

Les calcaires laminaires du Givétien inférieur du Bassin de Dinant : témoins paléogéographiques et paléoclimatiques

Laminar lower Givetian limestones (Dinant Basin, Belgium) : paleogeographic and paleoclimatic indicators

par Alain PREAT (*) (**) et Frédéric BOULVAIN (**)

Résumé. — Les auteurs décrivent une dizaine de mètres de calcaires laminaires qui clôturent une séquence lagunaire du Givétien inférieur (Formation de Trois-Fontaines), au bord Sud du Bassin de Dinant (Belgique).

Ces calcaires laminaires sont constitués principalement de mudstones et de packstones à Algues et péloïdes.

Si l'on compare ces carbonates aux divers sédiments algo-laminaires actuels des régions tropicales, on constate une forte similitude entre les laminites du Givétien inférieur et celles de l'île d'Andros (Bahamas). Cette similitude rend possible une interprétation paléoclimatique.

Cinq microfaciès carbonatés sont définis, chacun d'eux caractérisant un environnement particulier au sein d'un complexe tidal. La sédimentation est essentiellement sous le contrôle de mattes algaires piégeant les sédiments lors des inondations du complexe tidal. La séquence laminaire est interrompue à plusieurs reprises par des afflux de matériaux plus grossiers en provenance de la zone subtidale, mobilisés sous l'influence de tempêtes.

La présence d'une séquence régressive simple au sein des calcaires laminaires permet d'estimer le niveau maximal atteint par les eaux lors des inondations du complexe tidal et, par analogie avec le modèle d'Andros, de calculer la vitesse des vents qui les provoquent.

Le taux de sédimentation est estimé à partir de l'épaisseur moyenne des « doublets » mudstone-packstone qui constituent le motif de base de la sédimentation algo-laminaire du Givétien inférieur.

Abstract. — *The authors describe a ten meters sequence of laminar lagoonal Lower Givetian limestones (Trois-Fontaines Formation, southern border of the Dinant Basin, Belgium).*

These limestones consist mainly of mudstones and algal-peloidal packstones.

Sedimentological study enables recognition of five carbonate microfacies, each of them characterizing a peculiar environment of an extensive tidal flat complex.

Comparison of the carbonates with the Recent algo-laminar sediments of the tropical regions shows close similarity between the Lower Givetian and the Andros (Bahamas) sediments. This similarity enables to reconstruct the paleoclimate.

Sedimentation is controlled by the binding role of algal mats during flooding of the tidal flat complex. Influx of subtidal and open-marine storm-derived coarser sediments breaks at several levels the laminar sequence.

The presence of a simple regressive sequence in the laminar serie allows estimation of the maximum water level during the tidal flat flooding, and by comparison with the Andros model, to calculate the wind velocity.

The sedimentation rate is estimated by using the mean thickness of the « mudstone-packstone » couplets which constitutes the basic pattern of the algo-laminar sedimentation.

(*) Fina Petroleos de Angola, C.P. 1320 Luanda (Rep. Pop. de Angola).

(**) Laboratoires Associés de Géologie, Pétrologie, Géochronologie, Université Libre de Bruxelles, 50, Avenue F.D. Roosevelt, B-1050 Bruxelles (Belgique).

Note présentée le 5 Mars 1986 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 7 Janvier 1987.

I. — INTRODUCTION

Les roches carbonatées du Givétien franco-belge affleurent particulièrement bien au bord Sud du Bassin de Dinant, dans une bande large de quelques kilomètres (fig. 1) qui s'étend en longueur sur plusieurs dizaines de kilomètres de part et d'autre de Givet, localité où le Givétien a initialement été défini (Gosselet, 1879). La subdivision de l'Etage en trois formations (Formations de Trois-Fontaines, du Mont d'Hairs et de Fromelennes) utilisée dans ce travail est celle proposée par Errera *et al.* (1972).

L'étude sédimentologique de nombreuses coupes (Errera *et al.*, 1972 ; Préat et Boulvain, 1982 ; Préat, 1984) met en évidence des milieux de dépôt très comparables à ceux que l'on rencontre actuellement sur les plates-formes carbonatées.

Douze microfaciès carbonatés s'étageant depuis les milieux marins francs situés sous la zone d'action des vagues, jusqu'aux milieux supratidaux de plus en plus restreints, ont ainsi été mis en évidence dans la Formation de Trois-Fontaines à Vaucelles (Préat et Boulvain, 1982).

Certains de ces microfaciès et lithofaciès forment des ensembles d'une grande continuité latérale, permet-

tant des corrélations lithostratigraphiques très fines dans la Formation de Trois-Fontaines au bord Sud du Bassin de Dinant.

Ces ensembles sont, d'une part, les complexes biostromaux (Préat *et al.*, 1984) et, d'autre part, les laminites (microfaciès 12 de Préat et Boulvain, 1982).

Ces calcaires laminaires se retrouvent en effet en même position séquentielle dans les coupes de Vaucelles, Resteigne, Baileux, Jemelle, Olloy-sur-Viroin, Givet (fig. 1) (Préat, 1984). Parmi ces carrières, celle de Resteigne (fig. 2) est la seule qui présente une épaisseur importante de ces calcaires laminaires ; on peut y observer sur plus de 10 m de puissance une série de laminites affleurant dans d'excellentes conditions.

Un échantillonnage très serré, avec prélèvement d'échantillons pétrographiques en continu, a été réalisé dans le but d'établir une reconstitution des milieux de dépôt, et de comparer ces derniers avec leurs équivalents actuels. Il est apparu rapidement que ce microfaciès à laminites pouvait se subdiviser en plusieurs sous-faciès très caractéristiques. Il s'est également avéré intéressant de les étudier à Vaucelles, de manière à avoir un échantillon plus représentatif des types de milieux existants dans l'intervalle de temps considéré.

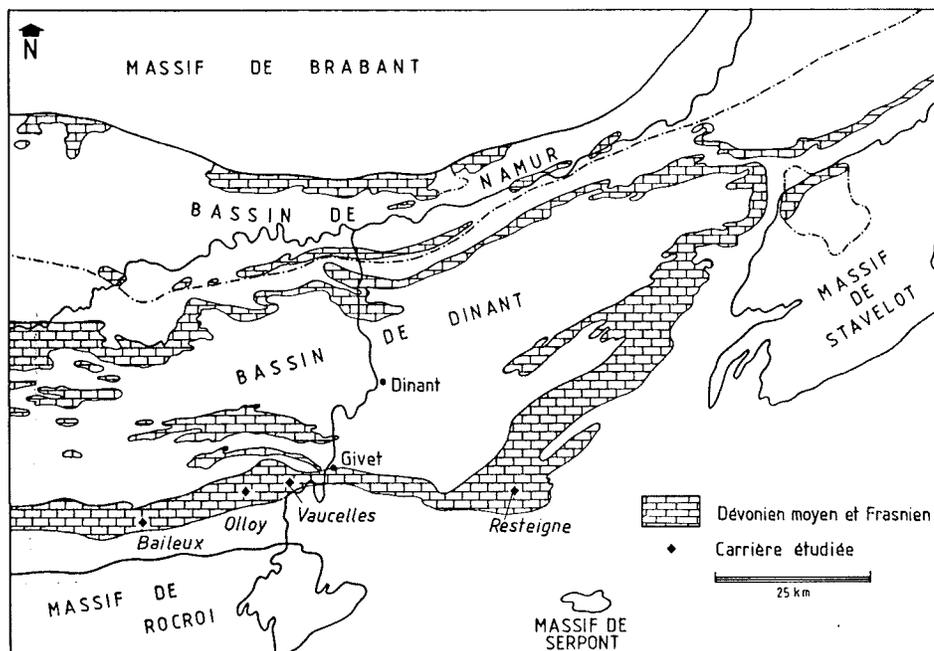


Fig. 1. — Localisation géographique des coupes.

Fig. 1. — Situation of quarries.

II. — DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE

L'analyse pétrographique des séquences laminaires permet de définir cinq types de sédiments (appelés types 1, 2, 4, 5 et 6) (*) dont la succession marque le passage d'un milieu protégé à un milieu de plus en plus soumis à l'influence marine.

— TYPE 1.

Il s'agit d'une alternance régulière (« lamination alternante » de Monty, 1976) de doublets « mudstone-packstone » de 0,5 à 1,5 mm d'épaisseur constitués de lamines planes de mudstone et de lamines grossièrement planes de packstones à péloïdes et abondants débris algaires (fig. 3).

Les péloïdes ont une forme régulière et un diamètre compris entre 100 à 120 μm ; les débris algaires (Issinelles, Kamaenidés, Proninelles) sont de même taille ou plus petits, et peuvent présenter un granoclassement vertical.

On peut observer dans les lamines de packstone des passées discontinues de grains de quartz anguleux d'un diamètre moyen de 60 μm et quelques paillettes de micas de 80 à 100 μm .

Cette structure laminaire généralement régulière peut être perturbée par des phénomènes de bioturbation ou par des contacts érosifs entre certains doublets.

Ce type de lamination passe dans certains cas insensiblement à des alternances irrégulières de lamines de mudstone et de packstone; elles sont alors fréquemment entaillées de fentes de dessiccation remplies de sédiment de type packstone.

— TYPE 2.

a) Il consiste d'abord en alternances régulières de lamines planes à faiblement onduleuses de mudstone très homogène et de lamines de packstone à fins débris algaires (Issinelles, Kamaenidés, Proninelles) formant des doublets ressemblant à ceux du type 1, mais d'épaisseur plus faible (0,2 à 1 mm) (fig. 4).

Les lamines de packstone sont beaucoup moins épaisses que les lamines de mudstone et sont constituées de débris d'une taille moyenne de 60 μm .

On observe fréquemment des tubules algaires noyés dans la micrite (50 \times 300 μm environ) et des fentes de dessiccation.

b) Ensuite des passées homogènes, parfois lenticulaires, de packstones et de grainstones à péloïdes, débris algaires (Issinelles, Kamaenidés, Proninelles) de 100 à 150 μm de dimension moyenne auxquels s'ajoutent divers bioclastes millimétriques.

Des tubules algaires et de nombreuses fentes de dessiccations, verticales et horizontales, sont présentes.

Ce sable, qui présente des analogies avec les lamines de packstone du type 1, se présente de façon caractéristique en unités centimétriques.

(*) Les laminites de type 3 n'apparaissent pas dans la Formation de Trois-Fontaines. Elles seront décrites dans une publication ultérieure traitant de la Formation de Fromelennes (Givétien supérieur).

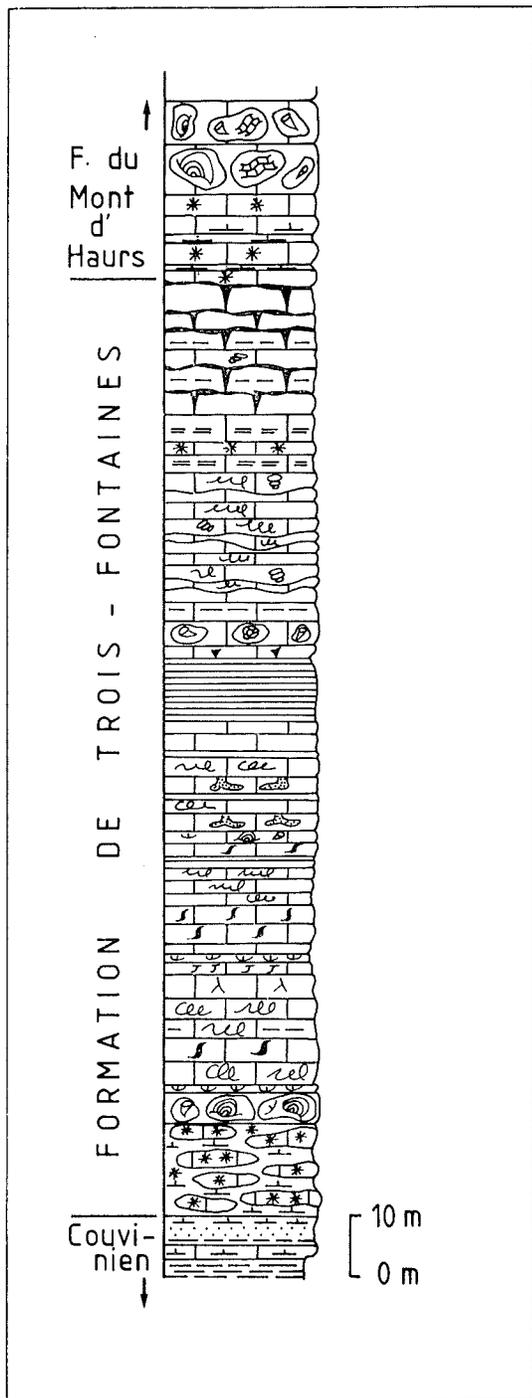


Fig. 2. — Log schématique de la coupe de Resteigne.

Fig. 2. — Schematic log of Resteigne quarry.

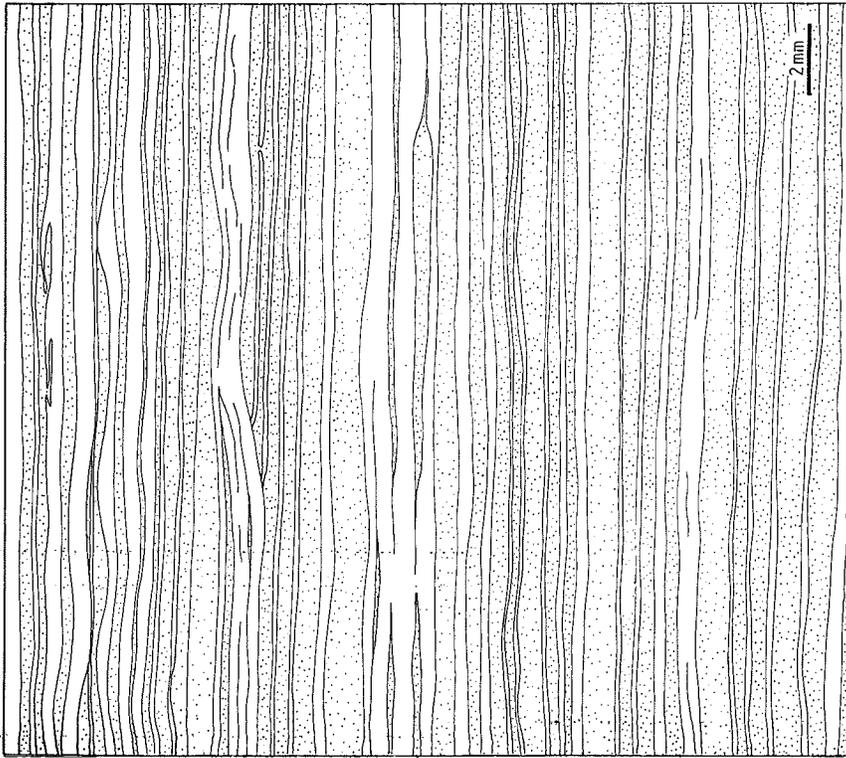


Fig. 3. — Type 1. On peut observer les deux types de lamines composant les doublets élémentaires. Les lamines de mudstone sont en blanc, les lamines de packstone en pointillé.

Fig. 3. — Type 1. Basic couplets are made of two types of laminae. Mudstone : white ; packstone : stippled.



Fig. 4. — Type 2. On reconnaît des ensembles de lamines fines (type 2a) et des passées de sable péloïdo-bioclastique. La calcite sparitique est représentée par des hachures.

Fig. 4. — Type 2. Sets of thin laminae interrupted by influxes of coarser sediments. Sparite is represented with hatchings.

Les ensembles de lamines fines (a) sont fréquemment cassés, démantelés et incorporés sous forme de lithoclastes dans les sables (b). Le contact entre les deux unités est le plus souvent net, et peut être érosif.

La bioturbation, assez fréquente, se présente surtout sous forme de terriers centimétriques subverticaux. Des fentes de dessiccation entaillent fréquemment tout l'ensemble.

L'observation au sein de (a) de fentes de dessiccation cimentées précocement et surmontées d'une lamine de mudstone formant la base d'un doublet, permet de reconstituer l'ordre du dépôt : boue puis sable (c'est une règle générale, mais il y a des exceptions).

— TYPE 4.

Il s'agit de wackestones bioturbés à Algues (Kamaenidés, Proninelles, Issinelles), Ostracodes, débris de Gastéropodes, péloïdes et grains de quartz dispersés (fig. 5).

La bioturbation intense est à l'origine de l'homogénéisation du sédiment dont quelques rares lamines sont préservées. Le sédiment est traversé de nombreux terriers centimétriques subverticaux et de quelques rhizoïdes.

— TYPE 5.

Il s'agit de grainstones ou de packstones à péloïdes, débris algaires (principalement Issinelles), et accessoirement autres bioclastes.

La bioturbation peut se manifester par la présence de rhizoïdes.

Occasionnellement, ce type de sédiment présente des stratifications entrecroisées avec angle de divergence maximum proche de 35°. La lamination résulte dans ce cas de la variation qualitative et quantitative du contenu en éléments figurés : des niveaux riches en péloïdes succèdent sur quelques millimètres à des niveaux riches en Issinelles et vice-versa. La taille des débris varie de 100 à 200 µm.

Ce sédiment s'observe fréquemment en contact érosif avec des sédiments de type 1, 2 ou 4 qu'il remanie et dont il contient alors des lithoclastes centimétriques.

— TYPE 6.

Ce sont des grainstones et des packstones à grands péloïdes (200 µm en moyenne), Algues (Issinelles, Kamaenidés, Proninelles, Codiaceés) et fragments centimétriques (1 à 2 cm) encroûtés de Crinoïdes, Coraux, Bryozoaires et Gastéropodes.

Ce sédiment s'observe également fréquemment en contact érosif avec des sédiments de type 1, 2 et 4 qu'il remanie.

III. — INTERPRETATION

L'origine « cryptalgale » des calcaires laminaires du Givétien inférieur apparaît assez rapidement à l'examen microscopique : présence de birdseyes et de traces de filaments algaires, de fentes de dessiccation et d'intraclastes, d'abondants péloïdes, de nombreuses disconformités à petite échelle et épaisseur sensiblement constante des lamines individuelles, même recouvrant une irrégularité du substrat [critères proposés par Aitken (1967)].

A) LES LAMINITES CRYPTALGAIRES ACTUELLES

Les calcaires laminaires cryptalgaires déposés en milieu tidal [classés parmi les stromatolithes *s.l.* par Aitken (1967), Laporte (1967), Davies (1970), Gebelein et Hoffman (1973), Monty (1976), Pratt (1979)...] ont des équivalents dans la nature actuelle : ce sont les dépôts liés aux mattes algaires tidales du Golfe Persique, de l'île d'Andros et de la Baie des Requins. Ces trois régions, auxquelles ont peut ajouter la Floride, les Antilles néerlandaises, la péninsule de Yucatan, ont été abondamment étudiées ces dernières années, et de nombreuses données écologiques, biologiques et sédimentologiques sont actuellement disponibles.

Parmi les principaux, citons les travaux de Monty (1965), Shinn *et al.* (1969), Monty et Hardie (1976), Ginsburg *et al.* (1977), Hardie (1977), Hardie et Garrett (1977), Hardie et Ginsburg (1977), pour Andros; Frost (1974) et Gebelein (1976), pour la Floride; Kendall et Skipwith (1968), Shinn (1973), Kinsman et Park (1976), Purser (1980, 1983), pour le Golfe Persique; Bauld *et al.* (1980), pour le Golfe de Spencer (Sud de l'Australie); et Logan (1961), Davies (1970), Hoffman (1976), Playford et Cockbain (1976), pour la Baie des Requins.

Toutes ces régions tropicales ont en commun une zone tidale colonisée par des tapis algaires, mais elles se différencient nettement par leur régime pluviométrique.

L'influence de la pluviométrie se marque principalement par une zonation écologique spécifique de la faune et de la flore et, parmi celle-ci, des tapis algaires. Cette répartition différente peut induire des différences de morphologie ou de composition de la matre algare (tableau I).

Sur les plaines littorales des régions où règne un climat tropical sec (Golfe Persique, Baie des Requins), les eaux marines littorales subissent une forte évaporation. Ces eaux, très salées, ne permettent ni le développement des Algues vertes (source potentielle de matériel sableux, tableau I), ni celui d'une faune benthique à organismes brouteurs. Les tapis algaires peuvent donc se développer dans les zones inter- et subtidale, à l'abri de la prédation. Leur extension est limitée en zone supratidale, où la cristallisation de minéraux évaporitiques détruit les tissus végétaux.

Par contre, dans les régions tropicales à forte pluviosité (Bahamas, Floride), les eaux météoriques diluent les eaux marines soumises à l'évaporation et en tempèrent la salinité. Des Algues vertes se développent et fournissent une part du matériel sableux que l'on retrouve dans les lamines sableuses des « doublets ». Une faune diversifiée d'organismes brouteurs se développe aussi et détruit les tapis algaires. Seuls ceux situés dans la partie supérieure de la zone intertidale ou dans la zone supratidale échappent à la prédation.



Fig. 5. — Type 4. On peut observer plusieurs terriers à remplissage sableux, quelques laminations préservées, des débris de coquillages et des Algues

Fig. 5. — Type 4. Carbonated sand-filled burrows, preserved laminae, shell debris and algae.

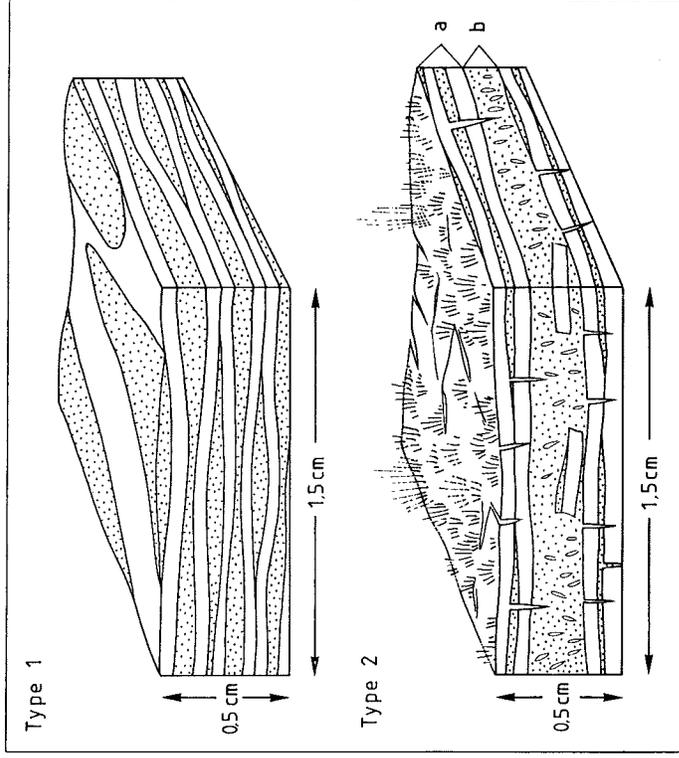


Fig. 6. — Vue en trois dimensions des laminites de type 1 et 2.

Fig. 6. — Three-dimensional sketch of type 1 and 2 « laminites ».

Les stromatolithes érigés ne prennent naissance, quant à eux, que dans les eaux agitées (Logan *et al.*, 1964) des zones inter à subtidale. Pour que ces zones soient colonisables par les mattes algaires, il faut que l'hypersalinité de l'eau inhibe le développement des brouteurs et donc que le climat soit sec et le confinement suffisant.

La morphologie des stromatolithes, même liée à l'agitation de l'eau est donc toujours sous la dépendance du climat.

B) LES LAMINITES CRYPTALGAIRES DU GIVETIEN INFÉRIEUR

La comparaison des principaux caractères des laminites étudiées avec ceux des laminites actuelles des régions tropicales (tableau I) permet de rattacher les laminites du Givétien inférieur à celles décrites sur l'île d'Andros (Bahamas).

Elles ont en effet en commun une morphologie plane à faiblement onduleuse, une faune et une flore relativement variée (Dasycladacées, par exemple), des structures sédimentaires fines identiques, et une absence totale de minéraux ou de pseudomorphes de minéraux évaporitiques.

L'étroite parenté de ces caractères nous a conduit à utiliser les observations très détaillées faites à Andros par Hardie (1977) pour interpréter les cinq types de sédiments inventoriés dans les séquences à laminites du Givétien (types 1 à 6).

1) Les calcaires à laminations (types 1 et 2).

Les calcaires laminaires présentent un arrangement en doublets parfois interrompus par des passées relativement épaisses de matériel sableux. Ces doublets sont mis en place par un phénomène cyclique qui se répète à intervalles suffisamment espacés pour permettre dans certains cas à la fois la dessiccation du sédiment et la

	MORPHOLOGIE ←	REPARTITION ←	CLIMAT →	MICROFLORE →	FINES →
GOLFE PERSIQUE	surtout P	surtout intertid.	aride évaporites	réduite Algues bl.-v.	pelloïdes, débris Moll. et Foram.
BAIE DES REQUINS	P, LLH, SH suivant ° agi- tation	intertid. - subtid.	aride évaporites	réduite Algues bl.-v.	idem
ILE D'ANDROS	surtout P	intertid. sup. surtout supra- tidal	semi-aride pluviosité saisonnière	diversifiée Algues bl.-v. + Algues vertes	surtout pell. et débris algaires (Dasycladales)

Tableau I. — Caractérisation sommaire des stromatolithes de l'île d'Andros, de la Baie des Requins et du Golfe Persique. La classification utilisée est celle de Logan *et al.* (1964) modifiée par Aitken (1967) de façon à y intégrer les formes planes.

Table I. — Short characterization of Andros, Shark Bay and Persian Gulf stromatolithes. Logan *et al.* (1964) classification, modified by Aitken (1967), taking into account planar forms.

cimentation des fentes de retrait. Chaque doublet est donc le résultat d'un phénomène élémentaire complet qui se déroule en deux phases distinctes ; le passage progressif ou graduel entre lamines de boue et de sable est rare. De plus, la lamine boueuse, d'épaisseur constante, est toujours continue et nappe les irrégularités du substrat alors que la lamine sableuse, plus irrégulière, présente souvent un aspect lenticulaire.

Ces faits d'observation, systématiques dans les sections étudiées, peuvent facilement s'interpréter par comparaison avec les laminites d'Andros. Dans cette région, des ouragans tropicaux provoquent périodiquement l'inondation de la plaine littorale, où des zones surélevées d'une trentaine de centimètres par rapport au niveau moyen des mers ou « levées » sont couvertes d'un tapis algaire mucilagineux à *Schizothrix* (Algue bleu-verte) qui piège la fraction la plus fine des sédiments en suspension. Une lamine boueuse est créée au terme du colmatage du tapis algaire ; ensuite se déposent sur sa surface et par traction des rides ou des lentilles de matériel sableux.

C'est ainsi que se forme sur les levées un doublet constitué d'une lamine boueuse et d'une lamine sableuse. La surface de ce doublet est rapidement couverte d'un nouveau tapis algaire à *Schizothrix* et le phénomène pourra se répéter tant que le mécanisme en jeu sera présent.

La succession de ces doublets donne naissance à un sédiment caractérisé par des laminations assez planes appelé « Smooth Flat Lamination » (SFL) par Hardie et Ginsburg (1977).

Par l'ensemble de leurs caractères (dépôt en doublets, morphologie des lamines...), les laminites de type 1 du Givétien inférieur sont très semblables aux laminites SFL d'Andros.

Dans ces dernières, la dessiccation peut aboutir à la formation de fentes de retrait aux endroits où le tapis algaire, absent, ne peut assurer la cohésion du sédiment. Dans les zones où le tapis algaire est absent sur une large échelle, la boue carbonatée ne peut être piégée et le sédiment se dépose alors par granulométrie décroissante suivant la diminution de l'énergie du milieu.

Les laminites de type 2 présentent trois autres particularités : les lamines sableuses au sein de chaque doublet sont d'assez faible importance, la dessiccation y est fort marquée et elles sont fréquemment entrecoupées d'épaisses passées sableuses à copeaux.

A Andros, Hardie et Ginsburg (1977) ont montré que l'inondation de la plaine littorale se faisait principalement par débordement à partir d'un système de chenaux divagants, bordés de levées. L'essentiel des sables carbonatés se dépose sur les levées, tandis que les zones basses et plus éloignées des chenaux ne reçoivent qu'une fraction sableuse réduite et plus fine.

Ces zones plus basses de la plaine littorale ou « arrières-levées » peuvent retenir temporairement une partie des eaux marines ou météoriques et constituer des mares dans lesquelles se développe une faune benthique dominée par des organismes brouteurs (Cérithidés). Ces derniers s'attaquent au tapis algaire qu'ils détruisent partiellement.

Les sédiments, après exondaison, seront très affectés par les phénomènes de dessiccation, ayant perdu, avec la disparition du tapis algaire, une bonne part de leur cohésion.

L'ensemble de ces phénomènes met en place un sédiment à nombreuses lamines discontinues appelé à Andros « Disrupted Flat Lamination » (DFL).

La faible épaisseur des lamines sableuses des laminites givétiennes de type 2a peut donc s'expliquer par un éloignement plus important de la source des sédiments.

La dessiccation plus marquée, fréquemment observée sous forme de fentes de retrait et de feuillets de décollement est à mettre en relation avec le faible développement des tapis algaires, limité par l'action destructrice des organismes brouteurs.

Les passées sableuses à copeaux, qui représentent vraisemblablement des dépôts mis en place par des ouragans violents, n'ont laissé aucune trace particulière sur les levées (hormis la lamine sableuse « habituelle »), mais ont, par contre, pu être piégées en milieu d'arrière-levée par une végétation plus importante dominée par des plantes halophytes ou des Algues. Ces dernières, particulièrement sensibles aux processus de dissolution, s'observent sous forme de petits birdseyes tubulaires de $50 \times 300 \mu\text{m}$ et de birdseyes irréguliers de plus grande dimension (de l'ordre de $500 \mu\text{m}$).

Des mattes algaires à *Scytonema* ont été étudiées à Andros par Monty et Hardie (1976) et Hardie et Ginsburg (1977). Les illustrations qu'ils en fournissent montrent dans des tapis algaires déjà enfouis des structures diagénétiques très semblables aux birdseyes que nous venons de décrire.

L'ensemble des caractères présents dans les laminites de type 2 du Givétien inférieur est donc très comparable aux caractères reconnus dans les laminites DFL d'Andros.

Comme dans les sédiments actuels, les laminites de type 1 et 2 voient leur structure préservée grâce à l'absence des phénomènes de bioturbation, l'exondaison fréquente de ces milieux et leur taux d'exposition élevé (plus de 90 % à Andros) ne permettant pas le développement d'une endofaune benthique permanente.

Les laminites de type 1 et 2 sont donc des sédiments supratidaux.

La fig. 6 est une reconstitution de l'aspect que devaient avoir ces sédiments à l'époque de leur dépôt.

2) Les calcaires sans laminations (types 4, 5 et 6).

Le type 4 consiste en wackestones bioclastiques passant le plus souvent graduellement aux laminites de type 2 (« arrières-levées »). Des structures laminaires y sont quelquefois préservées malgré l'importance de la bioturbation. Des fragments d'organismes peu altérés témoignent généralement d'une vie *in situ*.

L'ensemble de ces caractères permet de rattacher ces sédiments aux mares intertidales situées dans les zones les plus basses de la plaine littorale (Shinn *et al.*, 1969 ; Hardie et Ginsburg, 1977). L'indice d'exposition n'y est pas trop élevé (0 à 35 % à Andros), et la vie animale peut y prospérer, détruisant tapis algaires et laminations.

Lors des inondations périodiques de l'ensemble de la plaine littorale, les eaux, qui ont abandonné une part importante de leur charge sableuse, aboutissent dans ces mares et y déposent leur fraction boueuse ainsi qu'un sable péloïdo-bioclastique fin. Cette fraction sableuse est immédiatement mélangée aux autres constituants par l'action de la bioturbation.

Lors d'ouragans très violents, les mares, qui occupent les zones basses de la plaine, peuvent constituer des pièges de type géométrique et être recouvertes d'une forte épaisseur de sable (Gebelein, 1976). Si l'accumulation n'est pas trop importante, la vie benthique ne sera pas affectée et le niveau sableux sera mélangé au sédiment par bioturbation. Si l'accumulation est importante, la vie benthique sera temporairement détruite et le niveau sableux sera préservé en tant que tel.

De tels niveaux sableux, lamines de tempêtes majeures, apparaissent plusieurs fois dans les séquences étudiées à Resteigne et Vaucelles. Il s'agit de sédiments de type 5, qui font généralement suite aux wackestones de type 4. Ces sédiments contiennent souvent, dispersés sur toute leur épaisseur, des lithoclastes ou copeaux de dessiccation. Une fois déposés, ces sables semblent rapidement recolonisés par des plantes halophytes, comme en témoignent les rhizoïdes qu'ils contiennent assez fréquemment.

Epais d'une trentaine de centimètres, ces dépôts sont à rapprocher des tempestites décrites dans les calcaires du Trias et du Carbonifère par Aigner (1982) et Jeffery et Aigner (1982).

Les sables de type 5 peuvent présenter une nette stratification entrecroisée ; ils seraient alors soit le résultat du remaniement et du classement par l'action des vagues et des courants tidaux des sables bioclastiques décrits ci-dessus, et correspondraient à des dépôts terminaux de tempestites, soit des dépôts de fond de chenaux de marée, tels ceux décrits à Andros par Shinn (1983).

L'ensemble des sables bioclastiques dont il vient d'être question, y compris les lamines sableuses des

deux types de laminites (1 et 2) provient d'une même aire d'alimentation : la zone subtidale d'une plate-forme carbonatée peu profonde dans laquelle les sédiments à péloïdes sont très abondants (Préat et Boulvain, 1982 ; Mamet et Préat, 1982).

Les dépôts de type 6 consistent également en sables bioclastiques, mais sont cependant fort différents par leur contenu et par leur granulométrie des quatre autres types décrits. Une aire d'alimentation différente doit dès lors les caractériser, aire qui se situe probablement dans des zones plus ouvertes de la plate-forme. Ce matériel n'est mis en mouvement que lors de phénomènes de grande ampleur (ouragan catastrophique, avancée marine...) et se sédimente alors en couches épaisses sur la plaine littorale.

IV. — DISCUSSION DU MODELE PALEOGEOGRAPHIQUE

A) GENERALITES

A partir de l'ensemble des données recueillies, un modèle paléogéographique rendant compte du dépôt des laminites du Givétien inférieur peut être proposé (fig. 7).

Les environnements reconstitués présentent de fortes analogies avec ceux des marais maritimes décrits à Andros par Hardie (1977).

Bien que, dans cette région, l'extension maximale des marais maritimes ne dépasse pas 5 à 6 km, ces mêmes environnements semblent pourtant beaucoup plus étendus au Givétien inférieur. Les laminites givétiennes peuvent en effet se suivre latéralement à travers la plate-forme sur plus de 60 km suivant les lignes isopiques, depuis Baileux à l'Ouest jusqu'à Resteigne à l'Est (fig. 1).

Cette très vaste extension des dépôts laminaires reflète la situation générale très différente des plates-formes épicontinentales du Paléozoïque : ces dernières, tout au contraire des plates-formes actuelles géographiquement peu étendues et limitées par une pente abrupte vers la mer ouverte, couvraient des surfaces très importantes et ne présentaient pratiquement pas de pente.

Une autre différence importante est la quasi absence dans le Givétien inférieur de sédiments grossièrement laminaires à *fenestras*, qui sont typiques à Andros des marais algaires à *Scytonema*, assurant la transition entre les mares et les arrières-levées. Nous avons vu que dans le Givétien inférieur, ces deux milieux pouvaient coexister directement.

L'équivalent du biotope à *Scytonema* dominant n'existait donc pas, des contraintes soit locales (topographie, salinité...), soit plus générales (climat, biologie...) devaient en empêcher le développement. L'absence de ce biotope dans deux coupes distantes de

plus de 30 km (Vaucelles et Resteigne) tend à renforcer la seconde hypothèse.

B) IMPLICATIONS PALEOGEOGRAPHIQUES

1) Climat.

La présence au Givétien d'un complexe tidal très semblable aux marais maritimes actuels des Bahamas est riche en implications paléoclimatiques. *On doit, en effet supposer l'existence au Givétien inférieur d'un climat tropical humide.*

De nombreux caractères apparentent en effet, les laminites de Resteigne et Vaucelles aux laminites décrites à Andros, bien plus qu'aux laminites du Golfe Persique ou de la Baie des Requins.

La plupart de ces caractères (type morphologique, faune, nature des fines, absence d'évaporites) sont à mettre en relation avec la salinité des eaux. Dans le milieu tidal actuel, la salinité est fortement liée à la pluviométrie, qui est elle-même une caractéristique essentielle du climat. De l'ordre de 10 cm par an dans le Golfe Persique, où règne un climat de type tropical sec, elle atteint 130 cm par an à Andros où le climat est de type tropical humide. Il semble donc qu'il en était de même au Givétien inférieur.

2) Amplitude des marées de tempête.

L'épaisseur des dépôts laminaires ne dépasse pas une cinquantaine de centimètres dans les tidal flats d'Andros, où elle correspond approximativement à l'amplitude minimale des marées de tempête. Cette relation a été reconnue également dans le Golfe Persique par Kinsman et Park, 1976.

En effet, on sait que seuls les sédiments déposés au-dessus du niveau moyen des mers (NMM) voient leur lamination préservée de la bioturbation. Chaque doublet, déposé par débordement d'un système de cheneaux, contribue à l'édification des levées et arrières-levées et le dernier doublet, dans une séquence régressive ou progradante, représente l'ultime atteinte des tempêtes.

L'épaisseur comprise entre le premier et le dernier doublet, donne donc une approximation de la hauteur maximale des marées de tempête au-dessus du niveau moyen des mers.

Il est nécessaire, pour pouvoir utiliser ce critère, de disposer d'une séquence régressive simple non oscillante. Ce cas se présente à Resteigne, entre les cotes 91,4 et 92,2 (fig. 8). On peut donc considérer que l'élévation des eaux correspondant aux marées de tempête était au minimum de 80 cm au-dessus du NMM.

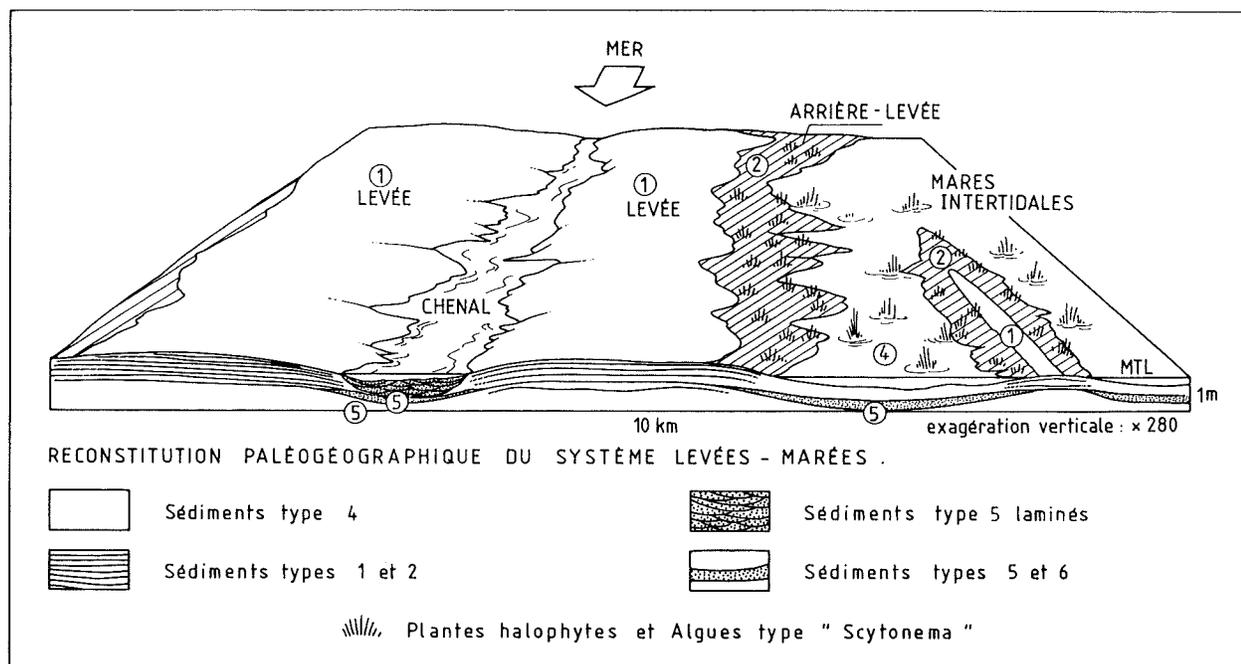


Fig. 7. — Modèle paléogéographique des dépôts tidaux du Givétien inférieur.

Fig. 7. — Paleogeographic model of lower Givetian tidal flats.

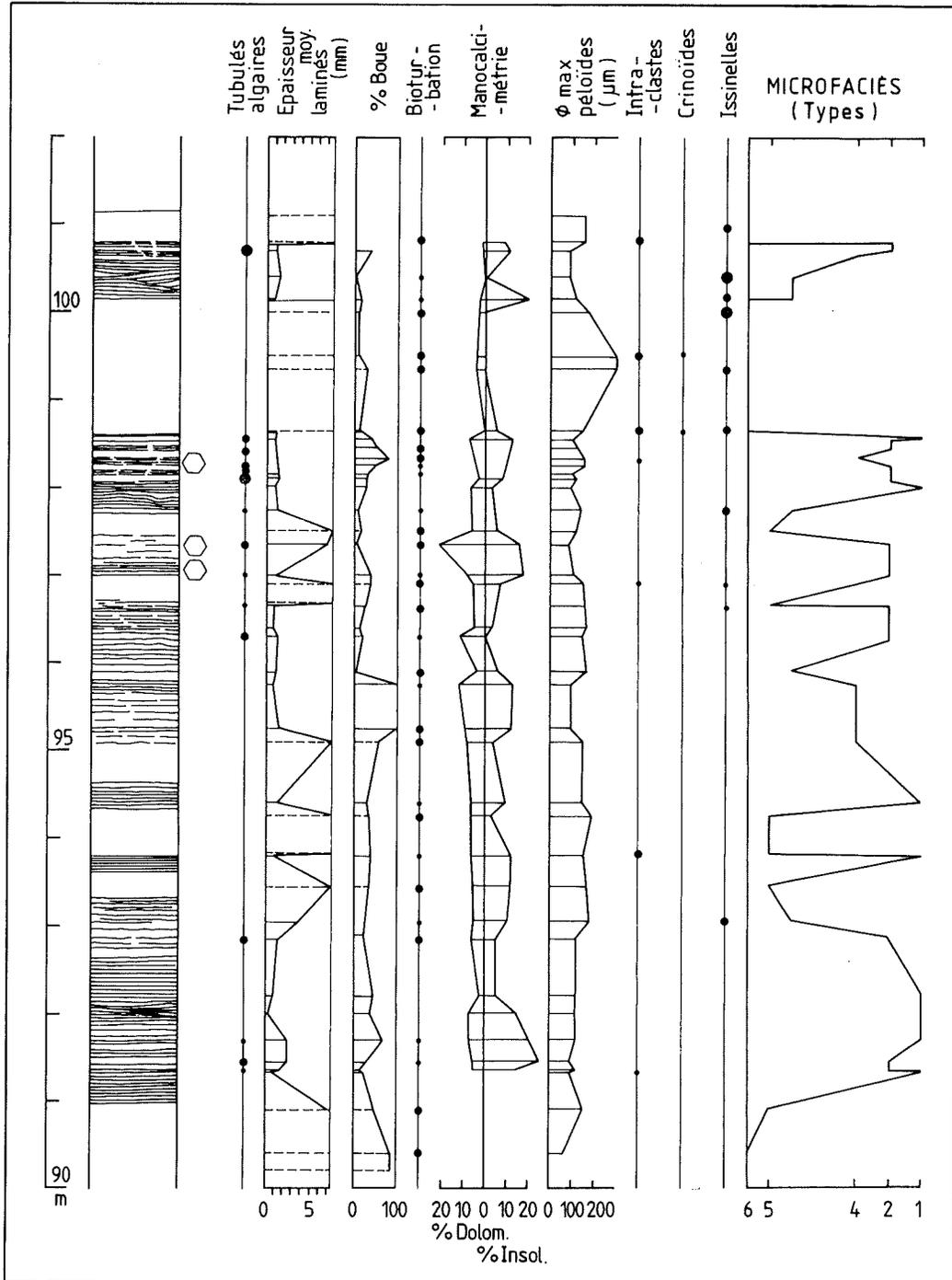


Fig. 8. — Log de la séquence laminaire de Resteigne.

Fig. 8. — Log of Resteigne laminar sequence.

Cette valeur est obtenue à partir de sédiments ayant subi une compaction. Des expériences effectuées par Shinn et Robbin (1983) sur des sédiments à mattes algaires, birdseyes, tempestite de l'île d'Andros montrent que pour des pressions correspondant à des enfouissements de 300 à 3 000 m, la compaction variait peu et n'était que d'un facteur 1,5 à 1,7.

En appliquant ces facteurs, on obtient pour l'amplitude des marées de tempête du Givétien inférieur des valeurs de l'ordre de 1,2 à 1,4 m.

3) Vents associés aux marées de tempête.

En connaissant l'amplitude des marées de tempête et en tenant compte de ce que la profondeur moyenne de la plate-forme givétienne (Préat *et al.*, 1984) est finalement très proche de la profondeur moyenne de la plate-forme bahamienne (5 m, Purser, 1983), on peut estimer la vitesse des vents de tempête au Givétien inférieur.

Welander (1961, *in* Hardie, 1977) a établi pour la plate-forme bahamienne un modèle hydrodynamique relativement simple qui relie l'amplitude des marées de tempête à la vitesse des vents nécessaires pour les provoquer et à la profondeur des eaux. Dans ce modèle figurent aussi la densité de l'air, celle de l'eau, la gravité et une mesure de la taille des perturbations atmosphériques.

On a :

$$S = K \cdot W^2 : H$$

où K regroupe diverses constantes dont celles énumérées ci-dessus, et vaut $3,24 \cdot 10^{-E2}$,

S représente l'amplitude des marées de tempête,

W représente la vitesse des vents,

H la profondeur moyenne des eaux.

Nous voyons donc que pour une profondeur de 5 m et une amplitude de marée de tempête de 1,2 m, on obtient pour le Givétien Inférieur des vitesses de l'ordre de 50 kilomètres par heure.

Ces vitesses, très proches de celles que l'on a pu mesurer actuellement (55 km à l'heure pendant 24 h. pour l'inondation du 9 mars 1970 : Hardie et Ginsburg, 1977), ne tiennent pas compte des phénomènes exceptionnels accompagnés, au Givétien inférieur, du dépôt de nappes de sables bioclastiques de type 5 ou 6.

Le paramètre le plus difficile à estimer dans le cas de la plate-forme givétienne est bien entendu la profondeur des eaux au moment du dépôt. Cette profondeur a cependant pu être estimée à partir de l'analyse sédimentologique et paléocéologique des complexes récifaux encadrant les laminites de Resteigne (Préat *et al.*, 1984). Cette profondeur est au maximum de quelques mètres à la base de la séquence étudiée.

C) TAUX DE DEPOT

Le taux de dépôt des laminites actuelles a pu être estimé de façon précise à Andros par Hardie et Ginsburg (1977). Considérant une moyenne de trois inondations par an, ce qui correspond au dépôt de trois lamines de 0,1 à 1 mm chacune, ces auteurs calculent un taux de sédimentation de 0,3 à 3 mm par an.

L'épaisseur moyenne des doublets à Resteigne (et à Vaucelles) est proche de 1 mm. En supposant, comme à Andros, une moyenne de trois inondations par an, on obtient un taux de sédimentation de 3 mm par an ou 3 m pour mille ans. Ce taux de sédimentation est calculé à partir des sédiments compactés. En prenant à nouveau 1,5 comme valeur du facteur de compaction (Shinn et Robbin, 1983), on obtient pour les laminites du Givétien inférieur un taux de sédimentation de 4,5 m pour mille ans.

Ce taux est très élevé et supérieur à celui estimé par Hardie à Andros. Cet auteur a basé son estimation sur l'épaisseur moyenne d'une lamine (0,5 mm) et non d'un doublet. Or, il nous semble que c'est l'épaisseur du doublet dans son entièreté qui représente toute la sédimentation.

En négligeant les passées bioclastiques, qui représentent des phénomènes relativement instantanés à l'échelle géologique, ce taux de sédimentation moyen permet de calculer que le dépôt de la séquence laminaire de Resteigne (6,4 m) s'est fait au maximum sur deux mille ans.

Ce taux de dépôt, très élevé si on le compare à d'autres valeurs estimées dans diverses régions pour le Paléozoïque, témoigne du caractère exceptionnellement rapide de la sédimentation laminaire du Givétien inférieur.

V. — DESCRIPTION SEDIMENTOLOGIQUE DE LA SEQUENCE LAMINAIRE DE RESTEIGNE

A) CONTEXTE

La séquence laminaire de resteigne est située à 80 m au-dessus de la base du Givétien (fig. 2). Elle appartient donc à la Formation de Trois-Fontaine.

Sept phases sédimentologiques s'enchaînant suivant une grande biséquence positive-négative caractérisent cette Formation au bord Sud du Bassin de Dinant (Errera *et al.*, 1972). Les trois premières phases correspondent à un milieu marin franc, les quatrième et cinquième à un milieu lagunaire, les sixième et septième marquent le retour au milieu marin ouvert.

Le point d'inversion de cette biséquence se situe à la fin de la cinquième phase.

L'analyse sédimentologique détaillée de toute la coupe de Resteigne (environ 180 m) effectuée par Préat (1984) montre que le sommet de la séquence laminaire correspond au point d'inversion de la biséquence.

B) DESCRIPTION

La séquence laminaire de Resteigne, épaisse de 10 m (fig. 8 et 9), se présente schématiquement comme suit : débutant à la cote 91, elle est entrecoupée de la cote 98,6 à la cote 100,1 par une épaisse passée de calcaires non laminaires. La lamination est également interrompue aux cotes 93,0, 93,8, 94,6, 95,9, 96,7, 97,5, par des passées non laminaires d'une cinquantaine de centimètres chacune.

Cette séquence ne correspond donc pas à un phénomène simple mais bien à un phénomène complexe pré-

sentant de nombreuses récurrences et oscillations dont il faut tenir compte dans l'interprétation.

Dans le détail, la succession des sédiments montre que :

— Les premières laminites s'installent dès la cote 91, sur des sables bioclastiques de type 5 succédant eux-mêmes à des wackestones à Calcisphères et Ostracodes témoignant d'une sédimentation franchement lagunaire en milieu protégé. Cette passée laminaire, épaisse d'environ 2 m, représente la première installation du système levées - mares sur des dépôts subtidaux. Une inondation majeure recouvre alors ce complexe de sables

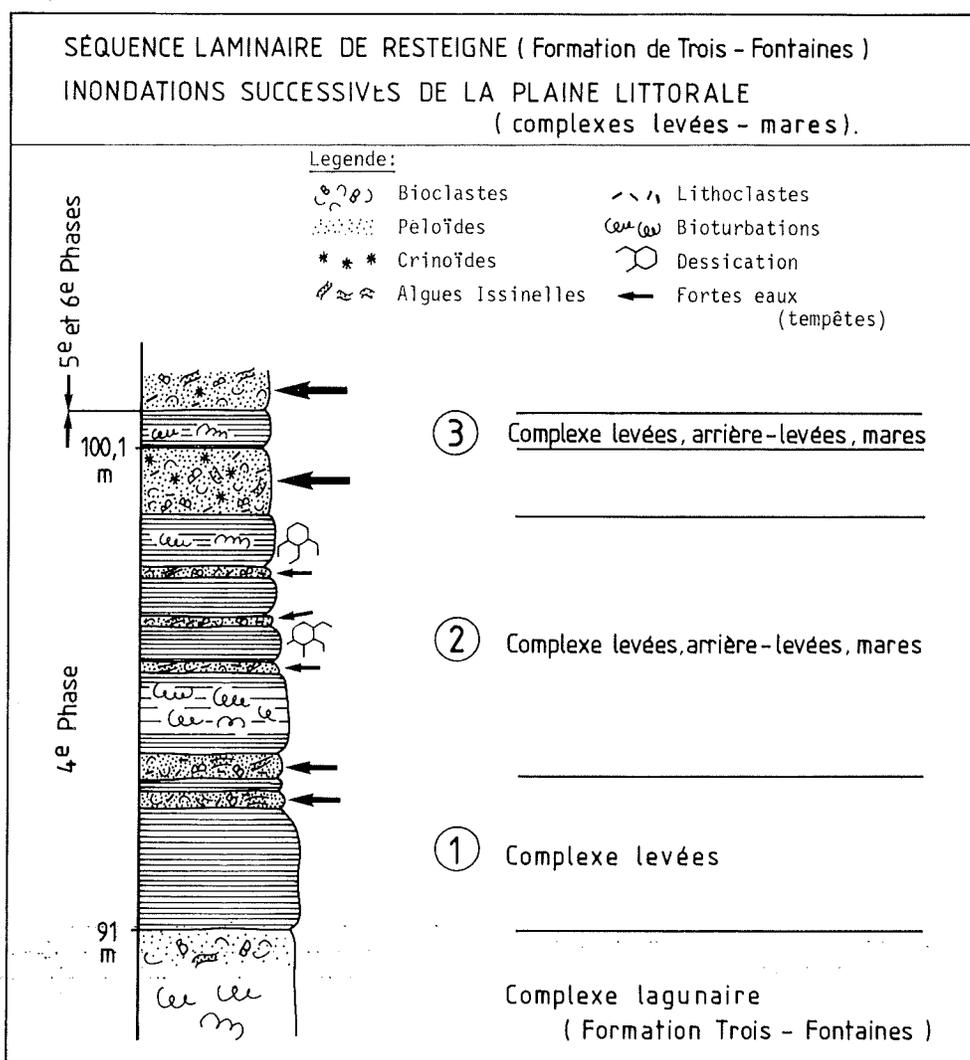


Fig. 9. — Schéma interprétatif de la séquence laminaire de Resteigne.

Fig. 9. — Interpretative scheme of Resteigne laminar sequency.

bioclastiques, dans lesquels on peut observer à la fois une augmentation de la taille des péloïdes (fig. 8) et de nombreuses Issinelles, ces dernières traduisant l'influence de zones plus ouvertes. Cet épisode est suivi d'une mince passée laminaire, elle-même surmontée d'un ensemble de sables bioclastiques.

Ce premier ensemble pourrait représenter un épisode progradant suivi d'une reprise légère de la subsidence ou d'une élévation du niveau marin.

— Un deuxième complexe de levées-mares apparaît alors à la cote 94,3 où la sédimentation se diversifie, et correspond aussi à des dépôts de mares sans laminations. Après un épisode plus turbulent (tempête majeure, cote 95,9), les laminites caractérisent essentiellement un milieu d'arrière-levée, dans lequel des témoins de tapis algaires sont bien visibles (« type *Scytonema* »). Épais d'environ 1,5 m, cet ensemble est interrompu à la cote 96,7 par des sables bioclastiques de tempête contenant de nombreux lithoclastes.

Après une nouvelle interruption, cette fois plus importante, à la cote 97,6, le milieu oscille entre un environnement de levées, d'arrières-levées et de mares jusqu'à la cote 98,6. La dessiccation se marque, en milieu d'arrière-levée, par des polygones d'une dizaine de centimètres de côté, bien visibles en plan sur les surfaces de stratification. Ces dépôts forment un deuxième ensemble où la progradation littorale et la subsidence s'équilibrent approximativement, donnant lieu à des oscillations mineures que traduisent des fluctuations levées, arrières-levées et mares.

Des tempêtes majeures interrompent à plusieurs reprises cet ensemble.

— De la cote 98,6 à la cote 100,1, les calcaires laminaires cèdent la place à des sables bioclastiques de type 6, lesquels présentent un contact de type érosif.

Ce matériel sableux, nettement plus grossier et plus diversifié que celui des lamines sableuses, contient des fragments de Crinoïdes et de nombreuses Issinelles, et provient de zones plus ouvertes de la plate-forme. L'épandage en masse de ce type de sédiment doit correspondre à un ouragan très violent ou à une avancée marine relativement importante.

— A partir de la cote 100,1 s'installe le troisième complexe de levées-mares : il correspond à une séquence progradante simple, rapidement interrompue à la cote 100,8 par une avancée marine de grande ampleur (transgression), qui marque régionalement le passage de la cinquième à la sixième phase dans la Formation de Trois-Fontaines.

VI. — CONCLUSIONS

L'étude sédimentologique de la séquence à laminites du Givétien inférieur du bord Sud du Bassin de

Dinant conduit à la reconstitution d'un marais maritime dans lequel de nombreux environnements intertidaux et supratidaux sont juxtaposés.

La succession des six microfaciès reconnus rend compte de migrations latérales et de progradations littorales qui se marquent de manière très fine dans l'évolution dynamique de complexes de levées et de mares intertidales.

En vue de proposer un modèle paléogéographique applicable à ces laminites, les différentes caractéristiques de ces dépôts ont été comparées aux caractéristiques des sédiments algolaminaires actuels des régions tropicales. Cette comparaison fait ressortir l'étroite parenté existant entre les laminites du Givétien inférieur et les dépôts laminaires actuels de l'île d'Andros.

Cette parenté permet entre autre de supposer l'existence, au Givétien inférieur et dans la zone étudiée, d'un climat de type tropical humide.

Cette démarche a également permis de mettre en lumière les principaux mécanismes à l'origine de la sédimentation laminaire du Givétien inférieur.

C'est lors d'inondations successives de la plaine littorale, provoquées par des tempêtes, qu'a lieu l'essentiel de la sédimentation, la fraction fine des matériaux apportés étant principalement piégée par des mattes algaires, alors que la fraction sableuse se dépose surtout sous le contrôle des courants. Au terme de chaque inondation de tempête, un doublet caractéristique « mudstone-packstone » est ainsi déposé dans des environnements à taux d'exposition important, caractérisés par une vie végétale abondante à l'abri des organismes brouteurs.

La présence d'une séquence régressive simple et non oscillante dans la série laminaire de Resteigne permet d'estimer à environ 1,2 m l'amplitude minimale de l'élévation des eaux correspondant aux inondations de la plaine littorale lors des tempêtes, et de calculer à partir de cette valeur et d'une estimation de la profondeur de la plate-forme givétienne la vitesse des vents qui leur sont associées. Cette vitesse, de l'ordre d'une cinquantaine de kilomètres par heure, ne rend pas compte des vents associés aux ouragans qui s'accompagnent du dépôt de vastes nappes de matériel bioclastique en milieu intertidal et supratidal.

Le taux minimum de dépôt a également pu être estimé (de l'ordre de 4,5 m par mille ans) dans l'ensemble de la série laminaire de Resteigne. Ce taux de sédimentation très élevé témoigne du caractère exceptionnellement rapide de la sédimentation laminaire du Givétien inférieur.

Remerciements. — Les auteurs tiennent à remercier MM. Herbosch, Plaziat et Purser, qui ont suivi l'élaboration de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) AIGNER T. (1982). — Calcareous tempestites : storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Trias, SW Germany). *In* Cyclic and events stratification, ed. G. Einsele et A. Seilacher, Springer, p. 180-198.
- 2) AITKEN J.D. (1967). — Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta. *J. Sed. Petrology*, 37, 4, p. 1163-1178.
- 3) BAULD, BURNE R.V., CHAMBERS L.A., FERGUSON J. et SKYRING G.W. (1980). — Sedimentological and geobiological studies of intertidal cyanobacterial mats in NE Spener Gulf, S. Australia. *In* Biogeochemistry of ancient and modern environments, éd. P.A. Trudinger, M.R. Walter et B.J. Ralph - Springer - 723 p.
- 4) DAVIES G.R. (1970). — Algal laminated sediments, Gladstone Embayment, Shark Bay, Western Australia. *In* Carbonate sedimentation and environments, Shark Bay, Western Australia, éd. B.W. Logan, G.R. Davies, J.F. Read et D.E. Cebulski. *AAPG Mem.*, 13, p. 169-205.
- 5) ERRERA M., MAMET B., et SARTENAER P. (1972). — Le calcaire de Givet et le Givétien à Givet. *Bull. Inst. R. Sci. Nat. Belg.*, 48, 1, p. 1-59.
- 6) FROST J.G. (1974). — Subtidal algal stromatolites from the Florida backreef environment *J. Sed. Petrology*, 44, 2, p. 532-537.
- 7) GEBELEIN C.D. (1976). — Open marine subtidal and intertidal stromatolites (Florida, the Bahamas and Bermuda). *In* Stromatolites, éd. M.R. Walter - Developments in sedimentology, 20, Elsevier, p. 381-388.
- 8) GEBELEIN C.D. et HOFFMAN P. (1973). — Algal origin of dolomitic laminations in stromatolitic limestone. *J. Sed. Petrology*, 43, 3, p. 603-613.
- 9) GINSBURG R.N., HARDIE L.A., BRICKER O.P., GARRETT P. et WANLESS H.R. (1977). — Exposure index : a quantitative approach to defining position within the tidal zone. *In* Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas, éd. L.A. Hardie. The John Hopkins University Press, p. 7-11.
- 10) GOSSELET J. (1879). — Description géologique du Canton de Maubeuge. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VI, p. 129-211.
- 11) HARDIE L.A. (1977). — Distinctive features of a rainy, low-energy, tropical carbonate tidal flat a summary. *In* Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas, éd. L.A. Hardie. The John Hopkins University Press, p. 177-183.
- 12) HARDIE L.A. (1977). — A concluding note : sensitivity of the record. *In* Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas, éd. L.A. Hardie. The John Hopkins University Press, p. 188-189.
- 13) HARDIE L.A. et GARRETT P. (1977). — General environmental setting. *In* Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas, éd. L.A. Hardie. The John Hopkins University Press, p. 12-49.
- 14) HARDIE L.A. et GARRETT P. (1977). — Some miscellaneous implications and speculations. *In* Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas, éd. L.A. Hardie. The John Hopkins University Press, p. 184-187.
- 15) HARDIE L.A. et GINSBURG R.N. (1977). — Layering : the origin and environmental significance of Lamination and thin bedding. *In* Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas, éd. L.A. Hardie. The John Hopkins University Press, p. 50-124.
- 16) HOFFMAN P. (1976). — Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. *In* Stromatolites, éd. M.R. Walter. Developments in sedimentology, 20 Elsevier, p. 261-271.
- 17) JEFFERY D. et AIGNER T. (1982). — Storm sedimentation in the carboniferous limestones near Weston-Super-Mare (Dinantian, SW England). *In* Cyclic and event stratification, éd. G. Einsele et A. Seilacher. Springer, p. 240-247.
- 18) KENDALL C.G. et Sir P.A. d'E. SKIPWITH (1968). — Recent algal mats of a Persian Gulf lagoon. *J. Sed. Petrology*, 38, 4, p. 1040-1058.
- 19) KINSMAN D.J. et PARK R.K. (1976). — Algal belt and coastal sabkha evolution, Trucial Coast, Persian Gulf. *In* Stromatolites, éd. M.R. Walter. Developments in sedimentology, 20 Elsevier, p. 421-433.
- 20) LAPORTE L.F. (1967). — Carbonate deposition near mean sea-level and resultant facies mosaic : Manlius Formation (Lower Devonian) of New York State. *AAPG Bull.*, 51, 1, p. 73-101.
- 21) LOGAN B.W. (1961). — Cryptozoon and associate stromatolites from the Recent, Shark Bay, Western Australia. *J. of Geology*, 69, p. 517-533.
- 22) LOGAN B.W., REZAK R. et GINSBURG R.N. (1964). — Classification and environmental significance of algal stromatolites. *J. of Geology*, 72, 1, p. 68-83.
- 23) MAMET B. et PREAT A. (1982). — *Givétianella tsienii*, une Dasycladacée nouvelle du Givétien de la Belgique. *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 91, 4, p. 209-216.
- 24) MONTY C.L.V. (1965). — Recent algal stromatolites in the Windward lagoon, Andros Island, Bahamas. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 88, 6, p. 269-276.
- 25) MONTY C.L.V. (1976). — The origin and development of cryptalgal fabrics. *In* Stromatolites, éd. M.R. Walter. Developments in sedimentology, 20 Elsevier, p. 193-250.
- 26) MONTY C.L.V. et HARDIE L.A. (1976). — The geological significance of the freshwater blue-green algal calcareous marsh. *In* Stromatolites, éd. M.R. Walter. Developments in sedimentology, 20 Elsevier, p. 447-477.

- 27) PLAYFORD P.E. et COCKBAIN A.E. (1976). — Modern algal stromatolites at Hamelin Pool, a hypersaline barred basin in Shark Bay, Western Australia. *In* Stromatolites, éd. M.R. Walter. Developments in sedimentology, 20 Elsevier, p. 389-411.
- 28) PRATT B.R. (1979). — Early cementation and lithification in intertidal cryptalgal structures, Boca, Jewfish, Bonaire, Netherlands Antilles. *J. Sed. Petrology*, 49, 2, p. 379-386.
- 29) PREAT A. (1984). — Etude lithostratigraphique et sédimentologique du Givétien Belge (Bassin de Dinant). Thèse de Doctorat de l'Université Libre de Bruxelles, 466 p. (non publié).
- 30) PREAT A. et BOULVAIN F. (1982). — Etude sédimentologique des calcaires givétiens à Vaucelles (bord Sud du synclinorium de Dinant). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 105, p. 273-282.
- 31) PREAT A. COEN-AUBERT M., MAMET B. et TOURNEUR F. (1984). — Sédimentologie et paléo-écologie de trois complexes récifaux du Givétien inférieur de Resteigne (bord Sud du Bassin de Dinant, Belgique). *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 93, 1-2, p. 227-240.
- 32) PURSER B.H. (1980, 1983). — Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. *Technip.*, t. I, 367 p.; t. II 390 p.
- 33) SHINN E.A. (1973). — Carbonate coastal accretion in an area of longshore transport, NE Qatar, Persian Gulf. *In* The Persian Gulf. Holocene carbonate sedimentation and diagenese in a shallow epicontinental sea, éd. B.H. Purser. Springer, 471 p.
- 34) SHINN E.A. (1973). — Recent intertidal and nearshore carbonate sedimentation around rocks highs, E Qatar, Persian Gulf. *In* The Persian Gulf, éd. B.H. Purser, Springer, 471 p.
- 35) SHINN E.A. (1983). — Tidal flat. *In* Carbonate depositional environments, éd. P.A. Scholle, D.G. Bebout, C.H. Moore. *AAPG Mem.*, 33, 708 p.
- 36) SHINN E.A., LLOYD M.R. et GINSBURG R.N. (1969). — Anatomy of a modern carbonate tidal-flat, Andros Island, Bahamas. *J. Sed. Petrology*, 39, 3, p. 1202-1228.
- 37) SHINN E.A. et ROBBIN D.M. (1983). — Mechanical and chemical compaction in fine-grained shallow-water limestones. *J. Sed. Petrology*, 53, 2, p. 595-618.