspondent aux domaines externes de la marge, et réciproquement.
marginale (mer -)	Mer située entre le continent et un arc insulaire.
marin (milieu -)	Ensemble des mers et des domaines qu'elles occupent, au moins temporairement. On divise habituellement ce milieu en différentes zones: En fonction de la profondeur: -1. zone <b>littorale</b> (ou tidale, ou encore intertidale) située entre les limites des marées; -2. zone <b>néritique</b> jusqu'à 200 m; -3. zone <b>bathyale</b> de 200 à 3000 m; -4. zone <b>abyssale</b> de 3000 à 7000 m; -5. zone <b>hadale</b> (ou ultra-abyssale) plus de 7000 m. En fonction de l'éclairement: -1. zone <b>photique</b> (ou phytale), où la lumière parvient et où les plantes peuvent se développer; -2. zone <b>aphotique</b> (ou aphytale) où la lumière ne parvient pas. - Dans chacune de ces zones, les êtres vivants peuvent vivre: -1. soit sur le fond (fixés ou non): ils sont alors dits <b>ben-thiques</b> , c'est le benthos; -2. soit au-dessus du fond: ils sont alors dits <b>pélagiques</b> et font partie du plancton (s'ils flottent), ou du necton (s'ils nagent).
microfossile	Fossile ne pouvant s'étudier qu'à la loupe ou au microscope. Selon qu'il s'agit de microfossile animaux ou végétaux, on parle de microfaune ou de microflore.
mud cracks	Craquelures, dessinant grossièrement un réseau polygonal, visibles sur la couche superficielle d'un sédiment argileux qui s'est desséché. On retrouve parfois ces craquelures fossilisées dans des dépôts anciens, et c'est alors un argument pour dire que ceux-ci ont été au moins temporairement, exposés à l'air libre.
nanofossile	Fossile de très petite taille (quelques micromètres) qu'on ne peut étudier qu'à de très forts grossissements au microscope optique ou au microscope électronique. Il s'agit principalement d'espèces pélagiques (nanoplancton) qui se répartissent entre le règne animal (nanofaune) et le règne végétal (nanoflore).
néo-autochtone	1. Se dit de sédiments qui se déposent, après une phase de charriage, tout à la fois sur l'autochtone et sur l'allochtone ce dernier fournissant une bonne part du matériel remanié. Une formation néo-autochtone est donc une formation post-nappe cachetant le contact anormal de charriage, et en général elle repose en continuité et en concordance sur l'autochtone, mais en discordance sur l'allochtone; elle pourra à son tour être déformée avec l'ensemble du substratum s'il y a une nouvelle tectonique. 2. Le terme a été aussi employé pour des formations auxquelles il vaut mieux réserver le nom d'olistostrome.
néritique	S'applique à la zone marine située entre la zone littorale et le rebord du plateau continental (vers 200 m de profondeur). Les sédiments néritiques sont ceux qui se déposent dans cette zone; ils montrent des épaisseurs et des faciès très variés, avec prédominance de faciès détritiques et/ou riches en fossiles (algues, foraminifères, mollusques, ...). Dans ces formations néritiques les passages latéraux sont fréquents et rapides, et il y a souvent des lacunes.
niveau de compensation des carbonates	Carbonate compensation depth (CCD). Profondeur à partir de laquelle on ne trouve plus de carbonates dans les dépôts marins, ceux-ci étant dissous dans ces conditions de température et de pression. Elle est variable selon les conditions locales, le taux de sédimentation, la productivité en carbonates de la tranche d'eau sus-jacente, et est aujourd'hui de l'ordre de 4500 à 5000 m. Il semble qu'elle ait varié considérablement dans le passé. Au-dessous de cette profondeur, on ne trouve que des argiles des grands fonds sauf si, par exception, il y a apport de débris calcaires. On parle aussi parfois de niveaux de compensation pour l'aragonite et pour la silice.
obduction	Chevauchement d'une vaste portion de croûte océanique (représentée par des complexes ophiolitiques) sur une zone de croûte continentale (marge continentale ou arc insulaire). C'est le phénomène inverse de la subduction.
obliquité des faciès	Fait pour un dépôt possédant une continuité latérale et revêtant un certain faciès d'avoir des âges variables en différents points. Cela est courant p. ex. pour des formations transgressives, la transgression étant de plus en plus récente vers l'intérieur des terres.

océan	<p>Vaste étendue d'eau marine à la surface de la Terre. Le fond des océans est, en grande partie, constitué par une croûte océanique. C'est pourquoi géologues et géophysiciens parlent parfois d'océan pour tout domaine ayant une croûte de cette nature. Cet abus de langage entraîne quelques confusions, un océan n'ayant pas partout une croûte océanique (ex. sur les marges continentales), une croûte océanique ne correspondant pas partout à un océan (ex. Mer rouge, Islande...). Le fond des océans a été activement exploré depuis 1950. On y distingue principalement:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1. les <b>dorsales océaniques</b> (appelées aussi dorsales médio-océaniques bien que n'occupant pas toujours une situation médiane) qui sont des alignements de hauteurs, longs de quelques dizaines de milliers de km, larges de quelques centaines. La profondeur à leur sommet est de 2,5 à 3 km, c'est-à-dire qu'elles sont plus hautes de quelque 2 km que la moyenne des fonds océaniques. En leur milieu s'observe habituellement un fossé d'effondrement que l'on nomme rift (ou rift médio-océanique). Sa genèse s'explique par la distension due au fait qu'il est le lieu où s'écartent deux plaques lithosphériques, ce qui se traduit aussi par un volcanisme basaltique sous-marin et une sismicité importante (V. tectonique de plaques, et faille transformante).</li> <li>- 2. les <b>bassins océaniques</b> qui occupent l'espace situé entre les dorsales et les marges continentales. Ils sont souvent accidentés de <b>collines abyssales</b>, petites élévations aux pentes faibles, hautes de quelques dizaines ou centaines de m et larges de quelques km. En s'approchant d'un continent, deux cas peuvent se présenter: a) celui-ci est bordé par une <b>fosse océanique</b>, sillon large de quelque 100 km et profond de 8 à 11 km (cas des <b>marges-continenteales actives, avec</b> subduction). Cette fosse reçoit alors les apports terrigènes, qui s'y sédimentent et ne vont pas plus au large dans l'océan. b) il n'est pas bordé par une fosse océanique (cas des <b>marges continentales passives, ou stables</b>, ou inactives) et les apports terrigènes, qui transitent par les canyons sous-marins, s'évalent sur le glacis continental en deltas sous-marins, et s'avancent assez loin dans le bassin océanique en formant des surfaces d'une planéité quasi absolue dites <b>plaines abyssales</b>.</li> <li>- 3. Il existe aussi des seuils (ou dorsales) <b>asismiques</b> qui se distinguent des dorsales à rift par l'absence de sismicité, et qui ne sont donc pas, au moins actuellement, des limites de plaques. Ils peuvent avoir différentes origines: dorsales médio-océaniques mortes, morceaux de continents (microcontinents séparés d'un ensemble plus vaste, alignements de volcans sous-marins).</li> </ul>
olistostrome	Accumulation chaotique de terrains empruntés au front d'une nappe de charriage, au cours de sa mise en place dans un bassin sédimentaire, par suite de leur glissement par gravité sur le fond de ce bassin. On nomme olistolites les plus gros blocs appartenant à cette masse glissée et qui sont emballés dans le sédiment en cours de dépôt.
organoclastique	= Organodétritique. S'applique aux dépôts sédimentaires détritiques riches en débris de test ou de squelette. Biodétritique ou bioclastique sont préférables car ils évitent les confusions avec la matière organique.
Ostracodes	Arthropodes dont le corps, non segmenté, est pourvu d'antennes et de pattes, et est enfermé dans une coquille bivalve chitineuse et parfois calcifiée, s'articulant au niveau d'une charnière et dont l'ouverture est assurée par un ligament élastique et la fermeture par un muscle. On trouve des Ostracodes dans tous les milieux aquatiques; ils peuvent résister à la dessiccation durant plusieurs mois. Leur taille varie de 1 à 10 mm. Ce sont de bons fossiles stratigraphiques; les déterminations se font sur les individus dégagés. Répartition stratigraphique: Cambrien - Actuel.
palaeo-, paléo-	Préfixe tiré du gr. <i>palaios</i> , ancien. La première orthographe est utilisée dans les mots latins ou latinisés, la seconde, dans les mots français.
paléoclimatologie	Science dont l'objet est la reconstitution des climats du passé. Elle utilise principalement trois groupes de méthodes: - 1. observation des dépôts ou des modèles géomorphologiques ayant une signification climatique (anciennes moraines glaciaires, tillites, transgressions eustatiques qui correspondent à des périodes interglaciaires, évaporites qui se forment dans des régions chaudes, etc.). - 2. répartition de fossiles dont on connaît, ou dont on présume, le comportement écologique (dépôt récifaux, plantes tropicales...). - 3. méthodes géochimiques permettant d'évaluer les températures du passé (ou paléotempératures).
paléoenvironnement	Ensemble des caractères physico-chimiques et biologiques des milieux du passé.
paléogéographie	Reconstitution, en plan, des différents milieux des époques du passé. Une véritable paléogéographie ne peut se faire qu'en tenant compte des déformations tectoniques subies par les régions étudiées depuis l'époque considérée, afin de remettre les différents éléments géologiques à la place qu'ils occupaient à cette époque (ce qui revient à établir d'abord une carte palinspastique). La plupart des arguments permettant de reconstituer les milieux de sédimentation sont tirés de l'étude des faciès des terrains.
paléontologie	Science qui étudie les êtres disparus, essentiellement connus par leurs restes fossiles ou les traces de leur activité, Elle se divise en paléontologie végétale (ou paléobotanique) et paléontologie animale (ou paléozoologie).
paléotempératures	Température du passé. On utilise actuellement pour l'évaluer une méthode basée sur la mesure, dans des coquilles calcaires, du rapport des isotopes $^{18}\text{O}$ et $^{16}\text{O}$ de l'oxygène. En effet, dans les carbonates précipités à partir de l'eau de mer, ce rapport n'est pas le même que dans cette eau, mais en diffère en fonction de la température. Donc, si l'on connaît le rapport originel $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et si l'on mesure celui de coquilles d'âge connu, on peut dire quelle était la température de l'eau à cette époque. En ce qui concerne $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de l'eau de mer, on peut le calculer pour les périodes où la quantité de glace stockée dans les glaciers était nulle ou presque, ce qui était le cas pendant la plus grande partie du Secondaire et du Tertiaire et, pour cette période, on peut établir une courbe de paléotempérature. Mais, pendant une glaciation, la glace ayant rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ plus faible que celui de l'eau de mer, ce dernier se trouve par là même augmenté. Il en résulte une imprécision dans le calcul des températures, mais la possibilité de mettre en évidence l'augmentation ou la diminution de la quantité de glace à la surface du globe, et donc la succession des stades glaciaires (on en a ainsi dénombré une vingtaine dans le Quaternaire).
parautochtone	= Para-autochtone. Unités d'allure autochtone apparaissant en général sous forme de fenêtres au milieu de l'allochtone, et dont on doit, pour des raisons variées, envisager l'indépendance tectonique par rapport au vrai substratum autochtone.
pélagique	1. Se dit d'un animal ou d'un végétal marin qui ne vit pas sur le fond, mais qui nage ou qui flotte (leur ensemble forme respectivement le necton ou le plancton) 2. Par extension, s'applique aussi à des roches sédimentaires qui ne contiennent que des faunes (macro- et micro-faune) pélagiques, et dont les éléments sont soit d'origine chimique et/ou biochimique (silice, calcite), soit détritiques mais très fin (argile) par ex.: calcaires fins, radiolarites, argile,... il faut noter que des faciès pélagiques ne correspondent pas nécessairement à des sédiments profonds.
pellet	Boulette de diamètre inférieur à 0,2 mm (le plus souvent 0,04 à 0,1 mm), de calcaire cryptocristallin souvent riche en matières organiques, car en grande partie d'origine fécale ( <i>fecal pellet</i> ) sans aucune structure interne visible, et pouvant constituer l'essentiel de certains calcaires (pelmicrite, pelsparite). Si le diamètre dépasse 2 mm, on passe dans le groupe des intraclastes. Mots français équivalents: pelote, boulette, grumeau, pelote fécale.
pendage	Angle entre une surface (couche, plan de schistosité, contact anormal...) et un plan horizontal, sa mesure est celle du plongement de la ligne de plus grande pente de cette surface. Le sens (ou direction) du pendage est la direction de cette ligne de plus grande pente, orientée vers le bas. Elle est perpendiculaire à la direction de la surface (qui est l'intersection de celle-ci par un plan horizontal). Sur le terrain, le pendage est mesuré à l'aide d'un clinomètre, son sens avec une boussole. Sur les cartes géologiques, le pendage des couches est indiqué généralement par une sorte de flèche en forme de T dont la pointe est dirigée dans le sens du pendage, la valeur du pendage en degrés étant le plus souvent indiquée par un chiffre, ou parfois par une longueur plus ou moins grande de la branche verticale du T (V, aussi coupe géologique). Lorsqu'une surface ayant un certain pendage est coupée par un plan vertical, le plongement de cette intersection n'est pas en général égal au pendage mais plus petit: on l'appelle pendage apparent: c'est celui que l'on voit dans les coupes géologiques, sur le front d'une carrière, etc..., il lui correspond, pour les couches, une épaisseur apparente plus grande que l'épaisseur réelle. Ces valeurs apparentes ne sont, en effet, égales aux valeurs réelles que lorsque les coupes verticales sont perpendiculaires à la direction des couches donc perpendiculaires à l'axe des plis. C'est pourquoi il est tout à fait souhaitable que, sauf besoin particulier, une coupe géologique soit orientée de cette façon.

pente (topographique)	Inclinaison de la surface topographique mesurée par l'angle dièdre entre celle-ci et un plan horizontal, On l'exprime aussi en % du rapport: différence d'altitude/distance horizontale entre deux points, Pour un angle de 45°, la pente vaut 100 %: pour un angle de 90°, elle est infinie.
perméabilité	Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide (liquide ou gaz). En ce qui concerne les terrains, on distingue généralement: 1. La perméabilité en petit qui est celle des terrains ne présentant comme vides que des pores de petites taille: c'est particulièrement le cas des sables et des grès. 2. La perméabilité en grand qui est celle des terrains fissurés ou diaclasés, ou mêmes creusés de cavités.
phase (tectonique)	Ensemble de manifestations tectoniques d'une certaine importance affectant de vastes régions, au cours d'un bref laps de temps, et séparant deux longues périodes durant lesquelles, au contraire, les déformations structurales sont absentes ou peu marquées. Une phase tectonique se traduit par des plissements, voire des nappes de charriage, et peut être accompagnée d'une granitisation, et d'un métamorphisme. Elle est généralement caractérisée par une discordance importante des couches postérieures, qui viennent reposer sur les terrains affectés par les plissements. Son âge est donc compris entre celui de la plus récente couche plissée, et celui de la première couche discordante sur les structures dont la phase est responsable. Il peut être aussi connu par la détermination de l'âge radiométrique des roches métamorphiques ou des roches éruptives correspondantes. Plusieurs phases peuvent se succéder dans l'édification d'une même chaîne, p. ex, pour la chaîne hercynienne, on observe successivement les phases bretonne, sudète, asturienne et saalienne. On a l'habitude, notamment après H. Stille, de donner aux phases importantes des noms rappelant généralement un lieu où elles sont bien caractérisées (V, tabl, stratigraphie). Le caractère discontinu de ces phases s'oppose à celui, continu, du mouvement des plaques lithosphériques. Les rapports entre ces deux phénomènes ne sont pas encore bien connus, les phases tectoniques correspondant peut-être, le plus souvent, à des phénomènes de collision.
phase ardennaise	Phase calédonienne, phase tectonique située à la limite du Silurien et du Dévonien.
photique	Qualifie les milieux marins où pénètre la lumière du jour, et où les plantes peuvent donc subsister.
pierre	Terme usuel désignant tout fragment rocheux de quelques millimètres ou centimètres. Pierre de taille, pierre à bâtir: tous matériaux rocheux pouvant être facilement taillés et utilisés pour la construction de murs, de chaussées, de trottoirs...:
pisolite	Concrétion calcaire subsphérique, de diamètre supérieur à 2 mm, à structure concentrique, et correspondant à une grosse oolite.
plage	Zone comprise entre les niveaux de la haute et de la basse mer (estran, zone intertidale) et formée de sable ou de galets (grève) mais non de vase. On y distingue diverses parties:  1. du côté de la mer, la partie la plus basse se nomme le bas de la plage qui se prolonge en mer par l'avant plage, constamment immergée. Elle est accidentée par des crêtes et des sillons pré littoraux parallèles ou presque au rivage.  2. du côté de la terre, le haut de la plage ou cordon littoral, construction sableuse allongée parallèlement au rivage et culminant à la crête de la plage. Il peut être décollé de la côte et donner une flèche littorale, qui si elle se développe jusqu'à barrer complètement une baie, isole une lagune.
planctonique	Qualifie un être vivant aquatique qui flotte dans l'eau sans nager.
platier	1. Haut-fond sous-marin à surface plane. 2. Sur le rivage, estran rocheux.
porosité	Ensemble des volumes de petites taille pouvant être occupés par des fluides (gaz, eau, pétrole) à l'intérieur d'une roche. La porosité peut-être primaire ou secondaire. Les roches poreuses peuvent être des roches réservoir.
poudingue	Roche sédimentaire détritique formée pour 50 % au moins d'éléments arrondis (galets) de diamètre supérieur à 2 mm (classe des rudites), liés par un ciment. L'arrondissement des galets est dû à une usure mécanique (transport fluvial assez long, agitation dans les vagues, ...).
profil topographique (ou coupe topographique)	Représentation de la coupe d'une surface topographique par un plan vertical: c'est un graphique qui s'exécute généralement à partir d'une carte topographique. L'échelle de la coupe peut être ou non celle de la carte utilisée pour la construire. Il n'est pas obligatoire d'adopter la même échelle pour les distances horizontales et pour les altitudes: une échelle des hauteurs plus grande que celle des longueurs permet souvent d'avoir une vision plus nette des détails du relief, mais a l'inconvénient de modifier les pentes. Si le profil topographique est destiné à établir ensuite une coupe géologique, cette opération est à proscrire car elle ne permet pas une représentation convenable des structures. Les pendages des structures sont en effet modifiés, leur tangente trigonométrique étant multipliée par le même coefficient que l'échelle des hauteurs.
progradation	Phénomène de l'avancée progressive vers le large du talus d'une marge continentale ou du front d'un delta sous-marin, du fait, en général, d'une importante sédimentation détritique.
pseudo-oolite	Petite masse ou concrétion calcaire à allure oolitique ou pisolitique, mais n'en possédant pas la structure, et dont les enveloppes éventuelles ont été formées essentiellement par une action biologique: algues filamenteuse, bryozoaires, foraminifères.
pseudomorphose	Phénomène de métamorphisme ou d'altération par lequel un minéral originel, identifiable à sa forme, est remplacé par un minéral nouveau ou par un agrégat de minéraux nouveaux.
puissance	Épaisseur d'une couche ou d'une série de couches mesurée perpendiculairement à la stratification. C'est donc l'épaisseur réelle par opposition à l'épaisseur apparente qui peut être révélée p. ex dans un sondage oblique à la stratification.
pyrite	Sulfure FeS <sub>2</sub> (traces Ni, Co, Cu, Ag, Au), du syst. cubique, en cubes parfois à faces striées (pyrite triglyphe), en dodécèdres pentagonaux (ou pyritoédres), à macles fréquentes (macle de la croix de fer); éclat métallique, jaune vif, brun par altération (goethite). Elle est largement répandue en masses, veines, imprégnations et cristaux isolés dans des filons hydrothermaux, et diverses r. magm., métam., et sédim. (riches en matière organique pour ces dernières). Elle est souvent associée à la blende, à la galène, et à la chalcopryrite dans des gisements dits B.P.G.C.
radiochronologie	Ensemble des méthodes de datation des minéraux ou des roches fondées sur l'étude de leur éléments radioactifs et de leurs produits de désintégration. Les mesures peuvent être effectuées soit sur les roches totales, soit sur les minéraux séparément. On utilise principalement suivant les cas, le rubidium et le strontium, l'uranium et le plomb, le potassium et l'argon, le carbone 14. Les âges obtenus sont appelés âges radiométriques.
ravinement	Creusement de la surface topographique par de nombreux petits talwegs à flancs raides (rigoles), entaillant des matériaux meubles.
régression	Retrait de la mer en deçà de ses limites antérieures. Dans une succession de couches, une régression sera en particulier caractérisée par la présence de dépôts continentaux surmontant des faciès marins.
remaniement	Fait pour des éléments d'une roche d'en être extrait pour participer à la constitution d'un sédiment (nécessairement plus récent); lorsque ce phénomène affecte des fossiles, il peut provoquer des erreurs de datation stratigraphique, l'âge attribué aux couches étant trop ancien. Les remaniements sont parfois difficiles à mettre en évidence, mais ils sont certains lorsqu'une formation renferme des fossiles d'âges variés.

resédimentation	Formation d'un sédiment avec des éléments tous issus d'un même sédiment plus anciens.
réservoir (roche-)	Roche suffisamment poreuse et perméable pour pouvoir contenir des fluides. Ces roches ( calcaires, dolomies, grès) ont un intérêt économique, si leurs volumes sont suffisants, et si elles sont recouvertes par des couches imperméables interdisant aux fluides de s'en échapper.
roche	Matériau constitutif de l'écorce terrestre, formé en général d'un assemblage de minéraux et présentant une certaine homogénéité statistique en général dur et cohérent (pierre, caillou), parfois plastique (ex. argile), ou meuble (ex. sable), à la limite liquide (ex. huile) ou gazeux. La classification est complexe, car basée sur un grand nombre de critères, les principaux groupes, aux frontières souvent floues, sont: 1 - r. exogènes, formées à la surface de l'écorce terrestre: 1.1 r. sédimentaires, résultant de l'accumulation d'éléments (fragments minéraux, débris coquilliers...) et/ou de précipitations à partir de solutions; les principales catégories sont les r. détritiques, et les r. biogènes et physico-chimiques. 1.2 r. résiduelles, formées à partir de r. préexistantes auxquelles les eaux ont enlevé des éléments en solution (ex. argiles résiduelles, bauxites, paléosols...) 2 - r. endogènes, formées au moins en partie à l'intérieur du globe, à des températures et à des pressions supérieures à celles régnant à la surface: 2.1 r. magmatiques, résultant de la solidification de magmas (r. fondues, au moins en partie), avec: 2.1.1 r. plutoniques, ayant cristallisé au sein de la lithosphère. 2.1.2 r. volcaniques (laves...), s'étant solidifiées, au moins en partie, à la surface de la lithosphère, 2.1.3 r. hydrothermales, constituant une catégorie un peu particulière de roches formées à partir de gaz ou de à haute température, ayant des relations variées avec les magmas. 2.2 r. métamorphiques, formées sans fusion à partir de r. préexistantes, et cela essentiellement par des recristallisations dues à des élévations de la température et de la pression.
rudite	Classe des roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont en majorité de diamètre supérieur à 2 mm.
sédiment	Ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport. Les matériaux des sédiments peuvent, p. ex., provenir de l'érosion de roches antérieures, ou résulter d'une activité organique (accumulation de coquilles...). Après un dépôt, un sédiment subit une diagenèse, et devient une roche sédimentaire. On parle en général de sédiment lorsque le dépôt est récent, surtout s'il se trouve encore dans son milieu de formation, et s'il est encore gorgé d'eau. On parle de r. sédim. lorsqu'il a été induré, avec compaction et perte de son eau d'imbibition originelle. Cependant, le mot de sédiment est employé dans tous les cas où l'on veut faire allusion à son mode de formation.
sédimentaires (roches-)	Roches exogènes. c'est-à-dire formées à la surface de la Terre, et qui représentent 5 % en volume de la croûte terrestre (continentale et océanique) et en couvrent 75 % de la surface. Elles sont très variées car leur genèse dépend de nombreux facteurs: nature initiale des matériaux désagrégés et altérés, types d'altération, mode de transport, zone de dépôt, modalités de la diagenèse. Elles constituent le plus souvent des dépôts stratifiés en lits successifs (strates). On y distingue essentiellement: - 1. Les r. sédim. détritiques, les plus abondantes, correspondant à des assemblages de débris variés issus de roches préexistantes (magm., métam., sédim.), en général unis entre eux par un ciment d'origine chimique ou biochimique. - 2. Les r. sédim. physico-chimiques ou biogènes (siliceuses, calcareuses,...), témoignant d'équilibres chimiques réalisés dans les conditions de T et P externes (de la surface des continents au fond des océans); les évaporites en sont un cas particulier, ainsi que les r. sédim. organiques (pétrole, charbon,...), qui sont des roches rares. Les principales catégories de r. sédim. sont les suivantes: 1 - <b>roches détritiques</b> s. s. (ou r. clastique s. s., ou r. deutogènes de E. Haug), formées à partir de r. préexistantes. 1.1 r. <b>terrigenes</b> , résultant de l'accumulation de débris de roches arrachés à des terres émergées, suivie d'une cimentation plus ou moins forte: 1.1.1 <b>classe des rudites</b> (grain >2 mm) - r. meubles: agglomérats, cailloutis. - r. consolidées: conglomérats (poudingues, brèches p. p.). 1.1.2 <b>classe des arénites</b> (grain de 1/16 mm à 2 mm) - r. meubles: sables (quartzeux, micacés,...). - r. consolidées: microconglomérats. arkoses, grauwackes, grès, grès quartzeux. quartzites p. p. 1.1.3 <b>classe des lutites</b> (grain 1/16 mm) r. meubles: sables. vases, limons, loess. - r. consolidées: argiles, argilites, pélites, ardoises et schistes ardoisiers p. p. 1.2 r. <b>pyroclastiques</b> , résultant de l'accumulation de débris projetés par les volcans, puis plus ou moins remaniés par les eaux courantes: cendres, cinérites, lapillis, tufs. 2 - r. <b>biogènes et/ou physico-chimiques</b> (ou r. protogènes de E. Haug), non formées à partir de r. préexistantes. 2.1 r. <b>carbonatées</b> , formées pour l'essentiel de calcite, d'aragonite, ou de dolomite, d'origine non-terrignène. 2.1.1 r. <b>carbonatées bioclastiques</b> , résultant de l'accumulation de squelettes et de fragments d'organismes animaux ou végétaux. 2.1.1.1 <b>classe des rudites (calcirudites)</b> : brèches récifales, fausses brèches p. p., calcaires construits et récifaux (biolithites), calcaires pisolithiques et oncolithiques, calcaires à entroques, lumachelles, travertins p. p. - r. meubles: sables coquilliers, sables oolithiques. - r. consolidées: calcaires bioclastiques, oolithiques, graveleux. 2.1.1.3 <b>classe des lutites (calcilutites)</b> : craie, marnes, et p. p. calcaires lithographiques et sublithographiques (V. aussi 2.1.2). Remarque: toutes ces roches peuvent être plus ou moins dolomitisées (dolomies secondaires). 2.1.2 r. <b>carbonatées physico-chimiques</b> , résultant de la précipitation directe des carbonates: dolomies primaires, calcaires stalagmitiques et stalactitiques, perles des cavernes, et p. p. calcaires lithographiques et sublithographiques (V. aussi 2.1.1.3), travertins. 2.2 r. <b>siliceuses</b> (à l'exclusion des débris terrigenes): diatomites, gaizes, jaspes, lydienes, phtanites, radiolarites, spongolites, chailles, cherts, silex, silexites, meulères. 2.3 r. <b>carbonées</b> (essentiellement constituées de composés du carbone organique): charbons (houilles, lignites, tourbes), huiles minérales (asphaltes, bitumes, pétroles). 2.4 r. <b>salines</b> (qui sont. la plupart du temps. des évaporites): halite (sel gemme), gypse, albâtre, anhydrite, sylvinite, carnallite, barytine. 2.5 r. <b>phosphatées</b> : phosphates, phosphorites. 2.6 r. <b>ferrugineuses, glauconieuses, alumineuses</b> : minerais sédimentaires de fer (minette,...), glauconite, bauxite p. p. adj. <b>sédimentaire</b> : qui se rapporte aux sédiments, aux phénomènes concernant leur genèse (V. diagenèse), aux zones où ils se forment.
sédimentation	Ensemble des processus conduisant à la formation de sédiments. On distingue la sédimentation marine (littorale ou côtière. ou océanique et bathyale ou abyssale,...), la sédimentation lagunaire (dans des zones séparées de la mer par un cordon littoral), la sédimentation continentale (éolienne, fluviale, delta-que, lacustre, glaciaire,...). Une surface assez grande où la sédimentation dure un temps assez long définit un bassin de sédimentation (ou bassin sédimentaire. généralement marin, parfois lacustre), dans lequel le taux de sédimentation s'exprime en épaisseur de sédiments formés par unité de temps (p. ex. en mm ou en centimètres, pour un millénaire ou pour un million d'années).

sédimentation océanique	<p>Sédimentation se produisant dans les océans et contrôlée essentiellement par trois variables: les apports terrigènes. La productivité biologique, la profondeur de sédimentation.</p> <p>- 1. Les <b>apports terrigènes</b> s'amenuisent en moyenne avec l'éloignement du rivage. Les débris grossiers seraient pratiquement cantonnés au plateau continental, si les courants de turbidité ne les entraînaient pas sur le glacis continental, les fractions les plus fines allant remblayer les plaines abyssales. En dehors de ces deux cas. Les seuls éléments terrigènes contribuant à la sédimentation océanique sont des argiles.</p> <p>- 2. La <b>productivité biologique</b> est étroitement liée aux remontées d'eaux océaniques profondes (« upwellings ») chargées d'éléments nutritifs. C'est notamment le cas au droit des zones équatoriales.</p> <p>- 3. La <b>profondeur de sédimentation</b> intervient sur le sort que subissent les coquilles ou les tests de foraminifères tombant au fond. Si la profondeur n'est pas trop grande, ils s'y accumulent, et le taux de sédimentation est proportionnel à la productivité biologique de la tranche d'eau sus-jacente. Si la profondeur est plus grande, les phénomènes de dissolution des carbonates sont importants et réduisent ce taux de sédimentation. Notamment, au-dessous de la profondeur de compensation des carbonates (en angl. CCD), tout le calcaire est dissous, et il ne reste plus que des dépôts argileux ou siliceux (argiles rouges des grands fonds). Les courants de fond, qui peuvent transporter ou éroder des sédiments, sont aussi à prendre en considération.</p> <p>Il est important de noter qu'un même point du fond sous-marin change de position et de profondeur du fait de l'accroissement océanique, et de la subsidence qu'il subit. C'est ainsi qu'une zone se formant d'abord à l'aplomb d'une dorsale océanique (vers 2000 m de profondeur) reçoit souvent une sédimentation pélagique calcaire. Plus tard, elle s'éloigne de cette dorsale, et s'enfonce avec son substratum de croûte océanique qui se refroidit, elle peut traverser alors la CCD, et, dans ce cas, la sédimentation deviendra argileuse.</p>
sédimentologie	Etude des phénomènes sédimentaires et des r. sédim.
septaria	Nodule ou miche, le plus souvent calcaire, situé dans des couches argileuses, montrant, en son sein, des fentes de retrait qui ont été comblées de cristaux de calcite (parfois de quartz ou de gypse). Ces fentes sont surtout développées au cœur de la septaria, mais elles peuvent atteindre la surface, et y dessiner un réseau grossièrement polygonal.
septum	Nom scientifique pour désigner une cloison dans un organisme.
séquence	Succession de couches se présentant toujours dans le même ordre, et qui se répète un grand nombre de fois, plus ou moins complètement, dans une même série.
série	Ensemble de couches sédimentaires, considérées dans leur succession chronologique.
série inverse	Succession de couches stratigraphiques qui a été renversée tectoniquement, les terrains les plus récents étant sous les plus anciens, et vice-versa.
série normale	Succession de couches stratigraphiques qui montre les terrains dans l'ordre de superposition correspondant à celui de leur dépôt, les plus anciens sous les plus récents.
shale	Mot anglais désignant toute roches sédimentaires litée à grain très fin, en général argileuse ou marneuse, et qui s'applique aussi à des schistes argileux ou à des argiles schisteuses.
silicification	Imprégnation ou épigénie par la silice d'une roche préexistante, et pouvant être liée à des phénomènes magmatiques et hydrothermaux, à des migrations de la silice dans certaines roches métamorphiques, à des précipitations de silice dans des roches sédimentaires.
silt	Mot anglais désignant les sédiments détritiques meubles dont le grain est compris entre 1/256 mm ( 3,9 μm) et 1/16 mm (62,5 μm) classe des lutites; il désigne aussi les roches sédimentaires plus ou moins consolidées qui en dérivent (siltstone). Un terme presque équivalent mais peu usité est aleurite.
siltstone	Mot anglais désignant la roche sédimentaires consolidées dérivant d'un silt. Un terme presque équivalent mais peu usité est aleurite. Le mot pélite est souvent utilisé dans le même sens.
slumping	Phénomène sous aquatique de glissement en masse de sédiments encore gorgés d'eau (glissement synsédimentaire), qui donne naissance à des plis ou à des brèches intraformationnels. Son déterminisme est encore mal connu: on a parfois constaté sa liaison avec des tremblements de terre. Il ne semble pas qu'il exige pour se produire des pentes très importantes (quelques degrés). n. m. <b>slump</b> (formation sédimentaire qui a été reprise par un slumping).
socle	Vaste ensemble de terrains, très plissés, en général métamorphisés et souvent largement granitisés, qui a été pénéplané, et sur lequel reposent en discordance des terrains sédimentaires (et/ou volcaniques) formant la couverture - 2. En tectonique, substratum de terrains sédimentaires qui, au cours d'une phase tectonique, s'est peu déformé (plis de fond, failles, ...) alors que les terrains sédimentaires s'en sont désolidarisés en donnant, par détachement, des plis de couverture, ou des nappes - 3. Substratum d'une formation géologique, que l'on ne peut pas étudier directement mais dont les limites sont fixées par des méthodes géophysiques (sismique, gravimétrie, ...). Ex: socle acoustique, ensemble réfléchissant en totalité les ondes acoustiques émises à partir de la surface de la mer ou du sol.
solidification	<p>Passage d'un corps de l'état liquide à l'état solide. Le refroidissement lent d'un magma (roches fondues) conduit à des roches entièrement formées de cristaux: la solidification est une cristallisation avec obtention d'un solide vrai, car cristallin. Un refroidissement rapide donne une roche vitreuse (ou hyaline): la solidification conduit à un « faux solide », non cristallin et se distinguant d'un liquide par sa très forte viscosité. Les modalités de la solidification dépendent sur tout de la nature chimique du liquide et, selon les cas, on a cristallisation d'un seul minéral, ou d'une série de minéraux isomorphes, ou enfin de plusieurs minéraux apparaissant selon un ordre déterminé (cf. suite réactionnelle).</p> <p>1. un liquide ayant la composition d'un minéral A se solidifie à une température déterminée TA: c'est la température de solidification (ou de fusion si partant du solide on le chauffe jusqu'à obtention de l'état liquide); à TA il y a coexistence d'une phase liquide et d'une phase solide représentée par les cristaux formés.</p> <p>2. un liquide ayant la composition du mélange de deux minéraux A et B distincts et immiscibles (mélange binaire) commence à se solidifier à une température dépendant des proportions de A et de B, celles-ci déterminant également la nature des premiers cristaux qui se forment (p. ex. cristaux de A). La fin de la cristallisation se produit à une température TE plus basse, nommée la température <b>eutectique</b>, qui reste constante pendant le temps nécessaire à la cristallisation totale du liquide restant, avec formation des cristaux du second minéral (p. ex. cristaux de B). Un diagramme [T - composition du mélange (x%A+y%B, avec x+y=100)] permet de représenter ces phénomènes et de définir: 1) le <b>liquidus</b>, ou courbe séparant le domaine où la phase liquide existe seule de celui où elle coexiste avec des cristaux, 2) le <b>solidus</b>, ou courbe séparant le domaine où la phase solide existe seule de celui où elle coexiste avec une phase liquide.</p> <p>- 3. un liquide ayant la composition du mélange de deux minéraux A et B, miscibles et formant une série isomorphe, commence puis finit de se solidifier à deux températures distinctes dépendant des proportions initiales des deux corps. Si le refroidissement est suffisamment lent, les cristaux obtenus sont tous de même nature, et constituent une solution solide ayant la composition chimique du liquide initial. Si les minéraux A et B ne sont miscibles qu'à température élevée, ils peuvent se séparer au sein du solide lorsque la température a suffisamment diminué (les cristaux de la solution solide AB donnant un assemblage de cristaux A et de cristaux B). On appelle <b>solvus</b> la courbe qui sépare en phase solide le domaine où les minéraux forment une solution solide de celui où ils sont distincts.</p> <p>- 4. des liquides ayant la composition du mélange de deux minéraux pouvant donner une espèce minérale intermédiaire, ou celui de plusieurs minéraux, se solidifient selon des modalités de plus en plus complexes, nécessitant souvent d'autres modes de représentation.</p> <p>C'est l'étude expérimentale de ces phénomènes qui permet de comprendre l'ordre d'apparition des cristaux dans les magmas (cf. suite réactionnelle) compte tenu de leurs compositions chimiques originelles, et par suite d'expliquer la genèse des diverses roches magmatiques.</p>

solifluxion	Glissement de terrain.
solution solide	Cristal homogène de composition et de propriétés intermédiaires entre plusieurs constituants purs. Ex.: entre l'albite sodique $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$ et l'anorthite calcique $\text{Ca}[\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_{13}]$ existent toutes les solutions solides intermédiaires définissant la série isomorphe des plagioclases (V. feldspath): les grenats sont des solutions solides comportant souvent trois minéraux, p. ex. un grenat = x% almandin + y% grossulaire + z% pyrope (avec $x + y + z = 100$ ).
Strate	V. couche.
stratification	Fait d'être composé de strates. Une stratification est d'autant mieux visible que les contrastes lithologiques entre les couches sont plus importants. Il ne faut pas la confondre avec la schistosité.
stratification oblique	Fait pour une couche, ou pour une formation, sédimentaire détritique d'être composée de minces lits élémentaires disposés obliquement par rapport aux limites de la couche ou de la formation. Très souvent, cette obliquité est minimale ou même nulle à la base de la couche et augmente en s'élevant dans celle-ci, jusqu'à atteindre parfois une trentaine de degrés. La surface supérieure de la couche tranche ces structures sur lesquelles vient habituellement reposer une couche plus récente. Les causes de ces dispositions, toujours liées à l'agitation du milieu de sédimentation sont, dans le détail, très variées (courants fluviaux ou marins, houles, vent,...).
stratiforme	S'applique à des structures visibles dans des roches non sédimentaires et qui ressemblent à une stratification. P. ex. caractère stratiforme des gabbros à cumulats, ou des alternances de niveaux de gabbros et de péridotites dans les ophiolites. Se dit aussi de gisements métallifères formant des lentilles allongées.
stratigraphie	Science qui étudie la succession des dépôts sédimentaires, généralement arrangés en couches (ou strates). Elle permet d'établir une chronologie stratigraphique relative, notamment par l'utilisation raisonnée de deux principes (dits principes de la stratigraphie) auxquels il ne faut pas donner une valeur d'axiome: - 1. le <b>principe de continuité</b> selon lequel une même couche a le même âge sur toute son étendue (mais cela n'est pas toujours vrai, en particulier lorsqu'il y a obliquité des faciès). - 2. Le <b>principe de superposition</b> , selon lequel, de deux couches superposées, non renversées par la tectonique, la plus basse est la plus ancienne (mais cela n'est pas vrai dans le cas des filons sédimentaires). De plus, le contenu en fossiles des couches permet d'effectuer des corrélations stratigraphiques à distance: c'est ici le rôle dévolu à la paléontologie stratigraphique. On aboutit ainsi à des divisions que l'on peut différencier selon la nature des arguments qui servent à les définir. On distingue habituellement: - 1. les <b>divisions lithostratigraphiques</b> fondées sur la nature des terrains, indépendamment de leur contenu en fossiles. La plus petite division est la couche, plusieurs couches constituent un <b>membre</b> , plusieurs membres une <b>formation</b> , plusieurs formations un <b>groupe</b> . - 2. Les <b>divisions biostratigraphiques</b> fondées sur le contenu en fossiles. La division de base est la <b>biozone</b> , diversement définie selon les possibilités ( <b>cénozone</b> , ou coenozone, définie par un certain assemblage de fossiles, <b>acmé</b> , définie par l'abondance particulière d'une espèce...) - 3. les <b>divisions chronostratigraphiques</b> caractérisées par des ensembles de couches auxquelles on fait correspondre des intervalles de temps (qui sont des divisions <b>géochronologiques</b> ). La division de base est l' <b>étage</b> défini par rapport à un affleurement type, qui sert en quelque sorte d'étalon, et que l'on nomme <b>stratotype</b> . Le nom de l'étage est le plus souvent dérivé de celui d'un lieu géographique (actuel ou antique) auquel on ajoute le suffixe -en ou -ien (ex. Le Lutétien, l'Aquitainien). Ce lieu est généralement, mais pas obligatoirement, celui où se trouve le stratotype. L'équivalent géochronologique de l'étage est l'âge dont la durée, en moyenne, est de 5 ou 6 millions d'années. Plusieurs étages forment une série (équivalent géochronologique: époque, plusieurs séries un <b>système</b> (équivalent: <b>période</b> ), plusieurs systèmes, un <b>érathème</b> (équivalent: ère), plusieurs ératèmes, un éonothème (équivalent: éon). Des divisions plus petites que l'étage peuvent être utilisées: ce sont des <b>chronozones</b> (équivalent: <b>chrone</b> ). Le terme de zone en est parfois employé comme synonyme, mais désigne aussi une biozone. Tous les noms correspondant à ces divisions doivent commencer par une majuscule (ex. Le Lutétien, la Zone à <i>Globorotalia kuglerii</i> , sauf lorsqu'ils sont utilisés comme adjectifs (ex. un calcaire lutétien, des marnes aquitainiennes).
stromatolite	Construction algale discoïde ou mamelonnée due à des Cyanophycées (Algues bleues). Répart. stratigr.: Cambrien-Actuel.
structure	Tout arrangement relatif de composants. Cette notion s'applique à n'importe quelle échelle, et dans un espace à n'importe quel nombre de dimensions (de 1 à 3 pour les corps réels, davantage en mathématiques). En géologie, on distingue généralement, selon les composants dont on considère les relations: - 1. La <b>structure cristalline</b> (réseaux, systèmes cristallins): les composants sont des atomes; - 2. La <b>structure minérale</b> (macles, zonation cristalline, structures graphique, rapakivique, hélicitique...): les composants sont des individus cristallins plus ou moins différenciés; - 3. La <b>structure des roches</b> (ou structure pétrographique, texture, fabrique, pétrofabrique): les éléments sont des minéraux (ex. structure grenue, microgrenue, foliée...); - 4. La <b>structure tectonique</b> : les éléments sont des ensembles de roches (couches, massifs éruptifs...); - 5. La <b>structure du Globe</b> : les éléments sont des ensembles distingués notamment par leurs propriétés élastiques, déduites en particulier de la propagation des ondes sismiques (croûte, manteau,...). En pétrographie, l'utilisation en concurrence des termes structure et <b>texture</b> entraîne des ambiguïtés: texture désigne en effet, en français, les relations spatiales entre les minéraux des roches (V.-3 ci-dessus), mais il est aussi utilisé dans le sens qu'il a dans les pays anglo-saxons où il désigne la structure minérale (V.-2). Il est donc souvent préférable de parler de fabrique ou de pétrofabrique dans le premier cas. D'autre part, il est vraisemblable que, le sens étymologique de texture (cf. tissu) étant encore perçu en français, ce mot évoque plus spécialement le grain d'une étoffe, c'est-à-dire ce que l'on voit à l'œil nu sur une surface à deux dimensions. C'est ainsi qu'on admet aisément des expressions comme texture rubanée, ou texture granuleuse (correspondant en volume à des structures respectivement foliée, ou grenue). D'une façon générale, il est toujours souhaitable, lorsqu'on parle de structure, de préciser à quelle échelle on se réfère et quels sont les composants intéressés.
stylolite	Structures en forme de colonnettes s'interpénétrant au sein de roches calcaires ou marno-calcaires en dessinant des joints irréguliers, généralement soulignés par une surface noirâtre ou brunâtre (produits carbonneux ou argileux). Ces figures, que l'érosion peut mettre en relief, correspondent à des surfaces de dissolution sous pression, et permettent notamment de déterminer la direction de la compression qui leur a donné naissance et qui est parallèle à l'allongement des colonnettes.
subautochtone	Terrains écaillés sous la poussée des nappes, mais situés dans l'autochtone de l'avant-pays, et n'ayant subi qu'un déplacement limité par rapport à ce dernier.
subduction	Enfoncement de grande ampleur d'une portion de lithosphère sous une autre. La notion fut proposée pour des structures alpines (zone du grand St-Bernard) où des unités orientales en plongeant sous d'autres plus occidentales ont déterminé un vaste rattachement. Le terme désigne maintenant le fait, pour la lithosphère océanique de s'enfoncer sous une autre lithosphère, continentale le plus souvent, avec formation d'une zone (ou plan) de Benioff, d'une fosse océanique et d'un volcanisme actif (riche en andésites). Le <b>taux de subduction</b> est la vitesse, pouvant atteindre 10 cm/an, à laquelle la lithosphère s'enfonce et disparaît. V. tectonique de plaques ainsi que sous-charriage.
subsidence	Enfoncement progressif, régulier ou saccadé, pendant une assez longue période, du fond d'un bassin sédimentaire, marin ou non. C'est ce phénomène qui permet en particulier l'accumulation sur de fortes épaisseurs de sédiments qui sont cependant formés sous une faible profondeur d'eau (calcaires néritiques p. ex.) Une subsidence saccadée est p. ex. responsable de la sédimentation cyclique des séries houillères. Le terme s'applique également à l'augmentation de profondeur que subit la croûte océanique lorsqu'elle s'éloigne de la dorsale où elle s'est formée, et ce phénomène commande aussi l'évolution de la sédimentation sur les fonds océaniques et sur les marges continentales.
substratum	Terme très général désignant ce sur quoi repose une formation géologique prise comme référence.
symigie	Ensemble de fossiles groupés au sein d'une roche sédimentaire et provenant de biotopes divers.

Synsédimentaire	Se dit d'un phénomène qui se produit pendant la sédimentation ou au sein d'un dépôt tout juste formé, encore meuble ou peu compacté. Ces déformations sont souvent d'aspect désordonné, avec étirements et bourrage, mais pratiquement sans cassures.
tectonique	1. Ensemble des déformations ayant affecté des terrains géologiques postérieurement à leur formation (cassures, plis, schistosité, etc.). On en exclut les déformations mineures des sédiments qui se font pendant leur dépôt (déformations synsédimentaires). V. aussi tectonosédimentaire. 2. Mécanisme de l'acquisition de ces déformations. Ex: la tectonique par gravité. - 3. Leur étude: Ex: Traité de tectonique.
tectonique de couverture	Ensemble de déformations acquises par une couverture sédimentaire qui s'est désolidarisée de son substratum. Celui-ci est un socle au sens tectonique qui peut comporter un socle (au sens stratigraphique) surmonté ou non d'un tégument. Le décollement de ces couches se fait généralement à la faveur de niveaux plastiques (parfois nommés couche-savon): dans les Alpes, ce sont bien souvent les couches gypsifères du Trias. Pour les ensembles ressortissant à ce style tectonique, on parlera de chaînes, nappes, plis ou plissements de couverture. Ant. tectonique de fond, tectonique de revêtement.
tectonique de fond	Tectonique affectant des terrains anciens recouverts ou non d'une couverture sédimentaire discordante, et se traduisant surtout par des failles et des ondulations à grand rayon de courbure.
tectonique de plaques (ou tectonique globale)	Hypothèse, solidement étayée aujourd'hui, selon laquelle la partie superficielle de la Terre (lithosphère) est formée de <b>plaques</b> rigides d'une centaine de kilomètres d'épaisseur, flottant sur l'asthénosphère déformable. Ces plaques sont constituées d'une partie du manteau supérieur surmontée, suivant les cas, de croûte continentale ou océanique (V. Terre). Dans ce dernier cas, elles peuvent disparaître par plongement (subduction) au niveau des fosses océaniques, et se renouveler (accrétion) par apports volcaniques au droit des dorsales océaniques. La différence essentielle entre la dérive des continents de A. Wegener et la tectonique de plaques est que, pour la première, les continents sialiques étaient supposés se déplacer sur leur substratum simique (comme des bateaux sur l'eau), alors que dans la seconde, les continents se déplacent de concert avec les fonds océaniques (comme des morceaux de bois pris dans une banquise) l'ensemble flottant sur l'asthénosphère. On distingue trois sortes de limites entre les plaques: <p>- 1. Les <b>zones d'accrétion</b> (ou d'expansion) océaniques, qui se situent au niveau des dorsales océaniques. Elles sont marquées par une importante anomalie thermique, positive, corrélative d'une remontée de l'asthénosphère à leur aplomb. On considère ces zones comme des régions de production de croûte océanique ce qui se manifeste au fond de l'océan, dans le rift, par un volcanisme basaltique avec épanchement de laves en coussins (pillow lavas): ce phénomène s'appelle l'accrétion océanique. Les nouvelles laves s'écartent progressivement de part et d'autre du milieu du rift, immédiatement remplacées par d'autres laves plus jeunes, de telle sorte que le fond océanique évoque un double tapis roulant à mouvement centrifuge. Au moment de leur refroidissement, les laves fossilisent le champ magnétique par thermorémanence: le fond sous-marin montrera ainsi des anomalies magnétiques allongées parallèlement à chaque dorsale, et correspondant aux différentes périodes où il s'est créé. Cela permet de reconstituer la position des plaques à l'époque (V. paléomagnétisme). Au cours de son écartement de la dorsale, la plaque océanique nouvellement créée, se refroidit, s'épaissit, devient plus dense, et par conséquent déprime l'asthénosphère: il se produit ainsi une subsidence du fond océanique. D'autre part, elle se recouvre de sédiments qui, bien entendu, ne peuvent être plus anciens que la croûte océanique elle-même (son âge étant défini par le moment où elle s'est formée au niveau de la dorsale), ce qui est confirmé par les sondages.</p> <p>- 2. Les <b>zones de subduction</b>. Il arrive un moment où, probablement par suite de son alourdissement, la plaque à croûte océanique se met à plonger dans l'asthénosphère: c'est la subduction qui se produit généralement, mais non obligatoirement, à la limite d'une croûte continentale qui, plus légère, reste en surface. A cette subduction, sont liés un certain nombre de phénomènes: <p>a) le creusement, le long de la zone de subduction d'une dépression allongée, correspondant à une <b>fosse océanique</b>, marquée par une anomalie isostatique négative importante;</p> <p>b) la production de séismes par frottements ou relaxations le long du plan de subduction. La surface où se situent ces foyers sismiques est appelée plan (ou zone) de Benioff. La profondeur de ces foyers a une limite de l'ordre de 700 km, que l'on estime correspondre à celle où la plaque lithosphérique se résorbe au sein de l'asthénosphère, c) la formation possible d'un prisme d'accrétion constitué d'un empilement d'écaillles tectoniques formées de sédiments et de roches volcaniques, et plongeant sous le continent d) un volcanisme andésitique situé à la verticale de la plaque plongeante.</p> <p>- 3. Les <b>faillestransformantes</b>, Ce sont des limites entre plaques où il n'y a ni création ni absorption de matière: il en résulte qu'elles sont parallèles au mouvement des plaques (lequel n'est pas forcément perpendiculaire aux dorsales), qu'elles guident en quelque sorte, ce qui nous le fait connaître sans ambiguïté. Elles peuvent relier, deux à deux, dorsales et zones de subduction.</p> <p>La tectonique de plaques permet donc une synthèse de bien des mesures géophysiques. Elle offre aussi un modèle en grande partie quantitatif pour le mouvement des masses continentales, l'évolution de la sédimentation océanique, l'édification des orogènes. Le mouvement des plaques a en effet pour conséquence l'ouverture et la fermeture de domaines océaniques, cette dernière s'accompagnant d'une collision de blocs continentaux avec formation des chaînes de montagnes. La séquence théorique complète des événements est la suivante:</p> <p>1) Stade de distension avec création de fossés (en angl. <i>rifting</i>). Ce stade est aujourd'hui observable p. ex. en Alsace, en Limagne, et dans la région des grands lacs africains. Ces fossés, qui sont au centre d'un vaste bombement topographique présentent un flux géothermique supérieur à la moyenne, un volcanisme basaltique, une sismicité élevée, une sédimentation épaisse et souvent évaporitique.</p> <p>2) Stade océan étroit: il y a eu création d'un fond océanique, mais la faible largeur de l'océan interdit le renouvellement de l'eau profonde par les courants, ce qui entraîne leur stagnation (stratification des eaux), empêche leur oxygénation, et engendre un milieu réducteur (euxinique) où la matière organique se conserve (boues noires et boues sapropéliques). Ce stade est aujourd'hui en partie illustré par la Mer Rouge.</p> <p>3) Stade océan large: c'est celui auquel est parvenu l'Atlantique actuel: la circulation des eaux entraînées par les courants y est aisée et, sur les fonds, l'oxygène se renouvelle: la matière organique s'y oxyde et disparaît. La répartition de la sédimentation est alors essentiellement gouvernée par trois paramètres: la quantité des apports détritiques, la productivité biologique du milieu océanique, l'éloignement de la dorsale, qui conditionne l'âge du fond océanique et donc sa profondeur (V. sédimentation océanique).</p> <p>4) Stade de subduction: dans les stades antérieurs, le contact océan-continent, se faisait au sein d'une même plaque au niveau d'une marge continentale passive (ou de type atlantique). Mais, il peut se produire alors un découplage entre la partie continentale et la partie océanique, cette dernière s'enfonçant sous la première: on a ainsi séparation en deux plaques, et création d'une marge continentale active (ou de type pacifique) bordée par une fosse océanique. De la marge continentale, se détachent parfois des arcs (ou guirlandes) insulaires par création entre eux et le continent, de mers marginales à fond océanique, ou peu différent.</p> <p>5) Stade de collision: le découplage au niveau des marges actives rend possible la fermeture de l'océan, par resserrement des marges continentales, en liaison avec l'expansion d'autres fonds océaniques. Le terme ultime de ce resserrement est la rencontre de deux continents ou collision: c'est à elle que l'on doit attribuer la création des orogènes, comme l'orogène alpin (des Alpes à l'Himalaya), la chaîne hercynienne, etc...</p> <p>Ce rapide aperçu n'épuise pas tous les aspects de la tectonique de plaques, dont le moteur est, selon toute vraisemblance, la convection thermique des parties visqueuses du manteau.</p> </p>
tectonique de revêtement	Structures affectant une couverture sédimentaire qui s'adapte seulement aux déformations du socle sous-jacent, plissé et fracturé, en ne s'en désolidarisant pas. Elle s'oppose en cela à la tectonique de couverture.
tectonique de socle	Terme généralement employé comme synonyme de tectonique de fond. Il prête cependant à confusion, un socle pouvant être affecté d'une tectonique tangentielle, et donner lieu à d'importants chevauchements (nappes de socle).

tectonique embryonnaire	Tectonique compressive tangentielle qui se serait produite dans des stades anciens de l'évolution géosynclinale, et au cours de laquelle des hauts fonds (géantoclinaux) se seraient transformés en cordillères dissymétriques, alimentant des formations béchiques, et embryons de futures grandes nappes de charriage; « le géantoclin briançonnais est l'embryon de la nappe du Grand St-Bernard » (E. Argand). Cette conception est généralement abandonnée aujourd'hui. adj. embryotectonique.
tectonique par gravité	Acquisition de structures par glissement sous l'action de la gravité (glissement gravitationnel). Ex.: « collapse structure », décoiffement, formation de klippe sédimentaire (V. aussi olistostrome), diverticulation. Lors de l'avancée des nappes de charriage, la tectonique par gravité intervient dans des proportions difficiles à définir. Pour certains auteurs, elle a une importance capitale (les nappes viendraient alors de zones en surrection rapide dont la couverture se décollerait et glisserait au loin).
tectonosédimentaire	Qui participe à la fois de la tectonique et de la sédimentation. Ex.: on considère les olistostromes comme étant des phénomènes tectonosédimentaires, ainsi que la désorganisation (plis anarchiques, bréchification partielle) de sédiments encore meubles sous l'action de mouvements du substratum (jeux de failles, p. ex.).
terrigène	Se dit de tout élément figuré (fragment de roche, minéral, ...) qui a été arraché à une terre émergée par l'érosion, ainsi qu'aux sédiments qui en sont constitués.
test	Enveloppe calcaire de certains Invertébrés (Échinodermes, Foraminifères).
texture	V. Structure.
thalassocratique	S'applique à une période pendant laquelle, du fait d'une importante transgression marine, la plus grande partie des plateaux continentaux est immergée. Ant. géocratique.
thanatocénose	Ensemble d'organismes fossiles ayant vécu dans un même biotope et transportés, après leur mort, dans un même lieu de dépôt où ils constituent tout ou partie d'un sédiment. V. aussi symmie, biocénose.
thèque	Enveloppe calcaire en forme de boîte de certains Invertébrés (Graptolites, Échinides, Crino-des).
thixotropie	Propriété pour un sédiment cohérent mais gorgé d'eau (sable, sablon, tange, vase) de devenir brusquement liquide sous l'effet d'un ébranlement mécanique. C'est le phénomène responsable de l'enlèvement dans les sables mouvants.
tidal	Mot anglais signifiant relatif à la marée, parfois utilisé en français dans le même sens. L'emploi de ce terme est rare, mais celui des dérivés suivants (également anglais) est courant: -1. <b>cotidal</b> adj. [du lat. <i>co-</i> , avec]: où la marée parvient au même moment; p. ex. un ligne cotidale. -2. <b>infratidal</b> adj. [du lat. <i>infra-</i> , au-dessous]: situé au-dessous du niveau de la basse mer. -3. <b>intertidal ou intercotidal</b> adj. (du lat. <i>inter-</i> , entre): se dit de la région située entre la <b>basse et la pleine</b> mer (on dit aussi: zone de battement des marées, ou estran). V. marnage (= amplitude des marées). -4. <b>supratidal</b> adj. [du lat. <i>supra-</i> , au-dessus]: situé au-dessus du niveau de la pleine mer. Tous ces mots pourraient, peut-être, être remplacés par des dérivés de marée: <b>maréal, comaréal, inframaréal, intermaréal, supramaréal</b> .
tidalite	Sédiment <b>déposé dans la zone</b> de battement des marées. On pourrait peut-être remplacer ce mot par <b>maréite</b> .
transgression	Avancée de la mer au-delà de ses limites antérieures. Dans une succession de couches, une transgression sera en particulier montrée par le repos de couches marines sur des formations continentales, ou sur une surface d'érosion.
tsunami	Onde affectant la surface de la mer, provoquée par un séisme et causant à son arrivée sur les côtes, des raz-de-marée destructeurs.
turbidite	Couche de sédiments détritiques déposée en une fois par un courant de turbidité. Son épaisseur est de l'ordre de quelques décimètres, parfois d'un ou deux mètres, rarement plus. Sous sa forme la plus complète, une turbidite peut être décrite par la <b>séquence type de A. Bouma</b> qui comprend cinq <b>intervalles</b> , de bas en haut: A: grossier et grano-classé B: gréseux, fin et laminaire: C: fin, convoluto ou ondulé D: silteux, fin et laminaire: E: argileux. Cette séquence type est souvent incomplète, et l'examen des séries qui en sont formées ( <b>analyse séquentielle</b> ) donne des indications sur les conditions de la sédimentation: près de la source des apports, l'intervalle A est spécialement développé (turbidites proximales), loin de celle-ci, (turbidites distales) il est absent. Le matériel dont sont formées les turbidites est le plus souvent quartzeux, mais parfois calcaire (calcaires allodapiques). On en connaît aussi bien en milieu marin que lacustre. Elles constituent à peu près l'intégralité des formations de type flysch, une partie de celles de type molasse.
type	Individu ou partie d'individu vivant ou fossile, ou même trace d'activité biologique, pris comme étalon de référence pour la définition d'un groupe zoologique ou botanique (particulièrement d'une espèce). Suivant les modalités de désignation, importantes compte tenu des règles de nomenclature, on en distingue plusieurs catégories. Si l'individu a été figuré et désigné de façon non ambiguë dans la première publication de l'espèce, il s'agit de l' <b>holotype</b> , les autres exemplaires figurés en même temps étant des <b>paratypes</b> . Si la première publication n'a pas désigné explicitement d'holotype, tous les spécimens alors figurés ou désignés sont des <b>syntypes</b> (syntypes et paratypes sont des <b>cotypes</b> ), et on peut ultérieurement choisir parmi eux un spécimen étalon qui est nommé <b>lectotype</b> . S'il y a eu perte ou destruction de tous les types énumérés ci-dessus, on peut alors désigner un autre individu de référence qui est un néotype. D'autre part, on parle parfois de <b>topotypes</b> pour des individus rapportés à la même espèce que le type et provenant du même lieu.
ultra-abysal	V. hadal.
Vergence	Sens de déversement ou de déjettement d'un pli, et qui est donc l'opposé de sens du pendage du plan axial de ce pli. Par extension, on utilise ce mot pour le sens vers lequel se font les chevauchements.
viscosité	Résistance qu'un corps déformable d'une façon permanente oppose aux forces qui lui sont appliquées.
zoogène	Se dit de roches sédimentaires édifiées par des animaux (ex. calcaires construits) ou formés des débris de leurs tests.

## Références bibliographiques

- 1968, Tissus de polissage abrasifs et produits pour métallographie, AB METAL DIGEST, Vol. 10
- Babin C., 1991, Principe de Paleontologie : Les stromatoporoides et les chaetetides pp. 227-231, Ed Armand Colin Paris
- Bathurst R. G. C., 1995, Burial diagenesis of limestones under simple overburden. Stylolites, cementation and feedback, Bull. Soc. géol. Fr. , n° 2, pp. 181-192
- Bathurst R. G. C. , 1970, Problems of lithification in Carbonate Muds, reprints from the Proceedings of the Geologists' Association, Vol. 81, Part 3, Pages 429-440
- Bathurst R. G. C., 1967, Depth indicators in Sedimentary Carbonates, Marine Geol., 5 p.447-471
- Bultynck P., Coen-Aubert M., Dejonghe L., Godefroid J., Hance L., Lacroix D., Preat A., Stainier P., Steemans Ph., Streeel M., Tourneur F., 1991, Les Formations du Devonien moyen de la Belgique, Mém. Expl. Cartes Géologiques et Minières de la Belgique, N° 30
- Coen M. 1974, Le Frasnien de la bordure orientale du Bassin de Dinant, Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 97, pp. 67-103
- Coen-Aubert M., Coen M., 1974, Le Givetien et le Frasnien dans la Vallées de la Meuse, Se Tailfer à Yvoir (Bord Nord du bassin de Dinant), Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 97, pp. 499-424
- Conil R. 1988, Paléontologie, Notions élémentaires à l'usage de la première licence en Science
- Conil R., Groessens E., Lejeune M., Pel J. Tsien H. H., Septembre 1975, Livret - Guide, Second Symposium international sur les coraux et récifs coralliens fossiles, Excursion C (Nord de la France et Belgique, Paris,
- Cornet P. , 1975, Thèse de doctorat: Morphogenèse, caractères-écologiques et distribution des stromatoporoides dévoniens au bord sud du bassin de Dinant (Belgique), Louvain -la-Neuve

- Cornet P., 29 juillet 1975, Paléontologie, Morphogenèse et caractères écologiques des Stromatoporoïdes du Bassin de Dinant (Belgique), Note, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 279
- Cuif J.-P., Gautret P., 1991, Étude de la répartition des principaux types de Démosponges calcifiées depuis le Permien. Hypothèse d'une incidence des conditions océanologiques sur la biominéralisation carbonatée des spongiaires., Bull. Soc. géol. France, t. 162, n°5, pp. 875-886
- Devos P., 1991, Éléments de Zoologie, Fascicule 1., Souche animale fondamentale et ligne d'évolution des Arthropodes, FUNDP
- Duarne B., 1979, La Géologie du Marbre de Rance, Société d'Histoire Régionale de Rance, Musée du Marbre
- Ducarme B., 1983, Étude d'un aspect du Frasnien dans le Bord Sud du Synclinorium de Dinant dans la région de Philippeville, G.E.S.T.
- Ducarme B., 1983, Le bord Nord du Synclinorium de Namur, La Vallée de l'Orneau, G.E.S.T.
- Folk R. L., January 1959, Practical petrographic Classification of Limestones, Bulletin of the American Association of Petroleum geologists.
- Friedman G. M. , 1995, Early submarine Cementation in fore-reef carbonate sediments, Barbados, West Indies, Discussion, Sedimentology 42, p. 707
- Friedman G. M. , Sanders J. E., 1978, Principle of Sedimentology, John Wiley & Sons, New York
- Friedman G. M., 1964, Early Diagenesis and lithification in Carbonate Sediments, Journal of Sedimentology, Vol. 34, No. 4, pp. 777-813
- Friedman G. M., 1985, The Problem of Submarine cement in Classifying Reefrock: An Experience in Frustration, The Society of Economic Paleontologists an Mineralogists, p. 117-121
- Friedman G. M., Address of the retiring President, Society of economic Paleontologists and Mineralogists, The making and Unmaking of Limesstones or the Downs and Ups of Porosity, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 45, No, 2, pp. 379-398

- Geister J., 1991, Lathuillière B., Jurassic Coral Reefs of the Northeastern Paris Basin (Luxembourg and Lorraine), International Association for the study of Fossil Cnidaria and Porifera, Bern/Switzerland,
- Goreau T. F., Octobre 1979, Goreau N., Goreau T. J., Coraux et récifs coralliens, Pour la Science, Vol. 24, pp. 77-88
- Harland W. B., Armstrong L. R., Cox A. V. Craig L. E., Smith A. G., Smith D. G., 1989, A geologic time scale, Cambridge University Press
- Hartmann W. D., Goreau T.F., 1970, Jamaican coralline sponges: Their morphologie, ecology and fossil relatives in Symp. Zool. Soc. London 25 pp. 205-243
- Hedberg H.D. 1979, Guide stratigraphique international, Doin Éditeurs, France
- Kazmierczak J., 1976, Cyanophycean nature of stromatoporoids, Nature, September 10
- Kühlmann D. H., 1985, Living Coral Reef of the World, Arco Publishing New York
- Lachkhem H., Mistaen B., 1994, *Stachyodes australe* Wray 1967: Stromatopores à morphologie et mode de croissance particuliers, Mémoires Institut Géologique de l'Université Catholique de Louvain t. XXXV, p.191-195
- Laporte Léo F. , February 1974, Reefs in time and space selected examples from the recent and acient reefs, University of California, Society of economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication N° 18 .Tulsa, Oklahoma , USA
- Lecompte M., 1951-1952, Les Stromatoporoides du Dévonien moyen et supérieur du Bassin de Dinant, Première et deuxième Parties, Mémoire N°116, Institut Royal des Sciences Naturelles de Beligues,
- Lecompte M., 1959-1960, Compte rendu de la session extraordinaire de la Société Géologique de Belgique et de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'hydrologie du 25 au 28 septembre 1959, Société géologique de Belgique 23
- Lecompte M., 1963, VI e Congrès international de sédimentologie  
Hollande-Belgique Excursions C-D

- Lecompte M.,                   Febbraio 1965, La Scuola in Azione, Quelques concepts généraux sur les Récifs résultant de l'étude de Devonien de la Belgique, San Donato Milanese
- Lecompte M.,                   Octobre 1952, Révision des Stromatoporoïdes Mésozoïques des collections Dehorne et Steiner, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bulletin, Tome XXVIII, n° 53, Bruxelles
- Lowe D.R.,                      1982, Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 52, No.1, 279-297
- Mennesier M.                   Mai 1994, Evolution : Sur la piste des grands tueurs, Science et Vie, n°20
- Michel J. -P.,                  Fairbridge R. W., 1992, Dictionnaire des Sciences de la Terre,Anglais-Français, 2<sup>e</sup> édition; Masson, Wiley
- Mistiaen B.,                   1984, Disparition des Stromatopores paléozoïques ou survie du groupe: hypothèse et discussion, Bull. Soc. Géol. France, n°6, p. 1245-1250
- Morzadec P.,                  Paris F., Racheboeuf P.R., Mai 1989, Dévonien, Miscelanea geologica X, 4, p. 5
- Nichols R. J.,                  Sparks R. S. J., Wilson C. J. N., April 1994, Experimental studies of the fluidization of layered sediments and the formation of fluid escape structures, Sedimentology, Volume 41, Number 2, p.233-253
- Olivier W. A.                  Chlupac I., 1991, Defining the Devonian: 1979-89, Lethaia, Vol 24, p. 119-122
- Overlau P.,                    1994/1995, Cours de Paléontologie, 1. Licence
- Pavans de Ceceatty            M., Août 1989, Les Éponges, à l'aube des communications cellulaires, Pour la Science, n° 142; pp. 64-72
- Rougerie F.,                  Salvat B., Tatarata-Couraud M., Juillet-Août 1992, La mort blanche des coraux, La recherche, N° 245, pp. 826-834
- Sandberg P. A.,                1 September 1983, An oscillating trend in Phanerozoic non-skeletal carbonate mineralogy, Nature vol. 305, pp. 19-22
- Shinn E. A.,                    1968, Practical Significance of Birdseye Structures in Carbonate Rocks, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 38, No. 1, pp. 215-223

- Stearn C. W., 1972, The relationship of the stromatoporids to sclerosponges, *Lethaia*, Vol. 5, pp. 369-388, Oslo, October 15th
- Stearn C. W., 1975, The stromatoporoid animal, *Lethaia*, Vol. 8, pp. 89-100, Oslo
- Stearn C. W., September 1980, Classification of the Paleozoic Stromatoporoids, *Journal of Paleontology*, V. 54, No. 5, p. 881-902,
- Stentoft N., 1994, Early submarine Cementation in fore-reef carbonate sediments, Barbados, West Indies, *Sedimentology* 41, Number 3, p. 585-604
- Stentoft N., 1995, Early submarine Cementation in fore-reef carbonate sediments, Barbados, West Indies, Reply, *Sedimentology* 42, p. 708
- Tsien H. H. , 1980, Les Régimes récifaux dévoniens en Ardenne, *Bull. Soc. belge de Géologie*, T. 89, fasc. 2, pp. 71-102, Bruxelles
- Tsien H. H., 1977, L'activité récifal au cours du Dévonien moyen et du Frasnien en Europe occidentale et ses particularités en Belgique, *Ann. Soc. Géol. Nord*, XCVII, 1, 57-66
- Tsien H. H., 1994, The role of Microorganisms and the origin of Micrite components in Algal Reefs and Micrite mounds, *Mémoires Institut Géologique de l'Université Catholique de Louvain t. XXXV*, p. 123-135
- Tsien H. H., Dricot E., Mouravieff A. N., Bouckeaert J., 1973, le Frasnien de la coupe de Tailfer, *Professional Paper*, N°11
- Tsien H. H., May 1977, Morphology and development of devonien reefd and reef complexes in Belgium, *Proceedings, Third International Coral Reef Symposium*, Miami
- Tsien H. H., Middle Devonien an Frasnian Stratigraphy of Belgium
- Vacelet J., Juin 1983, Les Éponges calcifiées et le récifs anciens, *Pour la Science* n° 68, pp. 14-22
- Van Winkel E., 1964, Contribution à l'Étude ecolodique du Frasnien moyen dans le Bassin de Dinant et au Bord Sud du Bassin de Namur, Thèse de Doctorat, UCL, Institut Géologique

Wilder H. ,

27. November 1985, Mikrofazielle und geochemische Untersuchungen zum oberdevonischen Stromatoporen - Riffsterben am Nordrand des mitteleuropäischen Varistikums, Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des Akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften,

## Ouvrages généraux consultés

- 1976, Dictionary of Geological Terms, The American Geological Institute, Anchor Press
- Collinson J. D., Thompson D. B., 1982, Sedimentary Structures, George Allen & Unwin, London,
- Cornet C., 1993/1994, Travaux pratiques de Paléontologie, 1. Licence
- Fagerstrom J. A., 1987, The évolution of reef communities 600 , John Wiley.
- Foucault A., Raoult J.-F, 1980, Dictionnaire de Géologie, Masson,
- Grassé P .P., 1970, Poisson R. A., Tuzet O., Précis de Sciences Biologiques , Facultés, Grandes Écoles, Zoologie I Invertébrés, 2<sup>e</sup> édition, Masson et C<sup>ie</sup> Éditeurs
- Lombard A., 1957, Géologie de la Belgique, Les Naturalistes Belges
- Lucas G., Cros P., Lang J., 1976, Les roches sédimentaires, 2 Étude microscopique des roches meubles et consolidées, Doin,
- Maillieux Eug., 1933, Terrains, Roches et Fossiles de la Belgique, Deuxième Édition, Patrimoine du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique
- Mamet B., 1961, Réflexion sur la classification des calcaires, Extrait du Bulletin de la Société belge de Géologie de Paléontologie et d'Hydrologie, Bruxelles, Tome LXX, fascicule 1
- Mays H., 1985, BLV. Bestimmungsbuch Fossilien München
- Michel J. -P., Fairbridge R. W., 1992, Dictionnaire des Sciences de la Terre, Anglais-Français, 2<sup>e</sup> édition; Masson, Wiley
- Moore R. C. , 1964, Treatise on Invertebrate Paleontology, Part C, Protista 2, Volumes 1 et 2 The Geological Society of America and University of Kansas Press
- Moore R. C. , Lalicker C. G., Fisher A. G., 1952, Invertebrate Fossils, Mc Graw - Hill Book Company, INC

- Moore R. C. , Press 1956 (reprinted 1967), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part F Coelenterata, The Geological Society of America and University of Kansas
- Moore R. C. , Treatise on Invertebrate Paleontology, Part H, Brachipoda, Volumes 1 et 2 The Geological Society of America and University of Kansas Press, 1965
- Pettijohn E. J., 1975, Sedimentary Rocks, Third Edition, Harper International Edition
- Piveteau J., 1952-1953, Traité de Paléontologie I: Les stades inférieurs d'organisation du règne animal, Traité de paléontologie II: problème d'adaptation et de phylogénèse, Traité de Paléontologie III: Les formes ultimes d'invertébrés, morphologie et évolution, Masson Paris VI
- Robaszynsky F., Dupuis C., 1983, Guides Géologiques Régionaux, La Belgique, Edition Masson Paris
- Schumann W., 1977, Mineralien Gesteine, Merkmale, Vorkommen und Verwendung, BLV Naturführer
- Shrock R. R., 1948, Sequence in Layered Rocks, McGraw-Hill book Company, Inc.
- Shrock R. R., 1953, Twenhofel William H., Principle of Invertebrate Paleontology, Second Edition , McGraw-Hill Book Compony
- Smith A. G., Hurley A. M., briden J. C., 1981, Phanerozoic paleocontinental world maps, Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press
- Svenek J., Bariand P., Pros L., 1987, Minéraux, Gründ
- Termier H. G., 1960, Paléontologie stratigraphique, Deuxième Fascicule, Dévonien - Carbonifère - Permien, Masson et C<sup>ie</sup>, Paris
- Uwe G., 1995, Korallenriff, Geo, Nr. 5, pp. 12-58
- Vatan A., 1967, Manuel de Sédimentologie, Édition Technip, Paris
- Visser W. A., 1980, Geological Nomenclature, Royal Geological and Mining Society of the Netherlands

- Walter M. R., 1976, Developments in Sedimentology 20, Stromatolites, Elsevier
- Whitten D. G. A., 1972, Brooks J. R. V., The Penguin Dictionary of Geology, Penguin Books
- Ziegler B., 1983, Introduction to Paleobiology, General Paleontology, Ellis Horwood Limited
- Zittel Karl A., 1887, Traité de Paléontologie, Tome II, Partie I, Paris
- Zittel Karl. A., 1883, Traité de Paléontologie, Tome I, Partie I, Paris

# **Annexes**

# Annexe 1

## 1.L'environnement récifal

### 1.1. Récifs

Les définitions de récif, bioherme et biostrome varient suivant les auteurs.

Récif: Corps carbonaté constitué par une accumulation d'organismes sessiles qui construisaient, et construisent encore, une charpente solide et qui constituent, des structures incluses dans leurs détritits biogènes accumulés à leur pied.

Une grande confusion règne au sujet des définitions des termes désignant les formations construites et il faut se méfier des abus commis lors de l'utilisation de ces mots.

Pour les marins, qui ont créé le terme, un récif désigne tout simplement une chaîne de rochers à fleur d'eau. Pour les scientifiques, il s'agit de constructions biologiques résistantes, situées à faible profondeur

On peut se baser sur la " Skeletal limestone classification ", proposée en 1962 par NESLSON, BROWN et BRINEMAN, qui se fonde sur la composition organique, la morphologie et l'origine des constructions biologiques, car aucune classification ne peut remplacer une bonne description.

On appelle Reef, en anglais, les édifices construits par des organismes fixés ayant une charpente susceptible de résister dans des limites assez larges aux actions mécaniques des vagues. Souvent le nom de récif corallien est appliqué indistinctement à divers types de formation construite. Les diverses classifications devraient permettre une discrimination des différents types conduisant à la mise en évidence des conditions de leur genèse.

Un récifs comporte de très nombreux constituants organiques: Algues Coelentérés etc., parfois il ne comporte qu'une seule espèce. On propose donc une distinction selon le nombre de constituants (polystoeïque, oligostoeïque, monostoeïque). Il est important de préciser le niveau systématique. Par exemple un récif corallien peut être largement polystoeïque au niveau de l'espèce ou du genre, tristoeïque au niveau de l'embranchement. Il peut exister des différences entre diverses portions d'un même édifice.

Les conditions écologiques qui étaient en vigueur lors de la construction constituent un caractère important. L'édifice peut se former en mer peu profonde, chaude, tempérée ou froide, ou à des profondeurs appréciables en eau salée ou douce. Il faut aussi tenir compte des conditions écologiques particulières actuelles, qui sont apparues plus ou moins récemment. L'apparition des Zooxantelles, par exemple, est pratiquement impossible à repérer dans les récifs fossiles.

Il faut aussi considérer la manière dont les organismes fixent la matière minérale pour contribuer à la construction. On nomme squelettogène, un édifice fait de matériel minéral appartenant en propre à l'organisme et allochimogène, les édifices provenant de précipités induits par l'activité biologique d'organismes non munis de squelette susceptible de se conserver. Allosorogène s'applique aux constructions dues à des êtres vivants qui fixent activement ou passivement, des fragments quelconques. Divers intermédiaires peuvent exister.

## 1.2. Biostrome et bioherme

Bioherme (CUMINGS, 1930, du grec *bios*, vie et *herma*, écueil, rocher): constructions faites par des organismes fixés, dont la dimension verticale est du même ordre de grandeur que l'horizontale. Cette morphologie indique une tendance à la croissance verticale destinée à contrebalancer l'approfondissement de la mer.

Biostrome (CUMINGS 1932, du grec *bios*, vie et *stroma*, couverture): strate de morphologie normale à puissance beaucoup plus petite que ses dimensions horizontales, on a pratiquement toujours appliqué ce terme à des couches riches en organismes constructeurs, entiers ou brisés, originellement fixés, mais la plupart du temps, détachés de leur support et souvent transportés. Dans les récifs actuels et fossiles, on constate que les organismes fixés, conservés en position de vie, constituent l'exception.

Selon l'échelle d'observation, une même formation peut être à l'échelle métrique être considérée comme un bioherme et à l'échelle hectométrique comme biostrome.

RÔLE	CHARPENTE		CIMENT	DESTRUCTION	HABITANTS
	fonctionnelle	filtrante			
Organismes	Framer	Baffle	Binder	Destroyer	Dweller
Localisation sur ou dans le récif	superficielle	superficielle	interne	superficielle et sur les flancs	sur et entre les récifs
Direction de croissance	verticale, (vers le haut)	verticale, (vers le haut)	latérale		
Caractéristiques de l'organisme	Structure rigide	Structure souple	incrustant encroissant	perforant, râpeur, etc...	nageant, rampants etc.
Morphologie typique	colonies massives subsphériques, en dôme branchues (colonnes)	colonies fasciculées tiges cylindriques en éventail, bol,	lamellaire (tapis, tissus)		
Groupes d'organismes les plus fréquents	Coraux Porifères Stromatopores Rudistes, Gastéropodes vermetif.	Anthozoaires Porifères Algues	Algues Bryozoaires Porifères Foraminifères	Echinodermes Mollusques Brachiopodes "Vers" Poissons	Crustacés Mollusques Brachiopodes Foraminifères Poissons
Type de roche	Framestone	Bafflestone	Boundstone	Detrital fill	

Tableau III: Les principales caractéristiques de la communauté récifale, d'après P. Overlau, 1995, cours de Paléontologie

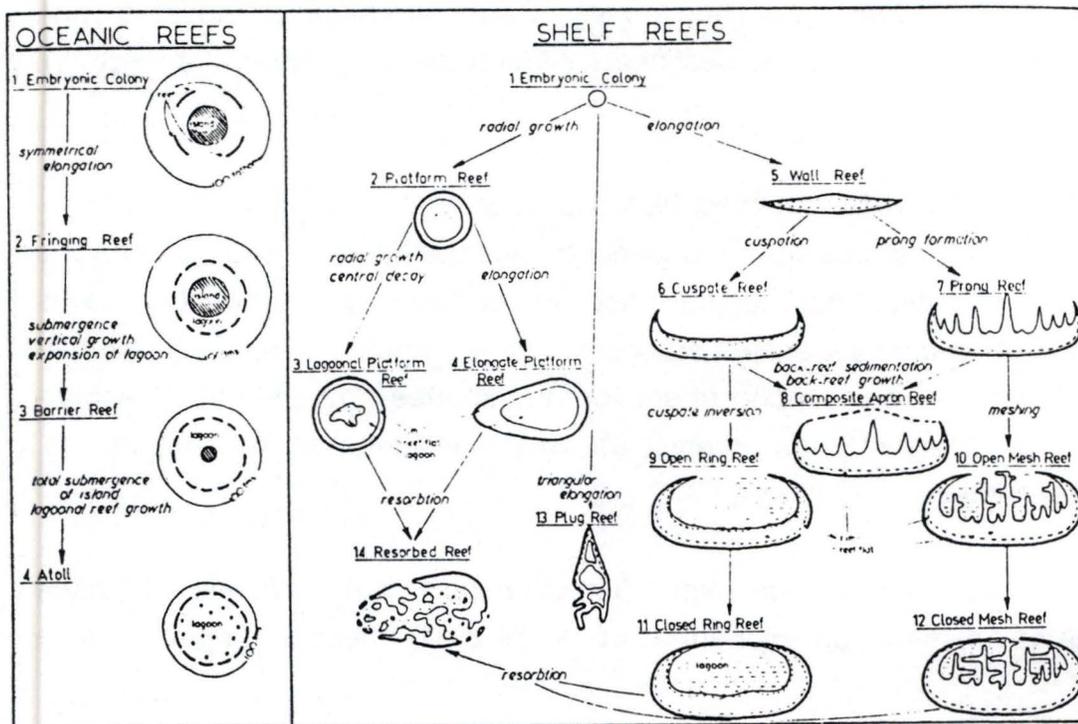


Figure 31: Classification des récifs (Maxwell, 1968), d'après L. Laporte, 1974, Reefs in time and space, p. 2

### 1.3. Constituants d'un récif (Tableau III):

Dans certains dépôts actuels, on distingue des coraux solitaires qui ne construisent pas d'édifices coralliens, ceux-ci ne sont généralement pas associés aux algues. Ces coraux sont dit ahermatypiques. Ils préfèrent les milieux meubles, souvent à grains très fins à ultra fins, et se développent souvent à des profondeurs plus grandes que celles où se développent les coraux constructeurs nommés hermatypiques; ils peuvent parfois subsister dans des environnement défavorables aux récifs. Les fossiles en position de vie sont strictement autochtones, les bioclastes inclus dans le récifs sont considérés comme paraautochtones ou subautochtones car, leur déplacement a été minime. Des vagues, tempêtes et courants peuvent emporter des bioclastes à des distances plus ou moins grandes. On parle alors de fossiles allochtones. Si ces fossiles restent néanmoins au voisinage de leur récif d'origine, on parle de suballochtonie ou d'accumulations périrécifales.

Les organismes constructeurs (Framer) édifient un charpente rigide. Parmi eux on peut compter les Hexacorallières, les Tétracorallières, les Stromatopores, certains Bryozoaires et certains Spongiaires. Après leur mort, leur squelette peut servir de support stable pour la continuation du récif, ceci semble plus rare de leur vivant.

Les organismes capteurs (Baffler), à charpente souple, freinent la circulation de l'eau, ce qui peut entraîner une sédimentation par piégeage des particules apportées par les courants et les vagues. Cette sédimentation appelée "bafflestones". Parmi les Baffler on peut compter: les Algues filamenteuses, les Zoanthaires, les Bryozoaires mous, les Spongiaires à squelette de spongine et les Crinoïdes.

Les organismes destructeurs (Destroyer) qui habitent le récif exerce leur activité indispensable au bon équilibre de la communauté récifale. Il s'agit de prédateurs, nécrophages, épibiontes ou endobiontes. On peut citer les bactéries, les tarets, les éponges perforantes...

Les organismes fixateurs (Binders) vivent entre les organismes cités ci-dessus, si les conditions d'agitation et d'éclairement sont satisfaisantes. Ce sont essentiellement des algues filamenteuses qui englobent les grains superficiels et créent un voile organique souple qui augmente la résistance à l'érosion du sédiment. Les Foraminifères encroûtants et le Bryozoaires fenestellidés jouent un rôle analogue.

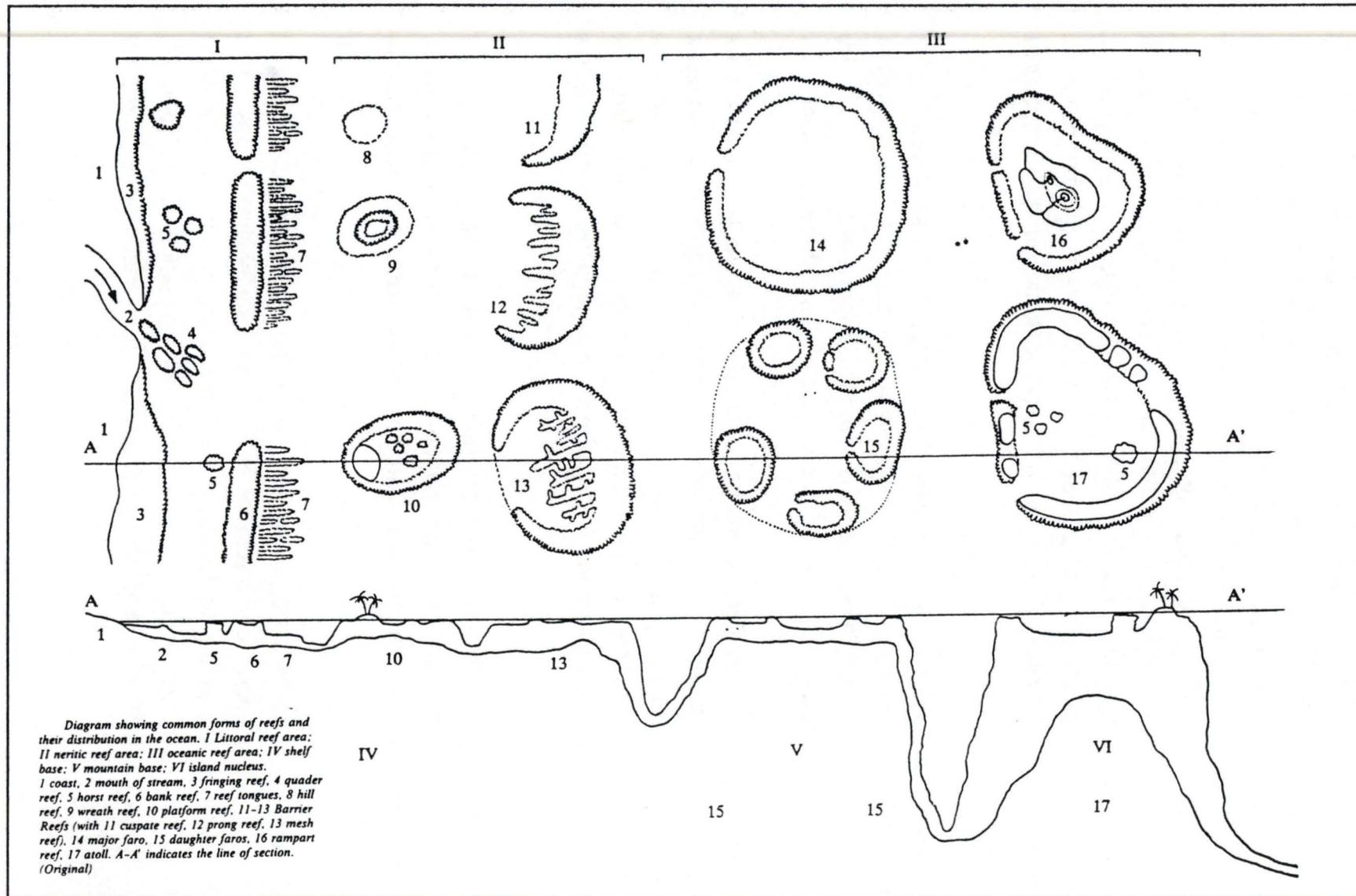


Figure 32: Diagramme reprenant les formes récifales et leur distribution océanique, d'après D. Kühlmann, 1985, p.60.

Les organismes commensaux (Dwellers) tels les poissons, crustacés et coquillages profitent des conditions exceptionnelles du milieu d'alimentation et d'abris que constitue le récif.

#### **1.4. Classification morphologique des récifs (figures 31 et 32):**

De tels critères s'appuient sur leur forme, leur relief, leurs dimensions et leur relation avec les terres émergées (voir figure ).

##### Les récifs frangeants:

Ils se situent à faible distance des côtes, moins d'un km, dont ils sont séparés par des lagons de faibles profondeurs, inférieure à 10 m et leur relief est très plat. Ils forment une barrière plus ou moins continue, parallèle à la côte et interrompue localement par des passes navigables parcourues de puissants courants, qui permettent à l'eau de mer de renouveler progressivement les eaux du lagon.

##### Les récifs barrières:

Ils se situent sur le plateau continental et restent parallèles à la côte mais se situent à plus grandes distances des côtes. Ils se présentent en bandes allongées et assez larges, et sont entourés de zones marines à faible profondeur.

##### Les récifs indépendants du plateau continental:

###### **La Grande Barrière de Corail:**

Située au large de l'Australie, elle se localise sur un plateau sous marin situé à très faible profondeur. Elle se caractérise par les très grandes profondeurs de l'océan qui l'entourent. Le plateau récifal de plusieurs centaines de m de largeur s'étire sur plus de 2000 km de longueur, entrecoupé par de larges passes marines.

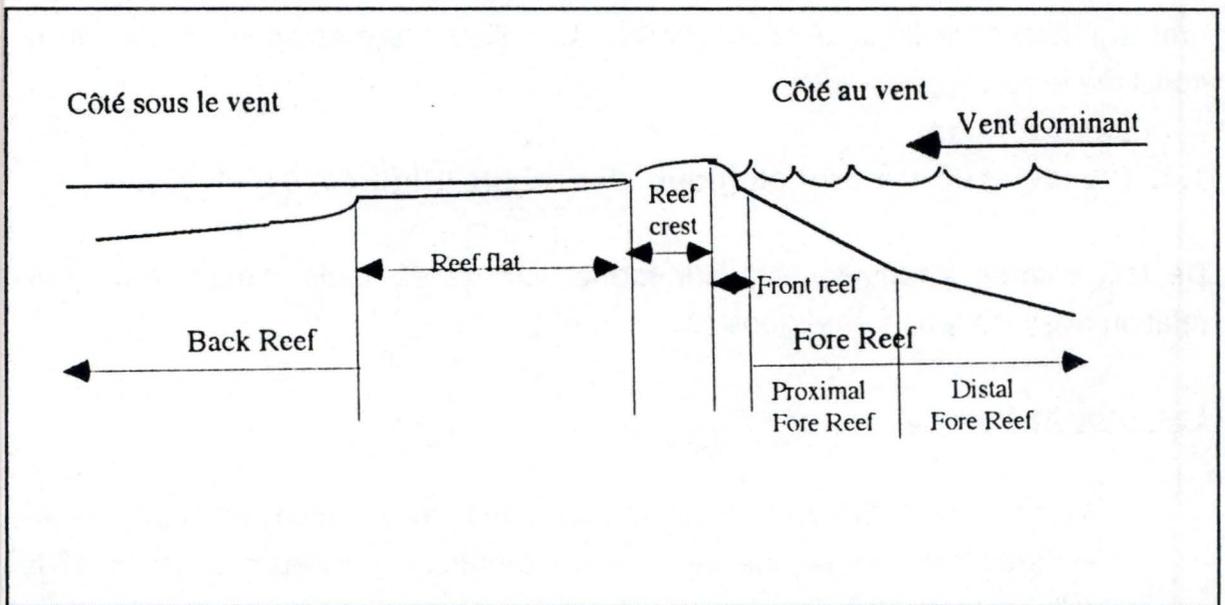


Figure 33: La zonation récifale, d'après P. Overlau, 1995, Cours de Paléontologie

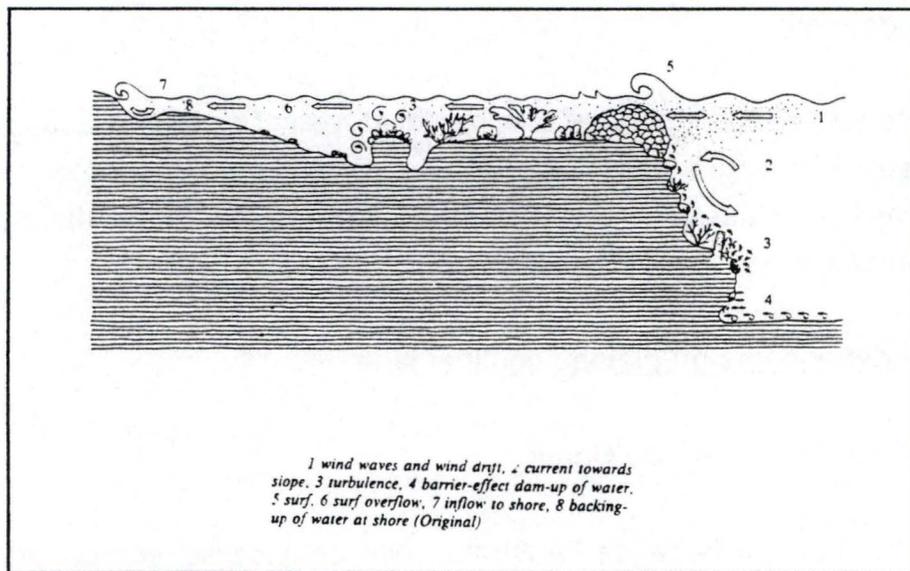


Figure 34: Mouvement de l'eau et sédimentation dans un récif barrière, d'après D. Külmann, 1985, p. 38

## Les Atolls:

Ils se présentent comme des îles récifales annulaires entourant un lagon en communication restreinte avec le large. Leur diamètre est compris entre quelques hectomètres et une trentaine de km. Le lagon peut être parfois occupé, au moins partiellement, par une île volcanique ou même par un volcan actif.

## Les bancs coralliens:

Ils se présentent comme des récifs frangeants plats, qui se raccordent à la terre ferme sans lagon interposé. De même, il existe des récifs, circulaires sans lagon central, que les anglo-saxons appellent "Table-reef."

## Les patch reef:

Dans les lagons, on observe des mini-récifs couvrant au maximum quelques mètres carrés. Ils se développent sporadiquement car les eaux y sont plus calmes, parce qu'abritées, et moins riches en oxygène et en nutriments. Ils sont parfois concentrés en aval des passes marines qui interrompent la barre récifale, profitant ainsi des arrivées d'eaux un peu moins apauvries.

## **1.5. Zonation récifale (Figures 33 et 34):**

Compte tenu des vents dominants, la houle attaque les récifs selon une direction prédominante. De ce fait on distingue une zone exposée au vent ("Fore reef") et une zone protégée ("Back reef") voir figure :

### Le "fore reef":

Il est soumis à l'agitation quasi permanente de la houle et les bases des organismes vigoureux sont sporadiquement envahis par les débris les plus grossiers que les vagues exceptionnelles arrachent dans leur voisinage. On assiste à un granoclassement latéral des débris. Les plus grands sont déposés à faible profondeur, à courte distance du "fore reef" et vers l'avant du récif, on passe progressivement à des grains de plus petite taille, au fur et à mesure que la profondeur augmente et que l'agitation diminue. On peut ainsi distinguer une zone proximale à granulométrie plus grossière et une zone distale à granulométrie plus fine.

### Le "front reef":

Il correspond à la zone frontale du "fore reef", battue par les vagues et les déferlantes et sa pente nette, généralement courte, comporte des formes solidement ancrées et résistantes. Les organismes morts sont emportés lors de mers fortes soit vers le pied du "fore reef", soit projetés vers le "back reef".

### Le "reef flat":

Les débris sont projetés et s'accumulent au delà du "front reef" où l'agitation résiduelle les disperse et les étale en une zone subhorizontale de faible profondeur, le "reef flat".

### Le reef "crest":

Une accumulation très localisée sur le "reef flat" peut finir par émerger et former une crête temporaire, celle-ci peut éventuellement se stabiliser et former une île, qui peut finalement être colonisée par des plantes terrestres.

### Le "back reef":

Le "back reef" se trouve sous le vent, c'est-à-dire à l'abri du récif, et ses eaux sont moins agitées et donc moins bien oxygénées. C'est une zone d'accumulation des débris provenant du "fore reef" par projection lors des tempêtes ou par les courants violents qui drainent les chenaux karstiques, ou les passes marines. Ces injections d'eaux oxygénées et riches en éléments nutritifs dans la zone du "back reef" modifient localement les conditions écologiques..

## 1.6 Lagon

On retrouve souvent les termes de " lagunaire " ou " sublagunaire" dans la littérature géologique qui traite des récifs (Lacroix 74, Tsien 77).

Malheureusement, ces termes peuvent prêter à confusion car la langue française ne fait pas de différence pour signifier qu'ils proviennent du substantif "lagune" ou "lagon". En reprenant les définitions des différents dictionnaires francophones et anglo-saxons, on peut affirmer qu'on a affaire, dans notre cas, à un **lagon** plus ou moins éloigné d'une côte et situé au voisinage, et à l'arrière des récifs.

### DÉFINITION LAGUNE, LAGON, LAGOON, LAGUNA

- Foucault A. Raoult J.F. : Dictionnaire de géologie, Masson 1980

lagon n.m. de l'espagnol laguna, lagune

Étendue d'eau marine au coeur d'un atoll ou entre la côte et un récif barrière.

lagune n. f. du latin lacus, lac

Étendue d'eau plus ou moins salée, séparée de la mer par un cordon littoral (v. plage) adj. lagunaire, préfixe laguno- (lagunomarin ou lagunolacustre pour des séries sédimentaires dont l'origine est mixte).

plage: haut de la plage ou cordon littoral : construction sableuse allongée parallèlement au rivage et culminant à la crête de la plage. Il peut être décollé de la côte et donner une flèche littorale que, si elle se développe, peut aller jusqu'à barrer complètement une baie isolée ou lagune.

- DICTIONARY OF GEOLOGICAL TERMS, 1976

lagoon :

1. Body of shallow water, particularly one possessing a restricted connection with the sea.

2. Water body within an atoll or behind a barrier reef or island.

laguna :

1. shallow ephemeral lakes, mostly found in the lower parts of the bolsons and fed by stream whose source are neighbouring mountains and which flow only during time of storm. ( bolson: In southwest U.S.A. and northern Mexico a basin, depression or valley having no outlet and which, geologically as a closed basin, has received great thicknesses of sediments).

2. a lake or pond.

3. a pseudokarst feature; large shallow sinks with clay bottoms; developed in silt and sand of south-central U.S.A.

- VISSER W. A. GEOLOGICAL NOMENCLATURE, ROYAL GEOLOGICAL AND MINING SOCIETY OF THE NETHERLANDS 1980

lagoon :

1. a shallow stretch of sea water near or communicating with the sea and partly or completely separated from it by a low, narrow, elongated strip of land such as a barrier reef or an island.

2. a shallow body of water enclosed or nearly enclosed within an atoll.

**1.7. Conditions écologiques influençant les milieux récifaux**

*1.7.1 Récifs actuels:*

- Profondeur (0-40m)
- Eau chaude (18-35 °C)
- Transparence suffisante pour les algues vivant en symbiose avec les coraux
- Taux suffisant en O<sub>2</sub> libre
- Salinité normale des mers (± 35 g/l)

Ils profitent des courants de Upwelling pour leurs nutriments.

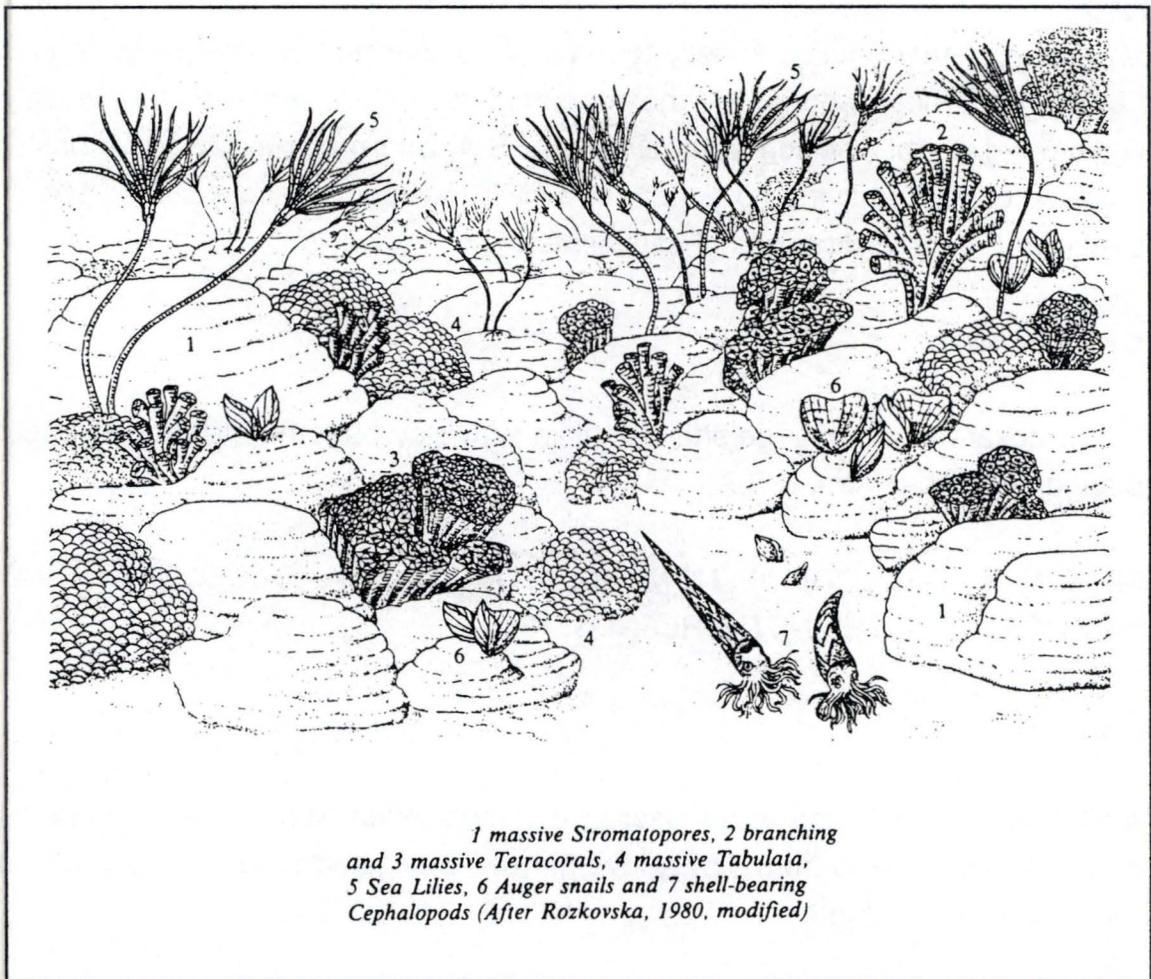


Figure 35: Reconstitution d'un récif dévonien, d'après D. Kühlmann, 1985, p. 22

### 1.7.2 Récifs fossiles (Figure 35):

Biostrôme: (extension latérale de loin supérieure à son épaisseur)

-Contraintes climatiques:

Température de l'eau suffisante et relativement constante.

Peu de précipitations météoriques, sinon la stratification de l'eau se détériore à la moindre turbulence.

Pas de vents trop violents pour les mêmes raisons.

- Plate-forme stable:

- Équilibre entre subsidence, eustatisme et croissance pour éviter l'exondaison mortelle, la destruction ou un approfondissement trop rapides.
- Eau peu profonde et claire (zone euphotique), c'est-à-dire loin des apports de boues argileuses.
- Équilibre entre la croissance et les apports de nutriments et de détritiques en provenance du continent et des récifs croissants sur les plates-formes avoisinantes.
- Stabilité des conditions chimiques et de salinité.
- Milieu riche en oxygène renouvelé par l'agitation des vagues et des déferlantes.
- Association de constructeurs de récifs poussant lentement sur un fond avec une croissance verticale freinée par l'agitation croissante, ou par la durée des émergences.

Bioherme: (extension latérale du même ordre de grandeur que son extension verticale)

-Situation:

Bord de plate-forme ou plate-forme fortement ondulée.

- Turbulence suffisante, aération intensive, apports de substances nutritives importants.
- Association faunistique à taux de croissance élevé.
- Faune adaptée aux courants forts et développement de formes incrustantes.

Autres contraintes:

- Conditions climatiques analogues à celles des biostrômes.
- Transparence de l'eau suffisante (zone euphotique) c'est-à-dire faible turbidité de l'eau ou très faible profondeur.

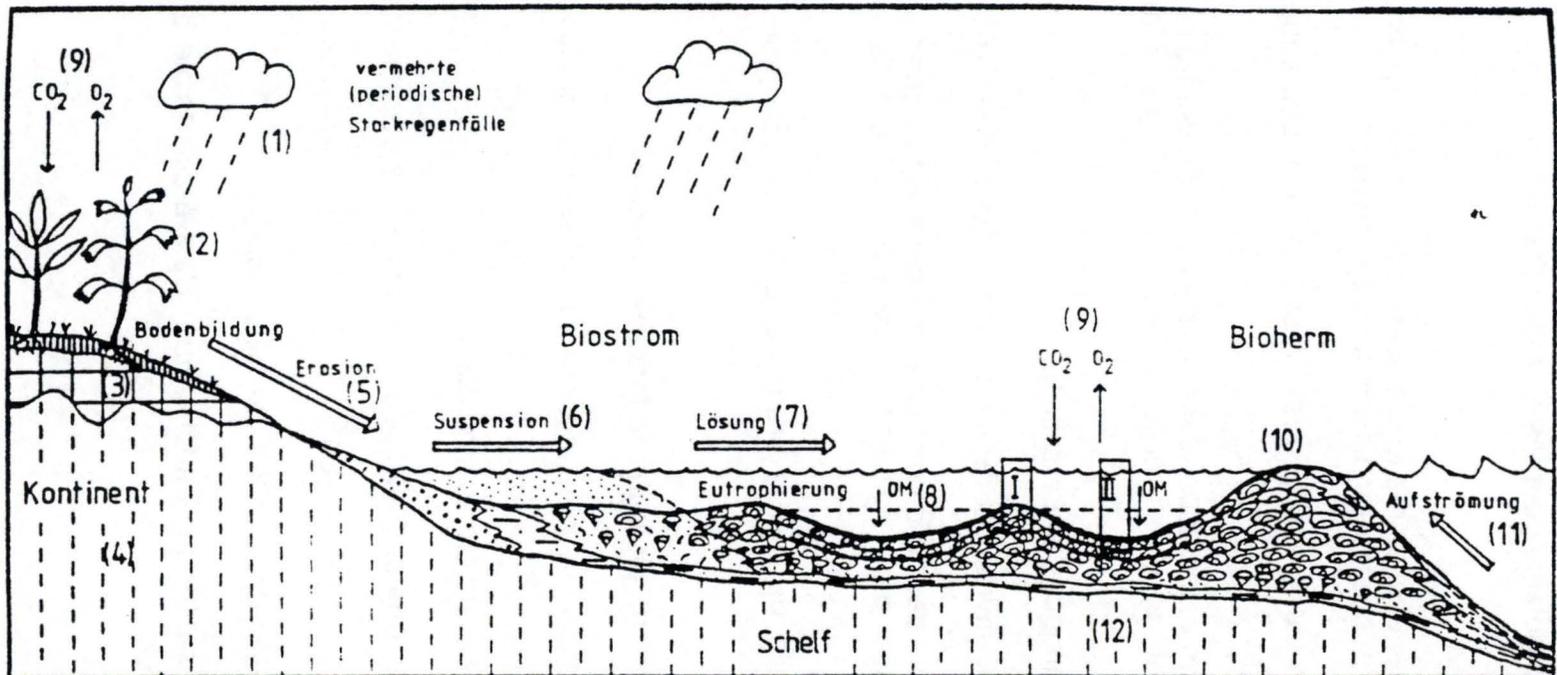


Abb.:44 Kausalkettenprozesse im Bereich der oberdevonischen Biosphäre

Erklärung der Indexziffern (1) - (12) im Text

 Zone der Bodenbildung

 Öl Red Kontinental- u. Schelfbereich

 Überwiegend Suspensionsfracht

 Zone der chemischen Verwitterung

 Sillkoklastika

 Riffbereich: Korallen/ Stromatoporen

WILDER (1985)

Figure 36: D'après Wilder, 1985, p. 121

-Conditions chemo-thermodynamiques restant stables pendant un temps suffisant.

- Milieu suffisamment aéré et non réducteur.

Le moindre changement environnemental entraîne des modifications dans la croissance récifale

Comparaisons:

Les biohermes ont plus de chances de survie car ils se trouvent, en général, plus loin du continent, là où les influences terrestres et détritiques sont moindres. Ils sont moins sensibles aux changements de courant et de profondeur. Étant punctiformes ou en cordon les problèmes de surface (précipitation, éruption volcanique, apports détritiques ou clastiques) les affectent moins car ils sont plus facilement dispersés.

Les biostromes sont plus sensibles car leur développement subhorizontal à faible profondeur d'eau les rend tributaires de l'équilibre fort précaire entre subsidence, transparence, aération, chimie de l'eau, apport de nutriments par le continent ou par la mer. C'est une association faunistique en équilibre plus instable et fragile. Ils sont sensibles aux facteurs de surface (apports clastiques ou volcaniques, métaux lourds, vagues, tempêtes ...). En cas de transgression ils ne peuvent pas réagir comme les biohermes en croissant verticalement sur toute leur étendue, mais seulement sur leur périphérie exposée, qui se comporte alors comme un petit bioherme. Ces facteurs peuvent être indirectement la cause de la disparition des récifs dévoniens.

### **1.8. Mortalité récifale**

L'extinction des récifs n'est pas un phénomène synchrone dans le bassin dévonien:

Elle se passe durant le Famennien inférieur à Hellig Heu Gebirge en Allemagne, du Givetien au Frasnien moyen dans le Rhénohercynien, en Ardenne-Eifel et en région belge.

Selon Wilder 1985, la mortalité serait due à une tendance à l'eutrophisation et il a analysé des données dans différents profils pour trouver une explication à la genèse et à la provenance de la matière organique qui a provoqué cette eutrophisation (Figure 36).

D'autres causes sont à envisager:

- Fortes subsidences correspondant peut être à une transgression.
- Diminution de la profondeur de l'eau et fin de croissance.
- Fermeture d'un bassin entraînant une augmentation de la salinité et mortalité.
- Éruptions volcaniques asphyxiant les organismes sous une épaisse couche de cendres.

Selon Fagerstrom (1983 in Wilder 1985), les Stromatopores auraient survécu à la mortalité récifale et leur endémisme croissant serait dû une combinaison d'actions physiques et chimiques de facteurs environnementaux.

Selon Mc Laren (1983 in Wilder 1985), une météorite ou un changement rapide dans la production de phytoplancton en serait la cause. On trouve dans le dévonien supérieur et inférieur un niveau noir, qui pourrait s'interpréter comme un horizon d'eutrophisation, avec des sédiments euxiniques dans le back-reef.

## Annexe 2

### 2. Les minéraux carbonatés au microscope polarisant:

#### 2.1. La calcite

##### 2.1.1. Le minéral

CaCO<sub>3</sub>: Rhomboédrique

En lumière naturelle ou en lumière polarisée simple, la calcite cristallisée présente les caractères suivants:

Clivages faciles formant souvent un quadrillage losangique, parfois curviligne surtout quand on a affaire à des dolomites [ Ca Mg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]

- Incolore ou gris.

- Relief variable mais généralement très fort.

En lumière polarisée croisée, on peut observer des couleurs très délavées et des extinctions assez brutales.

##### 2.1.2 La roche calcaire

L'analyse pétrographique des calcaires et des restes organiques nécessite la description précise des cristaux de calcite aussi bien que des corps figurés, fossiles, oolithes, pellets.

###### 2.1.2.1 La formes des cristaux:

On distingue trois types essentiels, les cristaux sont soit granulaires (remplissage de vide ou recristallisation, soit prismatiques (par précipitation), soit fibreux (fossiles ou oolithes).

###### 2.1.2.2. La taille des cristaux:

Elle est importante tant pour l'identifications des restes organiques que pour la classification des roches calcaires.

a) Micrite: ce terme d'origine anglosaxone a supplanté depuis 1960 les termes plus classiques de cryptocristalline ou de calcite felsitique. La micrite se présente en lame mince comme une matière terne gris-brunâtre, plus ou moins opaque, très finement granulaire. La micrite impure peut présenter des teintes brunes en lame mince, grises à noires sur échantillon dues à la présence de matière organique, d'oxydes, de sulfures de fer, ou d'argile en mélange intime.

b) Microsparite ou microspar remplace actuellement microcristallin ou microspathique. La microsparite présente une teinte plus claire et plus granuleuse que la micrite.

c) Sparite ( ex macrocristalline ou spathique). La sparite plus épaisse que les 30 µm d'épaisseur de la lame mince apparaît limpide, clivée ou maclée.

Les limites et les termes employés varient selon les auteurs:

R. L. Folk (1961): micrite 1-4  $\mu\text{m}$ , sparite hésitations entre  $> 4\mu\text{m}$  et  $10 \mu\text{m}$

C.V. Chilingar, H. J. Bissel et K. H. Wolf (1967): micrite  $< 5 \mu\text{m}$ , microsparite de 5 à  $20 \mu\text{m}$  et sparite  $> 20 \mu\text{m}$ .

### *2.1.3. Précipitation directe à partir de solutions:*

La calcite prend naissance dans les roches sédimentaires suivant diverses modalités. Elle cristallise en sparite dans les pores ou les cavités intergranulaires des roches meubles, dans les loges restées vides de tests d'invertébrés, ainsi que dans les moules dus à la dissolution de tests et dans les fractures ouvertes ou tout autre méat d'origine diagénétique. Elle est alors limpide et facilement identifiable.

### *2.1.4 Remplacement de l'aragonite:*

L'aragonite originelle de la plupart des tests calcaires recristallise souvent en calcite secondaire sous forme de mosaïque cristalline où subsistent quelques impuretés ou des fibres anciennes indispensables pour la détermination des restes.

### *2.1.5. Recristallisation :*

La microsparite et parfois la sparite proviennent de la recristallisation de micrite avec modification de la taille, de la forme et de l'orientation des cristaux. Ceci s'accompagne parfois d'un changement de la nature minéralogique et chimique des cristaux, comme on l'observe dans les phénomènes de dolomitisation.



### *2.1.6. Épigénie:*

La calcite peut remplacer certains minéraux dont elle conservera la morphologie ou d'autres caractères comme le clivage (pseudomorphose).

## 2.2. L'aragonite

### 2.2.1. Le Minéral

CaCO<sub>3</sub>: Orthorhombique

- Clivage facile parallèle à la zone d'allongement
- Incolore
- Réfringence un peu supérieure à la calcite

La densité de l'aragonite (2,94) permet théoriquement de la séparer de la calcite (2,71).

Il est quasi impossible au microscope polarisant de distinguer la calcite de l'aragonite dans les roches sédimentaires, sans l'aide de colorations spécifiques. En effet, l'aragonite métastable se transforme facilement en calcite dans les roches anciennes et notamment dans les tests d'organismes. Ces microstructures originelles peuvent aider à l'identification de la structure primitive. La plus grande solubilité de l'aragonite explique l'existence d'un grand nombre de fossiles à l'état de moules ou le remplacement du test par une sparite de remplissage. Dans certains cas, toute trace de microstructure primitive a disparu, mais il peut se produire un remplacement progressif de l'aragonite par de la calcite qui conserve alors des fantômes de microstructure.

## 2.3. La dolomite

### 2.3.1. Le minéral

Ca Mg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>: Rhomboédrique.

- Clivage comme dans la calcite, mais moins facile et moins nombreux et souvent courbe.
- Incolore, mais souvent teintée de brun parce qu'une partie du Mg<sup>++</sup> est remplacé par du Fe<sup>++</sup>.
- Réfringence supérieure à la calcite, mais peu discernable en lame mince.

### 2.3.2. La dolomie

Lors de la dolomitisation des calcaires, quelles qu'ils soient, la dolomite est souvent automorphe ou subautomorphe et en lames minces on repère des formes losangiques caractéristiques du système rhomboédrique.

Certaines faces des rhomboèdres présentent une ou plusieurs zones de croissance, soulignée par des impuretés, encapuchonnant le centre du cristal;

Certains indices permettent de soupçonner la présence de dolomite épigénique dans les roches sédimentaires, mais ceux-ci sont difficilement perceptible dans les habitus micro- et cryptocristallins.

L'identification calcite-dolomite est facilitée par coloration des sections polies et des lames minces avec de l'alizarine qui colore la dolomite en rouge.

## ANNEXE 3

### 3. La classification des roches carbonatées

Les roches carbonatées sont des roches sédimentaires formées de plus de 50 % de carbonates (calcite, dolomite, aragonite). Représentant 20 % des roches sédimentaires, elles couvrent de vastes surfaces sur les continents et ont une grande importance pratique. On y distingue deux groupes principaux, les calcaires et les dolomies avec tous les intermédiaires possibles.

Indépendamment des nomenclatures pratiques mentionnées en annexe 2, on utilise diverses classifications fondées surtout sur la structure de ces roches, examinées le plus souvent au microscope.

#### 3.1. Classification de R. FOLK (1959)

- Une classification complexe mais détaillée a été présentée par R. Folk (1959); elle prend en compte la nature du ciment (orthochèmes) et celle des éléments figurés (allochèmes) de la roche.

- Les **orthochèmes** (= constituants orthochimiques) [du grec *ortho*, droit, et de l'anglais *chemical*, chimique]:

Il s'agit de cristaux du ciment formés dans le bassin de sédimentation sous forme de:

- 1. micrite (contraction de l'anglais *microcrystalline calcite*), en particules de 1 à 4  $\mu\text{m}$ , impliquant une formation en eau très calme puisqu'il s'agirait d'une boue produite par l'abrasion des calcaires.

- 2. sparite (contraction de l'anglais *spar calcite* = calcite spathique pouvant être francisé en spathite) en cristaux  $> 10 \mu\text{m}$ , le plus souvent de 20 à 100  $\mu\text{m}$ , qui par précipitation directe, remplissent les pores entre des éléments déjà accumulés, le milieu étant assez agité pour avoir empêché le dépôt de particules plus fines. La présence de cette sparite indique donc, en principe et sauf recristallisation, un milieu à haute énergie, peu profond.

-3. microsparite, ces cristaux de 5 à 10  $\mu\text{m}$ , résultent en général d'une recristallisation de micrite.

- Les **allochèmes** (ou constituants allochimiques) [du grec *a//o*, autre, et de l'anglais *chemical*, chimique]:

Ce sont les éléments d'origine chimique ou biochimique, formés dans le bassin de sédimentation et ayant subi un certain transport sous forme de fragments distincts. On y distingue quatre types:

- 1. les **intraclastes** (ou intraclasts): fragments anguleux ou peu arrondis, issus d'un sédiment voisin mal consolidé, érodé et redéposé à faible distance en formant un nouveau sédiment presque contemporain (des fragments calcaires d'âge nettement plus ancien que le sédiment les contenant sont de vrais galets, et appartiennent aux débris terrigènes appelés extraclastes: la distinction intraclaste-extraclaste n'est pas toujours aisée ou possible).

- 2. les **oolithes**, avec lesquelles on regroupe les pisolites.

Les oolithes sont de petites sphères à diamètre de 0,5 à 2 mm en moyenne, dont le centre (**nucleus**) est généralement un débris (p. ex. grain de quartz, fragment de test) et dont l'enveloppe (**cortex**) est formée de minces couches présentant parfois une structure concentrique, à laquelle peut se superposer une structure radiaire affectant toutes les enveloppes ou quelques-unes seulement. Les oolithes sont le plus souvent calcaires, parfois ferrugineuses, rarement glauconieuses ou phosphatées.

On distingue:

- 1. les **oolithes composées**, à cortex englobant deux ou trois petites oolithes.

-2. les **oolithes déformées** (spastolithes) lors de leur accumulation, ce qui montre qu'elles avaient une certaine plasticité avant les recristallisations diagenétiques.

- 3. les **oolithes superficielles** (proto-oolithe) à cortex mince à une seule couche.

- 4. les oolithes à structure radiaire seule (sphérulithes).

Les oolithes calcaires actuelles se forment en milieu marin, parfois lagunaire ou même lacustre, dans des eaux agitées (donc à profondeur faible, entre 0 et 12 m). La mise en suspension de grains et d'oolithes naissantes permet le dépôt de nouvelles enveloppes constituées d'aragonite fibreuse ou cryptocristalline. Au-delà d'un certain poids, l'oolithe se sédimente définitivement. Si le diamètre dépasse 2 mm, on parle de pisolithe. Il semble que les oolithes anciennes aient été uniquement formées de calcite. Les pisolithes sont des concrétions calcaires subsphériques, de diamètre supérieur à 2 mm, à structure concentrique, et correspondant à de grosses oolithes.

- 3. les **fossiles** peuvent se trouver dans les roches, soit en débris (**bioclastes**) soit entiers, N. B. les fossiles des organismes constructeurs de récif, dont certains sont en position de vie, constituent un type de roche à part, les Biolithites.

- 4. les **pellets** (ou boulettes, ou pelotes, ou granules) sont de petites masses ovoïdes de 40 à 80  $\mu\text{m}$  en moyenne, formées de boue microcristalline, souvent riche en matière organique, et considérées comme d'origine fécale. La distinction entre pellets et intraclastes est basée sur la taille, avec une limite à 200  $\mu\text{m}$ .

Chaque roche peut être décrite au moyen de ces deux caractères: On fait correspondre un nom construit fondamentalement en utilisant un préfixe précisant le constituant allochimique (respectivement: **intra-**, **oo-**, **bio-**, **pel-**) et un suffixe correspondant à l'orthochème (**-micrite**, **-sparite**). Ex. une intrasparite (formée d'intraclastes réunis par un ciment cristallin). Si la taille des allochèmes est supérieure à 2 mm, on ajoute encore au nom de la roche le suffixe **-rudite**. Ex. une intrasparrudite. Enfin, les préfixes peuvent se composer, ex. une biointrasparite.

Cas particuliers:

1) Une micrite à plages recristallisées en sparite est une dismicrite.

2) Si la roche contient 10% ou plus de dolomite, on le signale. Les cas sont variés:

- intramicrite à dolomite primaire, micrite à dolomite primaire (**dolomicrite**):

- micrite dolomitique, si l'origine de la dolomite est incertaine (primaire et/ou secondaire?)

- micrite dolomitisée, si la dolomite est secondaire: c'est-à-dire résulte de la dolomitisation d'une micrite antérieure.

- les roches entièrement, ou presque, dolomitisées forment un groupe à part.

Enfin, d'autres précisions sont données s'il y a plusieurs types d'allochèmes, ou du matériel terrigène (de 10 % à 50 %), p. ex. oosparite à intraclastes, intrasparite sableuse, micrite silteuse,...

La dolomie est un sédiment carbonaté contenant 50 %, ou plus, de carbonate, dont la moitié au moins sous forme de dolomite  $\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)_2$ . Le terme englobe en pratique les dolomies pures (90 à 100 % de dolomite) et les dolomites calcaires ou calcareuses (50 à 90 % de dolomite).

Tous les intermédiaires existent entre les dolomies et les calcaires d'une part, et les roches détritiques d'autre part. Les dolomies réagissent faiblement à froid avec un acide dilué (HCl à 10 %) ce qui les différencie des calcaires qui font effervescence. Litées ou massives, elles peuvent constituer des formations importantes, donnant des reliefs ruiniformes, en particulier dans le Trias des Alpes (d'où le nom de Dolomites d'un secteur du Nord de l'Italie). Les dolomies, souvent fissurées, associées à des argiles et à des évaporites, peuvent former des réservoirs de gaz d'hydrocarbures, ou des aquifères qui justifient les nombreuses études réalisées.

Selon la genèse, on distingue:

- 1. Les dolomies primaires dues à la précipitation directe de dolomite, se formeraient dans des lagunes côtières de pays chauds. Ces dolomies sont à grain fin (dolomicrite) et contiennent un peu de calcite et d'argile (donnant des teintes rougeâtres ou verdâtres); elles sont en bancs minces, alternant avec des niveaux gypseux ou argileux (à illite et montmorillonite) qui contiennent des rhomboèdres dispersés de dolomite. Elles sont souvent de couleur claire (blanchâtres, beige...), et leur altération met parfois en évidence de nombreuses microdiaclases, qui leur confèrent un aspect caractéristique.

- 2. Les dolomies secondaires apparaissent les plus abondantes, elles sont dues au remplacement total ou partiel de la calcite primitive par de la dolomite (dolomitisation). On y observe des traces de la structure originelle (p. ex. fantômes d'oolithes, de fossiles...). Elles ont généralement un grain grossier ce qui leur donne, à l'altération, un aspect rugueux qui pourrait les faire prendre pour un grès, si leur dureté, n'était bien moindre (elles ne rayent pas l'acier). Les grains se dissocient parfois pour donner un sable dolomitique.

Le choc du marteau en fait jaillir une poussière (on dit qu'elles fument au marteau) et dans certains cas, elles exhalent une odeur de matière organique. Elles se bréchifient aisément.

### 3.2. Classification de R.J. DUNHAM (1961)

- L'une de ces classifications est due à R. J. Dunham (1961). Elle se présente sous forme dichotomique. Elle tend à caractériser l'agencement entre eux des divers constituants.

1 - texture sédimentaire non reconnaissable: calcaires cristallisés = cristalline.

2 - texture sédimentaire reconnaissable.

2.1 Allochèmes (corps figurés: Bioclaste, intraclastes, oolithes ou pellets) liés entre eux durant le dépôt: boundstone (ce sont les calcaires construits).

2.2 Allochèmes non liés entre eux durant le dépôt.

2.2.1 absence de particules fines (boue) intergranulaire: grainstone.

2.2.2 présence de particules fines.

2.2.2.1 grains en contact: packstone.

2.2.2.2 grains non en contact

avec moins de 10 % de boue: wackestone

avec plus de 10 % de boue: mudstone.

### 3.3. Critiques de Friedman

Friedman (1985) rejette l'emploi du terme " micrite ciment " qui est en soi un non-sens puisque, par la définition même de Folk, la micrite désigne un sédiment déposé mécaniquement. Pour désigner un ciment, il suggère le terme " high-magnesian calcite". Toutefois, en pratique, il n'est pas aisé de distinguer ces deux formes surtout dans les calcaires anciens. Même en microscopie, il est facile de les confondre, car les cristaux du ciment sont trop petits pour être reconnus séparément et ressemblent effectivement très fort à de la micrite. En cathodoluminescence, on observe des ciments à luminescence forte, faible et nulle. L'aragonite n'est pas luminescente alors que la "high magnesian calcite" l'est fortement.

Toutefois il arrive que la "high magnesian calcite" ne soit pas luminescente si les ions activateurs  $Mn^{2+}$  sont en concentration insuffisante. Ces différences résulteraient de vitesse et de taux de sédimentation différents. Les ciments cristallins sous marins peuvent varier du translucides au semi-opaques.

Au microscope électronique la "high magnesian calcite" est composée de cristaux rhomboédriques de l'ordre du micron et la texture fait penser à des pellets. De ce fait, ces faciès peuvent être interprétés de façon erronée comme représentant une basse énergie alors que le ciment peut précipiter à quelques millimètres ou centimètres de profondeur dans les sédiments de haute énergie qui s'accumulent même dans le front Reef.

Friedman (1978) explique le phénomène de la façon suivante:

Bien que les récifs forment une roche carbonatée solide par sécrétion directe du carbonate de calcium par les organismes constructeurs, il reste de nombreux pores à l'intérieur de la charpente. Ces pores sont progressivement remplis de ciment. La cimentation commence dans les parties mortes du récif à une distance très proche (millimétrique ou centimétrique) sous les parties vivantes. En lame mince, le ciment apparaît soit fibreux et normalement aragonitique, soit finement cristallin et semi-opaque: il est normalement composé par de la "high-magnesian calcite". Un indicateur possible de l'origine de ce ciment dans les récifs se trouve dans l'observation de gravure, de corrosions, voire dans le remplacement partiel des particules de quartz par de la "high-magnesian calcite ou par de l'aragonite. À un pH de 9 ou 10, les silicates sont dissous et la calcite ou l'aragonite peuvent précipiter. De tels pH, en relation probable avec la photosynthèse, ont été mesurés dans des récifs de la Mer Rouge.

Dans les récifs, la photosynthèse et la respiration de la biomasse créent une inversion dans le système tampon des bicarbonates de l'eau marine avec l'assimilation du  $CO_2$ . Dans ce processus, des pH de 10 ou même de 10,5 peuvent être atteints et maintiennent des couches monomoléculaires ressemblant à de la gelée. Des pH aussi élevés favorisent la précipitation de ciments carbonatés. Un fin ciment cristallin de "high magnesian calcite" peut lier entre eux les organismes planctoniques et benthoniques. La cimentation peut intervenir entre 9000 et 12000 ans après la sédimentation. La "high-magnesian calcite" ne forme pas seulement un ciment entre les particules, mais elle peut aussi remplacer l'aragonite originelle de certaines particules squelettiques. Dans le cas des calcaires paléozoïques fortement recristallisés, la distinction entre la micrite sédiment de milieu calme et le High magnesian calcite de précipitation en milieu agité ne semble pas encore avoir pu être résolue de façon certaine.

## ANNEXE 4

### 4.1. Extrait de la description de M. Lecompte (1959, p. 129 et 130)

« La partie inférieure de celui-ci [le second biostrome (F2g-h-i p. 129)], au-dessus de la zone corallienne peu épaisse à *Disphyllum*, Tabulés branchus et *Hexagonaria* à la base, est formée de Stromatopores lamellaires, massifs et branchus (*Amphipora*). Dans la partie moyenne prédominent les Stromatopores globulaires. La partie supérieure voit réapparaître les Stromatopores lamellaires associés à des Coraux (*Hexagonaria*, *Disphyllum*). Les derniers mètres<sup>16</sup> sont constitués par un véritable feutrage de Stromatopores lamellaires en position de vie, de *Disphyllum*, de Stromatopores et Tabulés branchus. Ce calcaire, qui présente sur la tranche un aspect très rubané, est exploité dans la carrière sous le nom d'« antique de Meuse (pl. X, fig. 2-3). »

« La zone supérieure du Frasnien moyen (calcaire à grande dalles de l'assise de Rhines - équivalent F2i p. p. + F2j) que l'on va observer sur une grande paroi au fond de la partie qui a été exploitée, n'est plus un biostrome. Elle est constituée de calcaires argileux régulièrement stratifiés. La partie inférieure est fortement marbrée de terrasses argileuses anastomosées qui lui donnent un aspect subnodulaire; elle est peu fossilifère. On y trouve disséminés: *Spirifer verneuili*, *Hexagonaria*, plus rarement des Stromatopores. La structure terrasseuse est particulièrement accusée, vers le milieu de cette partie inférieure, sous un gros banc massif exploité comme marbre sous le nom de « vert de Tailfer ». Immédiatement sous celui-ci, elle fait place à une sorte de structure bréchoïde à éléments alignés, comme si ceux-ci avaient été séparés par étirement. »

### 4.2. Extrait de la description de E. van Winkel (inédit, 1964, p 24 à 29).

« M.<sup>17</sup> 1,70 m. de calcaire fin localement zonaire presque sans macrofaune (bancs (VW 74-75). La pâte calcaire micritique contient environ 15 % de microorganismes; essentiellement des Foraminifères et des Styliolines notamment, *Umbella bella* Bykova et Polenova, *Archaespaera minima* Suleimanov, *Nodosaria frasnensis* n. sp., *Styliolina* sp. type 1 et 2; L'origine de ce calcaire est vraisemblablement sublagunaire.

<sup>16</sup>Ce feutrage fait l'objet de notre étude

<sup>17</sup>M, N, O, sont des repères de E. Van Winkel qui font référence à ses figures.

La macrofaune, très pauvre se constitue de rares Stachydes radiata Lecompte et Amphipora pervesiculata Lecompte. La flore est représentée par Parachaetetes glenwoodensis Johnson et Girvanella nicholsoni (Wethered).»

«N. Le bancs construit à Stromatopores massifs et branchus, de 1,50 m. d'épaisseur, qui recouvre ces calcaires fins, est de nouveau formé dans la zone de turbulence. Toutefois il est plus fin que celui de la passée L et la microfaune à Foraminifères réduite est remplacée pour une partie par de grands Ostracodes lisses. Le banc, de 0,60 m à 1 m d'épaisseur, qui recouvre le calcaire construit est irrégulier. La base est plane et le sommet est ondulé. C'est un calcaire finement lité, très pur, sans débris organiques reconnaissables, micritique contenant, seulement Nodosaria frasniensis n. sp., Parachaetetes glenwoodensis Johnson et Girvanella nicholsoni (Wethered). Le calcaire étant assez fortement recristallisé, il est difficile de juger de l'importance jouée par les Algues.»

«O. Au-dessus de ce banc viennent 4,5 m de calcaire construit,<sup>18</sup> très souillé toutefois par du matériel terrigène, à Stromatopores lamellaires, à Coraux massifs et Disphyllidea et à tabulés massifs lamellaires et branchus. Le Pourcentage du résidu insoluble varie entre 10% et 20% mais va en diminuant vers le sommet. Il se compose d'argile pour les 9/10, de quartz clastique, de dolomite, d'oxydes de fer et de pyrite.

La pâte contient des fragments de crinoïdes, de constructeurs et de brachiopodes, de Bryozoaires, Nancielle porrecta Bykova, et également quelques Ostracodes et Gastéropodes, surtout dans la partie supérieure moins grossière et plus pure. La taille des débris varie entre 0,5 mm et 0,5 cm à la base et entre 0,1 mm et 2 mm au sommet. Les débris crinoïdiques se font plus rares au sommet.

Composition : Macrofaune: 50 à 60 %

Pâte 40 % à 50 %:

matière fine argile + micrite 20 % à 25 %

débris reconnaissables et microfaune 20% à 25%

---

<sup>18</sup>Ce niveau O correspond au banc 59 de notre étude.

La flore et la faune comportent:

Girvanella ducii Wethered  
Orthonella sp.  
Nanicella porrecta Bykova  
Amphipora pervesiculata Lecompte  
Actinostroma devonense Lecompte  
Clathrodiction paramygdaloides Lecompte  
Stromatoporella saginata Lecompte  
Hexagonaria hypocateriformis Goldfuss  
Disphyllum rugosum Wedekind  
Rugueux solitaires  
Alvéolites suborbicularis Lamarck  
Syringopora sp.  
Gypidula sp.  
Atrypa reticularis (Linné)  
Hemitrypa sp.  
Gastéropodes  
Crinoïdes  
Ostracodes lisses et dentelés (Richterina)»

«Ce calcaire essentiellement construit par les Stromatopores lamellaires est surmonté de 60 cm de calcaire très fin.<sup>19</sup> Celui-ci contient uniquement de la microfaune, plus spécialement Umbella bella et Styliolina ainsi que des restes d'Algues: Girvanella nicholsoni.»

P. Puis, sur 6,80 m, affleurent des calcaires fins foncés, à filets argileux donnant un aspect subnodulaire à pseudobrêchoïde à la roche, constitués essentiellement par des Algues et des Foraminifères. La macrofaune atteint rarement les 5 % de la roche et se compose d'Hexagonaria hypocateriformis Goldfuss, Cyrto Spirifer verneuili Murchison, Amphipora perseviculata Lecompte, Scoliopora kaisini Lecompte, Alvéolites, Phacellophyllum sp. et rares Stromatoporella saginata Lecompte (bancs VW 83 à 87).»

---

<sup>19</sup>Ce banc correspond à notre banc 60

**4.3.Extrait de la description de H. H. Tsien, E. Dricot, A. N. Mouravieff et J. Bouckeart (1973, p 7-8) dans le Frasnien de la coupe de Tailfer.**

38. 4,00 m : Calcaire organoclastique à Stromatoporoïdes lamellaires, branchus et massifs, à Hexagonaria et Tabulés.

Stromatoporoïdes lamellaires

Amphipora

Stachyodes

Stromatoporoïdes massifs

Hexagonaria

Disphyllum goldfussi

Alveolites Suborbicularia

Girvanella nicholsoni

39. 1,70 m: Calcaire fin zonaire

40. 1,50 m: Calcaire organoclastique à Stromatoporoïdes massifs et branchus et rares Disphyllum

41<sup>20</sup>. 0,70 à 1,20 m : Calcaire fin zonaire. Le sommet de cette passée est fortement raviné.

Ceci indique probablement une période de non dépôt qui correspond vraisemblablement au dépôt des schistes F2ef du bord sud de Dinant (H. H. Tsien, 1973)

42<sup>21</sup>. 4,50 m: Calcaire organoclastique à Stromatopores lamellaires, Hexagonaria hexagona et Tabulophyllum.

Cet ensemble de calcaire consiste en une alternance du faciès récifal, et du faciès arrière récifal (H. H. TSIEN, 1971, 1973)

Au point de vue biostratigraphique, il y a lieu de souligner, que de 8 à 40, les calcaires sont essentiellement caractérisés par l'abondance de Disphyllum goldfussi tandis que le 42 l'est lui par Hexagonaria et Tabulophyllum.

---

<sup>20</sup>correspond à notre banc 58

<sup>21</sup>correspond à notre banc 59

## Formation de la Marlagne

1961 J.M. GRAULICH

1972 H. H. TSIEN

Puissance : 42,40 m

43. 7,60 m: Calcaire fin ,foncé, régulièrement stratifié, tantôt zonaire tantôt à "vermiculites"<sup>22</sup>, tantôt à lits argileux irréguliers, tantôt avec les débris de fossiles. Stromatoporoïdes massifs de petite taille.

Hexagonaria

Tabulophyllum smithi

Thamnopora

Alvéolites

Stachyodes

Brachiopodes

44. 0,90 m: Calcaire foncé à rares petits Stromatoporoïdes massifs et Hexagonaria.

45. 0,90 m: Calcaire foncé, fin, zonaire.

46. 0,90 m: Calcaire à Stromatoporoïdes et Hexagonaria. Stromatoporoïdes de petite taille.

Hexagonaria

Amphipora

Umbella

47. 5,10 m: Calcaire fin foncé généralement zonaire ou à "vermiculites"  
La partie supérieure présente une structure subbréchoïde.

48. 0,30 m: Schistes calcareux verdâtres, connus sous le nom de "Vert de Tailfer".  
La surface du banc est couverte de mud-cracks. Le vert de Tailfer a été étudié par Van Winkel (1964).

---

<sup>22</sup> Le terme de "vermiculites" est couramment utilisé en Belgique pour désigner de fines tubulures verticales dont l'origine est controversée "organismes perforants, traces de plantes ou cheminées d'échappement de gaz dû à l'activité bactérienne" M. LECOMPTE, 1970, p. 49

#### 4.4. Extrait de la description de M. Coen-Aubert et M. Coen (1974, p512-513)

- d - 6,65 m : Calcaire mieux stratifié, à Stromatopores massifs à la base et au sommet, accompagnés, éventuellement de Stromatopores lamellaires, *Stachyodes*, *Hexagonaria* et *Disphyllum*; au milieu, zone assez riche en *Amphipora*, où s'observe aussi quelques petites algues (*Ortonella*);
- 0,55 m environ: Calcaire foncé, et finement bioclastique, vigoureusement raviné au sommet.

C'est l'horizon le plus inférieur atteint par l'exploitation.

- e<sup>23</sup> - 6,7 m environ: Magnifique phase construite à Stromatopores lamellaires, avec une profusion de Tabulés branchus et de Rugueux solitaires (dont de gros *Tabulophyllum*) ; un lit corallien, riche en *Hexagonaria*, à l'extrême base; un joint ravinant au sommet;
- f - 1,05 m: Calcaire clair, renfermant à la base d'épais Stromatopores lamellaires et quelques petits Stromatopores massifs; ensuite, faune corallienne plus clairsemée;
- 7,85 m : Calcaire fin et foncé, d'aspect subnoduleux, où sont dispersés quelques *Hexagonaria*, Rugueux solitaires, Tabulés branchus, Brachiopodes et *Umbellina*;
- 4,1 m : Calcaire fin et clair en petits bancs: quelques *Hexagonaria* et *Scoliopora* près de la base;
- 2,45 m: Même calcaire comprenant deux lits bréchiques dans la première moitié; au sommet, un niveau de schistes verts, affecté de mud-cracks;

---

<sup>23</sup>Ce banc correspond à notre banc 59

#### 4. 5.Extrait de la description de H. Wilder (1985, p. 81-82).

##### Version originale

Schichtenverzeichnis: Angaben in (m) vom Liegenden zum Hangenden (vgl. Anlage 6) = von sedimentologisch unten nach oben:

- 0 - 6,80<sup>24</sup>      Stromatoporen-Biostrom mit überwiegend fladigen Stromatoporen, dendroiden Korallen und Stromatoporen in bioklastführendem Mikrit.
- 6,80 - 7,30      Fladige und viele kleine globulare Stromatoporen in schwarzer mikritischer Matrix, vereinzelt dendroide Korallen.
- 7,30 - 7,50      Steriler dunkler Mikrit, starke Stylolithisierung, etwas epigenetische Honigblende (ZnS).
- 7,50 - 8,10      Dunkler Mikrit mit Birdeyes, Entwässerungsstrukturen mit Resedimentation, vereinzelt pyrit, zum Hangenden: rugose koloniekorallen (u. a. Phillipastrea) und Intraklasten.
- 8,10 - 11,00      Dunkle mikritische (Pseudo-) Intraklastkalke mit wenigen Gasteropoden, dendroiden Korallen und Brachiopoden.
- 11,00 - 13,40      Dunkle mikritische (Pseudo-) Intraklastkalke mit geringer Fossilführung wie zuvor, jedoch mit helleren biomikritischen Intraklasten.
- 13,40 - 13,90      Graue Intraklastmikrite, kleine globulare Stromatoporen, Brachiopoden.
- 13,90 - 15,40      Bioklastreiche dunkelgraue Mikrite, intraklastführend; vereinzelt dendroide Korallen und rugose Korallenstöcke.
- 15,40 - 16,10      Mikritischer Laminit, dunkelgrau, viele Stylolithen, Einzel- und dendroiden Korallen, viele Gastropoden, Algen ? Intraklasten.

---

<sup>24</sup>Correspond à notre banc 59

- 16,10 - 18,60 Dunkelgraue Intraklastmikrite mit hellen meist gerundeten Mikritintraklasten; bei 17,60 m vereinzelt allochtone globulare Stromatoporen und dendroiden Korallen.
- 18,60 - 20,30 Mikrit, dunkelgrau, flaserig, fossilleer.
- 20,30 - 22,90 Graue (Pseudo-) Intraklastmikrite mit grünen pelitisch-sandigen Zwischenmittel (Tuffit?).
- 22,90 - 23,10 Grünlich-graue tuffitische Schicht (Bentonit), bei 23,10 auf SS: Trockenrisse.

Traduction:

- Données stratigraphiques du bas vers le haut (m):

- 0- 6,80<sup>25</sup> Biostrome à Stromatopores à majorité lamellaire, des coraux dendroïdes, ainsi que des Stromatopores inclus dans de la micrite à composante bioclastique majoritaire.
- 6,80-7,30 Stromatopores lamellaires et beaucoup de petits Stromatopores globulaires dans une matrice micritique noire avec sporadiquement des coraux dendroïdes.
- 7,30-7,50 Micrite foncée et stérile, fortement stylolithisée, avec un peu de blende mielleuse (ZnS).
- 7,50-810 Micrite foncée à bird eyes, structures d'écoulement d'eau avec resédimentation et sporadiquement de la pyrite, vers la base des coraux coloniaux rugueux ( entre autres Phillipastrea) et des intraclastes.
- 8,10-011,00 Calcaires intraclastiques foncés à (pseudo) micrite avec quelques Gastéropodes, coraux dendroïdes et des Brachiopodes.
- 11,00-13,40 Calcaire intraclastique foncé à (pseudo)micrite avec moins de fossile mais avec des intraclastes biomicritiques plus claires.

---

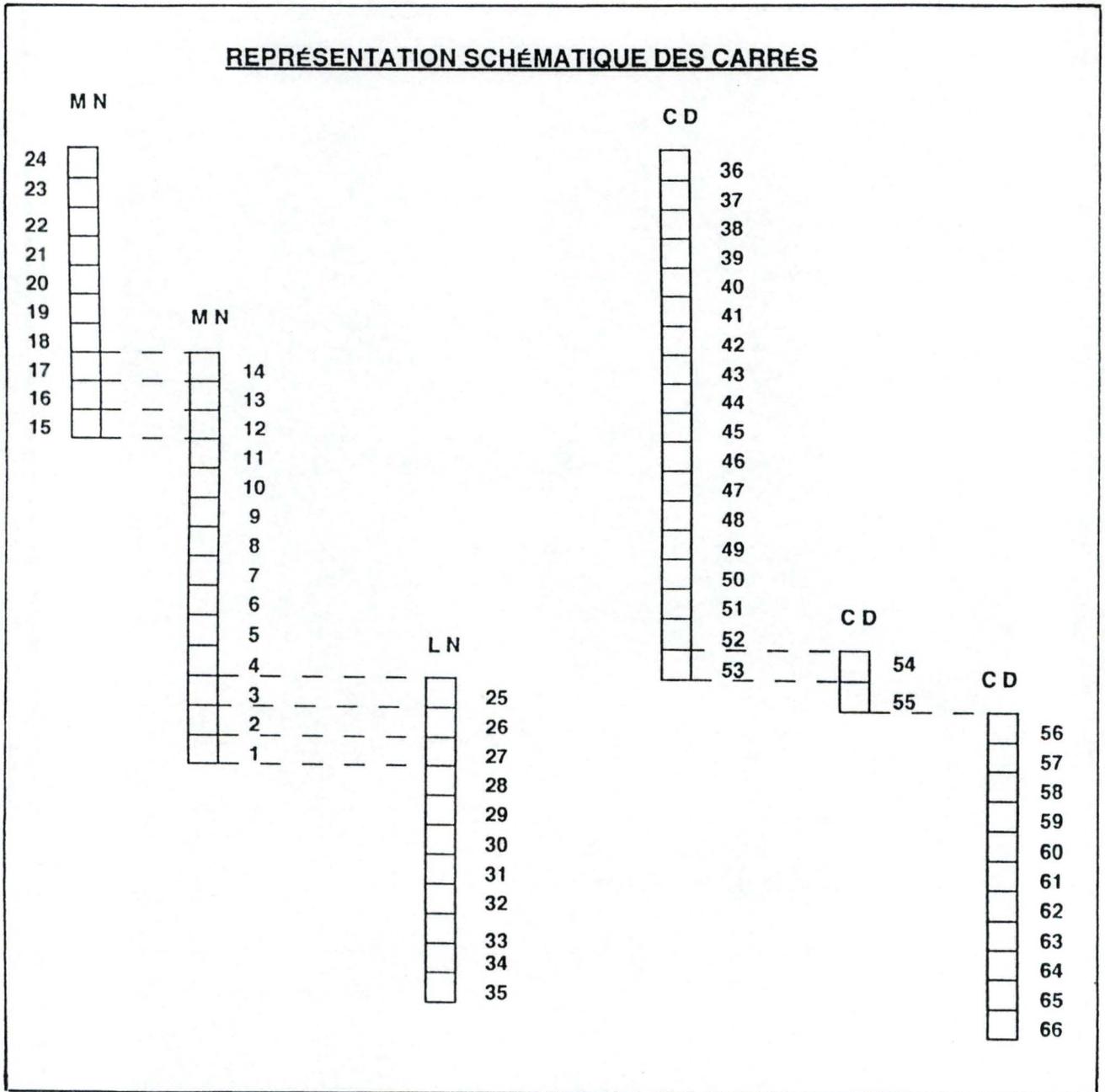
<sup>25</sup>Correspond à notre banc 59

- 13,40-13,90 Micrite intraclastique grise à petits Stromatopores globulaires et Brachiopodes.
- 13,90-15,40 Micrite bioclastique gris foncée à dominance intraclastique, sporadiquement coraux dendroïdes et amas de coraux rugueux.
- 15,40-16,10 Laminite micritique gris foncée avec beaucoup de stylolithes des coraux solitaires et dendroïdes ainsi que beaucoup de Gastéropodes, peut être des algues et des intraclastes.
- 16,10-18,60 Micrite intraclastique gris foncée avec des intraclastes micritiques clairs le plus souvent arrondis.
- à 17,60 m Sporadiquement des Stromatopores globulaires allochtones et des coraux dendroïdes.
- 18,60-20,30 Micrite gris foncée en lamelle et vide de fossiles.
- 20,30-22,90 (Pseudo)intramicrite grise avec un matériel vert sableux en pellet (tuf).
- 22,90-23,10 Strate à tuf gris verdâtre (bentonite), à 23,10 m fissures d'assèchement .

# ANNEXE 5

## 5. Données de comptages

Sur les trois parois MN, LN et CD, les mieux exposées que comporte la carrière, on a tracé une série de 66 carrés ( $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ) superposés en 6 colonnes de longueurs inégales. Ces dernières sont disposées perpendiculairement à la stratification et se relient latéralement de manière à couvrir l'entièreté des bancs 59 et 60.



A l'intérieur de chaque carré ainsi défini, nous avons dénombré les constituants (organismes et *fluid escapes* ), estimé leur pourcentage par rapport à celui des sédiments clairs et foncés. L'évaluation de ces proportions a été réalisée selon une méthode simple et éprouvée qui est celle des rapports de surface de chacune de ces composantes (charte visuelle).

Nous n'avons pas de pourcentages des sédiments clairs et foncés pour les carrés 35 à 38, la qualité des photographies ne permettant pas une évaluation satisfaisante des taux de sédimentation. Une vérification dans les délais impartis s'est avérée impossible, les carrés en question n'étant plus accessibles que par des techniques d'escalade réservée à des alpinistes confirmés.

Le comptage des constituants de chaque carré a permis de distinguer 12 catégories différentes d'organismes :

- les Stromatopores lamellaires (Strom L);
- les Stromatopores en boule (Strom B);
- les Stromatopores dont l'épaisseur est inférieure à 5mm (Mini);
- Alveolites* branchu (Al br);
- Alveolites* massif (Al m);
- Thamnopora* (Tham)
- Rugosa* solitaire (Rug sol);
- les Crinoïdes (Crin);
- les Gastéropodes (Gast);
- les Brachiopodes (Brach);
- Thecostegithes* (Teco);
- Hexagonaria* (Hex).

La catégorie "int "représente les organismes non identifiés.

TABLEAU1

N° Carré	Strom L	Strom B	Mini	Al br	Al m	Iham	Rug sol	Crin	Gast	Brach	Iheco	Hex	fl esc	% org	% séd f	% séd c	int
1	10	0	27	9	0	0	1	0	2	0	0	0	0	30	20	50	1
2	10	0	42	32	0	0	2	0	0	0	0	0	0	20	20	60	0
3	9	0	25	47	0	0	2	0	1	0	0	0	0	25	20	55	1
4	17	0	39	11	0	0	7	2	0	0	0	0	0	50	10	40	0
5	11	0	41	17	0	0	0	4	0	0	0	0	0	30	10	60	0
6	8	0	50	16	0	0	2	0	0	0	0	0	0	20	40	40	0
7	8	0	21	21	0	0	0	7	1	0	0	0	0	25	15	60	0
8	7	0	34	26	0	0	0	3	0	0	0	0	0	30	20	50	1
9	12	0	0	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	25	20	55	0
10	8	0	25	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	40	35	25	0
11	8	0	25	14	0	0	3	2	0	0	0	6	0	40	40	20	0
12	6	0	32	7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	35	15	50	0
13	7	0	4	8	0	0	1	2	0	0	0	0	0	30	30	40	0
14	5	0	10	5	0	0	0	0	0	0	3	0	0	45	30	25	0
15	3	0	27	22	0	0	2	1	0	0	0	0	0	25	35	40	0
16	8	0	11	19	0	0	1	1	0	0	0	0	0	30	35	35	0
17	7	0	22	20	0	0	2	0	0	0	0	2	0	35	65	0	0
18	10	0	9	8	0	0	3	1	0	0	0	4	0	50	50	0	0
19	5	0	9	30	0	0	5	0	0	0	0	0	0	40	60	0	0
20	5	0	9	56	0	0	2	0	0	0	0	4	0	30	70	0	0
21	1	2	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	75	0	0
22	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	95	0	0
23	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8	5	95	0	0
24	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	18	5	95	0	0
25	8	0	62	3	0	0	2	0	2	0	0	0	0	20	30	50	0
26	8	0	58	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	20	30	50	0
27	14	0	20	7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	30	20	50	0
28	6	0	33	16	0	0	1	2	0	0	0	0	0	35	30	35	0
29	12	0	37	21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	30	25	45	0
30	22	0	22	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	15	50	0
31	18	0	37	40	0	1	2	0	0	0	0	0	0	30	20	50	0
32	7	0	14	32	0	2	1	0	2	0	0	3	0	35	25	40	0
33	1	0	35	34	1	18	6	0	0	0	0	4	0	50	30	20	0
34	8	0	22	88	0	0	3	0	0	0	0	5	0	50	30	20	1
35	9	0	17	81	1	0	0	0	0	0	0	3	0	45	?	?	0
36	8	0	0	10	0	0	1	2	0	0	0	0	0	40	?	?	0
37	5	0	10	15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	55	?	?	0
38	5	0	5	6	0	0	0	2	0	0	0	1	0	55	?	?	0
39	6	0	23	27	0	0	2	5	0	0	0	0	0	50	25	25	0
40	8	0	3	17	0	0	3	0	0	0	0	0	0	60	20	20	0
41	3	0	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	45	20	35	0
42	7	0	6	17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	45	20	35	0
43	6	0	14	8	0	0	1	6	0	0	0	0	0	45	20	35	0
44	4	0	2	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	70	15	15	0
45	5	0	17	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	25	15	60	0
46	6	0	7	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	40	30	30	0
47	6	0	20	26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	50	10	40	0
48	6	0	34	34	0	0	1	1	0	0	0	0	0	35	20	45	0
49	6	0	20	9	0	0	1	2	0	0	0	0	0	30	15	55	0
50	7	0	15	14	0	0	5	0	0	0	0	1	0	30	10	60	0
51	7	0	27	8	0	0	1	0	0	0	0	1	0	25	10	65	0
52	8	0	22	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	35	20	45	0
53	2	0	38	14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	25	15	60	0
54	7	0	19	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0	20	20	60	0
55	7	0	17	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	30	10	60	0
56	8	0	32	16	0	0	0	0	0	0	0	1	0	25	10	65	0
57	11	0	30	25	0	0	1	2	0	0	0	3	0	25	5	70	0
58	9	0	39	26	0	0	3	0	0	0	0	1	0	30	5	65	0
59	6	0	40	24	0	0	6	1	1	0	0	1	0	30	20	50	0
60	6	0	13	10	0	0	1	0	0	0	0	1	0	35	25	40	0
61	6	0	24	16	0	10	1	0	0	0	0	2	0	55	30	15	0
62	7	0	27	29	0	18	0	3	1	2	4	1	0	40	30	30	0
63	5	0	25	8	0	0	4	0	0	0	0	8	0	60	20	20	0
64	6	0	27	58	0	0	3	1	0	0	0	3	0	50	35	15	0
65	6	0	15	33	1	0	4	0	0	0	0	6	0	45	30	25	1
66	0	0	6	8	2	0	0	0	0	0	0	10	0	60	15	25	0

## Etude des Stromatopores

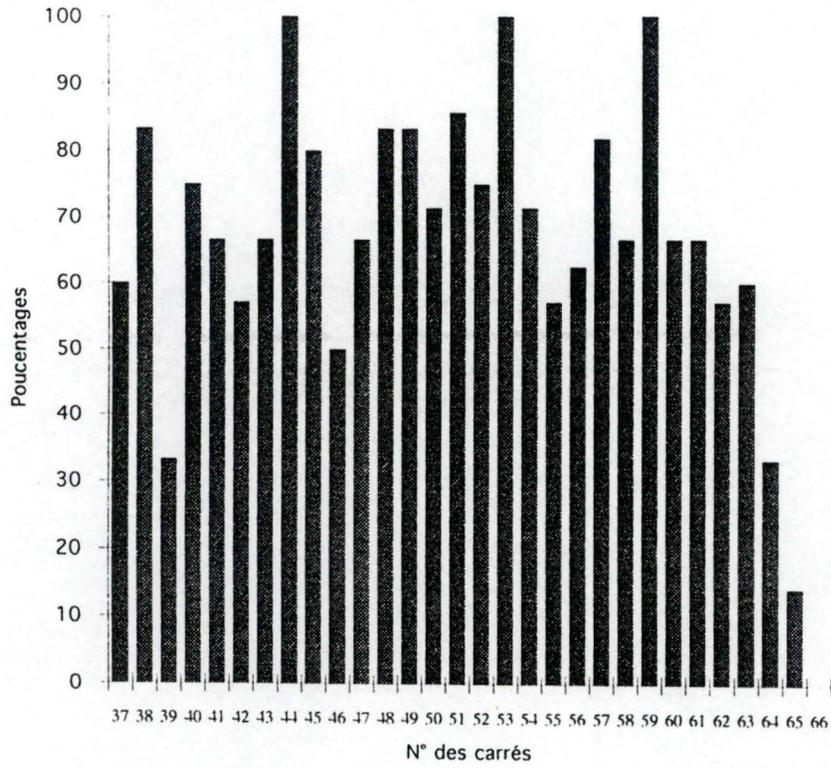
Poucentages coupe CD						
N° Carré	Position normale	Retourné %	Indéterminé %	Oblique %	Astro %	Mam %
37	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	60,00
38	66,67	16,67	16,67	0,00	66,67	83,33
39	66,67	0,00	16,67	16,67	66,67	33,33
40	75,00	12,50	12,50	0,00	87,50	75,00
41	66,67	0,00	33,33	0,00	66,67	66,67
42	71,43	14,29	14,29	0,00	85,71	57,14
43	50,00	33,33	16,67	0,00	83,33	66,67
44	50,00	50,00	0,00	0,00	100,00	100,00
45	60,00	40,00	0,00	0,00	100,00	80,00
46	66,67	0,00	33,33	0,00	50,00	50,00
47	66,67	16,67	16,67	0,00	83,33	66,67
48	66,67	16,67	16,67	0,00	83,33	83,33
49	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	83,33
50	71,43	14,29	14,29	0,00	85,71	71,43
51	57,14	42,86	0,00	0,00	85,71	85,71
52	37,50	37,50	25,00	0,00	75,00	75,00
53	0,00	100,00	0,00	0,00	50,00	100,00
54	71,43	14,29	14,29	0,00	85,71	71,43
55	71,43	14,29	14,29	0,00	85,71	57,14
56	0,00	62,50	37,50	0,00	50,00	62,50
57	81,82	9,09	0,00	9,09	100,00	81,82
58	77,78	22,22	0,00	0,00	88,89	66,67
59	66,67	33,33	0,00	0,00	100,00	100,00
60	66,67	33,33	0,00	0,00	83,33	66,67
61	50,00	16,67	33,33	0,00	66,67	66,67
62	42,86	28,57	28,57	0,00	71,43	57,14
63	60,00	40,00	0,00	0,00	20,00	60,00
64	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	33,33
65	14,29	28,57	57,14	0,00	28,57	14,29
66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Poucentages coupe LN						
N° Carré	Position normale %	Retourné %	Indéterminé %	Oblique %	Astro %	Mam %
25	71	0	0	0	100	86
26	63	25	13	0	63	38
27	93	7	0	0	79	100
28	50	50	0	0	100	83
29	75	25	0	0	83	92
30	61	22	17	0	78	61
31	86	7	7	0	86	64
32	43	43	14	0	86	43
33	0	100	0	0	100	0
34	50	25	25	0	75	50
35	22	11	67	0	56	22

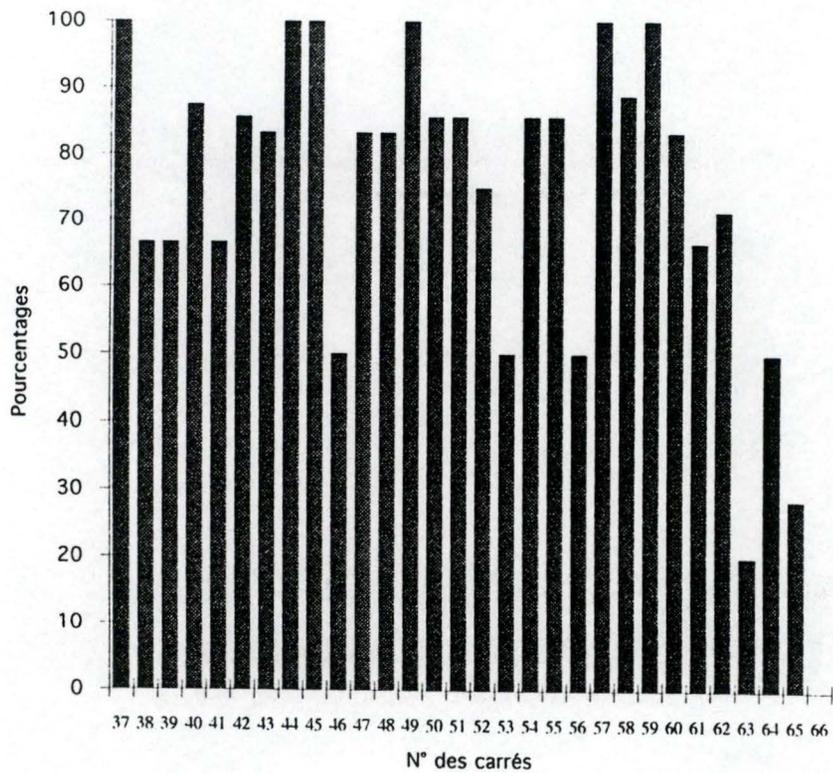
Poucentages coupe MN

N° Carré	Position normale %	Retourné %	Indéterminé %	Oblique %	Astro %	Mam %
1	80	10	10	0	60	90
2	50	20	10	20	40	90
3	56	0	44	0	56	44
4	41	0	59	0	41	35
5	55	18	27	0	55	64
6	44	22	33	0	67	56
7	50	25	25	0	75	13
8	57	14	0	29	86	100
9	67	25	8	0	75	100
10	88	13	0	0	88	100
11	100	0	0	0	88	63
12	33	33	33	0	67	83
13	57	43	0	0	86	86
14	60	0	40	0	60	60
15	67	0	33	0	67	33
16	75	13	13	0	75	75
17	57	14	29	0	29	43
18	70	20	10	0	80	60
19	40	0	60	0	60	0
20	0	20	80	0	0	20
21	0	0	100	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

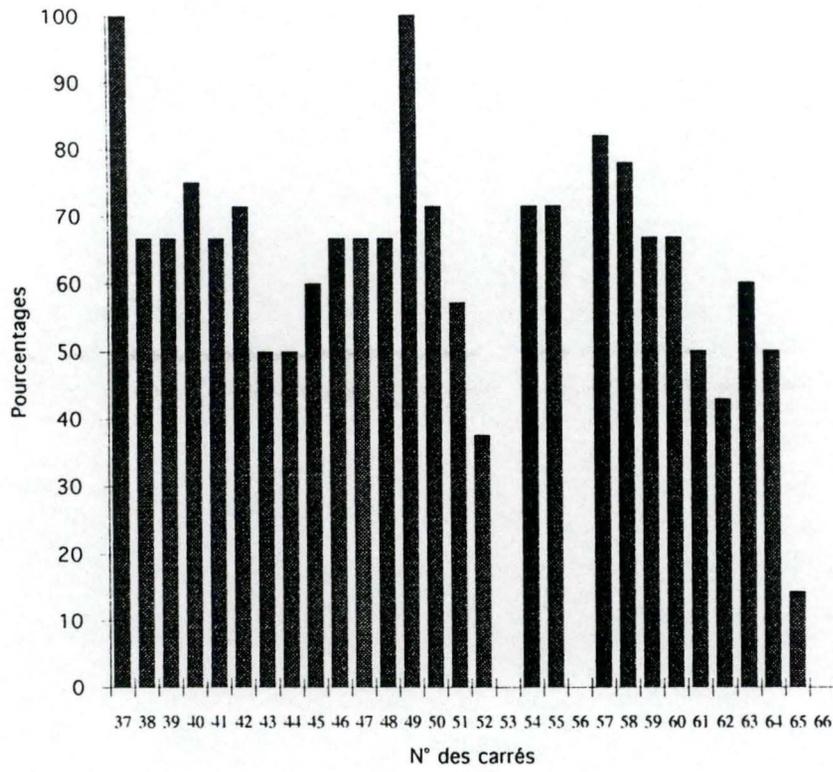
Pourcentages des Stromatopores possédant possédant des mamelons dans la coupe CD



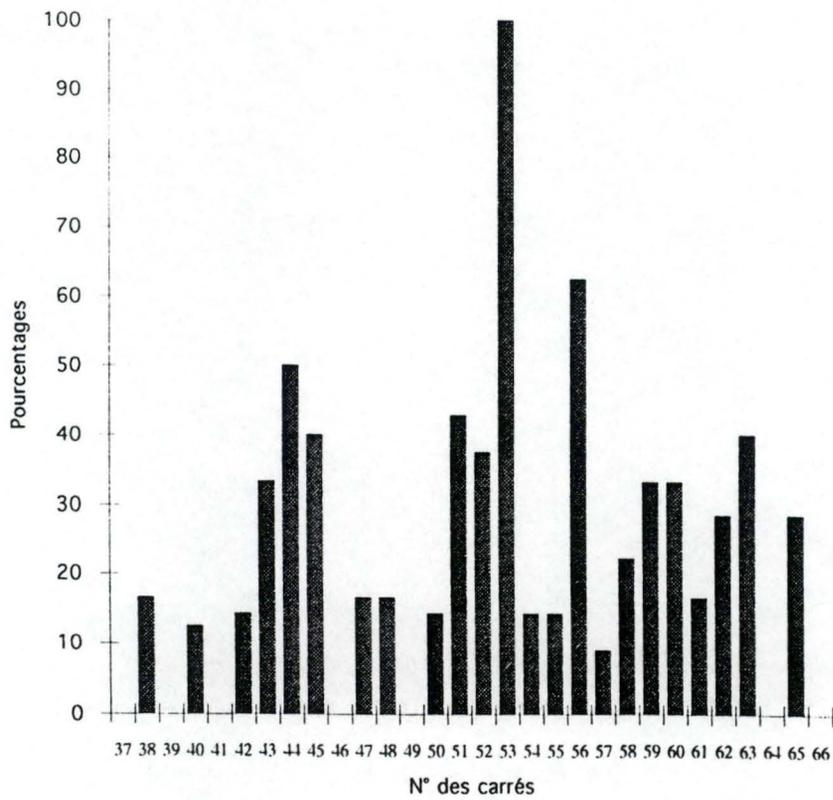
Pourcentages des Stromatopores possédant des astrorhizes de la coupe CD



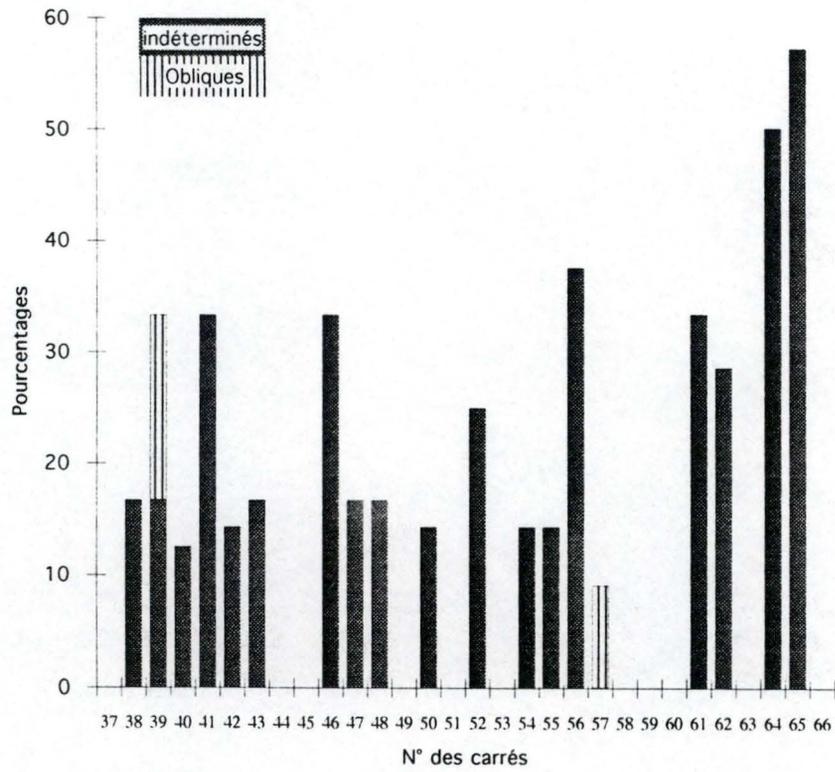
Pourcentages des Stromatopores en position normale de la coupe CD



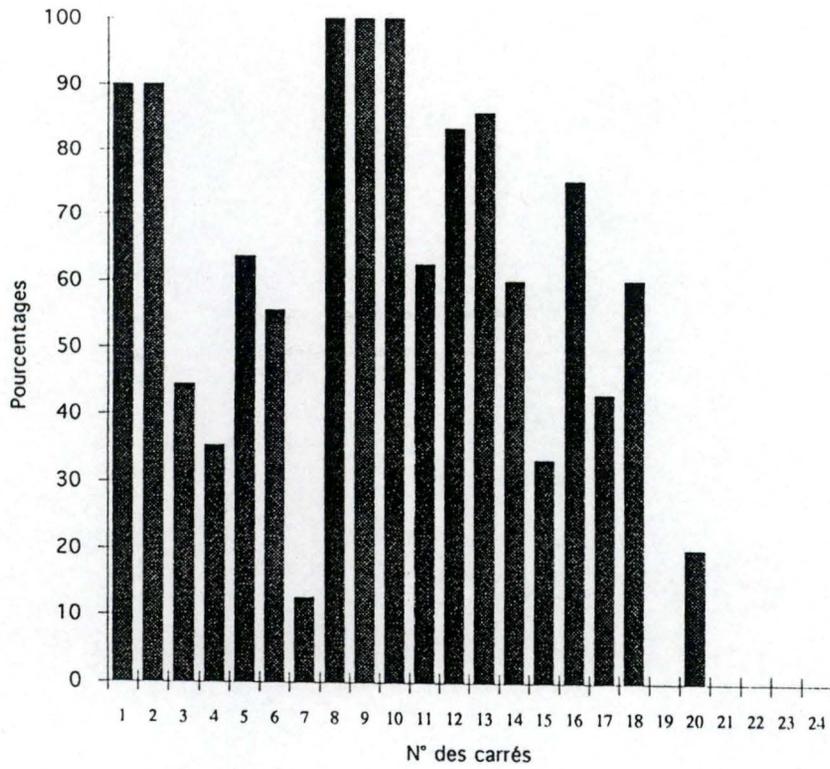
Pourcentages des Stromatopores retournés de la coupe CD



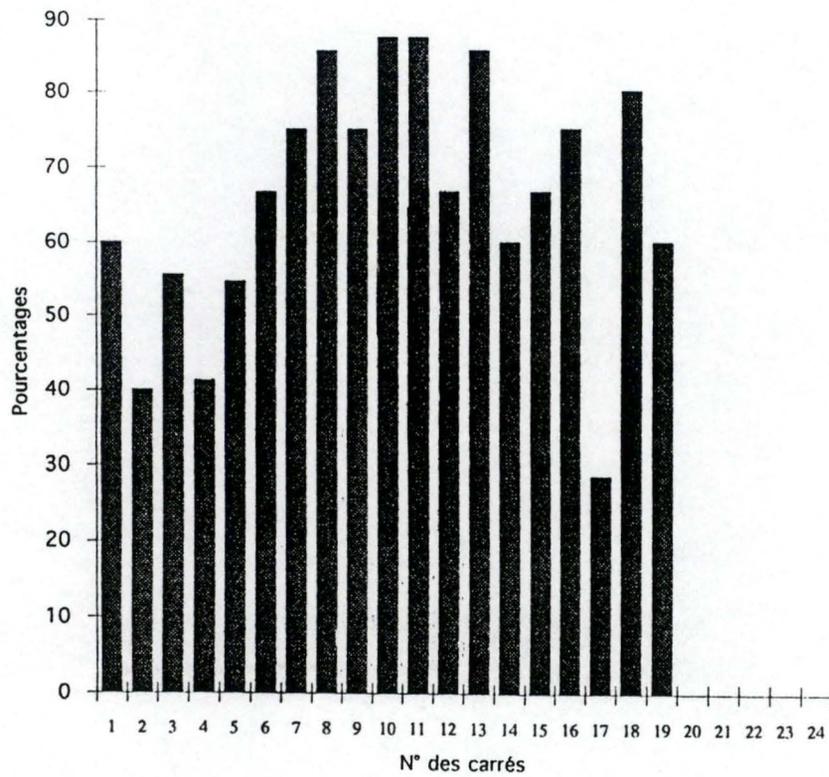
Pourcentages des Stromatopores en positions  
indéterminées et obliques de la coupe CD



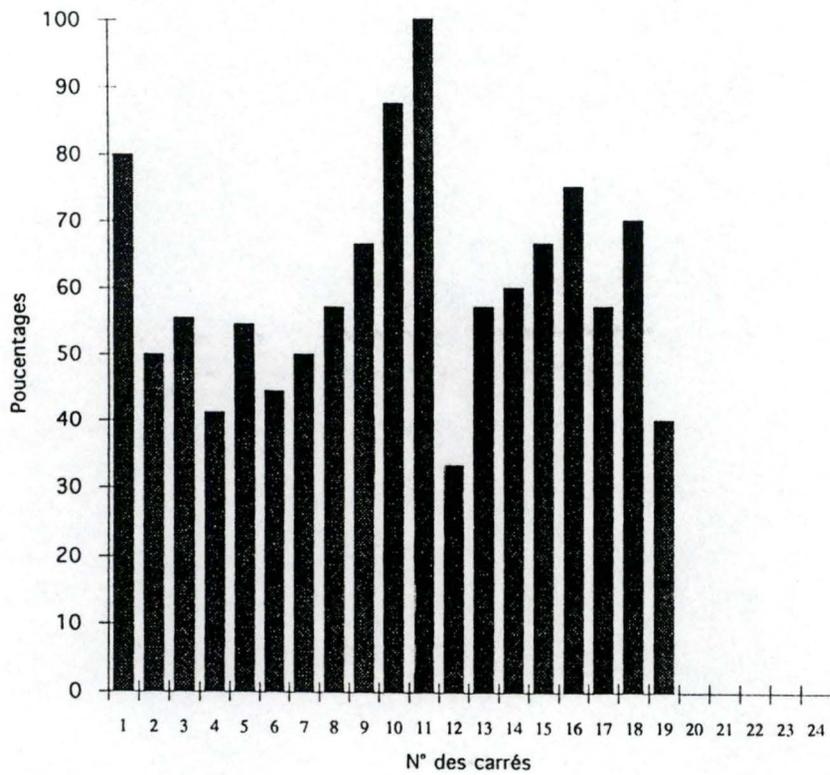
Pourcentages des Stromatopores possédant des mamelons de la coupe MN



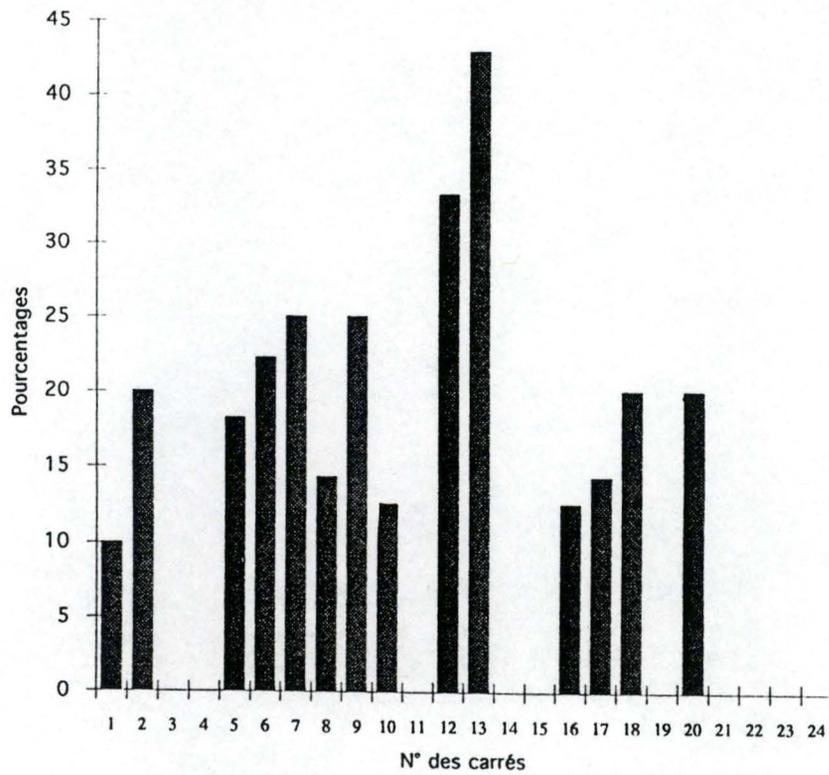
Pourcentages des Stromatopores possédant des astrorhizes de la coupe MN



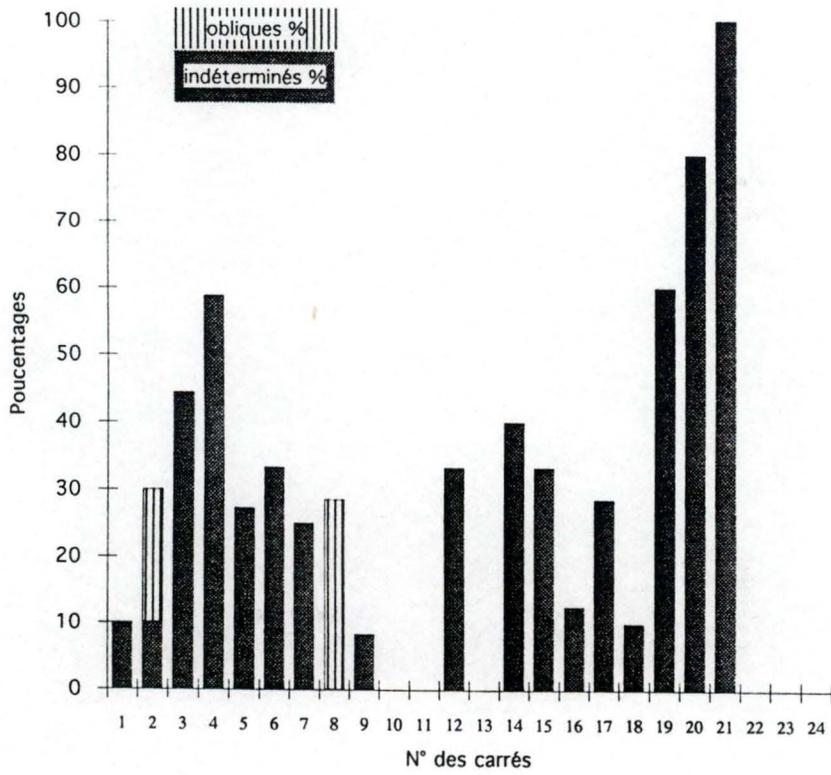
Pourcentages des Stromatopores en position normale dans la coupe MN



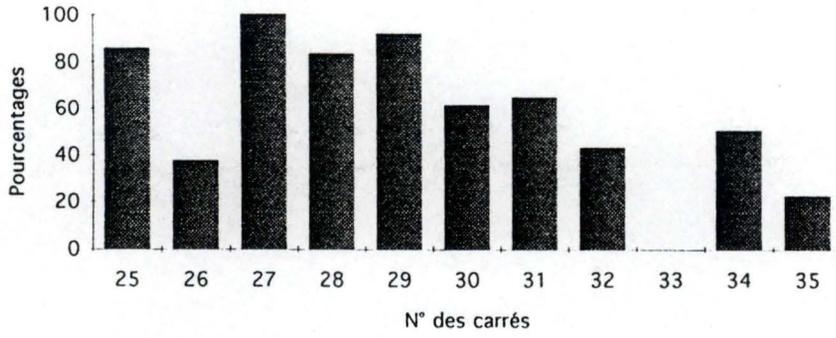
Pourcentages des Stromatopores retournés dans la coupe MN



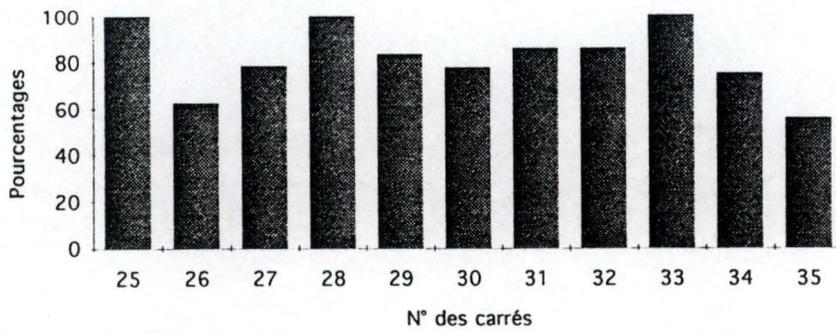
Pourcentages des Stromatopores obliques et en position indéterminée de la coupe MN



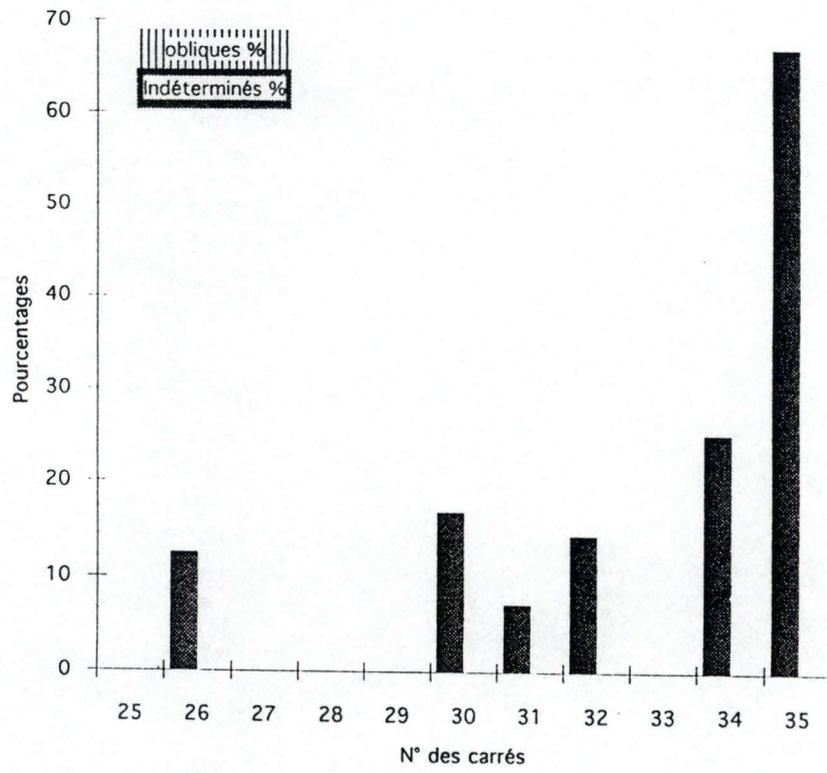
Pourcentages des Stromatopores possédant des mamelons dans la coupe LN



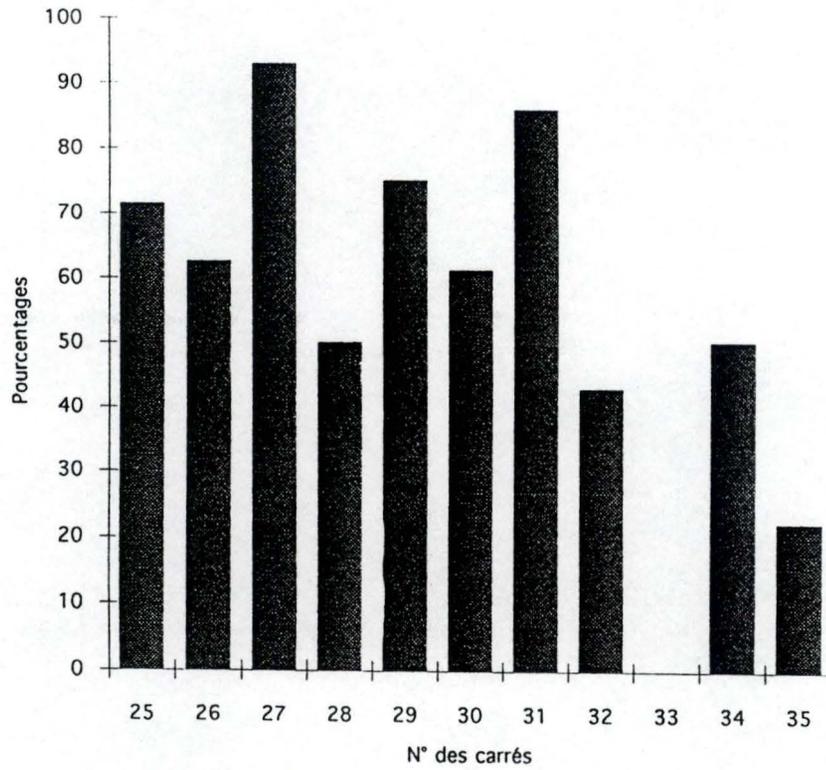
Pourcentages des Stromatopores possédant des astrorhizes de la coupe LN



Pourcentages des Stromatopores obliques et en position indéterminée de la coupe LN



Pourcentages des Stromatopores en position normale de la coupe LN



Pourcentages des Stromatopores retournés de la coupe LN

