

SÉDIMENTOLOGIE DE LA SÉRIE VISÉENNE D'AVESNES-SUR-HELPE (AVESNOIS, NORD DE LA FRANCE)

Bernard MAMET & Alain PREAT

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

(4 figures, 2 planches)

RÉSUMÉ. La succession carbonatée viséenne de la région d'Avesnes compte quatre formations, soit successivement celles de Godin, Terwagne, Neffe et 'Lives'. La Formation de Godin (base du Viséen, env. 57 m d'épaisseur) se compose de six paraséquences bathymétriques régressives à tendance stratocroissante. Elle passe des paraséquences 1 et 2, marines ouvertes, aux paraséquences 3 à 6 qui montrent des grainstones oolithiques, déjà partiellement restreints, interstratifiés de microfaciès lagunaires. La formation représente des milieux de barres oolithiques passant aux domaines d'arrière-barres semi-restreintes. Une des caractéristiques de la formation réside en la présence de galets centimétriques à décimétriques à cimentation précoce. La Formation de Terwagne (Viséen inférieur, env. 98 m d'épaisseur) est en transition avec celle de Godin et consiste en une alternance de 28 paraséquences métriques à plurimétriques, agradantes, de faciès lagunaires à Calcisphères, Codiacées et Spongiostromates et de type sebkha évaporitique. Suite à une dizaine d'émersions, les paraséquences sont tronquées. Une autre caractéristique de ce niveau est la présence régulière de filaments microbiens (bactéries et fungi) dans les parties supérieures des paraséquences. Il existe encore quelques intervalles (18) sporadiques de faciès oolithiques semblables à ceux de la Formation de Godin. La Formation de Neffe (Viséen moyen, env. 65 m d'épaisseur) présente une transition progressive et continue avec celle de Terwagne. Elle est constituée de 5 paraséquences plurimétriques, agradantes, montrant le passage des milieux relativement ouverts aux faciès d'arrière-barre. Le milieu indique des environnements proches des barres à oolithes et/ou à bioclastes disposés en stratifications grossièrement entrecroisées. La diagenèse est caractérisée par des reflux évaporitiques. Ces derniers affectent principalement le sommet de la formation. La Formation de 'Lives' (Viséen moyen, partiellement vue sur 35 m) se caractérise par une vingtaine de paraséquences tronquées et incomplètes où la diagenèse par reflux évaporitique est prononcée. Ceci conduit aux évaporites entérolithiques caractéristiques de la partie sommitale de la formation. Le milieu indique des lagons restreints riches en Spongiostromates et Algues, mais très pauvres en fossiles marins, et en particulier en Foraminifères.

Les rythmes sédimentaires sont particulièrement tranchés par rapport à ceux des antiformes de Dinant et synformes de Namur. La présence d'évaporites, parfois entérolithiques, et de troncatures sont bien en évidence. Par contre, si l'environnement est favorable à la prolifération algale, il est peu propice au développement des Foraminifères. L'importance des hiatus et condensations liés à une sédimentation continuellement proche de l'émersion rend aléatoire les regroupements des rythmes de 5^e ordre (paraséquences élémentaires) en ensembles d'échelle supérieure.

Mots-clés : bassin d'Avesnes, France, microfaciès carbonatés, cyclicité.

ABSTRACT. The Viséan carbonate sequence of the Avesnois region exposes four formations, in stratigraphic order, Godin, Terwagne, Neffe and 'Lives'. The Godin Formation (base of the Viséan, about 57 m thick) is composed of 6 bathymetric regressive parasequences that increase in thickness. Basal parasequences 1 and 2 are open marine, while parasequences 3 to 6 are partially restricted oolitic grainstones interstratified with scattered lagoonal beds. The formation is basically composed of oolitic bars grading to semi-restricted facies. The presence of centimetric to decimetric early cemented cobbles is characteristic. The Terwagne Formation (Early Viséan, about 98 m thick) is transitional with that of Godin and composed of 28 metric to plurimetric parasequences of calcispheres-codiaceans-spongiostromid facies and evaporitic sebkha facies. Parasequences are truncated by erosional surfaces. Microbial filaments are present in the upper part of the parasequences. Sporadic levels (18) of Godin oolites are present. The Neffe Formation (Middle Viséan, about 65 m thick) is again transitional with the underlying beds. It is composed of 5 plurimetric aggrading parasequences of open marine to semi-restricted environments. Facies fluctuate between oolitic and cross-bedded bioclastic bars. The top of the formation indicates evaporitic reflux diagenesis. The 'Lives' Formation (Middle Viséan, partially exposed, 35 m) shows about twenty truncated and incomplete parasequences. Evaporitic diagenesis is pronounced and enterolitic sulfates are characteristic of the top of the exposed succession. Lagoons are rich in spongiostromids and cyanobacteria, while devoid of marine fossils. The importance of hiatuses and condensations due to a sedimentation constantly near emersion hinders the stacking of 5th order rhythms (elementary parasequences) into sets at a higher level.

Keywords : Avesnes basin, France, carbonate microfacies, cyclicity.

1. Introduction

Nous avons entamé une étude systématique de la carrière Bocahut (Fig. 1) située immédiatement au sud-ouest d'Avesnes-sur-Helpe au Nord de la France. Cette carrière est exploitée depuis le XIX^e siècle (ancienne carrière Godin, au lieu-dit Baldaquin) (Mamet, 1964a). Grâce à une suite progressive d'expansions, la carrière offre actuellement une coupe stratigraphique continue depuis le sommet du Dévonien jusqu'au Viséen moyen. Elle comprend aujourd'hui quatre excavations (numérotées de 1 à 4 *in* Mansy *et al.*, 1988) situées à l'ouest d'une nouvelle excavation (ou 'nouvelle carrière'). Suite aux travaux de découverte entamés en 1999 nous avons pu étudier en détail sur environ 90 m, les couches de transition dévono-carbonifères affleurant entre l'ancienne et la nouvelle carrière (Casier & Préat, 2003, Mamet & Préat, 2003). La

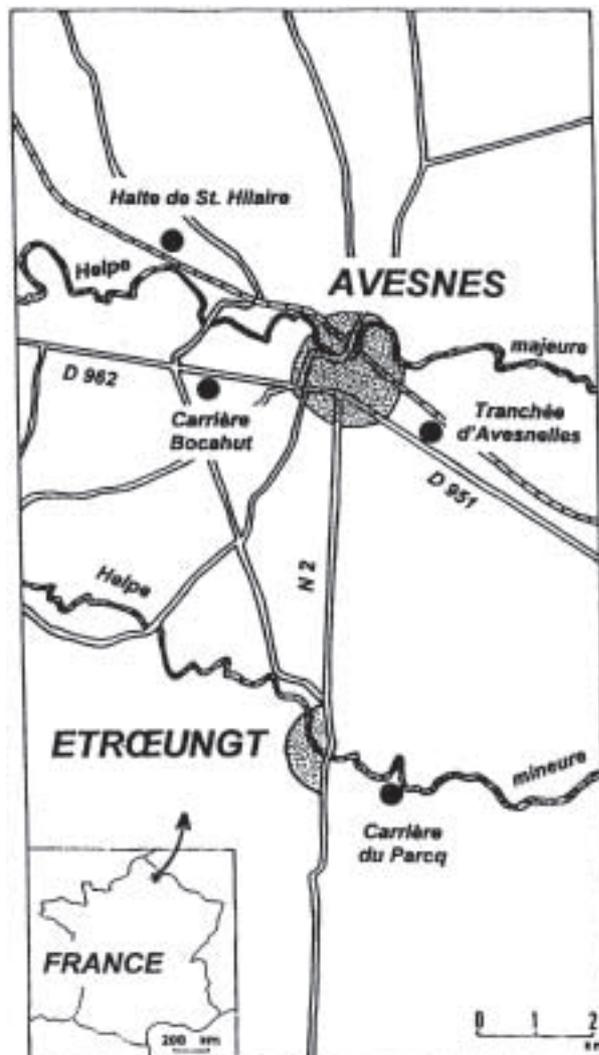


Figure 1. Localisation géographique de la carrière Bocahut, à l'Ouest d'Avesnes-sur-Helpe (d'après Mistiaen *et al.*, 1998). *Geographic location of the Bocahut quarry, west of Avesnes-sur-Helpe (from Mistiaen et al., 1998).*

série est mixte et montre un système de rampe silico-carbonatée passant vers le sommet à une plate-forme carbonatée. Il lui fait suite un épisode argileux (Schistes du Pont d'Arcole), calcaire (Calcaire de Landelies) et dolomitique (Dolomie de Grives). Cette série épaisse d'environ 165 m est d'âge tournaisien (Mansy *et al.*, 1988) et précède une importante série carbonatée viséenne, épaisse de 250 m, interstratifiée de niveaux d'évaporites.

C'est cette série viséenne qui fait l'objet de ce travail. Quatre formations bien différenciées par l'exploitant sont facilement reconnaissables sur les fronts d'exploitation : il s'agit suivant l'ordre stratigraphique des formations de Godin, de Terwagne, de Neffe et de 'Lives', la partie supérieure de cette dernière étant interrompue par une faille accompagnant un plissement synclinal. Nous garderons ici faute de mieux l'appellation de 'Lives', bien que la succession sédimentologique fondée près de Namur soit bien différente de celle observée dans l'Avesnois. La base du Calcaire de Limont de la région (Carpentier, 1913) est mal définie et renferme des faciès marins plus tranchés. Trois de ces formations sont bien connues et ont déjà fait l'objet d'analyses diverses. Ces formations montrent des rythmicités de haute (Godin et Neffe) et très haute (Terwagne et 'Lives') fréquence. Vu les conditions exceptionnelles d'exposition tout au long des 250 m d'affleurement continu des fronts, une analyse pétrographique systématique a été menée en vue d'établir une séquence standard des microfaciès. Cette analyse permettra de considérer la nature des différentes cyclicités observées sur le terrain. Ces données seront comparées à celles des formations homologues des bassins belges.

2. Analyse sédimentologique et stratigraphique

2.1. Description des microfaciès (Figs 2a-b)

Près de 750 échantillons ont été prélevés (banc par banc) systématiquement tout au long des 250 m exposés du front d'exploitation de la carrière '3' (*sensu* Mansy *et al.*, 1988). Leur analyse pétrographique met en évidence 12 familles majeures de microfaciès carbonatés. Ces familles ont été classées par ordre bathymétrique comme expliqué plus loin dans notre modèle sédimentaire (cf. 2.2). La succession des familles de 1 à 12 constitue la séquence standard de la série et se présente comme suit :

MICROFACIES 1 ou MF1 : wackestones bioturbés à bioclastes peu variés de Crinoïdes et Brachiopodes auxquels s'ajoutent quelques Ostracodes, Foraminifères, Algues Vertes (Paléosiphonocladales) et rares Algues Rouges. Les Crinoïdes et Brachiopodes forment de minces niveaux, discontinus ou non, d'épaisseur millimétrique (0,5 à 2 mm). Les Crinoïdes, de taille assez hétérogène, sont fréquemment altérés (micritisation de type piccottis ou 'pitting'). Ce microfaciès est le moins bien représenté dans la série.

MICROFACIES	DESCRIPTION	INTERPRETATION
12	dolostone à pseudomorphes de sulfates, dolocrète	SUPRATIDAL
11	bindstone-wackestone à copeaux de mattes, pseudomorphes de sulfates péloïdes, calcirètes et Palaeomicrocodium	
10	bindstone à Spongiostromates (Cyanophytes) et Serpulides	
9	wackestone à Ostracodes, Calcisphères abondantes et Cyanophycées	INTERTIDAL
8	packstone à Girvanelles, Calcisphères et rares Foraminifères	
7	packstone à oolithes, bahamites et grains micritisés	
6	grainstone laminaire à oolithes, péloïdes et Algues vertes	
5	packstone laminaire à grains micritisés, péloïdes, Foraminifères et Algues vertes	
4	grainstone laminaire à grapestones remaniés, Crinoïdes, Algues vertes et galets d'oolithes	
3	packstone - Crinoïdes, Foraminifères, Coraux et Algues vertes	
2	packstone bioturbé, Crinoïdes, Brachiopodes et Foraminifères	SUBTIDAL
1	wackestone bioturbé, Crinoïdes et Brachiopodes	

Figure 2 a . Séquence des microfaciès de la rampe carbonatée viséenne d'Avesnes-sur-Helpe. ZAT = zone d'action des tempêtes, ZAV = zone d'action des vagues. Légende des symboles: voir Fig. 2b. *Microfacies sequence of the Viséan carbonate platform of Avesnes-sur-helpe. ZAT = normal storm wave base. ZAV = normal or fair-weather wave base. Legend of symbols : see Fig. 2b; b : Légende-legend voir/see figs 2a etland 3.*

ondulant joints argileux (mm-cm)
 plan discontinuité érosive

stratification entrecroisée	dolomies
grapestones	mattes cryptalgaires
oolithes	copeau de mattes
péloïdes	paléosol
grains micritisés	nodule d'évaporite
microbrèches de grapestone	Fungi imperfecti
Paléosiphonocladales	Palaeomicrocodium
Foraminifères	Serpulides
Brachiopodes	Ostracodes
Echinodermes	Calcisphères
Tiges Crinoïdes	Cyanophycées
bioturbation	Codiacées nodulaires

Figure 2b: légende figs. 2a, 3 et 4

MICROFACIES 2 ou MF2 : wackestones et packstones bioturbés avec les mêmes bioclastes que précédemment auxquels s'ajoutent des Foraminifères (?*Archaediscus*, *Endothyra*, *Dainella*, *Eostaffella*) et Mollusques. Les Algues sont de même type que précédemment avec une légère augmentation des fragments d'Algues Rouges (*Stachéines*, *Aoujgalia*). Les bioclastes sont mieux classés que précédemment, toujours de dimensions millimétriques pour les plus grands, et montrent parfois des stratifications obliques. Les lamines granoclassées sont plus épaisses et parfois discontinues, lorsqu'elles sont perturbées par les figures de bioturbation. Tout comme le MF1, le MF2 est mal représenté dans la série.

MICROFACIES 3 ou MF3 : packstones à Crinoïdes, Foraminifères et microflore algale semblable à celle du microfaciès 2 avec augmentation des Paléosiphonocladales (surtout les Issinelles). Il s'y ajoutent quelques fragments de Coraux et de Bryozoaires. Les Mollusques sont assez abondants et micritisés. Les laminations deviennent entrecroisées et s'accompagnent de fortes variations de granulométrie des éléments constitutifs (bioclastes divers dominés par les Crinoïdes).

MICROFACIES 4 ou MF4 : grainstones laminaires à grapestones plurimillimétriques (1 à 3 mm) remaniés, à Crinoïdes, Algues Vertes, oolithes et galets d'oolithes auxquels s'ajoutent les Foraminifères, Mollusques, Ostracodes et Brachiopodes. La cimentation est radiale fibreuse, en plusieurs générations, avec de nombreux contacts polygonaux. Les processus de compaction mécanique sont absents. Les galets d'oolithes sont de toutes formes (anguleuses à arrondies) et de dimensions parfois décimétriques (analyse de terrain). Ils sont constitués de grainstones de même type que le microfaciès décrit ici (MF4) avec également le même type de cimentation radiale fibreuse. La bordure des galets montre parfois des oolithes cassées (microbrèches). La stratification est oblique et entrecroisée, les laminations, parfois d'épaisseur pluricentimétrique, présentent de fortes variations de granulométrie se traduisant par des discontinuités de type 'hardground' stratiforme. Les granuloclassements à l'échelle centimétrique sont également fréquents. Les *Koninckopora* primitifs (*Dasycladales*, Algues vertes) apparaissent et les galets d'oolithes sont caractéristiques de la Formation de Godin.

MICROFACIES 5 ou MF5 : packstones laminaires à grains micritisés, péloïdes, Foraminifères, Algues Vertes (*Codiacées* nodulaires) et pelotes de Girvanelles. Les oolithes sont toujours présentes associées à des oncoïdes développés à partir de nuclei de Brachiopodes (*Levitusia*) s'observent. Avec ce faciès apparaissent les péloïdes et les grains micritisés : ils sont bien classés et peuvent constituer le nuclei des oolithes, ces dernières étant souvent micritisées. Les grains sont disposés en stratifications obliques de fortes valeurs angulaires (10 à 20°) et entrecroisées. Les fragments d'Echinodermes, de Brachiopodes et de Mollusques sont en nette diminution par rapport aux microfaciès précédents.

Planche 1

Figure 1 : Cavités géopètes irrégulières dans un mudstone à Calcisphères. Les cavités sont remplies d'un fin silt microsparitique à péloïdes granulo-classés. Un ciment sparitique drusique remplit la partie supérieure. Ech 231, ph.ulb1877, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée par la barre de 390 μm . *Irregular geopetal cavities in a calcisphaerid mudstone. The cavities are filled by a fine grained calcite microspar and graded peloids. A spar cement occludes the upper part of the cavity. Sample 231, ph. ulb 1877, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 390 μm .*

Figure 2 : Cavité géopète stratiforme dans un mudstone à matrice micritique homogène renfermant de nombreuses fentes de dessiccation formant un réseau polygonal irrégulier. Ce dernier est à l'origine des fragments mal classés, irréguliers (anguleux à arrondis) entourant la cavité. Celle-ci est remplie par un fin microspar grisâtre et des péloïdes irréguliers. Un ciment sparitique drusique colmate la partie supérieure. Ech 245, ph.ulb 1572, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée par la barre de 390 μm . *Stratiform geopetal cavity in an homogeneous micritic matrix with numerous desiccation cracks forming an irregular polygonal network. This latter has disrupted the original matrix and formed irregular and poorly sorted (angular to rounded) fragments surrounding the cavity. The cavity is filled by a greyish fine grained microspar with irregular peloids. A drusy spar cement occludes the upper part of the cavity. Sample 245, ph. ulb 1572, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 390 μm .*

Figure 3 : Packstone à grands péloïdes arrondis ('stercomes' ? de Gürich, 1906) dans une matrice micritique finement recristallisée en un fin microspar. La matrice est partiellement dissoute et contient des pseudomorphes calcitiques (zones blanches) de sulfates. Les péloïdes, parfois affectés par la dissolution, contiennent des microtubules d'origine cryptalgale (cf. le péloïde de la base de la photo). Ech 682, ph.ulb 1951, microfaciès 10, Formation de 'Lives', Viséen moyen, échelle donnée par la barre de 390 μm . *Peloidal recrystallized packstone. The micrite is partly dissolved and replaced by sulphate pseudomorphs after (white zones). The peloids are large and rounded ('stercomes' ? sensu Gürich, 1906) and contain cryptalgal microtubules (see the peloid at the base of the photograph). Sample 682, ph. ulb 1951, microfacies 10, 'Lives' Formation, Middle Viséan, scale bar = 390 μm .*

Figure 4 : Cavité vadose irrégulière à ciment fibreux ('jaunâtre') asymétrique dans un wackestone à péloïdes mal classés. La base de la cavité est remplie de péloïdes. La cavité est occluse par une sparite drusique blanche. Ech 331, ph.ulb 1807, microfaciès 11, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée par la barre de 950 μm . *Irregular vadose cavity with ('yellowish') asymmetrical cement in a poorly sorted peloidal wackestone. Late sparitic calcite cement occludes the cavity. Sample 331, ph. ulb 1807, microfacies 11, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 950 μm .*

Figure 5 : Packstone 'polygénique' à lumps et caliche remplis de minces fentes de dessiccation et à péloïdes irréguliers mal classés. Des fentes de dessiccation plus grandes s'observent également (coin inférieur droit de la photo). La matrice est un fin microspar calcitique. Ech 297, ph.ulb 1672, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée par la barre de 950 μm . *'Polygenic lumpy packstone with caliche showing thin desiccation cracks. Peloids are present and poorly sorted. Thicker desiccation cracks are also present (lower right corner of the photograph). The matrix is a fine grained microspar. Sample 297, ph. ulb 1672, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 950 μm .*

Figure 6 : Packstone à copeaux microbrèche anguleux, à bords noircis ('type black pebbles', Strasser, 1988) dans une matrice microsparitique contenant quelques plages de calcite finement granulaire. La matrice renferme de nombreuses cavités vadoses géopètes (non figurées). Ech 296, ph.ulb 1652, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée par la barre de 390 μm . *Packstone with angular blackish microbrecciated muddy chips ('black pebbles', Strasser, 1988) in a microparitized matrix displaying a few fine grained calcitic zones. The matrix contain numerous geopetal vadose cavities (not illustrated here). Sample 296, ph. ulb 1652, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 390 μm .*

Figures 7-8 : Packstone à cavités fenestrées irrégulières (loferite) et péloïdes en agrégats bothryoïdes. Les cavités présentent des figures de dissolution et sont initialement remplies de ciments lamellaire, légèrement asymétrique, puis drusique. Ech 362, ph.ulb 1621 et 1816 respectivement, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée respectivement par les barres de 950 μm et 390 μm . *Fenestral packstone (loferite) with peloids and bothryoidal aggregates. The cavities have dissolved zones initially filled by lamellar, slightly asymmetrical, then drusic cements. Sample 362, ph. ulb 1621 and 1816 respectively, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 950 μm and 390 μm , respectively.*

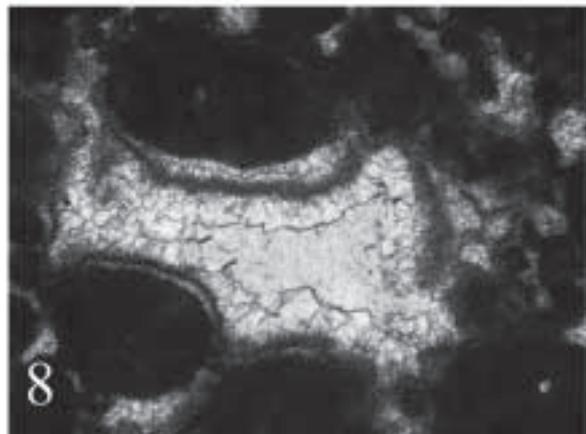
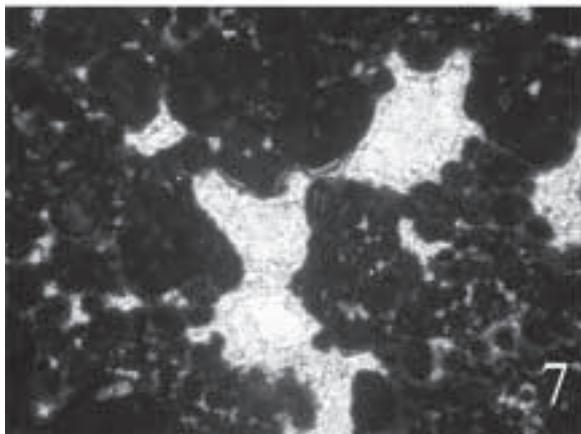
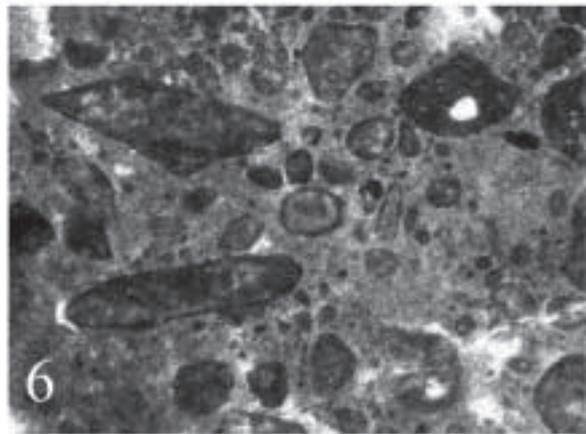
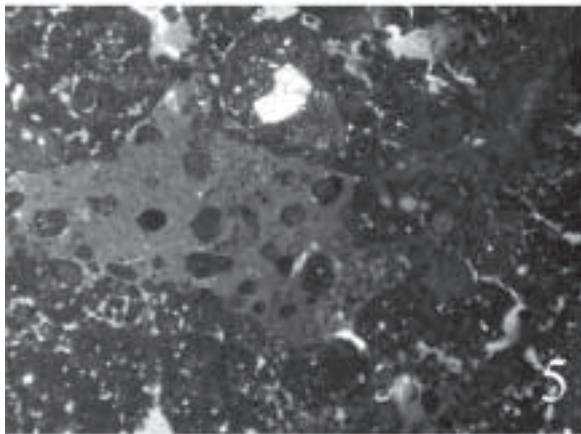
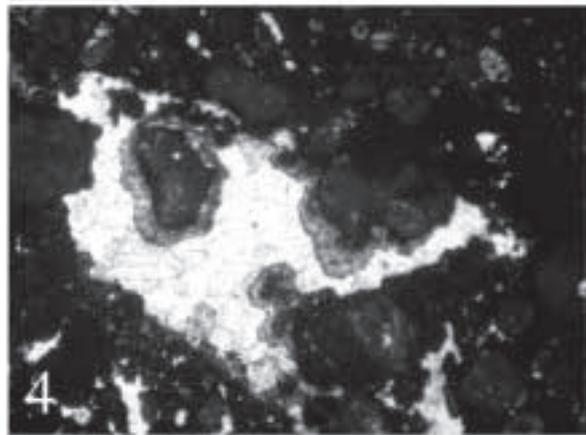
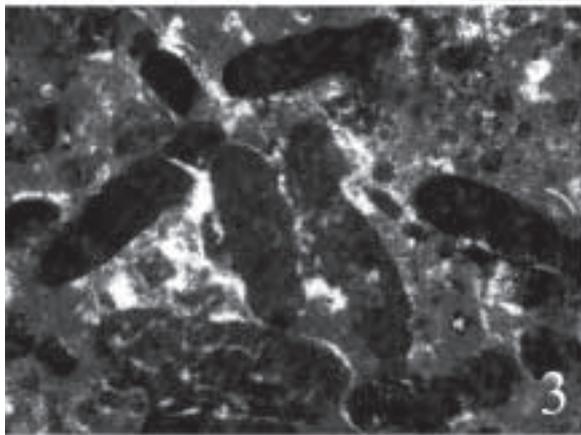
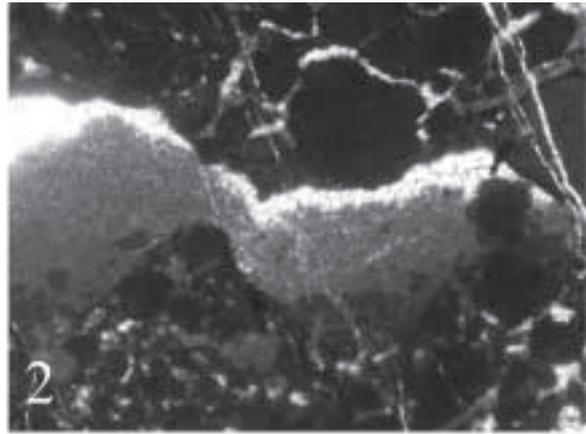
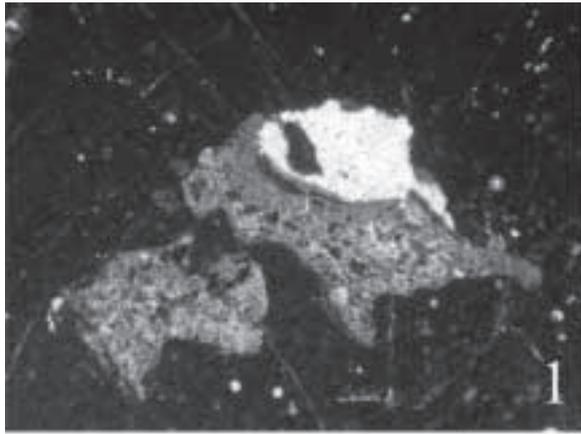


Planche 2

Figure 1 : Cavité irrégulière stratiforme à remplissage de fin ciment fibreux ('jaunâtre') collomorphe suivi de calcite drusique blanchâtre dans un mudstone à matrice microsparitique homogène. La cavité montre également des ciments micritiques en 'ménisques' sous forme de 'ponts micritiques' en différents points de contact. Ech 336, ph.ulb 1801, microfaciès 11, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée respectivement par la barre de 390 μm . *Irregular stratiform cavity filled by a ('yellowish') collomorph fibrous cement followed by whitish drusitic calcite in a microsparitized mudstone. The cavity displays also micritic meniscus cements ('micritic bridges') at different contact points. Sample 336, ph. ulb 1801, microfacies 11, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 390 μm .*

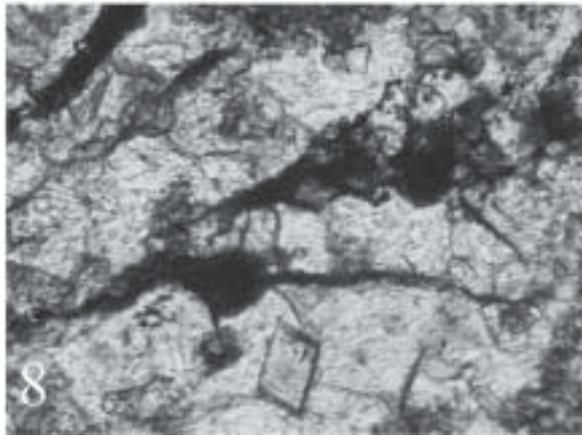
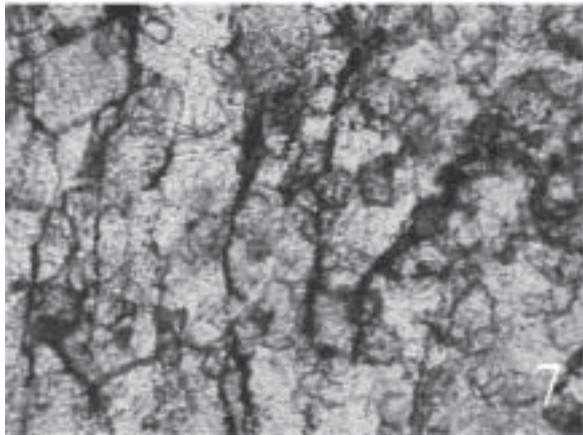
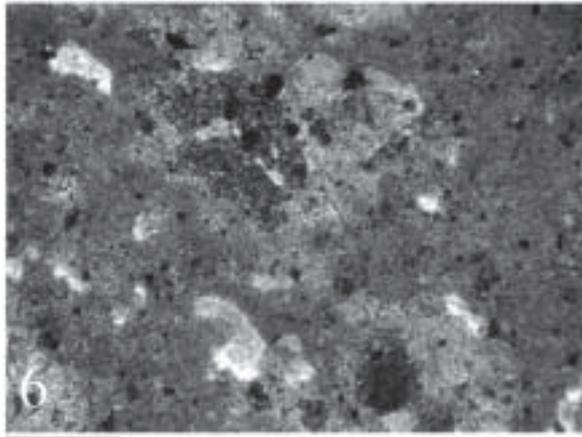
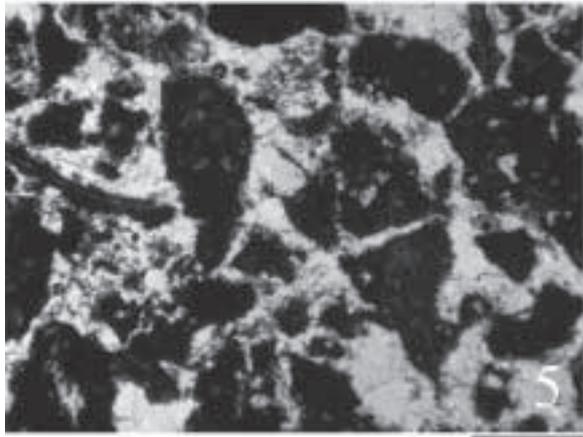
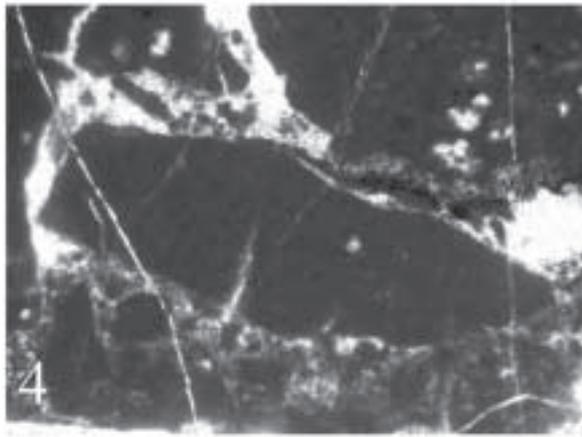
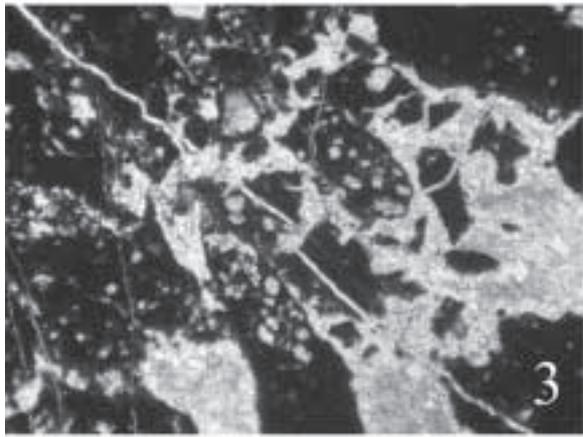
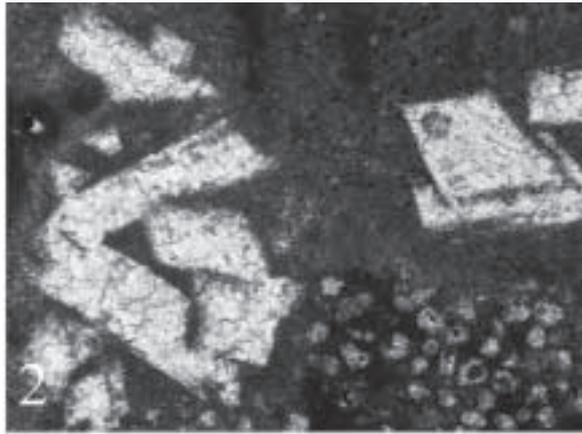
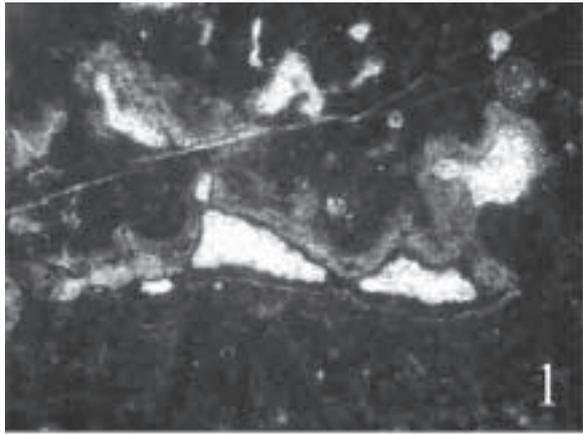
Figure 2 : Calcrète à matrice microsparitique très fine et homogène riche en pseudomorphes de cristaux sulfatés. Des résidus de la matrice (Bactéries ?) sont visibles dans les pseudomorphes. La partie inférieure de la photo montre une partie dissoute d'une codiacée nodulaire. Ech 247, ph.ulb 1873, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée par la barre de 390 μm . *'Homogeneous' microsparitized calcrete with numerous pseudomorphs after sulphates. Residues of the matrix (bacteria ?) are still visible in the former sulphate crystals. The lower part of the photograph shows the dissolved part of nodular codiacean. Sample 247, ph. ulb 1873, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 390 μm .*

Figures 3 et 4 : Mudstone à copeaux ou microbrèche (intraformationnelle, 'collapse breccia'). Copeaux anguleux à quadrangulaires dans un ciment calcitique blanc-gris remplaçant des cristaux de sulfates. Les copeaux contiennent eux-mêmes des pseudomorphes calcitiques de sulfates. La roche prend alors l'apparence d'un 'faux' packstone ou d'un 'faux' grainstone. La figure 4 souligne la forte hétérogénéité granulométrique des copeaux qui contiennent des fentes de dessiccation. Ech 263, ph.ulb 1868 et 1595 respectivement, microfaciès 11, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée respectivement par les barres de 950 μm et 390 μm . *Intraformational mudstone with numerous angular to quadrangular chips or 'collapse breccia' cemented by calcitic pseudomorphs after sulphates. The chips contain also pseudomorphs. The rock is a 'false' packstone or a 'false' grainstone. Figure 4 highlights the strong size heterogeneity of the microbreccia which contains desiccation cracks. Sample 263, ph. ulb 1868 and 1595 respectively, microfacies 11, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = respectively 950 μm and 390 μm .*

Figure 5 : Mudstone-packstone (ou 'faux' grainstone, cfr figs. 3 et 4) à copeaux ou microbrèches anguleuses de mudstone-bindstone cryptalgaires. La cimentation de calcite blanchâtre à grisâtre est liée au remplacement de cristaux sulfatés. De nombreuses fentes en coin découpent les fragments. Ech 411, ph.ulb 1884, microfaciès 11, transition Terwagne/Neffe, transition Viséen inférieur/Viséen moyen, échelle donnée par la barre de 950 μm . *Mudstone-packstone (or 'false' grainstone, see figs. 3 and 4) with angular chips and microbreccia of cryptalgal mudstone-bindstone. The cement is due to the replacement of former sulphate crystals. Numerous desiccation cracks are fragmenting the matrix. Sample 411, ph. ulb 1884, microfacies 11, transition Terwagne/Neffe, , Lowe-Middle Viséan, scale bar = 950 μm .*

Figure 6 : Fin dolostone à matrice dolomicrosparite hétérogène et recristallisée renfermant des résidus péloïdiques et des résidus de la matrice micritique d'origine. Quelques pseudomorphes de sulfates s'observent sous forme plages de calcite blanchâtre. Les plus petits péloïdes noirs sont riches en pyrite. La texture du faciès est crayeuse. Ech 650, ph.ulb 1916, microfaciès 11, Formation de 'Lives', Viséen moyen, échelle donnée par la barre de 950 μm . *Fine grained dolostone with an heterogeneous recrystallized dolomicroparitic matrix containing peloidal and micritic residues. A few pseudomorphs after sulphates are present. The smallest blackish peloids are rich in fine grained pyrite. The texture of the facies is 'chalky'. Sample 650, ph. ulb 1916, microfacies 11, 'Lives' Formation, Middle Viséan, scale bar = 950 μm .*

Figures 7 et 8 : Longs filaments microbiens (fongiques) irréguliers, dichotomes, subparallèles (figure 7) dans une cavité calcitique de dissolution de sulfates. La roche est une fine dolomicrite (dolocrète). Quelques cristaux de dolomite idiotopique sont présents dans la cavité à proximité immédiate des filaments (figure 8). Ech 347, ph.ulb 1784 et 1783 respectivement, microfaciès 12, Formation de Terwagne, Viséen inférieur, échelle donnée les barres de 100 μm . *Long, dichotomic, subparallel (figure 7) or irregular microbial (fungal) filaments inside a calcitic cavity after sulphate dissolution. The matrix is a fine grained dolomicrite (dolocrete). A few idiotopic dolomitic crystals are associated with the filaments (figure 8). Sample 347, ph. ulb 1784 and 1783 respectively, microfacies 12, Terwagne Formation, Lower Viséan, scale bar = 100 μm .*



MICROFACIES 6 ou MF6 : grainstones laminaires à oolithes et Algues vertes. Les laminations sont de même type que dans MF5, fortement obliques et entrecroisées, et parfois riches en Brachiopodes ('lumachelles'). Les variations de granulométrie sont fréquentes et le classement des grains est variable, de bon à assez mauvais. Les fortes variations de granulométrie se traduisent sur le terrain par de nombreuses discontinuités stratiformes, parfois érosives, de type 'hardground' se suivant sur quelques mètres. Les éléments sont subarrondis à arrondis et de taille inframillimétrique à plurimillimétrique. Les oolithes sont de diamètre oscillant entre 0,25 et 1,5 mm, le diamètre moyen étant centré sur 0,5 mm. Outre les bioclastes précédents (Foraminifères, Brachiopodes, Mollusques, Ostracodes, rares débris de Coraux, Echinodermes, Algues), les Calcisphères apparaissent sporadiquement en même temps que les lumps. Les Algues (*Aphralysia*, Girvanelles et Codiacées nodulaires) forment des encroûtements irréguliers autour des bioclastes. Les processus de micritisation sont bien développés autour des bioclastes ('grains micritisés') et des oolithes. La cimentation calcitique est radiale fibreuse, bien développée dans la Formation de Godin, fibreuse et drusique dans la Formation de Neffe. La cimentation syntaxiale est parfois bien développée dans les deux formations. Les joints de pression-dissolution sont occasionnellement présents et à l'origine de contacts suturés entre les oolithes. La dolomitisation apparaît pour la première fois de manière importante et est surtout présente dans la Formation de Neffe.

MICROFACIES 7 ou MF7 : packstones à oolithes, bahamites, grains micritisés et péloïdes. Les quelques bioclastes présents sont constitués de Lamellibranches, Brachiopodes, Gastéropodes, Echinodermes, Foraminifères, Ostracodes et Algues diverses, parfois nodulaires pour les Codiacées. Ils sont fréquemment oolithisés et micritisés et se regroupent en agrégats de plusieurs éléments (entre 3 et 8) formant des grapestones millimétriques (Illing, 1954). La structure laminaire, caractéristique des trois microfaciès précédents, est encore présente, mais moins bien définie, surtout soulignée par les débris d'Echinodermes et de Brachiopodes. Les lamines sont parfois entrecroisées et présentent un mauvais classement.

MICROFACIES 8 ou MF8 : packstones à Girvanelles et Calcisphères. Les bioclastes des faciès précédents s'observent de manière sporadique, en particulier de rares Foraminifères. Les spicules d'Eponges calcaires apparaissent avec ce faciès. Les Girvanelles forment des nodules et péloïdes de toutes dimensions et constituent l'élément dominant de la microflore. Cette dernière renferme également des Issinelles, Kaménidés et Codiacées nodulaires en buissons millimétriques. Le faciès est fréquemment dolomitisé.

MICROFACIES 9 ou MF9 : wackestone à Ostracodes, Calcisphères et Cyanophycées. Les spicules d'Eponges sont fréquents et associés aux mattes cryptalgaires de Cyanophycées. Les Calcisphères sont souvent très abondantes et rappellent le 'microfaciès 9' (ou 'calcisphérite') typique

des milieux restreints du Givétien franco-belge (Préat & Mamet, 1989). Les Ostracodes, souvent en valves jointives et les Mollusques (Lamellibranches et Gastéropodes) sont fréquents. La microflore algale est bien représentée par des Issinelles, Kamaénidés, Proninelles, Labyrinthocnidés et Codiacées nodulaires. Les Foraminifères sont très rares. De nombreux copeaux cryptalgaires ('algal chips') subarrondis à anguleux forment de minces niveaux laminaires. Les péloïdes sont abondants, les proto-oolithes s'observent rarement. La matrice se présente sous forme d'un fin microspar. Les processus de pression-dissolution sont à l'origine de stylolithes bitumineux.

MICROFACIES 10 ou MF10 : bindstones à Spongiostromates (Pl. I, Fig. 3) et Serpulides. Les Spongiostromates (*Aphrostroma tenerum*, *Spongiostroma bacilliferum*, *Chondrostroma intermixtum* sensu Gürich, 1906) présentent des laminations ondulantes à planaires typiques sur le terrain. Des structures fenestrées laminoïdes soulignent un fin litage conférant au sédiment l'aspect d'une loférite. Les Spongiostromates forment également des petits dômes stromatolithiques de plusieurs millimètres de hauteur en 'bouffée de pipe'. Les Calcisphères et Ostracodes sont toujours présents, mais en diminution par rapport au microfaciès précédent. Les éléments de la macrofaune marine (Echinodermes, Brachiopodes) sont exceptionnels. Les Serpulides sont fréquemment associés aux Spongiostromates et sont morphologiquement assez semblables aux Archaeogastéropodes décrits par Burchette & Riding (1977). Quelques Algues vertes (Codiacées nodulaires, Kamaénidés) et spicules d'Eponges calcaires s'observent également. Des pseudomorphes de sulfate sont présents dans de minces fissures qui recoupent ou prolongent la structure laminaire. Les *Palaeomicrocodium* s'observent pour la première fois et sont associés à des fentes de retrait. La matrice micritique présente une structure grumeleuse ('clotted fabric') formée de petits péloïdes dans une microsparite fine. Les stylolithes bitumineux sont très abondants.

MICROFACIES 11 ou MF11 : bindstones et wackestones à copeaux de mattes cryptalgaires, à pseudomorphes de sulfate, à péloïdes, et calcrètes à *Palaeomicrocodium* et *Fungi imperfecti*. Les mattes se présentent en grands copeaux mal classés (lumps anguleux à subarrondis) inframillimétriques à centimétriques donnant au faciès l'apparence d'un microconglomérat ou d'une brèche intraformationnelle (Pl. II, Fig. 3, 4, 5). Les lumps renferment d'abondants péloïdes et stercomes (sensu Gürich, 1906) formant des lamines grossières rappelant celles des mattes cryptalgaires. Les organismes sont pratiquement absents à l'exception de quelques Ostracodes, Serpulides (de même type que précédemment) et Calcisphères. Seuls les *Palaeomicrocodium* s'observent parfois de manière abondante ; ils sont associés à des agrégats irréguliers riches en minces croûtes jaunâtres de ciments fibreux (Pl. I, Fig. 4) remplissant des fissures circumgranulaires. Ces agrégats sont semblables aux glaebules, caliches ou pisolites, et grains à structure alvéolaire décrits de nombreuses fois dans la

littérature, et particulièrement dans dans le Carbonifère du Massif de la Vesdre (Maes *et al.*, 1989) et du Pays de Galles (Wright, 1983). Ils sont associés à des rhizoïdes contenant des reliques de matière organique. Les cavités de dissolution sont fréquentes et sont remplies par un silt vadoso péloïdique. Un ciment fibreux leur est également associé et est souvent asymétrique (ciment en ménisque, Pl. II, Fig. 1), ne tapissant que le toit des cavités. Ces cavités sont associées à des réseaux de microfissures de retrait contenant également du silt. De plus grandes fissures horizontales de 'décollement' sont remplies d'argiles. Le sédiment contient des pseudomorphes inframillimétriques à millimétriques de sulfates (anhydrite?, gypse?) ayant des habitus en cristaux lenticulaires, aciculaires et quadrangulaires. Ces pseudomorphes sont remplis de microspar calcitique homogène qui est également présent entre les copeaux et lumps. Le microspar dolomitisé prend alors un aspect 'crayeux' (Pl. II, Fig. 6). Bien souvent ces copeaux, qui contiennent de fines fissures profondes présentent une disposition en 'puzzle' indiquant un morcèlement sur place des mattes (bindstones). Des filaments microbiens de *Fungi imperfecti* et bactériens (Préat *et al.*, 2003) sont rencontrés dans ce faciès : ces filaments (parfois très longs, plusieurs centaines de microns), parfois dichotomiques, traversent l'ensemble des grains agrégés ou s'observent dans les cavités et les fentes. Ils sont parfois repoussés par une fine dolomite (5 à 15 microns) idiotope et s'observent alors le long des contacts intercrystallins. De petits cristaux lenticulaires (gypse ?) sont associés à la dolomite et semblent détachés de petites rosettes. Les joints stylolithiques bitumineux sont également présents. Ce microfaciès est bien développé dans la Formation de Terwagne où les cavités vadoses (Pl. I, Fig. 4) sont nom-

breuses et grandes (subcentimétriques). Il est également présent dans la Formation de 'Lives' mais de manière moins spectaculaire. Le MF11 –tout comme le MF12, cf. ci-dessous– étant assez mal illustré dans la littérature et étant particulièrement bien développé dans la série d'Avesnes-sur-Helpe, nous avons pensé utile de l'illustrer (Planches 1 et 2).

MICROFACIES 12 ou MF12 : calcrète à cavités de dessiccation ((Pl. I, Figs 1, 2, 7, 8), glaebules et 'black pebbles' (Pl. I, Figs 5, 6), dolostone à pseudomorphes de sulfates (Pl. II, Fig. 2) et dolocrètes. Le faciès est de même type que le précédent, mais avec un important développement de structures liées à la présence des sulfates : 'tapis' de cristaux aciculaires et lenticulaires, nodules centimétriques et décimétriques, et entérolithes forment des niveaux pluridécimétriques alternant avec des dolomies et dolomicrosparites très fines, homogènes, à laminations ondulantes ou planes parallèles. De nombreux copeaux et lumps identiques aux précédents sont interstratifiés. D'abondants *Fungi imperfecti* et filaments bactériens occupent le plus souvent l'espace intercrystallin (Pl. II, Fig. 7, 8). Ce faciès est associé à de nombreux diastèmes et minces joints d'argile rougeâtre caractéristique sur le terrain dans la Formation de Terwagne. Les structures entérolithiques sont particulièrement bien développées au sommet de la partie visible de la Formation de 'Lives'.

2.2. Interprétation des microfaciès et modèle sédimentaire

La séquence standard des 12 microfaciès montre le passage des milieux marins (MF1 et 2) aux milieux restreints (MF8, 9 et 10), émergés (MF11) ou évaporitiques (MF

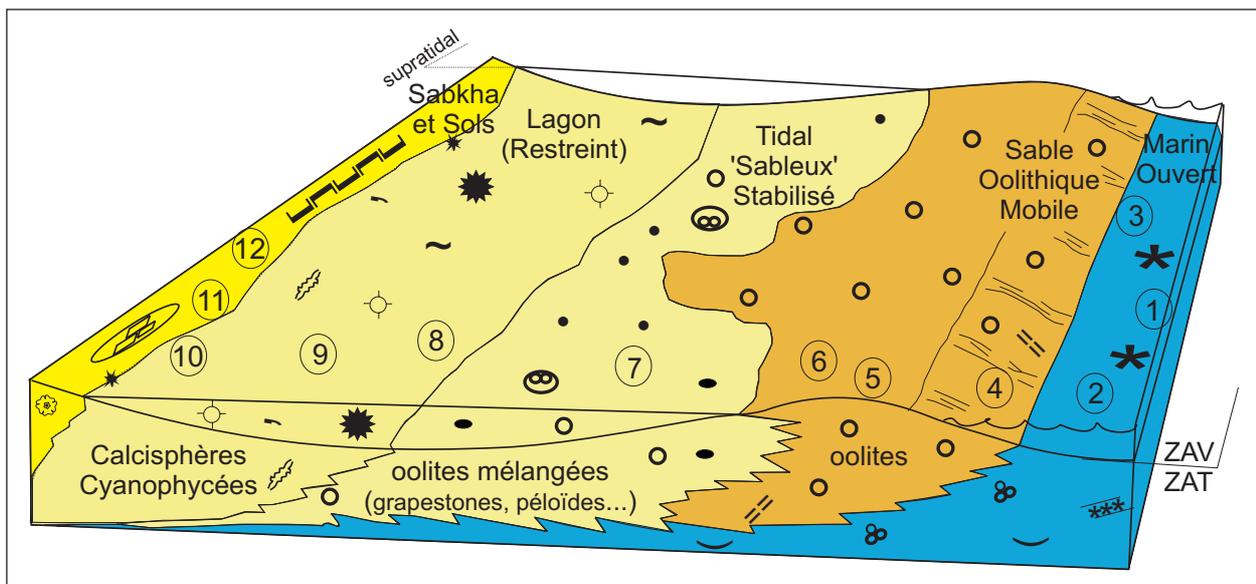


Figure 3. Modèle sédimentaire de la plate-forme carbonatée du Viséen inférieur et moyen de l'Avesnois. Les numéros correspondent aux microfaciès de la séquence standard (voir texte). *Sedimentary model of the Viséan carbonate platform. The numbers correspond to the microfacies types of the standard sequence (see text).*

12) (Fig. 3). Les milieux lagunaires sont protégés par une barrière oolithique (MF3, 4 et 5) de forte énergie, rapidement efficace suite à une cimentation marine précoce. Les caractéristiques majeures du système sédimentaire sont établies à partir de l'interprétation des microfaciès, dont les éléments les plus importants sont repris ci-dessous (et Figs 2 et 3):

Les microfaciès 1, 2 et 3 représentent le domaine marin le plus ouvert: les bioclastes sont variés, dominés par les Echinodermes et les Brachiopodes (MF1 et 2), et les Foraminifères (MF3). La microflore algale, peu développée, contient quelques Algues Rouges. Le milieu est assez calme comme l'indique la matrice micritique légèrement argileuse. Les processus de décantation sont la règle. La plupart des bioclastes présentent cependant des indices de transport (altération en piccotis, disposition en laminations obliques, granuloclassesments), et ne sont pas en place. L'épaisseur des laminations, encore reconnaissables malgré l'intensité de la bioturbation, suggère des tempestites distales pour les plus minces ou intermédiaires pour les autres (*sensu* Aigner, 1985). Ces tempestites sont assez semblables à celles décrites dans la Carbonifère d'Algérie (Sebbar *et al.*, 2000), de France et de Belgique (Mamet & Preat, 2003). La microflore algale *in situ* (Algues Rouges) est peu développée indiquant la zone dysphotique (Mamet, 1991) pour les microfaciès 1 et 2, et ensuite la zone euphotique pour le microfaciès 3 qui contient des Algues Vertes. Le milieu est donc situé à proximité de la base de la zone d'action des tempêtes (ZAT) pour le MF1 et juste au-dessus pour le MF2. Le microfaciès 3 est situé à proximité de la base de la zone d'action des vagues (ZAV) comme l'indiquent les stratifications entrecroisées. Les microfaciès 1 et 2 sont mal représentés dans la série.

Les microfaciès 4, 5 et 6 constituent par contre l'élément essentiel des formations de Godin et de Neffe. Ils représentent des environnements de forte à très forte énergie comme l'indiquent les stratifications obliques et leurs 'foresets', les stratifications entrecroisées, les discontinuités érosives et les microbrèches de dimensions décimétriques (Formation de Godin). Les grains sont souvent cassés (oolithes, grapestones, fossiles), ils présentent des variations abruptes de granulométrie ou des granuloclassesments entre les différentes lamines qui les contiennent, et représentent des mélanges de communautés provenant de milieux aussi bien ouverts (MF1 à 3) que restreints (MF7 et 8). L'ensemble de ces caractères indique une barrière oolithique mise en place dans un contexte d'énergie élevée dans la ZAV. L'abondance des fragments d'Echinodermes et de Brachiopodes place le MF3 en position d'avant-barrière, alors que les bahamites non remaniées du MF6 indiquent l'arrière-barrière. La cimentation de calcite radiale fibreuse est importante dans les trois microfaciès: elle est précoce comme le montrent les contacts polygonaux, l'absence de contacts suturés entre les grains et les microbrèches anguleuses qui contiennent le même type de ciment. Cette barrière était donc précocement

effective et a pu jouer le rôle d'un écran séparant un domaine restreint (microfaciès 7 à 12) de celui de mer ouverte. L'abondance des Cyanobactéries, et principalement des Girvanelles, indique la zone euphotique. Ces sédiments, qu'il s'agisse de packstones ou de grainstones, contiennent un fin microspar blanchâtre remplissant soit des cavités irrégulières, soit des pseudomorphes à contours géométriques encore bien nets. Ce microspar, à l'origine de 'faux ciments', est lié au remplacement de sulfates de reflux provenant de la percolation des saumures des microfaciès 12. Un tel microspar a récemment été décrit dans les couches de passage dévono-carbonifère

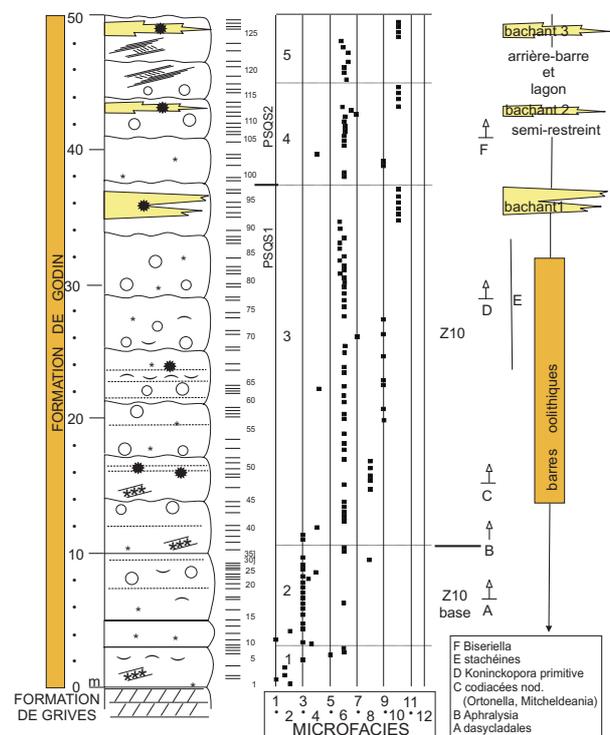
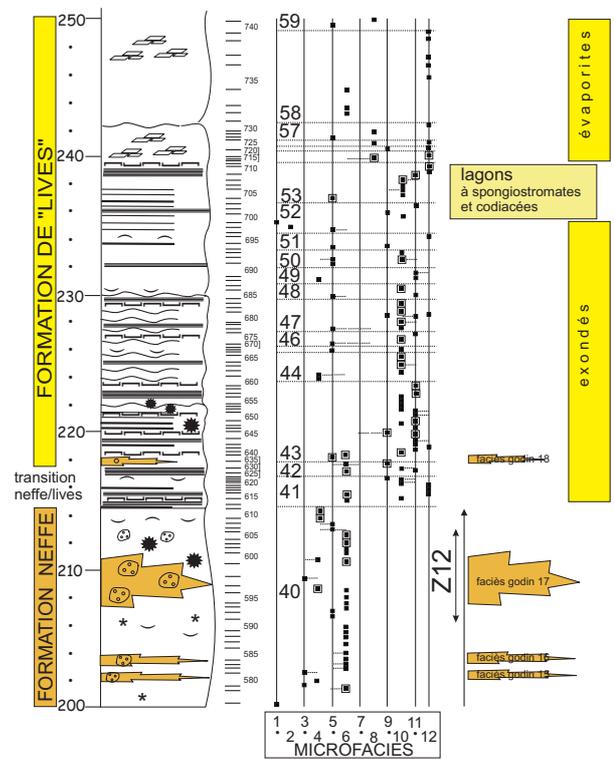
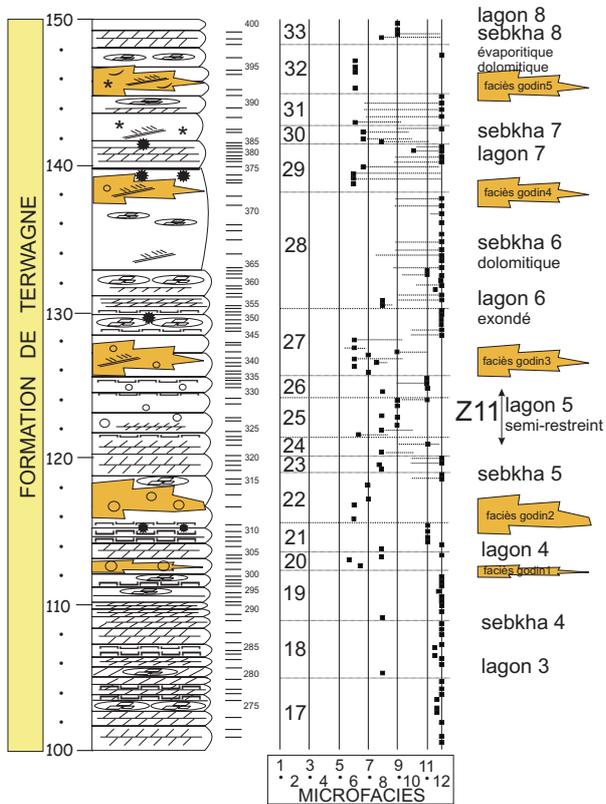
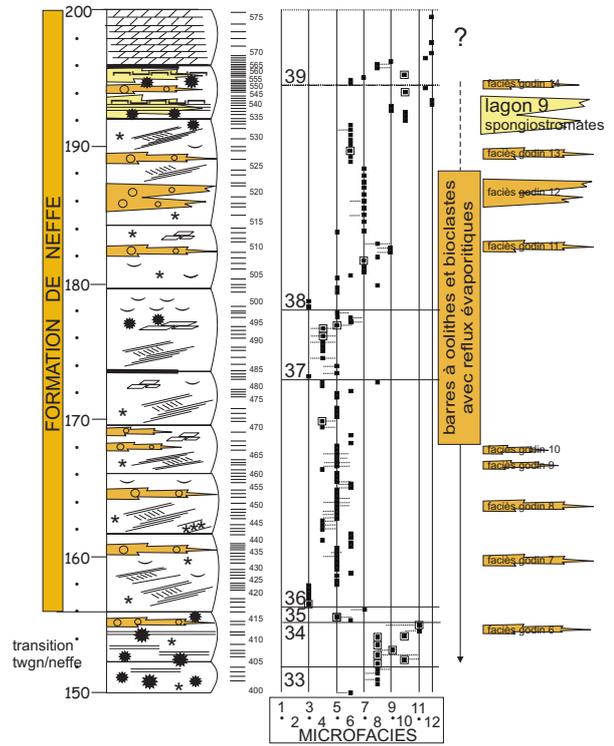
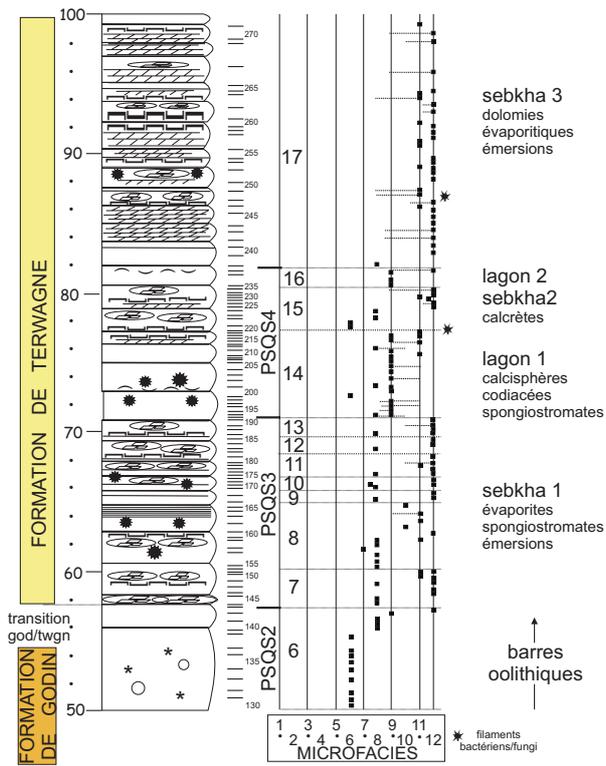


Figure 4. Coupe lithologique, nom des formations viséennes, position des échantillons, séquence standard des 12 microfaciès, succession des paraséquences élémentaires et ensembles de paraséquences (PSQS), zonation des Foraminifères *sensu* Mamet (1974), zonation des Algues et interprétation des paléoenvironnements et systèmes sédimentaires. Viséen de la Carrière de Bocahut, Avesnes-sur-Helpe. Les récurrences temporaires de faciès Bachant (Carpentier, 1913; Mamet, 1964a) et Godin ont été indiquées par des interdigitations proportionnelles à leurs épaisseurs. Légende des symboles : voir figure 2b. *Lithological column and names of the formations of the Viséan of the Bocahut quarry located west of Avesnes-sur-Helpe. Other columns indicate : position of the samples, standard sequence of the 12 microfacies, succession of the elementary parasequences and parasequence sets PSQS), foraminiferal zonation (Mamet, 1974), algal zonation and interpretation of the paleoenvironments. Sporadic recurrences of Bachant (Carpentier, 1913; Mamet, 1964a) and Godin facies are indicated as interdigitations proportional to their thicknesses. Legend of symbols : see figure 2b.*



à Avesnes-sur-Helpe et à Anseremme (Mamet & Pr at, 2003). Cette diagenèse, parfois présente dans les faciès lagunaires (MF7 à 10), est surtout caractéristique de la Formation de Neffe. Elle a fortement réduit la porosité initiale des sédiments oolithiques.

Les microfaciès 7 à 10 correspondent à un changement faunique et floristique majeur par rapport aux faciès précédents : les Ostracodes, Calcisphères, Codiacées nodulaires et Cyanophycées deviennent prépondérants et dominant de manière endémique. Les organismes du milieu marin ouvert ont disparu et ne s'observent qu'occasionnellement dans de minces niveaux à la faveur de périodes de plus forte énergie (marées ou houles exceptionnelles). Le milieu est restreint et semblable aux faciès de plate-forme interne de nombreuses séries géologiques (Osleger & Read, 1991 pour ne prendre qu'un exemple) ou des Bahamas pour ne prendre qu'un seul exemple dans l'Actuel. Les structures sédimentaires (laminations diverses), les quelques bioclastes de mer ouverte et les oolithes du MF7 permettent de situer ce faciès dans la prolongation immédiate des faciès d'arrière-barrière, vient ensuite un milieu lagunaire de plus en plus restreint d'abord domin e par les Calcisphères (MF8), puis par les Ostracodes lagunaires (MF9) et enfin par les tapis   Spongiostromates (MF10). Les structures fenestrées ne sont jamais abondantes excepté dans le MF10 qui peut présenter l'aspect d'une lof erite. Ce dernier microfaciès est caract eris e par les conditions les plus intertidales et subit l'influence de processus vadoses (*Palaeomicrocodium*).

Les microfaciès 11 et 12 ne contiennent plus d'organismes *in situ*, excepté les *Fungi imperfecti* et les bactéries associ es ou non   une végétation halophyte ayant laiss e des réseaux de rhizoïdes dans les sédiments. Les *Palaeomicrocodium* ont également colonis e l'environnement. Ce milieu supratidal à tendance évaporitique (MF11) ou évaporitique franc (MF12) comme l'indiquent respectivement les pseudomorphes et nodules isol es de sulfates, et les structures entérolithiques. Cette forte salinité est également indiquée par les dolomies p en econtemporaines. Les fentes de dessiccation, les glaebules et autres agrégats indiquent des périodes d'émersion avec formation de calcr etes ou de dolocr etes. Ces paléosols sont envahis par des *Fungi* lorsque les périodes d'exposition sont prolongées et les conditions devenues totalement défavorables pour les autres organismes (Préat *et al.*, 2003). Ces conditions extrêmes sont surtout rencontrées dans la partie médiane de la Formation de Terwagne (cf. 'sebkha 3', figures 4B et 4C) et les *Fungi* sont les plus abondants au niveau de la transition 'lagon 2-sebkha 3' et 'sebkha 3-lagon 3' (mêmes figures). Lorsque l'aridité est extrême le milieu devient évaporitique avec d evveloppement des faciès de sebkha (formations de Terwagne et de 'Lives'). La croissance des sulfates disloquent alors les mattes (Cyanophycées) supratidales.

Le modèle sédimentaire (Fig. 3) est donc celui d'une plate-forme carbonatée à tendance évaporitique, peu profonde, dominée par les environnements restreints à

Cyanophycées ou Ostracodes lagunaires. Ces milieux passent aux paléosols et sebkhas suite aux variations relatives du niveau marin et aux changements climatiques. Cette plate-forme est fermée par une barrière oolithique prot egant le domaine lagunaire de celui de mer ouverte. La barrière ne fonctionne pas de manière permanente et des récurrences de faciès oolithiques interrompent épisodiquement la sédimentation lagunaire.

3. Logs stratigraphiques

Les figures 4A   4E synthétisent les données de terrain et enregistrent l'évolution et leur interprétation. La Formation de Godin expose 6 paraséquences correspondant à des barres oolithiques avec 3 interpénétrations de faciès lagunaires de type 'Calcaire de Bachant' (Bachant 1, 2, 3). La Formation de Terwagne est composée de 28 paraséquences souvent tronquées correspondant à l'interstratification de 8 intervalles lagunaires (lagon 1-8) et de 8 sebkhas (sebkha 1-8) et de niveaux oolithiques semblables à ceux observ es dans la Formation de Godin (Godin 1   5). La Formation de Neffe présente des similitudes avec celle de Godin et correspond à 5 (ou 6 ?) paraséquences de barres oolithiques-bioclastiques avec reflux évaporitique. Enfin, la partie exposée du Calcaire de 'Lives' montre au moins 18 paraséquences tronquées de lagon continuellement exond e avec d evveloppement de paléosols et niveaux d'évaporites. Les récurrences de faciès de type Godin se poursuivent jusqu'au sommet de la coupe (Godin 6   18).

4. Analyse séquentielle

4.1. Introduction

Suite au nombre  lev e d'échantillons (750) la courbe lithologique des microfaciès est fort détaillée et présente une résolution infra-métrique. Son examen révèle différentes valeurs de cyclicité infram etrique   plurimétrique. Une limite de cycle à la plus petite échelle qui soit, c'est-à-dire à l'échelle des 'paraséquences élémentaires de 5^{eme} ordre (Van Wagoner *et al.*, 1987 ; Vail *et al.*, 1991) a été placée conventionnellement à chaque ouverture marine observée. Ces ouvertures ont valeur de petites surfaces d'inondation et se marquent dans l'évolution des environnements par   un retour à droite des microfaciès dans la s equance standard (Fig. 4).

4.2. Cycles de 5 e ordre

L'ensemble des paraséquences élémentaires montre que la sédimentation est contrôlée par deux grands types de cycles (cycles subtidaux peu profonds et cycles péritidaux) ou motifs de base qui se répètent continuellement avec de légères variations. Les cycles subtidaux constituent le

motif de base des formations de Godin et de Neffe, les cycles péritidaux caractérisent les formations de Terwagne et de 'Lives'.

Au total 58 cycles ont été reconnus ce qui donne environ 4 m pour l'épaisseur moyenne. Cette dernière est seulement indicative car elle intègre une forte dispersion des valeurs depuis des cycles pluridécamétriques (cycle n°3 épais de 28 m dans la Formation de Godin) jusqu'aux cycles inframétriques, très nombreux dans les formations de Terwagne et de 'Lives'. Les limites de ces cycles peu épais sont difficilement reconnaissables suite à l'importance des processus diagénétiques liés aux périodes d'exposition subaérienne et d'émersion franche. Ces cycles sont aussi souvent tronqués.

4.3. Cycles subtidaux peu profonds d'énergie modérée à forte (ou 'cycles de barrière')

Les cycles subtidaux peu profonds sont composés d'amalgames de packstones et de grainstones (MF3 à 7) mis en place dans la ZAT, à proximité ou dans la ZAV, sous forme de bancs massifs, épais (plurimétriques) à nombreuses laminations planes parallèles, obliques et entrecroisées. Les bancs présentent une légère évolution strato- et granulocroissante traduisant une diminution progressive de la bathymétrie et une augmentation de l'énergie. Les bioclastes transportés en masse ou non, brisés ou non, roulés, oolithisés, et les microbrèches de nature, forme et dimension variées (très grandes dans la Formation de Godin) soulignent l'importance des courants dans la mise en place des amalgames. Les courants sont parfois d'énergie forte à très forte comme l'indiquent les surfaces ou discontinuités érosives bien visibles sur le terrain (= 'hardgrounds érosifs' généralement plans, cf. Fig. 4A du log de la Formation de Godin). Les discontinuités sont chenalisées ou non. Les stratifications entrecroisées et les variations de granulométrie associées aux structures laminaires montrent que ces courants changeaient fréquemment d'intensité et de direction. L'empilement de ces amalgames a dû mettre en place des dunes sédimentaires formant barrière.

Suivant la nature prédominante des grains, deux variétés majeures de cycles sont reconnues : les cycles subtidaux bioclastiques et les cycles subtidaux oolithiques. Dans les deux cas, ils résultent de l'évolution de la barrière, les premiers assurant la transition vers le domaine marin franc (ou plate-forme ouverte/externe), les seconds vers le domaine lagunaire restreint (ou plate-forme fermée/interne).

(1) Les cycles subtidaux bioclastiques (cycles n°1, 2, 36 et 38 pro parte) sont constitués de packstones et de grainstones à Paléosiphonocladales, Echinodermes, Brachiopodes, Ostracodes et rares Foraminifères (MF1-2-3). La structure laminaire et les processus de bioturbation indiquent une mise en place rapide liée à des courants temporaires (ZAT) et/ou permanents (ZAV) ayant remanié des prairies à Crinoïdes

et des bancs algaires. Les sédiments sont peu affectés par la diagenèse (dissolutions limitées et quelques pseudomorphes de sulfates liés au reflux de saumures en provenance du domaine lagunaire). Suite à l'importance des remaniements, les cycles sont incomplets et remplacés par des amalgames. Leur succession à l'échelle des ensembles de paraséquences (4^e ordre) est légèrement stratocroissante dans les formations de Godin et de Neffe, et traduit une progradation des sédiments vers le large (transition 'continue' des MF1-2 aux MF4-5-6). Cette évolution, plus marquée dans la Formation de Godin, peut se comparer à celle mise en évidence à la transition Eifélien-Givétien dans le bassin de Dinant (Kasimi & Préat, 1996) dans un domaine marin parsemé de bioconstructions à Coraux et Stromatopores. Au terme de cette évolution un domaine de plate-forme s'est durablement installé (Préat & Mamet, 1989). Bien qu'aucune barrière 'récifale' n'ait été mise en évidence dans la série carbonifère, la transition de la Formation de Godin à celle de Terwagne est de même type que celle du Dévonien Moyen. Dans les deux cas, les bancs sont massifs et les cycles constitués d'amalgames métriques à plurimétriques. Les joints argileux sont absents, renforçant le caractère massif.

(2) Les cycles subtidaux oolithiques (cycles n° 3 à 6, 35 à 40) sont formés de packstones et de grainstones (MF4-5-6) laminaires à oolithes, microbrèches de grapestones et de galets centimétriques à décimétriques d'oolithes (surtout dans la Formation de Godin) auxquels s'ajoutent les bioclastes mentionnés précédemment. Le nucléus des oolithes est composé d'éléments de mer ouverte (Crinoïdes) ou lagunaires (Codiacées et Ostracodes lagunaires) indiquant que ces cycles occupent une position intermédiaire entre les faciès restreints et ceux de mer ouverte. Comme pour les cycles bioclastiques, les laminations sont la règle, de même que les figures érosives. Les cycles sont à nouveau incomplets et constitués d'amalgames. Leur caractère incomplet est renforcé par la compaction différentielle dans les packstones, dont les éléments présentent des contacts suturés. Ces éléments ne s'interpénètrent par contre pas dans les grainstones, étant séparés par deux phases précoces de cimentation radiale fibreuse et drusique. La plupart des oolithes de la Formation de Neffe sont micritisés.

4.4. Cycles péritidaux d'énergie faible (ou 'cycles lagunaires')

Il s'agit de cycles péritidaux *sensu* James (1984), Préat & Mamet (1989), Kasimi & Préat (1996). Ils caractérisent les environnements littoraux peu profonds oscillant entre les zones subtidales/intertidales de faible profondeur (MF7-10) et les zones supratidales et/ou émergées (MF11 et 12). Ces cycles de type 'shallowing-upward' sont sans évolution granulo- et strato(dé)croissantes

particulières. Les séquences présentent des limites indépendantes de la stratification (exemples des cycles n°12, 13, 14, 24 à 27, 39 à 59). Il s'agit d'un problème à part entière, rarement abordé dans la littérature (Préat & Carliez, 1994) qui mérite une étude supplémentaire. La diagenèse (microsparitisations calcitiques et dolomitiques, dolomitisations, dissolutions liées ou non aux sulfates) et les processus de pédogenèse ('agrégation' des matrices, micritisation liée aux microbes) jouent probablement un rôle dans ces problèmes de limites de paraséquences. Il faut également noter que cette succession n'est pas liée à des amalgames.

Suivant l'importance respective des parties émergées (influence vadose, présence des calcrêtes et dolocrêtes) par rapport aux parties subtidales (algaires, bioclastiques à matrice homogène), deux variétés de cycles péritidaux sont reconnus :

- (1) Les cycles lagunaires *sensu stricto*, à base subtidale bien développée (MF8 et 9) (cycles lagunaires subtidaux, n° 7 à 16, 20 à 27, 29 à 33, 41, 42, 44 à 52, 58, 59 ?). Ils sont semblables à ceux du Givétien franco-belge (=rythmes régressifs élémentaires *in* Préat & Mamet, 1989) et sont bien connus dans la littérature (cf. Einsele *et al.*, 1991 pour une bibliographie exhaustive). Leur base est ici composée de wackestones à Calcsphères, de packstones et bindstones à Codiacées nodulaires, Girvanelles et péloïdes, et leur sommet de mudstones à Ostracodes lagunaires et de wackestones à fenestras renfermant quelques fentes de dessiccation. Des passées 'laminaires' à bioclastes plus grossiers (Mollusques, parfois Crinoïdes et Brachiopodes), et plus rarement à oolithes, s'observent à la faveur de mouvements de forte énergie (marées exceptionnelles, tempêtes). De telles passées sont bien connues dans le golfe Persique (faciès type n°6, Purser & Evans, 1973 ; Wagner & Van der Togt, 1973). Les cycles subtidaux traduisent des milieux retraits (faunes et microflore oligospécifiques) probablement en arrière d'une barrière. Ces cycles ne sont pas tous complets : dans la partie où ils sont le mieux préservés (cycles 7 à 16), leur épaisseur moyenne est de 2,4 m, identique à leurs homologues du Givétien (Préat & Mamet, 1989). Les mécanismes à leur origine sont probablement les mêmes, liés aux variations du taux de productivité carbonatée, essentiellement d'ordre biologique, se superposant à un taux de subsidence continu à l'échelle des séquences élémentaires. Wong & Oldershaw (1980) ont été parmi les premiers à développer ce modèle qui contrôle la cyclicité de ce type de sédimentation.
- (2) Les cycles lagunaires fortement affectés par les processus vadoses et pédogénétiques (cycles n° 17 à 19, 28, 34, 35, 43, 52-57). Par rapport aux cycles précédents (cycles lagunaires émergés), ils ont un sommet intertidal à supratidal (MF10 à 12) fort développé, lié à l'altération pédogénétique de leur partie subtidale, parfois encore reconnaissable, malgré une évolution suivant un

processus de type 'inversion diagénétique' (Wright & Tucker, 1991), ou malgré le développement de faciès évaporitiques de type sebkha. L'unité de base du cycle est constituée suivant un ordre croissant d'altération diagénétique des parties inférieures subtidales : (a) de packstones à copeaux algaires, (b) de loférites, (c) de packstones ou 'faux grainstones' à cavités irrégulières, soit microsparitisées, soit sparitisées, partiellement remplies de sédiments internes micritiques et/ou de silts vadoses en une ou plusieurs générations, et enfin, (d) de matrice péloïdique perturbée riche en 'black pebbles' (*sensu* Strasser, 1988), glæbules (Wright, 1983), fentes de retrait et *Fungi* (Préat *et al.*, 2003). Des ciments asymétriques, parfois en ménisques, sont également associés. La faune est quasi-absente (Ostracodes), la '(micro)flore' est représentée par des Stromatolithes, des *Fungi* et Bactéries, des *Palaeomicrocodium*, et indirectement par des rhizoïdes (Préat *et al.*, 2003) où se concentre de la matière organique. Ces cycles sont souvent limités par des joints argileux millimétriques à plurimillimétriques rougeâtres. Dans ce cas, l'identification de terrain est assez facile, et d'autant plus que des nodules calcitiques (pseudomorphes de sulfates), centimétriques à décimétriques, stratiformes s'observent au sommet des cycles. Lorsqu'elle est encore reconnaissable, la base subtidale montre des packstones-bindstones à Codiacées, ou tout simplement une matrice hétérogène à Calcsphères et bioclastes divers (Mollusques, Ostracodes). Les cycles à émergence pourraient donc en partie provenir d'une évolution pédogénétique de certains cycles subtidaux, ou même encore d'autres cycles liés à la présence d'une barrière oolithique comme en témoignent les fantômes d'oolithes dans des cycles dolomités (sommet de la Formation de Terwagne, et transition Terwagne/Neffe). L'épaisseur des cycles n'est pas significative: elle peut être décimétrique (cycle n°45) ou plurimétrique (cycle n°28).

En conclusion les cycles lagunaires (subtidaux et émergés) caractérisent le domaine protégé d'une plate-forme carbonatée fermée par une barrière bioclastique ou oolithique. Les faunes et (micro)flore sont oligospécifiques et endémiques soulignant des conditions environnementales extrêmes (milieux semi-évaporitiques à évaporitiques, expositions à l'atmosphère). Dans ce contexte, les *Fungi* des paléosols de certains cycles tronqués pourraient indiquer un contact prolongé avec l'atmosphère où seules les Bactéries prolifèrent (Préat *et al.*, 2003). De tels paléosols ont déjà été rapportés dans la Formation de Terwagne dans le bassin de la Vesdre (Est de la Belgique) par Maes *et al.* (1989). Selon ces auteurs le climat était aride à semi-aride avec des périodes de pluies saisonnières intermittentes.

4.5. Agencement des cycles (4^e ordre)

Notre analyse suggère que la plupart des cycles sont soit incomplets (milieux 'lagunaires'), soit formés d'amalgames

(milieux ouverts ou semi-ouverts), ce qui rend délicat le regroupement à l'échelle supérieure (4^e ordre ou ensemble de paraséquences élémentaires, *sensu* Van Wagoner *et al.*, 1987). S'agissant également d'une carrière en exploitation à partir de bancs subverticaux aucune surface structurale n'est observable, ce qui rend impossible la reconnaissance de surfaces d'inondation mineures ou majeures ('mfs' et 'MFS', *ibid*). Rappelons également qu'aucun environnement profond n'a été mis en évidence, la profondeur maximale se situant dans la partie proximale de la ZAT au niveau du microfaciès 1. La composition des cycles en termes de microfaciès permet cependant de les agencer facilement les uns par rapport aux autres depuis le domaine de mer ouverte jusqu'au domaine émergé (voir séquence standard 2.2).

Tenant compte de ces limitations dans l'analyse d'une cyclicité de 4^e ordre, les agencements suivants s'observent:

- (1) Dans la Formation de Godin, deux ensembles de paraséquences (PSQS1 et 2): PSQS1 (composé d'au moins 3 paraséquences élémentaires -cycles n°1-2-3) est fortement stratocroissant et granocroissant alors que PSQS2 (cycles n°4-5-6) est agradant ou légèrement stratocroissant.
- (2) Dans la Formation de Terwagne, les ensembles de paraséquences ne peuvent être délimités suite aux nombreuses altérations diagénétiques et phases d'exposition subaérienne. Deux ensembles de paraséquences stratodécroissants peuvent néanmoins être reconnus : il s'agit de PSQS3 comprenant les cycles n°7-13 et de PSQS4 ? composé des cycles n°14-16. Ensuite, l'importance des calcrètes et/ou de la dolomitisation rend aléatoire tout regroupement des cycles en ensembles de paraséquences. Deux évolutions stratodécroissantes semblent présentes, la première des cycles n°17 à 26, la seconde des cycles 27 à 35.
- (3) Les formations de Neffe et de 'Lives' ne permettent pas d'identifier des ensembles de paraséquences de manière sûre malgré des cycles d'épaisseurs fort différentes entre les deux formations. A nouveau, l'importance de la diagenèse vadose et des calcrètes (surtout Formation de 'Lives') sont les facteurs limitants.

Le découpage séquentiel de 4^e ordre est donc illusoire dans cette série viséenne. Seule la Formation de Godin montre une stratocroissance nette qui traduit des processus de progradation ou de remblaiement d'une domaine ouvert peu profond par une barrière. La Formation de Neffe, qui renferme des cycles également épais, mais sans évolution nette de la stratonomie, doit aussi correspondre à la migration d'une barrière de même type, mais cette fois vers un domaine lagunaire. Les formations de Terwagne et de Neffe semblent agradantes au vu de l'absence d'évolution stratonomique. Les cycles, même s'ils sont le plus souvent incomplets, sont de faibles épaisseurs et traduisent des 'agradations' dans un domaine superficiel peu profond.

4.6. Cortèges sédimentaires (3^e ordre)

L'analyse précédente a montré la difficulté, voir l'impossibilité, de dégager un schéma clair de l'évolution de la cyclicité tout au long de la série qui aurait permis d'identifier les cortèges sédimentaires (séquence de 3^e ordre). Seule la Formation de Godin est progradante au sens strict et contient de grands galets érosifs de grainstones précocement cimentés. Le sommet de cette formation voit la récurrence de faciès restreints de type Bachant, et passe ensuite à une sédimentation restreinte et évaporitique (Formation de Terwagne) sur près de 100 m. Ces quelques caractéristiques plaideraient pour un bas niveau marin pour les deux formations, la première (Godin) se mettant en place lors de la baisse du niveau soulignée par l'importance des remaniements érosifs et la seconde (Terwagne) au cours de la période de bas niveau marin stabilisé voit le développement des paléosols. Cette interprétation s'accorderait donc avec l'évolution générale de la série : la Formation de Godin fait suite à la Formation de Grives constituée de dolomies secondaires montrant de nombreux fantômes de bioclastes de mer ouverte (Echinodermes, Brachiopodes) (obs. pers.). Cette Formation (Grives) pourrait donc représenter la période de haut niveau marin de la fin du Tournaisien, précédant celle de bas niveau du Viséen inférieur. Les formations de Neffe et de 'Lives' seraient agradantes, et correspondraient probablement à des fluctuations eustatiques relatives avec important développement des paléosols et des évaporites dans la Formation de 'Lives'.

5. Conclusions

Cet article montre la complexité de l'interprétation des cycles de 5^e ordre. Encore ceux-ci représentent une partie 'quantifiable' et 'observable' du temps géologique. Si l'on y ajoute l'importance et la fréquence des hiatus et des condensations sédimentaires, le passage à l'agencement des cycles de 4^e ordre et à fortiori aux cortèges de 3^e ordre semble bien aléatoire.

6. Addendum

Comme nous l'avons souligné, les Foraminifères qui sont de précieux auxiliaires dans la zonation biostratigraphique du Carbonifère en milieu marin ouvert (Conil et Lys, 1964) ne sont qu'incomplètement représentés dans le Viséen de l'Avesnois. On peut sporadiquement y reconnaître 4 zones d'assemblages. Par contre, la microflore algale est abondante, bien qu'affectée par la diagenèse évaporitique. Il paraît donc utile d'ajouter ici un addendum sur les différents microfossiles observés lors de cette étude.

Formation de Godin, Zone 10, 34 taxa, base du Viséen

Apbralysis sp., *Actractyliopsis* sp., *Bevocastria* sp., *Biseriella bristolensis* (Reichel), *Brunsia* sp., *Calcisphaera laevis* Williamson, *Calcisphaera pachysphaerica* (Pronina), *Dainella* sp., *Earlandia clavatulata* (Howchin), *Earlandia vulgaris* (Rauzer-Chernousova et Reitlinger), *Earlandinella* sp., *Endospiroplectamina* sp., *Endothyra* sp., *Eoforschia* sp., *Eogloboendothyra* sp., *Girvanella* sp., *Inflatoendothyra* sp. (à la base), *Issinella* sp., 'Koninckopora' (à un seul feuillet), *Koninckopora* sp. (au sommet), *Latiendothyra* sp., *Mammetella* (au sommet, 51 m), *Mitcheldeania* sp., *Ortonella* sp., *Palaeoberesella* sp., *Parathurammina* sp., *Polyderma* sp., *Priscella* sp., *Pseudotaxis* sp., *Radiosphaera* sp., *Sphaeroporella* sp., *Spinobrunsiina* sp., *Spinoendothyra* (à la base), *Wetheredella* sp.

Formation de Terwagne, Zone 11, 31 taxa, Viséen inférieur

Anthracoporellopsis sp., *Archaeosphaera* sp., *Bevocastria* sp. (abondant), *Brunsia* sp., *Calcisphaera laevis* Williamson, *Calcisphaera pachysphaerica* (Pronina), *Dainella* sp., *Earlandia* sp., *Endospiroplectamina* sp., *Endothyra* sp., *Eoparastafella* sp., *Girvanella* sp., *Globoendothyra* du groupe *G. baileyi* (Hall), *Globoendothyra* du groupe *G. tomiliensis* (Grozdilova), *Kamaena* sp., *Kamaenella* sp., *Koninckopora minuta* Weyer, *Mammetella* sp., *Mitcheldeania* sp., *Nanopora* sp., *Ortonella* sp., *Palaeoberesella* sp., *Parathurammina* sp., *Plectogyranopsis* sp., *Polyderma* sp., *Priscella* sp., *Proninella* sp., *Pseudohedstroemia* sp. (abondant), *Pseudoglomospira* sp., *Radiosphaera* sp., *Tetraxis* sp., *Uralodiscus* sp. (rare).

Formation de Neffe, Zone 12, 37 taxa, Viséen moyen

Anthracoporella sp., *Anthracoporellopsis machaevii* Maslov, *Actractyliopsis* sp., *Bevocastria* sp., *Brunsia* sp., *Calcisphaera pachysphaerica* (Pronina), *Chomatomediocris* sp., *Coelosporella* sp., *Dainella* sp., *Dainella chomatica* (Dain), *Earlandia* sp., *Endospiroplectamina* sp., *Endothyra* sp., *Eostaffella* sp., *Eotextularia diversa* (Chernysheva), *Fasciella* sp., *Girvanella* sp., *Globoendothyra* sp., *Issinella* sp. (abondant), *Kamaena* sp., *Kamaenella* sp., *Koninckopora inflata* (de Koninck), *Koninckopora mortelmansi* (Mamet et Roux), *Mediocris* sp., *Mediocris breviscula* (Ganelina), *Ortonella* sp. (abondant), *Palaeoberesella* sp., *Palaeomicrocodium* sp. (abondant), *Plectogyranopsis* sp., *Priscella* sp., *Pseudoamnodiscus* sp., *Pseudohedstroemia* sp., *Pseudoglomospira* sp., *Radiosphaera* sp., *Tetraxis* sp., *Uralodiscus* sp.

Formation de 'Lives', Zone 13, 35 taxa, Viséen moyen

Anthracoporellopsis machaevii Maslov, *Archaediscus* sp., *Archaediscus krestovnikovi* (Rauzer-Chernousova), *Archaediscus kochtubensis* (Rauzer-Chernousova), *Actractyliopsis* sp., *Biseriammina* ? *windsorensis* Mamet, *Brunsia* sp., *Calcisphaera pachysphaerica* (Pronina), *Coelosporella*

sp., *Dainella cussyensis* (Meunier), *Earlandia clavatulata* (Howchin), *Earlandia vulgaris* (Rauzer-Chernousova et Reitlinger), *Eostaffella* sp., *Epistacheoides* sp., *Girvanella* sp., *Globoendothyra* sp., *Koninckopora inflata* (de Koninck), *Koninckopora mortelmansi* (Mamet et Roux), *Mediocris breviscula* (Ganelina), *Mediocris mediocris* (Vissarionova), *Nibelia* sp., *Ortonella* sp., *Palaeomicrocodium* sp., *Palaeotextularia* sp., *Plectogyranopsis* sp., *Priscella* sp., 'Propermodiscus' sp., *Pseudoendothyra* sp., *Pseudostacheoides* sp., *Stacheoides* sp., *Radiosphaera* sp., *Tetraxis* sp., *Uralodiscus rigens* (Conil et Lys), *Urbanella* sp.

Remerciements. Les auteurs tiennent à remercier MM. Ivan Berra et Denis Vachaud pour leur participation à ce travail dans le cadre de leurs mémoires de fin d'année à l'Université Libre de Bruxelles, le Dr Kamal Kolo pour son travail sur l'identification des Fungi et M. Pierre Pinte, Ir géologue de la SA Bocahut pour les facilités d'accès à la carrière. Les suggestions de MM. Ph. Claeys et E. Samnkassou ont été très utiles et appréciées.

7. Bibliographie

- AIGNER, T., 1985. *Storm Depositional Systems*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 174pp.
- BURCHETTE, T.P. & RIDING, 1977. Attached vermiform gastropods in Carboniferous marginal marine stromatolites and biostromes. *Lethaia*, 10/1, 17-28.
- CARPENTIER, A. 1913. Contribution à l'étude du Carbonifère du Nord de la France. *Mémoire Société géologique du Nord*, 7/2, 434pp.
- CASIER, J.G., & PREAT, A., 2003. Ostracods and lithofacies of the Devonian-Carboniferous boundary series in the Avesnois, North of France. *Bulletin Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, 73, 83-107.
- CONIL, R. & LYS, M. 1964. Matériaux pour l'étude du Dinantien de la Belgique et de la France (Avesnois), Algues et Foraminifères. *Mémoires Institut géologique Université de Louvain*, XXIII, 1-290.
- EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A. (Eds) 1991. *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer Verlag, 955pp.
- GÜRICH, G. 1906. Les Spongiostromides du Viséen de Namur. *Mémoire Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, 45pp.
- ILLING, L.V. 1954. Bahamian calcareous sands. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, 38/1, 1-95.
- JAMES, N.P. 1984. Shallowing upward sequences in carbonates. In Walker RG (ed.), *Facies Models, Geological Association of Canada*, 2, 213-229.
- KASIMI, R. & PREAT, A. 1996. Sédimentation de rampe mixte silico-carbonatée des couches de transition eiféliennes-givétiennes franco-belges. Deuxième partie: Cyclostratigraphie et paléostratigraphie. *Bulletin Centres Recherches Exploration-Production d'Elf-Aquitaine*, 20/1, 61-90

- MAES, K., PEETERS, C., MUCHEZ, Ph., SWENNEN, R. & VIAENE, W. 1989. The occurrence of paleosols in the Lower Viséan of the Walhorn section (Vesder Basin, E-Belgium). *Annales Société géologique de Belgique*, 112/1, 69-77.
- MAMET, B., 1964a. Sédimentologie des faciès 'Marbres Noirs' du Paléozoïque franco-belge. *Mémoire Institut royal Sciences naturelles de Belgique*, 151, 131pp.
- MAMET, B., 1964b. *Sédimentation des faciès 'marbres noirs' de la Belgique et du Nord de la France*. Developments in Sedimentology, 1 L.M. Van Straalen (ed.), Elsevier, Amsterdam, 264-268.
- MAMET, B., 1974. Une zonation par Foraminifères du Carbonifère Inférieur de la Téthys occidentale. *7ème Congrès International de Stratigraphie et Géologie du Carbonifère*, Krefeld, 3 : 391-407.
- MAMET, B., 1991. Carboniferous Calcareous Algae. In Riding, R. (éd.) *Calcareous Algae and Stromatolites*, Springer-Verlag, Berlin, 370-451.
- MAMET, B. & PREAT, A. 2003. Sur les difficultés d'interprétation des hiatus stratigraphiques (Exemple tiré de la transition dévono-carbonifère, bassin de Dinant). *Geologica Belgica*, 6/1, 49-65.
- MANSY, J.L., CONIL, R., MEILLIEZ, F., KHATIR, A., DELCAMBRE B., GROESSENS, E., LYS, M., POTY, E., SWENNEN, R., TRENTESAUX, A. & WEYANT, M., 1988. Nouvelles données stratigraphiques et structurales sur le Dinantien dans l'Avesnois. *Annales Société géologique du Nord*, 58, 125-142.
- MISTIAEN, B., MILHAU, B., KHATIR, A., HOU, H., VACHARD, D. & WU, X. 1998. Famennien termianl (Strunien) d'Etroeungt (Avesnois, Nord de la France) et d'Etaoucun (Guangxi, Chine du Sud). Incidences paléogéographies des données relatives aux stromatopores et ostracodes. *Annales de la Société géologique du Nord*, 6, Série 2, 97-104.
- OSLEGER, D.A. & READ, J.F. 1991. Relation of eustacy to stacking pattern of meter-scale carbonate cycles, Late Cambrian, U.S.A. *Journal Sedimentary Petrology*, 61/7, 1225-1252.
- PREAT, A. & CARLIEZ, D. 1994. Microfaciès et cyclicité dans le Givetien supérieur de Fromelennes (Synclorium de Dinant, France). *Annales Société géologique de Belgique*, 117/1, 227-243
- PREAT, A. & MAMET, B., 1989. Sédimentation de la plate-forme carbonatée givétienne franco-belge. *Bulletin Centres Recherches Exploration-Production d'Elf-Aquitaine*, 13/1, 47-86.
- PREAT, A., KOLO, K., MAMET, B., GORBUSHINA, A. & GILLAN, D. 2003. Fossil and subrecent fungal communities in three calcretes series from the Devonian of the Canada Rocky Mountains, Carboniferous of northern France and Cretaceous of Central Italy. In Krumbein W. E., Paterson D.W., Zavarzin, G.A. (édit.): *Fossil and Recent Biofilms. A Natural History of Life on Earth*. Kluwer, Dordrecht, 480pp.
- PURSER, B.H. & EVANS, G. 1973. Regional Sedimentation along the Crucial Coast, SE Persian Gulf. In Purser B.H. (éd.), *The Persian Gulf, Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a Shallow Epicontinental Sea*, Springer Verlag, 211-277.
- SEBBAR, A., PREAT, A. & MAMET, B. 2000. Microfaciès et biozonation de la rampe mixte carbonifère du bassin de Tindouf, Algérie. *Bulletin Centres Recherches Exploration-Production d'Elf-Aquitaine*, 22/2, 203-239.
- STRASSER, A. 1988. Shallowing-upward sequences in Purbeckian peritidal carbonates (lowermost Cretaceous) of the Swiss and French Jura. *Sedimentology*, 33/5, 711-728.
- VAIL, P.R., AUDEMARD, F., BOWMAN, S.A., EISNER, P.N. & PEREZ-CRUZ, C., 1991. The Stratigraphic Signatures of Tectonics, Eustacy and Sedimentology. -An Overview. In Einsele G., Ricken W. & Seilacher A. (édit.): *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. (éd.) *Atlas of Seismic Stratigraphy 1. American Association of Petroleum Geologists, Studies Geology*, 27, 11-14.
- WAGNER C.W. & Van der TOGT, C. 1973. Holocene Sediment Types and Their Distribution in the Southern Persian Gulf. In Purser B.H. (éd.), *The Persian Gulf, Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a Shallow Epicontinental Sea*, Springer Verlag, 123-155.
- WONG, P.K. & OLDERSHAW, A. 1980. Causes of cyclic sedimentation in reef-interior sediments of Kaybob Reef Complex, Alberta. *Bull. Canadian Petroleum Geology*, 28/3, 411-424.
- WRIGHT, V.P. 1983. A rendzina from the Lower Carboniferous of South Wales. *Sedimentology*, 30, 159-179.
- WRIGHT, V.P. & TUCKER, M.E. 1991 (édit.). *Calcretes*. Blackwell Science Publications, Oxford, 312pp.

Manuscrit reçu le 27.02.2004; accepté pour publication le 8.07.2004.