

Le monticule récifal frasnien de la carrière Saint-Remy : faciès et genèse

Frédéric Boulvain

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

Abstract

Facies architecture, sedimentary dynamics and paleogeographic evolution were reconstructed for a number of Late Frasnian buildups (Petit-Mont Member) developed on an external carbonate platform on the south side of the Dinant Synclinorium (Belgium). Five facies were recognised in the buildups, each characterized by a specific range of textures and assemblage of organisms. Sedimentological evidence suggests that the deepest facies correspond to iron bacteria-sponge-dominated communities, developing in a quiet aphotic and hypoxic environment. Next facies developed between the storm wavebase and the fairweather wavebase, in an oligophotic environment. The shallower facies, with stromatolitic coatings and thrombolitic bushes developed close to the fairweather wavebase. The Saint-Remy and Tiers-Cocrai buildups, located close to Rochefort, are largely characterized by red limestone with stromatolites, rich in sponges and iron-bacteria. This relatively poor fossil assemblage and mud-rich texture are due to a relatively deep location down the Frasnian platform.

Keywords: Frasnian, mound, facies, sponges, iron bacteria, Belgium

1. Introduction

De tous les récifs dévoniens, les monticules frasniens du Synclinorium de Dinant ont été parmi les plus anciennement et les plus souvent étudiés (entre autres Dewalque, 1868 ; Dupont, 1881 ; Delhay, 1908 ; Maillieux, 1913 ; Dumon, 1957 ; Lecompte, 1954 ; Coen et al., 1977 ; Tsien, 1980) (cf. aussi les historiques de Tourneur, 1981 et Boulvain, 1993). Cet intérêt pluriséculaire est lié en partie au nombre et à la qualité des affleurements: près de 75 édifices 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 font de ces monticules des références internationales. Actuellement, la sédimentologie et la genèse de ces édifices sont bien connues, de même que les relations entre les faciès des monticules et l'évolution paléocéanographique du bassin de sédimentation (Boulvain, 1993, 2001, 2007). L'objet du présent travail est de décrire deux monticules de la région de Rochefort et de les comparer avec les monticules de la région de Philippeville (Fig. 1), où a été principalement élaboré le modèle sédimentologique.

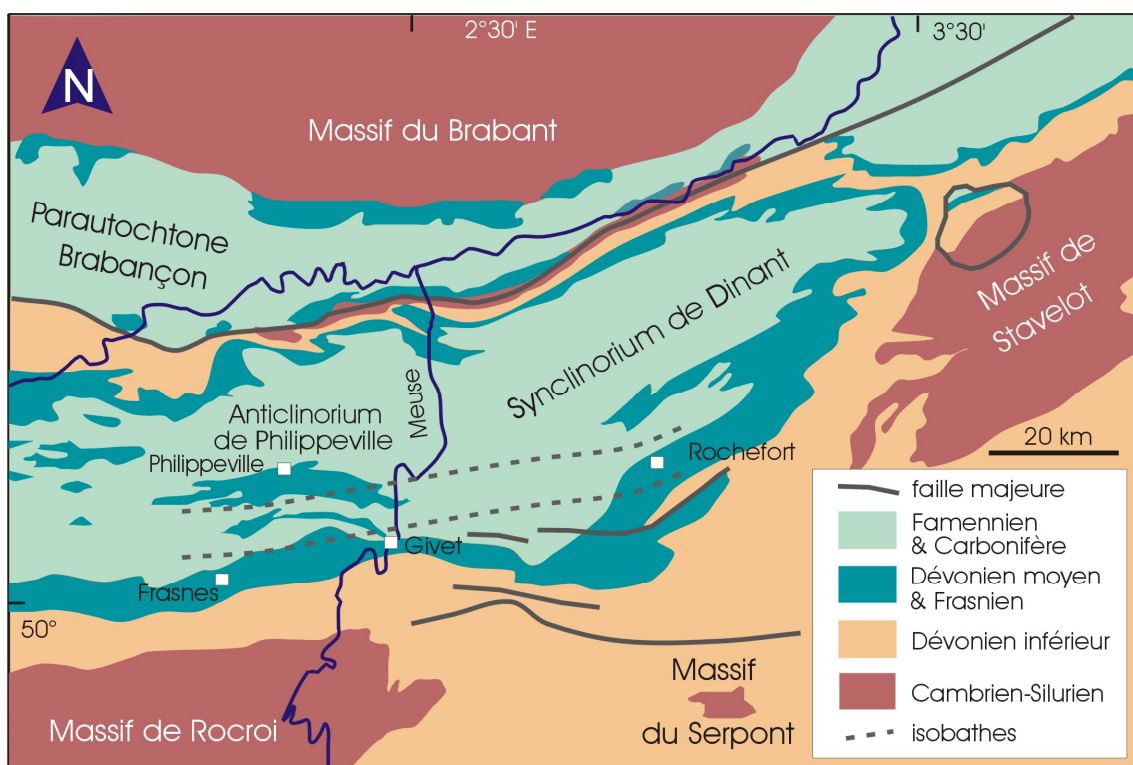


Figure 1 : carte géologique schématique du sud de la Belgique.

2. Localisation et contexte géologique

Trois niveaux principaux de monticules récifaux 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. 2). 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.

Les monticules du Membre du Petit-Mont affleurent principalement dans l'Anticlinorium de Philippeville, où on en dénombre plus de 60.

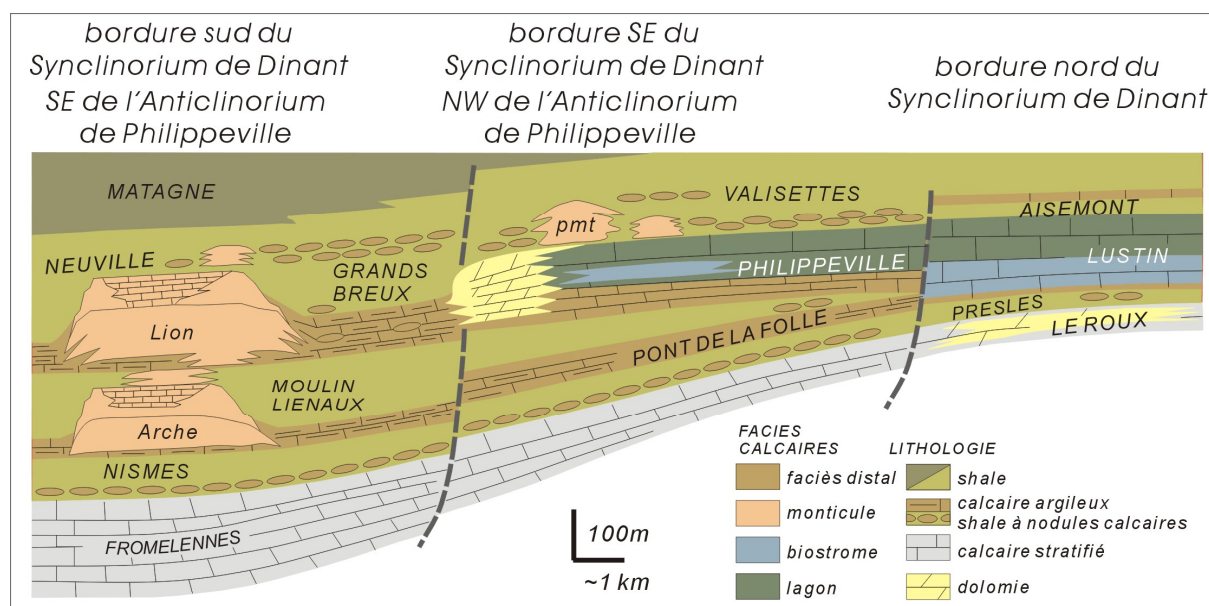


Figure 2 : coupe schématique nord-sud dans le bassin de sédimentation frasnien, avant l'orogénèse varisque.

2.1. Modèles de faciès

Cinq faciès peuvent être définis au sein des monticules du Membre du Petit-Mont de l'Anticlinorium de Philippeville (PM1 à 5). Chacun de ces faciès se différencie sur la base de la texture et de l'assemblage fossile. Deux faciès peuvent être observés sur les flancs et en dehors des édifices (b, B). Une synthèse de ces observations est proposée dans le Tableau 1. On trouvera une description plus détaillée des faciès du Membre du Petit-Mont dans Boulvain (2001).

faciès récifaux	
5	calcaire gris à coraux, stromatopores, cyanobactéries (thrombolites, stromatolithes)
4	calcaire gris à coraux, stromatopores, cyanobactéries, péloïdes, algues vertes
3	calcaire rose à coraux, crinoïdes, cyanobactéries, stromatopores
2	calcaire rouge à stromatactis, coraux, crinoïdes
1	calcaire fin rouge à stromatactis
faciès de flanc	
B	calcaire grenu à crinoïdes
faciès externes	
b	calcaire argileux microbioclastique

Tableau 1: faciès des monticules du Membre du Petit-Mont.

Au bord sud du Synclinorium de Dinant, les monticules ne comprennent en général qu'un de ces faciès, le calcaire rouge à stromatactis (PM1) et parfois, localement, le calcaire rouge à stromatactis, coraux, crinoïdes (PM2).

Il va de soi que les faciès définis ici peuvent être mis en correspondance avec les appellations traditionnelles/commerciales des carriers (Tableau 2).

Appellation traditionnelle	description	faciès
Griotte unie	Calcaire fin rouge	PM1
Griotte fleurie	Calcaire fin rouge avec stromatactis gris	
Griotte impérialee, Impérial	Calcaire fin rouge avec très nombreux stromatactis gris (>50% roche)	
Gros rouge	Calcaire argileux rouge à coraux, crinoïdes	PM2
Royal rosé, R. rouge, R. clair, etc.	Calcaire rouge à coraux, crinoïdes, brachiopodes	PM3
Royal byzantiné, Rouge byzantiné	Calcaire rouge à coraux, crinoïdes, brachiopodes et nombreuses petites fenestrae grises en passées	
Byzantin	Calcaire rouge à coraux, crinoïdes, brachiopodes et nombreuses petites fenestrae grises en passées. Fenestrae plus abondantes que le calcaire rouge	
Gris, Royal Gris, Gris des Ardennes, Bleu, Saint-Edouard, etc.	Calcaire gris massif à brachiopodes, coraux, stromatopores	PM4 & PM5

Tableau 2 : appellation traditionnelles/commerciales, description et identification sédimentologique.

2.2. Interprétation des faciès

Sous la plupart des monticules, 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 construit le plus profond est le calcaire rouge à stromatactis (PM1). Les stromatactis correspondent à des cavités cimentées, résultant de la dégradation d'éponges dans un sédiment cohérent, proche d'un gel. Dans les monticules du Membre du Petit-Mont, l'intensité de la

pigmentation rouge hématitique décroît de PM1 à PM5. Les faciès encaissant les récifs sont dépourvus d'oxyde de fer. Des observations microscopiques ont montré que ce pigment ferrugineux 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 PM1 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 PM1 a comme conséquence l'établissement d'un milieu dysaérobique local, suite à une augmentation de la productivité organique. Une preuve en serait l'arrêt de la bioturbation. Le faciès PM2 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 (PM3) 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 PM4, on atteint le maximum de biodiversité au sein du récif. La présence d'algues vertes (Udotéacées, Dasycladacées) et la texture indiquent un environnement peu profond, dans la zone d'action des vagues de beau temps (ZAVBT). Le faciès PM5 est caractérisé par une diminution de la diversité des organismes et la généralisation de la morphologie subsphérique ou encroûtante. Stromatolithes et thrombolites (tapis cyanobactériens) dominent nettement la communauté récifale.

En ce qui concerne les faciès de flanc, les édifices du Membre du Petit-Mont sont caractérisés par la présence de coulées bioclastiques riches en crinoïdes (B), dès que le relief synsédimentaire des monticules est suffisant. Les faciès non-récifaux comprennent surtout des schistes et des calcaires argileux microbioclastiques (b), avec quelques organismes ubiquistes.

2.3. Architecture des monticules dans l'Anticlinorium de Philippeville

Les monticules du Membre du Petit-Mont sont de taille moyenne, d'environ 70 m d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre de 150 m (Fig. 3). La succession des faciès dans ces édifices (PM1-5), témoigne d'une diminution bathymétrique, peut-être associée, lors du passage du faciès PM4 à PM5, 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 PM3, PM2 et PM1 au-dessus d'un fond durci, est interprétée comme le résultat d'une importante élévation du niveau marin. Les édifices 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 PM5, 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 (PM4) s'est 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 centaine de mètre de profondeur pour la base des monticules.

2.4. Architecture des monticules au bord sud du Synclinorium de Dinant

Dans cette vaste région où les monticules du Membre du Petit-Mont sont beaucoup plus rares que dans l'Anticlinorium de Philippeville, on connaît principalement le monticule de Fort-Condé près de Givet (Lecompte, 1959 ; Tsien, 1984 ; Tourneur, 1982 ; Boulvain, 1993), ceux des Terniats entre Frasnes et Nismes (Maillieux, 1913 ; Dumon, 1929) et ceux de la région de Rochefort : Saint-Remy (Harroy, 1910 ; Delhay 1913 ; Dumon, 1929, Boulvain, 1993), Tiers Cocrai (Dumon, 1929, Boulvain, 1993) et Saint-Martin (Dumon, 1929). Il en existe encore dans la région de Barvaux-Durbuy, mais ils font partie de la bordure orientale du Synclinorium de Dinant.

Fort Condé et les Terniats sont de petits édifices d'une vingtaine de mètre d'épaisseur, d'extension horizontale difficile à préciser, tandis que les autres dépassent probablement la quarantaine de mètre d'épaisseur pour un diamètre d'une centaine de mètres. Le faciès des calcaires rouges à stromatolites et éponges (PM1) y domine largement. Tous les édifices reposent sur un substrat de calcaire argileux et sont surmontés par des schistes fins. Il n'y a pas d'évidence de pentes périphériques ni d'interdigitation de schistes ou de calcaires argileux. Stratigraphiquement, les monticules du bord sud du Synclinorium de Dinant semblent contemporain de la partie inférieure de ceux de l'Anticlinorium de Philippeville (Coen et al., 1977).

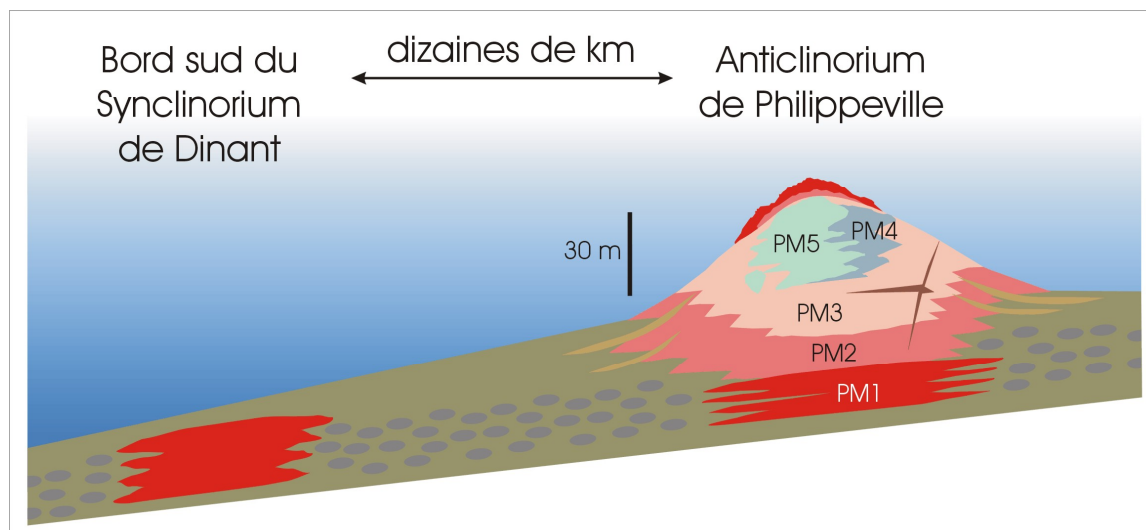


Figure 3 : modèle sédimentologiques des monticules du Membre du Petit-Mont.

3. Les monticules du Membre du Petit-Mont à Rochefort

Ils se singularisent par leur taille relativement importante, proche de celle de leurs équivalents de l'Anticlinorium de Philippeville. On envisagera essentiellement les monticules des carrières Saint-Remy et Tiers Cocrai (Fig. 4) qui affleurent de manière satisfaisante.

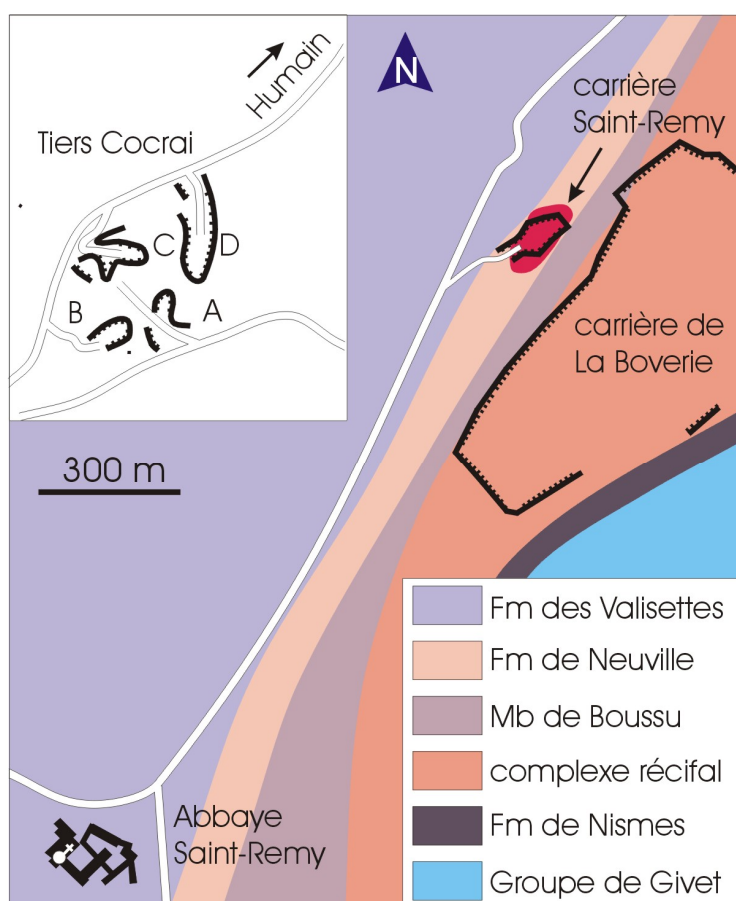


Figure 4 : plan de localisation des monticules des carrières Saint-Remy à Rochefort et Tiers Cocrai à Humain. Carte géologique des environs de la carrière Saint-Remy. « Complexe récifal » se réfère aux membres du Lion, de la Boverie et de l'Arche du Frasnien moyen.

La carrière Saint-Remy (IGNB 59/3-4 ; X : 211.625 Y : 97.775) expose plusieurs dizaines de mètres de calcaires rouges fins à stromatactis (PM1), souvent groupés en passées, comme sur la paroi nord-est (Fig. 5). La rampe d'accès à la carrière montre une coupe d'environ 18 mètres de ces calcaires.

Vers le sommet de cette coupe, le calcaire devient plus argileux et s'enrichit en crinoïdes et brachiopodes (Fig. 9A). Le passage aux schistes fins périphériques ou sommitaux se fait par l'intermédiaire de 1 m de schistes noduleux à crinoïdes et lamellibranches.



Figure 5 : vue de la face nord-est de la carrière Saint-Remy et dessin d'après photomosaïque de la répartition des stromatactis (en blanc) dans le calcaire rouge.

La colline du Tiers Cocrai (IGNB 54/7-8 ; X : 212.500 Y : 99.000) est entamée par plusieurs carrières dont les plus importantes font affleurer entre 10 et 20 m de calcaire rouge à stromatactis (PM1). Ce

sont les carrières A et B (Fig. 4). La carrière B permet l'observation de niveaux bien développés de stromatactis de taille variable, accompagnés de fractures synsédimentaires (Fig. 6). Dans la carrière D n'affleurent plus que quelques mètres de schistes fins mais dans la carrière C, 3 à 4 m de parois altérées montrent des calcaires rosés à stromatactis, coraux, crinoïdes (PM2) et même localement des calcaires roses à coraux, crinoïdes, cyanobactéries, stromatopores (PM3).

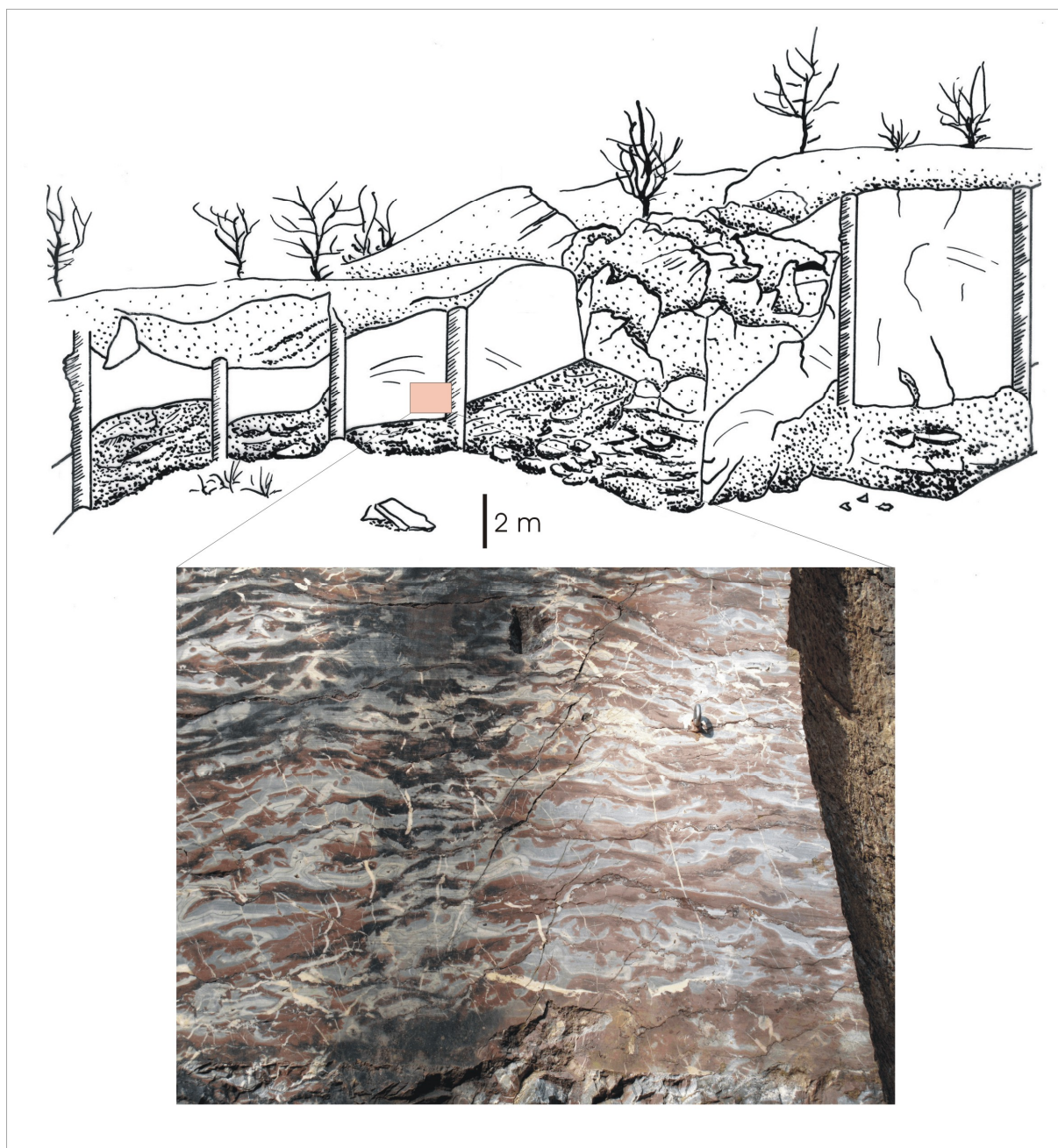


Figure 6 : croquis de la carrière B de Tiers Cocrai et vue du faciès à stromatactis (PM1).

Outre la couleur rouge due à des ferrobactéries (Boulvain et al., 2001), le caractère le plus frappant du faciès PM1 est la présence abondante de stromatactis. Rappelons que ces structures ont été décrites pour la première fois par Dupont (1881, p. 266) comme « de longues bandes ou de petites masses cristallines irrégulières » fréquentes dans les monticules frasniens. Lecompte (1937, p. 7) en précise la morphologie : il s'agit d' « amas cristallins à surface inférieure subplane et à surface supérieure très digitée, régulièrement disposés en allure à peu près concordante avec les terrasses ». Plus récemment, Bourque & Boulvain (1993, p. 608) ont affiné la définition de la façon suivante « a spar network whose elements have flat to undulose smooth lower surfaces and digitate upper surfaces, made up principally of isopachous crusts of centripetal cement and embedded in finely crystalline limestone ». Si la controverse sur l'origine des stromatactis s'est poursuivie jusqu'à nos jours (cf.

Boulvain, 1993), un consensus semble s'être installé sur la calcite fibreuse qui les constitue : il s'agit bien d'un ciment précipité dans une cavité du sédiment. Dans le cas des stromatactis de Tiers-Cocrai et Saint-Remy (Fig. 7), l'observation microscopique démontre que les cavités résultent de la dégradation d'éponges dès leur enfouissement dans le sédiment. On constate en effet une relation géométrique constante entre des réseaux spiculaires d'éponges et les stromatactis (Fig. 8).

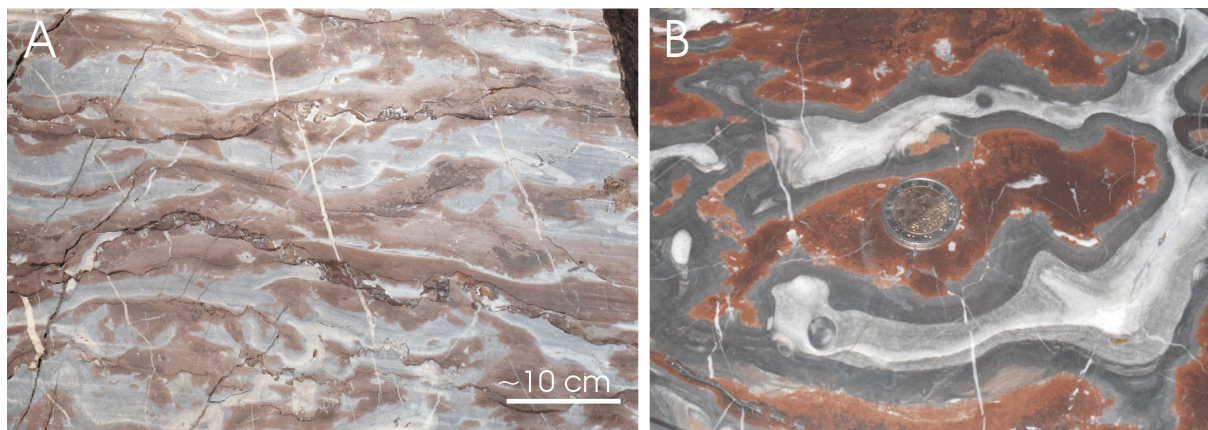


Figure 7 : exemples de stromatactis. A : dans la paroi de la carrière B de Tiers Cocrai. B : cheminée, Abbaye de Saint-Remy.

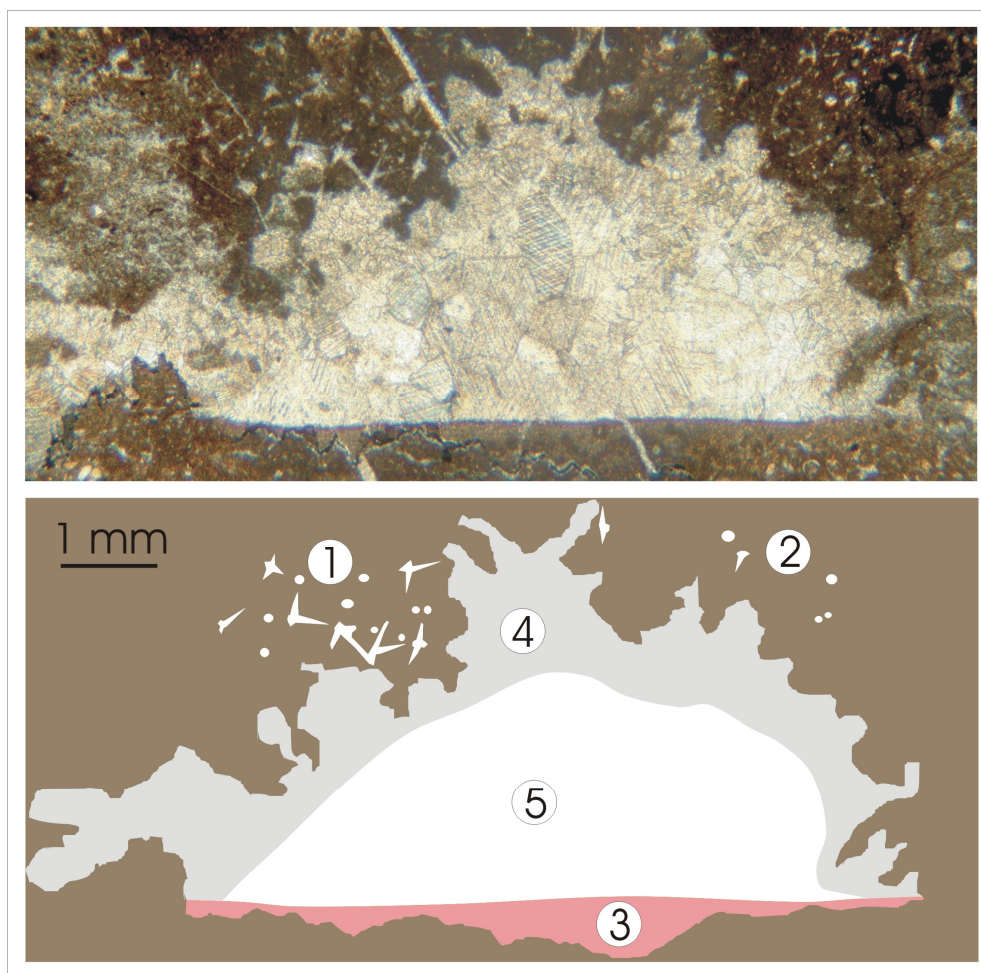


Figure 8 : caractéristiques d'un stromatactis. (1) restes du réseau spiculaire à l'origine de la cavité ; (2) réseau spiculaire dégradé ; (3) sédiment interne, déposé sur le fond de la cavité ; (4) frange de ciment marin précoce ; (5) remplissage final de la cavité par un ciment tardif. Echantillon SR2, carrière de Saint-Remy, lame mince, lumière naturelle.

Dans certains cas, le réseau spiculaire est fortement dégradé par la diagenèse et donne lieu à une structure particulière, la « structure vermiculaire » (Fig. 9B).

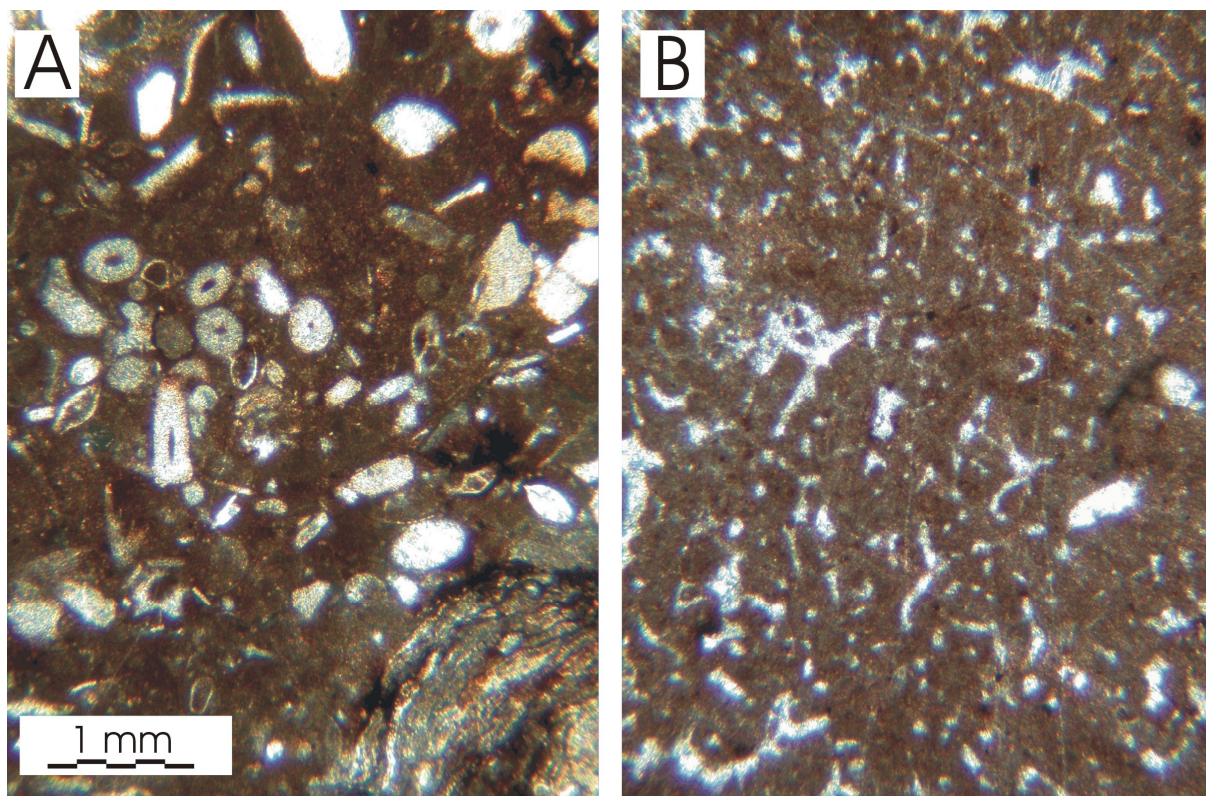


Figure 9 : A : calcaire argileux à crinoïdes. Echantillon SR5, carrière de Saint-Remy, lame mince, lumière naturelle. B : structure vermiculaire, résultat de l'altération diagénétique d'un réseau spiculaire d'éponge. Echantillon SR4, carrière de Saint-Remy, lame mince, lumière naturelle.

4. Place des monticules de la région de Rochefort dans le modèle sédimentologique du Membre du Petit-Mont

Contrairement aux autres monticules du Membre du Petit-Mont du bord sud du Synclinorium de Dinant, les édifices de la région de Rochefort ont une taille relativement importante. C'est surtout le cas du Tiers Cocrai évidemment, dont l'extension horizontale pourrait dépasser 300 m (Fig. 4). La faible extension des carrières ne permet malheureusement pas de trancher entre un monticule unique ou une série de monticules proches mais plus petits. Les caractéristiques géomorphologiques du tiers favorisent plutôt la première hypothèse. Du point de vue de leur constitution, les monticules de la région de Rochefort sont largement caractérisés par le faciès des calcaires rouges fins à stromatactis (PM1), caractéristique d'un environnement relativement profond. Très localement, des faciès moins profonds se développent (PM2 et PM3), suite peut-être à la grande taille du monticule du Tiers Cocrai. Si l'on considère que sur la plate-forme externe frasnienne, les lignes d'égale profondeur (isobathes) étaient orientées approximativement WSW-ENE, on constate (Fig. 1) que les monticules de la région de Rochefort étaient localisés entre ceux de la région de Philippeville (les moins profonds) et ceux de la région de Frasnes-Givet (les plus profonds).

Dans l'Anticlinorium de Philippeville, les monticules voient le développement de « faciès gris » (PM4 et PM5) dans leur partie la plus proche de la surface de l'océan. Ces faciès ne sont pas toujours facilement mis en évidence car ils se situent au centre des monticules et ont été souvent totalement excavés lors de l'exploitation. On peut dès lors se demander si le « marbre » dit « Vieux Bleu Saint-Remy » ne pourrait provenir d'un tel faciès central, actuellement disparu. L'examen d'échantillons conservés à l'abbaye permet d'écarter cette hypothèse : le « Vieux Bleu » correspond en fait à un faciès de calcaire à stromatactis (PM1) dont la matrice est particulièrement pâle (Fig. 10).

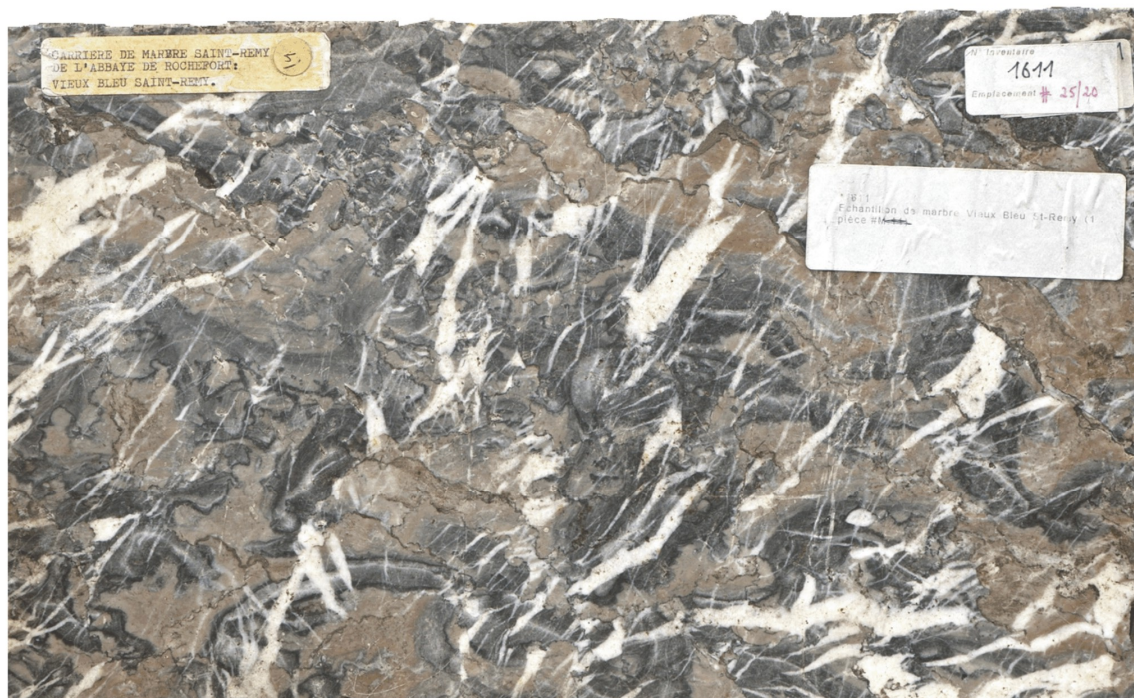


Figure 10 : échantillon de « marbre » « Vieux Bleu Saint-Remy ». Abbaye Saint-Remy.

5. Conclusions

Les monticules récifaux frasniens (Membre du Petit-Mont) de la région de Rochefort sont des édifices de taille moyenne (de 100 à peut-être 300 m de diamètre pour une quarantaine de mètres d'épaisseur), largement caractérisés par des calcaires rouges fins à stromatactis. Ils se différencient ainsi de leurs équivalents de la région de Frasnes-Givet par leur taille plus importante et de ceux de l'Anticlinorium de Philippeville par leur caractère plus homogène et l'absence de faciès peu profonds. Ces différences s'expliquent par le gradient paléobathymétrique de la plate-forme carbonatée frasnienne.

Le faciès principal des monticules de la région de Rochefort, le calcaire rouge à stromatactis, est un sédiment construit, où l'on retrouve essentiellement des éponges. La dégradation de ces organismes lors de leur enfouissement dans le sédiment donne naissance à des cavités, progressivement comblées par des sédiments internes et du ciment. Ces cavités une fois cimentées correspondent aux stromatactis. L'origine du pigment rouge est liée à la présence de ferrobactéries dans le sédiment. L'ensemble des caractéristiques du calcaire rouge à stromatactis (texture, contenu), suggère un milieu marin relativement profond (de l'ordre d'une centaine de mètre de profondeur), calme, obscur et probablement légèrement sous-oxygéné.

6. Remerciements

Mes plus vifs remerciements vont à Frère Jean-Paul, de l'Abbaye de Saint-Remy, pour son accueil, son aide et ses recherches d'échantillons de marbre.

7. Références

- Boulvain, F. (1993). Sédimentologie et diagenèse des monticules micritiques "F2j" du Frasnien de l'Ardenne. Serv. Géol. Belgique Prof. Papers, 1993 (2), 260, 427 pp.
- Boulvain, F. (2001). Facies architecture and diagenesis of Belgian Late Frasnian carbonate mounds (Petit-Mont Member). *Sedimentary Geol.*, 145, 269-294.
- Boulvain, F. (2007). Frasnian carbonate mounds from Belgium: sedimentology and palaeoceanography. In: J. J. Álvaro, M. Aretz, F. Boulvain, A. Munnecke, D. Vachard & E. Vennin (eds) *Palaeozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls*. Geological Society, London, Special Publications, 275, 125-142.
- 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., Mouravieff, N., Sartenaer, P., Tourneur,

- F. & Vanguetstaine, M. (1999). Les Formations du Frasnien de la Belgique. Mem. of the Geol. Surv. of Belgium, 44, 125 pp.
- Boulvain, F., De Ridder, C., Mamet, B., Pr  at, A., & Gillan, D. (2001). Iron microbial communities in Belgian Frasnian carbonate mounds. *Facies*, 44, 47-60.
- Bourque, P.A. & Boulvain, F. (1993). A model for the origin and petrogenesis of the red stromatactis limestone of Paleozoic carbonate mounds. *J. of Sedimentary Petrology*, 63 (4), 607-619.
- Coen, M., Coen-Aubert, M. & Cornet, P. (1977). Distribution et extension stratigraphique des récifs    "Phillipsastrea" dans le Frasnien de l'Ardenne. *Ann. Soc. Géol. Nord*, XCVI (4), 325-331.
- Delhay  , F. (1908). Etude de la formation des récifs de calcaire rouge à Rhynchonella cuboïdes (note préliminaire). *Ann. Soc. Géol. Belgique*, XXXV, B243-253.
- Delhay  , F. (1913). Etude de la formation des récifs de calcaire rouge à Acervularia et Hypothyris cuboïdes. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, XL, B469-481.
- Dewalque, G. (1868). Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. Carmanne, Liège, 442 pp.
- Dumon, P. (1929). Etude du Frasnien en Belgique. *Publ. de l'Ass. Ing. Ecole Mines Mons*, 30 (2), 119-230.
- Dumon, P. (1957). Note sur les marbres rouges en Belgique. *Publ. Ass. Ing. Fac. polyt. Mons*, 3, 1-41.
- Dupont, E. (1881). Sur l'origine des calcaires dévonien de la Belgique. *Bull. Acad. r. Belgique*, 3   série, II, 264-280.
- Harroy, J. (1910). Les masses de calcaire construit et leurs relations avec les schistes qui les environnent. Contribution à l'étude du Frasnien. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, XXXVII, M315-M333.
- Lecompte, M. (1937). Contribution à la connaissance des récifs du Dévonien de l'Ardenne. Sur la présence de structures conservées dans des efflorescences cristallines du type "Stromatactis". *Bull. Mus. r. Hist. nat. Belgique*, XIII (15), 13 pp.
- Lecompte, M. (1954). Quelques données relatives à la génèse et aux caractères écologiques des "récifs" du Frasnien de l'Ardenne. Volume jubilaire Victor van Straelen, I, 153-181.
- Lecompte, M. (1959). Compte rendu de la session extraordinaire de la Soc. géol. de Belgique et de la Soc. belge de Géol. consacrée à l'étude du phénomène récifal dévonien dans la partie occidentale du Bassin de Dinant et du Bassin de Namur. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, LXXXIII, 134-153.
- Maillieux, E. (1913). Nouvelles observations sur le Frasnien et en particulier sur les pal  or  cifs de la plaine des Fagnes. *Bull. Soc. belge Géol.*, XXVII, 67-104.
- Tourneur, F. (1981). L'Etude des "récifs rouges F2j" en Belgique (jusqu'en 1970). *Bull. Soc. belge Géol.* 90 (3), 157-173.
- Tourneur, F. (1982). Conodontes de trois "récifs de marbre rouge F2j". *Stratigraphie et   cologie. Bull. Soc. belge Géol.* 91 (2), 91-102.
- Tsien, H.H. (1980). Les régimes récifaux dévonien en Ardenne. *Bull. Soc. belge Géol.*, 89 (2), 71-102.
- Tsien, H.H. (1984). Récifs du Dévonien des Ardennes- Paléoécologie et structure. In Geister & Herb (  d.) *Géologie et Paléoécologie des Récifs. Inst. Géol. Univ. Berne*, 7.1-7.30.
- Walker, K.R. & Alberstadt, L.P. (1975). Ecological succession as an aspect of structure in fossil communities. *Paleobiology*, 1, 238-257.