

Comparaison des Kess-Kess de Hmar Lakhdad (Emsien, Maroc) et des monticules micritiques de l'anticlinorium de Philippeville (Frasnien, Belgique)

Atika HILALI¹, Hassan LACHKHEM² & Frédéric BOULVAIN³

(7 figures, 1 tableau & 2 planches)

1. Département de Géologie, Faculté des Sciences 1 Ain Chok, Université Hassan II, Km 8, Route El Jadida, BP. 5366 Maarif-Casablanca.

2. Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Mohamed Ben Abdellah, BP. 1796 Fes/Atls. Fes.

3. Géologie-Pétrologie-Géochimie, B20, Université de Liège, Sart Tilman, B-4000 Liège. (fboulvain@ulg.ac.be).

RESUME. Les Kess-kess de Hmar Lakhdad sont des monticules micritiques d'âge Dévonien, situés au SE d'Erfoud (Anti-Atlas marocain). Les fenestrae, très abondantes, sont présentes de la base au sommet de la plupart des édifices. Ces structures sont classées en deux groupes : les stromatactis «sensu stricto» et les fenestrae stromatactoïdes, montrant chacun une grande variabilité morphologique. Ces fenestrae rappellent celles déjà décrites dans les monticules micritiques du Frasnien de la Belgique. Leur attribution à des éponges ne peut cependant être démontrée. D'autres structures communes aux deux types de monticules, les microstromatolithes, sont également décrites. Les nombreuses convergences sédimentologiques permettent de rattacher les faciès des Kess-kess du Maroc aux calcaires à coraux et crinoïdes de la base des monticules belges. Cette comparaison justifie une interprétation paléoécologique et paléobathymétrique des édifices marocains.

MOTS-CLES : Maroc, Anti-Atlas, Belgique, Emsien, Frasnien, monticules micritiques, stromatactis, microstromatolithes, faciès.

ABSTRACT. A Comparison between the Kess-kess of Hmar Lakhdad (Emsian, Morocco) and the mud mounds of the Philippeville Anticlinorium (Frasnian, Belgium). The Kess-kess of Hmar Lakhdad are Devonian mud mounds, located SE of Erfoud (Moroccan AntiAtlas). Fenestral structures, which are very abundant, occur from the base to the top of most buildups. These structures are classified in two groups: stromatactis s.s. and stromatactoid fenestrae, each of them showing a high morphological variability. These fenestrae look very similar to the structures already described from the Belgian mud mounds. However, their attribution to sponges cannot be demonstrated. Microstromatolithes, a microbial structure, are common in the Moroccan and Belgian buildups. The numerous sedimentological similarities between the two types of mounds allow to assign the facies of the Kess-kess to the coral-crinoidal limestones at the base of the Belgian buildups. This comparison justifies a paleoecological and paleobathymetrical interpretation of the Moroccan mud mounds.

KEYWORDS: Morocco, AntiAtlas, Belgium, Emsian, Frasnian, mud mounds, stromatactis, microstromatolithes, facies

1. Introduction

Ce travail tente d'établir une comparaison entre les Kess-kess (monticules micritiques) d'âge Emsien de Hmar Lakhdad (Maroc), et les édifices de la partie supérieure du Frasnien belge, considérés comme un modèle du genre en raison de leur facilité d'étude, de leur bonne exposition et des nombreux travaux qui s'y rapportent.

Les Kess-kess de Hmar Lakhdad ont été décrits pour la première fois comme une **accumulation d'origine récifale** par Menchikoff (*in* Roch, 1934). Par la suite, divers termes ont été utilisés pour les caractériser : ensemble de **protubérances ou bulles pleines** (Roch, 1934), **biohermes** formés par de **curieux pitons récifaux** (Massa *et al.*, 1965), **formation récifale** du Dévonien inférieur (Hollard, 1963), **récif** du Dévonien inférieur (Hollard, 1974; Michard, 1976), **mud mounds** (Gendrot, 1973; Brachert *et al.*, 1992; Hüßner, 1994; Belka, 1998), et **buildups, reef-mounds** ou **mud mounds** (Tönebohn, 1991).

Signalons qu'une description sédimentologique relativement complète des Kess-kess figure dans les travaux les plus récents des collègues allemands (Brachert *et al.*, 1992; Hüßner, 1994).

Très récemment Mounji *et al.* (1996) et Belka (1998) ont émis l'hypothèse que le développement des Kess-kess serait une conséquence de venues hydrothermales localisées au droit du massif magmatique de Hmar Lakhdad. Les édifices seraient situés à l'intersection d'un système de failles tangentielles et radiales, provoquées par un phénomène de « ballooning » de l'intrusion magmatique (Belka, 1998).

Après une description générale des Kess-kess, nous insisterons quant à nous sur trois types de structures particulières, communes aux édifices belges et marocains : les stromatactis, les fenestrae stromatactoïdes (Boulvain, 1993) et les microstromatolithes (Mamet & Boulvain, 1988). En effet, les stromatactis de Hmar Lakhdad, souvent signalés dans les travaux antérieurs, n'ont jamais fait l'objet d'une étude détaillée et les microstromatolithes y sont décrits pour la première fois.

Enfin, une interprétation paléocéologique et paléobathymétrique des Kess-kess est proposée après comparaison avec le modèle sédimentologique établi pour les monticules belges (Boulvain, 1993).

2. Les kess-kess de Hmar Lakhdad

2.1. Généralités

Les Kess-kess de Hmar Lakhdad sont situés à 20 km au SE d'Erfoud dans le Tafilalt (Anti-Atlas marocain, Fig. 1). Il s'agit d'une quarantaine de monticules micritiques d'âge emsien, dispersés sur une distance de 7 km suivant une direction grossièrement E-W. Ils sont dégagés par l'érosion qui entame les séries marno-calcaires du Dévonien inférieur à moyen constituant leur couverture (Fig. 2).

L'ensemble de la Formation de Hmar Lakhdad (semelle crinoïdique, édifices et couverture) forme le flanc nord à pendage 10 à 15° sud d'un synclinal de direction E-W. Les édifices sont concentrés dans un panneau limité par des décrochements, de direction NE-SW.

La série stratigraphique dévonienne de Hmar Lakhdad débute par des tufs volcaniques (Lochkovien à Praguien basal) dont l'épaisseur, importante sous les Kess-kess (80m), diminue pour disparaître complètement aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest (Fig. 1). La série se poursuit par des dépôts du Dévonien inférieur qui comportent environ 160 m de calcaires crinoïdiques constituant une semelle récifale (Praguien à base de l'Emsien), surmontée des Kess-kess proprement dits (Emsien) (Fig. 2). La couverture marno-calcaire (Fig. 2) est caractérisée par une grande hétérogénéité faunistique; la plupart des fossiles, en particulier les phacopidés, sont remaniés sur place.

Le terme Kess-kess (cousscoussier traditionnel) est une appellation locale qui décrit parfaitement la morphologie de ces édifices : conique, à base subcirculaire et sommet pointu pour la majorité d'entre eux (Pl. 1 : A & B). D'une hauteur comprise entre 3 et 45 m, ils possèdent une pente variant entre 10 et 65°, généralement plus forte vers le Nord.

Ces monticules sont constitués de calcaires plus ou moins dolomités. Leur faune se caractérise par une grande diversité de tabulés associés à des rugueux solitaires, des mollusques, des brachiopodes et des trilobites. Les microstromatolithes et les stromatactis sont également fréquents, mais les algues et les stromatoporoidés sont absents (Fig. 3, 4, 5). Les bryozoaires, récemment considérés comme totalement absents (Brachert *et al.*, 1992), ont été observés mais sont peu fréquents; il s'agit essentiellement de Trépostomes.

Deux des Kess-kess situés dans la partie NW et un troisième dans la partie NE, sont partiellement ou totalement recouverts par des formations rougeâtres, à teneur variable en fer. Un dosage à l'absorption atomique a donné des valeurs variant entre 35 et 60 % d'oxyde de fer total dans la roche.

2.2. Matériel

Un échantillonnage systématique a été effectué de la base au sommet, sur tous les flancs (nord, sud, est et ouest) de l'ensemble des monticules d'âge Emsien de Hmar Lakhdad (Fig. 1). Environ 700 lames minces ont été réalisées et étudiées. Le matériel belge a fait l'objet d'une révision détaillée (Boulvain & Coen-Aubert, 1992; Boulvain, 1993), impliquant l'étude de près de 1000 lames minces provenant d'une dizaine de monticules de l'Anticlinorium de Philippeville.

2.3. Microfacies

Les Kess-kess sont caractérisés par une grande homogénéité de facies (voir également Brachert *et al.*, 1992). Pour les monticules dont la hauteur dépasse les dix

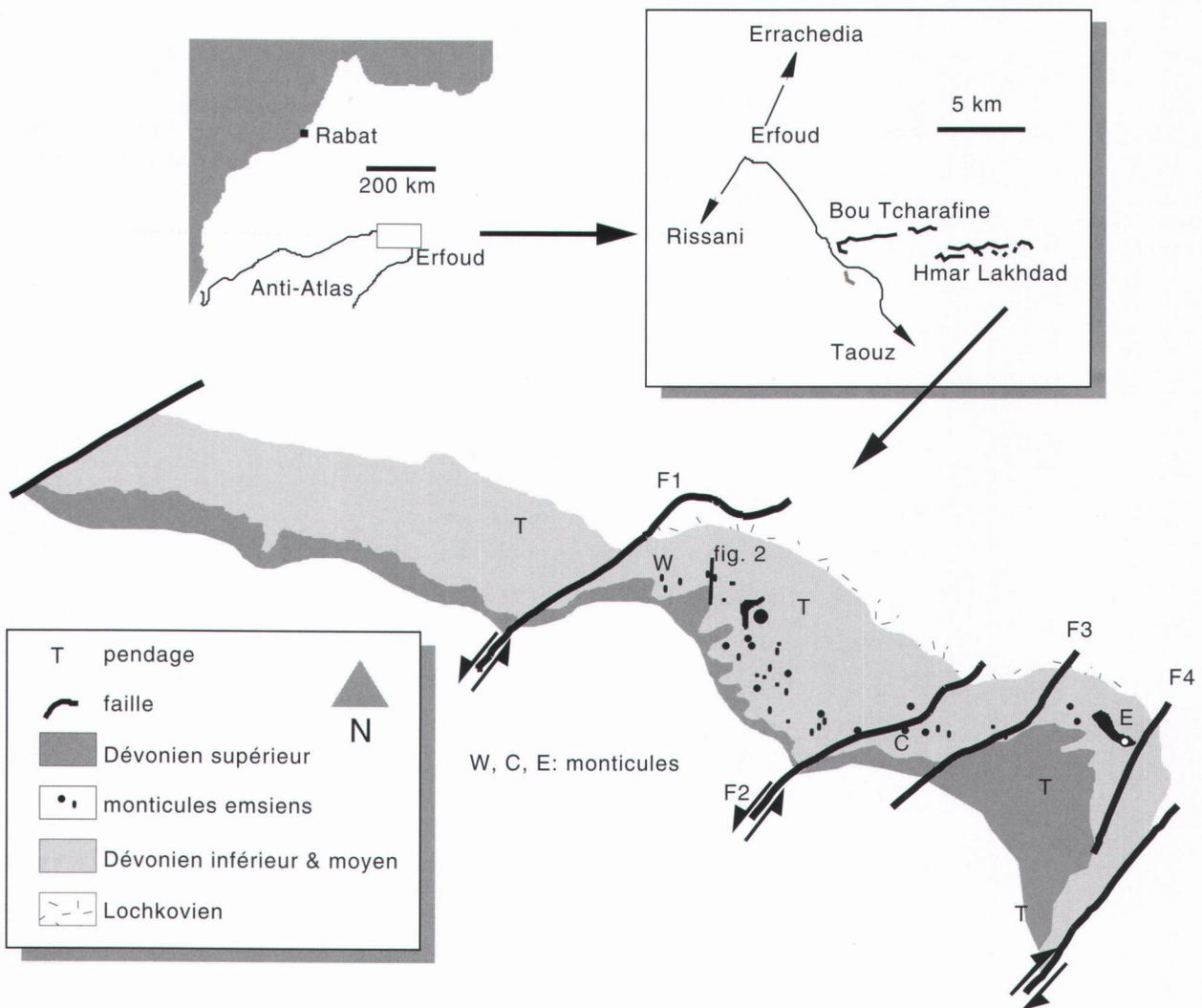
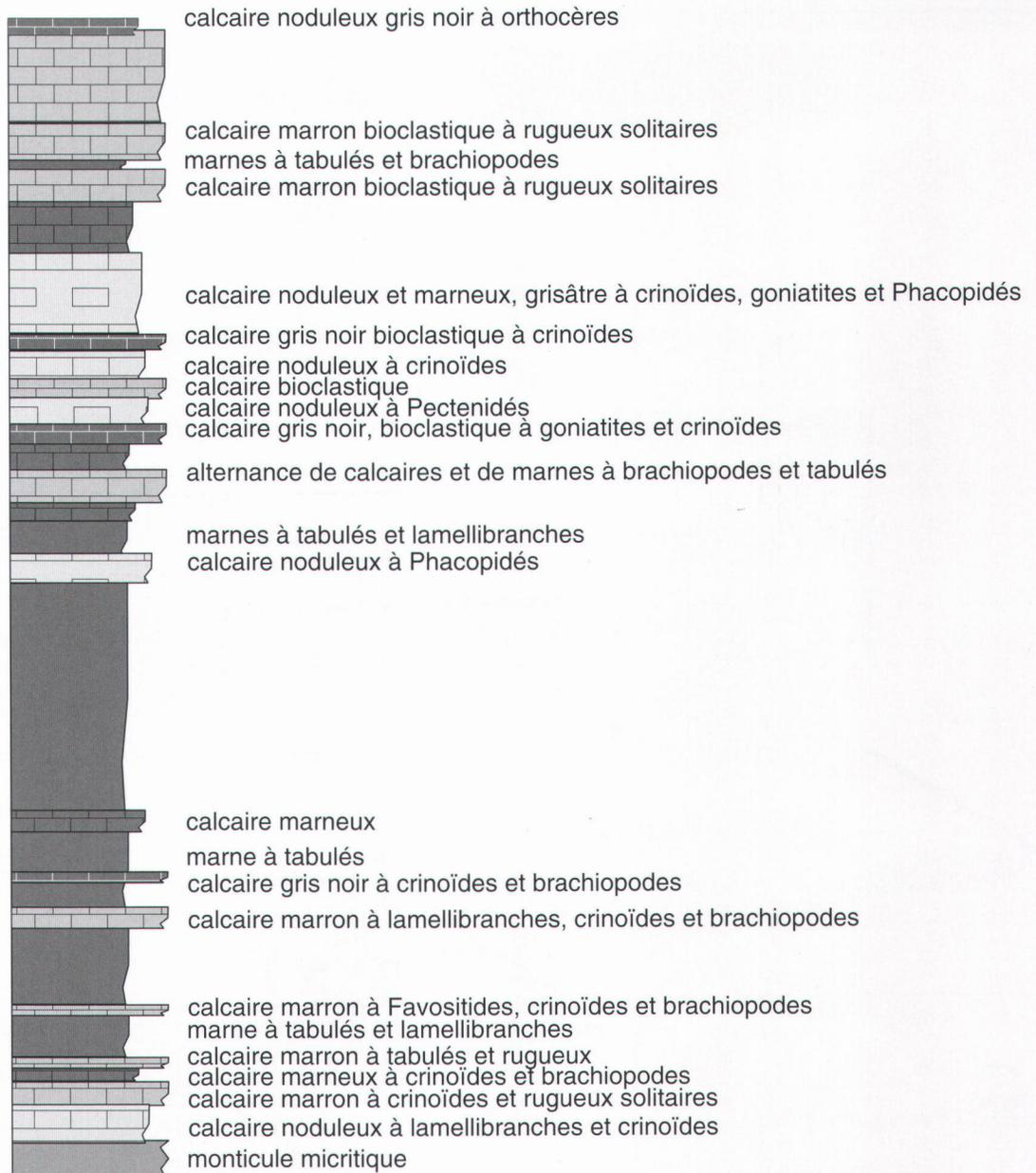


Figure 1. Carte géologique simplifiée de la région de Hmar Lakhdad, avec la localisation des Figures 2, 3, 4 & 5.
Simplified geologic map of the Hmar Lakhdad area, with location of figures 2, 3, 4 & 5.



B

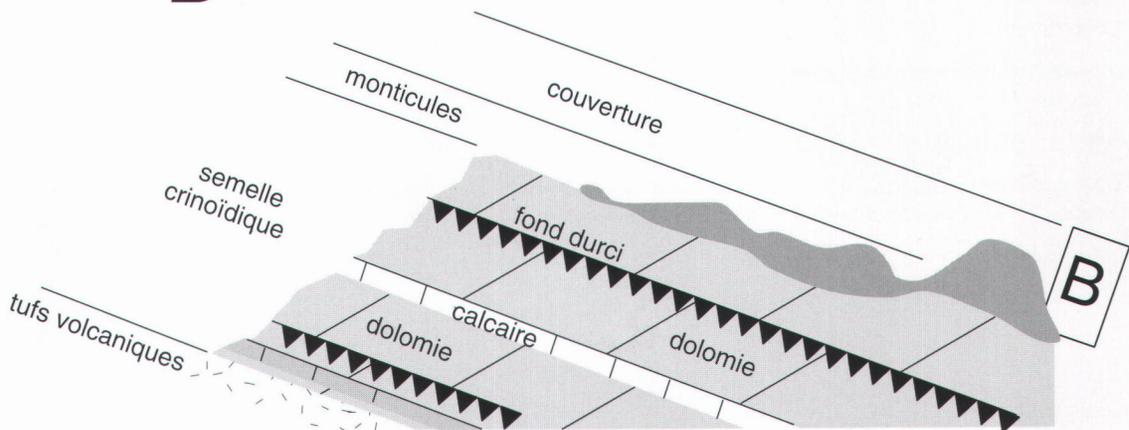


Figure 2. Coupe générale schématique de Hmar Lakhdad (localisée Fig. 1) et colonne lithologique détaillée de la couverture des monticules micritiques.

Schematic section of Hmar Lakhdad (located on fig. 1) and detailed log of post-mound covering sediments.

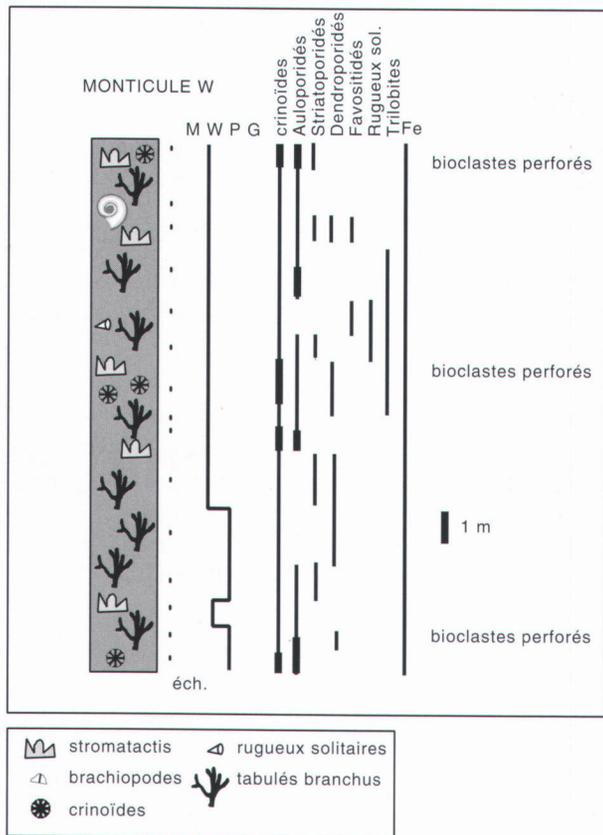


Figure 3. Colonne lithologique du monticule W (localisé Fig. 1). MWPG : mudstone, wackestone, packstone, grainstone. *Log of the W mud mound (see location on fig. 1). MWPG: mudstone, wackestone, packstone, grainstone.*

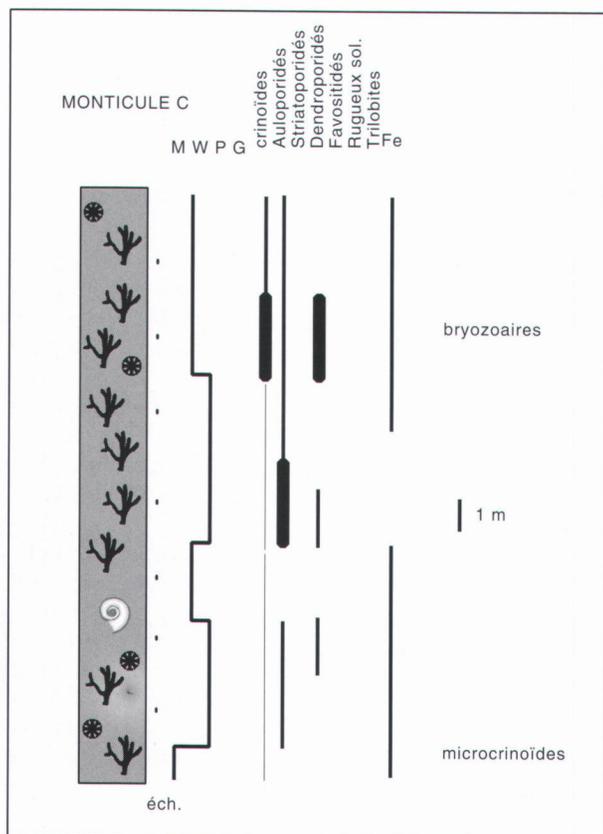


Figure 4. Colonne lithologique du monticule C (localisé Fig. 1). *Log of the C mud mound (see location on fig. 1).*

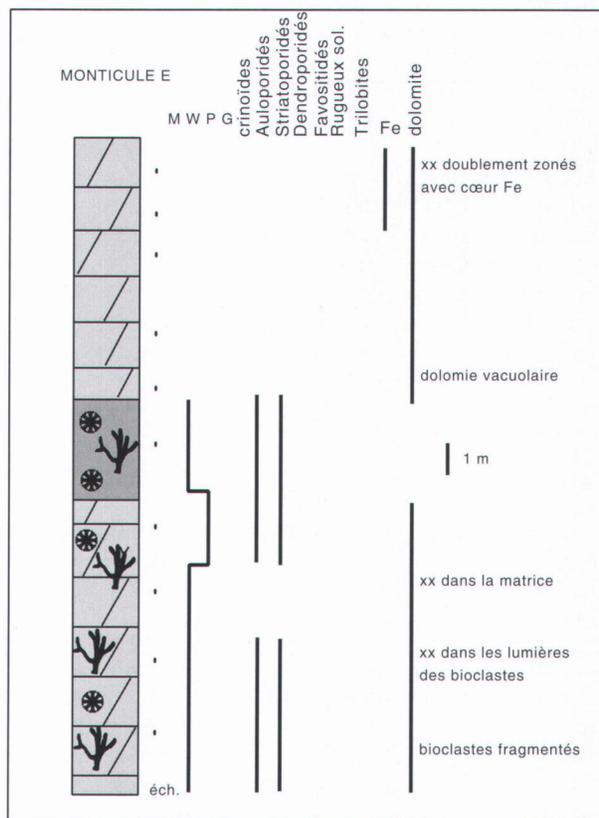


Figure 5. Colonne lithologique du monticule E (localisé Fig. 1). *Log of the E mud mound (see location on fig. 1).*

mètres, il s'agit essentiellement de wackestones et de packstones à tabulés et crinoïdes (Pl. I : C). Pour les plus petits par contre, il s'agit de packstones et de wackestones crinoïdiques, mais dont les tabulés sont remplacés par des trilobites, des tentaculitides, des brachiopodes et des lamellibranches. Deux cas moins fréquents de wackestones à goniatites et de wackestones à spicules d'éponges ont été observés dans la partie centrale de la zone d'affleurement.

Dans les monticules étudiés, nous ne notons pas de successions verticales liées à un changement de groupe dominant de coraux. Une certaine évolution latérale est par contre plus nette. Nous faisons la distinction entre trois compartiments, délimités par des décrochements et progressivement déplacés vers le NE : le bloc ouest, localisé entre F1 et F2, le bloc central, entre F2 et F3, et le bloc est, entre F3 et F4 (Fig. 1). On note essentiellement de l'Ouest vers l'Est le remplacement des wackestones à *Bainbridgia* par des wackestones à Auloporidés tubulaires, l'apparition de nouveaux genres d'Auloporidés, de Striatoporidés et de Dendroporidés, une augmentation de la dolomitisation (Fig. 3 à 5) et une plus grande abondance de taches ferruginisées à rapprocher des microstromatolithes. Ces derniers sont particulièrement abondants dans le bloc central.

2.4. Les stromatactis

2.4.1. Généralités

Un résumé des travaux antérieurs sur les nombreuses définitions et hypothèses de formation des stromatactis est proposé par Tsien (1985, pp. 275-276) et Boulvain (1993, pp. 122 et 264-269).

Rappelons que le terme «stromatactis» a été utilisé pour la première fois par Dupont (1881, p. 266) pour décrire «de longues bandes ou de petites masses cristallines irrégulières» répandues dans les récifs de marbre rouge frasnien de Belgique. Cette définition fut complétée par son auteur en 1882 et en 1885, qui crût y reconnaître les caractères externes d'un organisme apparenté aux stromatoporidés. Toutes les autres définitions résultent de la modification plus ou moins importante de la diagnose ultérieure donnée par Lecompte en 1937 (p. 7) : il s'agit d'«(...) amas cristallins à surface inférieure subplane et à surface supérieure très digitée (...)».

Les stromatactis observés dans le Dévonien du Maroc ont été décrits par Gendrot (1973, p. 63) comme «des dépôts de calcite cristalline, au milieu de calcaires micritiques, se développant parallèlement aux surfaces des bancs, en grands tapissages clairs étendus sur plusieurs dizaines de centimètres carrés».

L'origine des stromatactis est encore discutée entre les partisans de figures sédimentaires associées aux récifs (Gendrot, 1973), de cavités liées aux monticules micritiques, résultant soit de la formation de croûtes cimentées (Bathurst, 1980; Burchette, 1981) soit de la disparition d'organismes. Ces organismes énigmatiques peuvent être des tapis cryptalgaires (Pratt, 1986), des éponges (Bourque & Gignac, 1983; Bourque & Boulvain, 1993)

ou des colonies microorganiques recristallisées (Tsien, 1985).

Dans la présente note, nous appelons stromatactis toute structure cimentée par de la calcite fibreuse dans un contexte micritique, ayant une base subplane ou ondulante et un sommet fréquemment marqué par des digitations.

2.4.2. Observations

L'étude macroscopique et microscopique de coupes réalisées dans la semelle crinoïdique, dans la couverture des Kess-kess, au sein des édifices et dans les régions situées à l'Est et à l'Ouest de Hmar Lakhdad, montre que les stromatactis sont strictement associés aux monticules micritiques.

Avec une taille variant entre 1 et 50 cm de long pour une hauteur égale ou moindre, les stromatactis de Hmar Lakhdad montrent une grande diversité morphologique. Une classification morphologique élémentaire permet de distinguer deux groupes : les stromatactis simples, possédant un seul niveau basal et les stromatactis composés, caractérisés par deux ou trois niveaux fenestrés superposés. Parmi les stromatactis dits simples, on observe principalement les morphologies suivantes :

- formes grossièrement étoilées, avec cimentation fibreuse précédant le sédiment interne (Pl. I : D);
- formes à base plane et à sommet marqué par des digitations très irrégulières (Fig. 6A);
- formes à sommet marqué par des digitations relativement régulières (Fig. 6B);
- formes hémisphériques à sommet légèrement ondulé (Fig. 6C).

Notons l'occurrence fréquente de coquilles de grande dimension limitant l'extension des structures vers le haut (Fig. 6B; Pl. I : C).

Le remplissage des stromatactis est nettement polyphasé et comprend typiquement trois phases : un sédiment interne, un ciment fibreux et un ciment équigranulaire. L'exemple figuré à la Pl. I : D, comporte trois limites nettes entre quatre phases de remplissage : de la micrite laminaire (2), suivie d'une micrite plus homogène (2') et de sparite granulaire (3), le tout comblant une cavité cimentée par une calcite fibreuse en croûtes centripètes (1). En cathodoluminescence (Pl. I : E & F), la sparite granulaire comprend une phase automorphe non luminescente à bordure orangée, puis une phase xénomorphe à luminescence terne. Cette succession n'est pas sans rappeler la séquence diagénétique des monticules frasnien (Boulvain *et al.*, 1992). Le sédiment interne est fréquemment microsparitique et de couleur différente de la matrice entourant la cavité. Il peut être antérieur ou postérieur à la calcite fibreuse, mais il est toujours antérieur à la sparite granulaire. Certains stromatactis possèdent un liseré de couleur foncée, ferruginisé, à la base de la cavité.

Les stromatactis composés, développés sur deux ou trois niveaux, sont fréquemment caractérisés par une abondance de bioclastes de grande taille à leur sommet :

tabulés, rugueux, brachiopodes et orthocères. Par contre, sous les cavités, les bioclastes sont rares à absents.

Les différentes morphologies des stromatactis de Hmar Lakhdad ne sont pas liées à une position particulière dans un même monticule ou d'un monticule à l'autre. Les stromatactis sont plus abondants dans les monticules emsiens de la partie ouest (Fig. 3) et sont complètement absents dans les édifices pigmentés en rouge. Ces derniers sont caractérisés par une dolomitisation plus accentuée et par leur couleur, liée à une teneur en oxyde de fer pouvant atteindre jusqu'à 60% du poids de la roche. Nous avons également noté l'absence des stromatactis dans l'unique monticule à niveaux de concentration de spicules d'éponges. Réciproquement,

les spicules n'ont pas été observés dans les niveaux à stromatactis, qu'il s'agisse d'examen en lumière naturelle ou en cathodoluminescence.

2.5. Les fenestrae stromatactoïdes et les fenestrae irrégulières

2.5.1. Définition

Les fenestrae stromatactoïdes sont des fenestrae qui possèdent la morphologie des stromatactis (base subplane et sommet digité), mais qui s'en distinguent par l'absence de calcite fibreuse. La cimentation est constituée uniquement d'un ciment granulaire (Boulvain,

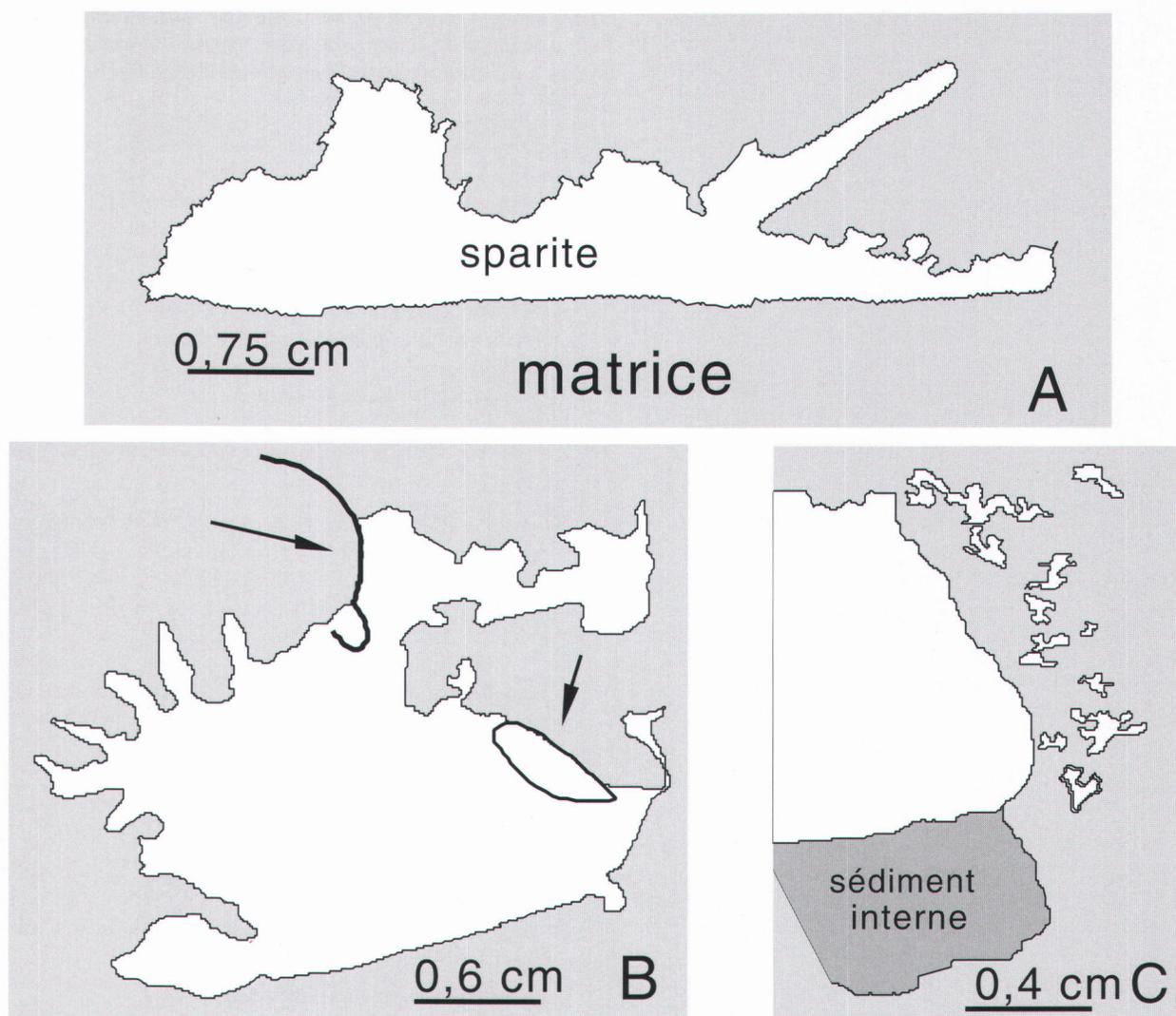


Figure 6. Variabilité morphologique des stromatactis de Hmar Lakhdad. A : forme irrégulière ; B : forme à digitations régulières ; les flèches indiquent des organismes saillant dans la «cavité», trilobite et bivalve ; C : forme hémisphérique ; remarquer les nombreuses fenestrae irrégulières accompagnant le stromatactis.

Morphological variability of Hmar Lakhdad stromatactis. A: irregular stromatactis; B: stromatactis with regular digitations; arrows indicate some organisms protruding into the "cavity": trilobite and pelecypod; C: hemispherical stromatactis; note the abundant irregular fenestrae associated with the stromatactis.

1993, p. 125). Les fenestrae irrégulières n'ont pas de base plane.

2.5.2. Variabilité morphologique

Nous nous limiterons à une description qui met en évidence les différences morphologiques. Les formes présentes par ordre d'abondance sont les suivantes :

- fenestrae stromatactoides :
 - lamelles isolées et étroites (Fig. 7A, B);
 - lamelles épaisses avec digitations verticales à expansions latérales (Fig. 7C);
 - lamelles réticulées à invaginations profondes (Fig. 7D);
 - formes en réseau (Fig. 7F);

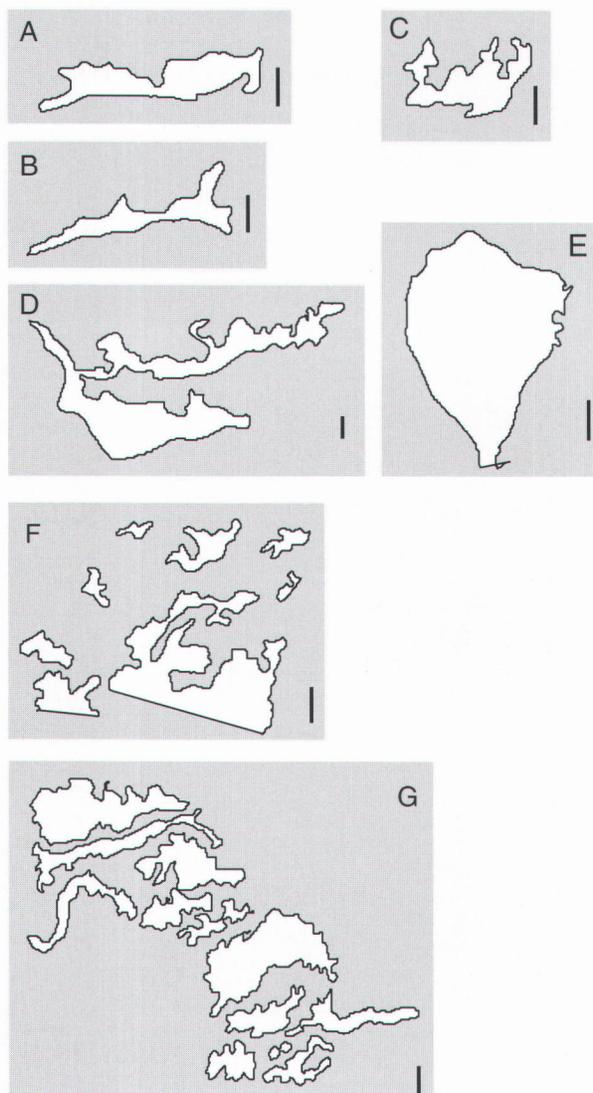


Figure 7. Variabilité morphologique des fenestrae stromatactoides (A, B, C, D, F) et des fenestrae irrégulières (E, G) de Hmar Lakhdad. Explications dans le texte. Barre d'échelle = 1 cm.
Morphological variability of stromatactoid fenestrae (A, B, C, D, F) and of irregular fenestrae (E, G) from Hmar Lakhdad. Explanations in text. Scale = 1 cm.

- fenestrae irrégulières :
 - formes globulaires à surface supérieure régulièrement mamelonnée (Fig. 7E);
 - formes en réseau (Fig. 7G).

Notons que ces différentes formes sont associées principalement aux wackestones, mais parfois également à des mudstones et à des packstones. Elles sont relativement plus abondantes que les stromatactis dans l'ensemble des monticules.

2.6. Les microstromatolithes et les structures associées

2.6.1. Généralités

Les microstromatolithes sont assez fréquents dans les monticules d'âge emsien de la Formation de Hmar Lakhdad. Ils sont particulièrement abondants dans le bloc central. Ces structures sont souvent associées aux fractures et aux cavités, sans y être strictement liées.

Les microstromatolithes de Hmar Lakhdad n'ont pas été observés sur le terrain, ni sur surface polie. En lame mince, ils apparaissent à faible grossissement sous la forme de taches brunes plus ou moins foncées. A plus fort grossissement, on distingue l'alternance du type stromatolithique, de lamines inframillimétriques claires et foncées, témoin d'une activité organique rythmique (Pl. 2 : B). En cathodoluminescence, les zones claires sont luminescentes dans les jaunes plus ou moins foncés.

2.6.2. Variabilité morphologique

Les formes observées dans les Kess-kess de Hmar Lakhdad sont les suivantes :

- voiles et tapis à lamination parallèle : ces structures d'épaisseur millimétrique parcourent les cavités ou encroûtent les bioclastes (Pl. 2 : D & E);
- cloques et amas de cloques : ce sont les formes les plus abondantes. Elles peuvent être isolées dans la matrice, entourer des bioclastes (Pl. 2 : A), occuper les lumières d'éléments figurés comme les calices de tabulés ou encore se regrouper en amas, éventuellement en liaison avec des voiles ou tapis;
- formes colonnaires (Pl. 2 : B, D, E) : elles sont caractérisées par un empilement de lamines ferrugineuses, développées à partir d'un tapis à lamination parallèle. Ces formes tapissent l'intérieur de veinules (Pl. 2 : C), croissent à partir de voiles, ou plus fréquemment encroûtent des bioclastes (Pl. 2 : A).

3. Comparaison et discussion

3.1. Généralités

L'étude des monticules micritiques du Frasnien belge par l'un des auteurs (Boulvain & Coen-Aubert, 1992; Boulvain, 1993; Boulvain & Herbosch, 1993) a permis d'élaborer un modèle sédimentologique et de comprendre ses variations en fonction de la bathymétrie

initiale, des changements du niveau marin relatif et de la nature de la sédimentation péri-biohermale.

Ainsi, les bioconstructions qui se développent au sein de sédiments périphériques carbonatés (Formation de Neuville) acquièrent peu de relief, tandis que celles qui croissent durant des périodes de décantation argileuse (Formation des Valisettes) possèdent des pentes accusées et un relief important. Ces derniers biohermes peuvent atteindre une épaisseur de l'ordre de 60 à 80 m, pour un diamètre supérieur à la centaine de mètres. L'existence d'un relief non négligeable permet la formation de faciès de talus, constitués de bancs de grainstones crinoïdiques interstratifiés dans les schistes péri-biohermaux.

Dans le cas des Kess-kess, le relief important et les pentes de l'ordre de 50° (Pl. 1 : A & B) impliquent une sédimentation péri-biohermale très ralentie. L'essentiel des calcaires crinoïdiques de Hmar Lakhdad doit donc être antérieur à l'édification des biohermes. L'existence de ces calcaires grenus résoud cependant le problème de la semelle des Kess-kess, structure absente dans le cas des biohermes de la partie supérieure du Frasnien belge.

Les fortes pentes des monticules marocains exigent l'intervention d'un processus de stabilisation du sédiment. L'absence des stromatopores, cyanobactéries, ... ne permet pas d'invoquer l'action de la guildes des « encroûtants » (Fagerstrom, 1987). Brachert *et al.*, (1992, p. 40) et Belka (1998, p. 374) proposent d'expliquer la cohésion du sédiment par une cimentation précoce de la boue micritique. Nous n'avons cependant jamais observé de perforations du sédiment ni de lithoclastes. La production locale de matière organique et sa conservation en milieu microaérophile pourrait par contre suffire à augmenter considérablement la cohésion du sédiment. Sornin (1982, p. 92) rapporte en effet qu'une forte teneur en matière organique peut augmenter jusqu'à 2 900 % la limite d'écoulement et la viscosité d'une boue.

3.2. Écologie, paléobathymétrie

Une des particularités des monticules micritiques du Frasnien belge est la succession, au cours de la croissance des édifices, de cinq communautés écologiques fortement dépendantes de l'évolution bathymétrique (Boulvain & Herbosch, 1993). Il s'agit successivement de :

- communauté à éponges (stromatactis) et bactéries ferro-oxydantes (S3);
- communauté à coraux (tabulés, rugueux), crinoïdes, éponges, bactéries ferro-oxydantes (S4);
- communauté à coraux, stromatopores, bryozoaires, *Sphaerocodium* (S5);
- communauté à tabulés, girvanelles, *Trelonella* (S7);
- communauté à coraux et cyanobactéries (S8).

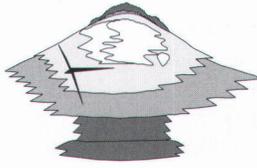
L'extension bathymétrique de ces communautés a été calculée après décompaction des sédiments (taux moyen mesuré de 1,5), sur la base de la convergence de repères sédimentologiques simples comme la base de la zone

d'action des vagues normales (ZAV) et de tempête (ZAVT), la base de la zone photique des algues vertes et la base de la zone photique des algues bleu-vertes (Boulvain, 1993 pp. 322-323).

Ainsi, la communauté pionnière à éponges colonise le substrat à un peu plus d'une centaine de m de profondeur, sous la zone photique et sous la ZAVT. Ensuite, après une quinzaine de m de sédiments décompactés apparaissent des coraux (tabulés principalement) et des crinoïdes. La troisième communauté semble se développer à partir de -70 m, à la limite de la zone photique des algues bleu-vertes (apparition d'encroûtements asymétriques de *Sphaerocodium*) et de la zone d'action des vagues de tempête (présence de tempestites et de nébuloïdes). Les deux communautés suivantes se développent dans la ZAV et dans la zone photique des algues bleu-vertes, vers -30 m. Le passage de S7 à S8 traduirait plus un processus de maturation écologique, avec apparition d'une phase de domination (Walker & Alberstadt, 1975) qu'une variation bathymétrique.

Les Kess-kess sont des édifices beaucoup plus simples : ils montrent une grande homogénéité de faciès, avec une seule communauté écologique, du type de la communauté à coraux et crinoïdes (S4) des monticules frasnien (tabl. 1). Ceci nous permettrait par analogie, d'inférer

Tableau 1. Résumé des principales convergences et divergences entre les monticules micritiques du Frasnien belge et les Kess-kess de l'Emsien du Maroc.
Synthesis of the main similarities and differences between Frasnian mud mounds from Belgium and Emsian Kess-kess from Morocco.

	
50 m	
Les Wayons-Hautmont (Frasnien, Belgique)	Kess-kess (Emsien, Maroc)
CONVERGENCES	
	Morphologie générale
	Faciès de flanc
	communauté écologique stade « colonisation »
	fin du développement des monticules = ennoyage
	cimentation, morphologie des fenestras
	sédiments internes
	microstromatolithes
DIVERGENCES	
	succession écologique « complète »
	succession limitée au stade « colonisation »
	taille 60-80 m
	taille 3-45 m
	pas de sole
	sole
	taxonomie

une bathymétrie de l'ordre de - 100 à - 70 m pour les monticules marocains. Cette fourchette est bien sûr en accord avec les observations sédimentologiques, localisant ces édifices sous la zone photique des algues bleu-vertes et à la limite de la zone d'action des vagues de tempête.

L'homogénéité de faciès des Kess-kess implique une croissance des édifices en équilibre avec une élévation continue du niveau marin relatif (bioconstructions de type «keep-up», suivant l'expression de Neumann & Macintyre, 1985), sur une hauteur allant jusqu'à 45 m de sédiments compactés. Ceci indique une édification biohermale associée à un cortège globalement transgressif.

On peut s'interroger également sur la signification de l'évolution écologique tronquée des Kess-kess. Suivant le modèle autocyclique, seules les phases de stabilisation-colonisation sont présentes, à l'exclusion des phases de diversification et domination. Brachert *et al.*, (1992, p. 39) suggèrent d'attribuer ce phénomène à l'action de tempêtes, ce que nous pouvons réfuter en l'absence des critères sédimentologiques habituels. Remarquons aussi que les monticules micritiques du Frasnien belge montrent une succession écologique complète jusqu'au passage dans la ZAV normales. Selon nous, et c'est également le cas des biohermes belges, la fin de la croissance des édifices est la conséquence d'une accentuation de l'élévation du niveau marin relatif, dépassant les possibilités de croissance des monticules. La présence de fonds durcis au sommet des monticules souligne en effet une période de fort taux d'élévation du niveau marin relatif (fig. 2). La morphologie conique des Kess-kess pourrait être un effet géométrique de ce régime de type «give-up».

En ce qui concerne la production de la matrice carbonatée des Kess-kess, une part pourrait évidemment être issue de la bioérosion des éléments squelettiques de la faune associée. L'essentiel, suivant Belka (1998) proviendrait cependant d'un processus de biominéralisation à l'intervention de communautés bactériennes utilisant le méthane issu d'événements hydrothermaux.

3.3. *Stromatactis et fenestreae stromatactoides*

L'étude de ces structures permet d'en relever les caractères suivants :

- existence d'une phase de cimentation précoce, fibreuse, centripète, localement surmontée de sédiments internes;
- rareté des éléments figurés dans le sédiment interne, par opposition à la matrice micritique;
- rareté des éléments figurés dans la sparite;
- saillie d'éléments figurés au toit des structures;
- variabilité morphologique;
- absence de liaison claire entre stromatactis, fenestreae stromatactoides et éponges.

La coexistence de stromatactis et de fenestreae stromatactoides, jointe à la variabilité morphologique de ces structures rappelle sans équivoque les calcaires à coraux,

crinoïdes, stromatactis (S4) des monticules belges (Boulvain, 1993). Dans ces édifices, ces structures sont attribuées à des éponges (Bourque & Boulvain, 1993) sur base de la présence de spicules et sur base d'observations morphologiques. Il avait été également montré que la forme originelle des éponges était fréquemment perdue par évolution de la cavité au sein du sédiment (effondrement des toits et sédimentation interne). Un tel processus de modification des cavités est actif dans les Kess-kess, puisque l'on voit fréquemment des cavités buter contre des corpuscules (Fig. 6B). C'est d'ailleurs vraisemblablement la présence d'organismes au toit des cavités qui donne naissance aux digitations les plus régulières.

Le caractère plus fin des sédiments internes implique probablement un phénomène de filtration au sein du réseau de cavités, sans préjuger de l'époque de leur mise en place. Ces sédiments peuvent contenir quelques niveaux de fossiles marins qui excluent cependant une origine tardive. Comme dans les monticules frasniens, la cimentation fibreuse est un effet de la diagenèse précoce en milieu marin phréatique (Boulvain *et al.*, 1992).

Le problème de l'origine des cavités est difficile à résoudre. La convergence des communautés organiques avec le niveau inférieur des biohermes frasniens et l'absence d'autres candidats potentiels à la formation de cavités (algues, en particulier) inciteraient à invoquer un rôle possible des éponges. L'absence de spicules pourrait indiquer dans ce cas, soit une mauvaise préservation, soit une communauté d'éponges à squelette non minéralisé. L'argument d'analogie écologique est cependant relativement faible et nous ne pouvons écarter définitivement d'autres causes possibles de formation de cavités, comme l'intervention de tapis microorganiques (cf. Flajs & Hüssner, 1993). Comme dans les biohermes frasniens, la présence de corpuscules semble arrêter le développement du toit des cavités, suivant le modèle de Wallace (1987).

3.4. *Les microstromatolithes*

L'attribution phylogénétique des microstromatolithes est encore mal définie (Boulvain, 1993, p. 213), mais la présence dans leur structure de lamines ferruginisées est généralement attribuée à une activité de microorganismes ferro-oxydants microaérophiles, dont *Sphaerotilus-Leptothrix* (cf. Mamet & Boulvain, 1988; Boulvain, 1993).

Ces organismes ont été observés dans les fractures des biohermes frasniens belges (voir la revue dans Boulvain, 1993, pp. 213 et suivantes) et dans des biohermes de même âge du Canning Basin, en Australie (Playford *et al.*, 1976, p. 562). Plus récemment, des oncoïdes présentant le même type de laminations ont été décrits dans des griottes carbonifères d'Espagne (Mamet & Boulvain, 1990), interprétées comme des turbidites carbonatées. Ces observations montrent que ces organismes ne sont pas strictement endobiontes, mais se développent dans des milieux aphotiques à tendance microaérophile. La présence de ces structures dans les Kess-kess n'est donc

pas étonnante et représente une convergence supplémentaire entre les édifices comparés. Remarquons que les voiles, cloques et formes colonnaires correspondent à divers stades de croissance des colonies microorganiques, comme illustré par Mamet & Boulvain (1988).

4. Conclusions

L'interprétation relativement aisée des Kess-kess marocains dans un cadre issu du modèle de monticule micritique frasnien belge montre la généralisation possible de ce modèle et la conservation de nombre de ses caractéristiques dans le temps et l'espace. Dans le cas particulier des Kess-kess, l'existence possible de producteurs primaires chemolithotrophes (Belka, 1998) ne diminue pas l'efficacité de la comparaison, le modèle frasnien étant basé principalement sur la nature de la faune et de la flore associée aux monticules et non sur des hypothèses quant aux communautés bactériennes.

Il a été montré à de nombreuses reprises que la croissance de monticules micritiques est une réaction des processus sédimentaires à une certaine forme de déstabilisation de l'environnement. Cela peut être, comme dans le Frasnien belge, la conséquence d'une suite de pulsations transgressives rapides (Boulvain & Herbosch, 1993) affectant une rampe carbonatée. La convergence écologique et morphologique des monticules belges et marocains incite à une application de ces hypothèses à la plate-forme du Tafilalt. L'accentuation du phénomène transgressif peut alors expliquer la présence d'un fond durci, suivi de calcaires noduleux surmontant la plupart des édifices. Ces hypothèses sont à confronter aux résultats des études régionales, afin de tester leur validité.

Dans le domaine très controversé de l'origine des stromatolites, l'étude des Kess-kess n'apporte que peu d'arguments positifs. Il semble difficile d'y voir, compte tenu de l'interprétation écologique, une structure d'origine algaire, mais contrairement aux monticules belges, le rôle des éponges ne peut y être établi avec certitude.

5. Remerciements

Les auteurs remercient P. Muchez (K.U.Leuven) pour la qualité et la pertinence des remarques émises lors de la relecture de ce manuscrit.

6. Références

BATHURST, R.G.C., 1980. Stromatolite-Origin related to submarine-cemented crusts in Paleozoic mud mounds. *Geology*, 8: 131-134.

BELKA, Z., 1998. Early Devonian Kess-kess carbonate mud mounds of the Eastern Anti-Atlas (Morocco), and their relation to submarine hydrothermal venting. *J. of Sedimentary Research*, 68, 3: 368-377.

BOULVAIN, F., 1993. Sédimentologie et diagenèse des monticules micritiques «F2j» du Frasnien de l'Ardenne. *Serv. Geol. Belgique Prof. Pap.*, 260, 427 p.

BOULVAIN, F. & COEN-AUBERT, M., 1992. Sédimentologie, diagenèse et stratigraphie des biohermes de marbre rouge de la partie supérieure du Frasnien belge. *Bull. Soc. belge Géol.*, 100: 3-55.

BOULVAIN, F. & HERBOSCH, A., 1993. Sédimentologie et diagenèse des monticules micritiques «F2j» et «F2d» du Frasnien belge. *4e Congrès français de Sédimentologie, Lille. Livre des excursions*: 1-51.

BOULVAIN, F., HERBOSCH, A. & KEPPELS, E., 1992. Diagenèse des monticules micritiques de la partie supérieure du Frasnien du Synclinorium de Dinant (Belgique, France). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 315 (II): 551-558.

BOURQUE, P.A. & BOULVAIN, F., 1993. A model for the origin and petrogenesis of the red stromatolite limestone of Paleozoic carbonate mounds. *J.Sedim. Petrol.*, 63: 607-619.

BOURQUE, P.A. & GIGNAC, H., 1983. Sponge-constructed stromatolite mud-mounds, Silurian of Gaspé, Québec. *J.Sedim. Petrol.*, 53: 521-532.

BRACHERT, T.C., BUGGISCH, W., FLÜGEL, E., HÜSSNER, H.M., JOACHIMSKI, M.M., TOURNEUR, F. & WALLISER, O.H., 1992. Controls of mud mound formation: the Early Devonian Kess-kess carbonates of the Hamar Laghdad, Anti-Atlas, Morocco. *Geol. Rundsc.*, 81: 15-44.

BURCHETTE, T.P., 1981. European Devonian reefs: a review of current concepts and models. In: Toomey, D.F. (Ed.), *European fossil reef models. Soc. Econ. Paleont. Miner. Spec. Publ.*, 30: 85-142.

CHAMP, D.R., GULENS, J. & JACKSON, R.E., 1979. Oxidation-reduction sequences in ground water flow systems. *Can. J. Earth Sc.*, 16: 12-23.

DUPONT, E., 1881. Sur l'origine des calcaires dévoniens de la Belgique. *Bull. Acad. r. Belgique*, 3^e Ser., II: 264-280.

DUPONT, E., 1885. Sur les calcaires frasnien d'origine corallienne et sur leur distribution dans le massif paléozoïque de la Belgique. *Bull. Acad. r. Belgique*, 3^e Ser., X: 21-38.

FAGERSTROM, J.A., 1987. The evolution of reef communities. *J. Wiley & Sons*, 600 p.

FLAJS, G. & HÜSSNER, H., 1993. The role of microbes in Devonian mud mounds, Montagne Noire (France). *Facies*, 29: 179-194.

GENDROT, C., 1973. Environnements du Dévonien récifal au Maroc. *Notes et Mem. Serv. Geol. Maroc*, 254: 55-86.

HOLLARD, H., 1963. Tableau stratigraphique du Dévonien du sud de l'Anti-Atlas. *Notes et Mem. Serv. Geol. Maroc*, 172: 105-109.

HOLLARD, H., 1974. Recherches sur la stratigraphie des formations du Dévonien moyen, de l'Emsien supérieur au Frasnien, dans le Tafilalt et dans le Mader (Anti Atlas oriental). *Notes et Mem. Serv. Geol. Maroc*, 264: 7-68.

HÜSSNER, H., 1994. Reefs, an elementary principle with many complex realizations. *Beringeria*, 11: 3-99.

LECOMPTE, M., 1937. Contribution à la connaissance des récifs du Dévonien de l'Ardenne. Sur la présence de structure conservées dans des efflorescences cristallines du type «Stromatolite». *Bull. Mus. Hist. nat. Belgique*, XIII (15), 13 pp.

MAMET, B. & BOULVAIN, F., 1988. Remplissage bactérien de cavités biohermales frasnien. *Bull. Soc. belge Géol.*, 97: 63-76.

MAMET, B. & BOULVAIN, F., 1990. Constructions hématitiques de griottes carbonifères (Asturies, Espagne). *Bull. Soc. belge Géol.*, 99: 229-239.

MASSA, D., COMBAZ, A. & MANDERSCHIED, G., 1965. Observations sur les séries siluro-dévoniennes des confins algéro-marocains du Sud. *Notes & Mem. Comp. Franc. Pétroles*, 8: 1-188.

MICHARD, H., 1976. Eléments de Géologie Marocaine. *Notes et Mem. Serv. Geol. Maroc*, 252: 62-66.

MOUNJI, D., BOURQUE, P.A. & SAVARD, M.M., 1996. Architecture an isotopic constraints on origin of Lower Devonian conical mounds (Kess-kess) of Tafilalt, Anti-Atlas, Morocco. 17th Eur. Meeting of Sedimentology, Sfax, 26-28/3/1996, Abstract: 192-193.

NEUMANN, A.C. & MACINTYRE, I., 1985. Reef response to sea level rise: keep-up, catch-up or give-up. *Proc. 5th Int. Coral Reef Congr.*, Tahiti, 3: 105-110.

PRATT, B., 1986. Sponge constructed stromatactis mud mounds, Silurian of Gaspé, Québec-Discussion. *J.Sedimentary Petrology*, 56: 459-461.

PLAYFORD, P.E., COCKBAIN, E.C., DRUCE, E.C. & WRAY, J.L., 1976. Devonian stromatolites from the Canning Basin, Western Australia. In: Walter, M.R. (Ed.), *Stromatolites. Developments in Sedimentology*, 20: 543-563.

SORNIN, J.M., 1982. Influence de la biodéposition sur les propriétés rhéologiques des vases. *Ass. Géol. S-O, Soc. Géol. France, U. Océanogr. France, Perpignan*: 85-93.

ROCH, E., 1934. Sur des phénomènes remarquables observés dans la région d'Erfoud (confins algéro-marocains du Sud). *Publ. Ass. Etud. Geol. Méditer. Occid.*, 5: 1-10.

TÖNNEBÖHN, R. 1991. Bildungsbedingungen epikontinentaler Cephalopodenkalke (Devon, SE-Marokko). *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*, 47: 1-114.

TSIEN, H.H., 1985. Algal-bacterial origin of micrites in mud-mounds. In: Toomey, D.F. & Nitecki, M.H. (Eds.), *Paleoalgology: contemporary research and applications*. Springer Verlag: 274-289.

WALKER, K.R. & ALBERSTADT, L., 1975. Ecological succession as an aspect of structure in fossil communities. *Paleobiology*, 1: 238-257.

WALLACE, M.W., 1987. The role of internal erosion and sedimentation in the formation of Stromatactis mudstones and associated lithologies. *J.Sedim. Petrol.*, 57: 695-700.

Manuscrit reçu le 28.02.1995 et accepté pour publication le 20.04.1995.

PLANCHE 1

Figure A. Monticules du bloc Ouest montrant la forme conique des Kess-kess.

Mud mounds from the West block showing the conical morphology of the Kess-kess.

Figure B. Monticules de la partie centrale (localisés près de F3, Fig. 1) montrant le contact édifice-semelle.

Mud mounds from the central area showing the buildup-sole (pre-biohermal facies) contact.

Figure C. Wackestone à coraux, stromatactis et crinoïdes. lame KP1 (1). Tabulés = *Pachystriatopora obliqua* Le Maître et *Dualipora preciosa* Termier & Termier; trilobites, crinoïdes. Noter également les taches ferrugineuses dispersées. Echelle : 4 mm.

Wackestone with corals, stromatactis and crinoids. Thin section KP1 (1). Tabulates = Pachystriatopora obliqua Le Maître et Dualipora preciosa Termier & Termier; trilobites, crinoids. Note the scattered ferruginous spots. Scale: 4 mm.

Figure D. Section polie; échantillon P1W2M. Stromatactis à morphologie grossièrement en étoile. 1 : sparite fibreuse; 2, 2' : sédiment interne; 3 : sparite équigranulaire.

Polished slab; sample P1W2M. Star-shaped stromatactis. 1: fibrous sparite; 2, 2': internal sediment; 3: equigranular sparite.

Figures E & F. lame 1P9N1; séquence diagénétique dans un stromatactis; 1, 2, 3 : phases de cimentation. Fig. E : lumière naturelle; Fig. F : cathodoluminescence. Echelle : 0,5 mm.

Thin section 1P9N1; diagenetic sequence in a stromatactis; 1, 2, 3: cementation stages. Fig. E: ordinary light; Fig. F: cathodoluminescence. Scale: 0.5 mm.

PLANCHE 1

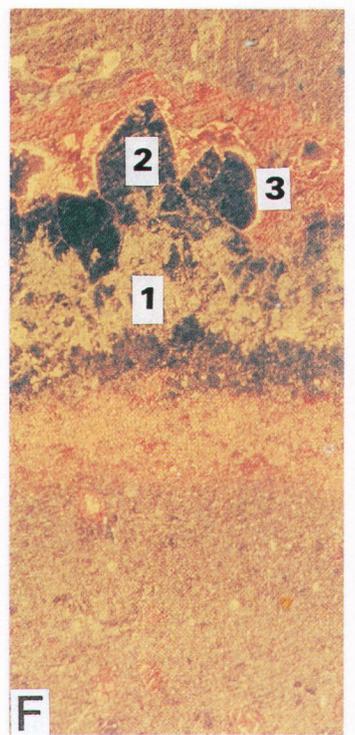
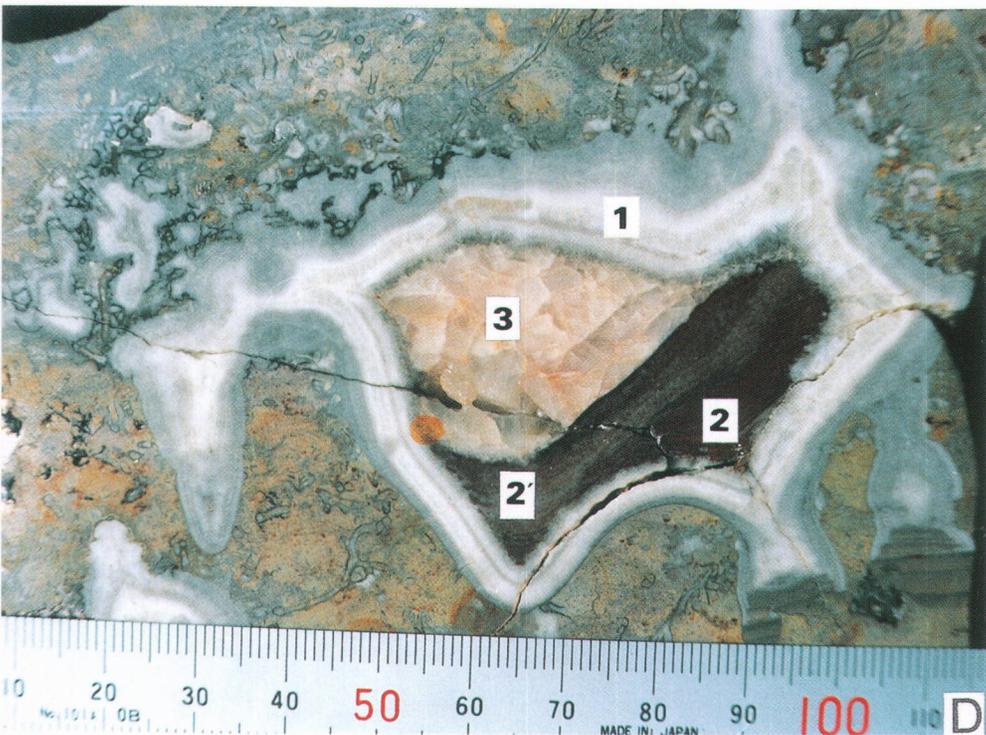
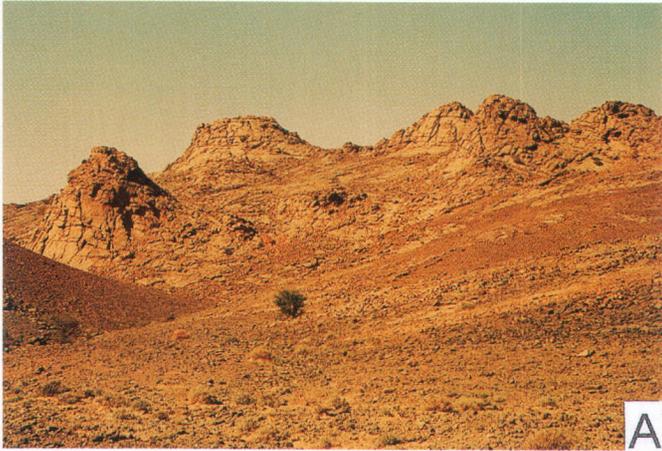


PLANCHE 2

Figure A. Encroûtement de bioclaste par des « cloques » ferrugineuses et des microstromatolithes. Lamé 1PIN4. Echelle : 0,4 mm.
Bioclast encrusting by ferruginous “blisters” and microstromatolithes. Thin section 1PIN4. Scale: 0.4 mm.

Figure B. Lamelles concentriques calcitiques et ferrugineuses. Lamé 1PIIS3. Echelle : 0,3 mm.
Concentric alternating carbonated and ferruginous laminae. Thin section 1PIIS3. Scale: 0.3 mm.

Figure C. Fractures à constructions hématitiques. Vue d'ensemble de la lame x3 (négatif). Flèche : localisation des Fig. D & E.
Echelle : 5 mm. Fractures with hematitic concretions.
General view of thin section x3 (negative print). Arrow: location of Fig. D & E. Scale: 5 mm.

Figure D. Voile et microstromatolithes ferrugineux. Lamé x3. Echelle : 0,5 mm.
Ferruginous “veil” and microstromatolithes. Thin section x3. Scale: 0.5 mm..

Figure E. Voile, cloques et microstromatolithes ferrugineux. Lamé x3. Echelle : 0,5 mm.
Ferruginous “veil”, “blisters” and microstromatolithes. Thin section x3. Scale: 0.5 mm.

PLANCHE 2

