

Pétrographie et paléoécologie d'une série de dolomies à stromatolithes de l'Ordovicien inférieur du Wisconsin, USA

Autor(en): **Carozzi, Albert V. / Davis, Richard A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **17 (1964)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-739872>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

PÉTROGRAPHIE ET PALÉOÉCOLOGIE D'UNE SÉRIE DE DOLOMIES A STROMATOLITHES DE L'ORDOVICIEN INFÉRIEUR DU WISCONSIN, U.S.A.

PAR

Albert V. CAROZZI et Richard A. DAVIS, Jr.

RÉSUMÉ

Une série de dolomies à stromatolithes épaisse d'environ 10 pieds appartenant à la *Shakopee Dolomite* (Ordovicien inférieur) et visible dans une carrière au nord de Wyalusing, Grant County, Wisconsin, a été soumise à une étude pétrographique détaillée.

L'examen d'environ 100 coupes minces a révélé une préservation remarquable des structures primaires en dépit d'une dolomitisation complète. La série étudiée comprend les microfaciès suivants: dolarénite oolithique localement silicifiée avec fréquentes oolites en demi-lune, dolomie stromatolithique, dolarénite à dolorudite intraformationnelle à débris de stromatolithes, dolosiltite. Les variations de clasticité et de fréquence des divers paramètres organiques et inorganiques montrent une répétition cyclique des termes lithologiques dans l'ordre décrit ci-dessus.

Les oolites se sont formées sous l'influence des courants de marée en bordure des colonies de stromatolithes qui vivaient en milieu plus agité et qui de temps en temps ont été exposés à l'atmosphère. La croissance des algues s'est terminée par leur démantèlement sous l'action des vagues et la formation de conglomérats intraformationnels. A l'arrière des colonies stromatolithiques en milieu tranquille, des boues calcaires fines se sont déposées dans lesquelles étaient dispersées de petites colonies de stromatolithes.

L'interprétation des conditions de dépôt est donnée par la combinaison d'une courbe bathymétrique relative et d'une courbe d'énergie du milieu. Ce dernier paraît semblable à celui régnant actuellement dans les Bahamas et le long de certaines parties des côtes occidentales d'Australie.

L'évolution diagénétique des dolarénites oolithiques indique une silicification partielle qui a précédé la dolomitisation générale.

ABSTRACT

A sequence about 10 feet thick of stromatolitic dolomites belonging to the Shakopee Dolomite (Lower Ordovician) and exposed in a quarry north of Wyalusing, Grant County, Wisconsin was submitted to a detailed petrographic investigation.

The study of about 100 thin sections revealed an excellent preservation of primary structures in spite of complete dolomitization. The sequence consists of the following microfacies: oolitic dolarenite locally chertified with frequent half-moon oolites; stromatolitic dolomite; algalclastic intraformational dolarenite to dolorudite, dolosiltite. The variations of clasticity and frequency of the

organic and inorganic parameters show a cyclical repetition of the lithological terms in the order mentioned above.

The oolites were formed under the influences of tidal currents in a zone immediately adjacent to the stromatolitic bioherms. These grew in more agitated conditions and were occasionally exposed to the atmosphere. Algal growth was eventually inhibited by wave action which destroyed the upper layers of the stromatolites and accumulated over them algalclastic dolerudites. Fine lime mud with patchy occurrences of small stromatolitic colonies accumulated in the relatively quiet lagoons located behind the main biohermal growth.

The interpretation of the general conditions of deposition is given by the combination of a relative bathymetrical curve and a curve of the energy of the environment. The latter is very similar to the present Great Bahama Banks and to some parts of the coasts of Western Australia.

The diagenetic evolution of the oolitic dolarenites shows a partial chertification which preceded the general dolomitization.

INTRODUCTION

Une série de dolomies à stromatolithes appartenant à la *Shakopee Dolomite* qui fait elle-même partie de la Formation dite « Prairie du Chien » (Ordovicien inférieur) a été soumise à une étude pétrographique détaillée suivant la méthode proposée par A. V. Carozzi (1950, 1958).

Cette série a été choisie pour les raisons suivantes: parfaite préservation des structures primaires en dépit d'une dolomitisation complète; présence d'oolithes en demi-lune silicifiées; répétition cyclique des microfaciès et analogies avec certains milieux actuels à stromatolithes.

POSITION GÉOGRAPHIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

La coupe étudiée est visible dans la paroi nord-est d'une carrière abandonnée appartenant au Chicago, Burlington and Quincy Railroad (fig. 1). La carrière se trouve au nord du village de Wyalusing dans le Grant County, Wisconsin (SW $\frac{1}{4}$, NW $\frac{1}{4}$, Sec. 31, T. 6N, R. 6W) et montre environ 90 pieds de *Shakopee Dolomite*. La présente étude est limitée à une série épaisse de 9,5 pieds de niveaux stromatolithiques se trouvant à 35 pieds au-dessus de la base de la *Shakopee Dolomite*. Une série semblable est visible au même niveau stratigraphique dans d'autres localités du SW du Wisconsin, en particulier dans les carrières de Eastman, Crawford County et de West Prairie, Vernon County.

MÉTHODES ET TECHNIQUES

Plusieurs coupes détaillées ont été relevées et des échantillons en position intermédiaire entre les coupes ont été prélevés dans l'affleurement large d'environ 35 pieds (fig. 2).

Sous le microscope, l'examen d'environ 100 coupes minces a montré l'existence de quatre microfaciès distincts. Les indices de clasticité et de fréquence ont été mesurés pour les composants suivants: quartz détritique, oolithes et débris de stromatolithes. Toutes les mesures microscopiques ont été effectuées sur 6 champs de vision totalisant 385 mm². La fréquence est exprimée par le nombre total de grains dans cette surface tandis que la clasticité est exprimée par la moyenne des diamètres apparents des six plus grands grains dans chacun des six champs.

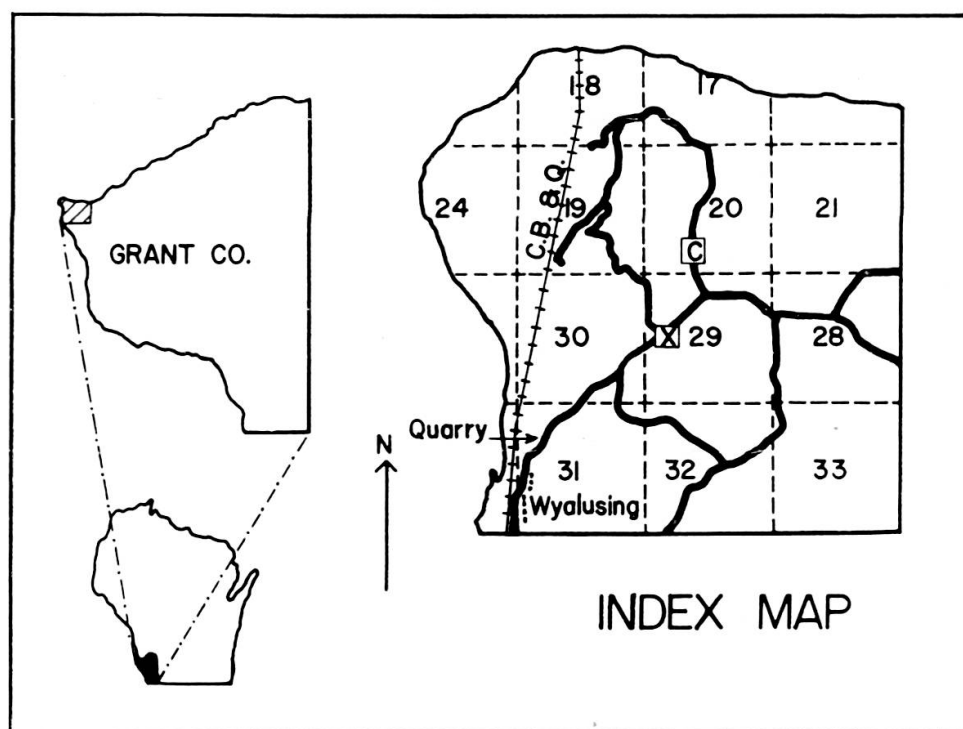


Fig. 1

Carte montrant la position géographique de la coupe étudiée.

Le coefficient de triage a été déterminé en estimant le diamètre phi du 16^e et du 84^e percentile. En soustrayant ces valeurs l'une de l'autre et en divisant par deux on obtient la déviation standard qui peut être appliquée à une échelle du coefficient de triage (Folk, 1961).

Plusieurs échantillons appartenant à un même niveau stratigraphique ont été groupés et leur valeur moyenne utilisée pour établir les courbes de variation des divers paramètres (fig. 4). Ce procédé donne une évaluation complète bien que générale du comportement des composants. En effet, une seule coupe ne serait pas entièrement caractéristique et l'affleurement est trop réduit pour justifier la présentation graphique de plusieurs coupes distinctes.

DESCRIPTION DES MICROFACIÈS

La série étudiée a été divisée en 4 microfaciès distincts en combinant les données du terrain avec les caractères microscopiques. En général les microfaciès ont des limites bien nettes, cependant en quelques endroits ils montrent des termes de passage.

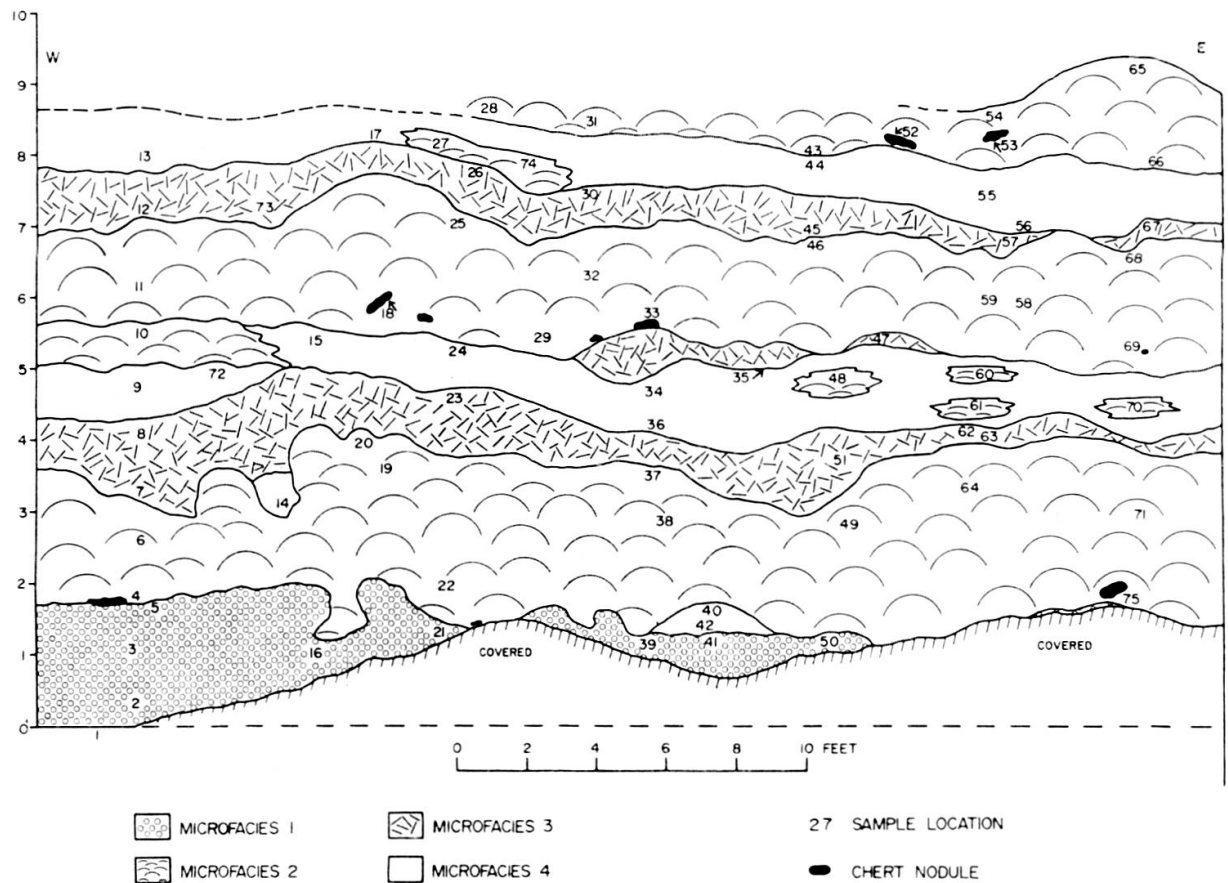


Fig. 2

Distribution des microfaciès et position des échantillons dans l'affleurement étudié.

Microfaciès 1 (Pl. I, A et B)

Sur le terrain ce microfaciès est une dolarénite oolithique, gris-clair à beige et à zones silicifiées très irrégulières. La roche est très poreuse à la suite de la dissolution de nombreuses oolithes.

Sous le microscope, le microfaciès 1 apparaît comme une calcarénite oolithique bien triée entièrement dolomitisée à l'exception de quelques zones silicifiées. Les oolithes montrent de nombreuses et fines couches concentriques autour de noyaux relativement gros. Ces derniers sont en minorité (5 à 10%) des grains arrondis de

quartz détritique et en majorité des fragments irréguliers ou arrondis de dololuite sombre et à grain fin qui proviennent en grande partie du remaniement des stromatolithes (microfaciès 2). On observe quelques oolithes composées avec 2 ou plusieurs individus entourés par une enveloppe commune de couches concentriques et, par endroits, des concentrations d'oolithes déformées par des actions mécaniques syn-sédimentaires (Carozzi, 1961). Des galets plats de dolomie stromatolithique qui proviennent également du démantèlement des colonies et des grains de quartz détritique sont par endroits associés aux oolithes.

Dans les zones silicifiées du microfaciès 1, les oolithes ont été partiellement ou entièrement remplacées par de la calcédonite fibreuse en petits éventails de couleur beige à brune en lumière naturelle. Entre nicols croisés, la calcédonite apparaît grossière et passe même à une mosaïque de quartz lorsqu'elle remplace les noyaux carbonatés des oolithes tandis qu'elle est toujours à grain fin lorsqu'elle remplace les couches concentriques. Lors des remplacements incomplets, les oolithes apparaissent comme des agrégats confus de calcédonite grossière et de dolomite qui ont détruit dans une proportion appréciable les structures originales. Lorsque des oolithes entièrement dolomitisées se trouvent au sein de zones silicifiées, leur structure interne a été entièrement détruite par une mosaïque de dolomite grossière.

Le ciment interstitiel a été remplacé par de la calcédonite fibro-radiée dont les individus sont orientés perpendiculairement à la bordure des oolithes et présentent souvent un aspect mamelonné. Lorsque les espaces interstitiels sont assez larges, la bordure de calcédonite fibro-radiée passe à une zone centrale de cristaux de quartz engrenés et équidimensionnels. Cette structure témoigne du remplacement d'une calcite originale de remplissage de cavité.

Dans les zones dolomitisées du microfaciès 1, les oolithes sont devenues des « fantômes » formés par une mosaïque de dolomite claire et grossière dans laquelle en général le noyau calcaire et les couches concentriques ne sont plus visibles. Cependant, dans quelques cas, le noyau est encore visible sous la forme d'une masse circulaire de dolomite sombre à grain fin entourée par une structure grossièrement annulaire de dolomite claire et grossière. Lorsque le noyau est formé par un grain de quartz détritique, celui-ci est souvent corrodé en bordure par la dolomite (Page et Carozzi, 1961) ou parfois accru secondairement avec des ébauches de formes cristallographiques.

Le ciment interstitiel apparaît par endroits comme une dolomite sombre, uniforme et à grain fin. Mais en général on observe une bande sombre de cristaux allongés de dolomite développés perpendiculairement à la bordure des oolithes qui passe souvent à une mosaïque centrale de larges grains de dolomite engrenés et équidimensionnels. Comme précédemment, la dolomite a remplacé une calcite de remplissage de cavité. Dans d'autres coupes minces, le ciment interstitiel est représenté par une mosaïque uniforme de dolomite claire et grossière dont la taille des cristaux est très voisine de celle remplaçant les oolithes. Dès lors ces dernières

ne peuvent être distinguées que par la présence d'une mince bordure d'impuretés contenant de nombreux pigments de pyrite.

Dans les zones de passage entre les parties dolomitisées et silicifiées du microfaciès 1, des oolithes silicifiées avec préservation parfaite de leur structure interne sont associées à des « fantômes » d'oolithes dolomitisées, les deux types étant entourés par un ciment dolomitique. On observe aussi le cas inverse dans lequel des « fantômes » d'oolithes dolomitisées se trouvent dans un ciment de calcédonite fibreuse et de quartz.

Présence d'oolithes en demi-lune

Dans les oolithes en demi-lune (Carozzi, 1963), certaines couches concentriques ont été dissoutes à l'intérieur d'une enveloppe externe non-affectée. Cette dissolution différentielle s'est accompagnée de la déformation plastique des couches concentriques insolubles au-dessus du noyau calcaire ou de quartz tombé sous l'action de la pesanteur au fond de la cavité en croissant. Celle-ci a été remplie ensuite par de la calcite secondaire.

Les oolithes en demi-lune résultent d'actions diagénétiques qui ont suivi de très près la sédimentation. Bien que relativement rares, elles représentent un excellent critère pour déterminer le haut et le bas des couches. Elles ont été signalées pour la première fois dans la Dolomie d'Allentown, Cambrien supérieur de la Pennsylvanie et du New Jersey (Wherry, 1916; Zadnik et Carozzi, 1963) dans des séries dolomitiques à stromatolithes semblables à de nombreux points de vue à celle décrite dans ce travail. Dans ces milieux sub-évaporitiques, les oolithes en demi-lune ont été interprétées comme des corps hybrides formés par des couches concentriques alternativement de carbonate et de sulfate (anhydrite ou gypse). Ces dernières auraient été dissoutes de façon différentielle (Carozzi, 1963). Si à l'avenir les oolithes en demi-lune se trouvent dans d'autres milieux carbonatés, il conviendrait de ré-examiner la nature des couches concentriques dissoutes. Il pourrait alors s'agir de couplets aragonite-calcite, calcite pure — calcite riche en matières organiques, calcite-calcite magnésienne ou encore calcite — dolomite primaire.

Les oolithes en demi-lune sont relativement fréquentes dans le microfaciès 1 et ont été rencontrées ici pour la première fois à l'état silicifié. Dans la majorité des cas, les noyaux sont tombés suivant la verticale au fond des cavités mais quelquefois la chute s'est faite un peu obliquement et les noyaux n'ont pas atteint la partie la plus basse des cavités. Si les lignes de chute étaient orientées au hasard, elles indiqueraient un remaniement des oolithes en demi-lune après leur formation. Ces conditions représenteraient un critère de premier ordre pour déterminer les phénomènes de remaniement par ailleurs si difficiles à reconnaître et en général d'importance sous-estimée.

Dans les zones silicifiées du microfaciès 1 (Pl. 2, E à H), les oolithes en demi-lune sont parfaitement conservées avec des noyaux carbonatés partiellement ou entièrement

silicifiés ou avec des noyaux de quartz détritique entourés de couches concentriques silicifiées. Les cavités en croissant sont remplies soit par de la calcédonite grossière en éventail et à structure mamelonnée soit par une bande marginale de calcédonite fibroradiée passant à une mosaïque centrale de quartz. Cette structure indique une fois de plus le remplacement par la silice d'une calcite de remplissage de cavité.

Dans les zones dolomitisées du microfaciès 1, les oolithes en demi-lune sont très mal conservées. Les noyaux carbonatés au fond des cavités apparaissent comme des amas ellipsoïdaux de dolomite sombre à grain fin entourés par une mosaïque de dolomite claire et grossière remplissant les cavités mais sans montrer de façon très claire les caractères de la calcite qu'elle a remplacé. Les noyaux de quartz détritique, comme dans les oolithes normales, sont en général corrodés ou parfois accrus secondairement.

Dans les zones de passage entre les parties silicifiées et dolomitisées du microfaciès 1 (Pl. II, A à D), les oolithes en demi-lune montrent également des caractères intermédiaires. Au fond des cavités, les noyaux carbonatés apparaissent comme des agrégats de dolomite sombre à grain fin tandis que les noyaux de quartz, souvent entourés par quelques couches concentriques dolomitisées, sont en général corrodés ou accrus secondairement. Cependant, dans tous les cas, les cavités en croissant sont remplies par du quartz secondaire montrant une bande marginale de cristaux allongés et orientés perpendiculairement aux bordures et passant vers le centre à une mosaïque de grains équidimensionnels. Dans les cas où la partie centrale d'un noyau carbonaté a également été dissoute et remplie par de la calcite secondaire, une mosaïque de quartz a pris sa place.

L'altération météorique du microfaciès 1 a changé en cavités de nombreuses oolithes normales et en demi-lune ainsi que quelques espaces interstitiels. Certaines de ces cavités montrent un remplissage de calcite hyaline soit sous forme d'une mosaïque grossière, soit sous forme d'une plage à unité optique. Cette altération météorique s'est concentrée sur les parties dolomitisées, mais par endroits elle a également affecté les portions silicifiées.

Sur la base des observations décrites ci-dessus, il est possible de distinguer cinq phases principales dans l'histoire sédimentaire et diagénétique du microfaciès 1:

Phase 1: formation des oolithes dont certaines avec alternances de couches concentriques carbonatées et sulfatées; déformation de certaines oolithes par des actions mécaniques synsédimentaires; précipitation de la calcite de remplissage interstitiel.

Phase 2: diagenèse initiale par dissolution partielle des oolithes hybrides qui deviennent des oolithes en demi-lune; remplissage de leurs cavités internes par de la calcite secondaire.

Phase 3: silicification partielle ou complète d'oolithes normales et en demi-lune avec parfaite conservation des structures originales; accroissement secondaire de certains noyaux de quartz détritique.

Phase 4: dolomitisation complète de toutes les oolithes ayant échappé à la silicification avec destruction presque totale de leurs structures primaires; corrosion périphérique de la calcédonite, du quartz secondaire et de certains noyaux de quartz détritique par les cristaux de dolomite.

Phase 5: altération météorique et dissolution de tous les types d'oolithes et de certains espaces interstitiels surtout dans les zones dolomitisées; remplissage partiel de ces cavités par de la calcite.

Microfaciès 2 (Pl. I, C à E)

Sur le terrain, ce microfaciès est une dolomie stromatolithique de couleur brune à rougeâtre. Les stromatolithes de forme bulbeuse ont des diamètres de un à quatre pieds et s'élèvent à partir d'une base commune. Ils sont étroitement juxtaposés et séparés par des chenaux irréguliers.

Black (1933) dans son étude sur les stromatolithes récents des Bahamas a montré que leur structure finement litée, semblable à celle des formes anciennes, peut résulter de trois mécanismes principaux agissant seuls ou combinés:

1. Variation rythmique de l'abondance des filaments d'une espèce ou d'un groupe d'espèces et de la quantité de sédiment, déposés.
2. Alternances de deux espèces ou de deux groupes d'espèces.
3. Stratification fine des particules minérales prises entre les filaments.

Il est certain que ces trois procédés doivent contribuer à la genèse de la structure finement litée des stromatolithes mais, comme Ginsburg (1960), nous pensons que le premier mécanisme est le plus important, à savoir: variations rythmiques entre des phases de croissance de tapis mucilagineux et superficiels d'algues bleu-vertes et des phases de sédimentation de boues calcaires fixées sur les surfaces supérieures des tapis. En effet, les observations (Ginsburg, 1960) montrent que lors d'une périodicité de la sédimentation ou de forte turbidité, il se produit des alternances de couches riches en algues et de couches riches en sédiment. Si ce dernier se dépose à partir de suspension sur le tapis, les algues se déplacent verticalement à travers le sédiment et reforment un nouveau tapis à sa surface. Si le sédiment est à grain plus fin et reste plus longtemps en suspension, le tapis mucilagineux peut emprisonner et consolider toutes les particules qui viennent graduellement en contact avec lui. Ainsi s'expliquent la plupart des modalités de structure des stromatolithes.

Sous le microscope la structure de détail des stromatolithes montre des alternances irrégulières de couches fines de dolomite sombre à grain fin et de couches plus épaisses

de dolomite claire et grossière. Les couches sombres sont riches en matières organiques et correspondent en toute apparence aux tapis mucilagineux des algues. Par endroits, les couches sombres sont recroquevillées à la suite d'une dessiccation partielle. Ailleurs, les couches sombres deviennent plus épaisses par dédoublement et montrent des poches irrégulières ou des traînées lenticulaires de dolomite claire et grossière contenant des débris arrondis ou anguleux de dolomite sombre remaniés pratiquement sur place à partir de ces mêmes couches.

Les couches plus épaisses et de couleur claire représentent des boues calcaires fines déposées à partir de suspensions et fixées sur les surfaces supérieures des tapis d'algues. Elles sont formées par une dolomite claire contenant des débris anguleux et arrondis de dolomite sombre, des grains anguleux de quartz détritique et des oolithes remaniées qui sont distribuées au hasard ou concentrées en traînées.

Les coupes minces perpendiculaires à la stratification démontrent la complexité des relations géométriques entre couches sombres et claires ainsi que le caractère cyclique de leurs répétitions. Par exemple, on observe une bande formée de 5 à 10 alternances de couches sombres et claires correspondant à la juxtaposition de masses bulbeuses microscopiques. Ces bandes qui par leur superposition forment les colonies bulbeuses principales semblent reproduire à petite échelle les structures d'ordre supérieur dont elles font partie.

Dans l'axe de chacun des individus microscopiques, les deux types de couches sont bien développées et séparées par un intervalle constant. Vers les régions marginales de chaque colonie, les deux types de couches deviennent plus minces, se rapprochent et finalement se rejoignent presque complètement vers le fond des chenaux étroits qui séparent deux colonies adjacentes. Cette bande de masses bulbeuses microscopiques qui débute souvent par une couche sombre presque horizontale est en général recouverte par une couche épaisse de dolomite claire. Celle-ci remplit toutes les irrégularités de la surface supérieure des petites masses bulbeuses et montre souvent, à la base des chenaux, des poches où sont concentrés des débris de dolomite sombre, de nombreux grains de quartz détritique et des oolithes remaniées. L'apparence cyclique de la structure de détail des stromatolithes résulte de l'alternance irrégulière des bandes à fines couches sombres et claires et de bandes claires plus épaisses. La surface de ces dernières contrôle en fait la position des petites masses bulbeuses de la bande placée immédiatement au-dessus. Si cette surface reproduit de façon atténuée les ondulations dues aux petites colonies sous-jacentes, leur position ne change pas et se perpétue d'une zone à l'autre; si la surface est plane, les masses bulbeuses supérieures ont une position indépendante.

Par endroits, la structure des stromatolithes bien que visible à l'œil nu, apparaît sous le microscope détruite dans une large mesure par le développement d'une mosaïque grossière de rhomboèdres zonés montrant de vagues bandes claires et sombres.

Microfaciès 3 (Pl. I, F et G)

Sur le terrain le microfaciès 3 est une dolarénite ou une dolorudite de couleur rouge-clair. Il s'agit en fait d'une brèche-conglomérat intraformationnelle reposant directement sur les colonies stromatolithiques et essentiellement formée par l'accumulation de leurs produits de démantèlement sous l'action des vagues. Les débris sont en général anguleux, sub-rectangulaires ou en forme de croissant et peuvent être observés à tous les stades de remaniement à partir des colonies stromatolithiques sous-jacentes.

Sous le microscope, les gros débris sont sub-arrondis et les petits arrondis. Ces derniers présentent souvent des fissures marginales en V indiquant des phénomènes de dessiccation. Les fragments qui proviennent des couches stromatolithiques sombres sont très clairement visibles à la suite du contraste de couleur avec la dolomite interstitielle claire et grossière. Il n'en est pas de même pour les débris provenant des couches stromatolithiques claires qui bien que très abondants sont difficiles à distinguer de prime abord du ciment.

Le coefficient de triage des débris stromatolithiques augmente vers le haut tandis que leur taille diminue.

Dans ce microfaciès, le quartz détritique est le second composant par ordre d'importance et atteint sa clasticité maximale. Les grains les plus gros (0,3 à 0,5 mm) sont bien arrondis tandis que les petits sont anguleux. Comme pour les débris de stromatolithes le coefficient de triage du quartz augmente vers le haut mais sa clasticité ne montre aucune variation verticale.

Des « fantômes » d'oolithes remaniées sont visibles par endroits tandis que l'échantillon n° 12 contient un fragment anguleux de dolarénite oolithique *silicifiée* qui démontre à nouveau la rapidité avec laquelle la silicification a suivi la sédimentation.

Microfaciès 4 (Pl. I, H)

Sur le terrain, ce microfaciès est une dolosiltite brune à rougeâtre, parfois finement litée mais en général d'aspect dense et massif.

L'étude sous le microscope montre une mosaïque fine à grossière de cristaux de dolomite sub-rhomboédriques et zonés, séparés par des pigments de pyrite interstitielle. Le quartz est le principal composant détritique et atteint ici sa fréquence maximale. Il est accompagné d'un petit nombre d'oolithes remaniées et de débris de stromatolithes.

Bien que le microfaciès 4 soit continu sur toute l'étendue de l'affleurement étudié, il contient des intercalations irrégulières de microfaciès 2 (fig. 2) sous forme de petites colonies stromatolithiques qui ne sont pas toujours visibles sur le terrain.

Les valeurs caractéristiques des paramètres pour chaque microfaciès sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Microfaciès	1	2	3	4
<i>Quartz</i>				
Clasticité minimale (mm)	0,17	0,06	0,08	0,09
Clasticité moyenne	0,23	0,15	0,29	0,16
Clasticité maximale	0,39	0,31	0,67	0,33
Fréquence minimale	0	0	6	0
Fréquence moyenne	39	37	154	113
Fréquence maximale	110	175	687	689
<i>Oolithes</i>				
Clasticité minimale (mm)	0,75	0,31	0,45	0,37
Clasticité moyenne	1,09	0,62	0,56	0,50
Clasticité maximale	1,27	0,80	0,70	0,59
Fréquence minimale	138	0	0	0
Fréquence moyenne	597	13,7	11,7	13,6
Fréquence maximale	887	210	173	122
<i>Débris de stromatolithes</i>				
Clasticité minimale (mm)	0,90	0,31	0,40	0,27
Clasticité moyenne	0,93	1,03	1,44	0,56
Clasticité maximale	0,96	2,22	4,30	0,90
Fréquence minimale	0	0	1	0
Fréquence moyenne	3,4	4,4	133	13
Fréquence maximale	30	70	380	87
Coefficient de triage minimum (phi) . .	0,74	1,45	1,75	0,65
Coefficient de triage moyen	0,74	1,07	0,90	0,56
Coefficient de triage maximum	0,74	0,65	0,55	0,50

LE CYCLE IDÉAL

Les quatre microfaciès représentent des milieux de sédimentation distincts qui montrent cependant des passages graduels, de l'un à l'autre. Il est possible d'exprimer leurs relations réciproques au moyen d'un cycle idéal qui représente la synthèse de la coupe étudiée (fig. 3).

La clasticité du quartz détritique montre une valeur assez élevée dans le microfaciès 1 surtout à la base et ensuite diminue dans le microfaciès 2 dès l'apparition des stromatolithes. On observe cependant une augmentation graduelle vers le haut de la clasticité des grains de quartz incorporés dans les couches stromatolithiques sombres et claires, indiquant une agitation croissante. Cette augmentation de la clasticité continue jusqu'à un maximum au sommet de la dolorudite à débris de stromatolithes. Elle est suivie par une diminution brusque dans le milieu tranquille du microfaciès 4 où cependant une légère augmentation se produit vers le haut.

La courbe de fréquence du quartz détritique suit la clasticité de façon régulière indiquant un milieu bien alimenté. Dans le microfaciès 1, la fréquence est basse et

la clasticité élevée. Ces conditions résultent du fait que la plupart des grains de quartz incorporés comme noyaux des oolites n'ont pas été comptés dans les mesures de fréquence. A la partie supérieure du microfaciès 4, la clasticité est faible et la fréquence atteint ses plus fortes valeurs. Il est possible que dans cette partie de la coupe, l'abondance de quartz soit due à des apports éoliens en provenance des terres émergées avoisinantes.

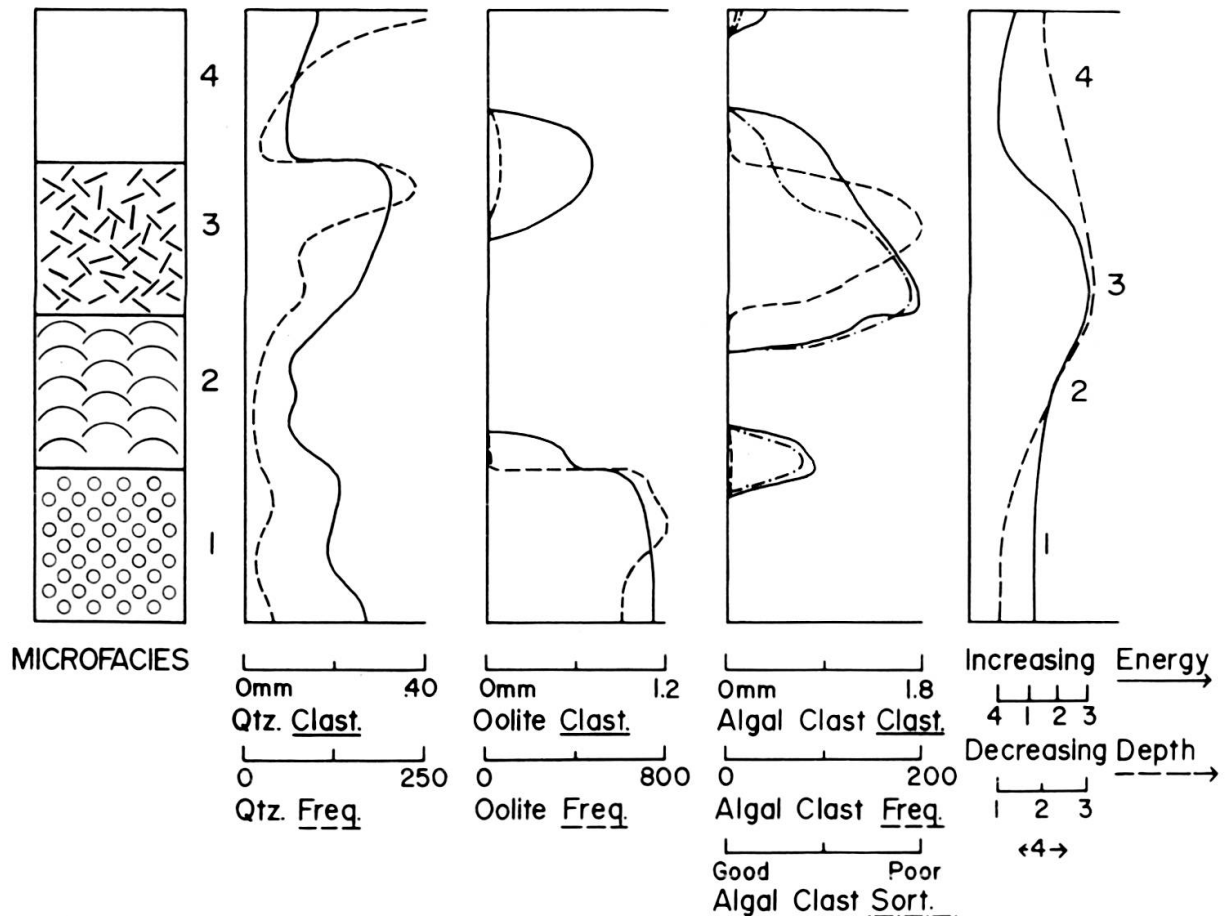


Fig. 3

Cycle idéal. Les débris remaniés de stromatolithes sont désignés ici par le terme anglais *algal clasts*.

Les oolites qui caractérisent le microfaciès 1 présentent dans celui-ci leurs valeurs maximales de clasticité et de fréquence mais elles persistent à la base des colonies de stromatolithes (microfaciès 2). Elles apparaissent encore plus haut à l'état remanié mais en très petit nombre (non représenté dans la fig. 3) avec des grains de quartz détritique dans les couches stromatolithiques sombres et claires. Les oolites remaniées sont présentes à nouveau en poches ou en traînées au sommet du microfaciès 3 et à la base du microfaciès 4.

Les débris remaniés de stromatolithes (*algal clasts*) représentent le composant principal du microfaciès 3. Quelques débris sont associés aux oolites de la partie

supérieure du microfaciès 1 et de la base du microfaciès 2, d'autres se trouvent dans le haut des niveaux stromatolithiques eux-mêmes et enfin, quelques débris sont dispersés dans la dolosiltite du microfaciès 4. Le coefficient de triage des débris est faible à la

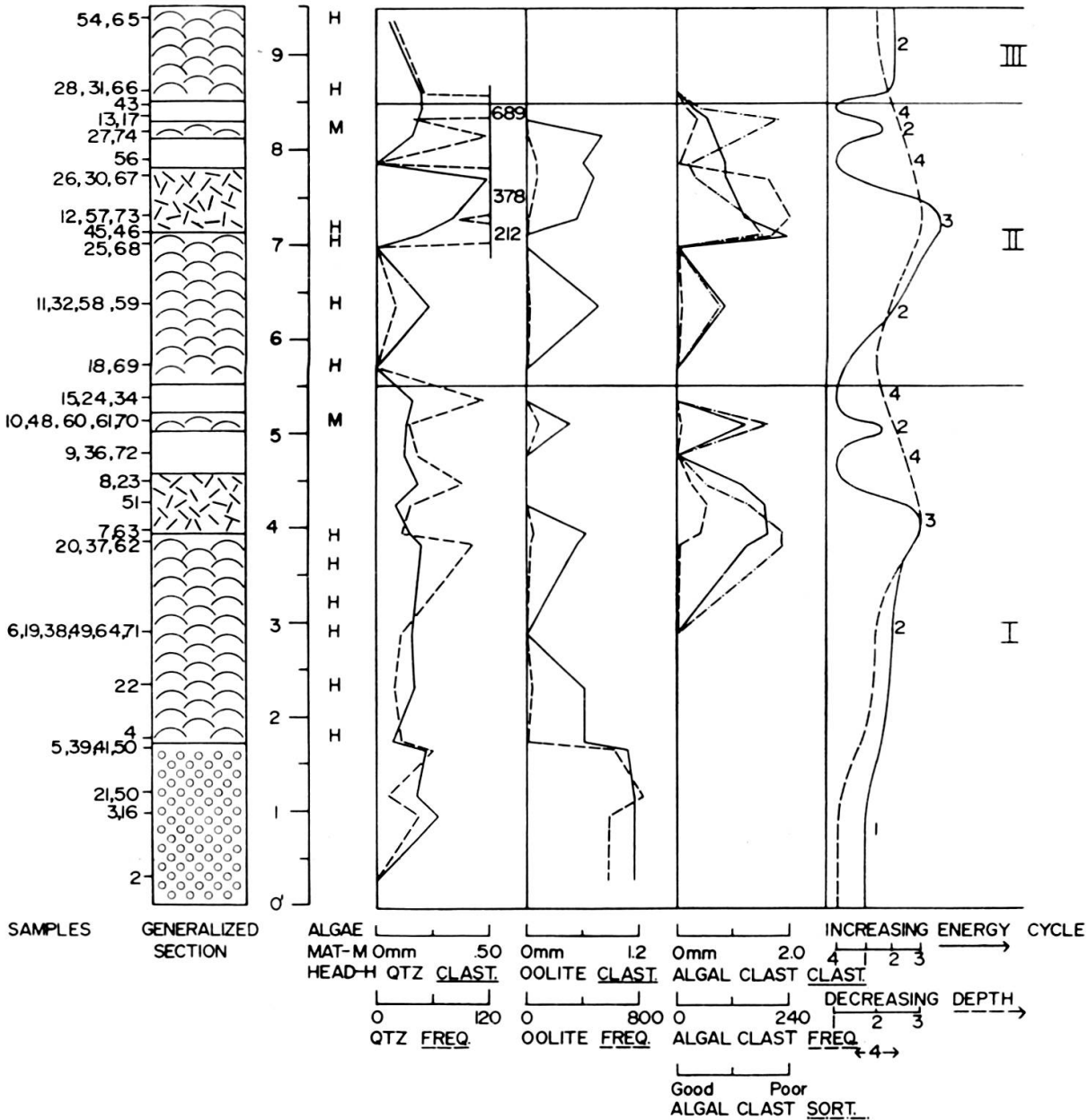


Fig. 4

Variations détaillées des paramètres dans la coupe étudiée.

base du microfaciès 3 mais augmente graduellement vers le haut en étroite liaison avec la diminution de la clasticité. La courbe de fréquence culmine de façon indépendante dans la partie centrale du microfaciès où les remaniements ont produit le plus grand nombre de débris. Dans ce milieu très agité, oolithes remaniées et grains de

quartz ne subsistent qu'à la partie supérieure lors de la diminution de clasticité des débris de stromatolithes.

L'interprétation des conditions de dépôt est donnée par deux courbes, la première montre les fluctuations de l'énergie du milieu et la seconde les variations de profondeur relative. Les deux courbes donnent une image fidèle des variations de milieu en exprimant d'une façon continue les rapports entre profondeur et énergie.

Le microfaciès 1 exprime un niveau d'énergie moyen qui augmente vers le haut dans les niveaux stromatolithiques et atteint sa valeur maximale dans la dolorudite (microfaciès 3). Le niveau d'énergie le plus bas correspond à la dolosiltite du microfaciès 4 qui montre cependant un léger accroissement vers le haut.

La courbe bathymétrique relative est basée sur une échelle comprenant de gauche à droite les microfaciès 1 à 3 dans leur ordre de profondeur décroissante tandis que le microfaciès 4 se trouve à une profondeur équivalente à 2.

Les courbes d'énergie et de bathymétrie relative sont parallèles entre elles sauf dans le microfaciès 4. En effet, celui-ci a été déposé sous une profondeur équivalente à celle du microfaciès 2 mais en milieu calme à la suite de la protection offerte par les colonies stromatolithiques contre les vagues et l'action des courants. Les petits stromatolithes dispersés dans les dolosiltites indiquent probablement des zones très peu profondes et un peu plus agitées.

LA SÉRIE ÉTUDIÉE

Il ne paraît pas nécessaire de décrire en détail les variations des courbes des différents paramètres car elles ne sont en fait que des modifications locales du cycle idéal et leur représentation graphique est suffisamment explicite (fig. 4). Notons cependant que les quatre microfaciès forment par leur répétition 3 cycles distincts dont les deux derniers ne présentent pas de microfaciès 1.

PALÉOÉCOLOGIE ET COMPARAISON OCÉANOGRAPHIQUE

Les divers milieux de sédimentation correspondant aux quatre microfaciès du cycle idéal peuvent être comparés non seulement dans le plan vertical mais également dans leurs relations latérales (fig. 5). Dans ce dernier cas, leur juxtaposition offre des analogies évidentes avec certains milieux modernes qui fournissent des informations fondamentales pour l'interprétation des dépôts anciens.

Le microfaciès 1 représente un milieu à caractères relativement constants. Les oolithes se sont formées dans des eaux marines peu profondes et chaudes soumises à une énergie modérément élevée. Il y a des indications en faveur d'un léger accrois-

sement de l'énergie vers le haut marqué par un meilleur triage et une sphéricité apparente plus élevée des oolites.

D'après Illing (1954) le degré d'arrondi et de triage des oolites en formation de nos jours dans les Bahamas est contrôlé par les courants de marée. La précipitation des couches concentriques d'aragonite autour des noyaux est due au réchauffement soudain d'eaux froides saturées en carbonate de chaux qui sous l'effet des

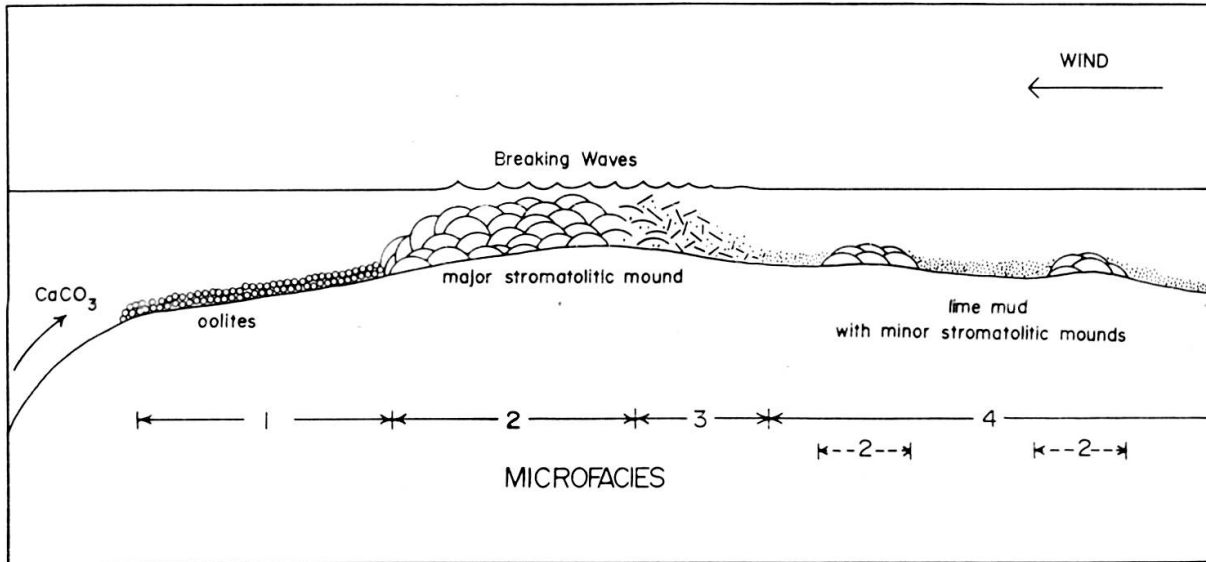


Fig. 5

Interprétation horizontale des milieux de sédimentation du cycle idéal.

courants de marée, remontent depuis la profondeur et envahissent le rebord de la plateforme. Les oolites du microfaciès 1 se sont probablement formées dans un milieu analogue. Cependant leurs couches concentriques montrent encore l'influence des irrégularités des noyaux indiquant un milieu à énergie plus faible que celui des Bahamas. La profondeur de l'eau ne devait pas dépasser 5 fathoms.

Une augmentation légère de l'énergie et une diminution de la profondeur conduisent à un milieu favorable au développement des algues bleu-vertes telles que les stromatolithes. Leurs colonies ont formé des masses solides résistant à l'action des vagues et qui caractérisent le microfaciès 2. Les stromatolithes du fait de leur action de photosynthèse sont limités à la zone euphotique. Il convient de rappeler que ces algues ne précipitent pas de carbonate de chaux, mais emprisonnent seulement les boues calcaires en suspension dans l'eau.

Cloud (1942) place leur zone de croissance optimum depuis la zone de balancement des marées jusqu'à 15 fathoms de profondeur. Black (1933) et Logan (1961) ont décrit respectivement dans les Bahamas et sur les côtes occidentales d'Australie des stromatolithes modernes qui se développent en abondance dans la zone des marées. Ils sont exposés alternativement à l'action mécanique des vagues et à l'effet desséchant

de l'atmosphère. A l'abri des colonies principales se trouvent des formes secondaires qui se sont fixées sur des bancs de boue en milieu tranquille.

On peut donc conclure que les stromatolithes du microfaciès 2 ont vécu dans des conditions analogues à celles des formes modernes et à une profondeur probablement inférieure à 3 fathoms. La rareté et la distribution irrégulière des couches recroquevillées par dessiccation semblent montrer que les stromatolithes étudiés n'ont pas été soumis à d'importants balancements de marée. L'augmentation vers le haut de la taille des grains de quartz détritiques incorporés dans les couches stromatolithiques et de la taille des débris remaniés à partir de ces dernières indiquent un accroissement de l'énergie du milieu qui s'est terminé par un arrêt de croissance des colonies suivi par leur destruction mécanique.

L'action des vagues en détruisant les couches supérieures des colonies stromatolithiques a donné naissance à la dolorudite du microfaciès 3 qui s'est accumulée au-dessus et en arrière de la masse principale des stromatolithes. A la base, les débris remaniés sont anguleux et pratiquement déposés sur place, vers le haut ils deviennent arrondis, plus petits et mieux triés.

Le milieu de dépôt du microfaciès 4 est celui d'une lagune tranquille presque complètement protégée de l'action des vagues par les colonies stromatolithiques et par l'accumulation de leurs produits de démantèlement. La profondeur de l'eau devait être de 2 à 5 fathoms et sans doute moindre aux endroits où se sont développés les petits stromatolithes. Ceux-ci correspondaient à des zones d'agitation un peu plus forte mais sans aucune comparaison avec le milieu très agité où croissaient les colonies principales.

La présence d'oolithes remaniées et de débris de stromatolithes dans ce milieu tranquille montre que les colonies principales ne devaient pas former une barrière infranchissable. Lors de fortes marées ou de violentes tempêtes, des éléments plus grossiers en provenance des microfaciès 1 et 2 ont pu pénétrer dans la lagune.

*Department of Geology
University of Illinois
January, 1964*

BIBLIOGRAPHIE

- BLACK, M. (1933). The algal sediments of Andros Island, Bahamas. *Royal Soc. London. Phil. Trans.*, ser. B, vol. 222, pp. 165-192.
- CAROZZI, A. V. (1950). Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation. *Archives des Sciences, Genève*, vol. 3, pp. 17-40, 95-146.
- (1958). Micromechanisms of sedimentation in the epicontinental environment. *Jour. Sed. Petrology*, vol. 28, pp. 133-150.
- (1961). Distorted oolites and pseudoolites. *Jour. Sed. Petrology*, vol. 31, pp. 262-274.
- (1963). Half-moon oolites. *Jour. Sed. Petrology*, vol. 33, pp. 633-645.
- CLOUD, P. E., Jr. (1942). Notes on stromatolites. *Am. Jour. Sci.*, vol. 240, pp. 363-379.
- FOLK, R. L. (1961). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's, Austin, Texas, 154 p.

- GINSBURG, R. N. (1960) Ancient analogues of recent stromatolites. *Rep. Internat. Geol. Congress XXI Session, Norden*, part XXII, pp. 26-35.
- ILLING, L. V. (1954). Bahaman calcareous sands. *Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, vol. 38, pp. 1-95.
- LOGAN, B. W. (1961) *Cryptozoon* and associate stromatolites from the Recent, Sharks Bay, Western Australia, *Jour. Geology*, vol. 69, pp. 517-533.
- PAGE, N. J. and CAROZZI, A. V. (1961) Etude du remplacement diagénétique du quartz détritique par les carbonates dans les dolomies cambriennes. *Archives des Sciences, Genève*, vol. 14, pp. 461-491.
- WHERRY, E. T. (1916) A peculiar oolite from Bethlehem, Pennsylvania. *U. S. National Museum Proc.*, vol. 49, pp. 153-156.
- ZADNIK, V. E. et CAROZZI, A. V. (1963) Sédimentation cyclique dans les dolomies du Cambrien supérieur de Warren County, New Jersey, U.S.A., *Bull. Inst. Nat. Genève*, vol. 62, pp. 1-55.

Légende de la planche I

- A. Microfaciès 1. Contact entre dolarénite oolithique partiellement silicifiée et zone claire entièrement silicifiée. Lumière naturelle, X 19.
- B. Microfaciès 1. Dolarénite oolithique silicifiée, ciment interstitiel avec structure typique de remplissage de cavité, deux oolithes superficielles avec noyau de quartz détritique. Lumière polarisée, X 19.
- C. Microfaciès 2. Dolomie stromatolithique avec couches sombres et fines correspondant aux tapis d'algues et couches claires plus épaisses de boue carbonatée avec poches basales de grains de quartz détritique. Lumière naturelle, X 7,5.
- D. Microfaciès 2. Dolomie stromatolithique comme dans la figure précédente. Lumière naturelle, X 7,5.
- E. Microfaciès 2. Dolomie stromatolithique avec zones de couches sombres disloquées par dessiccation et remaniées sur place. Lumière naturelle, X 7,5.
- F. Microfaciès 3. Dolorudite intraformationnelle à débris stromatolithiques dérivés des colonies sous-jacentes, nombreux grains de quartz détritique dans le ciment de dolomite grossière. Lumière naturelle, X 7,5.
- G. Microfaciès 3. Dolorudite intraformationnelle à larges débris stromatolithiques sub-arrondis, nombreux grains de quartz détritique dans le ciment de dolomite grossière. Lumière naturelle, X 7,5.
- H. Microfaciès 4. Dolosiltite montrant une mosaïque de cristaux de dolomite sub-rhomboédriques et zonés, abondants pigments de pyrite interstitielle. Lumière naturelle, X 19.

Légende de la planche II

- A. Oolithe en demi-lune dans ciment dolomitique avec noyau pseudoolithique carbonaté et cavité remplie par du quartz secondaire. Lumière naturelle.
- B. Même oolithe en lumière polarisée.
- C. Oolithe en demi-lune dans ciment dolomitique avec noyau de quartz détritique entouré de dolomite et cavité remplie par du quartz secondaire. Lumière naturelle.
- D. Même oolithe en lumière polarisée.
- E. Oolithe en demi-lune dans ciment siliceux avec noyau pseudoolithique silicifié (tombé obliquement) et cavité remplie par du quartz secondaire. Lumière naturelle.
- F. Même oolithe en lumière polarisée.
- G. Oolithe en demi-lune dans ciment siliceux avec noyau de quartz détritique entouré de calcédonite et cavité remplie de calcédonite secondaire à structure mamelonnée. Lumière naturelle.
- H. Même oolithe en lumière polarisée.
- Toutes les figures: X 47.

