

## MICROFACIES D'UNE LENTILLE BIOHERMALE A LA LIMITE EIFELIEN/GIVETIEN ('FONDRIY DES CHIENS', NISMES, BORD SUD DU SYNCLINORIUM DE DINANT)

Alain PREAT, Sabine BLOCKMANS, Ludovic CAPETTE, Virginie DUMOULIN & Bernard MAMET

(4 figures, 5 planches)

*Université Libre de Bruxelles, Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement, Géologie-CP160/02, 50 av. FD Roosevelt, Bruxelles B 1050, e-mail: apreat@ulb.ac.be*

**RÉSUMÉ.** La lentille biohermale du 'Fondry des Chiens' de Nismes s'inscrit dans l'évolution des couches de transition eiféliennes-givéliennes du bord sud du Synclinorium de Dinant. Epaisse de 64 m, elle est constituée d'un framestone à Stromatopores massifs dominants auxquels sont associés des Coraux. Elle est surmontée de faciès restreints lagunaires à Algues et Cyanophycées en tapis parfois émergés. Elle surmonte des floatstones à Udotéacées et coverstones à Coraux et Bryozoaires représentant les flancs de deux autres lentilles qui ne sont pas exposées. Deux semelles crinoïdiques stabilisées par cimentation syntaxiale constituent le substrat de ces lentilles. La sédimentation récifale s'inscrit dans une évolution régressive, enregistrée par une séquence standard de 10 microfaciès carbonatés (MF1-10) depuis des milieux marins francs situés dans la zone d'action des tempêtes (MF1) jusqu'aux faciès lagunaires proches de l'émersion (MF10). Le bioherme exposé et les flancs des deux autres lentilles sont préservés grâce à une importante cimentation précoce des cavités originelles comblées de calcite palissadique isopaque intergranulaire (framestone récifal) ou encore dans des cavités 'intramicritiques' (remplacement de la matrice dans les floatstones et coverstones des flancs). L'analogie des faciès et de leur contenu algaire indique que le modèle sédimentologique proposé à Wellin est applicable à Nismes. L'analyse séquentielle montre que l'évolution régressive se déroule en trois étapes liées à une subsidence saccadée. Les séquences sont d'épaisseur voisine (une soixantaine de mètres) et enregistrent le passage de la limite de la zone dysphotique-euphotique dont la bathymétrie est estimée ici à une vingtaine de mètres jusqu'à des milieux proches de l'émersion. Une comparaison avec la lentille biohermale de Wellin suggère que les mêmes processus tectoniques sont à l'origine de l'évolution sédimentaire, qu'ils ont un rôle majeur et accompagnent une baisse eustatique à la limite Eifélien-Givélien.

**MOTS-CLÉS:** Bioherme, Cimentation, Eustatisme, subsidence, Belgique.

**ABSTRACT.** Microfacies of a biohermal lens at the Eifelian.Givetian transition ('Fondry des Chiens', Nismes, southern border of the Dinant Synclinorium). The biohermal lens of the 'Fondry des Chiens' belongs to the Eifelian-Givetian transition beds near Nismes (southern flank of the Dinant basin). The lens is 64 m thick and composed of a stromatopore-coral framestone. It is overlain by restricted lagoonal algal and cyanophycean facies near the emersion, and overlies Udoteacean and coral-bryozoan coverstones forming the flanks of two other unexposed lenses. Two crinoidal soles stabilized by syntaxial cementation constitute the substratum of these lenses. The reefal sedimentation is regressive. The log is based on the succession of 10 carbonate microfacies (MF1-10, standard sequence). The deepest microfacies (MF1) is open marine at the upper limit of the storm waves and the dysphototic-euphotic boundary. The shallowest sediments were partly emerged (lagoonal sediments, MF10). The exposed reefal lens (rudstones and framestones, MF6-7) and the flanks (grainstones, floatstones and coverstones, MF3-4-5) of the two other lenses are preserved due to early isopachous intergranular cement in the original cavities of the framestones or 'intramicritic' (replacement of the matrix) cementation in the floatstones and coverstones. The similarity of the facies and their algal content suggest that the sedimentary model proposed at Wellin is applicable at Nismes. Sequential analysis points to a three steps regressive evolution of the sedimentation probably related to a discontinuous subsidence. The sequences have similar thicknesses (sixty or so meters) and grade from the dysphototic-euphotic boundary estimated here around twenty meters deep to emersion. As for Wellin, the subsidence is thus much more important than the eustatic regression.

**KEYWORDS:** Bioherm, Cementation, Eustatism-subsideance, Belgium.

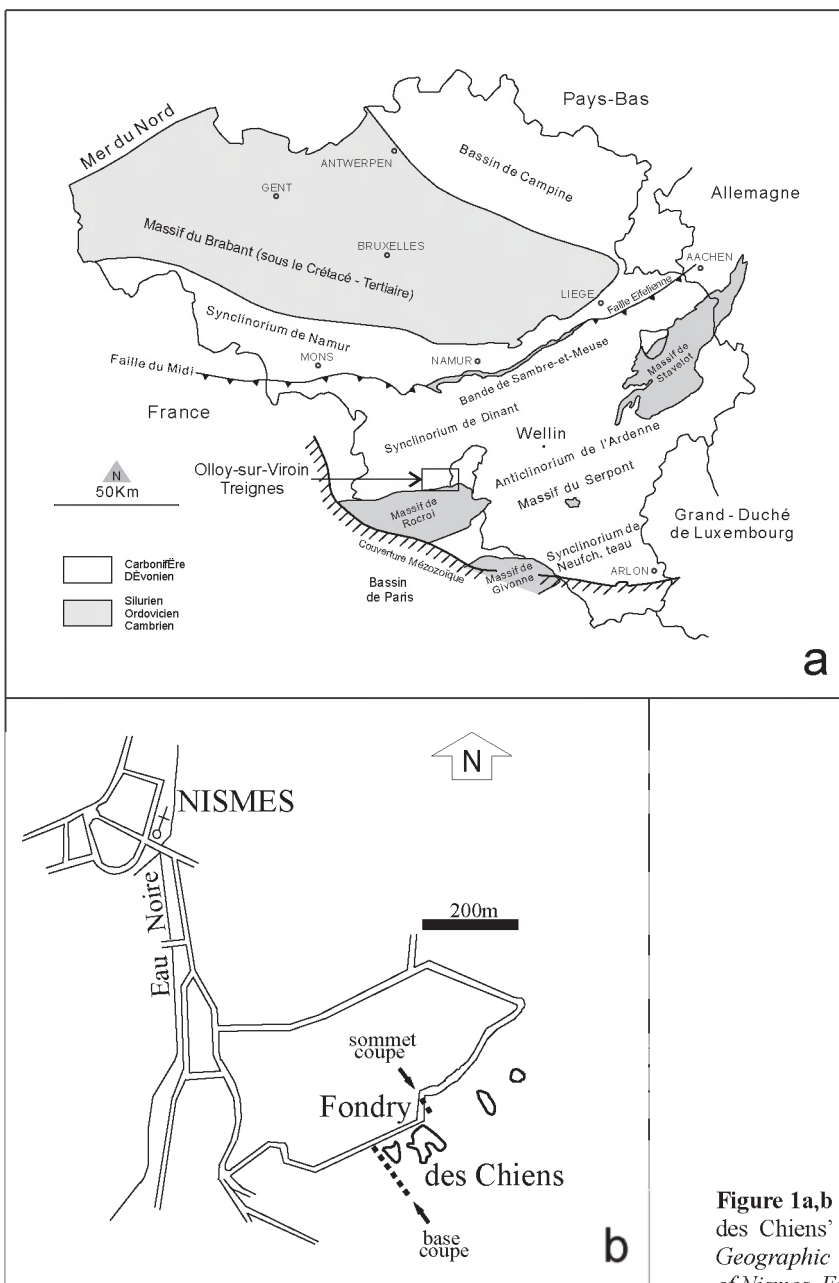
## 1. Introduction

Cette étude faisant suite à l'analyse sédimentologique récente de la lentille biohermale de Wellin (Mamet & Préat, 2005b) s'inscrit dans l'hypothèse suggérant l'édification probable d'une barrière au passage Eifélien-Givétien au sud de la Belgique et au nord de la France. A l'heure actuelle, seuls les produits de démantèlement de cette barrière hypothétique sont connus sous forme de biostromes qui résultent probablement destruction de lentilles et de leurs flancs. L'une de ces lentilles, qui affleurerait à Wellin dans une carrière en activité, a disparu en 2003 lors de l'avancement du front d'exploitation. Une autre lentille, connue depuis longtemps (Cornet 1975; Tsien, 1975; Coen-Aubert, 1992), affleure au lieu dit 'Fondry (ou Fondri) des Chiens', à Nismes. Comme elle fait partie d'un site naturel karstique protégé, elle n'a pu être l'objet d'une étude pétrographique moderne.

Les couches de transition eiféliennes-givésiennes (E-

G) de la bordure sud du Condroz permettent de suivre l'évolution d'un système de rampe mixte silicoclastique passant à une plate-forme carbonatée dominée par des faciès restreints riches en Algues (Boulvain *et al.*, 1994; Préat & Kasimi, 1995). Les zones isopiques (Kasimi & Préat, 1996; Préat, 2004) mettent en évidence une sédimentation sous le contrôle de blocs basculés se succédant à l'échelle plurikilométrique (5 à 10 km)

Le passage du système de rampe à celui de plate-forme n'est pas synchrone à l'échelle du bassin : le système de rampe se maintient jusque dans la partie supérieure de la Formation de Trois-Fontaines (Givétien inférieur) dans la région de Couvin (Préat, 1989; 2004) et durant tout le Givétien en Avesnois (à Glageon, Boulvain *et al.*, 1994). Dans ces régions, la sédimentation marine ouverte se poursuit durant le Givétien, alors que partout ailleurs règne la sédimentation lagunaire. Un contrôle structural synsédimentaire peut être envisagé pour expliquer ces évolutions (Kasimi & Préat, 1996) et/ou une atténuation



**Figure 1a,b** : Localisation géographique du site du 'Fondry des Chiens' au sud de Nismes. En encadré la situation. *Geographic location of the 'Fondry des Chiens' site, south of Nismes. Exact location is boxed.*

effective du rôle joué par la barrière récifale (Boulvain *et al.*, 1994). Il lui correspond le premier 'niveau biostromal' (Tsien, 1971; Pel, 1973; Préat *et al.*, 1984). Des constructions prémonitoires affleurent dans diverses régions du bassin de Dinant, comme par exemple, la lentille récifale de Nismes au 'Fondry des Chiens' décrite par Cornet (1975) qui y a mis en évidence l'importance du rôle constructeur des Stromatopores. Cet auteur y a reconnu les genres *Stromatopora*, *Stromatoporella*, *Actinostroma* et *Parallelopora*. La coupe a été également décrite par Tsien (1975; 1980) et Tsien *et al.* (1980) qui en rapportent la macrofaune. Une partie de la coupe du 'Fondry des Chiens' a été publiée par Coen-Aubert (1992) sous l'appellation 'Olloy-sur-Viroin MC-1983-3'. Cet auteur y représente une succession 'calcaire crinoïdique' et 'calcaire construit'. Elle y donne la succession des faunes coralliaires. Bultynck (1987) rapporte du calcaire à crinoïdes (= 'calcaire crinoïdique' *sensu* Coen-Aubert, 1992) une faune de *Polygnathus*, *Icriodus* et *Ozarkodina* typique de la partie supérieure de la Formation de Hanonet et de la base du Givétien. En résumé, l'affleurement est bien connu depuis longtemps, mais n'a jamais fait l'objet d'analyse sédimentologique. Le travail que nous présentons ici contribue à combler cette lacune.

Le but de cet article est donc de décrire les paléoenvironnements de la série biohermale du Fondry des Chiens, d'analyser les processus qui ont permis sa préservation et de la comparer avec celle de Wellin (Mamet & Préat, 2005b). Notons qu'un des objectifs est de vérifier si une cimentation marine de même type que celle observée dans la lentille de Wellin est présente au 'Fondry des Chiens'. Cette cimentation revêt une importance capitale puisqu'elle explique l'existence même de récifs dans la transition E-G.

## 2. Quelques considérations géographiques

Le site naturel et protégé du 'Fondry des Chiens' est situé 750 m au SSE de la localité de Nismes sur la carte topographique IGN n°58/5-6 au 1:25000<sup>ème</sup> (Fig. 1). Cette dernière est située à 5 km au nord-est de Couvin et à 20 km au sud-ouest de Givet, localité-type du Givétien au bord sud du bassin de Dinant. Dans la région, le sommet des collines calcaires est percé de vastes excavations dénommées 'Abannets' dont le 'Fondry des Chiens' en est un exemple typique. Les 'Abannets' sont des cavités parfois énormes et souvent très profondes. Elles sont disposées en alignements plus ou moins réguliers et coïncident le plus souvent avec le sommet des deux crêtes calcaires givétiennes. Certains de ces abannets sont de véritables gouffres à parois verticales et inaccessibles. Le périmètre supérieur est circulaire, oblong ou ramifié et varie de quelques mètres à plusieurs centaines tandis que la profondeur dépasse souvent vingt mètres (Quinif, 1991; Fourneau 1997).

Toutes ces cavités ont été remplies de sable blanc, fin, d'âge tertiaire, contenant de la glauconie responsable d'une minéralisation en limonite qui a fait l'objet d'exploitations au cours des siècles passés.

## 3. Analyses sédimentologique et stratigraphique

### 3.1. Description des microfaciès (Figs 2 et 3a)

Le site du 'Fondry des Chiens' est une dépression karstique (cryptolapiaz) entaillant depuis l'Oligocène (Quinif, 1991) un sommet de colline constitué de calcaires du Dévonien Moyen en couches très redressées verticales à légèrement renversées vers le sud. L'affleurement ainsi créé montre la succession d'une série bien stratifiée en minces bancs décimétriques riches en Crinoïdes dans la partie inférieure, passant dans la partie médiane à une masse 'biohermale' massive et épaisse constituée presque uniquement de Stromatopores massifs pluridécimétriques, et se terminant par de minces bancs très fins sans macrofaune observable. Une coupe épaisse de 170 m (Fig. 2), continue, a pu être levée dans le flanc sud de la colline à moins de 10 m du paléogouffre (Fig. 1b). La série affleurant dans le gouffre n'a pu être échantillonnée, le site étant protégé et ne pouvant être dégradé de quelque manière que ce soit. Les échantillons ont donc été systématiquement récoltés sur la tête des bancs affleurant à proximité immédiate de la dépression karstique.

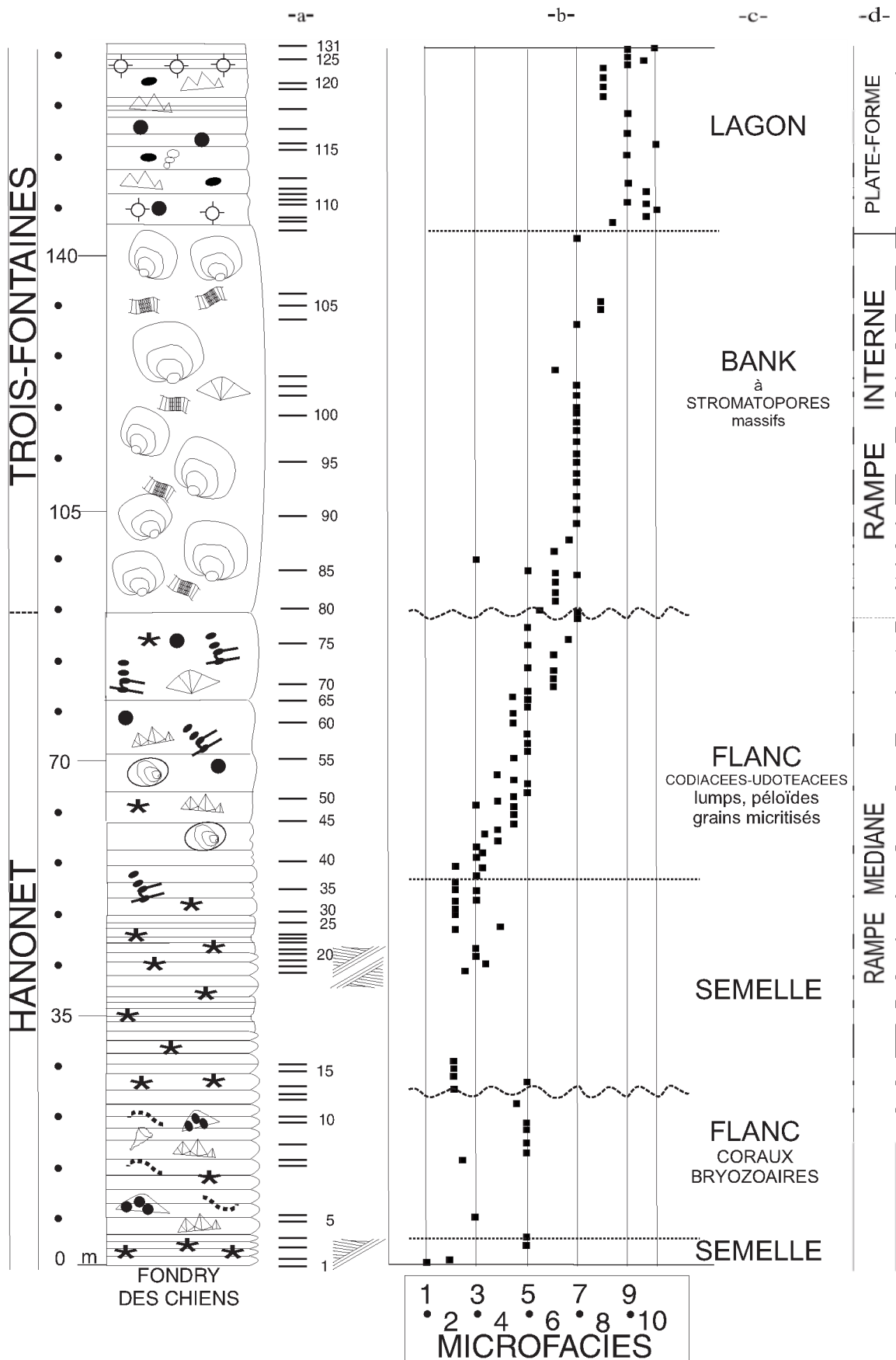
Leur analyse pétrographique met en évidence 10 familles majeures de microfaciès carbonatés. Ces familles ont été classées par ordre bathymétrique décroissant comme nous l'expliquerons plus loin dans le modèle sédimentaire (cf. 3.3). Nous donnerons également leur correspondance avec celles de Wellin. La plupart des faciès étant semblables à ceux de Wellin, nous renvoyons à cette publication (Mamet & Préat, 2005b) pour leur illustration. Les planches photographiques illustreront ici quelques points plus particuliers. La succession des familles de 1 à 10 constitue la séquence standard et se présente comme suit (Fig. 3a):

*Milieux marins francs à la base ou dans la zone d'action des tempêtes (mer ouverte)*

MICROFACIES 1 ou MF1 : packstones argilo-silteux, laminaires, à péloïdes, microbioclastes (Crinoïdes, Mollusques, Brachiopodes, Ostracodes), petits fragments de matière organique (50 à 100 µm) et pyrite (< 50 µm). La bioturbation est faible. Les laminations sont millimétriques à plurimillimétriques, planes parallèles à légèrement obliques. Ce faciès n'a été observé qu'à l'extrême base de la coupe, à l'apparition des premiers bancs à l'Ouest du site.

*Milieux marins francs à proximité ou dans la zone d'action des vagues (semelle récifale)*

MICROFACIES 2 ou MF2 : packstones et grainstones crinoïdiques ou encrinites (Pl. 2, fig. 1) à stratifications obliques et entrecroisées en faisceaux d'épaisseur plurimillimétrique à pluricentimétrique. Les variations granulométriques des bioclastes (surtout Crinoïdes) sont importantes entre faisceaux successifs, alors séparés par des discontinuités. Les ossicules peuvent atteindre le centimètre, sont peu altérés, parfois légèrement micritisés, subarrondis à subanguleux et bien classés dans leurs lamines respectives. Des piquants d'Oursins sont également présents. Des fragments de Bryozoaires et de Codiacées-Udotécées (*Paralitanaia*) s'observent



**Figure 2 :** Log stratigraphique de la coupe du 'Fondry des Chiens'. Colonne a = position des échantillons prélevés (pétrographie), Colonne b = séquence standard des microfaciès 1 à 10 (cf texte pour la description), Colonne c = environnements, Colonne d = système sédimentaire. Se reporter à la figure 3b pour la légende des symboles. *Stratigraphic log of 'Fondry des Chiens' section. Column a = position of the studied sample (petrography), Column b = standard sequence of microfacies 1 to 10 (see text for description), Column c = environments, Column d = sedimentary systems. Symbols legend to be found in Fig. 3b.*

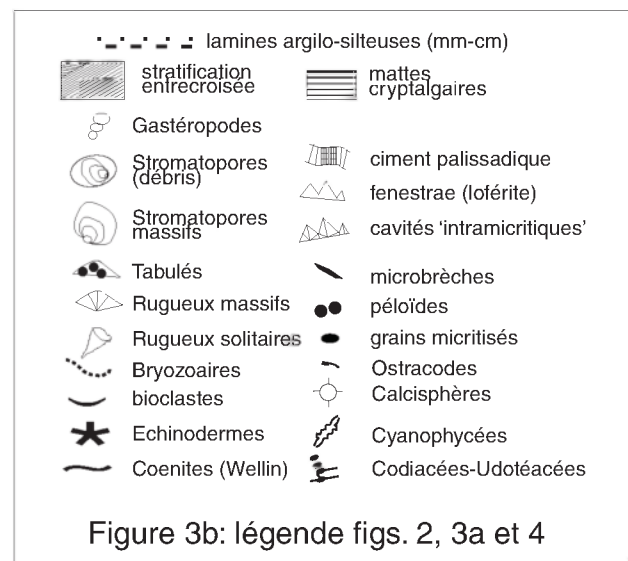
MICROFACIES	DESCRIPTION	INTERPRETATION
10	Bindstone à mattes crypt-algaires (Cyanophytes)	INTER: SUB => SUP SUBTIDAL Z EUPHOTIQUE ZAV ZAT Z DYSPH
9	Wackestone à Ostracodes, Calcisphères abondantes et Cyanophycées	
8	Packstone-grainstone à péloïdes fenestrae (lofélite)	
7	Framestone à Stromatopores, Coraux et cimentation fibreuse	
6	Rudstone laminaire à Tabulés, Stromatopores et microbrèches	
5	Floatstone-coverstone laminaire à Tabulés, Stromatopores et Bryozoaires	
4	Packstone-'grainstone' laminaire à bioclastes et Codiacées-Udotécées	
3	Grainstone-floatstone à bioclastes, grains micritisés, péloïdes	
2	Grainstone - 'encrinite'	
1	Packstone laminaire argilo-silteux à péloïdes, microbioclastes	
		PLATIER ALGAIRES LAGON RESTREINT LAGON SEMI-RESTREINT BARRIERE CIMENTEE BARRIERE DEMANTELEE FLANCS SEMELLE MER OUVERTE

**Figure 3a :** Séquence de 10 microfaciès au 'Fondry des Chiens'. ZAT = zone d'action des tempêtes, ZAV = zone d'action des vagues de beau-temps. Z DYSPH = zone dysphotique et limite entre Z dysphotique et Z euphotique. La régression passe d'un milieu subtidal à intertidal et finalement supratidal. Légende des symbols à la Fig. 3b. *Succession of 10 microfacies observed at the 'Fondry des Chiens' section. ZAT is the storm wave base. ZAV is the normal or fair-weather wave base, ZDYSPH = dysphotic zone. Symbols legend to be found in Fig. 3b.*

régulièrement et sont accompagnés de quelques bioclastes de Stromatopores, Coraux, Brachiopodes, Mollusques et Ostracodes. Des grains micritisés sont également associés. Les figures de bioturbation sont absentes. La cimentation est syntaxiale et constituée d'un ciment blanc (Pl. 2, fig. 1) de même type que celui observé dans le Carbonifère d'Avesnes-sur-Helpe (Mamet & Prétat, 2005a) et dans le Dévonien Moyen de Wellin (Mamet & Prétat, 2005b). Ce ciment inter- et intragranulaire remplace les ossicules qui présentent des traces de dissolution. Il est non luminescent lors de l'examen en cathodoluminescence (Pl. 5, figs 5 et 6). Le ciment blanc peut remplacer totalement la matrice micritique des packstones qui s'apparentent alors à de 'faux' grainstones (*sensu* Mamet & Prétat, 2005b). Une dolomite idiomorphe est parfois associée à ce ciment, de même que des 'pyrites filamenteuses' (Mamet & Prétat, 2004). Une dolomite de type 'saddle' constitue la dernière phase de remplissage. Elle contient quelques reliques de sulfates (anhydrite ?). Les processus de pression-dissolution ne sont pas importants.

Les ciments blancs présents dans ce microfaciès sont également associés aux autres microfaciès (voir ci-dessous). Il s'agit de ciments granulaires blancs à blanchâtres déjà rapportés dans le Carbonifère de l'Avesnois (Mamet & Prétat, 2005a) ou du bassin de Dinant (Casier *et al.*, 2005). Ils proviennent soit de la sulfato-réduction qui engendre de la calcite par élimination

du fer (qui passe à la pyrite), soit de la transformation de sulfates de reflux originellement pauvres en fer. Cette calcite paraît uniformément blanchâtre par rapport aux ciments marins normaux qui contiennent plus d'inclusions (éléments en traces) et paraissent soit jaunâtres, grisâtres ou chagrinés. Ce ciment blanc est également de taille plus importante que les ciments marins.



**Figure 3b:** légende figs. 2, 3a et 4

**Figure 3b :** Légende des figures- *legend of figures.*

MICROFACIES 3 ou MF3 : grainstones, floatstones et rudstones laminaires à débris centimétriques et pluricentimétriques de Stromatopores et Coraux (Tabulés et Rugueux) auxquels s'associent des bioclastes de Brachiopodes, Bryozoaires, Echinodermes, Trilobites, des grains micritisés, plus rarement des péloïdes et des lumps cryptalgaires avec quartz bipyramidés (Preat & Mamet, 1989). Par rapport au microfaciès précédent (MF2), il y a une forte augmentation de Coraux (Tabulés et Rugueux), de Codiacées-Udotéacées (*Paralitanaia*, *Rectosiphonoides*), de *Wagonella*, *Sphaerocodium* et de Girvanelles. Les débris sont le plus souvent subarrondis, mais des fragments anguleux et moins micritisés sont également observés. Les lamines sont obliques, de fortes valeurs angulaires (jusqu'à 20°), parfois entrecroisées, avec variations granulométriques des éléments entre lamines successives. Les figures de bioturbation sont absentes et la pression-dissolution se marque par des stylolithes francs. Ce faciès se caractérise par le développement des ciments blancs, soit syntaxiaux, soit en grandes plages irrégulières intra- et intergranulaires. Comme précédemment (MF2) des cristaux idiotopiques de dolomite sont associés aux ciments et accompagnés d'une dolomite de type 'saddle' en grands cristaux. La pyrite, associée aux contacts intercrystallins des ciments blancs et à la dolomite idiotopique, est souvent reprise par la stylolithisation. Les ciments blancs, la dolomite et la pyrite sont associés dans de petites cavités irrégulières développées à partir de la matrice.

*Milieux marins francs dans la zone d'action des vagues (flancs et 'banks récifaux')*

MICROFACIES 4 ou MF4 : packstones, floatstones, 'faux' grainstones (Pl. 1, fig. 4) à Tabulés, Stromatopores, Bryozoaires et (micro)bioclastes de Brachiopodes, Mollusques (Gastéropodes et Lamellibranches), Echinodermes (Oursins et Crinoïdes), Ostracodes et spicules d'Eponges. La microflore algale, surtout représentée par les Codiacées-Udotéacées (*Pseudopalaeporella*, *Paralitanaia*, *Rectosiphonoides*, Pl. 1, fig. 5), contient quelques péloïdes de Girvanelles. Les Algues rouges (Solénopores, Pl. 1, fig. 4) sont présentes pour la première fois de même que quelques *Bisphaera* (*Incertae sedis*). Les lumps cryptalgaires, grains micritisés et péloïdes sont assez abondants. L'ensemble des grains est mal classé et présente de légers granuloclasses normaux dans des lamines plurimillimétriques à centimétriques à disposition oblique de faible valeur angulaire (< 10°). La bioturbation est faible. Un ciment calcitique blanc granulaire ou en plages remplace la matrice micritique. Il donne lieu à des cavités allongées dans le sens des lamines rappelant des fenestras ou bien le sédiment prend l'apparence 'faux' grainstone. La cimentation syntaxiale usuelle s'observe sporadiquement autour des bioclastes d'Echinodermes dans les lamines les plus grenues et les plus épaisses. Quelques cavités plus importantes sont remplies d'une calcite fibreuse jaunâtre, assez grossière, suivie d'une calcite granulaire blanche. La pyrite est abondante, souvent en framboïdes dans la matrice ou en tapissage final de la cimentation calcitique blanche.

MICROFACIES 5 ou MF5 (Pl. 2, figs 2-8, Pl. 3, figs 1-2): floatstones et coverstones à Tabulés (plusieurs espèces), Stromatopores et Bryozoaires (dont des Fistuliporidés) en encroûtements mutuels, parfois de type oncoïde, associés ou non avec des Algues (*Asphaltina*, *Wetheredella*, *Sphaerocodium*, Pl. 1, fig. 3), quelques *Bisphaera* (Pl. 1, fig. 8) et très rares *Nanicella* (Pl. 1, fig. 7). Le sédiment présente une lamination oblique mal définie. La matrice est un wackestone ou un packstone péloïdique, (micro)bioclastique avec les éléments de la faune citée ci-dessus auxquels s'ajoutent des Echinodermes (avec Crinoïdes peu altérés), Lamellibranches, Gastéropodes, Ostracodes, Brachiopodes, spicules d'Eponges et plus rarement des Codiacées-Udotéacées (*Pseudopalaeporella* sp., Pl. 1, fig. 8), des Girvanelles et ?*Resteignella*. Les Stromatopores et Tabulés sont bioperforés (Eponges). La matrice contient d'abondantes pyritosphères de 1 à 5 µm de diamètre. Le faciès est caractérisé par de nombreuses cavités plurimillimétriques à pluricentimétriques se développant à partir de la matrice et remplies de divers ciments (Pl. 2, figs 2-6). La succession caractéristique est constituée d'une calcite radiale fibreuse en couche isopaque d'épaisseur millimétrique (entre 1 et 2 mm), suivie par une calcite blanche, drusique et granulaire en cristaux inframillimétriques à millimétriques (Pl. 2, figs 5-8, Pl. 5, figs 1A, 3A et 7A). Les cavités passent latéralement à un réseau irrégulier de veinules présentant le même type de remplissage. Les plus grandes cavités sont de type 'shelter' sous les Bryozoaires, Tabulés ou grandes coquilles et renferment un microspar grisâtre abondant (relique de la matrice micritique). Les plus petites sont de type 'fenestras' et contiennent des spicules d'Eponges. Les cavités les plus irrégulières, tant par la forme que la dimension, sont probablement liées au remplacement de sulfates. Une première phase de calcite fibreuse très irrégulière précède parfois la calcite blanche. Une dolomite idiotopique (300 à 500 µm), de la pyrite et des péloïdes bactériens sont associés à ces cavités (Pl. 2, fig. 4 ; Pl. 3, fig. 5 ; Pl. 4, fig. 7). La calcite blanche des cavités corrode partiellement les éléments de la macrofaune (Tabulés, Bryozoaires, Stromatopores) de la même manière qu'à Wellin. Dans les cavités synsédimentaires, des *Sphaerocodium* épousent parfois leurs limites (Pl. 3, figs 6-8). Quelques fissures synsédimentaires sont remplies de voiles bactériens (Pl. 4, fig. 7) et cimentées par une calcite drusique. La bioturbation et la stylolithisation sont faibles.

MICROFACIES 6 ou MF6 : rudstones à Stromatopores et Coraux (Tabulés et Rugueux) dominants sous forme de bioclastes ou de microbrèches subanguleuses à subarrondies de packstones et floatstones péloïdiques à Crinoïdes et coquilles diverses. Le faciès se présente sous forme d'une 'brèche récifale' riche en péloïdes et grains micritisés de dimensions variables. Les bioclastes des organismes constructeurs sont assez mal classés, fortement micritisés et associés à des Crinoïdes, Ostracodes, Lamellibranches, Gastéropodes, Brachiopodes et Codiacées-Udotéacées (*Palaeporella lummatonensis* ELLIOTT, 1961), ces dernières étant parfois abondantes. Il s'y associe quelques *Wagonella* et *Bisphaera*. La cimentation est syntaxiale autour des Crinoïdes et parfois

lamellaire et fibreuse autour des organismes constructeurs. Comme dans le microfaciès précédent, la cimentation granulaire ou en plages de calcite blanche est fort développée. Les figures de bioturbation sont absentes. Notons enfin que les microbrèches proviennent du microfaciès précédent (MF5) comme l'indiquent notamment les encroûtements mutuels. Quelques Calcisphères sont présentes.

MICROFACIES 7 ou MF7 : framestone à Stromatopores (*Stromatopora*, *Stromatoporella*, *Actinostroma* et *Parallelopora*) dominants associés à quelques Rugueux et Tabulés. Ce faciès le mieux représenté sur le terrain (ici dans le site protégé de l'Abannet) est le plus spectaculaire car les conditions d'exposition et d'altération soulignent bien la morphologie des Stromatopores (Cornet, 1975; Tsien, 1975). Ceux-ci sont de dimensions importantes (pluridécimétriques à submétriques), bien arrondis ou légèrement allongés, et surtout sont empilés les uns sur les autres sans traces apparentes de remaniement autres que de légers basculements. Ils constituent par leur empilement un framestone et cemenstone ne laissant que peu de place au sédiment ou aux autres organismes dont seuls quelques Coraux (Rugueux solitaires et Tabulés branchus) sont observés. L'analyse pétrographique révèle un framestone à organismes constructeurs s'encroûtant mutuellement renfermant des cavités soit originelles, soit de dissolution d'extension plurimillimétrique, remplies d'un ciment fibreux isopaque (cristaux de 150 µm d'épaisseur et 350 µm de longueur) et d'un ciment granulaire blanc de même type que ceux des microfaciès précédents avec pseudomorphes de cristaux de sulfates. Les Stromatopores sont micritisés et légèrement bioperforés (par des Eponges) avec formation de petites cavités irrégulières sparitisées ou remplies de péloïdes et de grains micritisés. Un ciment intergranulaire fibreux épais (jusqu'à 600 µm), isopaque est bien développé entre les Stromatopores remplit la quasi totalité de l'espace poreux intergranulaire. Ce ciment est semblable à celui décrit dans des boundstones permien du Nouveau Mexique, aux Etats-Unis (Noé, 2003) et dans les framestones du Dévonien Moyen de Wellin.

#### *Milieux semi-restreints et restreints lagunaires*

MICROFACIES 8 ou MF8 : packstone et grainstone 'laminaires' à péloïdes, lumps, et fenestrae laminoïdes (lofériles). Les bioclastes de Coraux (Tabulés), Stromatopores, Crinoïdes, Ostracodes et spicules d'Eponges sont présents, de même que les Algues (*Issinella*, *Kamaena* et rares Codiacées-Udotécées). Les péloïdes et lumps contiennent des microfilaments rappelant les Cyanophytes. Quelques pseudomorphes de sulfates s'observent dans des cavités protégées où sont également présents des péloïdes bactériens. Les lamines présentent une stratification oblique ou entrecroisée. De grandes cavités originelles semblables à celles des floatstones du MF6 montrent un remplissage par un ciment de calcite fibreuse suivie de calcite granulaire blanche. Les figures de bioturbation sont plus abondantes que précédemment.

MICROFACIES 9 ou MF9 (Pl. 4, figs 1-3) : wackestone, packstone et bindstone à *Bevoacstria*, *Ortonella*, *Issinella*, *Palaeoberesella*, *Proninella*, Ostracodes (*Leperditia*), Calcisphères (*Calcisphaera* et *Parathurammina*) et *Labyrinthoconus*. Les spicules d'Eponges sont fréquents et associés aux tapis de Cyanophycées. Les Calcisphères sont très abondantes et rappellent le 'microfaciès 9' (ou 'calcisphérite') des milieux restreints du Givétien franco-belge (Préat & Mamet, 1989) ou du Viséen de l'Avesnois (Mamet & Préat, 2005a). Les fenestrae ou 'birdseyes' sont irréguliers et dolomitisés. La matrice est péloïdique et renferme de la pyrite sous forme de framboïdes submicroniques. Des terriers bien délimités s'observent occasionnellement (Pl. 1, figs 1-2). La pression-dissolution est à l'origine de stylolithes bitumineux. Quelques pseudomorphes de cristaux sulfatés sont observés.

MICROFACIES 10 ou MF10 (Pl. 4, figs 4-6 et fig. 8) : mudstones, wackestones à péloïdes et lumps, et bindstones laminaires à tapis cryptalgaires à *Bevoacstria*, *Ortonella*, *Garwoodia* et dômes microstromatolithiques assez semblables aux microfaciès 10 du Viséen de l'Avesnois (Mamet & Préat, 2005a) et aux microfaciès 11 du Givétien franco-belge (Préat & Mamet, 1989). Quelques Algues vertes (Codiacées nodulaires, Kamaénidés), Calcisphères (*Calcisphaera* et *Parathurammina*), spicules d'Eponges calcaires, Ostracodes (*Leperditia*), *Palaeomicrocodium* et Lamellibranches sont présents. Les tapis à Cyanophycées sont souvent fragmentés par un réseau de fentes de dessiccation et forment des galettes de toutes dimensions et formes. Des terriers dolomitiques (dolomite idiotopique de 15 à 25 µm) verticaux s'observent dans la matrice. D'autres terriers verticaux sont tapissés d'une fine pyrite, parfois filamenteuse, ou sont remplis d'une micrite légèrement microsparitisée et d'*Aphanocapsites* et de Calcisphères (Pl. 4, fig. 5). De petites cavités calcitiques liées aux remplacements de cristaux sulfatés renferment une pyrite irrégulière formant des amas allant jusqu'à 100 µm. La pyrite est parfois abondante dans la matrice et comme à Wellin, elle se présente sous forme de pyritosphères (1 à 5 µm) ou de filaments dichotomiques (Pl. 5, figs 14, 16-20 in Mamet & Préat, 2005b). Elle est souvent reprise dans les joints stylolithiques bitumineux. Des voiles bactériens sont présents dans des fissures (Pl. 4, fig. 8).

#### **3.2. Diagenèse oxydante et sulfato-réductrice**

Les deux éléments les plus marquants de la diagenèse concernent les ciments calcitiques fibreux isopaques (comparez avec Pl. 2, figs 7 et 8 ; Pl. 3, figs 1 et 2 in Mamet & Préat, 2005b) et la pyrite des microfaciès à matrice micritique dense (Pl. 1, fig. 2 ; Pl. 2, fig. 1 in Mamet & Préat, 2005b). Par rapport à Wellin, les ciments sont plus variés et non systématiquement liés au remplissage de pores intergranulaires (ou intragranulaires de certains bioclastes). Certains ciments sont ici liés au remplissage de cavités 'intramicritiques', particulières principalement dans les floatstones-coverstones du MF5 (Pl. 5, figs 1-4 et 7-8), les rudstones du MF6 et les packstones des MF8 et parfois MF9. La chronologie de la formation de ces cavités se résume comme suit (Pl. 2, figs

2-8 ; Pl. 3, figs 1-3, 5-8) :

1. Dissolution partielle, limitée ou étendue, de la matrice micritique avec formation d'une cavité irrégulière ou allongée d'extension plurimillimétrique ;

2. Premier épisode (en une ou plusieurs phases) de colmatage par une calcite jaunâtre, radiaxiale fibreuse isopaque, parfois bothroïdale, parfois grisâtre lorsqu'elle contient des reliques de la micrite originelle ('microspar') ;

3a. Développement d'une dolomite idiotopique en grands cristaux assez clairs (> 100 µm) et/ou d'une microdolomite sombre (cristaux < 50 µm probablement riche en matière organique). La dolomite claire est souvent corrodée et remplacée par la calcite blanche (voir 3b ci-dessous). Cette dolomite apparaît alors blanche mais contient parfois des inclusions micritiques de la matrice primitive. Une pyrite filamenteuse (diamètre < 5 µm, longueur 50 à 100 µm), coccoïde (diamètre < 5 µm jusqu'à 15 µm) ou en amas de 10 à 50 µm (*sensu* Mamet & Préat, 2004) est associée à ces dolomites. La pyrite corrode fréquemment les bioclastes situés à proximité des cavités. La pyrite est aussi présente aux contacts intercrystallins des cristaux de dolomite (= ?pyrite filamenteuse, diamètre < 5 µm) ;

3b. Colmatage polyphasé (une ou deux phases) par une calcite blanche, granulaire (50 à 100 µm) ou en plages (300 à 500 µm). Lorsque cette calcite est prépondérante, le sédiment prend l'aspect d'un 'faux' grainstone (ou 'faux' rudstone). Lorsque les cavités sont de petites dimensions, nombreuses et de formes irrégulières, le sédiment prend l'aspect d'une loférite. Des pseudomorphes de cristaux aciculaires de sulfates sont associés à la calcite ;

Cette séquence diagénétique probablement liée à une diagenèse de sulfato-réduction (cfr ci-dessous) n'est pas toujours complète. La première phase de calcite fibreuse peut remplir complètement les cavités 'intramicritiques'. Quand elle est absente, ces cavités sont remplies par la calcite drusique granulaire blanche. La séquence complète s'observe également dans des cavités de dissolution d'organismes (Tabulés, Stromatopores) ou des vides intragranulaires de Gastéropodes. Une caractéristique importante des cavités est leur hétérogénéité à l'échelle centimétrique : elles sont irrégulières, de dimensions variées, présentent des séquences de remplissages différents, sont isolées ou jointives et associées à des veinules irrégulières, tant par leurs épaisseurs que par leurs formes. Les relations entre calcite 'blanche' et dolomite sont complexes et témoignent d'une formation rapprochée dans le temps. Ces cavités, de même que les éléments figurés des faciès qui les contiennent, ne présentent pas d'indices importants de compaction mécanique.

En dehors de ces cavités, la pyrite est souvent abondante dans les matrices micritiques des microfaciès 6, 8, 9 et 10 et y atteint quelques pourcents en volume. Comme à Wellin, elle se présente de plusieurs manières, soit finement disséminée dans la matrice sous forme de framboïdes, coccoïdes et pyritosphères, soit en amas variés (10 à 30 µm) ou en filaments, de diamètres voisins d'une dizaine de microns et longs d'une centaine de microns. Ces filaments, rectilignes ou courbes, sont parfois dichotomiques et constituent des réseaux

enchevêtrés dans la matrice. Ces différentes formes de pyrite s'observent aussi bien dans la matrice que dans les remplissages micritiques intragranulaires à savoir : dans les zoécies de Bryozoaires, dans le stéréome des Echinodermes, dans les trabécules des Coraux, dans les punctae des Brachiopodes, entre les prismes de la muraille des Lamellibranches, dans les petites cavités irrégulières de dissolution (bioérosion) des Stromatopores, dans le remplissage de la médulla des Algues (Paléosiphonocladales, *Issinella*, *Kamaena*) et enfin sous forme d'encroûtements et de micritisation de grains. La pyrite est ainsi associée à des cavités de dissolution contenant des minéraux sulfatés ou dolomitiques isolés de la matrice micritique. Cette pyrite est donc bien de sulfato-réduction, et présuppose une dissolution de la matrice.

Il faut noter que la plupart des ciments sont non luminescents, aussi bien dans ceux qui remplissent les cavités originelles et 'intramicritiques', que les ciments syntaxiaux ou intergranulaires dans les grainstones bioclastiques. Les ciments luminescents illustrés à la planche 5 sont donc minoritaires, de même que les ciments ternes à peine représentés, indiquant que la cimentation a principalement eu lieu en milieu oxydant.

### 3.3. *Interprétation des microfaciès et modèle sédimentaire*

#### 3.3.1. *Séquence standard*

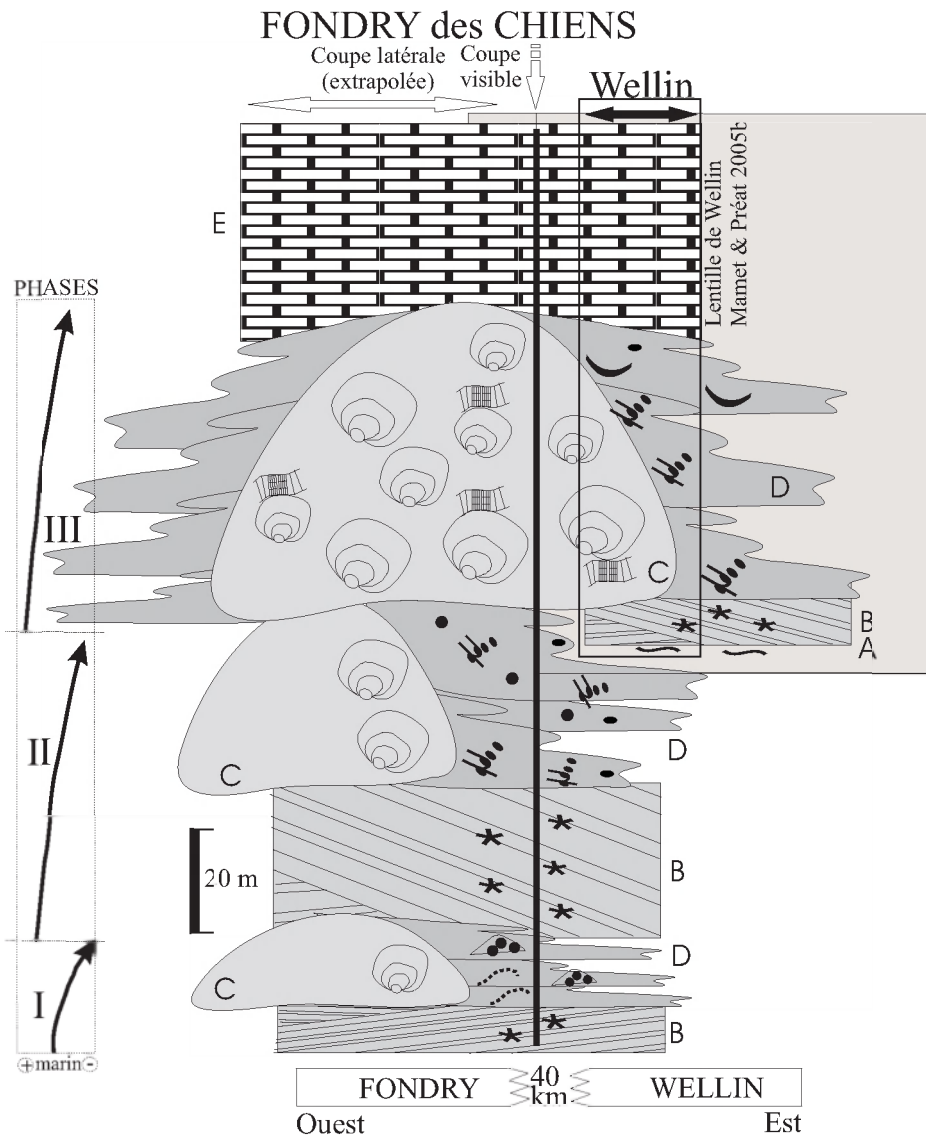
La séquence standard des 10 microfaciès montre le passage des milieux marins francs (MF1-2) aux milieux restreints (MF8-10) en passant par une lentille biohermale (MF7) et ses flancs (MF3-6) (Figs 3a et 4). La bioconstruction a pu constituer un corps rigide suite au développement d'une cimentation marine précoce. Par après, les milieux lagunaires probablement associés à la barrière hypothétique mentionnée dans l'introduction, se développeront ultérieurement au Givétien. Par rapport à la série biohermale de Wellin, le microfaciès 1 est semblable au MF3, le microfaciès 2 au MF4, le microfaciès 3 au MF 5, les microfaciès 4 et 5 au MF 6, les microfaciès 6 et 7 au MF 7 et les trois derniers sont équivalents à leurs homologues de Wellin.

Les caractéristiques majeures du système sédimentaire sont les suivantes :

Le microfaciès 1 représente le domaine marin le plus profond : les microbioclastes sont variés, dominés par les Echinodermes et les Brachiopodes. L'épaisseur des laminations suggère des tempestites intermédiaires (*sensu* Aigner, 1985). En l'absence d'autres échantillons de ce faciès, lié à la pauvreté des affleurements, il n'est pas possible d'être plus précis. Signalons que de tels niveaux de tempestites sont communs dans les couches de transition E-G du bassin de Dinant (Préat, 1989 ; Préat & Kasimi, 1995) ;

Les microfaciès 2 et 3 représentent des environnements d'énergie modérée à forte, dans la zone d'action des vagues (ZAV) comme l'indiquent les stratifications obliques ou entrecroisées, les discontinuités érosives et le bon classement des grains. La cimentation syntaxiale développée dans les grainstones a contribué à stabiliser le fond en formant un substrat rapidement lithifié. La





**Figure 4 :** Modèle sédimentaire de la lentille biohermale. Position interprétée des deux coupes, à gauche coupe du 'Fondry des Chiens' et interprétation des faciès latéraux avec deux lentilles non exposées, à droite coupe de Wellin (in Mamet & Prétat, 2005b). Les lettres A à E correspondent aux environnements majeurs (se reporter au texte) se succédant suivant les trois phases régressives I, II et III. Se reporter à la figure 3b pour la légende des symboles. *Sedimentary model of the biohermal lens with interpreted position of two sections, on the left, the 'Fondry des Chiens' section with its two inferred and unexposed lateral biohermal lenses, on the right, the Wellin section (in Mamet & Prétat, 2005b). Bold A to E letters represent the major environments (see text) occurring through the succession of regressive phases I, II and III. Symbols legend to be found in figure 3b.*

'semelle crinoïdique' ainsi constituée a été colonisée par les larves des principaux constructeurs qui ont édifié un bioherme (MF7) atteignant quelques dizaines de mètres de puissance. Cette lentille devait être entourée de prairies à Udotécées dont la destruction a alimenté les flancs comme à Wellin (Mamet & Prétat, 2005b). De tels flancs sont ici présents (entre 3 et 25 m et entre 49 et 80 m) et traduisent la présence de deux lentilles biohermales situées latéralement par rapport à la coupe du 'Fondry des Chiens' (cf. ci-dessous et Fig. 4) ;

Les microfaciès 4 et 5 traduisent des flancs d'accumulation de débris du bioherme, repris dans la zone d'action des vagues (MF4) ou d'accumulation d'organismes dans des environnements de moins forte énergie (MF5). On reconnaît un 'premier' flanc dominé par les Coraux et les Bryozoaires (entre 3 et 25 m) et un 'second' flanc riche en Codiécées-Udotécées (entre 49 et 80 m). Les premières cavités bien cimentées et de dimensions importantes apparaissent avec le microfaciès 5. L'énergie est moins élevée que dans les faciès précédents et des cavités protégées ('shelter', coverstones) s'observent pour la première fois. La cimentation fibreuse se développe en couches isopaques épaisses ;

Le microfaciès 7 représente l'édification d'une

charpente proprement dite à Stromatopores et Coraux (MF7) et de son remaniement sur place (MF6). Les Stromatopores sont abondants et souvent jointifs. Le bioherme a pu se maintenir en place sur près d'une soixantaine de mètres d'épaisseur grâce à une cimentation fibreuse marine. La transition du flanc à la lentille est progressive, malgré la présence à la base de la bioconstruction d'épisodes érosifs (microbrèches MF5 dans les microfaciès 6 de la lentille) ;

Les microfaciès 8 à 10 correspondent à un changement faunique et floristique majeur : les Ostracodes, Calcisphères, Codiécées nodulaires, Paléobereselles, Labyrinthoconidés et Cyanophycées deviennent prépondérants. D'une façon concomitante, les macrofaunes marines disparaissent progressivement. Ces microfaciès s'observent au-dessus de la lentille et de ses flancs. Les organismes du milieu marin ouvert ne s'observent plus qu'exceptionnellement dans le MF8 dans de minces niveaux à la faveur de périodes de plus forte énergie (marées ou houles exceptionnelles). Le milieu restreint est typique des faciès lagunaires de la Formation de Trois-Fontaines du bord sud du bassin de Dinant (Prétat & Mamet, 1989). Quelques rares cristaux d'évaporites se forment dans des cavités protégées. Le milieu est proche

de l'émersion comme en témoigne l'abondance des fentes de dessiccation et la formation de copeaux.

### 3.3.2. Diagenèse et cimentation

La répartition de la cimentation dans les microfaciès de la séquence standard mérite d'être soulignée. La cimentation intergranulaire est présente dans les grainstones et rudstones des MF2 et 3, et dans les rudstones et framstones des MF6 et 7. Dans le premier cas, elle est responsable pour une bonne part de la stabilisation de corps bioclastiques ('encrinites') qui constitueront une semelle pour l'édification récifale. Dans le second cas, elle est à l'origine de la préservation de la bioconstruction elle-même (MF7). A ces cimentations intergranulaires précoces s'ajoute une cimentation 'diagénétique' fort développée sous forme de ciments blancs colmatant des cavités intramicritiques dans les matrices des microfaciès 4, 5, 6, 8, 9 et 10 et affectant les microfaciès précédents (MF2, 3 et 7). Cette cimentation, lorsqu'elle est importante, est à l'origine d'une transformation des textures initiales qui deviennent de 'faux' grainstones-rudstones. Cette cimentation, qui est précédée par une phase de dissolution à l'origine de certaines cavités, renforce la stabilité des sédiments. C'est le cas des floatstones et coverstones du flanc à Udotéacées (MF5). Dans les autres cas, le ciment de calcite granulaire, drusique, blanche complète la cimentation syntaxiale, en renforçant la stabilisation des sédiments. Il forme également des zones irrégulières dans les sédiments lagunaires. Ces ciments sont probablement liés à des saumures évaporitiques de reflux et sont de même type que ceux mis en évidence dans le Carbonifère de l'Avesnois (Mamet & Préat, 2004; Casier *et al.*, 2005).

### 3.3.3. Modèle sédimentaire

Le modèle sédimentaire est celui d'une rampe mixte silico-carbonatée évoluant en une plate-forme carbonatée. Cette transition est bien connue dans le Synclinorium de Dinant (Kasimi & Préat, 1996) où elle est diachronique (Préat, 2004). Cette évolution régressive dans l'ensemble du bassin franco-belge montre le passage des environnements marins ouverts francs (Formation de Hanonet) aux milieux restreints proches de l'émersion (base de la Formation de Trois-Fontaines). La succession des faciès au 'Fondry des Chiens' permet de subdiviser la rampe en deux parties, médiane et interne, la bioconstruction se mettant en place dans la partie interne (Fig. 2).

L'analyse de la courbe lithologique souligne deux points:

- la sédimentation est liée à la progradation d'une lentille à Stromatopores massifs sur son flanc ou sur le flanc d'une autre lentille. Ce flanc est lui-même progradant sur une semelle crinoïdique stabilisée par cimentation syntaxiale. Les processus de progradation sont la règle et s'inscrivent dans l'évolution générale d'une baisse relative du niveau marin (Préat, 2004 ; Mamet & Préat, 2005b) ;
- deux systèmes de flancs (l'un à Coraux et Bryozoaires, l'autre à Codiacées-Udotéacées) dans la moitié inférieure de la série indiquent que la série était constituée d'un système de lentilles. Un tel système, observable à Wellin, indique que ces lentilles s'étendaient sur quelques

centaines de mètres. Une de ces lentilles montrait le passage de la bioconstruction à Stromatopores massifs à deux flancs superposés (à Udotéacées, et à Brachiopodes *in* Mamet & Préat, 2005b). Le système est probablement assez identique au 'Fondry des Chiens', puisqu'un flanc à Udotéacées est surmonté d'une bioconstruction à Stromatopores massifs. La bioconstruction est cependant deux fois plus épaisse au 'Fondry des Chiens' (64 m) qu'à Wellin (30 m).

## 4. Log stratigraphique et découpage en niveaux

La coupe du 'Fondry des Chiens' (Fig. 2) se subdivise en une succession de 6 niveaux sédimentologiques caractérisés par des faciès et des associations particulières de micro- et macroorganismes.

*Semelle, de 0 à 3 m* : packstones-grainstones crinoïdiques en stratifications entrecroisées. Faciès de mer ouverte dans le domaine de rampe médiane. Rares Bryozoaires, Wagonelles et quelques Paralitanaia. Cimentation syntaxiale dans les grainstones. Le milieu est situé dans la zone euphotique à la limite ZAV/ZAT ;

*Flanc à Coraux et Bryozoaires, de 3 à 25 m* : floatstones et coverstones à cavités centimétriques cimentées par la calcite fibreuse en plusieurs couches isopaques ou par la calcite granulaire. Les encroûtements de la macrofaune sont la règle et les Algues y participent (Asphaltinelles, Sphaerocodiées, Wetheredelles). La matrice est (micro)bioclastique. Quelques fragments altérés de Stromatopores. Les Coraux sont constitués de Favositidés, Héliolitidés, Chaetitidés et Rugueux solitaires (Coen-Aubert, 1992);

*Semelle, de 25 à 49 m* : grainstones crinoïdiques très grossiers en stratifications entrecroisées avec débris de Tabulés. Ciment syntaxial bien développé auquel s'associe un ciment de calcite blanche en plages. Le faciès est faiblement dolomitique et pyriteux. De rares *Sphaerocodium* et fragments mal conservés de Codiacées-Udotéacées sont présents. Le milieu, de plus forte énergie que précédemment, est situé dans la ZAV et la proximité des flancs (MF3-4) se fait sentir dans la partie supérieure de l'intervalle. Cette semelle correspond au 'calcaire crinoïdique' de Coen-Aubert (1992) et à l'unité I de Tsien (sa fig. 6, 1980) ;

- *Flanc à Codiacées-Udotéacées, de 49 à 80 m* : grainstones-rudstones à grains micritisés, péloïdes, débris récifaux (Stromatopores et Coraux), bioclastes assez mal classés et intraclastes, passant à la cote de 61 m à des packstones, grainstones et floatstones de même composition, mais avec de nombreux lumps. Les bioclastes sont fréquemment bioperforés et/ou micritisés. Les Codiacées-Udotéacées sont abondantes. La série est stratocroissante et les faciès présentent une stratification oblique ou entrecroisée bien développée. Les Algues rouges sont rares dans cet intervalle à côté de Girvanelles mal préservées. Les *Bisphaera* sont fréquents et quelques Calcisphères (*Parathuramina*) sont observées. De nombreuses petites cavités intramicritiques de dissolution liées à la sulfato-réduction s'observent dans la partie

supérieure de l'intervalle. Les faciès prennent alors l'aspect de 'faux' grainstones ou de packstones loféritiques. Milieu de forte énergie situé à proximité ou dans la ZAV. Ce faciès n'a pas été identifié par Coen-Aubert (1992) qui l'a considéré comme base de son 'calcaire construit'. Il correspond à l'unité II de Tsien (sa fig. 6, 1980) et indique la proximité de la partie supérieure de la zone euphotique ;

- 'Bank' à *Stromatopores*, de 80 à 144 m : rudstones et framestones à *Stromatopores* massifs et Coraux subordonnés. Ces derniers sont limités à quelques Rugueux solitaires, Tabulés branchus, Favositidés, Héliolitidés et à quelques colonies d'aspect fasciculé à massif (*Neomophyma* et *Fasciphylum*) (Coen-Aubert, 1992). La cimentation est fibreuse en couches isopaques. Il s'y ajoute de nombreuses cavités intragranulaires cimentées par une calcite fibreuse, granulaire ou en plages. La partie inférieure de l'intervalle est constituée de 'brèches' récifales à fragments mal classés, la partie supérieure renferme de nombreuses cavités intragranulaires avec péloïdes bactériens. Les Gastéropodes apparaissent également dans la partie supérieure. Ce milieu de très forte énergie est situé dans la ZAV. Ce bank correspond au sommet du 'calcaire construit' de Coen-Aubert (1992) et à l'unité III de Tsien (sa fig. 6, 1980) ;

- Lagon à *Cyanophycées* et Algues, de 144 à 171 m : wackestones et packstones bioturbés à Calcisphères, Proninelles, *Labyrinthoonus*, *Palaeomicrocodium*, Issinelles, Kamaénides, *Bevocastria* et *Ortonella*. La faune est dominée par les Ostracodes. Le milieu est de très faible énergie, restreint à semi-restreint et proche de l'émersion comme le suggère l'abondance des fenestres laminoïdes, les Microcodiacées et les fentes de dessiccation. Quelques minces niveaux de packstones à Echinodermes, Brachiopodes, parfois Coraux, dans la partie inférieure de l'intervalle, indiquent une influence épisodique du domaine marin ouvert. Le faciès est caractéristique du sommet de la zone euphotique.

## 5. Analyse séquentielle

La figure 2, synthétisant les données de terrain et de microfaciès, enregistre l'évolution de la sédimentation et donne une interprétation en terme de paléoenvironnements. Comme pour la coupe de Wellin, en l'absence de données biostratigraphiques fiables (Préat & Tourneur, 1991), le passage de la Formation de Hanonet à la Formation de Trois-Fontaines est placé ici conventionnellement à la base de la lentille biohermale, considérée comme un équivalent du 'premier biostrome'. C'est cette limite qui est cartographiée sur la nouvelle carte géologique de Wallonie, Olloy-sur-Viroin-Treignes 58/5-6, 1/25000<sup>ème</sup> (Dumoulin & Coen, sous presse). La coupe du 'Fondry des Chiens' montre la succession de 6 domaines principaux depuis les milieux marins ouverts francs à proximité ou dans la ZAT jusqu'au milieu de lagon restreint (Fig. 2). Ce passage marque aussi la transition d'un système de rampe mixte à une plate-forme carbonatée restreinte. L'indice énergétique croît continûment depuis la base de la deuxième semelle jusqu'au sommet du bank récifal, soit sur près de 100 m de série. Cette évolution, qui s'accompagne à cette échelle d'une stratocroissance de la

stratonomie, traduit l'importance des processus de progradation d'un flanc récifal sur son substrat, ensuite du récif sur ce flanc. Les niveaux microconglomératiques (rudstones du microfaciès 6) à la base du 'bank' récifal indiquent qu'une faible profondeur a rapidement été atteinte accentuant par là l'intensité des processus de progradation du 'bank'. La succession générale est la même que celle observée dans la coupe de Wellin où une lentille de même nature, mais moins épaisse, se met en place sur un substrat crinoïdique et est surmontée de manière abrupte par un lagon restreint contenant une microflore algale identique.

La série déposée dans un contexte énergétique élevé marqué par des stratifications obliques ou entrecroisées, à lamines parfois granuloclassées formant des faisceaux séparés par des discontinuités sédimentaires (érosives ou de non dépôt), est constituée d'amalgames empilés. L'unité de base est formée de grainstones et rudstones en bancs décimétriques rarement plus épais que 20 cm. Aucun motif stratonomique particulier n'indique une succession de paraséquences de 5<sup>ème</sup> ordre ou ensemble de paraséquences de 4<sup>ème</sup> ordre au sens strict (Van Wagoner *et al.*, 1987; Vail *et al.*, 1991). Seule la répétition, par trois fois, d'évolutions régressives de type 'shallowing upward' (séquences ou phases I, II, III, Fig. 4) semble montrer qu'un motif de base pluridécamétrique soit présent. Ce motif constitué de bancs strato- et granocroissants en milieu marin ouvert traduit la progradation à trois reprises de lentilles sur leurs flancs. Ces progradations sont maximales au sommet de la coupe et la troisième lentille est alors coiffée des faciès restreints (Fig. 4).

A plus grande échelle (3<sup>ème</sup> ordre), la courbe lithologique indique une diminution relative et continue du niveau marin depuis les faciès ouverts les plus profonds de la Formation de Hanonet, situés juste aux limites ZAT/ZAV et dysphotique/euphotique (microfaciès 1) ; quelques dizaines de mètres de profondeur) jusqu'aux faciès intertidaux et supratidaux de la Formation de Trois-Fontaines (tendance à l'émersion). Cette évolution suggère qu'un prisme de bas niveau marin se met en place au Givétien inférieur. Les faciès remaniés des flancs soulignent cette évolution régressive au cours de laquelle un étalement des faciès latéraux a lieu et comble continuellement l'espace d'accommodation disponible. L'absence de niveaux importants de microbrèches, de conglomérats, de 'ciments' remaniés ou de diagenèse vadose suggère que la baisse eustatique n'a pas été brutale ou importante. L'évolution à cette échelle est la même que celle rapportée à Wellin suggérant que ce sont les mêmes mécanismes qui ont joué dans les deux cas.

## 6. Comparaison avec Wellin et mécanismes de la sédimentation

La succession des différents environnements reconnus dans le système régressif de Wellin étant d'application au 'Fondry des Chiens', l'évolution séquentielle est résumée sous forme des figures 2 et 4. Ceci est d'autant plus plausible que les successions d'Algues rencontrées sont semblables, voire identiques à celles de Wellin. Il s'agit donc bien de paléoenvironnements semblables. Pour rappel, la série de Wellin (Fig. 4) part d'un faciès marin

ouvert (A) relativement profond (à proximité de la base de la ZAT), d'une semelle crinoïdique (B) qui passe à des faciès construits à Stromatopores (C) possédant latéralement des flancs à Udotéacées et Brachiopodes (D) et passe finalement à des faciès protégés de lagon (E).

En appliquant le même modèle au 'Fondry des Chiens' (Fig. 4), on aurait la succession d'une semelle (B) surmontée d'un flanc (D) provenant probablement d'un récif ou 'bank' situé latéralement à la coupe visible (C). Cette évolution correspond à une diminution relative du niveau marin. La transgression relative suivante suit exactement le même schéma et montre le passage d'une nouvelle semelle (B) à des flancs (D) correspondant à une seconde lentille située latéralement (C). Une troisième transgression relative voit l'établissement d'un récif (celui-ci est exposé) et conduit à une phase lagunaire (également exposée).

A Wellin, nous avons estimé que l'épaisseur de la zone euphotique où la photosynthèse des flores chlorophylliennes est active, était d'environ une vingtaine de mètres. La série enregistrant une régression de 70 m en épaisseur indiquait que la subsidence était le moteur principal de l'accumulation des carbonates. Au 'Fondry des Chiens', la succession est saccadée et composée de trois séquences régressives débutant chaque fois par une augmentation relative du niveau marin, suite aux mouvements tectoniques synsédimentaires. On ne peut rien tirer de la première séquence, vu le manque d'affleurement de sa partie inférieure. Par contre les deux suivantes, bien que partielles, indiquent que pour des variations eustatiques semblables, l'accumulation des carbonates est du même ordre de grandeur, entre 55 et 65 mètres. Notre conclusion est donc que la subsidence est bien le moteur principal de la sédimentation récifale.

## 7. Conclusions

Ce travail est la poursuite de celui entamé à Wellin et décrit la sédimentologie du passage E-G à Nismes ('Fondry des Chiens') marqué par le développement d'un système de lentilles biohermales bien organisées. Comme à Wellin, la lentille biohermale de Nismes pourrait s'inscrire dans le cadre d'une sédimentation contrôlée par le jeu de blocs basculés (Kasimi & Préat, 1996) d'extension plurikilométrique. La lentille composée de Stromatopores et Coraux massifs se développe lors d'une baisse eustatique se superposant à la subsidence locale. Les framestones constituant la lentille ont rapidement été cimentés par un ciment palissadique bien développé. La série de Nismes montre que le système de lentilles biohermales était généralisé au passage E-G, car elle contient dans sa partie inférieure deux flancs correspondant à deux lentilles situées latéralement et non exposées. Ces flancs colonisés par les Udotéacées, Coraux et Bryozoaires (floatstones et coverstones) ont été stabilisés par cimentation palissadique de cavités intramicritiques de type 'shelter'. L'évolution de la sédimentation est régressive suivant trois phases de type 'shallowing upward', dont la succession indique une accentuation des processus de progradation au passage E-G avec mise en place d'un système lagunaire au Givétien. Comme à Wellin, la subsidence est le moteur principal de la sédimentation. Les séquences, épaisses d'une

soixantaine de mètres, montrent le passage de la base de la zone euphotique, estimée ici à environ 20 m, aux milieux proches de l'émersion.

## 8. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Ph. Blérot (Région wallonne) pour l'autorisation de prélèvement des échantillons aux abords immédiats du site. Nos remerciements s'adressent aussi à A. Aretz (U. zu Köln) et F. Boulvain (u. de Liège) pour leurs remarques constructives. Cette recherche a également été supportée par le projet FRFC n° 2-4501-02 du Fonds National de la Recherche Scientifique Belge.

## 9. Bibliographie

- AIGNER, T., 1985. Storm depositional systems. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York* : 174 p.
- BOULVAIN, F., COEN-AUBERT, M., MANSY, J.L., PROUST, J.N. & TOURNEUR, F., 1994. Le Givétien en Avesnois (Nord de la France) : paléoenvironnements et implications paléogéographiques. *Bull. Soc. belge Géol.*, 103 : 171-203.
- BULTYNCK, P., 1987. Pelagic and neritic conodont succession from the Givetian of pre-Sahara Morocco and the Ardennes. *Bull. Inst. roy. Sci. Nat. Belgique, Sci. de la Terre*, 57 : 149-181.
- CASIER, J.G., LEBON, A., MAMET, B. & PREAT, A., 2005. Ostracods and lithofacies close to the Devonian-Carboniferous boundary in the Chanxhe and Rivage sections, northeastern part of the Dinant basin, Belgium. *Bull. Inst. roy. Sci. Nat. Belgique, Sci. de la Terre*, 75 : 95-126.
- COEN-AUBERT, M., 1992. Rugueux coloniaux mésodévonien du Fondry des Chiens à Nismes (Ardenne, Belgique). *Bull. Inst. roy. Sci. Nat. Belgique, Sci. de la Terre*, 62 : 5-21.
- CORNET, P., 1975. Morphogenèse, caractères écologiques et distribution des Stromatoporoïdes dévoniens au bord sud du Bassin de Dinant (Belgique). Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, inédit : 195 pp.
- DUMOULIN, V. & COEN M., sous presse. Carte géologique de Wallonie, Olloy-sur-Viroin-Treignes 58/5-6, 1/25000<sup>ème</sup> et sa notice explicative. Ministère de la région Wallonie.
- ELLIOTT, G.F., 1961. A new British Devonian Alga, *Palaeoporella lummatonensis* and the Brachiopod evidence of the Age of the Lummaton Shell-Bed. *Proceedings Geological Assoc.*, 72/2 : 251-260.
- FOURNEAU, R., 1997. Lapiéz d'Entre-Sambre-et-Meuse. Cercle des naturalistes de Belgique, Mémoire °8, 28pp.
- KASIMI, R. & PREAT, A., 1996. Sédimentation de rampe mixte silico-carbonatée des couches de transition eiféliennes-givéliennes franco-belges. Deuxième partie: Cyclostratigraphie et paléostructuration. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 20/1 : 61-90.

- MAMET, B. & PREAT, A., 2004. Morphologies minérales (hématite, pyrite, dolomite) attribuables à l'action microbienne. In *Microbialite and microbial communities in sedimentary systems*, Workshop, Paris, 6-9 September. Camoin, G. & Gautret, P. (Eds.), Public. ASF, Paris : 46, 71.
- MAMET, B. & PREAT, A., 2005a. Sédimentologie de la série viséenne d'Avesnes-sur-Helpe (Avesnois, Nord de la France) *Geologica Belgica*, 8/1-2 : 91-107.
- MAMET, B. & PREAT, A., 2005b. Microfaciès d'une lentille biohermale à la limite Eifélien/Givétien (Wellin, bord sud du Synclinorium de Dinant). *Geologica Belgica*, 8/3-4 : 85-111.
- NOE, S., 2003. Spätstadium einer sterbenden Karbonatplattform : Schelfrand –und Aubenschelf-Entwicklung der Tansill-Formation (Permian Reef Complex, New Mexico, USA). Kölner Forum, Geol. Inst. Universität zu Köln, 11 : 254pp.
- PEL, J., 1973. Etude sédimentologique et stratigraphique du Givétien du Synclinorium de Dinant, de Givet à Liège. Thèse de doctorat, Université de Liège, inédit.
- PREAT, A., 1989. Sedimentology, facies and depositional environment of the Hanonet (Upper Eifelian) and Trois-Fontaines (Lower Givetian) Formations in Couvin area (Dinant Basin, Belgium). *Bull. Soc. belge Géol.*, 98/2 : 149-154.
- PREAT, A., 2004. Le Paléozoïque franco-belge : un exemple de la difficulté de l'estimation temporelle des cycles et séries. In : Préat et al. (Eds), *Ecole d'Eté : Carbonates récifaux et de plate-forme*, 28 juin-8 juillet, Grenoble, Assoc. Sédim. France : 45 : 1-23.
- PREAT, A. & TOURNEUR, F. 1991. Formations d'Hanonet, de Trois-Fontaines, des Terres d'Haura et du Mont d'Haura. In P. Bultynck, M. Coen-Aubert, L. Dejonghe, J. Godefroid, L. Hance, D. Lacroix, A. Préat, P. Stainier, Ph. Steemans, M. Streef & F. Tourneur (Eds): *Les Formations du Dévonien Moyen de la Belgique*. Commission Nationale de Stratigraphie du Dévonien, pp. 45-59. Ministère des Affaires Economiques, Administration des Mines. Mémoire N°30 pour l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique.
- PREAT, A. & KASIMI, R., 1995. Sédimentation de rampe mixte silico-carbonatée des couches de transition eiféliennes-givéliennes franco-belges. Première partie: microfaciès et modèle sédimentaire. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 19/2 : 329-375.
- PREAT, A. & MAMET, B., 1989. Sédimentation de la plate-forme carbonatée givélienne franco-belge. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, 13/1 : 47-86.
- PREAT, A., COEN-AUBERT, M., MAMET, B. & TOURNEUR, F., 1984. Sédimentologie et paléoécologie de trois niveaux récifaux du Givétien Inférieur de Resteigne (bord sud du Bassin de Dinant, Belgique). *Bull. Soc. belge Géol.*, 93/1-2 : 227-240.
- QUINIF, Y., 1991. Le karst d'avant les grottes actuelles : les Abannets. Lapiaz n°8, Cercle des naturalistes de Belgique, Couvin-Nismes : 22-23.
- TSIEN, H.H., 1971. The Middle and Upper Devonian Reef Complexes of Belgium. *Petroleum Geology of Taiwan*, 8 : 119-173.
- TSIEN, H.H., 1975. Introduction to the Devonian reef development in Belgium. In Conil, R., Groessens, E., Lejeune, M., Pel, J. & Tsién, H.H. (Eds.), *Excursion C, Livret-guide, Second Symp. Intern. sur les Coraux et Récifs Coralliens Fossiles*, Paris, Service géol. Belgique : 3-42.
- TSIEN, H.H., 1980. Les régimes récifaux dévoniens en Ardenne. *Bull. Soc. belge Géol.*, 89/2 : 71-102.
- TSIEN, H.H., MOURAVIEFF, A.N. & MOUNTJOY, E.W., 1980. Devonian reefs in Belgium. *Géobios, Mémoire spécial*, 4 : 17-33.
- VAIL, P.R., AUDEMARD, F., BOWMAN, S.A., EISNER, P.N. & PEREZ-CRUZ, C., 1991. The Stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology. –An overview. In Einsele G, Ricken W. & Seilacher A. (Eds), *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer Verlag, Berlin : 617-659.
- VAN WAGONER, J.C., MITCHUM, R.M. Jr, POSAMENTIER, H.W. & VAIL, P.R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part II : the key definitions of sequence stratigraphy. In Bally A.W. (Ed.) *Atlas of Seismic Stratigraphy 1*, American Association of Petroleum Geologists, Studies Geology, Tulsa, 27 : 11-14.

(Manuscrit reçu le 01.12.2005; accepté le 15.06.2006)

### Planche 1-Plate 1

**Figures 1-2 :** Wackestone à terriers remplis par des grainstones à péloïdes et bioclastes. Quelques Calcisphères, Ostracodes et fragments de Lamellibranches. Pyrite disséminée dans la matrice et concentrée par pression-dissolution (flèche, figure 2) et filaments de pyrite en bordure de terriers (flèche, figure 2). Milieu lagunaire, Microfaciès 9, Ech FC129, ph.ulb respectivement 6562 et 6566, Formation de Trois Fontaines, échelle donnée par la barre de 950 µm. *Bioclastic wackestone with burrows infilled by peloidal grainstones. A few calcispheres, ostracods and pelecypods are present. The micritic matrix contains fine-grained disseminated pyrite along the pressure solution seams (arrow, figure 2). Filamentous pyrite is observed along the burrow walls (arrows, figure 2). Lagoon, Microfacies 9, Sample FC129, ulb ph. respectively 6562 et 6566, Trois Fontaines Formation, scale bar 1-2 are 950 µm.*

**Figure 3 :** Wackestone en voie de recristallisation (microspar) avec plages bioclastiques riches en Lamellibranches. Présence de quelques filaments de *Sphaerocodium*. Pyrite diffuse, parfois en petits buissons (flèche). Flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC10, ph.ulb 6313, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 3 de 390 µm. *Recrystallized (microspar) wackestone with bioclastic pockets rich in pelecypods. A few Sphaerocodium filaments are present. Diffuse pyrite forming small tufts (arrow). Coral and bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC10, ulb , ph. 6313, Hanonet Formation, scale bar 3 is 390 µm.*

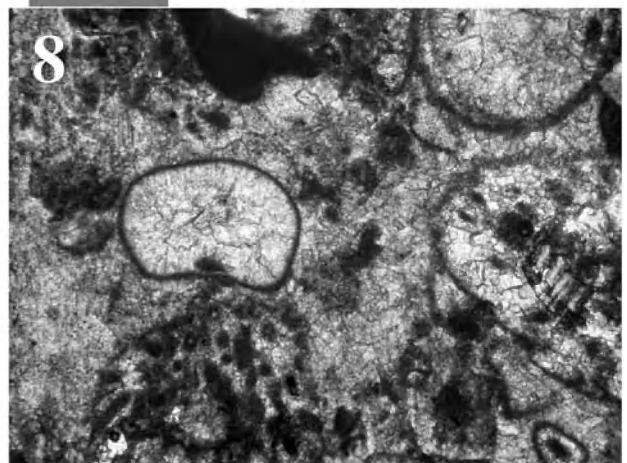
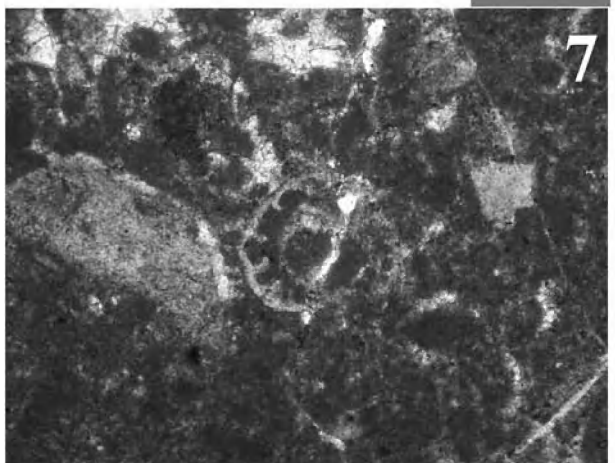
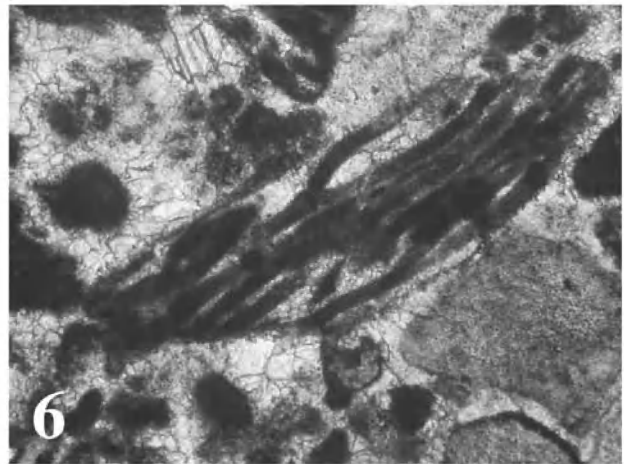
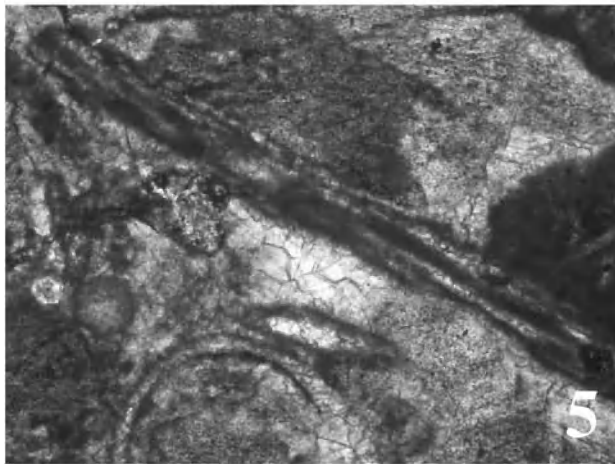
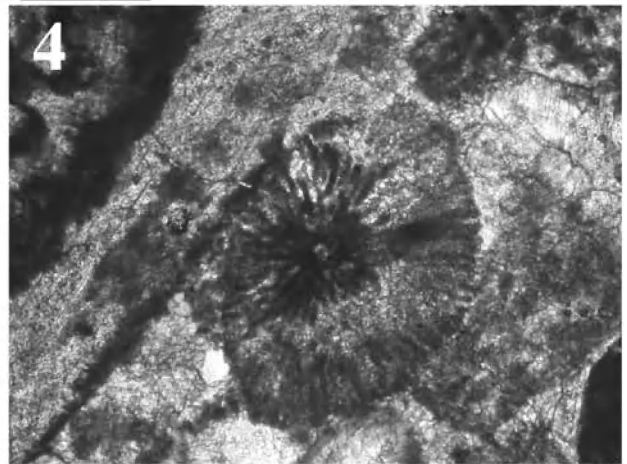
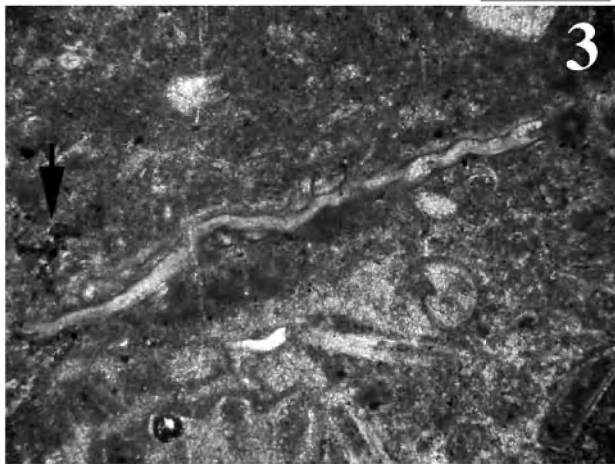
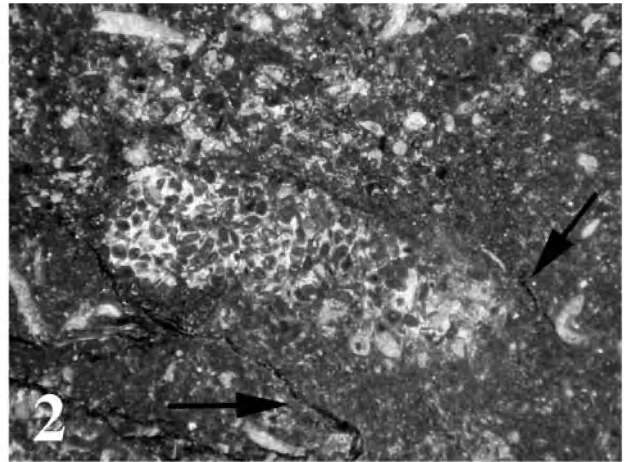
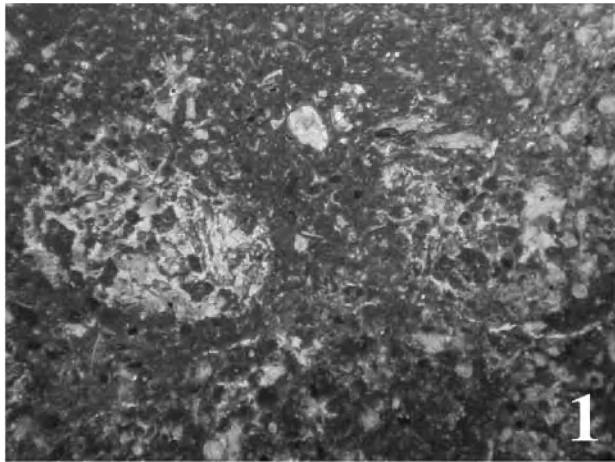
**Figure 4 :** Faux grainstone et grainstone algair à péloïdes avec thalle micritisé de Solénopore (*Pseudosolenopora*). Flanc à Codiacées-Udotéacées, Microfaciès 4, Ech FC43, ph.ulb 6357, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 4 de 390 µm. *False grainstone and algal peloidal grainstone showing a micritized thallus. Codiacean-udoteacean Flank, Microfacies 4, Sample FC43, ulb ph. 6357, Hanonet Formation, scale bar 4 is 390 µm.*

**Figure 5 :** Grainstone-rudstone à grains micritisés, Lamellibranches micritisés dissous et thalle d'Udotéacée (*Rectosiphonoides*). Flanc à Codiacées-Udotéacées, Microfaciès 4, Ech FC48, ph.ulb 6372, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 5 de 390 µm. *Grainstone-rudstone with micritized grains (pelecypods) and dissolved udoteacean thallus (Rectosiphonoides). Microfacies 4, Sample FC48, ulb ph. 6372, Hanonet Formation, scale bar 5 is 390 µm.*

**Figure 6 :** Grainstone mal classé à fragments micritisés, péloïdes, Echinodermes et fragments de *Pseudopalaeoporella* sp. Flanc à Codiacées-Udotéacées, Microfaciès 5, Ech FC49, ph.ulb 6377, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 6 de 390 µm. *Poorly sorted peloidal and bioclastic grainstone. Echinodermal and algal (Pseudopalaeoporella sp.) fragments are micritized. Codiacean-udoteacean Flank, Microfacies 5, Sample FC49, ulb ph. 6377, Hanonet Formation, scale bar 6 is 390 µm.*

**Figure 7 :** Packstone avec quelques plages de ciment contenant des fragments micritisés d'Echinodermes, des péloïdes et un Foraminifère. Les Foraminifères sont extrêmement rares dans toute la série et sont représentés ici par une section équatoriale de *Nanicella*. Flanc à Codiacées-Udotéacées, Microfaciès 5, Ech FC49, ph.ulb 6399, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 7 de 390 µm. *Peloidal and bioclastic (echinoderms and one foraminifer) packstone with a few cemented zones. The foraminifers are extremely rare in the series and represented here by an equatorial section of Nanicella. Codiacean-udoteacean Flank, Microfacies 5, Sample FC49, ulb ph. 6399, Hanonet Formation, scale bar 7 is 390 µm.*

**Figure 8 :** Faux grainstone mal classé à péloïdes, Lamellibranches, *Bisphaera* et fragments d'Udotéacée (*Pseudopalaeoporella* sp.). Flanc à Codiacées-Udotéacées, Microfaciès 4, Ech FC43, ph.ulb 6505, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 8 de 390 µm. *Poorly sorted peloidal false grainstone with pelecypods, Bisphaera and udoteacean fragments (Pseudopalaeoporella sp.). Codiacean-udoteacean Flank, Microfacies 4, Sample FC43, ulb ph. 6505, Hanonet Formation, scale bar 8 is 390 µm.*



## Planche 2- Plate 2

**Figure 1 :** Grainstone d'épithaxie avec sable d'Echinodermes et rares Bryozoaires. Semelle crinoïdique, Microfaciès 2, Ech FC2, ph.ulb 6279, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 1 de 390  $\mu\text{m}$ . *Epitaxial grainstone with echinodermal sand and rare bryozoans. 'Crinoidal' sole, Microfacies 2, Sample FC2, ulb ph. 6279, Hanonet Formation, scale bar 1 is 390  $\mu\text{m}$ .*

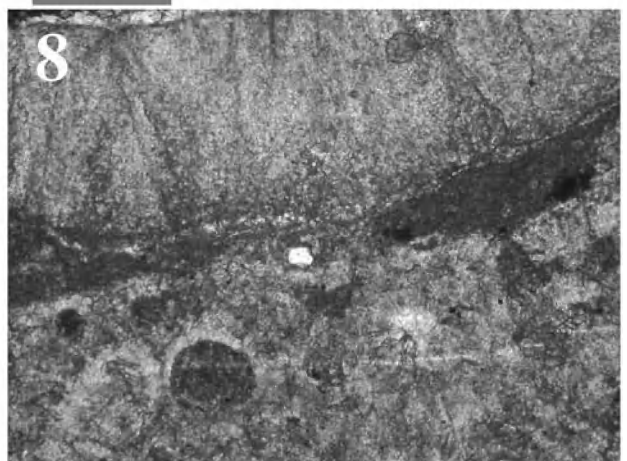
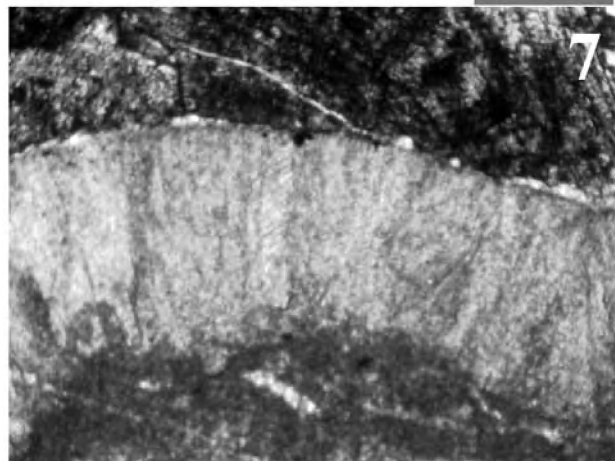
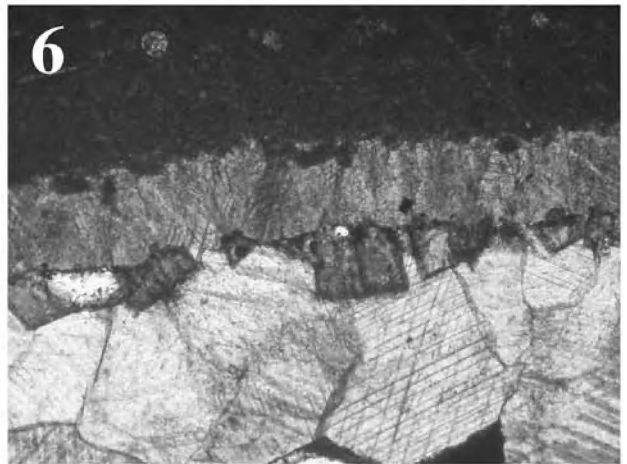
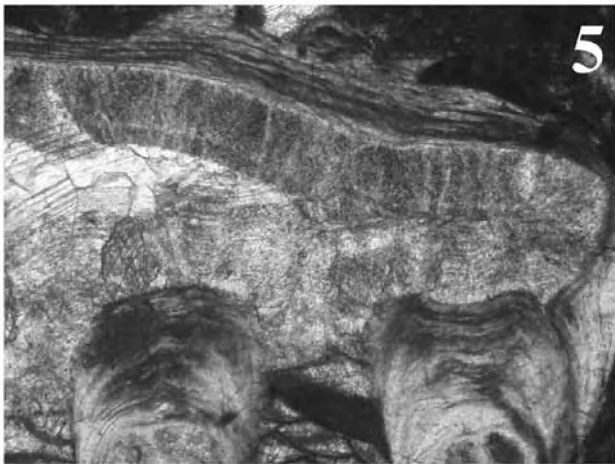
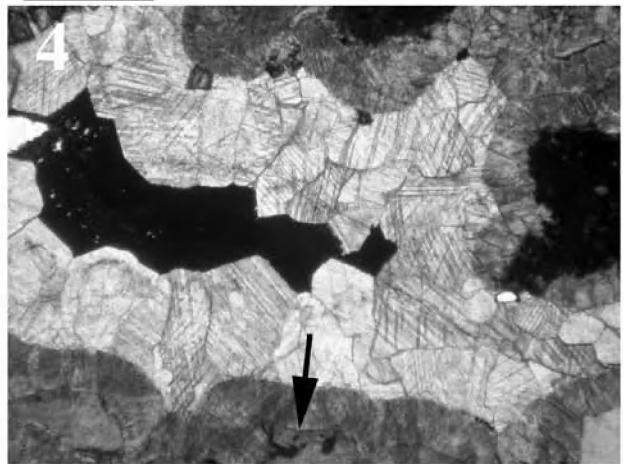
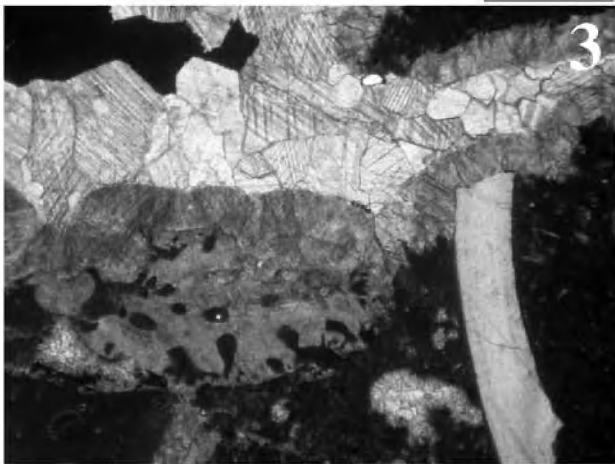
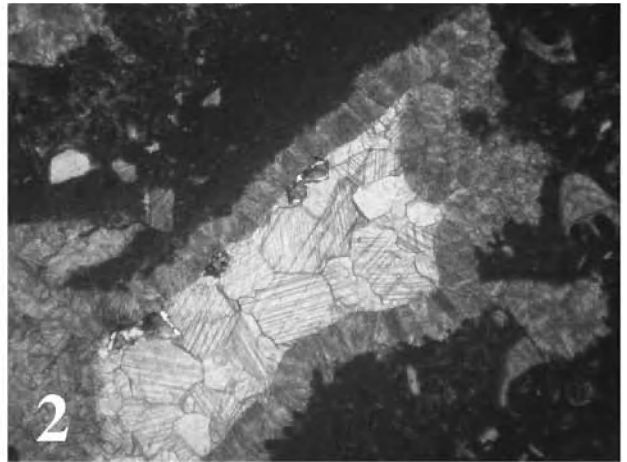
**Figure 2 :** Wackestone à grande cavité intramicritique remplie de ciment palissadique isopaque, parfois bothroïdal, gris clair. Ce dernier est tapissé par des cristaux de dolomite idiotopique en chicots (aggrandissement, Pl.2, fig.6) parfois légèrement silicifiés. Une dernière phase de ciment drusique blanc très grenu remplit la cavité. Sommet d'un flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC13, ph.ulb 6325, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 2 de 950  $\mu\text{m}$ . *Wackestone with a large intramicritic cavity filled by isopachous, partly bothroidal, palissadic greyish calcite cement. This latter is associated with stubby idiotopic dolomite crystals (enlargment, Pl.2, fig. 6) slightly silicified. Top of a coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC13, ulb ph. 6325, Hanonet Formation, scale bar 2 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figures 3-4-6 :** Wackestone-coverstone à Bryozoaires et Lamellibranches. Grande et petite cavités intramicritiques à remplissages incomplets de ciment palissadique suivi d'un ciment drusique blanc en grands cristaux et d'un remplissage ultime de pyrite transformée actuellement en limonite. La figure 4 est la continuation de la figure 3 et montre le remplissage sédimentaire ultime limonitique et de la pyrite dans le ciment palissadique (buisson et filaments, flèche à la figure 4). Sommet d'un flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC13, ph.ulb respectivement 6324, 6326 et 6328, Formation de Hanonet, échelle donnée par les barres 3 et 4 de 950  $\mu\text{m}$  (figures 3 et 4) et par la barre 6 de 390  $\mu\text{m}$  (figure 6). *Bryozoan and pelecypod wackestone-coverstone. Large and small intramicritic cavities filled by irregular palissadic and whitish drusic cements followed by pyrite (now limonite). Figure 4 is the continuation of figure 3 and shows the ultimate pyritic (now limonite) sedimentary infilling and pyrite in the palissadic cement (tuft and filaments, arrow in figure 4). Top of of a coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC13, ulb ph. 6324, 6326, 6328 respectively, Hanonet Formation, scale bar 3 and 4 are 950  $\mu\text{m}$  (figures 3 and 4) and bar 6 is 390  $\mu\text{m}$  (figure 6).*

**Figure 5 :** Coverstone à Bryozoaires (base de la photo) et Brachiopode constituant le toit d'une cavité 'protégée' de type 'shelter' remplie de ciment gris clair palissadique (en deux phases) et drusique blanc. Sommet d'un flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC13, ph.ulb 6327, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 5 de 390  $\mu\text{m}$ . *Bryozoan (bottom of the photo) coverstone. A brachiopode constitutes the top of a shelter cavity filled by greysih palissadic (into two phases) and whitish drusic cements. Top of of a coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC13, ulb ph. 6327, Hanonet Formation, scale bar 5 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figures 7-8 :** Floatstone à Stromatopore encroûté par du ciment palissadique épais. Semelle crinoïdique, Microfaciès 5, Ech FC3, ph. ulb respectivement 6286 et 6287, Formation de Hanonet, échelle donnée par les barres 7 et 8 de 390  $\mu\text{m}$ . *Floatstone with thick palissadic cement encrusting a stromatoporoid (half lower part of the photo). 'Crinoidal' sole, Microfacies 5, Sample FC3, ulb ph. 6286 and 6287 respectively, Hanonet Formation, scale bars 7 and 8 are 390  $\mu\text{m}$ .*





### Planche 3- Plate 3

**Figure 1 :** Grande cavité dans un floatstone. Trois générations de ciment palissadique, bothroïdal isopaque et finalement drusique colmatent la cavité. Pyrite disséminée dans le ciment. Flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC9, ph.ulb 6299, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 1 de 390  $\mu\text{m}$ . *Large cavity in a floatstone. Three cement generations : isopachous palissadic, bothroidal and finally drusic. Disseminated pyrite in the cement. Coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC9, ulb ph. 6299, Hanonet Formation, scale bar 1 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 2 :** Grande cavité avec un fragment de Mollusque et de Brachiopode (flèche) dans un wackestone (non visible). Le ciment est palissadique et soude le fragment de Mollusque. Sommet d'un flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC13, ph.ulb 6329, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 2 de 390  $\mu\text{m}$ . *Large cavity with brachiopod (arrow) and molluscan fragments. The palissadic cement welds the molluscan fragment. Top of a coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC13, ulb ph. 6329, Hanonet Formation, scale bar 2 is 390  $\mu\text{m}$ .*

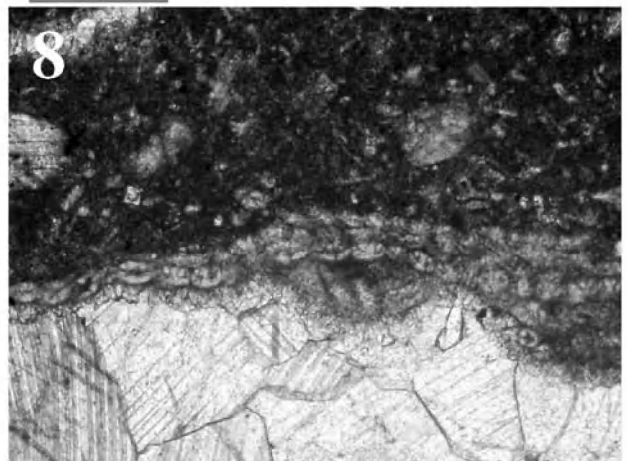
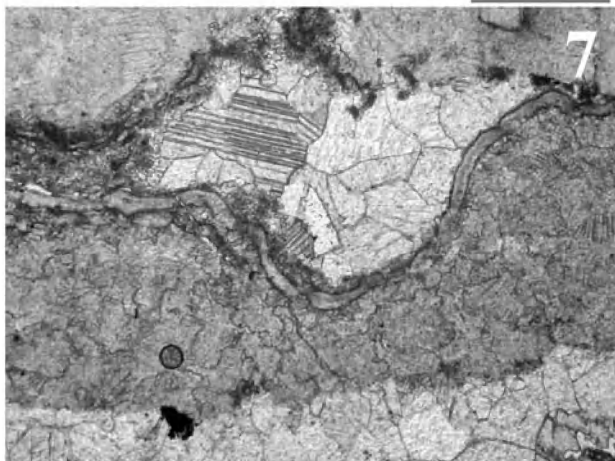
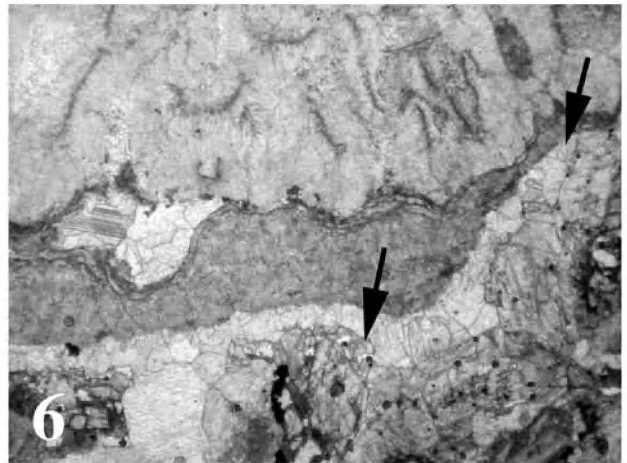
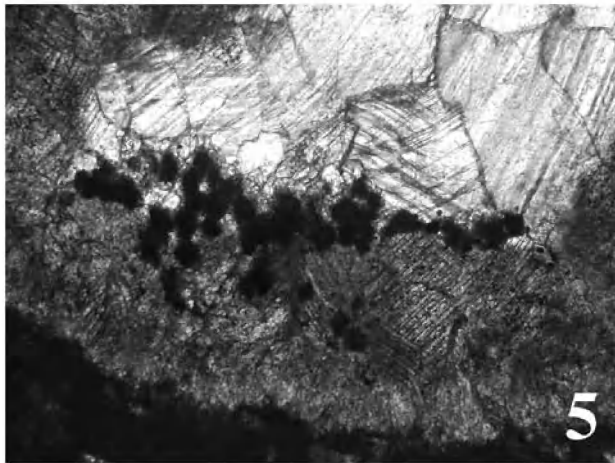
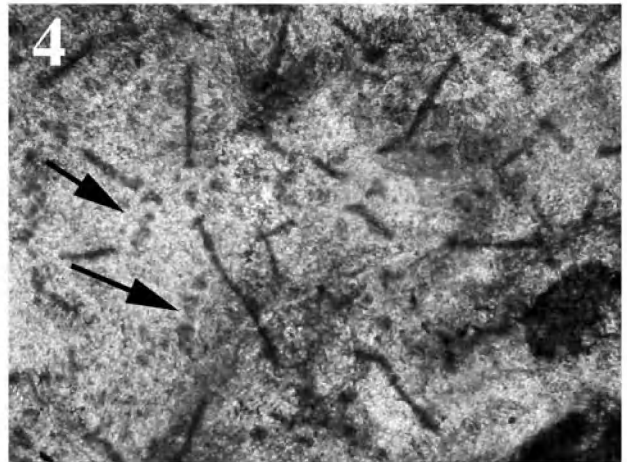
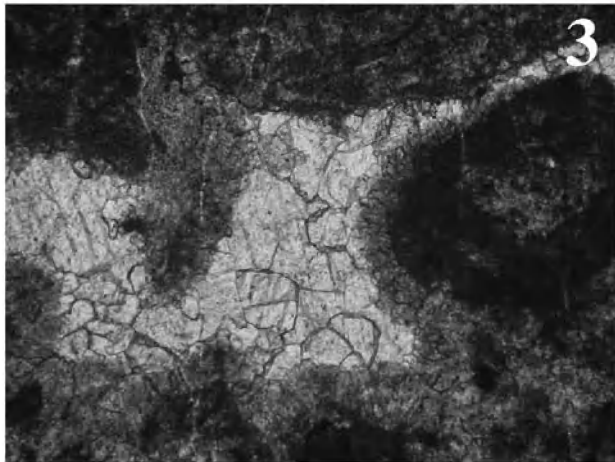
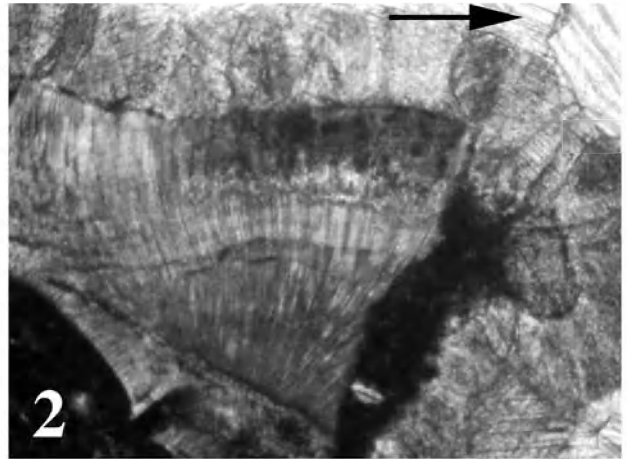
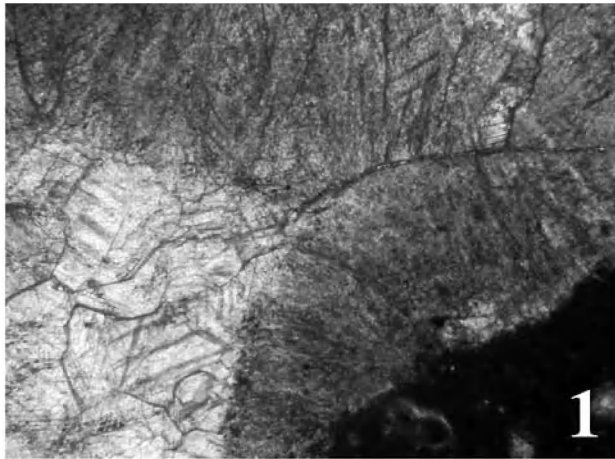
**Figure 3 :** Cavité 'intramicritique' avec éléments corrodés, remplie par un ciment palissadique irrégulier et colmatée par un ciment drusique dans un packstone. Flanc à Codiacées-Udotéacée, Microfaciès 5, Ech FC58, ph.ulb 6720, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 3 de 390  $\mu\text{m}$ . *Intramicrotic cavity filled by irregular palissadic and drusic cements in a corroded packstone. Codiacean-udoteacean Flank, Microfacies 5, Sample FC58, ulb ph. 6720, Hanonet Formation, scale bar 3 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 4 :** Floatstone à Stromatopore perforé par des microfilaments réguliers, micritisés. Les microfilaments d'origine bactérienne probable sont continus et droits ou constitués d'alignements de petites sphères (flèches). Flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC13, ph.ulb 6329, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 4 de 390  $\mu\text{m}$ . *Floatstone with stromatoporoid perforated by regular, micritized bacterial ? microfilaments. The microfilaments are continuous and linear, or sometimes composed of alignments of small spheres (arrows). Coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC13, ulb ph. 6329, Hanonet Formation, scale bar 4 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 5 :** Amas de sphérules limonitiques (originellement pyritosphères) concentrés à la base d'une cavité et formant ainsi un critère géopète. La cavité est remplie d'un ciment palissadique isopaque épais suivi d'un ciment drusique. 'Bank' à Stromatopores, Microfaciès 8, Ech FC106, ph.ulb 6750, Formation de Trois-Fontaines, échelle donnée par la barre 5 de 390  $\mu\text{m}$ . *Geopetal concentration of limonitic spherules (originally pyritospheres) at the bottom of a cavity. The cavity is filled by a thick isopachous palissadic cement followed by a drusic cement. Stromatoporoid Bank, Microfacies 8, Sample FC106, ulb ph. 6750, Trois-Fontaines Formation, scale bar 5 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figures 6-7 :** Rudstone à Tabulé (partie supérieure) accolé à un Stromatopore par l'intermédiaire de filaments irréguliers de *Sphaerocodium*. Cette association d'organismes laminaires et filamenteux conduit à la formation d'une cavité allongée remplie de ciment drusique blanc. Ce dernier est bordé de plages irrégulières de calcite rhomboédrique (flèches). La figure 7 est un agrandissement de la figure 6 et montre les filaments de *Sphaerocodium*. Sommet d'un flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC10, ph.ulb respectivement 6486 et 6490, Formation de Hanonet, échelle respectivement donnée par les barres 6 et 7 de 950 et 390  $\mu\text{m}$ . *Rudstone with a Tabulata (upper part) welded with a stromatoporoid through irregular Sphaerocodium filaments. The association of this laminar and filamentous organisms leads to the formation of a shelter cavity filled by a whitish drusic cement. This latter is bordered by irregular zones of rhomboedric calcite (arrows). Figure 7 is an enlargement of figure 6 and shows the Sphaerocodium filaments. Top of coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC10, ulb ph. 6486 and 6490 respectively, Hanonet Formation, scale bars 6 and 7 are 950 and 390  $\mu\text{m}$  respectively.*

**Figure 8 :** Wackestone à fins spicules d'Eponges avec grande cavité dont le toit est formé de chaînes de *Sphaerocodium*. Les figures 6-7-8 qui montrent le rôle actif de *Sphaerocodium* dans le colmatage de cavités. Ces observations doivent être tempérées par le fait que ces *Sphaerocodium* sont en réalité plutôt rares dans la série étudiée. Sommet d'un flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech FC11, ph.ulb respectivement 6491, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 8 de 390  $\mu\text{m}$ . *Wackestone with tiny sponge spicules. A large cavity showing Sphaerocodium chains at its roof. Figures 6-7-8 highlight the active role of Sphaerocodium in the formation of the cavities. These observations have to be considered with caution since Sphaerocodium are in fact relatively rare in the studied series. Top of coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC11, ulb ph. 6491, Hanonet Formation, scale bar 8 is 390  $\mu\text{m}$ .*



#### Planche 4- Plate 4

**Figures 1-3 :** Wackestone à péloïdes mal définis, à Calcisphères, *Kamaena*, *Issinella*, *Labyrinthoonus*, Ostracodes et microbioclastes de Lamellibranches. Milieu lagunaire, Microfaciès 9, Ech FC115, ph.ulb respectivement 6448, 6466 et 6558, Formation de Trois Fontaines, échelle donnée par les barres 1 et 2 de 155  $\mu\text{m}$  (figures 1 et 2) et la barre 3 de 390  $\mu\text{m}$  (figure 3). *Peloidal wackestone with calcispheres*, *Kamaena*, *Issinella*, *Labyrinthoonus*, *ostracods and pelecypod microbioclasts*. *Peloids are poorly delimited. Lagoon, Microfacies 9, Sample FC115, ulb ph. 6448, 6466 and 6558 respectively, Trois Fontaines Formation, scale bars 1 and 2 are 155  $\mu\text{m}$  (figures 1 and 2) and bar 3 is 390  $\mu\text{m}$  (figure 3).*

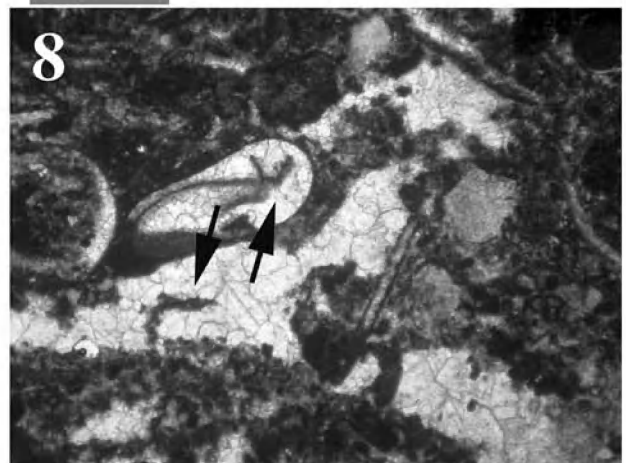
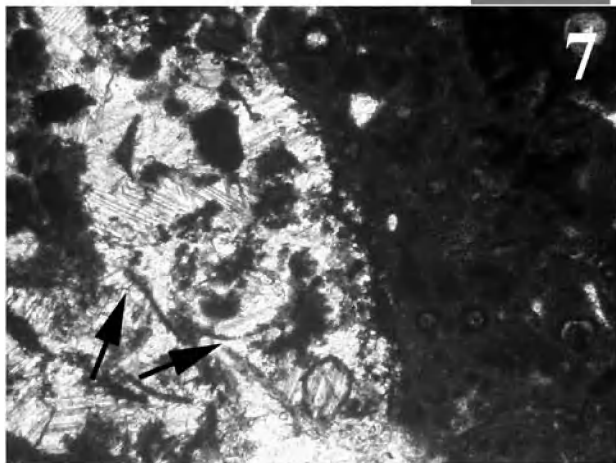
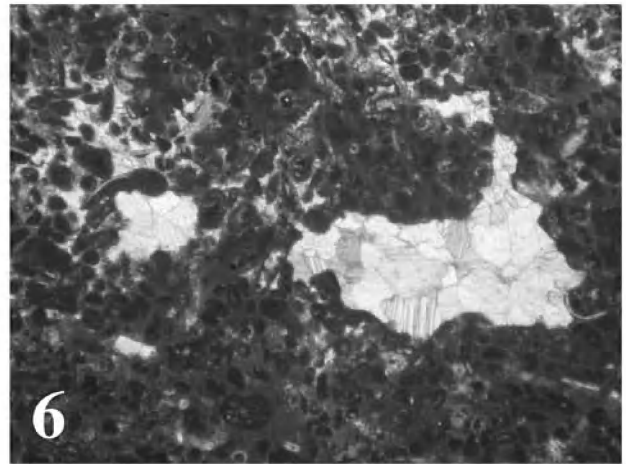
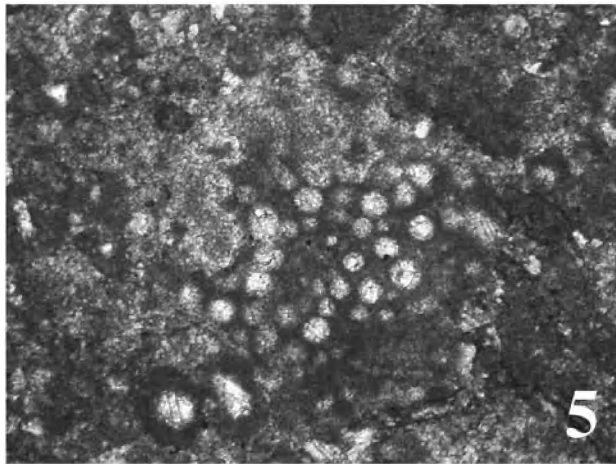
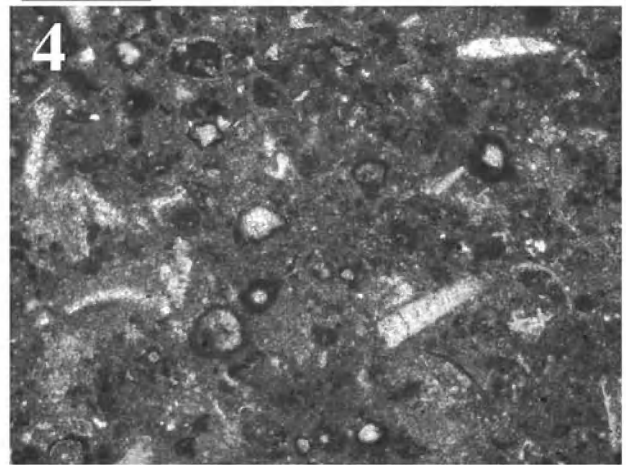
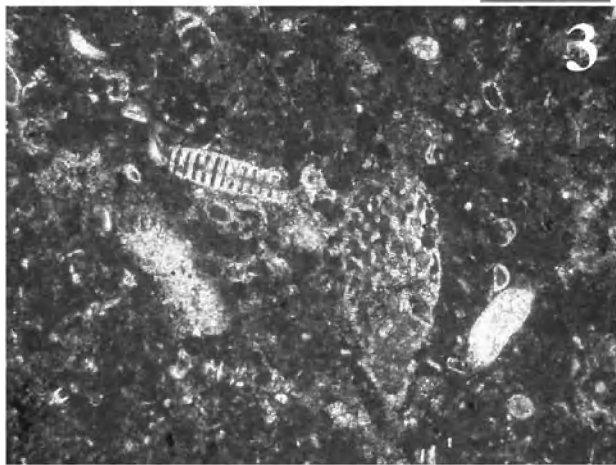
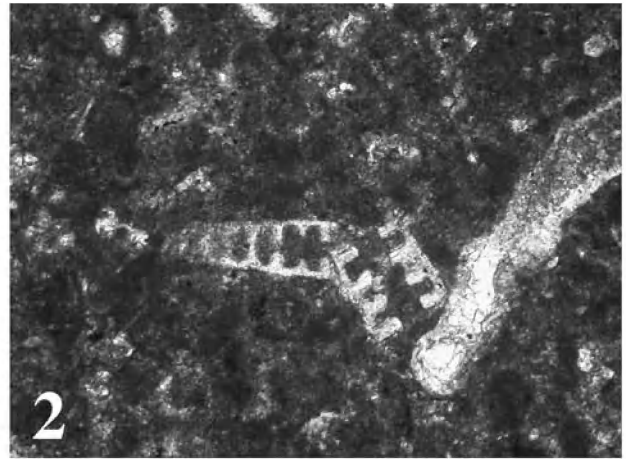
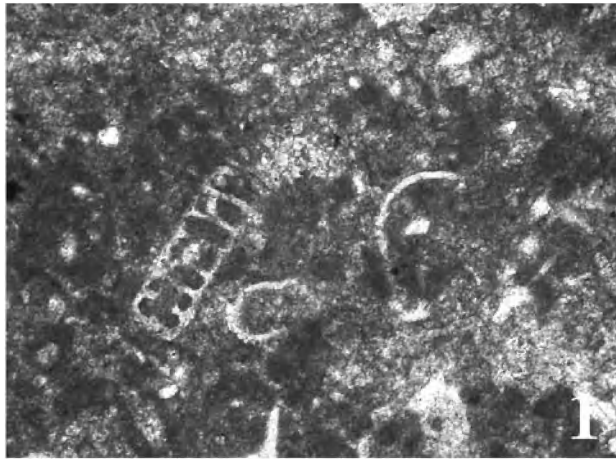
**Figure 4 :** Wackestone péloïdique recristallisé à Calcisphères (*Calcisphaera*, *Parathuramina*, *Vicinesphaera*), *Kamaena*, Ostracodes et microbioclastes de Lamellibranches. Milieu lagunaire, Microfaciès 10, Ech FC108, ph.ulb 6532, Formation de Trois Fontaines, échelle donnée par la barre 4 de 390  $\mu\text{m}$ . *Recrystallized peloidal wackestone with calcispheres* (*Calcisphaera*, *Parathuramina*, *Vicinesphaera*), *Kamaena*, *ostracods and pelecypod microbioclasts*. *Lagoon, Microfacies 10, Sample FC108, ulb ph. 6532, Trois Fontaines Formation, scale bar 4 is 390  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 5 :** Assemblage de *Calcisphaera-Aphanocapsites* partiellement dissout dans un wackestone microsparitisé à péloïdes. Milieu lagunaire, Microfaciès 10, Ech FC108, ph.ulb 6538, Formation de Trois Fontaines, échelle donnée par la barre 5 de 155  $\mu\text{m}$ . *Partly dissolved Calcisphaera-Aphanocapsites assemblage in a microsparitized peloidal wackestone. Lagoon, Microfacies 10, Sample FC108, ulb ph. 6538, Trois Fontaines Formation, scale bar 5 is 155  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 6 :** Loférite avec fenestreae irrégulières dans une matrice péloïdique à lumps, Ostracodes et Proninelles. Milieu lagunaire, Microfaciès 9, Ech FC108, ph.ulb 6533, Formation de Trois Fontaines, échelle donnée par la barre 6 de 390  $\mu\text{m}$ . *Irregular fenestreae in a peloidal lumpy loferite with ostracods and proninellids. Lagoon, Microfacies 9, Sample FC108, ulb ph. 6533, Trois Fontaines Formation, scale bar 6 is 155  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 7 :** Bien que ce faciès ne soit pas très caractéristique des flancs, il contient parfois des fissures semblables à celles des lagons (figure 8). Ces fissures syndédimentaires sont également remplies de péloïdes associés à des voiles bactériens (flèches). Flanc à Codiaceées-Udotéacées, Microfaciès 5, Ech FC58, ph.ulb 6515, Formation de Hanonet, échelle donnée par la barre 7 de 950  $\mu\text{m}$ . *Despite the fact that this facies is not characteristic of the flanks it contains sometimes similar fissures as those observed in the lagoons (figure 8). These syndimentary fissures are filled by peloids associated with bacterial veils (arrows). Codiacean-udoteacean flank, Microfacies 5, Sample FC58, ulb ph. 6515, Hanonet Formation, scale bar 7 is 950  $\mu\text{m}$ .*

**Figure 8 :** Fissure syndédimentaire remplie de péloïdes associés à des voiles bactériens (flèches). Milieu lagunaire, Microfaciès 10, Ech FC108, ph.ulb 6530, Formation de Trois Fontaines, échelle donnée par la barre 8 de 390  $\mu\text{m}$ . *Syndimentary fissure filled by peloids associated with bacterial veils (arrows). Lagoon, Microfacies 10, Sample FC108, ulb ph. 6530, Trois Fontaines Formation, scale bar 8 is 390  $\mu\text{m}$ .*



### Planche 5- Plate 5

Les figures suivantes présentent chaque fois à la même échelle (les barres correspondent à 560  $\mu\text{m}$ ) l'examen de deux échantillons en lumière naturelle et en cathodoluminescence. *The following figures describe at the same scale (bars correspond to 560  $\mu\text{m}$ ) two samples observed in natural light and cathodoluminescence.*

**Figures 1-2 :** Cavité 'intramicritique'. En lumière naturelle (figure 1) le remplissage s'effectue apparemment en deux phases à partir de la matrice micritique (A) dont il reste des reliques sous forme de filaments (A). La première phase (B) est constituée de calcite palissadique d'épaisseur irrégulière et de couleur grisâtre. Elle est suivie d'une seconde phase (D) de calcite drusique blanchâtre en grands cristaux. Les phases (C) et (E) ne sont pas reconnaissables en lumière naturelle et n'apparaissent que dans la figure 2 en cathodoluminescence. La succession y est plus compliquée : la phase (B) est non luminescente et immédiatement suivie par un mince liseré orange luminescent et irrégulier soulignant une dissolution de la phase (B). Ce liseré est surmonté par la phase (C) non luminescente sous forme de placages colloformes irréguliers. La calcite drusique (D) est zonée et luminesce dans les tons oranges à jaune et se développe de manière centripète. La dernière modification est la phase (E) qui est terne ('dull') et colmate la porosité résiduelle. La micrite est homogénéisée à ce stade et présente également une luminescence terne. Quelques grains de pyrite sont présents entre les cristaux de calcite de la phase (B). Flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech. FC10, respectivement ph.kul 26-27, Formation de Hanonet. *'Intramicritic' cavity. The infilling proceeds into two phases. Matrix (A) and filamentous relics of the matrix (A). The first phase (B) is composed by irregular greyish palissadic calcite. The second phase (D) is formed by a whitish, big, drusic calcite. The (C) and (E) phases are not recognizable in natural light, but are identified by cathodoluminescence (figure 2). There the succession is more complex. The non-luminescent phase (B) is followed by a thin luminescent irregular orange layer, that underlines the dissolution of phase (B). This layer is overlain by a non-luminescent and irregular colloidform veneer (phase (C)). Zoned orange to yellow drusic calcite crystals (D) are centripete. The last event forms the dull phase (E) that fills the residual porosity. The micritic matrix is now homogenized and appears dull. Some pyrite grains are present between the crystals of the (B) phase. Coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC10, respectively ph.kul26-27, Hanonet Formation.*

**Figures 3-4 :** Cavité 'intramicritique'. En lumière naturelle (figure 3) remplissage en deux phases, la première mal développée est probablement palissadique (B) et la seconde est drusique (D). Les reliques micritiques (A) sont présentes et une fissure oblique est associée à la cavité (en bas à droite). En cathodoluminescence (figure 4), la première phase (B) est non luminescente. A la base de la cavité le contact avec la micrite se fait par un liseré irrégulier colloforme (C) moins développé que celui de la figure 2. La phase (D) est faiblement zonée dans les mêmes tons que la figure 2 et est suivie par une importante phase (E) de luminescence terne ('dull') qui est également présente dans la fissure oblique. Le dernier remplissage est lié à la fissure verticale (F) fortement luminescente. Flanc à Coraux et Bryozoaires, Microfaciès 5, Ech. FC10, respectivement ph.kul 13-14, Formation de Hanonet. Il faut noter que l'analyse en cathodoluminescence peut être fallacieuse comme le montre le coin supérieur gauche non luminescent et qui n'indique pas le ciment qui est pourtant bien observable à la figure 3. *'Intramicritic' cavity, natural light (figure 3). Infilling in two phases, the first one (B) poorly developed, is probably palissadic and the second one (D) is drusic. Micritic remnants are present (A) and an oblique fissure cuts the cavity (lower right). In cathodoluminescence (figure 4) the first phase (B) is non-luminescent. At the base of the cavity, the contact with the micrite is underlined by a colloidform veneer (C), less important than in figure 2. Slightly zoned phase (D) display the same colours than in figure 2. It is followed by an important dull phase (E) also observed in the oblique fissure. The last cement is that of the very luminescent vertical fissure (F). Coral-bryozoan Flank, Microfacies 5, Sample FC10, respectively ph.kul 13-14, Hanonet Formation. Note here that cathodoluminescent analysis can be deceiving. The non-luminescent upper left corner of the sample does not indicate the presence of a cement recognizable in natural light.*

**Figures 5-6 :** Lumière naturelle (figure 5). Ossicule altéré et partiellement dissout (parties plus claires) d'un Crinoïde recoupé par une petite fissure oblique. Le contact droit de l'ossicule est net et pyriteux, et recoupe la fissure. Par contre, le côté gauche est fortement corrodé et irrégulier. En cathodoluminescence (figure 6), malgré l'altération avancée de l'ossicule, ce dernier est non luminescent. Les zones irrégulières et de forte luminescence sont liées à un réseau tardif de fissures équivalent à celui de la figure 4(F). Semelle, Microfaciès 2, Ech. FC15, ph.kul 30-31, Formation de Hanonet. *Natural light (figure 5). Altered and partially dissolved crinoid ossicle, cut by a small oblique fissure. Right border of the ossicle is clear-cut, pyritized and posterior to the fissure. Left border is strongly corroded and irregular. In cathodoluminescence (figure 6), the ossicle is non-luminescent in spite of the alteration. Strongly luminescent fissure network equivalent to the fissures (F) of figure 4. Sole, Microfacies 2, Sample FC15, respectively ph.kul 30-31, Hanonet Formation.*

**Figures 7-8 :** Cavité 'intramicritique'. En lumière naturelle (figure 7) et cathodoluminescence (figure 8) remplissage en deux phases montrant une séquence identique à celle des figures 1 et 2 : (A) = micrite résiduelle, (B) = calcite palissadique, (C) = calcite colloforme, (D) = calcite drusique, (E) = remplissage terminal. Il s'y ajoute quelques grains de pyrite (P). Même échantillon que figures 1 et 2, respectivement ph. kul 17-18, Formation de Hanonet. *'Intramicritic' cavity. In natural light (figure 7) and cathodoluminescence (figure 8), sequence infilling similar to that of figures 1 and 2 : (A) micrite and residual micrite, (B) palissadic calcite, (C) colloidform calcite, (D) drusic calcite, (E) last dull phase. Some pyrite grains are present (P). Sample as in figures 1 and 2, respectively ph.kul 17-18, Hanonet Formation.*

