

---

# Atolls et récifs du Frasnien du Synclinorium de Dinant (Belgique, France) : sédimentologie et implications paléocéanographiques

Frédéric BOULVAIN (1)

*Frasnian atolls and reefs from the Dinant Synclinorium (Belgium, France): sedimentology and palaeoceanography*

---

Géologie de la France, n° 1-2, 2006, pp. 53-57, 5 fig., 1 tabl.

Mots-clés : Sédimentation récifale, Frasnien, Microfaciès, Atoll, Paléo-océanographie, Belgique, Synclinorium Dinant

Key words: Reef sedimentation, Frasnian, Microfacies, Atolls, Paleo-oceanography, Belgium, Dinant Synclinorium

## Abstract

*The facies architecture, sedimentary dynamics and palaeogeographical evolution were reconstructed for a number of Middle to Late Frasnian buildups developed on a carbonate platform on the south side of the Dinant Synclinorium (Belgium, France). Nine facies were documented in the buildups, each characterized by a specific range of textures and assemblage of organisms. Sedimentological evidence suggests that facies (1) and (2) correspond to iron bacteria-sponge-dominated communities, developing in a quiet aphotic and hypoxic environment. (3) developed between the storm wavebase and the fairweather wavebase, in a oligophotic environment. (5), with stromatolitic coatings and thrombolitic bushes developed close to the fairweather wavebase. (6) and the fenestral limestone. (7) correspond to an environment with slightly restricted water circulation. (8) developed at subtidal depths in a quiet, lagoonal environment. The main differences between the Middle and Late Frasnian mounds concerns facies architecture and are a consequence of different palaeoceanographic setting. The large flattened Middle Frasnian Arche and Lion buildups show limited vertical differentiation, large-scale progradation features, extensive exportation of material towards off-reef environment and development of inner lagoonal facies. They grew offshore from a well-developed carbonate platform with a healthy carbonate factory. Middle Frasnian sea level fluctuations were relatively mild, and sedimentation was able to counterpart sea-level rise. At the opposite, during Late Frasnian, severe eustatic rises, together with rising oceanic hypoxic conditions were responsible for frequent collapses of the carbonate factory, drowning of the Middle Frasnian carbonate platform and development of buildups with relatively limited lateral extension, high vertical facies*

*differentiation, low potential for material exportation and high content in microaerophilic iron bacteria.*

## Introduction

De tous les récifs dévoniens, les édifices frasnien du Synclinorium de Dinant ont été parmi les plus anciennement et les plus souvent étudiés. Cet intérêt séculaire est lié en partie à la qualité des affleurements : actuellement, près de 75 récifs sont connus et la plupart ont été exploités en carrière par la technique du fil hélicoïdal, livrant au géologue des parois sciées de plusieurs dizaines de mètres carrés. Ces extraordinaires conditions d'affleurement, combinées à de bonnes conditions d'accès et à un canevas stratigraphique récent (Boulvain *et al.*, 1999) font de ces édifices des références internationales. L'objet de ce travail est de synthétiser la sédimentologie et les conditions de développement des récifs du Frasnien du Synclinorium de Dinant. Les relations entre les types de récifs et l'évolution paléocéanographique du bassin de sédimentation sont également mises en évidence.

## Localisation et contexte géologique

Trois niveaux principaux de récifs s'observent au bord sud du Synclinorium de Dinant, unité majeure de l'orogène varisque (Membres de l'Arche, du Lion et du Petit-Mont). (fig. 1). Plus au nord, en direction du continent, les deux premiers niveaux passent à des calcaires stratifiés (Formations du Pont de la Folle et de Philippeville dans la partie ouest de l'Anticlinorium de Philippeville), le troisième niveau disparaissant plus au nord encore, au profit des schistes et calcaires de la Formation d'Aisemont (fig. 2).

(1) Pétrologie sédimentaire, B20, Université de Liège, Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique, fboulvain@ulg.ac.be

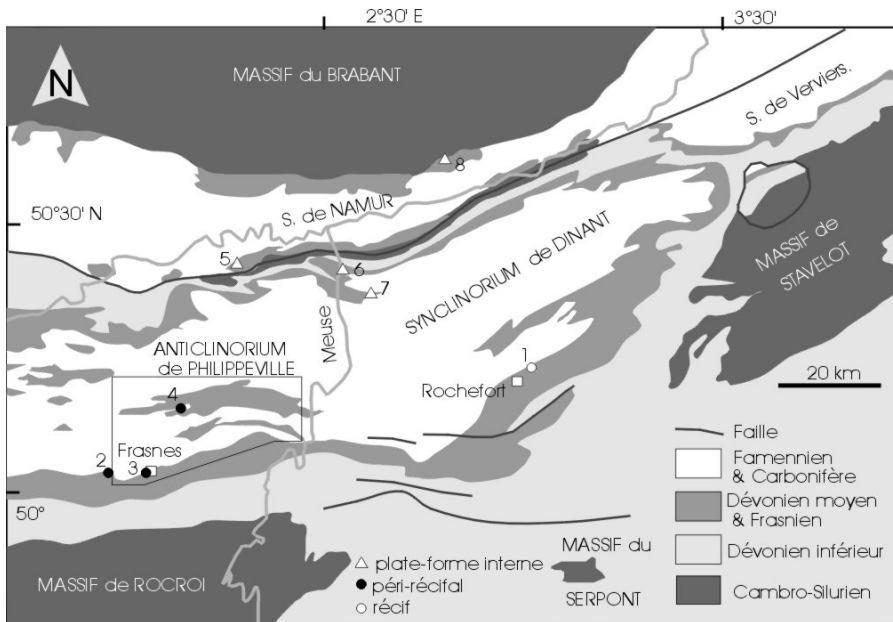


Fig. 1.- Localisation des affleurements. 1 : La Boverie et Humain. 2 : Lompret. 3 : Frasnes. 4 : Neuville. 5 : Aisemont. 6 : Lustin et Tailfer. 7 : Crupet. 8 : Huccorgne. La figure 3 représente un agrandissement de la zone de Frasnes-Philippeville, entourée.

Fig. 1.- Location of main outcrops. 1: La Boverie and Humain. 2: Lompret. 3: Frasnes. 4: Neuville. 5: Aisemont. 6: Lustin et Tailfer. 7: Crupet. 8: Huccorgne. See fig. 3 for a detailed map of the Frasnes-Philippeville area (Framed).

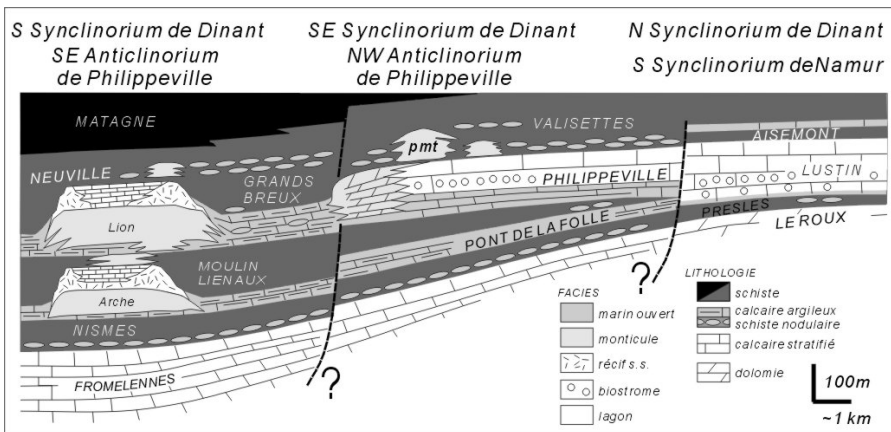


Fig. 2.- Transect N-S dans le bassin de sédimentation frasnien, avant la structuration varisque.

Fig. 2.- Schematic N-S cross section of the Frasnian sedimentary basin before the Variscan orogeny.

Les édifices les plus connus sont, pour le Membre de l'Arche, la carrière de l'Arche (Lecompte, 1954 ; Boulvain *et al.*, 2004) ; pour le Membre du Lion, la carrière du Nord (Lecompte, 1954 ; Boulvain *et al.*, 2004) et la carrière du Lion (Boulvain *et al.*, 2004). Récemment, deux nouvelles coupes ont été étudiées, offrant une succession complète de récifs (Boulvain *et al.*, 2005). Ces coupes sont situées à Rochefort (carrière de La Boverie) et dans l'est de l'Anticlinorium de Philippeville (coupes du Moulin Bayot). En ce qui concerne le Membre du Petit-Mont, 69 édifices sont connus, principalement dans l'Anticlinorium de Philippeville. Parmi ces nombreux récifs, sept ont été étudiés en détail : il s'agit des monticules de Beauchâteau, Les Bulants, Les Wayons, Rochefontaine, Hautmont, Les Croisettes et Tapoumont (Boulvain, 2001) (fig. 3).

Afin de mieux comprendre le contexte paléocéanographique de ces récifs, des coupes ont été également étudiées dans les sédiments encaissants (Frasnes, Chimay : Humblet & Boulvain, 2001 ; Boulvain *et al.*, 2004 ; Neuville, Boulvain, 2001). D'autres coupes ont également été étudiées dans la zone plus interne de la plate-forme, au nord du Synclinorium de Dinant (Lustin, Crupet, Tailfer ; Boulvain, 2001 ; Da Silva & Boulvain, 2004), au sud du Synclinorium de Namur (Aisemont), et au nord du même Synclinorium (Huccorgne ; Boulvain, 2001) (fig. 1).

### Modèles de faciès

Six faciès peuvent être définis au sein des récifs des Membres de l'Arche et du Lion (faciès 3 à 8) et cinq dans les édifices du Membre du Petit-Mont (faciès 1 à 5). Chacun de ces faciès se différencie sur la base de la texture et de l'assemblage fossile. Trois faciès ont été observés sur les flancs des récifs (b, B et L). Une synthèse de ces observations est proposée dans le tableau 1. On trouvera une description détaillée des faciès du Membre du Petit-Mont dans l'article de Boulvain (2001) et de ceux des Membres de l'Arche et du Lion dans Boulvain *et al.* (2004, 2005).

### Interprétation

Sous la plupart des récifs, s'observe un substrat argilo-carbonaté non-induré, colonisé par des organismes ubiquistes, éponges, coraux, bryozoaires et crinoïdes. Ce milieu était situé sous la zone photique et sous la zone d'action des vagues de tempête (ZAVT), tout en gardant un caractère oxygéné, souligné par l'abondante bioturbation.

Le faciès récifal le plus profond est un mudstone rouge à stromatactis et éponges (faciès 1). Les stromatactis correspondent à des cavités cimentées, résultant de la dégradation d'éponges dans un sédiment cohérent, proche d'un gel. Ces cavités évoluent par effondrement de leur toit et sédimentation interne à leur base. Dans les récifs du Membre du Petit-Mont, l'intensité de la pigmentation rouge décroît de (1) à (5). Les faciès encaissant les récifs sont dépourvus d'hématite. Des observations microscopiques ont montré que ce pigment correspondait à des ferro-bactéries (*Siderocapsa*, *Sphaerotilus*, *Leptothrix*) qui se sont développées dans le sédiment, en environnement microaérophile (Boulvain *et al.*, 2001). Il faut noter que la transition entre le soubassement des récifs et le faciès (1) est abrupte et s'accompagne d'une nette réduction dans la biodiversité, puisque ne subsistent dans l'édifice que

des éponges et des ferrobactéries. Ce phénomène ne s'observe pas dans les sédiments encaissants et ne peut donc correspondre qu'à une évolution locale. On peut émettre l'hypothèse que le développement du faciès (1) a comme conséquence l'établissement d'un milieu dysaérobie local, suite à une augmentation de la productivité organique. Une preuve en serait l'arrêt de la bioturbation. Le faciès (2) témoigne d'une augmentation de la diversité. L'absence d'algues et le caractère boueux du sédiment impliquent cependant toujours un milieu de dépôt situé sous la zone photique et sous la ZAVT. Le faciès suivant (3) est plus diversifié que les sédiments encaissants ; il se distingue aussi par l'apparition des cyanobactéries et la présence de niveaux remaniés (tempestites). Avec le faciès (4), on atteint le maximum de biodiversité au sein du récif. La présence d'algues vertes (Udotécacées, Dasycladacées) et la texture indiquent un environnement peu profond, dans la zone d'action des vagues de beau temps (ZAVBT). Le faciès (5) est caractérisé par une diminution de la diversité des organismes et la généralisation de la morphologie subsphérique ou encroûtante. Stromatolithes et thrombolites dominent nettement la communauté récifale.

Les faciès suivants ne s'observent que dans les Membres de l'Arche et du Lion. Il s'agit du faciès (6), très riche en stromatopores branchus et en lithoclastes, du faciès (7), correspondant à des calcaires à fenestreae, lithoclastes, calcisphères et algues vertes (paléosiphonocladales) et enfin du faciès (8), plus fin, également riche en algues vertes. Ces trois faciès sont très peu profonds et correspondent à un milieu intertidal pour (6) et (7) et lagunaire pour (8).

En ce qui concerne les faciès de flanc, les récifs du Membre du Petit-Mont sont caractérisés par la présence de coulées bioclastiques riches en crinoïdes, alors que les récifs de l'Arche et du Lion montrent une plus grande diversité au sein des bioclastes et la présence de faciès lithoclastiques, surtout vers le sommet. Les faciès non-récifaux comprennent surtout des schistes et des calcaires argileux microbioclastiques, avec quelques ubiquistes.

## Architecture des récifs et dynamique sédimentaire

### Membre du Petit-Mont

Les récifs du Membre du Petit-Mont sont relativement petits, d'environ 70 m d'épaisseur pour un diamètre de

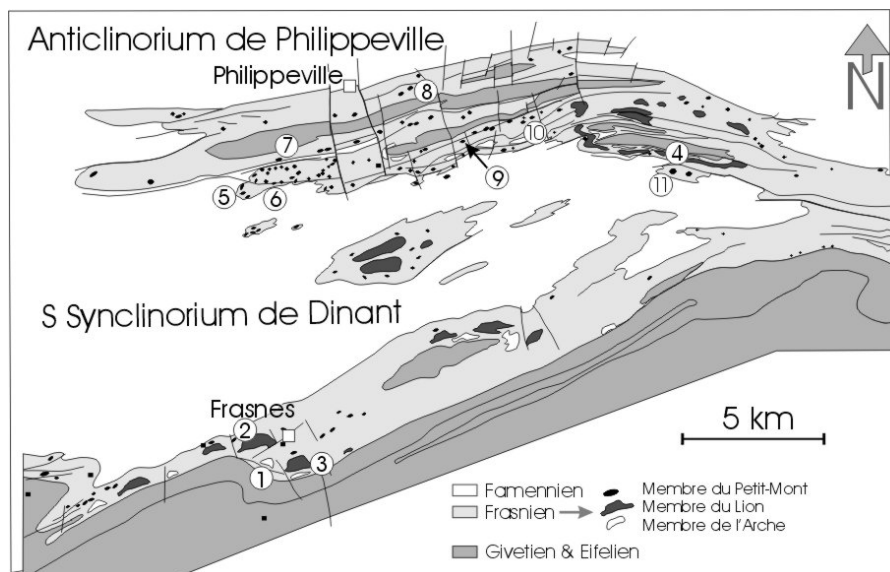


Fig. 3.- Carte géologique détaillée de la zone de Frasnes-Philippeville. 1 : Arche. 2 : Nord. 3 : Lion. 4 : Moulin Bayot. 5 : Beauchâteau. 6 : Tapoumont. 7 : Les Bulants. 8 : Les Croisettes. 9 : Les Wayons. 10 : Rochefontaine. 11 : Hautmont.

Fig. 3.- Detailed geological map of the Frasnes-Philippeville area. 1: Arche. 2: Nord. 3: Lion. 4: Moulin Bayot. 5: Beauchâteau. 6: Tapoumont. 7: Les Bulants. 8: Les Croisettes. 9: Les Wayons. 10: Rochefontaine. 11: Hautmont.

faciès récifaux	Petit-Mont	Arche, La Boverie, Lion
8		wackestone bioturbé à algues vertes
7		packstone gris à lithoclastes et fenestreae
6		rudstone gris à stromatopores branchus
5	bindstone gris à coraux, thrombolites, stromatolithes	bindstone gris à coraux, thrombolites, stromatolithes
4	packstone gris à coraux, stromatopores, cyanobactéries, péloïdes, algues vertes	packstone gris à coraux, stromatopores, cyanobactéries, péloïdes, algues vertes
3	wackestone roses à coraux, crinoïdes, cyanobactéries, stromatopores	wackestone gris à coraux, crinoïdes, cyanobactéries, stromatopores
2	wackestone rouge à stromatactis, coraux, crinoïdes	
1	mudstone rouges à stromatactis et éponges	
faciès de flanc		
L		grainstone lithoclastique
B	grainstone à crinoïdes	packstone bioclastique
faciès externes		
b	packstone argileux microbioclastique	packstone argilx. microbioclastique

Tabl. 1.- Faciès des récifs frasniens du Synclinorium de Dinant.

Tabl. 1.- Frasnian reef facies of the Dinant Synclinorium.

l'ordre de 150 m (fig. 4). La succession des faciès dans ces récifs (1-5), témoigne d'une diminution bathymétrique, peut-être associée, lors du passage du faciès (4) à (5), à une phase de domination écologique au sens de Walker & Alberstadt (1975). La courte séquence inverse qui surmonte beaucoup de ces édifices, avec la réapparition des faciès (3), (2) et (1) au-dessus d'un fond durci, est interprétée comme le résultat d'une importante transgression. Ces deux séquences, baisse eustatique et transgression sont également enregistrées dans les zones littorales de la plate-forme. Les récifs du Membre du Petit-Mont sont à proprement parler des « monticules récifaux », c'est-à-dire des édifices dont la plus grande partie s'est développée en milieu relativement profond, avec des faciès dominés par des textures fines. Seul le faciès (5), riche en organismes encroûtants, pourrait être qualifié de « récifal ».

En ce qui concerne la paléobathymétrie, si l'on prend comme hypothèse que le faciès algaire (4) s'est

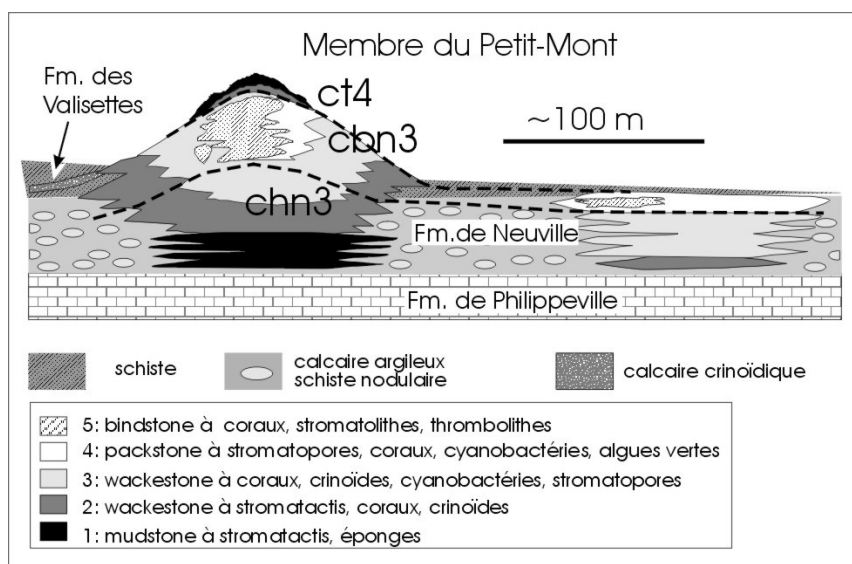


Fig. 4.- Modèle des récifs du Membre du Petit-Mont dans l'Anticlinorium de Philippeville et cortèges sédimentaires.

Fig. 4.- Model of the Late Frasnian Petit-Mont mounds in the Philippeville Anticlinorium, with third-order sequential canvas.

développé dans la ZAVBT et si l'on tient compte de l'épaisseur décompactée séparant ce faciès de la base des édifices, cela donnerait une certaine de mètres de profondeur pour la base des récifs.

### Membres de l'Arche et du Lion

Ces édifices sont nettement plus grands que les précédents. Ils possèdent une épaisseur de l'ordre de 150 m pour un diamètre supérieur au kilomètre (fig. 5). Ils surmontent une semelle riche en coraux (rugueux fasciculés et massifs) et en crinoïdes. Ce substrat est colonisé progressivement par des éponges et la production carbonatée s'intensifie, sous la forme de lentilles micritiques centimétriques. Le premier faciès récifal correspond au faciès (3), généralement grisâtre, formant la plus grosse part de l'édifice. Dans sa partie supérieure, apparaissent les faciès algaires (4) et (5) et des faciès très peu profonds correspondant aux grainstones à stromatopores branchus (6) et aux calcaires à fenestrae (7). Dans la partie centrale des récifs s'observent des faciès lagunaires (8). Cette géométrie particulière ressemble à celle des couronnes atolliennes. La succession des faciès montre que l'on passe ainsi d'un stade monticule récifal (3-4) à un stade atoll (5-8). La présence du faciès (3) dès la base des édifices montre aussi qu'ils ont commencé leur développement à une profondeur plus faible que les récifs du Membre du Petit-Mont.

### Types de récifs et paléocéanographie

Les récifs du Membre du Petit-Mont offrent un exemple idéal des relations entre architecture sédimentaire et variations bathymétriques. Leur séquence de développement, passant d'un faciès relativement profond à éponges, en milieu calme et dysaérobie (1), à un faciès peu profond à algues vertes (4), correspond à un cortège de haut

niveau (CHN). La généralisation des organismes encroûtants (faciès 5) se produit lors d'une baisse du niveau marin (cortège de bas niveau, CBN) et la réapparition de faciès à nouveau plus profonds traduit un cortège transgressif (CT). L'équivalent littoral de cette séquence correspond à des calcaires argileux (CHN et CT) et des bancs à oncolithes (CBN) (Boulvain, 2001).

Les faciès des récifs du Membre du Petit-Mont sont donc des indicateurs paléobathymétriques. Ils indiquent aussi des conditions paléocéanographiques particulières : ils enregistrent la présence de milieux peu oxygénés à des profondeurs relativement faibles, précédant un événement anoxique à grande échelle : l'événement Kellwasser.

Les récifs du Frasnien moyen (Membres de l'Arche et du Lion) enregistrent d'autres conditions paléocéanographiques. Ils possèdent comme équivalents latéraux des faciès de plate-forme « normaux », avec récifs, faciès lagunaires et complexes littoraux (Da Silva & Boulvain, 2004). Leur architecture peut également être expliquée par l'évolution eustatique : leur partie inférieure (faciès 3 surtout) s'est développée durant une transgression (CT), puis un cortège de haut niveau, avec une progradation maximale durant le CHN. Durant le CBN qui a suivi, la croissance récifale a été cantonnée à la bordure des édifices, avec édification d'une couronne atollienne lors de la transgression suivante. Dans la zone littorale, le CBN se marque par une émergence et le développement de paléosols au cours de la transgression (Da Silva & Boulvain, 2004).

### Conclusions

Ces observations suggèrent que les principales différences entre les Membres du Petit-Mont et de l'Arche ou du Lion sont des différences d'architecture bien plus que de faciès. Ces différences sont la conséquence de conditions paléocéanographiques très contrastées. Les récifs du Frasnien moyen sont de grands édifices, caractérisés par une forte progradation, une exportation importante de matériel issu du récif et le développement de faciès lagunaires. Ils croissent au large d'une plate-forme carbonatée dont l'« usine à carbonate » fonctionne à plein rendement. Les fluctuations eustatiques au cours de cette période étaient faibles et la production carbonatée était en mesure de compenser l'élévation du niveau marin. À l'opposé, le Frasnien supérieur était caractérisé par de fortes hausses eustatiques, associées à des événements de dysoxie océanique (Copper, 2002). Ces phénomènes ont provoqué l'engorgement de la plate-forme carbonatée du Frasnien moyen et ont favorisé le développement de récifs à forte différenciation verticale, d'extension latérale limitée et riches en éponges et bactéries microaérophiles.

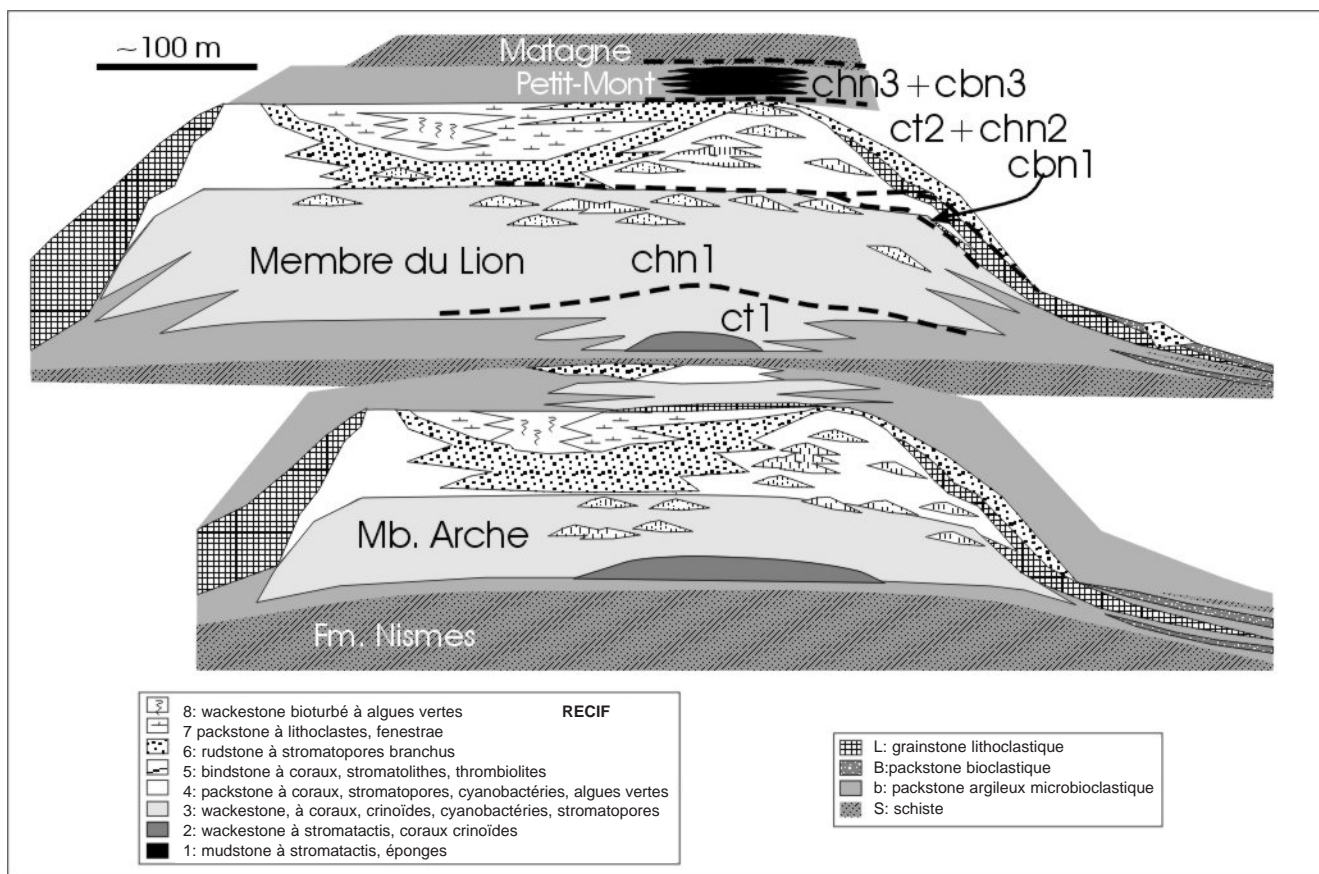


Fig. 5.- Modèle des récifs des Membres de l'Arche et du Lion, le long de la bordure sud du Synclinorium de Dinant.

Fig. 5.- Model of the Middle Frasnian Arche and Lion mounds along the south side of the Dinant Synclinorium, with third-order sequential canvas for the Lion Member.

## Bibliographie

- Boulvain F. (2001) - Facies architecture and diagenesis of Belgian Late Frasnian carbonate mounds (Petit-Mont Member). *Sediment. Geol.*, **145**, 269-294.
- Boulvain F., Bultynck P., Coen M., Coen-Aubert M., Lacroix D., Laloux M., Casier J.G., Dejonghe L., Dumoulin V., Ghysel P., Godefroid J., Helsen S., Mouravief N., Sartenaer P., Tourneur F., Vanguetstaine M. (1999) - Les Formations du Frasnien de la Belgique. *Mem. Geol. Surv. Belgium*, **44**, 125 p.
- Boulvain F., Cornet P., da Silva A.C., Delaite G., Demany B., Humblet M., Renard M., Coen-Aubert M. (2004) - Reconstructing atoll-like mounds from the Frasnian of Belgium. *Facies*, **50**, 313-326.
- Boulvain F., Demany B., Coen-Aubert M. (2005) - Frasnian carbonate buildups of southern Belgium: the Arche and Lion members interpreted as atolls. *Geologica Belgica*, **8** (1-2), 69-91.
- Boulvain F., De Ridder C., Mamet B., Prétat A., Gillan D. (2001) - Iron microbial communities in Belgian Frasnian carbonate mounds. *Facies*, **44**, 47-60.
- Copper P. (2002) - Reef development at the Frasnian/Famennian mass extinction boundary. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, **181**, 27-65.
- Da Silva A.C., Boulvain F. (2004) - From palaeosols to carbonate mounds: facies and environments of the Middle Frasnian platform in Belgium. *Geol. Quarterly*, **48**, 253-266.
- Humblet M., Boulvain F. (2001) - Sedimentology of the Bieumont Member: influence of the Lion Member carbonate mounds (Frasnian, Belgium) on their sedimentary environment. *Geologica Belgica*, **3**, 97-118.
- Lecompte M. (1954) - Quelques données relatives à la genèse et aux caractères écologiques des « récifs » du Frasnien de l'Ardenne. Volume jubilaire Victor van Straelen, **I**, 153-181.
- Walker K.R., Alberstadt L.P. (1975) - Ecological succession as an aspect of structure in fossil communities. *Paleobiology*, **1**, 238-257.