

SUR LES DIFFICULTÉS D'INTERPRÉTATION DES HIATUS STRATIGRAPHIQUES (EXEMPLE TIRÉ DE LA TRANSITION DÉVONO-CARBONIFÈRE, BASSIN DE DINANT)

Bernard MAMET & Alain PREAT

(6 figures)

Université Libre de Bruxelles, Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement, CP160/02, 50 av FD Roosevelt, B-1050, Bruxelles

RÉSUMÉ. La carrière Bocahut (Avesnes-sur-Helpe) entame depuis quelques années les couches de la limite Dévonien-Carbonifère qui dans l'Avesnois étaient jusqu'à présent soit mal ou non exposées. L'étude des microfaciès permet de reconnaître 10 niveaux locaux qui vont depuis les formations d'Épinette, d'Étroeungt, d'Avesnelles jusqu'à celle d'Hastière. Les séquences bathymétriques vont des faciès de lagon semi-restreint jusqu'au marin ouvert franc spiculitique situé sous la zone d'action des tempêtes, et résultent de l'interaction de trois facteurs majeurs (salinité, eustatisme, subsidence). Dans le même bassin, à Anseremme, s'observent des séquences semblables, mais avec des influences évaporitiques plus prononcées. Certaines des séquences apparaissent continues, par contre d'autres manquent entièrement, comme la disparition du sommet du Calcaire d'Étroeungt et de la totalité du Calcaire des Avesnelles. La durée de ces hiatus est mal résolue et une estimation même grossière de la chronostratigraphie dépend de prémisses discutables (systèmes sédimentaires, par exemple). Dans l'Avesnois, la variabilité de la sédimentation ne cadre pas avec des hypothèses de haut niveau marin continu, les paraséquences sont d'épaisseur décimétrique à métrique et partiellement liées aux variations de salinité. Dans un même bassin et sur de très faibles distances (décakilométriques), les corrélations dans les séries carbonatées restent donc sujettes à bien des interprétations.

MOTS-CLES : Bassin d'Avesnes, France, Bassin de Dinant, Belgique, transition Dévonien-Carbonifère.

ABSTRACT.

On the difficulties of stratigraphic hiatus interpretation (an example derived from the Devonian-Carboniferous transition, Dinant basin). Carbonate sequences crossing the Devonian-Carboniferous boundary are well exposed in the Bocahut quarry (Avesnes-sur-Helpe). This is geologically important as these successions are, at the time being, poorly exposed in the Avesnois region. Microfacies analysis enables recognition of 10 local levels ranging through the EpINETTE, Étroeungt, Avesnelles and Hastière formations. The 'bathymetric' sequences (eustatism, subsidence, salinity) range from open marine spiculite, below the storm wave base to semi-restricted lagoon. Nearby and in the same basin, similar facies are observed at Anseremme. If correlations for same sequences are easy on sedimentological and microfaunal arguments, other sequences 'disappear' completely, indicating undetected hiatuses. The time intervals involved and an estimation of the chronostratigraphic value is difficult and depends on the sedimentological model used. But half of the geological time is apparently missing at Anseremme. In the Avesnois, the variability of the sequences does not match a continuous highstand hypothesis. Even in the same basin and for small distances, correlations remain difficult and cannot be oversimplified by hypothetical highstand successions.

KEYWORDS : Avesnes basin, France, Dinant basin, Belgium, Devonian-Carboniferous transition.

1. Introduction

La stratigraphie séquentielle (3è ordre *sensu* Van Wagoner et al., 1987, Vail et al., 1991) est à la mode depuis une quinzaine d'années. Bien qu'utile dans les séquences

détritiques où les paramètres granulométriques sont évidents et directement interprétables dès l'analyse de terrain, elle est souvent utilisée trop rapidement dans les séquences carbonatées qui obéissent à d'autres règles. L'intégration d'un maximum de données doit s'appuyer

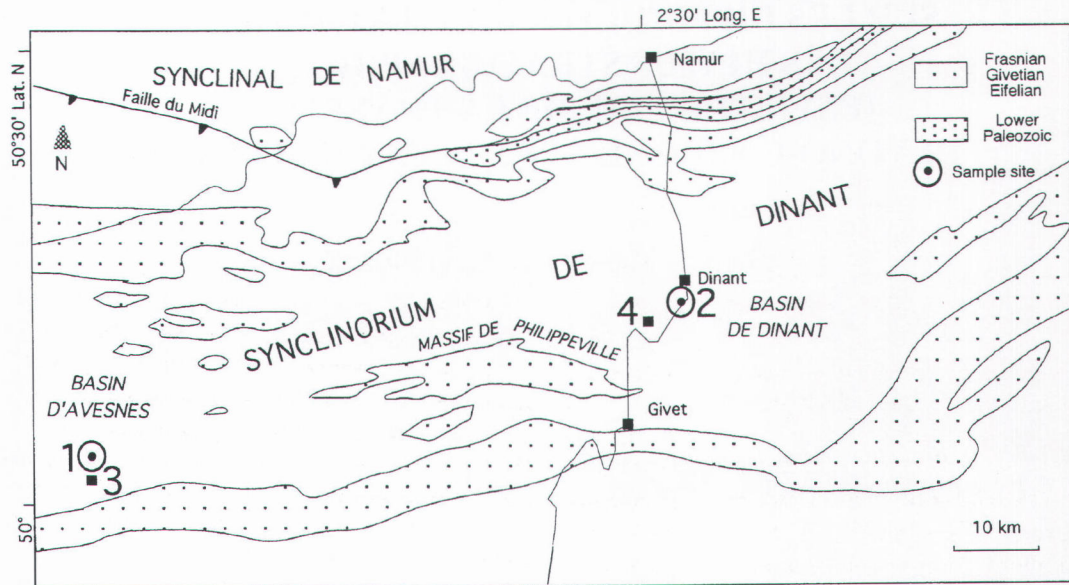


Figure 1. Localisation géographique et géologique des deux coupes étudiées dans le Synclinorium de Dinant (remplissage blanc pour le Famennien et le Carbonifère). 1: Avesnes-sur-Helpe (carrière Bocahut), 2 Anseremme (pont-rail) 3: Etroeuingt et 4: Hastière. Geographical and geological locations of the two studied profiles in the Dinant Synclinorium (white filling for Famennian and Carboniferous). 1. Avesnes-sur-Helpe (Bocahut quarry), 2. Anseremme (railway section), 3: Etroeuingt and 4: Hastière.

sur une analyse pétrographique couplée à un modèle sédimentaire. Les carbonates répondent en effet de façon très variée aux changements d'environnement (bathymétrie, eustatisme, subsidence, salinité, action des organismes, hydrodynamisme...).

Ces facteurs ne sont pas nouveaux et avaient déjà été pris en considération lors des travaux des écoles suisse (Lombard, 1972) et française (Delfaud, 1975). A cette époque un des objectifs majeurs était les corrélations des séries carbonatées de faible profondeur, c'est-à-dire de plate-forme *sensu lato* (séquostratigraphie proposée par Mamet, 1964). Ces séries qui montrent déjà de nombreux paramètres sédimentologiques sur le terrain (structures, laminations, organismes ...) donnent ensuite une idée précise des variations locales de bathymétrie lors de l'examen en lame mince. Cette étude pétrographique permet une reconstitution des paléoenvironnements basée sur les changements des faunes et/ou microflores.

Les couches de passage dévono-carbonifère paraissent monotones à l'analyse de terrain dans les bassins ou 'aires de sédimentation' d'Avesnes dans le nord de la France, et de Dinant au sud de la Belgique (Fig. 1). Elles présentent néanmoins une évolution stratonomique régulière suivant une stratocroissance progressive associée à une diminution de la fraction argileuse. Cette évolution à l'échelle hectométrique (90 m) semble plus continue dans le bassin d'Avesnes (carrière Bocahut) que dans celui de Dinant (coupe du pont-rail d'Anseremme) où des contacts lithostratigraphiques abrupts sont présents. Notons cependant qu'aucune évolution

particulière de la macrofaune ne semble présente dans les deux coupes. L'ensemble des observations macroscopiques plaide ainsi pour un milieu marin ouvert sans grande évolution du paléoenvironnement. Une analyse de stratigraphie séquentielle ne montrerait a priori rien de particulier au niveau de ces couches de passage.

Vu l'importance particulière de ces couches à la transition de deux systèmes, nous les avons échantillonnées systématiquement ('banc par banc') pour étude pétrographique afin de voir ce que pouvaient apporter les microfunes (Foraminifères et autres constituants), microflores et éléments figurés non bioclastiques. Comme nous le verrons plus loin, l'analyse pétrographique met en évidence des changements bathymétriques majeurs que l'analyse de terrain ne permettait pas de soupçonner.

2. Historique

2.1. La carrière Bocahut

La carrière Bocahut, située immédiatement au sud-ouest d'Avesnes-sur-Helpe, dans l'Avesnois, au Nord de la France (Fig. 1), est exploitée depuis le 19^e siècle (ancienne carrière Godin, au lieu-dit Baldaquin). 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') dont les travaux de découverte ont été entamés en 1999. Cette carrière, connue depuis longtemps par la communauté des géologues, a déjà fait l'objet de nombreux travaux

scientifiques portant principalement sur la stratigraphie et la tectonique (se reporter à Mansy et al., 1988 pour une synthèse). Khatir & Guillot (1990) donnent une description détaillée de la carrière sous forme d'un bloc diagramme et d'une coupe synthétique établie à partir de l'ensemble des fronts. La coupe montre des plis à flancs courts à fort pendage, déversés, souvent cisailés et à flancs longs et pendage plus faible. Une restitution tectonique de la carrière montre une évolution conjointe du plissement et des failles dans une déformation d'ensemble sous forme d'un synclinal dissymétrique ENE-WSW cisailé par des failles de chevauchement.

Des recherches pluridisciplinaires dans l'Avesnois (Mansy et al., 1988) ont permis de préciser la stratigraphie de cette coupe, en intégrant notamment les travaux antérieurs de Conil & Lys (1964), Mamet et al. (1965) et Conil (1973). La carrière expose ainsi sur près de 400 m de puissance une série d'abord argilo-carbonatée au sommet du Dévonien ('Fa2d'), puis dolomitique et calcaire jusqu'à la Formation de Lives ('V2b'). La coupe est continue à l'exception de la partie basale plus argileuse qui ne convient pas à l'exploitant. Ce sont ces couches de transition dévono-carbonifères qui affleuraient de manière presque continue en 1999 lors du creusement d'une voie d'accès à la nouvelle carrière ou 'carrière Nord'. Ces couches qui affleurent assez mal dans le reste de l'Avesnois ont ainsi fait l'objet d'un levé détaillé le long du nouveau chemin d'accès. Elles servent de complément à la coupe classique du chemin de fer d'Avesnelles (Conil, 1964; 1968; Mamet et al., 1965; Conil et al., 1986).

2.2. La coupe d'Anseremme

La coupe d'Anseremme, située le long du chemin de fer de Jemelle, sur la rive gauche de la Meuse, à partir de l'extrémité NE du pont-rail d'Anseremme au sud de Dinant (Fig. 1), est connue depuis longtemps, particulièrement pour l'affleurement des couches de passage dévono-carbonifères. Conil (1964, 1968) y décrit (litho- et biostratigraphie) le passage du Strunien ('Tn1a') au Calcaire d'Hastière ('Tn1b'). Selon lui 'cette coupe du Tn1b, la plus belle du pays, constitue un excellent parastratotype' (Conil, 1964, p.31). La coupe fut ensuite ré-étudiée lors du Congrès de Namur (Bouckaert et al., 1974) et la distribution des faunes et microflore précisée. Ce n'est qu'en 1988 qu'une étude sédimentologique est entreprise par Van Steenwinkel dans le cadre de sa thèse de doctorat. Elle y reconnaît 5 unités majeures (deux dans le Calcaire d'Etroeungt *pro parte*, trois dans le Calcaire d'Hastière) et met en évidence une période de baisse eustatique entre les deux formations qui sont séparées par une surface d'érosion riches en 'lithoclastes' centimétriques bien roulés (figs. 5.1 et 5.2, p.106-107, *ibid.*). Cette baisse eustatique majeure est également accompagnée d'hiatus biostratigraphiques (Conodontes...) importants (Van Steenwinkel, 1993).

2.3. La stratigraphie locale

2.3.1. L'Avesnois

Le Paléozoïque Supérieur de l'Avesnois est connu depuis longtemps et Gosselet (1857; 1860; 1880) fut un des premiers à y signaler l'existence d'une faune de transition dévono-carbonifère. Cette faune, dite 'de passage', était présente dans la carrière du Parcq et Gosselet y observa la partie supérieure du Calcaire d'Etroeungt (Sartenaer & Mamet, 1964). Elle correspond à notre niveau 5 (voir ci-après et Fig. 2). Cette carrière fut ensuite approfondie à la fin du 19^e siècle et a fourni des horizons plus anciens correspondant à la partie supérieure de notre niveau 4 (id.). Depuis lors la tranchée du chemin de fer d'Avesnelles (Conil, 1964; Mamet et al., 1965) permettant l'observation de ces couches de passage fut progressivement bétonnée et l'affleurement est devenu mal visible.

Il ne sera pas question dans notre travail de discuter de la valeur des limites stratigraphiques. Celle des Systèmes D/C a été fixée à la limite *praesulcata/sulcata* (biozones à Conodontes, Paproth & Streef, 1984). Cette limite phylogénique n'est pas reconnaissable dans l'Avesnois, pas plus d'ailleurs que dans le stratotype de La Serre en Montagne Noire, dans le Sud de la France (Feist & Flajs, 1987, Flajs & Feist, 1988). La coupe de La Serre est elle-même composée de sédiments de très haute énergie, riches en bioclastes, oolithes cassées et microbrèches polygéniques (Casier et al., 2002), ce qui rend d'ailleurs étonnant le choix de ce stratotype plaçant une référence internationale dans une sédimentation remaniée. Ceci est d'autant plus regrettable que cette succession de Conodontes n'a jamais pu être mise en évidence dans le Nord de la France et en Belgique.

Quant aux étages, leurs subdivisions donnent encore lieu à des discussions et les positions du 'Famennien final' ou 'Strunien', ou tout autre terme équivalent (Streef, 1971; 1983; 1986) ne sont pas éclaircies. Prudemment nous n'emploierons ici aucun terme chronostratigraphique tant qu'ils n'auront pas été définis avec précision et nous nous contenterons des unités lithostratigraphiques (formations) locales et de nous étendre sur le problème des hiatus.

L'apport de la microfaune de Foraminifères s'avère dans ce contexte très précieux. Le genre *Quasiendothyra* a été créé, il y a une cinquantaine d'années par Rauzer-Chernousova (1948). L'évolution par stades progressifs de ce genre a servi depuis à zoner les couches supérieures du Dévonien et le passage au Carbonifère dans de nombreux bassins de la Téthys. Dans la littérature, on compte plus de 400 références illustrées. Depuis les faunes minuscules (*Q. bella*, 200-300 µm), le genre atteint le millimètre (*Q. kobeituzana*, 600-1000 µm) en passant

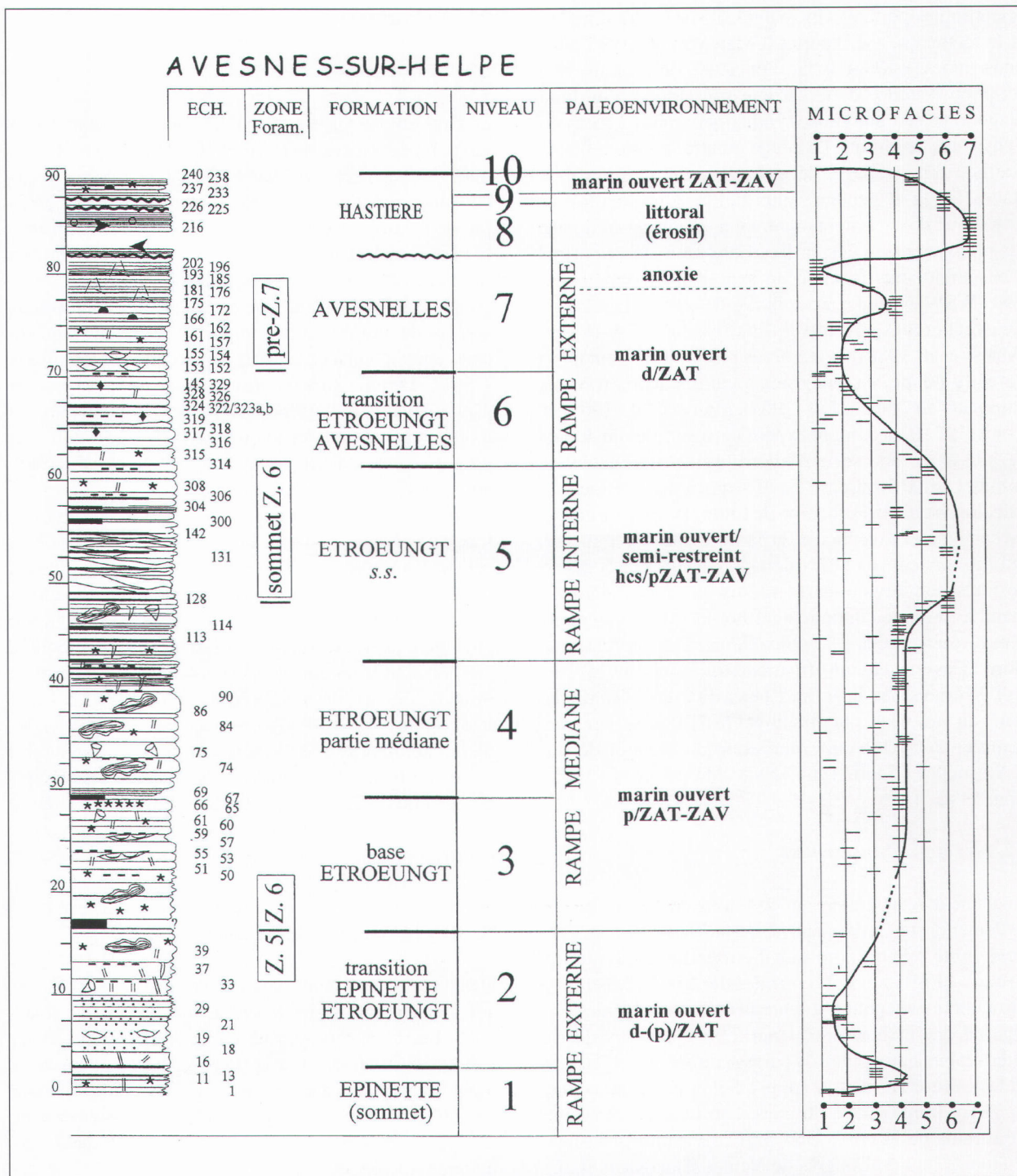


Figure 2. Coupe lithologique, position des échantillons, zonation des Foraminifères *sensu* Mamet (1974), succession des 10 niveaux locaux, interprétation des paléoenvironnements et courbe des microfacies. Carrière Bocahut, Avesnes-sur-Helpe, couches de transition D-C. Abréviations : ECH. = échantillon (lame mince), Z. = Zone, Foram = Foraminifères, d = distal, p = proximal, hcs = hummocky cross stratification, ZAT = zone d'action des tempêtes, ZAV = zone d'action des vagues de beau temps. Lithological column of the new Bocahut quarry outcrop (D-C transitional beds) located west of Avesnes-sur-Helpe. Other columns indicate the position of samples, the foraminiferal zonation (Mamet, 1974), the names of the formations, the level succession from 1 to 10, the paleoenvironmental interpretation and the microfacies evolution. Abbreviations : Z = Zone, Foram. = foraminifer, d = distal, p = proximal, SWB = normal storm wave base, FWWB = normal or fair-weather wave base, hcs = hummocky cross-stratification.

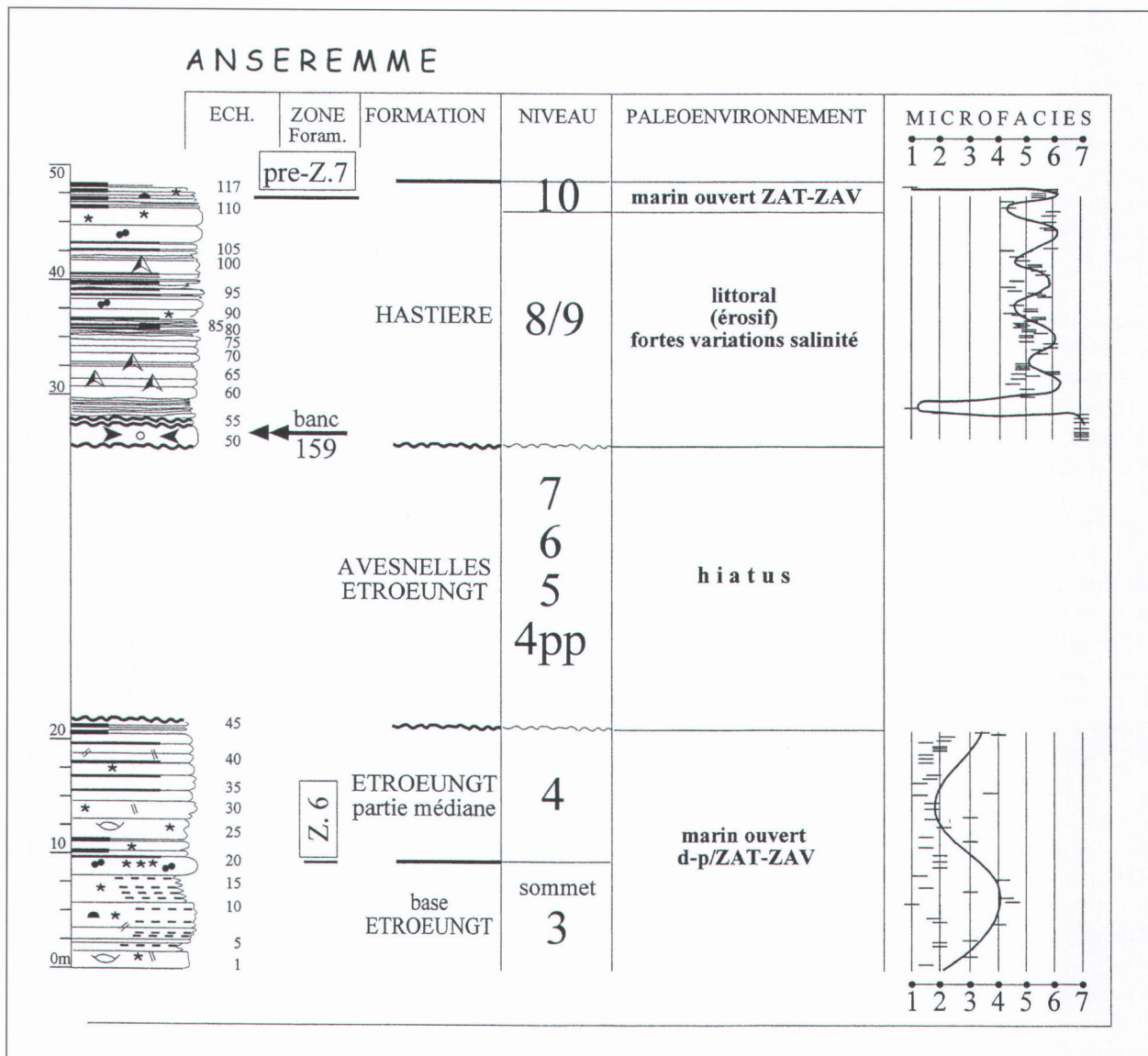


Figure 3. Coupe lithologique, position des échantillons, zonation des Foraminifères *sensu* Mamet (1974), succession des 10 niveaux locaux, interprétation des paléoenvironnements et courbe des microfaciès. Coupe du pont rail d'Anseremme, couches de transition D-C. Abréviations : ECH. = échantillon (lame mince), Z. = Zone, Foram = Foraminifères, d = distal, p = proximal, ZAT = zone d'action des tempêtes, ZAV = zone d'action des vagues de beau temps. Le banc 159 est celui figuré dans Van Steenwinkel (1988).

Lithological column of the Anseremme outcrop (or 'railway section') (D-C transitional beds) located south of Dinant. Other columns indicate the position of samples, the foraminiferal zonation (Mamet, 1974), the names of the formations, the level succession from 1 to 10 with the location of the hiatuses, the paleoenvironmental interpretation and the microfacies evolution. Abbreviations : ECH = sample (thin, section), Z = Zone, Foram. = foraminifer, d = distal, p = proximal, SWB = normal storm wave base, FWWB = normal or fair-weather wave base, hcs = hummocky cross-stratification. Bed n°159 is the one of Van Steenwinkel (1988).

Légende figures 2, 3 5 et 6

- bioclastes
- ◐ ostracodes
- /— spicules éponges
- || || paléobéreselles
- ◡ brachiopodes
- ◡◡ lentilles bioclastiques
- ◡*◡ lentilles à crinoïdes
- * crinoïdes
- ◡ rugueux
- ◡ stromatopores
- calcaire silteux
- shale dm
- mm joints argileux
- cm
- ~~~~~ contact érosif
- ◡ sulphates [pseudomorphes]
- péloïdes
- oolithes
- ▶ microbrèches
- ∩ terriers
- ◆ pyrite

par des stades intermédiaires (*Q. regularis*, *Q. communis*). Il se déroule (*Klubovella*) au sommet de son évolution. Malheureusement, cette simplicité a vite été noyée dans un déluge de pseudo-taxa ('genres' tels *Eoendothyra*, *Eoquasiendothyra*) suivi par un découpage infrasubspécifique aberrant conduisant à des anomalies taxonomiques (par exemple : *Quasiendothyra* (*Eoquasiendothyra*) *baidjansaica* subsp. *globosa*, *forma cuboides...*). Outre que ce fatras n'obéit pas aux Règles de Nomenclature, ces 66 taxa de la littérature (d'*absoluta* jusqu'à *venusta*) ne représentent probablement que 5 ou 6 espèces stratigraphiquement valides. C'est cette prolifération qui a gâché l'emploi du genre qui pourtant est répandu tant en Eurasie, qu'en Australie et en Alaska. La meilleure illustration de *Q. kobeitusana* se trouve dans Rauser-Chernousova et al. (1996).

La transition *Quasiendothyra communis* vers les premiers *Q. kobeitusana* se fait par l'augmentation de la taille (diamètre >560-600 µm), par accroissement de l'épaisseur de la muraille, par le développement de la paroi fibroradiée et l'accroissement de la taille des chomata. Cette limite de diamètre est prise arbitrairement pour séparer les deux espèces. Faute de mieux, nous avons proposé de reconnaître la base stratigraphique de la Formation d'Etroeungt à l'apparition de *kobeitusana* telle que définie ci-dessus. Dans le Calcaire d'Etroeungt cette évolution de l'espèce se poursuit, et progressivement apparaissent les *kobeitusana* des formes à diamètres 600-800 et 800-1000 µm permettant de subdiviser la formation en 3 niveaux locaux. On peut ainsi reconnaître une partie inférieure et une partie supérieure de la Zone 6 (Mamet, 1967). La disparition des *Quasiendothyra* ne peut servir de critère stratigraphique, comme d'ailleurs toute zone de disparition, et les plus jeunes *Quasiendothyra* connus sont de Chine (Mamet, 1993) de la Zone à *S. duplicata* c-à-d du Tournaisien.

S'il y a moyen de reconnaître des niveaux particuliers dans la Formation d'Etroeungt, on peut également reconnaître des assemblages floristiques de spores (Streel, 1986).

2.3.2. Anseremme

La coupe d'Anseremme est également connue depuis fort longtemps (Fig. 1) et fut l'objet d'une visite lors du Congrès International de Namur consacré aux limites stratigraphiques (Bouckaert, et al., 1974). Elle montre sur une quarantaine de mètres la succession des formations d'Etroeungt et d'Hastièrre à la limite des systèmes Dévonien et Carbonifère (Bouckaert, et al., *ibid.*). Van Steenwinkel (1980; 1984; 1993) y donne la distribution des Conodontes et y reconnaît des espèces index du Carbonifère quelques mètres au-dessus de la base du Calcaire d'Hastièrre (nos échantillons 79, 80, Fig. 3). Selon cet auteur une partie des Zones dévonienne à *praesulcata*

et carbonifère à *sulcata* (et même à *duplicata* ?) manque. Cette 'lacune' est générale dans le bassin de Dinant (Van Steenwinkel, 1993) et rend pratiquement impossible les corrélations détaillées des couches de passage entre les deux systèmes.

L'analyse sédimentologique de la coupe (Van Steenwinkel, 1988) indique une rampe mixte argilo-carbonatée peu profonde s'étendant du domaine marin ouvert situé sous la ZAT ('zone d'action des tempêtes') et dominé par des prairies à Crinoïdes jusqu'aux domaines littoraux oolithiques. La stratigraphie séquentielle (Van Steenwinkel, 1993) suggère une limite de séquence de 3^e ordre (*sensu* Van Wagoner et al., 1987) au contact des formations d'Etroeungt et d'Hastièrre séparant les cortèges de haut niveau ('HST', Formation d'Etroeungt) et de bas niveau marins ('LST', Formation d'Hastièrre), ce dernier étant constitué de paraséquences décimétriques à métriques de type 'shallowing-upward'. La baisse eustatique s'accompagne d'émersion et d'érosion avec mise en place de chenaux de différentes natures (Van Steenwinkel, 1993). La partie supérieure de la Formation d'Hastièrre (notre niveau 10, voir ci-dessus et Fig. 3) traduit un approfondissement soudain souligné par une surface transgressive ('TS', Van Steenwinkel, *ibid.*). Toujours selon cet auteur, la plupart des paraséquences se suivent latéralement à l'échelle des parties centrale et méridionale du bassin de Dinant. Seule la série de bancs associée à la baisse eustatique (partie inférieure du Calcaire d'Hastièrre) ne peut se corréler latéralement.

3. Analyses sédimentologique et stratigraphique

3.1. Microfaciès et modèle sédimentaire

3.1.1. Description des microfaciès

Plus de 400 échantillons ont été prélevés (banc par banc) dans les deux coupes (plus de 300 à Avesnes et près de 120 à Anseremme, cfr. logs respectifs, Figs. 2 et 3). Leur analyse pétrographique met en évidence 7 familles majeures de microfaciès carbonatés s'étendant depuis les milieux marins ouverts francs, situés sous la zone d'action des tempêtes, jusqu'aux environnements pré-évaporitiques fortement érodés (Fig. 4).

La succession des 6 premières familles de microfaciès (MF1 à MF6) traduit une variation de l'index d'énergie par rapport aux ZAT et ZAV dans le domaine marin ouvert, la 7^e famille correspond aux milieux semi-restreint. Malgré des particularités spécifiques des sédiments de cette dernière catégorie, ils sont regroupés en une seule famille, non seulement parce qu'ils sont totalement différents des microfaciès des 6 autres

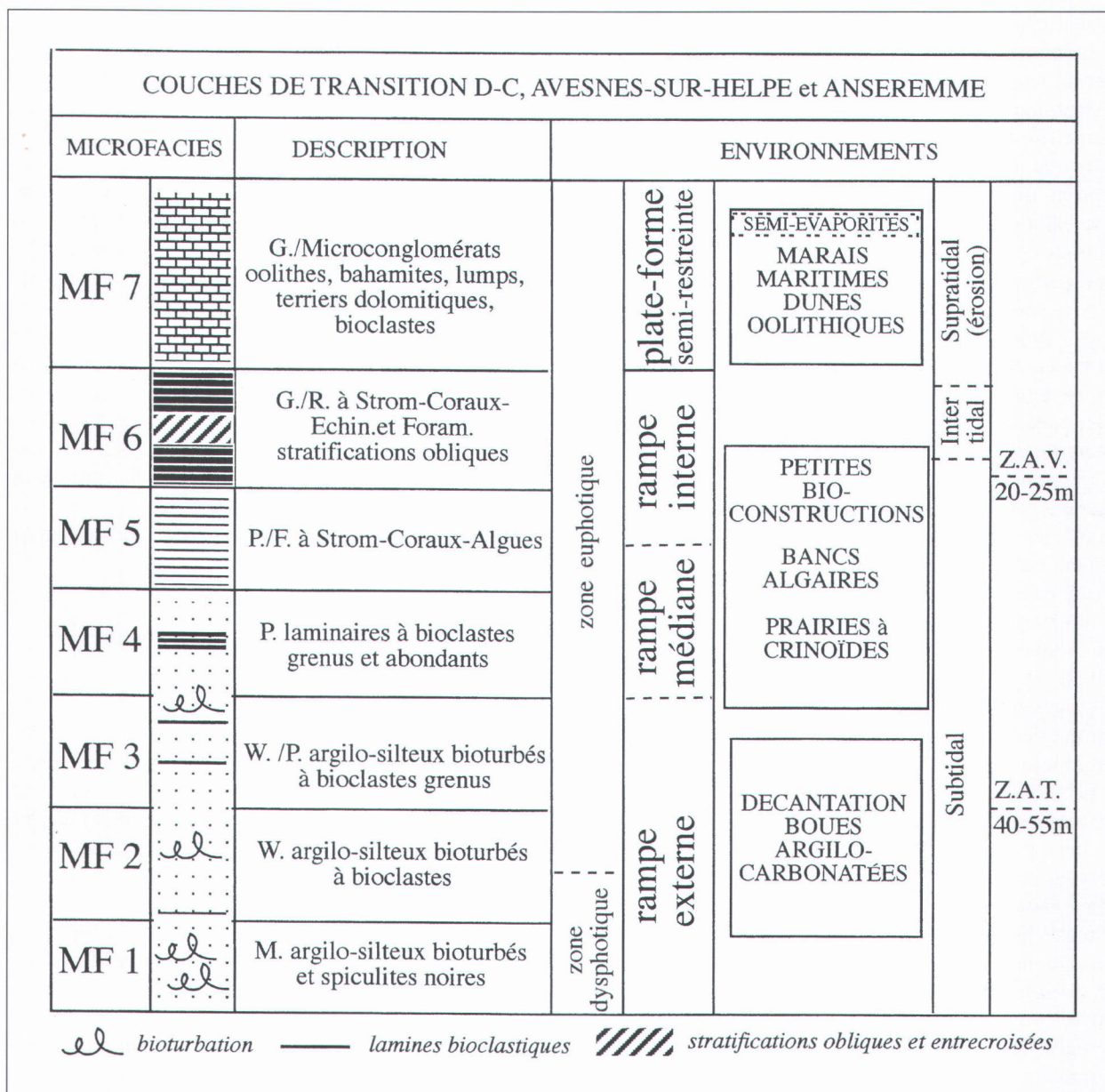


Figure 4. Séquence des microfaciès de la rampe mixte D-C d'Avesnes-sur-Helpe et d'Anseremme. M = mudstones, W = wackestones, P = packstones, F = floatstones, G = grainstones, R = rudstones, Echin. = Echinodermes Foram = Foraminifères, Td = tempestites distales, Tp = tempestites proximales, Z.A.V. = zone d'action des tempêtes, Z.A.T. = zone d'action des vagues. Les indications bathymétriques de la Z.A.T. et de la Z.A.V.: in Préat & Kasimi (1995).
 Microfacies sequence of the mixed D-C carboniferous ramp, Avesnes-sur-Helpe and Anseremme. M = mudstones, W = wackestones, P = packstones, F = floatstones, G = grainstones, R = rudstones, Echin. = echinoderms Foram = foraminifers, Td = distal tempestites, Tp = proximal tempestites, Z.A.V. = normal or fair-weather wave base, Z.A.T. = normal storm wave base. Bathymetric indications about Z.A.T. and Z.A.V.: in Préat & Kasimi (1995).

familles, mais aussi parce qu'ils sont associés à un intervalle stratigraphique peu épais (Calcaire d'Hastière *pro parte*). Les familles de microfaciès se présentent comme suit :

MICROFACIÈS 1 ou MF1: mudstones argilo-silteux à bioclastes peu abondants et peu diversifiés (Crinoïdes, Brachiopodes, Bryozoaires, Ostracodes). Le faciès est

souvent bioturbé (figures tourbillonnaires plurimillimétriques, plus rarement terriers obliques à parois bien définies) et renferme des Algues (Girvanelles, Kamaénidés, Issinelles). La matrice contient parfois de fins débris de matière organique disséminée. Ces mudstones sont surtout associés aux niveaux 1 et 2 d'Avesnes-sur-Helpe (Fig. 2). Des mudstones riches en matière organique, sous forme de fins débris allongés,

en pyrite finement disséminée et parfois riches en spicules d'éponges s'observent au sein de la niveau 7 (Fig. 2). Ils constituent les faciès les plus noirs de la série et ne renferment pas d'Algues. Les Brachiopodes et les Lamellibranches sont très minces, bien préservés et montrent de fines épines. Les Crinoïdes sont également bien préservés. La matrice est recristallisée présentant une texture 'grumeleuse' ('clotted' fabric) péloïdique. Ces mudstones noirs sont parfois bioturbés. Ils sont uniquement associés aux niveaux 6 et 7 *pro parte* d'Avesnes-sur-Helpe (Fig. 2).

MICROFACIÈS 2 ou MF2 : wackestones argilo-silteux bioturbés à bioclastes diversifiés (abondants Echinodermes, Bryozoaires, Ostracodes, Mollusques, Brachiopodes, quelques Foraminifères, Algues (Girvanelles, Issinelles, Kamaénidés). Les bioclastes se présentent en grands fragments dans des lamines, ou au sein de petites lentilles, d'épaisseur millimétrique (jusqu'à 3 mm). Les figures de bioturbation sont bien développées, d'allure tourbillonnaire et d'extension plurimillimétrique à pluricentimétrique. Dans ce dernier cas, la matrice micritique se présente sous forme d'un fin microspar calcitique homogène. Ces figures sont à l'origine de la destruction partielle ou totale de la structure laminaire. La matrice est parfois riche en fins débris de matière organique (comme ceux du MF1) et les bioclastes d'Echinodermes sont pyritisés. Les processus de pression-dissolution sont marqués dans les faciès plus argileux conférant au sédiment une texture de packstone.

MICROFACIÈS 3 ou MF3 : wackestones et packstones argilo-silteux à bioclastes diversifiés et matrice micritique (voir précédemment). Outre une diminution de la fraction argilo-silteuse on note par rapport au MF2 une augmentation du nombre de Foraminifères, la présence sporadique de fragments de Coraux (Rugueux) et de Stromatopores, et surtout une forte représentation des Issinelles, Kamaénidés et Girvanelles. Les bioclastes présentent une distribution bimodale soulignée par les Crinoïdes avec une classe granulométrique centrée sur 2 à 3 mm et une autre sur 0,5 mm. Cette dernière était la seule représentée dans les microfaciès précédents. La bioturbation est particulièrement intense et a détruit la plupart des lamines bioclastiques. Celles-ci s'observent exceptionnellement et sont alors plus épaisses que celles des faciès précédents, allant jusqu'à 5 mm. Elles renferment également des bioclastes plus grands, souvent allongés dans la stratification. C'est particulièrement le cas des Echinodermes, Brachiopodes et Bryozoaires. Les processus de pression-dissolution sont moins marqués et la matrice est parfois dolomitique.

MICROFACIÈS 4 ou MF4 : packstones laminaires à bioclastes grenus de même type que précédemment, mais dominés par les Echinodermes. Les fragments de Coraux et de Stromatopores deviennent plus abondants de même

que les Foraminifères pluriloculaires (Endothyridae, Tournayellidae). Les laminations sont nettement plus épaisses et plus fréquentes que dans les faciès précédents. Elles sont souvent pluricentimétriques (jusqu'à 3 cm), parfois disposées en stratifications obliques et entrecroisées et sont souvent granoclassées. Leurs bases sont constituées des éléments les plus grenus (2 à 3 mm) (Brachiopodes, Echinodermes) qui cèdent la place aux bioclastes plus fins (100 à 200 µm) où se concentrent les Foraminifères. Les Algues (mêmes types qu'auparavant) sont également plus abondantes dans les lamines. Les niveaux les plus épais sont multiples comme l'indiquent leurs fortes variations de granulométrie. Ces lamines 'amalgamées' sont planes parallèles sans figures érosives. Les processus de bioturbation, de même que les figures de pression-dissolution, sont peu développés. La fraction silteuse est absente. Quelques grains micritisés et de rares *Bisphaera (Incertae sedis)* apparaissent pour la première fois. La matrice est parfois recristallisée en fin microspar calcitique homogène.

MICROFACIÈS 5 ou MF5 : packstones et floatstones à Stromatopores (seulement dans Etroeungt), Coraux (Rugueux et Tabulés), Echinodermes, Brachiopodes, Bryozoaires, Foraminifères (*Latiendothyra*, *Quasiendothyra*, *Septabrunsiina*, *Septaglomospiranella*, *Septatournayella*), Ostracodes et Mollusques (Gastéropodes). Les fragments des organismes constructeurs sont mal classés et parfois anguleux. La matrice est un packstone riche en Issinelles et Kamaénidés. Les figures de bioturbation sont rares. La matrice est souvent recristallisée en un fin microspar calcitique homogène.

MICROFACIÈS 6 ou MF6 : grainstones et rudstones à Echinodermes ('encrinites'), Stromatopores (seulement dans Etroeungt), Coraux et bioclastes divers comme précédemment. Les Algues sont en nette diminution à l'inverse des Foraminifères. Les bioclastes, de granulométrie variée, se présentent en stratifications obliques et entrecroisées, avec des angles élevés. Les variations de granulométrie entre les lamines sont fortes, ou au contraire progressives avec granoclassements. De minces niveaux plans parallèles recourent les stratifications obliques ou entrecroisées. Les discontinuités restent toujours planes sans figures érosives. Des alignements de coquilles de Mollusques (Lamellibranches) soulignent la stratification oblique ('shell lag'). La cimentation syntaxiale est importante autour des bioclastes d'Echinodermes. Ce faciès est souvent partiellement ou totalement recristallisé sous forme d'un microspar homogène de calcite ou par de la calcite en grandes plages continues ou non s'étendant dans une grande partie du sédiment ('faux-grainstone'). Cette calcite remplit parfois des cavités irrégulières rappelant de petits entérolithes. Le microspar calcitique et la calcite en grandes plages peuvent également remplacer les bioclastes (Mollusques, Echinodermes,

Coraux, Stromatopores), ce qui n'a jamais été observé pour le microspar des microfaciès 4 et 5. Ces remplacement donnent au faciès l'aspect de 'faux grainstone' à partir de grainstones (ou de rudstones) 'normaux'. Les figures de bioturbation sont exceptionnelles et les stylolithes francs apparaissent pour la première fois.

Les 'faux grainstones' sont beaucoup mieux représentés à Anseremme et sont associés à des 'ostracodites' et faciès à *Earlandia minima*. Ils sont parfois dolomitiques.

MICROFACIÈS 7 ou MF7 : grainstones à oolithes, microbrèches, bioclastes (Echinodermes, Brachiopodes, Mollusques, Foraminifères) et microconglomérats de grainstones à microbrèches (de l'ensemble des éléments présents dans le faciès), oolithes, bahamites, lumps, oncoïdes, grains micritisés et péloïdes. Les microbrèches sont polygéniques, perforées et ne renferment aucuns des microfaciès précédents (MF1 à MF6). Les éléments sont souvent en stratifications obliques ou entrecroisées. Des coquilles de Brachiopodes et de Mollusques soulignent la stratification oblique et sont à l'origine de cavités protégées de type 'umbrella'. La cimentation montre parfois une première phase isopaque de calcite lamellaire suivie d'une phase de calcite drusique ou syntaxiale. Une cimentation asymétrique est souvent observée. Deux types principaux de cavités millimétriques s'observent en plus des 'ombrelles': fenestras irrégulières remplies de calcite en grandes plages et cavités géopètes remplies de silt vadose et de péloïdes formant un sédiment interne bien stratifié. L'abondance des fenestras donne au sédiment un aspect de lofélite.

Ce microfaciès typique des niveaux 8 et 9 est particulièrement bien représenté à Anseremme (Fig. 3).

3.1.2. Interprétation et modèle sédimentaire (Fig. 4)

Les composants de la faune (Echinodermes, Brachiopodes...) indiquent que les 6 premiers microfaciès appartiennent au domaine marin ouvert franc. Excepté les mudstones 'noirs' du microfaciès 1 qui ne renferment guère d'Algues, le milieu est situé dans les zones dysphotique-euphotique à une profondeur pas trop élevée. Les textures des sédiments (mudstones à rudstones) associées aux différentes caractéristiques des niveaux laminaires qu'ils contiennent permettent de préciser les paléobathymétries relatives par rapport aux zones d'action des vagues de tempêtes (ZAT) et de houle permanente (ZAV) (Einsele & Seilacher, 1982, Ahr, 1989). Ces niveaux laminaires absents (MF1), minces et peu nombreux (MF2), d'épaisseur intermédiaire malgré l'intensité de la bioturbation (MF3), et enfin épais et fréquents (MF4) renferment toujours les mêmes bioclastes. La granulométrie de ces derniers augmente avec l'épaisseur des niveaux de même que le granoclassement et la complexité des assemblages biotiques. Les figures de bioturbation varient par contre

en sens inverse pour devenir quasi inexistantes dans les MF5 et 6. De même, le type de laminations varie tout au long de la séquence standard des microfaciès et montre des stratifications entrecroisées fortement érosives et des amalgames dans les MF5 et 6 et planes parallèles dans les autres microfaciès.

L'ensemble de ces caractéristiques suggère un système de rampe mixte silico-carbonatée conditionnée par les positions respectives des ZAT et ZAV (Wright & Burchette, 1998). Le MF1 ne contenant pas de niveaux bioclastiques est situé sous la ZAT et caractérisé par une décantation argilo-carbonatée dans un milieu calme et à la base de la zone dysphotique. Les minces niveaux de bioclastes sans figures érosives marquées permettent de rattacher le MF2 aux tempestites distales (ZATd), les niveaux d'épaisseur moyenne du MF3 aux tempestites intermédiaires (ZATi) et les lamines plus épaisses du MF4 aux tempestites proximales (ZATp). Dans ce contexte la sédimentation normale ou sédimentation de 'background' est la décantation et les processus de bioturbation restent prépondérants (Aigner, 1985). Ils disparaissent significativement dans les MF5 et 6 caractérisés par de nombreuses érosions (sans chenalisation, ni émerision) et stratifications entrecroisées typiques de la zone d'action des vagues permanentes (ZAV). L'apport sédimentaire devait être fort élevé et limitait l'activité de l'endofaune. Dans ces conditions de forte énergie, les bioconstructions à Stromatopores, Coraux, les prairies à Crinoïdes et les bancs algaires à Paléosiphonocladales sont détruits et exportés au large suivant un gradient proximal-distal ou éventuellement repris dans la ZAV. Ces microfaciès sont assez semblables à ceux rapportés par Préal & Kasimi (1995) dans le Dévonien Moyen franco-belge et par Sebbar et al. (2000) dans le Carbonifère algérien de Tindouf.

L'absence de faciès restreints suggère une rampe mixte où les bioconstructions sont restées de tailles très modestes comme l'atteste notamment leur faible représentation sur le terrain. Par comparaison avec les profondeurs moyennes actuelles des ZAT et ZAV, les MF1 et MF2 devaient se situer au niveau de la rampe externe par plus d'une soixantaine de mètres, les MF3 et MF4 au niveau de la rampe médiane sous la ZAV par 25-30 m, et les bioconstructions (ici démantelées, MF5 *pro parte*) à proximité de la transition rampe médiane/rampe interne où l'énergie devient très forte. L'empilement des microfaciès 5 et 6 par progradation ? finit par combler l'espace disponible et les sédiments reposent alors en domaine de rampe interne à proximité de la zone vadose (ciments pendants, loférites) où ils sont temporairement soumis à l'action de saumures sulfatées de reflux ('faux grainstones') et à des fluctuations de salinité (ciments palissadiques). Les Ostracodes sont relativement abondants tout au long du profil de rampe mais sont les seuls organismes avec les *Earlandia minima* à supporter

le stress environnemental lié aux fluctuations de salinité des microfaciès 5 et 6. Les sédiments qui les contiennent ('ostracodites', MF6) sont ceux qui ont subi la plus forte altération diagénétique (dissolutions répétées, microsparitisation, (dé)dolomitisation...). Enfin le microfaciès 7 uniquement présent dans la partie inférieure du Calcaire d'Hastière traduit une sédimentation littorale remaniant des environnements typiques de plate-forme carbonatée (oolithes, bahamites, oncoïdes...) jamais rencontrés auparavant. La transition Avesnelles/Hastière souligne ainsi un changement majeur de système sédimentaire de type rampe mixte à une plate-forme carbonatée. La présence d'abondantes microbrèches centimétriques, parfois polygéniques, indique que ce changement est associé à une baisse eustatique importante. Les microbrèches étant uniquement constituées de sédiments provenant de milieux semi-restreints suggèrent que la baisse eustatique n'a pas été suffisante pour remanier les faciès de rampe préalablement déposés.

Malgré leur transport régulier par les courants, la distribution générale des Algues et des Foraminifères montre que ces organismes se développaient au voisinage des bioconstructions sur la partie médiane de la rampe: les Girvanelles sont assez ubiquistes, les Paléosiphonocladales formaient des bancs sur la partie haute de la rampe médiane, en arrière des bioconstructions à Stromatopores et Coraux, et les Foraminifères occupaient une position encore plus haute à proximité immédiate des vagues permanentes.

3.2. Découpage stratigraphique sur base des foraminifères et niveaux

3.2.1. La carrière Bocahut (Avesnes-sur-Helpe) (Fig. 2)

N1 : sommet de la Formation d'Épinette (vue sur 4 m)

Seul le sommet de la formation a été observé. Il montre des faciès marins de plate-forme ouverte, à salinité normale, dans la zone photique et dans la zone d'action des tempêtes. Ils sont constitués de wackestones et packstones à Crinoïdes abondants et Foraminifères. Les Algues sont dominées par les Paléobéreselles et les *Kamaena* (*K. awirsi*, *K. delicata*, *K. magna*, *P. sainsii*) auxquelles s'ajoutent quelques Girvanelles et *Lagenumbella*. Les Foraminifères sont typiques de la Zone 5 (*Quasiendothyra communis*, *Q. regularis*).

N2 : transition Épinette/Étroeungt (12 m)

La transition est progressive, sans coupure sédimentologique brutale. Le milieu est marin ouvert dans la zone photique (fluctuant entre ZAT et ZAV –càd respectivement entre les zones d'action des tempêtes et celle des vagues permanentes) et intensément bioturbé. De nombreux microfaciès argilo-silteux avec Stromatopores, Crinoïdes, Brachiopodes et Algues

(Girvanelles et rares Paléobéreselles) sont la règle. Les Foraminifères sont rares et peu diagnostiques.

N3 : base du Calcaire d'Étroeungt (13 m)

Ce niveau correspond à la base du Calcaire d'Étroeungt *sensu lato*. Il débute par des shales marins passant progressivement à des carbonates de plus en plus purs. La macrofaune est composée de Stromatopores, Crinoïdes, Brachiopodes et Bryozoaires. Le milieu est marin ouvert, fortement bioturbé et dans la zone photique comme indiqué par les Issinelles, Kamaénides et Girvanelles. D'abondants *Paracalligeloïdes*, *Bisphaera* et *Cryptophyllus* (Casier & Préat, 2003) sont présents. Parmi les Foraminifères on note les premiers *Quasiendothyra kobeitusana* (diamètre 560-600 µm) diagnostiques de la base de la Zone 6. Ils sont associés à quelques *Latiendothyra* et Tournayelles. Le niveau montre des fluctuations régressives ZAT-ZAV dans la zone photique.

N4 : partie moyenne du Calcaire d'Étroeungt (12 m)

Ce niveau de shales et spicules passe très rapidement à des faciès marins ouverts bioturbés à Crinoïdes, Coraux et Stromatopores. Les péloïdes deviennent abondants et sont accompagnés d'Issinelles, de *Kamaena*, de *Pseudokamaena* et Paléobéreselles. Les Girvanelles sont rares tandis que les *Bisphaera* et les *Paracalligeloïdes* sont abondants. Cette évolution régressive s'accompagne de Foraminifères (*Quasiendothyra kobeitusana* fluctuant de 620 à 800 µm) de plus en plus abondants vers le sommet. Les microfaciès passent de mudstones et wackestones à la base, à des packstones et grainstones au sommet, où de nombreuses tempestites proximales s'observent.

N5 : partie supérieure du Calcaire d'Étroeungt ou Calcaire d'Étroeungt *sensu stricto* (Gosselet, 1860) (19 m)

Cette suite régressive passe de marin ouvert à un milieu semi-restreint. La bioturbation est intense à la base où s'observent des Coraux, Stromatopores, Crinoïdes, Brachiopodes mêlés à des grains micritisés bactériens, à des péloïdes et lumps lagunaires, et des Issinelles et Paléobéreselles. Les *Quasiendothyra kobeitusana* varient entre 600 et 1000 µm, et il s'y associe des Klubovelles indiquant la partie supérieure de la Zone 6. Les microfaciès sont constitués de grainstones et rudstones parfois laminaires et granoclassés. Des stratifications en mamelons ou 'HCS' (hummocky cross stratification) s'observent sur le terrain dans la partie à Klubovelles.

N6 : transition Étroeungt/Avesnelles (10 m)

Le passage Étroeungt/Avesnelles est progressif et montre une série transgressive où alternent des faciès semblables à ceux du niveau précédent avec des faciès marins beaucoup plus francs. Ces derniers sont constitués de mudstones et de wackestones de plus en plus argileux, de plus en plus riches en pyrite, dans la zone photique. Malgré une forte

bioturbation des reliques de tempestites distales sont encore présentes. Les Paléobéreselles et Issinelles restent abondantes. Vers le sommet le milieu devient de plus en plus anoxique. Les *Paracalligeloïdes* très rares et les *Q. kobeitusana* qui ont disparu sont remplacés par des Tournayelles primitives (*Eochernyschinella*, 'Tournayellina') indiquant la Zone pré-7.

N7: Calcaire d'Avesnelles (10 m)

Niveau transgressif passant des faciès marins francs situés dans la ZAT à des faciès plus profonds sous la ZAT. A la base, on observe les tous derniers Stromatopores et les *Paracalligeloïdes* disparaissent également. Les faciès sont constitués de mudstones et wackestones grumeleux à spicules et passent ensuite à des spiculites noires et anoxiques dans les deux derniers mètres. C'est la faciès le 'plus profond' observé dans la série. Les Foraminifères sont surtout présents à la base et indiquent la même Zone pré-7. Des tempestites distales sont présentes et apportent divers bioclastes et microbioclastes (Crinoïdes, Ostracodes, Foraminifères et rares Calcisphères ?).

N8: Calcaire d'Hastière (4 m)

Ce niveau est discordant et se compose d'un microconglomérat remaniant des grainstones à péloïdes, lumps, grains micritisés, terriers dolomitiques, oolithes, bahamites. Il est suivi par des packstones-grainstones comprenant les mêmes éléments figurés. C'est la faciès le plus littoral remaniant des lagons semi-restreints. La couleur noire des calcaires d'Avesnelles et d'Hastière indique des conditions anoxiques qui se forment dans des milieux marins profonds soit au contraire lagunaires.

N9: Calcaire d'Hastière (1 m)

Le niveau est semblable au précédent, également en discordance, avec un microconglomérat de galets lagunaires reprenant des grainstones et packstones lagunaires.

N9: Calcaire d'Hastière (2 m)

Retour à des milieux marins à salinité normale. L'environnement est de même type que celui des niveaux 2, 3 et 4 avec l'association Crinoïdes, Coraux, Issinelles, Paléobéreselles, et faciès à Ostracodes, *Earlandia minima* et *Irregularina*. On observe également de faux grainstones (grainstones de recristallisation) avec d'abondants Ostracodes (*Cryptophyllus*).

3.2.2. La coupe du pont-rail d'Anseremme (le long de la Meuse) (Fig. 3)

Niveau N3 : base du Calcaire d'Etroeungt (vue sur 10 m)

Calcaires marins ouverts dans la zone photique entre ZAT-ZAV. Les Foraminifères sont composés de petits *Quasiendothyra kobeitusana* n'excédant pas 600 µm, associés à des *Q. communis*, *Q. regularis* et quelques Tournayelles. Les *Paracalligeloïdes* sont très abondants au sommet. Les Algues sont assez rares (*Kamaena*,

Paléobéreselles) vu l'abondance des argiles. Les faciès sont constitués de wackestones et packstones crinoïdiques.

N4 : partie moyenne du Calcaire d'Etroeungt (11 m)

Calcaires marins ouverts dans la zone photique, les *Quasiendothyra kobeitusana* fluctuent entre 650 et 700 µm et sont associés à des *Q. communis* et *Q. regularis*. Ce niveau n'est pas fortement érodé (voir ci-dessous), car non observé dans les galets du Calcaire d'Hastière surincombant.

Hiatus des niveaux 5, 6 et 7

N8/9 confondus: Calcaire d'Hastière (19 m)

Ils correspondent aux hiatus observés dans la coupe de l'Avesnois. Ils débutent par un épais ($\pm 1,5$ m) microconglomérat à fragments polygéniques (galets de galets), lumps, oolithes, bahamites bioérodés et transportés. Pas de traces des faciès du sommet du Calcaire d'Etroeungt, ni de ceux du Calcaire d'Avesnelles. Il s'agit donc du remaniement d'un Calcaire d'Hastière préexistant. Le microconglomérat est surmonté de 18 m de microséquences centimétriques à décimétriques composées de la succession des faciès suivants de la base au sommet :

- tempestites à Crinoïdes [= tempestites proximales],
- 'faux grainstones' à péloïdes, Calcisphères, *Bisphaera*, Brachiopodes, Crinoïdes [lagon ouvert],
- 'faux grainstones' à Ostracodes très abondants et *Earlandia minima* abondants [= 'faciès à *Earlandia minima*']. Il s'y associe quelques Quasiumbelles [lagon restreint],
- packstones et 'faux grainstones' à lumps 'déchiquetés' et grains micritisés.

Ces faciès [1 à 4] sont affectés d'une diagenèse sulfatée évaporitique soulignée par de nombreux pseudomorphes de calcite d'après les sulfates. Le milieu est fort instable, entre semi-ouvert et restreint avec évaporites de reflux. C'est le seul milieu à salinité fluctuante et élevée. Ceci explique l'extrême rareté des Foraminifères pluriloculaires.

N10 : Calcaire d'Hastière (2 m)

Retour à des conditions de salinité normale dans la zone photique d'un milieu marin ouvert. Les Algues sont composées d'*Aphralysia* et de Girvanelles. Présence de Salébridés et de *Sphaerinvia*. Les quelques Foraminifères pluriloculaires appartiennent à l'assemblage pré-7 (Tournayelles).

3.2.3. Corrélations séquentielles et biostratigraphiques (Fig. 5)

Tenant compte de la biozonation à Foraminifères (cf. 2.3) et de l'évolution des faciès il est possible de corréler les

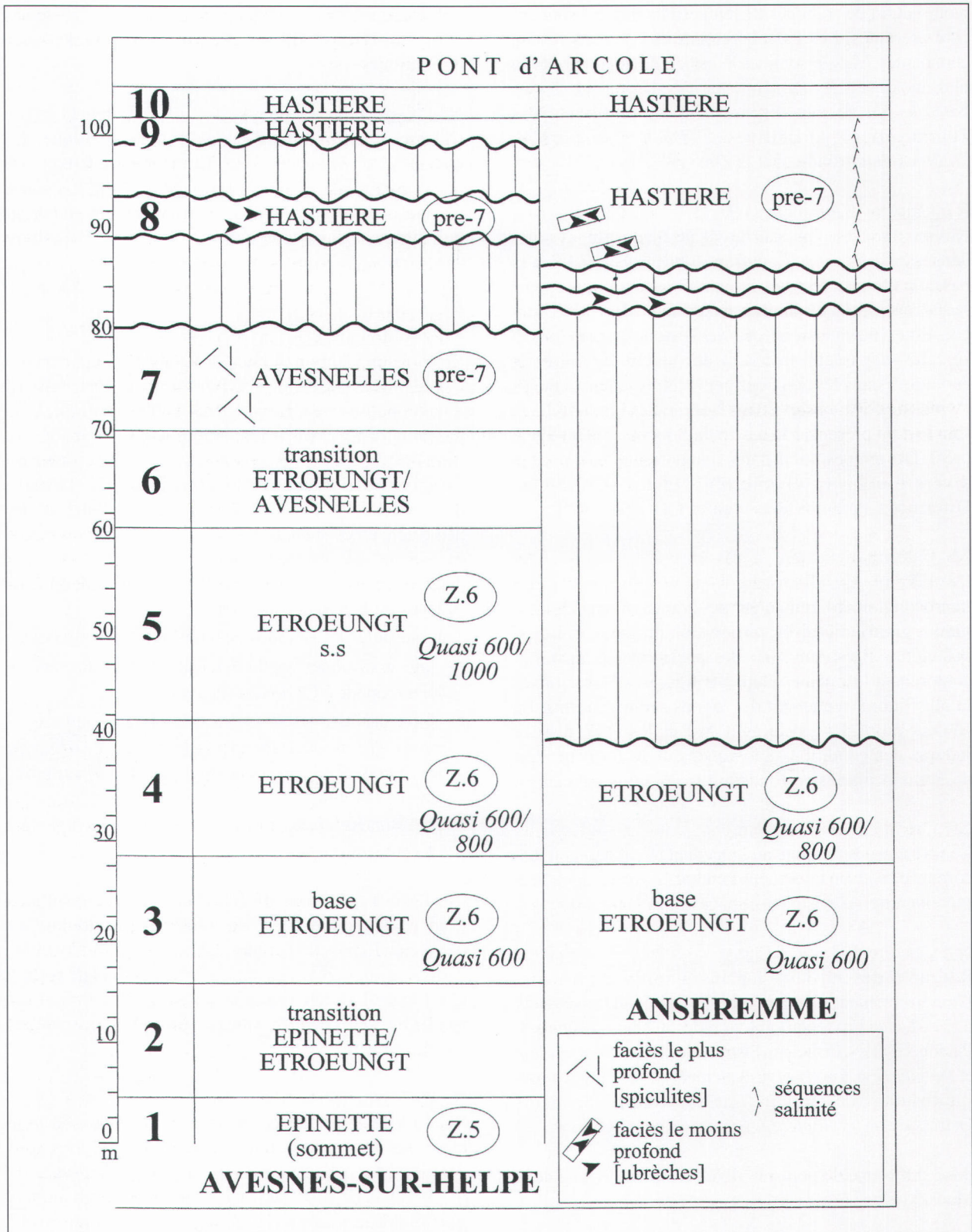


Figure 5. Corrélations stratigraphiques entre les coupes d'Avesnes-sur-Helpe et d'Anseremme au passage D/C. Première colonne: niveaux 1 à 10 (cf. texte), ensuite nom des formations (en petites capitales), et Zones à Foraminifères (*quasi*=*Quasiendothyra kobeitusani*, diamètres en microns) *sensu* Mamet, 1974. Lignes ondulantes horizontales = hiatus (érosion et/ou non dépôt, importances données à titre indicatif).

'D-C' stratigraphical correlations between Avesnes-sur-Helpe and Anseremme profiles. First column: levels 1 to 10 (see text), then formation names (capitals), and foraminiferal Zones (*quasi* = *Quasiendothyra kobeitusani*, diameters in microns) *sensu* Mamet, 1974. Wavy horizontal lines = hiatus (erosion and/or non deposition, importances are only indicative).

deux coupes (Fig. 5) distantes d'une soixantaine de kilomètres (Fig. 1). Cette corrélation montre que plusieurs dizaines de mètres de couches, situées sous le Calcaire d'Hastière, sont absentes à Anseremme, soit qu'elles ne se sont pas déposées, soit qu'elles aient été érodées. L'abondance des microbrèches de Calcaire d'Hastière dans le Calcaire d'Hastière dans les deux coupes montre que cette formation est également incomplète. Il n'est pas possible de quantifier les parties érodées suite à l'absence d'organismes convenables. Malgré les hiatus mis en évidence il apparaît que la coupe d'Avesnes-sur-Helpe est de loin la plus 'complète' et devrait à l'avenir servir de référence pour l'étude des couches de transition D-C.

4. Interprétation 'séquentielle' des couches de passage et discussion

4.1. Variations eustatiques

Pour Hance et al. (2001), les successions Etroeungt/Avesnelles dans les aires de sédimentation de l'Avesnois et d'Hastière au sud du bassin de Dinant constituent la séquence 1, interprétée comme un 'HST'. Leur séquence 2 débute de façon brutale 'son cortège de bas niveau est absent.... bien qu'aucun indice d'émersion ou d'érosion n'ait été observé' (p.418, *ibid*). Cette interprétation ne traduit pas la complexité des séquences observées. Dans l'Avesnois, de nombreuses oscillations du niveau marin relatif sont au contraire la règle. Les cycles (nos niveaux 1 à 10) montrent des fluctuations continues qui vont du plus profond (spiculite du niveau 7, juste sous la ZAT) jusqu'aux milieux marins peu profonds à influence lagunaire (sommet du niveau 5). Tous les intermédiaires existent entre ces deux extrêmes. En aucun cas il ne s'agit d'une sédimentation continue en regard de l'évolution nettement régressive des niveaux 1 à 5 et surtout des microconglomérats érosifs des niveaux 8 et 9.

Le Calcaire d'Hastière est en effet érosif avec des conglomérats qui ne contiennent pas les faciès sous-jacents, mais uniquement des faciès littoraux à lagunaires remaniés. Il ne s'agit certainement pas d'un second HST et la présence d'un hiatus important est évident. Le Calcaire d'Hastière se caractérise par le retour 'transgressif' d'un faciès marin ouvert qui constitue le sommet de la formation (notre niveau 10, Figs. 2 à 4).

Dans la coupe d'Anseremme, les fluctuations des niveaux sont encore plus prononcées. Le Calcaire d'Etroeungt est tronqué et réduit à ses seules parties inférieure et moyenne (niveaux 3 et 4, Fig. 3). Le Calcaire d'Hastière qui repose sur lui débute par un conglomérat polygénique remaniant comme à Avesnes uniquement des faciès du Calcaire d'Hastière. Il manque donc là, en paracon-

formité, le sommet du Calcaire d'Etroeungt, la transition Etroeungt/Avesnelles, le Calcaire d'Avesnelles et la base du Calcaire d'Hastière. Au-dessus de ce conglomérat, le Calcaire d'Hastière est composé de petits cycles oscillant de faciès soit marins, soit restreints à évaporitiques. En aucun cas ceci ne peut être considéré comme un cortège HST. Van Steenwinkel (1988, 1993) y reconnaissait des cycles régressifs. Ces cycles sont fort nombreux et nous confirmons bien l'évolution régressive de la sédimentation. D'ailleurs, ces cycles traduisent plus des variations de salinité que de bathymétrie. Van Steenwinkel (*ib.*) avait également reconnu (sa séquence 5) un retour aux conditions marines normales.

Comme ce dernier auteur nous plaçons une limite de séquence de 3^e ordre à la transition Avesnelles/Hastière (à Avesnes) et Etroeungt/Hastière (Anseremme) liée à une baisse eustatique. Cette diminution du niveau marin a dû être prolongée comme l'atteste l'importance des microbrèches polygéniques et des nombreuses surfaces érosives associées à la base du Calcaire d'Hastière c'est-à-dire à nos niveaux 8 et 9. Notre niveau 10 marque une approfondissement et pourrait correspondre à un intervalle transgressif, comme suggéré par Van Steenwinkel, (1993).

4.2. Estimation des hiatus

L'objet de ce travail est de voir s'il est possible d'estimer l'importance des hiatus sédimentaires. S'agissant d'une rampe on peut raisonnablement postuler que la subsidence a été semblable dans les deux coupes. De plus les faciès sont comparables dans des environnements qui semblent assez constants. Vu cette constance dans les épaisseurs de certains niveaux, on pourrait à priori estimer l'importance des hiatus.

Dans l'Avesnois ceux-ci sont surtout situés au niveau du Calcaire d'Hastière (ancien 'Tn1b'). Dans la Meuse les hiatus sont probablement beaucoup plus importants et éliminent une succession probable de carbonates représentée par 40 m de couches. Cet hiatus semble donc 4 fois plus important dans la Meuse que celui observé à la base du Calcaire d'Hastière en Avesnes (Figs. 5 et 6).

Cette estimation est assez fallacieuse car les deux prémisses posées (constance de la subsidence, constance des faciès) sont discutables et il faut également insister sur le fait que les fluctuations eustatiques sont certainement importantes, mais que le moteur principal de la succession est la subsidence. Cette conclusion s'écarte sensiblement de celle de Van Steenwinkel (1993) pour qui ce sont les fluctuations eustatiques qui sont la règle puisqu'elles sont à même, selon cet auteur, d'expliquer la continuité latérale des paraséquences du Calcaire d'Hastière dans une grande partie du bassin de Dinant. Nous avons montré que ces paraséquences sont

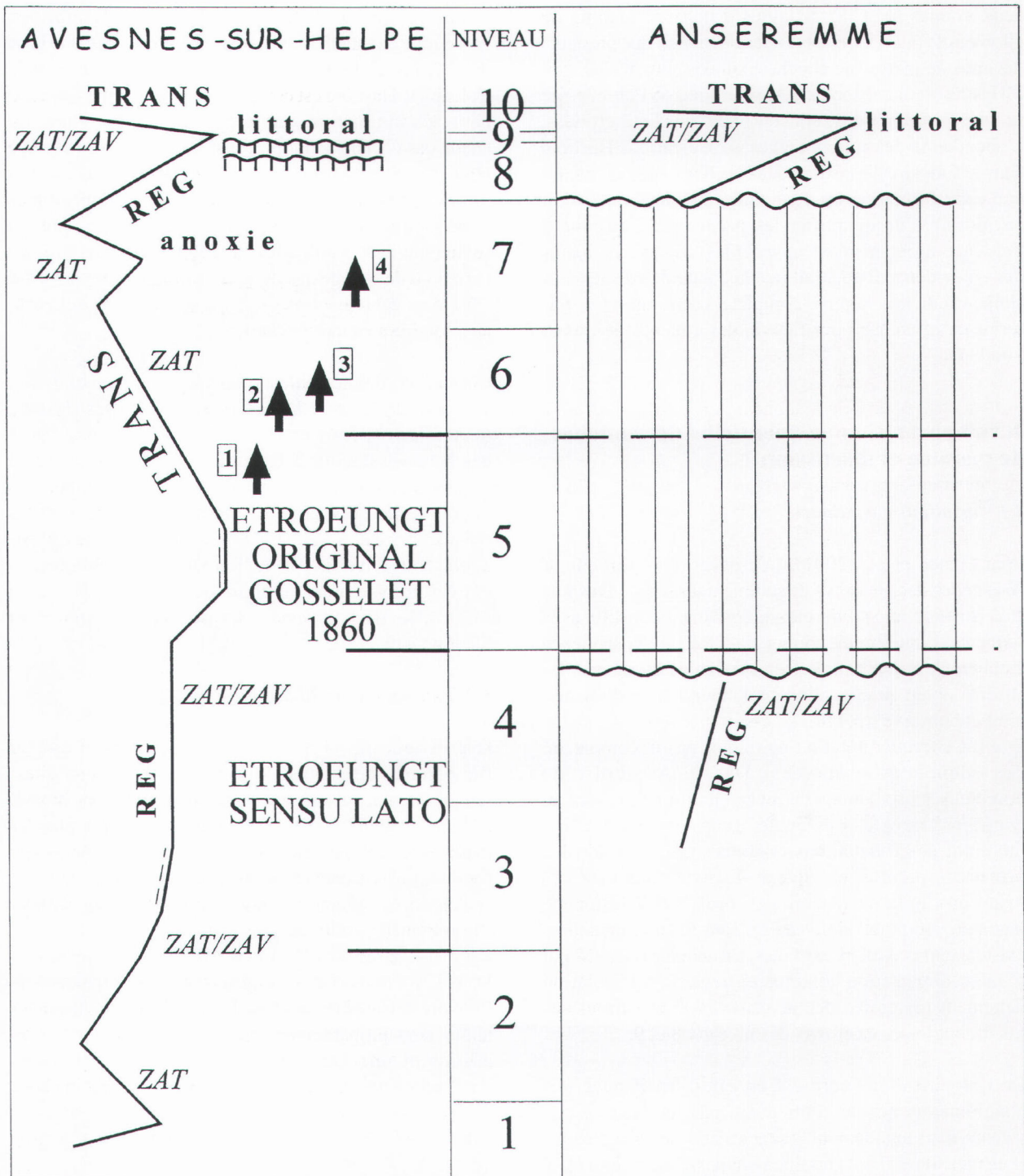


Figure 6. Variations probables du niveau marin dans le bassin et disparition latérale des couches d'Etroeungt *sensu stricto* et de la base d'Hastière à Anseremme. 1 : disparition apparente en lames minces de *Quasiendothyra kobeitusana*, 2 : disparition apparente en lames minces des derniers *Quasiendothyra*, 3 : disparition apparente en lames minces des Stomatopores, 4 : disparition apparente en lames minces des *Paracalligelloides*.

Probable sea level fluctuations in the basin and lateral disappearance of the Etroeungt (*sensu stricto*) beds and of the base of the Hastière beds at Anseremme. 1 : thin section apparent disappearance of *Quasiendothyra kobeitusana*, 2 : thin section apparent disappearance of the latest *Quasiendothyra*, 3 : thin section apparent disappearance of stromatopores, 4 : thin section apparent disappearance of *Paracalligelloides*. Z.A.V. = normal or fair-weather wave base, Z.A.T. = normal storm wave base TRANS = transgressive evolution, REG = regressive evolution. Levels 1 to 10 in middle column.

beaucoup plus nombreuses que prévu, et surtout qu'elles sont le fait de variations de salinité et non de bathymétrie, les variations de salinité (de saumâtre à hypersalin) s'amplifiant en direction du continent (ici vers le nord, nord-est). De plus, les fluctuations eustatiques ne sont pas à même d'expliquer la disparition à l'échelle locale (une soixantaine de km) et en paraconformité d'une quarantaine de mètres de couches.

5. Conclusion

Cet article, un peu aride et surtout fort local, confirme que quelle que soit l'hypothèse ou le modèle employé pour expliquer une plate-forme ou une rampe carbonatée, il reste encore bien des inconnues pour en expliquer le mécanisme. Situées dans un même bassin et très proches l'une de l'autre, les deux coupes présentent en effet une succession stratigraphique apparemment semblable. Il en va de même des microfaciès, des assemblages de microfaunes et microflore, et des lithologies. Cette similitude est trompeuse. Vu leur proximité paléogéographique les fluctuations eustatiques ont dû être fort semblables. Pourtant il manque plus de la moitié de la série dans une des deux coupes, anciennement proposée comme stratotype pour la limite Dévonien-Carbonifère. Les hiatus de plusieurs niveaux ne peuvent donc que s'expliquer par le jeu de blocs tectono-sédimentaires.

6. Remerciements

Les auteurs remercient les deux reviewers Frédéric Boulvain et Eddy Poty pour leurs suggestions.

7. Bibliographie

- AHR, W.M., 1989 ; Sedimentary and tectonic controls on the development of an Early Mississippian carbonate ramp. Sacramento Mountains area, New Mexico. In *Crevelo, P.D., Wilson, J.L., Sarg, J.F. & Read J.F. (eds) : Controls on Carbonate Platform and Basin Development. Society Economic Palaeontologists and Mineralogists, Special Publication, Tulsa*, 44 : 203-212.
- AIGNER, T., 1985. Storm Depositional Systems. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York*, 174pp.
- BOUCKAERT, J., CONIL, R., GROESSENS, E., STREEL, M. & SANDBERG, CA., 1974. International Symposium Belgian Micropalaeontological Limits, Namur, Excursion C, Geological Survey Belgium, Brussels.
- CASIER, J.G. & PREAT, A., 2003. Ostracods and lithofacies associated of the Devonian Carboniferous boundary beds in the Avesnois, North of France. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre, Bruxelles*, 73 (sous presse).
- CASIER, J.G., LETHIERS, F. & PREAT, A., 2002. Ostracods and sedimentology of the La Serre Devonian/Carboniferous stratotype section (La Serre, Montagne Noire, France). *Bulletin Institut royal Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre, Bruxelles*, 72 :43-68.
- CONIL, R., 1964. Localités et soupes-types pour l'étude du Tournaisien inférieur (Révision des limites sous l'aspect micropaléontologique). *Académie royale Belgique, Classe Sc.*, 15(4), 1-87.
- CONIL, R., 1968. Le calcaire carbonifère depuis le Tn1a jusqu'au V2a. *Annales Société géologique de Belgique, Liège*, 90:B687-726.
- CONIL, R., 1973. Intérêt de certaines coupes de l'Avesnois dans la séquence classique du Dinantien. *Annales Société géologique du Nord, Lille*, XCIII, 169-175.
- 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.
- CONIL, R., DREESEN, R., LENTZ, MA, LYS, M. & PLODOWSKI, G. 1986. The Devonian-Carboniferous transition in the French-Belgian Basin with références to foraminifera and brachiopodes. *Société géologique de Belgique, Liège*, 109, 19-26.
- DELFAUD, J., 1975. Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôt. *Bulletin Société géologique de France, Paris*, (7), 16/6 :643-650.
- EINSELE, G. & SEILACHER, A., 1982 (Eds.). Cyclic Event Stratification. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 536pp.
- FEIST, R. & FLAJS G., 1987. La limite Dévonien-Carbonifère dans la Montagne Noire (France). Biostratigraphie et environnement. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 305, série II : 1537-1544.
- FLAJS G. & FEIST, R., 1988. Index, conodonts, trilobites and environment of the Devonian-Carboniferous boundary at La Serre (Montagne Noire, France). *Courier Forschung-Institut Senckenberg*, 100 : 53-107.
- GOSSELET, J., 1857. Note sur le terrain dévonien de l'Ardenne et du Hainaut. *Bulletin Société géologique de France, Paris*, 2^e série, XIV, 364-373.

- GOSSELET, J., 1860. Mémoires sur les terrains primaires de la Belgique, des environs d'Avesnes et du Boulonnais. Paris, Martinet, 164pp.
- GOSSELET, J., 1880. Esquisse géologique du Nord de la France. Société géologique du Nord, Lille, 1^{er} fascicule, Terrains primaires.
- HANCE, L., POTY, E. & DEVUYST, F.X., 2001. Stratigraphie séquentielle du Dinantien type (Belgique) et corrélation avec le Nord de la France (Boulonnais, Avesnois). *Bulletin Société géologique de France*, 172,4 : 411-426.
- KHATIR, A. & GUILLOT, F., 1990. Géologie structurale et exploitation de carrière en Avesnois (massif ardennais, Nord, France). *Annales Société géologique du Nord, Lille*, IX, 21-24.
- LOMBARD, A., 1972. Les séries sédimentaires. Genèse, Evolution. *Masson Cie, Paris*, 705pp.
- MAMET, B., 1964. Sédimentation des faciès 'marbres noirs' de la Belgique et du Nord de la France. *Developments in Sedimentology*, 1, L.M. Van Straaten (ed.), Elsevier, Amsterdam, 264-268.
- MAMET, B., 1967. The Devonian-Carboniferous Boundary in Eurasia. *International Symposium on the Devonian System. Alberta, Society Petroleum Geology, Calgary*, vol II, Oswald P. (ed.), 995-1007.
- 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., 1993. The *Nanbiancun* algal microflora : a study of the Devonian/Carboniferous boundary in China. *Annales Société géologique Belgique, Liège*, 115/2 :623-627.
- MAMET, B., MORTELMANS G. & SARTENAER P., 1965. Réflexions à propos du Calcaire d'Étroeungt. *Bulletin Société belge Géologie, Bruxelles*, 74/1 :41-51.
- 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, Lille*, CVIII, 125-142.
- PAPROTH, E. & STREEL, M., (ed. 1984). The Devonian-Carboniferous boundary. *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 67, 258pp.
- PREAT, A. & KASIMI, R., 1995. Sédimentation de rampe mixte silico-carbonatée des couches de transition eiféliennes-givétiennes franco-belges. Première partie : microfaciès et modèle sédimentaire. *Bulletin Centres Recherches Elf Exploration-Production, Pau*, 19/2 :329-375.
- RAUZER-CHERNOUSSOVA, D.M., 1948. Nouvelles espèces de Foraminifères des sédiments du Carbonifère Inférieur du Bassin de Moscou. *Ahd Nauk SSSR, Inst. Geol. Nauk, Trudy*, 62 (geol. Ser n°19), 227-229.
- RAUZER-CHERNOUSSOVA, D.M, BENSCH, F.R., VDOVENKO, M.V. et al., 1996. Reference-book on the systematic of Paleozoic foraminifers (Endothyroidea, Fusulinoida). *Akaemija Nauk Rossiya, Geologischeskii Institut, 'Nauka'*, 207pp.
- SARTENAER, P. & MAMET, B., 1964. Le calcaire d'Étroeungt à Étroeungt. *Comptes-Rendus, 7ème Congrès International de Stratigraphie et Géologie du Carbonifère, Paris 1963, Extrait*, p.755-761.
- SEBBAR, A., PREAT, A. & MAMET, B., 2000. Microfaciès et biozonation de la rampe mixte carbonifère du bassin de Tindouf, Algérie. *Bulletin Centres Recherches Elf Exploration-Production, Pau*, 22/2 :203-239.
- STREEL, M., 1971. Biostratigraphie des couches de transition Dévono-Carbonifère et limite entre les deux systèmes. *Comptes-Rendus 7ème Congrès International de Stratigraphie et Géologie du Carbonifère, Krefeld*.
- STREEL, M., 1983. Bio- and lithostratigraphic subdivisions of the Dinantian in Belgium, a review. *Annales Société géologique Belgique, Liège*, 106 : 192-193.
- STREEL, M., 1986. Miospore contribution to the Upper Famennian-Strunian event stratigraphy. In *Bless M.J. and Streel M. ed., 1986. Late Devonian Events around the Old Red Continent. Annales Société géologique Belgique, Liège*, 109/1, 323pp.
- 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 *Einsle G, Ricken W. & Seilacher A (eds) : Cycles and Events in Stratigraphy. Springer Verlag, Berlin*, 617-659.
- VAN STEENWINKEL, M., 1980. Sedimentation and Conodont Stratigraphy of the Hastière Limestone, Lowermost Dinantian, Anseremme, Belgium. In : *Pre-Permian around the Brabant Massif in Belgium, the Netherlands and Germany (Ed. by M.J.M. Bless, J. Bouckaert & E. Paproth). Medel. Rijks Geologische Dienst*, 32/4 : 30-33.

VAN STEENWINKEL, M., 1984. The Devonian-Carboniferous boundary in the vicinity of Dinant, Belgium. *Courier Forschung-Institut Senckenberg*, 67 : 57-70.

VAN STEENWINKEL, M., 1988. The sedimentary history of the Dinant Basin Platform during the Devonian-Carboniferous transition. *PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven*, 173pp.

VAN STEENWINKEL, M., 1993. The Devonian-Carboniferous boundary in southern Belgium : biostratigraphic identification criteria of sequence boundaries. *Special Publications International Association of Sedimentologists*, 18, 237-246.

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 Atlas of Seismic Stratigraphy 1 (Ed. Bally A.W.) American Association of Petroleum Geologists, Studies Geology, Tulsa*, 27 : 11-14.

WRIGHT, V.P. & BURCHETTE, T.P., 1998 (Eds.). Carbonate ramps. *Geological Society, Special Publication n°149, London*, 465pp.

Manuscript received 26.06.2002, accepted for publication 18.12.02