

Bulletin de la Société belge de Géologie Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	T. 95 V. 95	fasc. 2 & 3 delen 2 & 3	pp. 177-189 blz. 177-189	Bruxelles 1986 Brussel 1986
--	----------------	----------------------------	-----------------------------	--------------------------------

FACIES PREEVAPORITIKUES DANS LE GIVETIEN DES BASSINS DE DINANT ET DE NAMUR

par A. PREAT (*) et J. M. ROUCHY (**)

RESUME. - L'étude des nombreux niveaux pré-évaporitiques et évaporitiques d'âge givétien présents dans les bassins de Namur et de Dinant permet de préciser l'évolution des paramètres sédimentologiques liés au confinement en même temps qu'elle permet de préciser les mécanismes à l'origine de la sédimentation sulfatée. La sédimentation carbonatée et sulfatée est liée à la subsidence quasi continue d'un domaine intracratonique et a principalement lieu dans la partie tout à fait superficielle d'une vaste plateforme de type transitionnel, sans véritable barrière récifale, et pratiquement sans pente.

L'examen des séquences élémentaires de 1er et 2ème ordres, basées sur la succession de 13 microfaciès carbonatés majeurs, montre que ces séquences traduisent dans tous les cas des évolutions régressives du milieu de sédimentation suivant des rythmes élémentaires. C'est principalement au sommet de ces rythmes que s'observent les sédiments pré-évaporitiques ~~et~~ évaporitiques. Leur analyse permet de les comparer aux étendues supratidales lagunaires très protégées qui s'observent actuellement dans le Golfe Persique où la précipitation des sulfates est en relation avec la concentration des saumures marines dans les platiers supratidaux. La répartition des différents faciès et l'installation d'une sédimentation sulfatée reflètent également une évolution climatique de tropical humide à semi-aride. La comparaison des évaporites givétiennes avec celles du Dinantien qui sont beaucoup plus épaisses, pourrait refléter en partie des évolutions différentes des taux de subsidence au cours de ces deux périodes.

ABSTRACT. - Analyses of numerous pre-evaporitic and evaporitic givetian beds in the Namur and Dinant Basins leads to a better understanding of the processes related to the formation of brackish or hypersaline lagoons and restricted marine bays. A model based on a steady subsidence of an intracratonic foreland characterizes the givetian carbonate platform. The steady subsidence persisted during the givetian times and the sedimentation counterbalanced exactly the subsidence.

Regional study of the standard sequence based on the microfacies succession reflects shoaling conditions into the platform.

Sequential analysis shows the rhythmic character of the givetian sedimentation which is entirely controlled by elementary regressive one to two meters thick rhythms.

(*) Fina Petroleos de Angola, c/o Pétrofina, 52 rue de l'Industrie, B-1040 Bruxelles (Belgique).

(**) GRECO 52, Museum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Géologie, 43 rue Buffon, F-75005, Paris (France).

The sulphate deposits are localised at the top of these regressive rhythms. They are very similar to "sabkhas" and restricted lagoons of the Persian Gulf where the precipitation of the sulphates is related to the capillary concentration of brines in the supratidal sediments.

The repartition of the evaporitic sediments during the givetian times reflects probably a climatic evolution from humid tropical to semi-arid.

The comparison of givetian evaporitic sediments with the dinantian ones, which are thicker, may indicate differential evolution of the subsidence rates during these two periods.

INTRODUCTION.

Les sédiments givétiens affleurent particulièrement bien dans le Bassin de Namur et dans la partie septentrionale du Bassin de Dinant (figure 1) où ils sont épais d'une centaine de mètres et constitués de calcaires et de dolomies alors qu'il s'agit surtout de calcaires dans la partie méridionale du Bassin de Dinant. Dans cette dernière région, les sédiments givétiens sont beaucoup plus épais et atteignent plus de 400 mètres de puissance dans la localité-type de Givet (France).

L'analyse sédimentologique de ces sédiments permet de décrire treize microfaciès carbonatés majeurs suivant une logique d'ordre bathymétrique. L'ordre de succession de ces microfaciès ("MF1 à MF13" constitue une séquence standard valable pour l'ensemble du Givétien franco-belge (PREAT et BOULVAIN, 1982; PREAT, 1984; PREAT *et al.*, 1986). Il s'agit principalement de dépôts de plateforme s'étageant des milieux lagunaires aux zones supratidales. L'essentiel de la sédimentation, qui a lieu dans la partie supérieure et très peu profonde de la plateforme, est conditionné par le jeu de chenaux et de leurs divagations, par la rupture de cordons oolithiques et bioclastiques et par le développement de platiers algaires. Ce sont les faciès "lagunaires" semi-restreints à restreints qui dominent très nettement. L'analyse quantitative montre qu'ils représentent fréquemment plus de 60 % de l'ensemble de la sédimentation. L'intégration de ces

données en fonction du temps géologique permet l'élaboration d'un modèle sédimentologique et paléoécologique correspondant à une vaste plateforme de type transitionnel, sans véritable barrière récifale, au sens moderne du terme, et pratiquement sans pente. La sédimentation carbonatée est liée à la subsidence d'un domaine intracratonique et la profondeur maximale des milieux les plus marins ne dépassait pas 20 à 30 mètres en moyenne (PREAT, 1984; PREAT *et al.*, 1984).

L'examen détaillé des séquences élémentaires de 1er et 2ème ordres dans les milieux lagunaires montre que ces séquences traduisent dans tous les cas des évolutions régressives du milieu de sédimentation suivant des rythmes élémentaires. A ces évolutions correspondent des changements importants des principales caractéristiques des sédiments : changements de texture, de bathymétrie, d'énergie, de diagenèse, parfois même de la composition de la microflore algale. Ces changements assez ténus vers la base du Givétien (Formation de Trois-Fontaines du bord sud du Bassin de Dinant, Formation de Nèvrement du bord nord du Bassin de Namur) s'accroissent avec la poursuite de la sédimentation (Formation du Mont d'Hairs, bord sud du Bassin de Dinant) et constituent la principale caractéristique du sommet du Givétien (Formation de Fromelennes, bord sud du Bassin de Dinant, Formation du Roux, bord nord du Bassin de Dinant et bord sud du

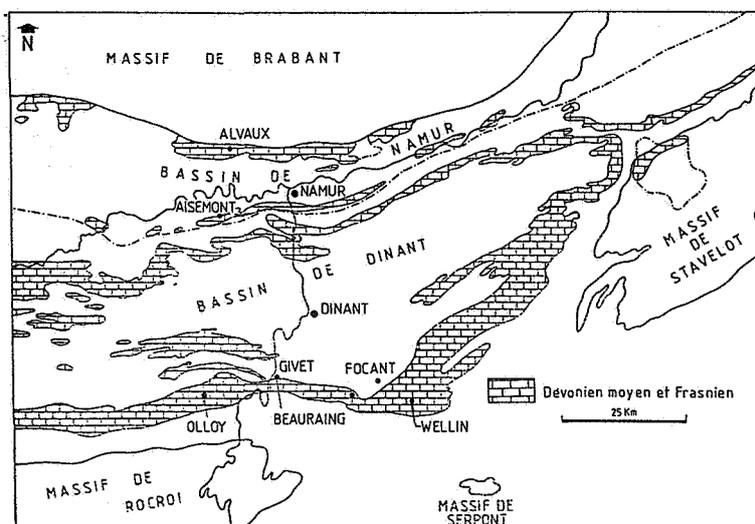


Figure 1 - Carte de localisation des principaux sites où ont été observées des évaporites givétiennes.
Location map of the principal sites where Givetian evaporites have been observed.

Bassin de Namur, Formation de Mazy du bord nord du Bassin de Namur).

En conséquence, la sédimentation lagunaire se fait surtout dans les milieux subtidiaux du Givétien Inférieur et dans les milieux intertidaux à supratidaux proches de l'émergence au Givétien Supérieur. Le mécanisme à l'origine de la rythmicité observée est celui d'une progradation des sédiments en fonction d'un taux de subsidence quasi-constant à l'échelle des séquences élémentaires considérées. L'étude des épaisseurs moyennes des rythmes régressifs élémentaires (PREAT, 1984) montre que leurs rapports sont constants au cours du temps en même temps qu'elles présentent de plus faibles valeurs. Les plus faibles valeurs apparaissent ici associées au confinement des milieux qui deviennent ainsi progressivement hypersalins dans la partie supérieure du Givétien. C'est d'ailleurs surtout dans cette partie supérieure que s'observent des niveaux de dolomies primaires finement litées auxquelles sont parfois associés de minces niveaux d'anhydrite et la plupart des indices sulfatés.

VAN TASSEL (1960) rapporte la présence d'une vingtaine de niveaux anhydritiques, d'épaisseur métrique, dans les schistes et les calcaires du Givétien (Formation d'Alvaux et de Mazy) du sondage de Tournai. Les sulfates, en masses stratifiées, purs ou mélangés à du matériel terrigène et présentant soit une structure nodulaire, soit des structures de sédiments détritiques (ROUCHY, ce volume) constituent 16 % de l'ensemble de la série qui est épaisse ici de 300 mètres. La célestite et la barytine signalées par VAN TASSEL (1960) sont associées à des géodes centimétriques ou à des diaclases; la célestite y apparaît également sous forme de cristaux dispersés de diagenèse précoce.

COEN-AUBERT *et al.*, 1980, reprenant l'étude de ce sondage et de celui de Vieux-Leuze situé à proximité immédiate du précédent en donnent une interprétation plus détaillée. L'anhydrite se rencontre à la fois dans les schistes renfermant souvent des débris de végétaux, et dans les calcaires fins, souvent oolithiques des Formations d'Alvaux et de Mazy. Selon ces auteurs (*op. cit.*), l'ensemble de la série givétienne s'est déposée dans un milieu marin peu profond continuellement subsident. Des oscillations ont déterminé à plusieurs reprises l'isolement du bassin vers le large et créé de véritables lagunes dans lesquelles ont pu précipiter les évaporites. Ces conclusions rejoignent d'assez près les interprétations proposées par MAGNE (1964), LEGRAND (1967), LACROIX (1972, 1974) et PREAT (1984) pour les milieux de dépôt des sédiments givétiens du Bassin de Namur. Elles peuvent également s'étendre au nord de la France où une série pratiquement identique a été reconnue (sondage d'Annepes 1 *in* LAUMONDAIS *et al.*, 1984).

MAMET et PREAT (1985) rapportent la présence de pseudomorphes de sulfates dans les wackestones algaires et dans les dolomies silteuses de la Formation de Mazy et d'Alvaux. Selon ces auteurs l'ensemble de la formation traduit le

passage de milieux lagunaires ouverts à des faciès franchement supratidaux.

PREAT (1984) décrit des pseudomorphes de gypse en rosettes ou en cristallins lenticulaires millimétriques à centimétriques dans des dolomies, parfois silteuses et micacées, de la Formation du Roux d'Aisemont (bord sud du Bassin de Namur). Il s'agit à nouveaux de milieux supratidaux lagunaires très protégés comparables à ceux qui s'observent actuellement le long de la Trucial Coast dans le Golfe Persique (SHEARMAN, 1966; BUTLER, 1969; PURSER, 1973). Le gypse s'y dépose sous le niveau de la nappe, dans la zone intertidale, par évaporation de l'eau de mer encore présente dans le sédiment à marée basse. Il se présente sous forme de grands cristaux aplatis dans les matras algaires intertidales. La dolomitisation des sédiments se fait en rapport avec la précipitation d'anhydrite sur les étendues supratidales.

En ce qui concerne le Givétien du bord sud du Bassin de Dinant, très peu d'ocurrences sulfatées ont été rapportées à ce jour. Signalons la présence de quelques niveaux riches en pseudomorphes de gypse associés aux dolomies finement litées de la Formation de Fromelennes à Givet (ERRERA, 1976) et surtout la découverte d'un mince niveau d'anhydrite dans le Givétien Supérieur (Formation de Fromelennes) du Sondage de Martouzin-Neuville (ou de Focant, GRAULICH *et al.*, 1967).

Pour être complet il faut également mentionner la présence de quelques rares pseudomorphes de cristaux sulfatés dans plusieurs coupes situées de part et d'autre de Givet : citons en particulier quelques cristaux dans des micro-milieux protégés (généralement sous des organismes, "effet de parapluie") des wackestones à Algues et Calcisphères de la Formation de Trois-Fontaines d'Olloy-sur-Viroin et de Wellin, de rares pseudomorphes dans les matras à Spongiostromates et Algues (bindstones et packstones) de la Formation du Mont d'Haura de Beauraing (PREAT, 1984; PREAT *et al.*, 1986), etc...

Ayant ainsi passé en revue la plupart des indices sulfatés connus du Givétien nous nous sommes alors attachés à l'étude du sondage de Focant, celui-ci n'ayant encore jamais fait l'objet d'analyse sédimentologique. Ce travail apportera également pour la première fois des renseignements paléogéographiques sur des évaporites du bord sud du Bassin de Dinant et permettra des comparaisons avec leurs homologues des régions plus septentrionales.

DESCRIPTION DU SONDAGE ET ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE.

Implanté à environ 15 km à l'Est de Givet à la localité de Focant, le sondage de Martouzin-Neuville a recoupé un peu plus de 3000 mètres de sédiments dévoniens (du Famennien au sommet du Givétien) dont environ 250 mètres de schistes et calcaires givétiens (de la cote -2955 m à la cote -3205 m). Ces

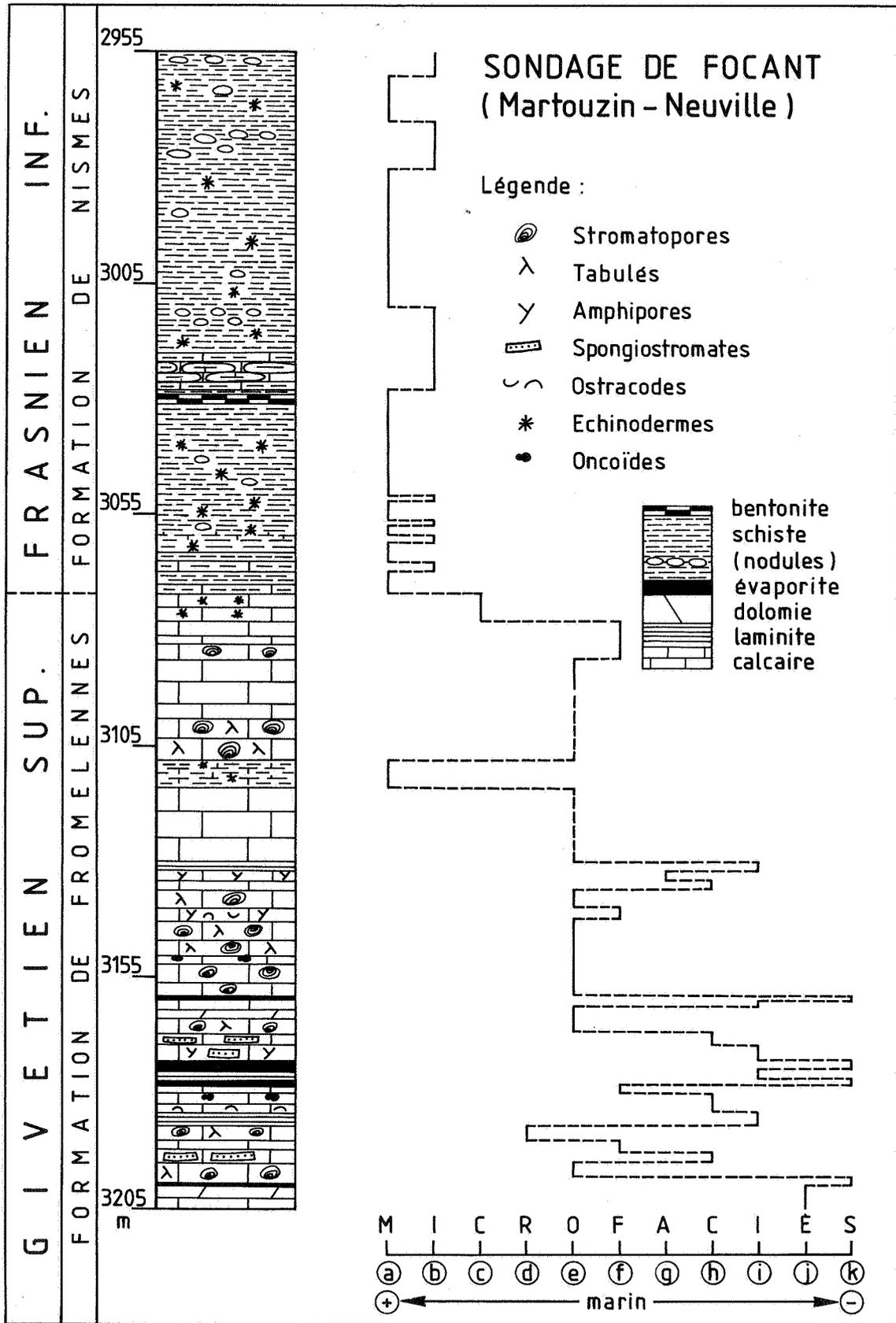


Figure 2 - Colonne stratigraphique simplifiée du sondage n° 27 de Martouzin-Neuville ou "sondage de Focant". L'ordre de succession des microfaciès "a" à "k" constitue la séquence standard de la série (se reporter au texte).

Simplified stratigraphic column of the borehole n°27 of Martouzin-Neuville or "Borehole of Focant". The standard sequence of the serie is constituted by the succession of the microfacies "a" to "k" (see text).

derniers ont été échantillonnés au Service géologique de Belgique et ont fait l'objet d'une étude sédimentologique à partir de plus de 200 lames minces. De la base au sommet (figure 2), la série montre très schématiquement la succession suivante (GRAULICH *et al.*, 1967) : calcaires fins, calcaires grossiers riches en organismes (Polypiers, Stromatopores, Crinoïdes et petits Brachiopodes) alternant avec des niveaux dolomitiques peu épais passant progressivement à des schistes gris à gris foncé, parfois à nodules calcaires riches en Crinoïdes. Le niveau d'anhydrite (profondeur de -3197m50) signalé par ces auteurs (*op. cit.*) est associé à un calcaire fin, gris clair.

Une analyse plus détaillée de cette série nous a permis de mettre en évidence quatre épisodes sulfatés. Ces niveaux d'épaisseur décimétrique sont compris entre les cotes -3197m50 et -3160m00. L'analyse pétrographique de l'ensemble de la série permet de définir 14 microfaciès majeurs (tableau 1) dont la succession marque le passage d'un milieu marin franc à salinité normale à un milieu supratidal à tendance évaporitique. Le tableau 1 nous donne également la correspondance entre les microfaciès reconnus ici (colonne 1 du tableau) et ceux de la séquence standard (colonne 2, *id.*) établie pour l'ensemble du Givétien franco-belge (PREAT et BOULVAIN, 1982; PREAT, 1984). On peut y constater d'emblée l'importance quantitative des faciès des milieux de faible profondeur par rapport aux mêmes faciès dans l'ensemble de la plateforme. De plus, et nous y reviendrons plus loin, le sommet de la séquence standard est ici très semblable à la séquence reconstituée dans la "Grande Brèche" viséenne des bassins de Namur et

de Dinant et mise en évidence par MAMET *et al.* 1985 dans ce volume (colonne 3, *id.*).

Nous donnons ci-dessous une description et une interprétation des 14 microfaciès majeurs qui serviront ensuite de base à la définition des séquences.

a) Shales, siltites argilo-micacées parfois carbonatées, souvent riches en pyrite. Les organismes sont peu abondants et relativement diversifiés : Brachiopodes, Crinoïdes, Mollusques, Trilobites, Ostracodes et parfois spicules d'Éponges. La bioturbation est occasionnelle et alors responsable de l'homogénéisation du sédiment.

Milieu subtidal marin ouvert et turbide situé sous la zone d'action des vagues. Énergie faible à modérée, taux de sédimentation faible à très faible et milieu relativement restreint;

b) Mudstones et wackestones souvent bioturbés et présentant une association faunistique semblable à la précédente. On note cependant la présence de Bryozoaires (Fenestellidés principalement) et de Tentaculidés. La microflore algale est toujours très pauvre et composée de quelques Issinelles. La matrice micritique est souvent recristallisée en fin microspar dolomitique dans les zones bioturbées.

Même milieu que précédemment mais moins turbide.

c) Wackestones et packstones à Issinelles et Paléobéreselles auxquelles sont mêlés des fragments d'organismes constructeurs (Tabulés et Stromatopores

SEQUENCE STANDARD : GIVETIEN SUPERIEUR DE FOCANT					
INTERSTITIAL à SUPRATIDAL	HYPER-SALIN	" MF 13 "	k	ANHYDRITE - GYPSE - ALBITE DANS DOLOMIES	
		" MF 13 "	j	MUDSTONES + RHIZOMES	
		" MF 12 "	i2	MUDSTONES à OSTRACODES	
	RESTREINT à SEMI-RESTREINT	" SEQU. " COLLAPSE BRECCIA "	" MF 12 "	i1	LAMINITES
			" MF 11 "	h2	PKST LUMPS - MICROBRECHES - DESSICATION + PALAEOMICROCODIUM
			" MF 11 "	h1	BDST SPONGIOSTROMATES + CODIACEES + OOIDES " CHOUX-FLEUR "
			" MF 10 "	g	BINDSTONES - PKST ONCOIDES (BEVOCASTRIA)
			" MF 9 "	f2	WKST - PKST à BEVOCASTRIA, PALEOBERESELLES
			" MF 9 "	f1	BDST à AMPHIPORA
			" MF 6-9 "	e	FLST à TABULES ENCROUTES (CODIACEES - EPONGES)
	SALINITE à " NORMALE "	" (3) "	" MF 6 "	d	PKST - FLST à STROMATOPOROIDES, CORAUX (PALEOBERESELLES)
			" MF 3 "	c	WKST - PKST à PALEOBERESELLES ET FRAG. CONSTRUCTEURS
			" MF 1 "	b	MDST - WKST (M.O.)
SUBTIDAL		" MF 1 "	a	SHALES	
		(2)	(1)		

TABLEAU 1.

Description schématique des 14 microfaciès suivant la séquence standard définie dans ce travail (1). Comparaisons avec les microfaciès "MF 1" à "MF 13" constituant la séquence standard valable pour l'ensemble du Givétien franco-belge (2) (PREAT 1984), et avec la séquence proposée par MAMET *et al.* (3) (ce volume) dans la "Grande Brèche" viséenne des Bassins de Namur et de Dinant.

Schematic description of the 14 microfaciès constituting the standard sequence defined in this work (1). Comparisons with the microfaciès "MF 1" to "MF 13" which form the standard sequence that can be applied to the whole belgo-french givetian (2) (PREAT, 1984) and with the sequence proposed by MAMET *et al.* (3) (this volume) for the Viséan "Grande Brèche" of the Namur and Dinant basins.

lamellaires). Outre les organismes des microfaciès précédents on note l'apparition des Serpulidés (dont *Trypanopora*) et des Umbelles. Les fragments d'organismes sont parfois encroûtés par les Codiacées nodulaires (principalement *Bevoastria*) et leur désintégration alimentent toute une série de péloïdes de formes diverses et de tailles variables parfois difficiles à reconnaître des grains micritisés également associés à ce microfaciès.

Milieu "d'avant-récif" peu profond et modérément agité. Les Algues (Issinelles et Paléobéréselles) et les Stromatopores lamellaires jouaient probablement le rôle de bons filtres à sédiment et devaient s'installer à la faveur de ralentissement de la sédimentation argileuse. Ils préparaient ainsi le terrain aux formes plus massives que nous allons décrire ci-dessous.

- d) Packstones et floatstones à Stromatopores, le plus souvent irréguliers, à Coraux auxquels s'ajoutent quelques Paléobéréselles. Présence de quelques Crinoïdes, Brachiopodes (dont quelques Stringocéphales) et Serpulidés. La plupart des fragments ne sont pas micritisés et présentent un mauvais classement.

Milieu "péri-récifal" plus fortement agité que le milieu du microfaciès précédent. Ce microfaciès assure la transition entre les milieux ouverts francs (microfaciès "a", "b" et "c") et les milieux semi-restreints à restreints (microfaciès "e" à "k", voir ci-dessous).

- e) Boundstones à floatstones à Stromatopores bulbeux et irréguliers, à Tabulés et Rugueux. Ces organismes constructeurs sont toujours de très faible taille (inférieure à 5 cm) et s'encroûtent mutuellement, les Rugueux constituant les nuclei. Il s'agit dans presque tous les cas d'encroûtement asymétriques. La microflore alguaire devient importante et est dominée par les *Bevoastria* qui forment des trames parfois continues (bindstones) ou des oncoïdes avec les Eponges et encroûtent la plupart des fragments d'organismes constructeurs. On note également la présence de quelques Labyrinthoconidés (MAMET *et al.*, 1982) de Paléobéréselles, de *Frutaxites* ?, d'Ostracodes et de Mollusques. Les Amphipores (Stromatopores branchus) sont également présents et deviennent parfois même abondants. Avec ce faciès apparaissent les premières structures fenestrées : celles-ci qui présentent parfois des formes géométriques bien nettes (anciens cristaux sulfatés ?), correspondent le plus souvent à la dissolution des Eponges. La dolomitisation devient également importante et peut envahir toute la roche.

Milieu "d'arrière récif", subtidal à intertidal, peu profond, semi-restreint, en contact occasionnel avec le milieu marin franc. La présence occasionnelle de nombreux fragments d'Amphipores est à mettre en relation avec la destruction de petites colonies vivant dans les faciès lagunaires tout à fait protégés (READ, 1973; CORNET,

1975; PREAT, 1984). Energie faible et agitation intermittente comme en témoignent notamment la présence des oncoïdes, des Stromatopores irréguliers et bulbeux et les débris d'Amphipores.

- f1) Boundstones (packstones et bafflestones) à *Amphipora*. Les Amphipores, le plus souvent dissouts, sont entourés d'une trame encroûtante de *Bevoastria* à laquelle sont associées des Eponges dont on retrouve parfois de nombreux microscières parfaitement conservés. Le développement important de cette association Algues-Eponges est à l'origine de bindstones formés d'une trame continue reliant entre eux les Amphipores.
- f2) Wackestones et packstones à *Bevoastria*, Issinelles et Kamaénidés. Présence de Calcisphères, d'Ostracodes, de Mollusques et d'Amphipores et de rares Labyrinthoconidés. La bioturbation est faible à modérée. Tout comme pour le microfaciès précédent le dolomitisation peut être très importante. Elle se présente sous forme de cristaux idiotopiques de faible granulométrie (inférieure à 50-60µm).

Les microfaciès "f1 et f2" traduisent une sédimentation dans des environnements lagunaires en milieux protégés à très protégés comme en témoigne notamment la très faible diversité de la faune et de la microflore alguaire dominée par les Codiacées nodulaires. L'agitation et la bathymétrie sont faibles.

- g) Packstones et bindstones à oncoïdes de *Bevoastria*, Ostracodes et Serpulidés. Présence de fragments de Tabulés, de Mollusques. La matrice micritique se présente souvent sous forme de microspar très grossier, ce microfaciès prend alors l'aspect d'un grainstone.

Milieu intertidal à supratidal très peu profond, protégé à très protégé, soumis à une agitation intermittente. Les phénomènes de dissolution deviennent importants avec ce faciès et traduisent l'influence des nappes d'eaux douces. Il s'agit ici des premiers sédiments sous le contrôle d'une diagenèse en milieux phréatique et vadose.

- h1) Boundstones-bindstones à Spongiostromates et tapis algaires dominés par les Codiacées (*Bevoastria* principalement) en association avec les Eponges. Les Ostracodes, Pélécytopodes, péloïdes, lumps et oïdes "en choux-fleur" (oolithes superficielles à cortex irréguliers) sont également présents. Rares Amphipores et Labyrinthoconidés.
- h2) Packstones à péloïdes très uniformes (20-30 µm), lumps et "intraclastes" de *Bevoastria* de toutes tailles et dimensions, structures de dissolution et fentes de dessiccation. Présence de *Palaeomicrocodium* (MAMET et ROUX, 1982; MAMET et PREAT, 1985). Inclusions d'anhydrite dans les quartz de

néoformation liés à la dissolution des Eponges. Tout comme pour le microfaciès précédent la dolomitisation est parfois importante.

Milieu de sédimentation à la limite du domaine marin et continental vadose, situé dans les zones intertidales supérieures et supratidales régulièrement exondées. La fragmentation des tapis de Spongiostromates (microfaciès "h1") lors des processus de dissolution et de dessiccation conduit à la formation de packstones à péloïdes de très petites dimensions (microfaciès "h2"), isogranulométriques et baignant dans une matrice microsparitique difficile à identifier vu la forte accumulation des péloïdes. Les nombreuses structures de dissolution qui s'observent sont en partie en relation avec la présence de pseudomorphes de sulfates. La roche prend alors l'aspect typique d'une brèche de dissolution ("collapse breccia", MURRAY, 1960; MIDDELTON, 1961; BEALES et OLDERSHAW, 1969; MAMET *et al.*, ce volume), la plupart des fragments étant anguleux, très mal classés et présentant parfois une cimentation vadose.

- i1) Laminites dolomitiques formées de l'alternance millimétrique de mudstones homogènes et de packstones silteux, parfois micacés, à péloïdes et fins débris algaires.

Milieu supratidal; il s'agit de dépôts formés lors d'inondations sporadiques d'une vaste plaine littorale (PREAT et BOULVAIN, 1982; PREAT *et al.*, 1985).

- i2) Mudstones à Ostracodes abondants auxquels s'ajoutent quelques Pélécytopodes et Cyanophycées (?).

Milieu supratidal d'énergie faible. L'association biologique est très pauvre et reflète des conditions écologiques extrêmes.

- j) Mudstones homogènes renfermant parfois des rhyzomes

Milieu supratidal émergé probablement colonisé par les plantes halophytes.

- k) Trois types sont ici présents :

- (k1) Mudstones dolomitiques et dolomicrites à anhydrites finement litées riches en albites néoformées (100-150 μm), en pyrite (framboïdes) et en dolomite de très faible dimension (respectivement 5-10 μm et 30-35 μm). Suite aux phénomènes de fluage (compaction liée à l'enfouissement), le litage initial n'est que rarement préservé et c'est surtout une structure pseudo-noduleuse ou noduleuse qui s'observe. L'anhydrite se présente sous forme de petits cristaux (50-200 μm) intimement mélangés aux carbonates, ces derniers représentant les mêmes dimensions. A côté de ces cristaux existent également des masses de grands cristaux millimétriques (2 à 3 mm) d'anhydrite et de calcite lamellaires sous forme de

nodules (?), déformés et généralement étirés. Notons enfin qu'une partie des cristaux d'albite présente un nucleus qu'il n'a pas été possible de déterminer à partir de l'examen microscopique. L'épaisseur de ces niveaux sulfatés dépasse généralement 50 centimètres et de nombreuses fines laminae lenticulaires constituées de silts anguleux (éolien ?) leur sont associées.

- (k2) Dolomicrites et dolomies (cristaux hypidiotopiques et idiotopiques de 30-35 μm) à nodules centimétriques, calcitisés, riches en quartz néoformés. La présence de très nombreuses inclusions d'anhydrite (jusqu'à 120 μm de plus grande dimension) dans les quartz et les carbonates, la forme anguleuse, géométrique et la présence d'anciens agrégats de cristaux subverticaux dans les nodules laissent à penser qu'ils correspondent à des pseudomorphes d'anciens cristaux sulfatés de gypse (ou d'un autre sulfate). La pyrite est abondante et se présente sous forme de fins framboïdes (5-10 μm) dispersés dans le sédiment. On note également la présence de feldspath authigène. Les phénomènes de pression-dissolution sont bien marqués dans ce faciès et une partie de la silice leur est associée. Les nodules forment généralement des niveaux relativement continus dans les dolomicrites;

- (k3) Dolomicrites et dolomies (cristaux hypidiotopiques et idiotopiques de 30-35 μm) riches en rosettes de cristaux centimétriques calcitisés. Une partie des cristaux contient des terminaisons à angles droits et se présente sous forme de baguettes rectangulaires rappelant l'habitus de l'anhydrite, l'autre partie montre des formes losangiques qui rappellent le gypse. Ces cristaux sont progressivement envahis par la dolomite. La pyrite est abondante et s'observe sous forme de petits framboïdes (5-10 μm) dispersés dans le sédiment et sous forme de filonnets liés aux phénomènes de pression-dissolution. Des cristaux de quartz et de feldspath potassique néoformés sont fréquemment associés aux rosettes et renferment de nombreuses inclusions de faibles dimensions (inférieures à 5 μm , anhydrite ? et calcite). De rares plages isolées d'anhydrite (cristaux de 300 à 500 μm) sont parfois préservées dans le sédiment. Des fantômes de Pélécytopodes s'observent exceptionnellement.

Milieu très peu profond, intertidal à supratidal, comparable aux "sabkhas" actuelles : "ces marais maritimes" à végétation très réduite, plats et monotones, se forment par progradation latérale de la zone de balancement des marées, et la plaine qui en résulte se situe à quelques dizaines de centimètres à peine au-dessus du niveau de la mer. Les eaux interstitielles de la sabkha subissent une évaporation intense. Les saumures qui en découlent

précipitent une série de minéraux évaporitiques - dont la dolomite - qui remplacent la majeure partie du sédiment préexistant" (PURSER, 1980). Selon cet auteur, les sabkhas se développent uniquement sur les littoraux protégés où sont également présents de nombreux tapis algaires constituant une source importante de matière organique.

La paragenèse initiale est difficile à établir, les nombreuses relations de remplacements, les phénomènes de fluage liés à l'enfouissement, les déformations d'origine tectonique oblitèrent en effet les structures primaires du sédiment. L'analyse détaillée des nodules présents dans les dolomicrites et les dolomies ("k2") permet cependant de préciser l'ordre de succession des différentes espèces minéralogiques reconnues :

- 1° précipitation de cristaux sulfatés (probablement du gypse) au sein d'une boue micritique pratiquement dépourvue d'organismes;
- 2° transformation du gypse en anhydrite;
- 3° transformation en calcite et silicification. Dans la plupart des cas, la silicification est antérieure à la calcitisation. Ces transformations ont lieu au cours des phases de diagenèse précoce et sont pratiquement achevées avant la manifestation des premiers processus de pression-dissolution au cours desquels une partie de la silice est remobilisée.

La présence d'agrégats de cristaux de gypse orientés perpendiculairement au litage dans les nodules du microfaciès "k2" et de rosettes de cristaux latés de gypse et de célestite dans la matrice micritique et dolomitique du microfaciès "k3" pourraient indiquer des milieux sous-aquatiques de très faible profondeur en liaison avec le niveau hydrostatique plutôt que d'évaporites capillaires au sens strict.

En ce qui concerne les mudstones dolomitiques et les dolomicrites du microfaciès "k1", la reconstitution des milieux de dépôt est encore plus délicate, l'anhydrite étant elle-même fortement déformée par les phénomènes de fluage liés à l'enfouissement. Comme nous l'avons vu deux associations sont présentes : dans la première, les petits cristaux d'anhydrite, finement litée, plissotée ou déformée et prenant alors un aspect nodulaire, semblent détritiques et provenir du remaniement de sulfates préexistants ou de la recristallisation de ce matériel. Dans la seconde, riche en grands cristaux d'anhydrite et de calcite, il n'a pas été possible de préciser un ordre de succession entre les différentes espèces minéralogiques présentes. Notons cependant que la présence de feldspaths authigènes, parfois en grands cristaux n'est pas étonnante dans ce type de sédiment, et résulterait de l'interaction de saumures connées (de reflux) avec le matériel siliciclastique qui y est mêlé (HEARN et SUTTER, 1985). Ces saumures pourraient par ailleurs provenir de la dissolution de halite (LAND et MILLIKEN, 1981) et

c'est la dissolution des spicules d'Eponges qui serait à l'origine de la silice nécessaire à la précipitation de l'albite (KASTNER et SIEVER, 1979). En fait, l'anhydrite, qui se forme d'abord aux dépens du gypse, peut ensuite former des agrégats à partir des saumures interstitielles. Il s'agirait alors ici plutôt d'évaporites capillaires occupant une position plus continentale par rapport aux précédentes. Rappelons qu'en environnement carbonaté, les évaporites capillaires se caractérisent par la surreprésentation du sulfate de calcium lié à la dolomitisation (PERTHUISOT, 1980). Ces évaporites peuvent former à Focant des niveaux de plus de 50 centimètres d'épaisseur (70-80 cm).

L'ensemble de ces caractéristiques nous montre que ce microfaciès "K" correspond pour sa plus grande partie aux milieux supratidaux "lagunaires" très protégés comparables à ceux qui s'observent actuellement le long de la Trucial Coast dans le Golfe Persique (SHEARMAN, 1966; BUTLER, 1969; PURSER, 1973). Le gypse s'y dépose sous le niveau de la nappe, dans la zone intertidale, par évaporation de l'eau de mer encore présente dans le sédiment à marée basse. La dolomitisation des sédiments se fait en rapport avec la précipitation d'anhydrite sur les étendues supratidales et est en relation avec la formation de saumures hypersalines (ILLING *et al.*; 1965; BUTLER, 1969; FRIEDMAN et SANDERS, 1978; WEST *et al.*, 1979; FRIEDMAN, 1980; BEALES et HARDY, 1980a, 1980b; PATTERSON et KINSMAN, 1982). BEBOUT et MAIKLEM (1973) rapportent dans le Dévonien moyen de l'Alberta un processus de dolomitisation semblable. Ce serait le cas dans le Précambrien moyen de la Baie d'Hudson (Iles Belcher, RICKETTS, 1983).

CYCLES EVAPORITQUES.

L'analyse séquentielle établie à partir de la séquence standard des microfaciès montre que les dépôts évaporitiques occupent une place bien précise par rapport à l'évolution de la sédimentation en fonction du temps. La figure 2 nous montre en effet que les évaporites se trouvent systématiquement au sommet des polyséquences régressives de 3e et 4e ordres ou séquences à échelle moyenne au sens de DELFAUD (1975). Ces séquences, qui contrôlent l'essentiel de la sédimentation du Givétien Supérieur franco-belge (PREAT, 1984), traduisent une sédimentation dans la partie tout à fait superficielle de la plateforme à la limite de l'émersion. La sédimentation est entièrement sous le contrôle de mattes algaires à Porostromates, Codiacées et Eponges. Dans ce contexte un confinement extrême des milieux en liaison avec une évolution climatique dans le sens d'une aridité croissante (PREAT *et al.*, 1985) sera particulièrement favorable à la précipitation de sulfates.

Il est même probable qu'à Focant, comme c'est d'ailleurs le cas dans l'ensemble du Givétien franco-belge, l'essentiel de la sédimentation soit

sous le contrôle se séquences élémentaires de 1er et 2e ordres (séquences inframétriques à "échelle inférieure" au sens de DELFAUD (*op. cit.*)). Il n'est malheureusement pas possible de mettre ici cette relation en évidence, le carottage du sondage étant trop discontinu : plusieurs mètres, parfois plusieurs dizaines de mètres séparent souvent les carottes prélevées. Quelques carottes longues de 50 à 60 cm, permettent cependant d'observer la succession des petites séquences positives d'épaisseurs décimétriques. Ces séquences traduisent les évolutions régressives de la sédimentation aux échelles inférieures.

D'une manière générale le confinement se marque par une importante diminution dans l'abondance des organismes de la macrofaune, ceux-ci n'étant plus représentés que par les Ostracodes et les Pélécy-podes, et par un développement très important de la microflore algale formant des platiers qui marquent généralement la limite au-delà de laquelle précipitent les sulfates. C'est la dégradation de cette matière algale par les Bactéries sulfato-réductrices qui est à l'origine de la pyrite toujours associée à ces faciès.

Les évaporites se localisent ainsi au sommet des séquences positives et enregistrent en premier lieu les évolutions régressives de la sédimentation. L'ensemble des caractéristiques rencontrées nous montrent que les sulfates traduisent ici des phénomènes diagénétiques précoces dans des milieux marginaux de très faible profondeur, dans lesquels les fluctuations de salinité constituent un des paramètres essentiels. Dans ce contexte, une partie des évaporites est également d'origine détritique et provient du remaniement pratiquement sur place de ces dépôts. Il est également probable qu'une partie des sulfates ait une origine plus tardive comme en témoigne par exemple la présence des masses de grands cristaux d'anhydrite lamellaires dans le microfaciès "k1".

COMPARAISONS DES EVAPORITES DE FOCANT AVEC CELLES DU GIVETIEN DU BASSIN DE NAMUR ET CELLES DU VISEEN DES BASSINS DE NAMUR ET DE DINANT.

Ceci nous permet de comparer ces dépôts avec leurs homologues du Bassin de Namur. Nous constatons alors que les évaporites de Tournai et de Vieux-Leuze (ROUCHY, 1985), bien que plus épaisses présentent de nombreux caractères en commun avec celles étudiées ici. L'anhydrite est également d'origine diagénétique précoce et présente de nombreuses structures de remaniement (figures de courant, ravinements, tronçatures, etc...).

A côté de cette forme précoce existe également une phase anhydritique plus tardive généralement contemporaine ou postérieure aux premières phases de compaction et parfois même de déformations tectoniques. Il s'agit de grandes plages monocristallines ou en domino assurant le remplacement de calcaires micritiques,

oolithiques ou bioclastiques (ROUCHY, *op. cit.*). Cette phase de remplacement tardif n'a pu être mise en évidence ici.

La comparaison des dépôts sulfatés givétiens et plus particulièrement ceux de Focant, avec les sédiments constituant les fragments de la "Grande Brèche" viséenne ("V3a") des Bassins de Namur et de Dinant (MAMET *et al.*, ce volume) présente un intérêt certain dans l'étude du passage de la sédimentation pré-évaporitique à la sédimentation évaporitique. Cette analyse nous permet en effet, de suivre l'évolution de toute une série de paramètres affectant les propriétés des sédiments et de préciser dans une certaine mesure les phénomènes à l'origine de la sédimentation évaporitique. Nous avons vu que la sédimentation givétienne présente dans le temps une évolution vers un confinement de plus en plus accusé. La sédimentation est sous le contrôle d'une évolution paléoclimatologique qui de tropical humide, au Givétien inférieur, devient semi-aride à aride au Givétien supérieur (PREAT, 1984; PREAT *et al.*, 1985; BOULVAIN, 1985). Bien que toujours associés aux carbonates, les dépôts évaporitiques restent cependant réduits et limités à la fois dans leur extension géographique et dans leur épaisseur. Dans ces conditions leur disparition lors de l'enfouissement n'a pratiquement pas affecté la régularité de la série qui les contient. La dissolution des couches évaporitiques laisse en place toute une série de minces niveaux de brèches monogéniques constitués de fragments anguleux de toutes dimensions baignant dans une matrice micritique. Ces niveaux, très caractéristiques sur le terrain, constituent presque l'entièreté de la partie inférieure de la Formation de Fromelennes dans la région de Beauraing (PREAT, 1984). Ils permettent de suivre l'évolution de la sédimentation en fonction du confinement croissant. On peut ainsi y reconnaître les différents changements suivants dans de petites séquences se succédant sur quelques décimètres seulement :

- 1° changement de structure : on passe de floatstones et de wackestones à la base des séquences à des packstones, des grainstones ("faux-grainstones", "grainstones de dissolution") et parfois des laminites au sommet.
- 2° variation de la bathymétrie : diminution depuis la base vers le sommet des séquences. Cette variation s'accompagne généralement d'une légère diminution des indices énergétiques, mais surtout d'une augmentation très sensible des processus de dissolution et-ou de dessiccation des mattes algales et des tapis de Spongiostromates. Ceci se traduit par une accumulation sur place de packstones à très fins péloïdes (10-20 µm, "mini-péloïdes"). Les processus de micritisation et de fragmentation des bioclastes sont également plus abondants à la base des séquences qu'en leurs sommets où le sédiment est stabilisé en premier lieu par le développement des tapis algales;
- 3° évolution de la microflore algale et de certains organismes : les encroûtements

mutuels entre les différents organismes constructeurs (Stromatopores lamellaires, irréguliers, Rugueux solitaires, Tabulés lamellaires, ... Bryozoaires incrustants) sont plus abondants à la base des séquences et sont progressivement remplacés par des encroûtements algaires dominés par *Sphaerocodium* et *Bevoastria*, parfois en association avec les Cténostomates (Bryozoaires). Vers le sommet les floatstones sont finalement stabilisés (bindstones). L'extrême sommet des séquences est alors caractérisé par la présence de boundstones à Spongiostromates-Codiacées-Eponges le plus souvent fragmentés sur place par les processus de dissolution et riches en *Palaeomicrocodium* ou *Bisphaera*, organismes tarandant ou tronquant la plupart des grains présents. Les Wéthérédelles sont également associées aux Spongiostromates (en encroûtements ?), de même que les *Aphralysia*.

Dans l'ensemble, les Paléobéréselles (bafflestones à Issinelles et Kamaénidés) sont plutôt localisées vers la base des séquences et sont ensuite supplantées par les Codiacées et les Porostromates auxquels il convient d'ajouter de nombreux *Fruterites*;

- 4° changement dans les processus de bioturbation : bioturbations en tous sens vers la base des séquences, et terriers subverticaux, profonds de un à deux centimètres aux sommets.

Ces changements qui s'observent le plus clairement dans la Formation de Fromelennes à Beauraing, aboutissent en fin de compte à une transformation diagénétique progressive du sédiment. Au stade le plus avancé ce dernier s'est bréchifié sur place et est alors constitué de fragments anguleux généralement cimentés par plusieurs phases de sparite fibreuse et drusique. A Focant, les processus de transformation sont les mêmes bien qu'ils soient beaucoup plus difficiles à mettre en évidence, en effet ils sont le plus souvent masqués par les différentes phases de dolomitisation en relation avec la précipitation des sulfates. C'est à nouveau un sédiment entièrement bréchifié qui traduit l'intensité des phénomènes de dissolution liés aux sulfates et aux fluctuations des nappes d'eaux. L'ensemble de ces transformations se reflète dans la succession des microfaciès "f1" à "k3" (tableau 1) marquant le passage des milieux semi-restreints aux milieux restreints.

La situation est différente dans la "Grande Brèche" viséenne (MAMET *et al.*, ce volume) : les fragments atteignent des dimensions très importantes (métriques) et l'épaisseur du niveau bréchique est pluridécamétrique (30 à 60 m). L'analyse sédimentologique détaillée de ces fragments permet de reconnaître 11 microfaciès majeurs appartenant aux zones supérieures d'une plateforme carbonatée à faible tranche d'eau et à circulation restreinte. Ces microfaciès présentent de très nombreuses analogies avec ceux du Givétien : absence d'organismes des milieux marins francs, importance de la microflore algairale qui présente les mêmes genres dominants (*Bevoastria*, *Sphaerocodium*, *Ortonella*, *Kamaena*,

Wetheredella), importance des Spongiostromates, plusieurs phases de cimentation phréatiques et vadoses, présence d'oolithes en "choux-fleur" et de pseudomorphes de cristaux sulfatés. MAMET *et al.* (*opus cit.*) proposent pour leurs microfaciès une séquence standard correspondant à l'étalement des milieux de lagon semi-restreints intertidaux aux milieux supratidaux de plus en plus confinés. Cette séquence est très semblable à la partie supérieure (microfaciès "f2" à "k3") de celle que nous avons définie dans le Givétien à Focant. Rappelons également que pour MAMET *et al.*, la "Grande Brèche" serait une brèche d'effondrement liée à la disparition d'une couche principale d'évaporite à la base de la série.

La comparaison des principales caractéristiques des niveaux évaporitiques et pré-évaporitiques du Givétien et de ceux du Viséen supérieur nous permettent de formuler les remarques suivantes : la bréchification des sédiments est liée à la disparition de couches sulfatées déposées à très faible profondeur d'eau sur une plateforme très plate et probablement fort étendue. Les changements affectant les sédiments primaires sont de même nature, seule leur intensité diffère et suggère la présence, au Viséen supérieur de couches importantes d'évaporites qui ont de ce fait pu affecter une série épaisse de plusieurs dizaines de mètres. L'importance des conditions franchement évaporitiques durant une grande partie du Viséen, comme en témoigne par exemple l'étude du sondage de Saint-Ghislain (ROUCHY *et al.*, 1984), nous indique cependant que les mécanismes de la sédimentation étaient différents au Givétien et au Viséen. Or, nous avons vu que la sédimentation durant le Givétien est entièrement sous le contrôle d'une subsidence continue et quasi-constante. Il devait donc en être différemment au Viséen et un taux de subsidence plus élevé et/ou des morphologies préexistantes expliqueraient en partie l'épaisseur plus importante des dépôts anhydritiques. C'est la dissolution ultérieure de ces dépôts qui serait à l'origine des épais niveaux bréchiques du Viséen des bassins de Namur et de Dinant.

Cette hypothèse d'une subsidence momentanément saccadée devrait être étayée par des études sédimentologiques et paléogéographiques détaillées du Viséen belge. Notons cependant, qu'en ce qui concerne le Viséen inférieur, la sédimentation semble sous le contrôle d'une subsidence continue (MAMET, 1964) assez semblable à celle du Givétien, de sorte que de nombreux petits niveaux bréchiques existent également dans le Viséen.

Par rapport au modèle de bréchification proposé par MAMET *et al.* (*opus cit.*) pour la "Grande Brèche", la sédimentation pré-évaporitique givétienne correspondrait au 3ème épisode reconnu par ces auteurs. C'est au cours de cet épisode que se dépose une série rythmique de calcaires principalement supratidaux à forte proportion de Spongiostromates interstratifiés de fines couches d'évaporites. Ici l'analogie entre le Givétien et le Viséen supérieur est parfaite et ce sont probablement des mécanismes similaires

qui orientent la sédimentation pendant ces intervalles de temps.

En définitive, le stade ultime atteint par les sédiments givéliens correspond aux premiers stades à partir desquels les sédiments viséens vont se transformer. Les informations recueillies dans ce contexte permettent de préciser le "passé" des uns (sédiments viséens) à partir du "futur" des autres (sédiments givéliens). Rappelons que cette opposition traduit des mécanismes de sédimentation fort différents pendant des périodes de temps limitées.

CONCLUSIONS.

L'essentiel de la sédimentation carbonatée et sulfatée de la partie supérieure du Givélien caractérise des milieux très peu profonds à la limite de l'émergence. L'analyse sédimentologique de ces dépôts conduit à la définition d'un domaine de "sabkha" évaporitique bordant vers le continent une vaste plateforme carbonatée soumise à la subsidence lente et continue d'un domaine intracratonique. C'est le confinement progressif du milieu en liaison avec une évolution paléoclimatologique qui sont à l'origine des conditions temporaires d'hypersalinité qui caractérisent le Givélien Supérieur des Bassins de Namur et de Dinant.

La sédimentation est sous le contrôle de séquences élémentaires de 1er et 2e ordres dont la succession constituent des rythmes régressifs élémentaires d'épaisseurs moyennes pluridécimétriques. Leur analyse permet de suivre l'évolution des différents paramètres sédimentologiques et paléoécologiques au cours du confinement. Les Algues y jouent un rôle particulièrement important en développant, en association avec les Eponges, de vastes platiers constituant dans les milieux inter- à supratidaux des zones à partir desquelles peuvent précipiter les sulfates. Ces derniers forment alors des niveaux, généralement peu épais, dans lesquels la paragenèse minérale comporte du gypse, de la célestite, de l'anhydrite, de l'albite, des carbonates (calcite et dolomite), du quartz et des sulfures.

Les transformations diagénétiques et les déformations tardives oblitérent souvent les structures originelles du sédiment. Différents types de structures sédimentaires sont cependant observables dans les sulfates : structures anhydritiques finement laminaires développées à l'intérieur de sédiments carbonatés ou détritiques, structures noduleuses ou micro-noduleuses résultant probablement de la transformation des précédentes lors des phénomènes de fluage et de déformation tectonique, nodules anhydritiques dispersés dans des sédiments dolomitiques, gerbes de cristaux et rosettes centimétriques développées à partir de célestite et de gypse dans les dolomies, pseudomorphes carbonatées, parfois siliceuses, infracentimétriques à l'intérieur des sédiments carbonatés.

La dissolution de ces niveaux évaporitiques est à l'origine d'une bréchification sur place des sédiments hôtes.

Les processus de silicification qui accompagnent cette phase ne sont jamais très développés. La comparaison des évaporites givéliennes avec celles du Dinantien, qui sont beaucoup plus épaisses, pourrait indiquer que des variations brutales du taux de subsidence affectent, au moins temporairement, la plateforme carbonatée viséenne. Des mouvements saccadés de faible amplitude ont déjà été reportés dans des séquences évaporitiques du Viséen inférieur du Bassin de Namur (POELS et PREAT, 1983).

Le Givélien, par la clarté et la simplicité des phénomènes qu'il permet d'aborder, présente un intérêt didactique certain dans l'analyse des séries évaporitiques qui ont le plus souvent perdu la "mémoire" des premières phases de la sédimentation, c'est-à-dire de leur "histoire" pré-évaporitique.

Le Givélien est ainsi un témoin précieux des paramètres à prendre en considération au cours du cycle évaporitique.

REMERCIEMENTS.

Les auteurs tiennent à remercier M. GRAULICH qui a mis à notre disposition les carottes du sondage, et M. HERBOSCH qui a bien voulu relire le manuscrit et nous faire part de ses remarques.

BIBLIOGRAPHIE.

- BEALES, F. W., OLDERSHAW, A. E. (1969) - Evaporitic-solution brecciation and Devonian carbonate reservoir porosity in Western Canada. *Am. Ass. Petrol. Geologists Bull.*, 53: 503-512.
- BEALES, F. W., HARDIE, J. L. (1980a) : The problem of recognition of occult evaporites with special references to southeast Missouri. *Economic Geology*, 72 : 487-490.
- BEALES, F. W., HARDIE, J. L. (1980b) - Criteria for the recognition of diverse dolomite types with an emphasis on studies on host for Mississippi Valley-type ore deposits. In : ZENGER, D.H., DUNHAM, J. B., ETHINGTON, R.L. (eds), Concepts and Models of dolomitization, p. 197-213. *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, n° 28, Tulsa.
- BEBOU, D. G., MAIKLEM, W. R. (1973) - Ancient anhydrite facies and environments, Middle Devonian Elk Point Basin, Alberta. *Bull. Can. Petrol.*, 21 : 287-343, Calgary.
- BOULVAIN, F. (1985) - Etude sédimentologique des calcaires laminaires du Givélien du Bassin de Dinant (Belgique). *Mém. D.E.A. Pétr.-Min., Université de Paris XI, Orsay*, 94 p.
- BUTLER, G. P. (1969) - Modern evaporite deposition and geochemistry of coexisting brines in the sabkhas, Trucial Coast, Arabian Gulf. *J. Sediment. Petrol.*, 39 : 70-89.

- COEN-AUBERT, M., GROESSENS, E., LEGRAND, R. (1980) Les formations paléozoïques des sondages de Tournai et Leuze. *Bull. Soc. Belge de Géol.*, 89(4) : 161-186.
- CORNET, P. (1975) - Morphogenèse, caractères écologiques et distribution des Stromatoporodes dévoniens au bord sud du Bassin de Dinant (Belgique). *Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain*, 195 p., Louvain.
- DELFAUD, J. (1975) - Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôt. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), 16(6) : 643-650.
- ERRERA, M. (1976) - La séquostratigraphie : développement théorique et application au Givétien franco-belge. *Thèse de Doctorat, Fac. des Sciences, Université Libre de Bruxelles*, 401 p., Bruxelles.
- FRIEDMAN, G. M. (1980) - Review of Depositional Environments in Evaporite Deposits and the Role of Evaporites in Hydrocarbon Accumulation. *Bull. Cent. Rech. Expl.-Prod. Elf Aquitaine*, 4(1) : 589-608.
- FRIEDMAN, G. M., SANDERS, J. E. (1978) - Principles of sedimentology. 792 p., *New York, John Wiley and Sons*.
- GRAULICH, J. M., BOUCKAERT, J., DELMER, A. (1967) Le sondage n° 27, Neuville (1967-1973). P. 185 W n° 407. Notes de débitage. *Rapport Service Géologique de Belgique, 1967-1973, Bruxelles*.
- HEARN, P. H. Jr., SUTTER, J. F. (1985) - Authigenic Potassium Feldspar in Cambrian Carbonates : Evidence of Alleghanian Brine Migration. *Science*, 228 : 1529-1531.
- ILLING, L. V., WELLS, A. J., TAYLOR, J. C. M. (1965) - Penecontemporary dolomite in the Persian Gulf. In : PRAY, L. C., MURRAY, R. C. (eds.), Dolomitization and limestone diagenesis. *Soc. Econ. Min. Publ. Spec.*, 13 : 89-111.
- KASTNER, M., SIEVER, R. (1979) - Low temperature feldspars in sedimentary rocks. *Am. Journal of Science*, 279 : 435-479.
- LACROIX, D. (1972) - Contribution à l'étude stratigraphique et paléoécologique du Mésodévien et du Frasnien au bord sud du Synclinorium de Namur. *Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain*, 228 p., Louvain.
- LACROIX, D. (1974) - Lithostratigraphie comparée du Givétien aux bords nord et sud du Synclinorium de Namur. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 97 : 11-21.
- LAND, L. S., MILLIKEN, K. L. (1981) Feldspar diagenesis in the Frio Formation, Brazoria County, Texas Gulf Coast. *Geology*, 9 : 314-318.
- LAUMONDAIS, A., ROUCHY, J. M., GROESSENS, E. (1984) - Importance des formations anhydritiques pour l'interprétation paléogéographique et structurale du domaine varisque d'Europe septentrionale. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 298, série II, n° 9.
- LEGRAND, R. (1967) - Ronquières, documents géologiques. *Mém. Expl. Cartes Géol. Min. Belg.*, n° 6.
- MAGNE, F. (1964) - Données micropaléontologiques et stratigraphiques dans le Dévonien du Boulonnais (France) et du Bassin de Namur (Belgique). *Thèse de 3ème Cycle S.N.P.A., Université de Paris*, 172 p., 2 tomes, Paris.
- MAMET, B. (1964) - Sédimentologie des Faciès "Marbres Noirs" du Paléozoïque franco-belge. *Inst. R. Sci. Nat. Belgique, Mém.* 151, 131 p., Bruxelles.
- MAMET, B., PREAT, A. (1985) - Sur la présence de *Palaeomicrocodium* (Algue ?, *Incertae sedis* ?) dans le Givétien Inférieur de la Belgique. *Geobios*, 18 (3) : 389-392.
- MAMET, B., ROUX, A. (1982) - Sur la présence de *Microcodium* (Algue ?, *Incertae sedis* ?) dans le Paléozoïque supérieur de l'Arctique canadien. *Can. Journ. Earth Sciences, Ottawa*, 19(2) : 357-363.
- MAMET, B., PREAT, A., BOULVAIN, F. (1982) : Sur la structure des Labyrinthoconidae (Algues problématiques, Givétien). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 105 : 283-287.
- MAMET, B., CLAEYS, Ph., HERBOSCH, A., PREAT, A., WOLFOVICZ, Ph. (ce volume) - La "Grande Brèche" viséenne (V3a) des Bassins de Namur et de Dinant (Belgique) est probablement une brèche d'effondrement.
- MIDDLETON, G. V. (1961) - Evaporite solution breccias from the Mississippian of southwest Montana. *J. Sediment. Petrol.*, 38 : 189-195.
- MURRAY, R. C. (1960) - Origin of porosity in carbonate rocks. *J. Sediment. Petrol.*, 30 : 59-84.
- PATTERSON, R., KINSMAN, D. (1982) - Formation of diagenetic dolomite in coastal sabkha along Arabian Persian Gulf. *Am. Ass. Petrol. Geologists Bull.*, 66 : 28-44.
- PERTHUISOT, G. (1980) - Sites et processus de la formation d'évaporites dans la nature actuelle. *Bull. Cent. Rech. Expl.-Prod. Elf-Aquitaine*, 4(1) : 207-233.
- POELS, J. P., PREAT, A. (1983) - Mise en évidence d'une série évaporitique dans le Viséen inférieur de Vedrin (Province de Namur). *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 92(4) ; 337-350.
- PREAT, A. (1984) - Etude lithostratigraphique et sédimentologique du Givétien belge (Bassin de Dinant). *Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles*, 466 p., 2 tomes, Bruxelles.

- PREAT, A., BOULVAIN, F. (1982) - Etude sédimentologique des calcaires givétiens à Vaucelles (bord sud du Bassin de Dinant). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 105 : 273-282.
- PREAT, A., COEN-AUBERT, M., TOURNEUR, F., MAMET, B. (1984) - Sédimentologie et paléoécologie de trois niveaux récifaux du Givétien Inférieur de Resteigne (bord sud du Bassin de Dinant). *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 93 : 227-240.
- PREAT, A., BOULVAIN, F., HERBOSCH, A. (1985) - Lower Givetian laminites (tempestites) of Belgium : sedimentological and paleogeographical approaches. *6th European Regional Meeting, 15-17 April 1985*, p. 379-380, (Abstract), Lleida, Spain.
- PREAT, A., CEULENEER, F., BOULVAIN, F. (1986) - Etude sédimentologique des calcaires du Givétien Inférieur d'Olloy-sur-Viroin (bord sud du Bassin de Dinant, Belgique) - *Ann. Soc. Géol. du Nord*.
- PURSER, B. H. (1973) - Sedimentation around bathymetric highs in the Southern Persian Gulf. In : PURSER, B. H. (ed.), *The Persian Gulf*, p. 157-178, Springer-Verlag, Heidelberg.
- PURSER, B. H. (1980) - Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. Tome 1, 366 p., Paris, Soc. Ed. Technip.
- READ, J. F. (1973) - Paleoenvironments and paleogeography in Pillara Formation (Devonian), Western Australia. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, 21 : 344-394.
- RICKETTS, B. D. (1983) - The evolution of a Middle Precambrian dolostone sequence : a spectrum of dolomitization regimes. *J. Sediment. Petrol.*, 53 : 565-586.
- ROUCHY, J. M., GROESSENS, E., LAUMONDAIS, A. (1984) - Sédimentologie de la formation anhydritique viséenne du sondage de Saint-Ghislain (Hainaut, Belgique). Implications paléogéographiques et structurales. *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 93(1-2) : 105-145.
- ROUCHY, J.M. (1985) - Les évaporites givétiennes et dinantiennes du segment varisque franco-belge. 1. Etude sédimentologique. In : *Les évaporites pré-permiennes en Europe : aspects sédimentologiques, paléogéographiques et structuraux*, (Abstract), 3 p., Colloque de Bruxelles, 9-10 mai 1985.
- SHEARMAN, D. J. (1966) - Origin of marine evaporites by diagenesis. *Trans. Inst. Miner. Metall., Section B*, 75 : 208-215.
- VAN TASSEL, R. (1960) - Anhydrite, celestine et barytine du Givétien du sondage de Tournai. *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 69 : 351-361.
- WEST, I. M., BRANDON, A., SMITH, M. (1968) - A tidal-flat evaporitic facies in the Viséan of Ireland. *J. Sediment. Petrol.*, 38 : 1079-1093.