

ROYAUME DE BELGIQUE

MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

Administration des Mines - Service Géologique de Belgique
Rue Jenner, 13 - 1040 Bruxelles

**ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE
ET GEOCHIMIQUE DU FRASNIEN
DE LA CARRIERE SITUEE A PEPINSTER,
AU LIEU-DIT MASSAU (SYNCLINORIUM DE VERVIERS)**

par

C. Cnudde (1), L. Dejonghe (1-3) & B. Mamet (2-3)

**PROFESSIONAL PAPER 1987/2
N° 229**

**ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE DU FRASNIEN DE
LA CARRIERE SITUEE A PEPINSTER, AU LIEU-DIT MASSAU
(SYNCLINORIUM DE VERVIERS)**

par C. Cnudde (1), L. Dejonghe (1-3) & B. Mamet (2-3)

(1) Service géologique de Belgique, 13 rue Jenner, B-1040 Bruxelles.

(2) Université de Montréal, Département de Géologie, C.P. 6128, Succursale A, Montréal, Québec H3C 3J7, Canada.

(3) Université libre de Bruxelles, Faculté des Sciences, 50 avenue F.D. Roosevelt, B-1050 Bruxelles.

RESUME - Cette étude du Frasnien de la carrière de Pepinster au lieu-dit Massau comporte une description lithologique, une analyse des microfaciès, une détermination des principaux corps figurés et une interprétation des principaux environnements. Les Algues ont fait l'objet d'une attention toute particulière et leur signification a été dégagée dans les environnements observés. Les calcaires de la Formation de Lustin sont essentiellement des rudstones et des floatstones récifaux ainsi que des calcaires d'origine lagunaire correspondant respectivement aux phases de fermeture et d'ouverture du lagon. Les environnements marins ouverts ne sont guère représentés. Les calcaires de la Formation d'Aisemont reflètent un environnement plus ouvert que ceux observés dans la Formation de Lustin. Ils se situent à la limite des environnements d'avant-récif, vers le domaine marin ouvert. Le travail comporte également un étude de l'évolution géochimique de 27 éléments dont le comportement a été comparé par une étude statistique sommaire (paramètres caractéristiques ; matrice de coefficients de corrélations).

ABSTRACT - This study deals with Frasnian sedimentation of the Pepinster ("Massau") quarry. It consists in lithologic descriptions, analysis of the microfacies, determination of the main components and interpretation of the environments. The ecologic signification of the Algae is emphasized. The Lustin Formation limestones are reefal rudstones and floatstones associated with restricted carbonates which correspond to opening and closing phases of the lagoon. Open-marine environments are not represented. The Aisemont Formation carbonates reflect more open environments (fore-reef). The geochemical distribution of 27 elements is statistically investigated (distribution parameters and correlation coefficients matrix).

MOTS CLEFS - sédimentologie, analyse séquentielle, lithogéochimie, Frasnien, Synclinorium de Verviers, microfaciès, environnement sédimentaire, Algues, plate-forme calcaire.

KEY-WORDS - sedimentology, sequential analysis, litho geochemistry, Frasnian, Verviers Synclinorium, microfacies, sedimentary environment, limestone platform, algae.

SOMMAIRE

I. Introduction	7
II. Sédimentologie.	7
II.1. Série virtuelle locale.	7
II.2. Description de la coupe	21
II.3. Importance des Algues dans la sédimentation	31
II.4. Distribution des Algues dans les environnements observés à Pepinster	45
II.5. Conclusion	47
III. Lithogéochimie	47
IV. Bibliographie	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation géographique de la carrière.	8
Figure 2. Vue générale de la carrière - côté sud-est	9
Figure 3. Vue générale de la carrière - côté nord-ouest	11
Figure 4. Croquis de la carrière.	13
Figure 5. Termes de la série virtuelle locale et environnements cor- respondants	17
Figure 6. Vues rapprochées à divers niveaux de la carrière.	24
Figure 7. Laminites algaires.	28
Figure 8. Coupe lithologique, environnements et corps figurés	32
Figure 9. Distribution des Algues	46
Figure 10. Paramètres caractéristiques de la population des calcaires purs.	54
Figure 11. Matrice des coefficients de corrélation de la population des calcaires purs.	55

I. Introduction

L'étude sédimentologique détaillée du Frasnien de la carrière de Pepinster a été réalisée dans le cadre d'une étude paléogéographique du Dévonien moyen et supérieur du Synclinorium de Verviers. Elle complète d'autres résultats présentés récemment (L. Dejonghe *et al.*, 1982 ; M. Coen-Aubert *et al.*, 1985 ; C. Cnudde *et al.*, 1986). Le cadre stratigraphique utilisé est celui proposé par M. Coen-Aubert (1974) amendé, en ce qui concerne la terminologie, par M. Coen-Aubert & D. Lacroix (1979).

L'étude géochimique a été entreprise au cours d'une prospection lithogéochimique des sédiments de plate-forme déposés au sud du massif de Brabant pendant le Mésodévonien et le Frasnien (L. Dejonghe, 1985, 1987).

Ces travaux ont bénéficié de l'aide financière octroyée par la Commission des Communautés européennes et le Ministère des Affaires économiques de Belgique dans le cadre de deux actions dont les résultats ont été présentés dans des rapports à diffusion restreinte (L. Dejonghe *et al.*, 1982 ; L. Dejonghe & M. Mardaga, 1986). Ces rapports peuvent être consultés au Service géologique de Belgique.

La coupe étudiée a été levée dans l'ancienne carrière aménagée en école d'escalade, située sur la rive droite de la Vesdre, le long de la route N31 Liège-Verviers, à l'entrée de la ville de Pepinster au lieu-dit "Massau" (fig. 1). Au Service géologique de Belgique, cet affleurement porte la référence 135 E 94. Les coordonnées Lambert de cette carrière sont 139 944 N - 141 009 N et 251 396 E - 251 479 E. Les couches sont en position renversée. Leur direction fluctue de 60 à 67° et leur pendage de 58 à 78° S.

Le levé a débuté au sud-est de la carrière, au sommet de l'escarpement situé à proximité des pylônes d'une ligne haute tension, par un gros banc à débris récifaux de la Formation de Lustin (fig. 2). Il s'est terminé à l'extrémité nord-ouest de la carrière au niveau des shales noduleux de la Formation d'Aisemont (fig. 3). Un croquis général de la carrière avec mention de la numérotation attribuée à certains bancs est montré à la figure 4.

II. Sédimentologie

II.1. Série virtuelle locale

La série virtuelle locale utilisée reprend tous les termes lithologiques rencontrés dans le bassin sédimentaire dans lequel se sont déposées les formations du Synclinorium de Verviers. Les faciès observés dans les diverses coupes étudiées sont au nombre d'une trentaine. La plupart de ces faciès sont décrits ici tant macroscopiquement que microscopiquement. Seules les roches dans lesquelles la proportion de détritique argileux est importante n'ont pas fait l'objet d'investigations microscopiques

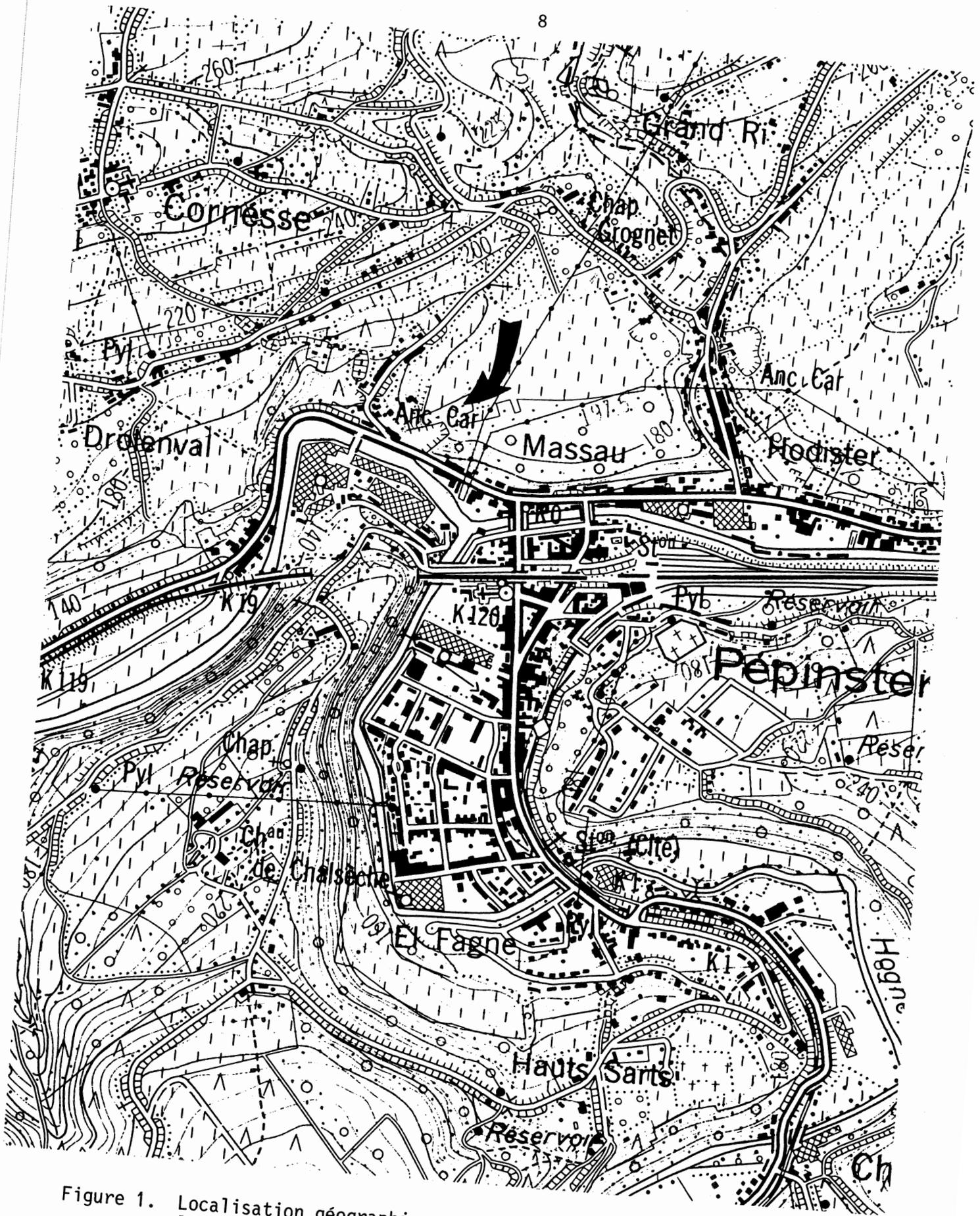


Figure 1. Localisation géographique de la carrière située à Pepinster au lieu-dit Massau. Extrait de la carte IGN 42/8

Figure 2

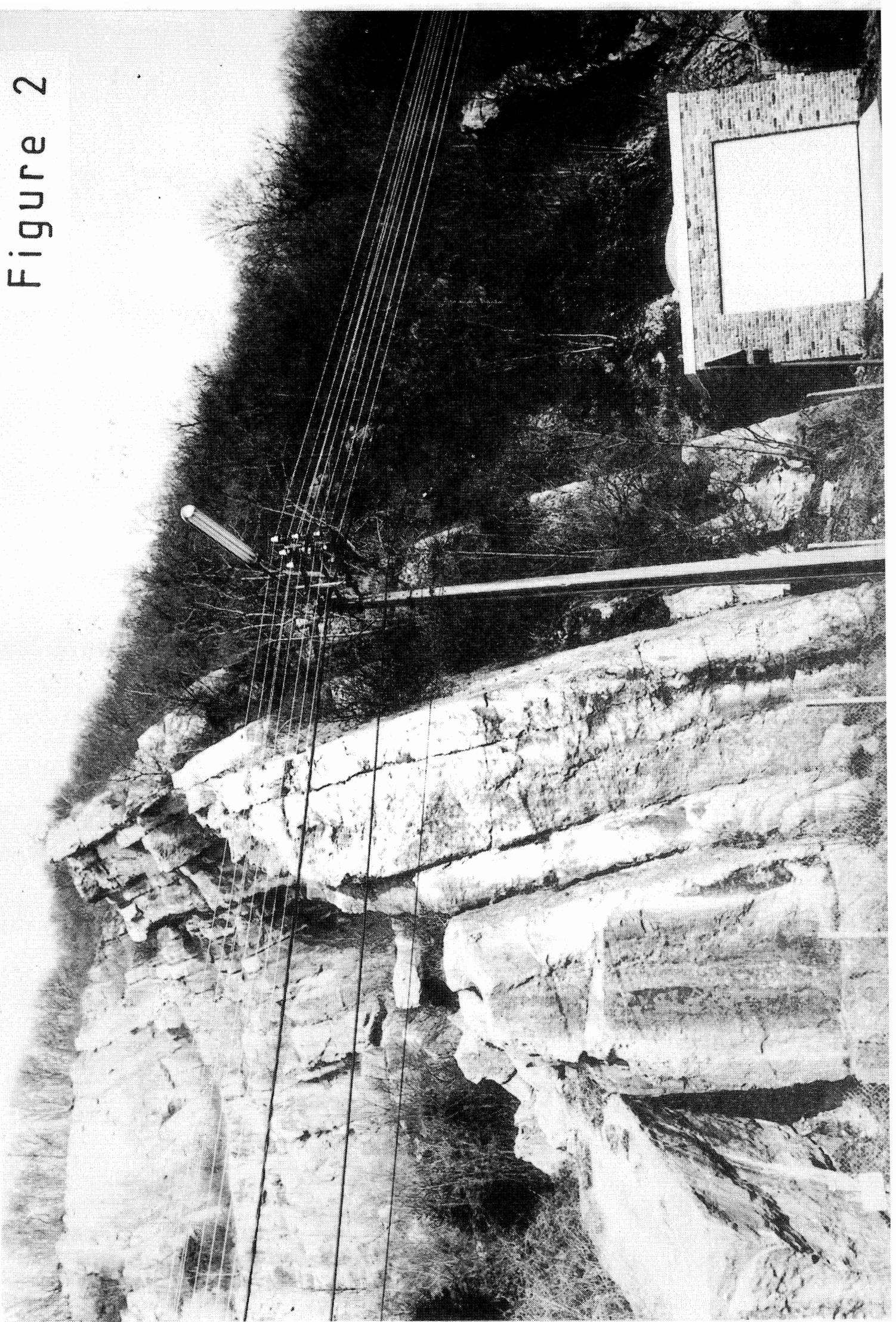


Figure 2. Vue générale de la carrière située à Pepinster au lieu-dit Massau - Côté sud-est

Figure 3

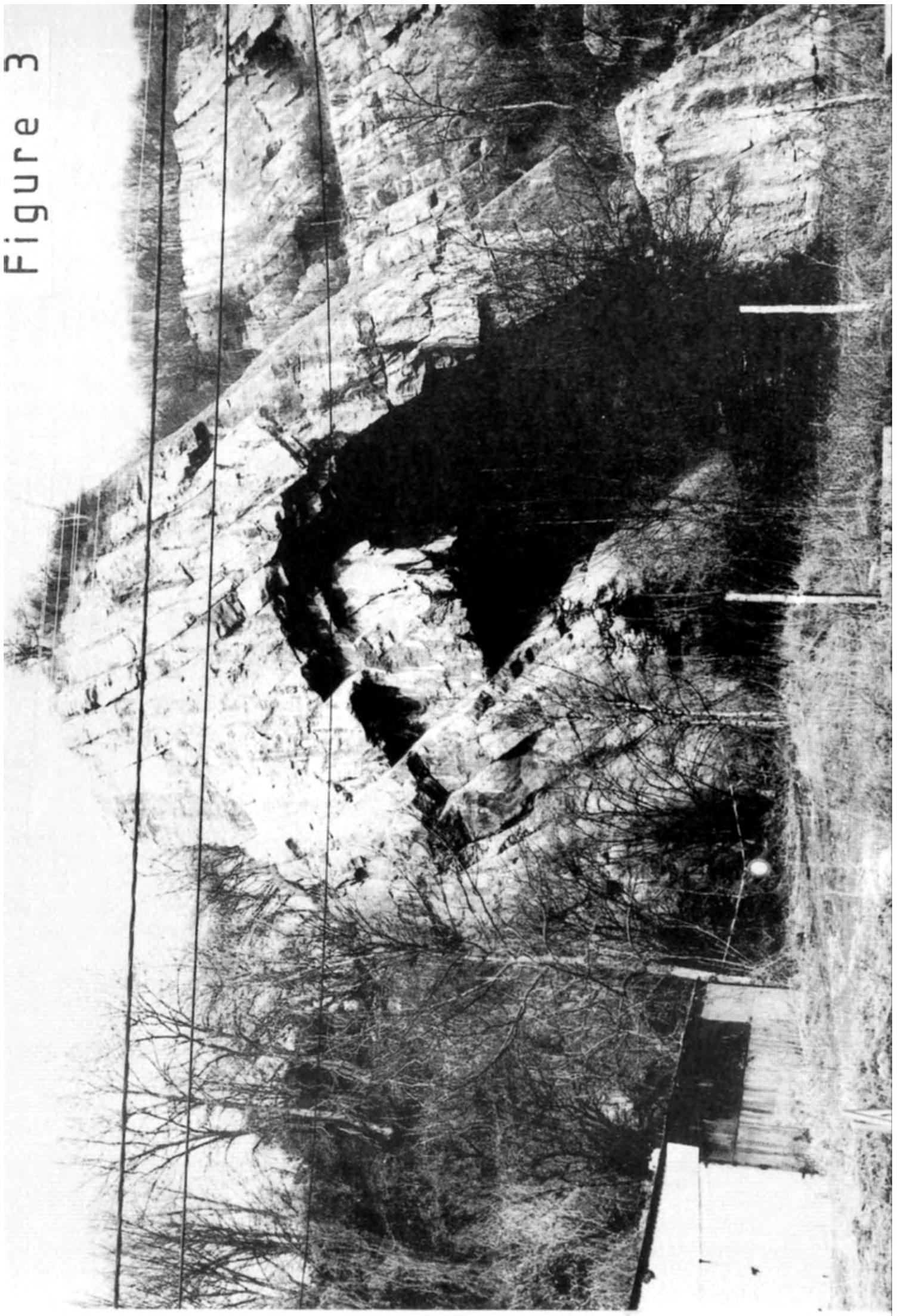


Figure 3. Vue générale de la carrière située à Pepinster au lieu-dit Massau - Côté nord-est.

NW

SE

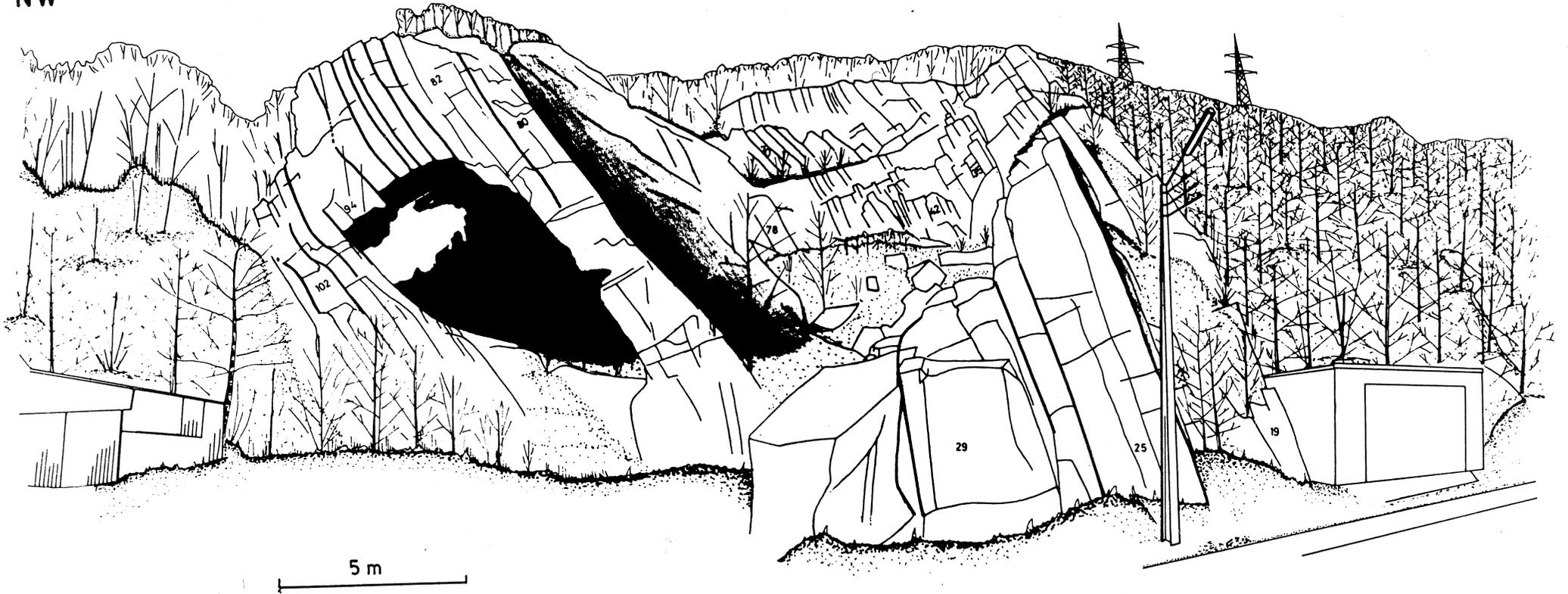


Figure 4. Croquis de la carrière située à Pepinster au lieu-dit Massau. Les chiffres correspondent à la numérotation attribuée aux bancs lors du levé. L'échelle n'est valable que pour l'avant plan.

systematiques.

Nous nous sommes basés sur leurs principaux caractères lithologiques ou géochimiques pour décrire les conglomérats, les grès, les shales et les dolomies. Pour les calcaires, nous avons groupés dans un même terme lithologique, les divers microfaciès habituellement associés et formés dans un même milieu de dépôt.

Nous avons tenté, à la lumière des travaux de M. Errera (1972), J.L. Wilson (1975) et de P. Gillard (1976) de grouper ces divers faciès et nous avons limité le nombre de termes lithologiques à 10, répertoriés de A à J à la figure 5.

Bien que l'analyse séquentielle soit basée sur les caractères essentiellement descriptifs des roches, nous avons dû, afin de la simplifier, grouper les nombreux microfaciès carbonatés en un nombre restreint de termes lithologiques. La description de ces faciès est en partie objective et en partie interprétative. Un même terme lithologique groupe des faciès qui sont associés, se succèdent ou alternent dans nos coupes. Il est d'ailleurs fréquent que deux ou plusieurs de ces microfaciès soient présents dans une même lame mince. Ces faciès se sont donc formés dans des environnements voisins (milieu marin ouvert, milieu récifal, milieu périrécifal, milieu lagunaire plus ou moins restreint, ...) groupant plusieurs niveaux d'énergie. Nous les avons associés sur le terrain et dans l'échelle virtuelle locale (A, B, C, ...) et distingués dans la partie interprétative de notre travail (ex. : B1, B2, B3).

Nous avons restitué à la figure 5, les dix termes de la série virtuelle locale dans le schéma paléogéographique de J.L. Wilson (1975) que nous avons divisé en environnements. Les termes français du schéma sont issus d'E. Flügel (1982, p. 31). Les deux premiers termes sont repris ici pour mémoire.

A. Conglomérats

Nous avons repris sous cet intitulé les roches non essentiellement carbonatées dont les principaux constituants ont un diamètre supérieur à 2 mm (J.T. Greensmith, 1979, p. 16 ; B. Bayly, 1976, p. 167). Ces roches ne sont pas observées à Pepinster.

B. B1 grès, B2 grès quartzitiques et B3 grès à ciment carbonaté ou argileux

Ces termes lithologiques comprennent les roches dont la teneur en quartz (grains de 2 mm de diamètre maximum ; J.T. Greensmith, 1979) est supérieur à 35 % (P. Gillard, 1976). Ces roches ne sont pas observées à Pepinster.

C. C1 shales, C2 shales calcaires et C3 roches silto-carbonatées

Nous groupons sous ce terme lithologique les roches principalement composées de shales dont la teneur en carbonates est inférieure à 50 %. Elles contiennent occasionnellement quelques nodules carbonatés.

Les bioclastes sont rares et dans les strates épaisses, leur abondance est généralement inférieure à 10 %. Ce sont des débris de Brachiopodes, de Bryozoaires, d'axes de végétaux et de rares Coraux.

Ces roches sont principalement cantonnées aux joints séparant les bancs carbonatés ou détritiques. Elles sont affectées d'une schistosité bien marquée et parcourues par de nombreuses lentilles de calcite blanche striée d'origine tectonique.

L'importance des shales (shales calcaires, ...) s'accroît progressivement dans les formations d'Aisemont et de Matagne. Ils forment soit des bancs métriques ou plurimétriques avec bioclastes occasionnels (Brachiopodes surtout), soit des bancs décimétriques où ils alternent avec des calcaires noduleux (terme lithologique D).

A Pepinster, les joints sont abondants et épais (10 cm) dans les faciès marins ouverts, périrécifaux (D) de la Formation d'Aisemont.

Les joints au sein des calcaires à débris récifaux (F) sont rares et minces. Ils sont plus épais (centimétriques), généralement noirs, gris ou bruns verdâtres au contact des faciès lagunaires (G-H). Lorsque ces faciès récifaux (F) sont associés à des faciès de milieu plus ouvert (D), les joints centimétriques sont clairs.

Dans les calcaires formés en milieu protégé (G-H), les joints sont centimétriques, voire pluricentimétriques. Ils sont plus fréquents que dans les autres faciès, mais demeurent rares. Les shales, calcshales, sont bruns ou noirs.

D. D1 calcaires subnoduleux, D2 noduleux et D3 calcaires argileux (mudstone, wackestone et packstone)

Ces roches ont une teneur en carbonates qui varie de 85 à 50 %.

Les calcaires subnoduleux et noduleux sont interprétés comme étant des dépôts de milieu marin franc, périrécifal, situé sous la zone de turbulence (M. Errera *et al.*, 1972, p. 39 ; J.L. Wilson, 1975, pp. 26, 78, 265, 266).

Quel que soit le mode de formation des nodules, le milieu de dépôt et l'abondance des shales lors du dépôt des sédiments sont bien connus. Seule l'origine syngénétique ou diagénétique du caractère noduleux de la roche est discutée. Plusieurs auteurs, comme A. Lombard (1972, p. 77), J.L. Wilson (1975, pp. 265-266), H.R. Wanless (1979, p. 444) et E. Flügel (1982, p. 226) reprennent tour à tour les nombreuses interprétations et hypothèses émises à ce sujet.

Légende de la figure 5

- A. *Conglomérats*
- B. *Grès, grès quartzitiques et grès à ciment carbonaté ou argileux*
la teneur en grains de quartz est supérieure à 35 % ;
rares bioclastes : axes de végétaux, ossicles de Crinoïdes, débris de Coraux.
- C. *Shales, shales calcaires et roches silto-carbonatées*
la teneur en carbonates varie de 35 à 50 % ;
bioclastes : max. 10 % : Brachiopodes, Bryozoaires ...
- D. *Calcaires subnoduleux, noduleux et calcaires argileux*
la teneur en carbonates varie de 50 à 85 % ;
bioclastes parfois abondants : Brachiopodes, Bryozoaires, Crinoïdes, Gastéropodes, Trilobites
- E. *Calcaires crinoïdiques et lumachelles à Brachiopodes*
rares débris de Coraux ;
environnement marin franc, périerécifal d'avant-récif.
- F. *Biohermes, biostromes et mud-mount*
- G. *Calcaires allochtones dérivés de récifs, calcaires à oncolithes et calcaires à oolithes*
environnement d'arrière-récif, plus ou moins proche du récif.
- H. *Calcaires d'origine lagunaire, infralittoraux et interlittoraux*
packstones algaires, faciès à *Amphipora*, calcaires à péloïdes ou à lumps, calcaires à bioclastes d'origine lagunaire, calcaire à Umbelles et mudstones ;
"algal balls", Foraminifères, Gastéropodes, ... ;
terriers.
- I. *Calcaires formés en milieu lagunaire restreint*
calcaires microbréchiques, laminites algaires ou non et calcaires à birdseyes ;
fentes de retrait, terriers.
- J. *Dolomies, dolomies calcaires et dolomies gréseuses*
la teneur en dolomite est supérieure à celle de la calcite et à celle des terrigènes.

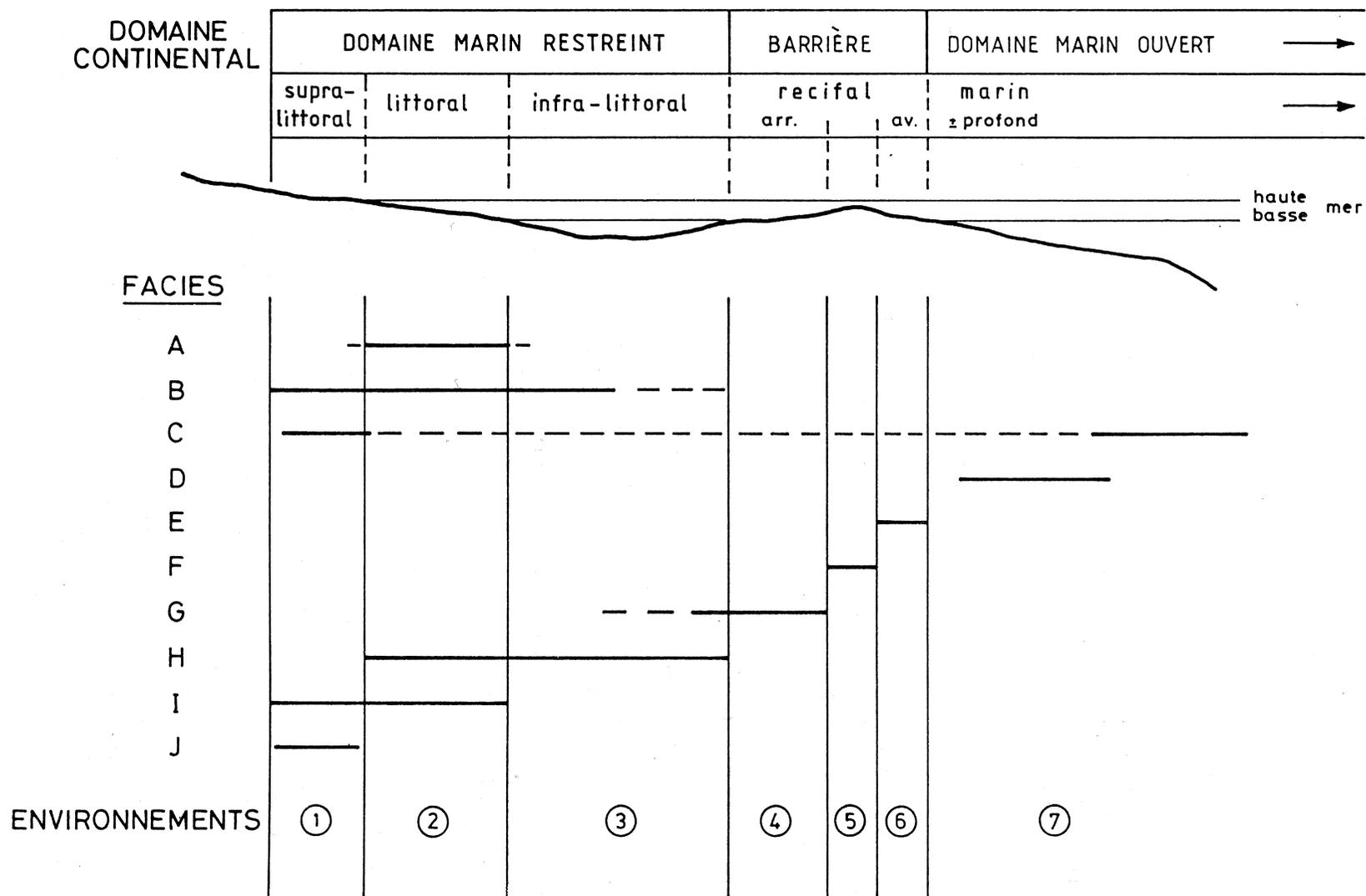


Figure 5. Termes de la série virtuelle locale (A-J) et environnements correspondants (1-7). Les faciès A, B et J présents dans le Synclinorium de Verviers n'ont cependant pas été observés à Pepinster.

L'abondance des bioclastes est variable : ossicles de Crinoïdes, Gastéropodes, Coraux, Trilobites et Bryozoaires. Des corps bréchiques et des enveloppes micritiques sont localement présents. Les fragments d'Algues tubulaires, les Umbellinaceae et les *Nanicella* sont exceptionnels.

E. E1 calcaires crinoïdiques, E2 lumachelles à Brachiopodes et E3 calcaires à grande diversité faunique

Le terme lithologique E englobe plusieurs microfaciès se formant dans un milieu relativement ouvert, plus ou moins profond, à proximité de la barrière récifale. Dans les coupes, ces sédiments alternent fréquemment avec les sédiments du terme lithologique D. Nous y incluons les lumachelles à Brachiopodes, les calcaires crinoïdiques (formés dans un milieu plus profond), ainsi que certains calcaires à grande diversité faunique (Brachiopodes, Crinoïdes, Bryozoaires, etc..., E3).

La bioturbation est importante. Le démantèlement des tiges des Crinoïdes et l'abrasion des ossicles et des coquilles témoignent de l'agitation du milieu. Les bioclastes sont occasionnellement encroûtés par des Algues. La sédimentation est peu rapide et relativement à faible profondeur. Des résidus de Spongiaires écrasés et dissous sont souvent présents.

F. F1 biohermes, F2 biostromes et F3 monticules à *Stromatactis*

Ce terme lithologique regroupe les parties autochtones du complexe récifal, c'est à dire les "bindstone", "bafflestone" et "framestone" définis par A.F. Embry & J.E. Klovan en 1971, et utilisés, entre autres, par J.E. Klovan en 1974, p. 796 et par N.P. James en 1977, pp. 16-17.

Bien que fréquents dans le Synclinorium de Verviers, les boundstones ne sont pas observés à Pepinster. Seul un monticule criblé de *Stromatactis* millimétriques, riche en lumps et pauvre en bioclastes, forme le banc 39. Son épaisseur atteint 1,30 m.

G. Calcaires allochtones dérivés de biohermes vers le lagon : G1 rudstone et G2 floatstone ; G3 calcaire à oncolithes et G4 calcaire à oolithes

A.F. Embry et J.E. Klovan (1971) définissent deux types de calcaires récifaux allochtones. Le *floatstone* est une roche dans laquelle plus de 10 % des particules sont de dimension supérieure à 2 mm et sont dispersées dans la matrice. Si ces clastes sont abondants et forment le squelette de la roche, le calcaire est alors appelé *rudstone*.

Les rudstones sont formés par l'accumulation de fragments récifaux millimétriques à pluridécimétriques (Stromatopores, Tabulés ou Rugueux). Ces calcaires proviennent du démantèlement de biohermes par des tempêtes (terme lithologique F) et de l'accumulation des débris après un transport peu important (très mauvais classement, débris anguleux).

Les interstices entre les clastes sont colmatés par de la micrite, fréquemment argileuse, accentuant l'aspect légèrement noduleux de ces calcaires.

La micrite contient aussi bien des débris de Brachiopodes, de Bryozoaires et de Crinoïdes que des fragments d'origine lagunaire : Algues tubulaires, Irrégularines, Calcisphères, Umbelles, ... La sparite est très rare. Des birdseyes sont localement fréquents.

Les bancs ont des surfaces inférieures et supérieures ondulées. Leur épaisseur décimétrique à plurimétrique est relativement constante et ne semble pas lenticulaire à l'échelle de l'affleurement.

Les floatstones sont formés de fragments millimétriques à décimétriques disséminés dans une matrice carbonatée abondante. Cette matrice micritique recèle surtout des débris d'origine lagunaire (idem terme lithologique H) : Algues tubulaires (Issinelles surtout, Proninelles, Paléobéréselles), Labyrinthoconidae, encroûtements algaires, péloïdes, Ostracodes, Calcisphères (Calcisphaeridae, "Radiosphères" et Parathuramminidae), Umbellinaceae, *Paratikhinella*, *Earlandia*, *Amphipora*, fragments de platier algaire (*Girvanella*, *Bevocastría*, ...), débris de Spongiaires. Les débris de faune marine sont rares mais des petits (300 à 500 µm) fragments de Coraux et de Stromatopores sont localement fréquents.

Ces calcaires sont parfois parcourus par des terriers, des fentes de retrait ou des birdseyes selon le cas. Ils sont rarement microbréchiques. Les bioturbations sont abondantes. Les bioclastes, dont les débris récifaux, sont fréquemment encroûtés par des Algues (la sédimentation est relativement lente).

Nous avons associé à ces faciès d'arrière-récif les calcaires à oncolithes (G3) et les calcaires oolithiques (G4).

Les oolithes sont généralement millimétriques à pluricentimétriques. La structure des Spongiostromates est généralement masquée par la micrite sombre. Des *Sphaerocodium* en chaîne ou branchus, des *Wetheredella*, des *Girvanella* et des *Bevocastría* émergent fréquemment de la masse micritique.

Seuls des oncolithes micritiques à *Bevocastría* ont été observés à Pepinster. Ces calcaires à oncolithes sont associés à un milieu de haut-fond relativement agité, que nous situons dans un environnement intermittent, dans des chenaux d'arrière-récif.

H. Calcaires lagunaires (infralittoraux et interlittoraux)

H1. Calcaires à Algues tubulaires : du bafflestone (platier peu démantelé) au wackestone

Un seul type d'Algues est dominant : soit *Issinella*, soit *Proninella*, soit plus rarement *Kamaena* ou *Palaeoberesella*. Les autres Algues sont moins fréquentes. Les labyrinthoconidae ne sont jamais abondants.

Ces Algues sont accompagnées d'Ostracodes, de Parathuramminidae, de *Quasiumbella*, d'*Umbellina*, d'*Ellenia*, de Calcisphaeridae, de *Paratikhinella*, de pellets et de lumps. Les Spongiaires, les *Amphipora* et les birdseyes sont rares.

H2. Calcaires à *Dasycladacées*

Ces carbonates sont très peu fréquents. Les *Dasycladacées* brisées, recristallisées, sont accompagnées d'*Umbellina*, de débris d'encroûtements algaires et de Gastéropodes.

H3. Calcaires à *Girvanelles* et *Codiacées* et calcaires à "algal balls"

Le démantèlement peut être accusé dans ces platiers algaires et les Algues forment alors de gros lumps. Les *Girvanella* sont omniprésentes suivies d'*Ortonella*, *Bevocastria* et *Mitcheldeania*. Les Ostracodes, Algues tubulaires, *Umbellinacea*, *Paratikhinella* et Gastéropodes sont fréquents. Il s'y associe localement, des accumulations d'*Amphipora*.

H4. Calcaires à *Amphipora*

Les *Amphipora* s'observent dans les faciès algaires décrits précédemment (H2) et dans les wackestone ou packstone à péloïdes et Algues tubulaires (Issinelles). Ces calcaires se sont déposés dans des eaux calmes à modérément agitées (A.J. Jenik & J.F. Lerbekmo, 1968).

H5. Packstones ou grainstones à lumps et/ou péloïdes

Le milieu de formation est plus agité que pour les faciès précédents et ces calcaires sont généralement bioturbés. Les organismes vont du rare (packstone à péloïdes) au très abondant. Les grainstones sont moins bien représentés. Les bioclastes fréquemment associés sont les Algues tubulaires, les diverses Calcisphères et Umbelles, les Foraminifères (*Frondilina*, *Paratikhinella* et *Earlandia*), les fragments de Gastéropodes, les Irrégularines, les *Crisbosphaeroïdes*, les débris de *Girvanelles* et les *Codiacées* ainsi que des enveloppes micritiques et de petits clastes encroûtés et dissous de la dimension des pellets. Les lumps sont parfois coprolithiques.

H6. Wackestones et packstones à Gastéropodes

Les Gastéropodes recristallisés associés à des débris de Lamellibranches et d'Ostracodes sont très communs.

H7. Calcaires à Umbelles

Umbellina est fréquemment observée, suivie par *Quasiumbella*, *Ellenia* et *Trochiliscus*. Ces organismes prolifèrent dans les milieux partiellement restreints.

H8. Mudstones

Ils sont homogènes et non fossilifères et occasionnellement parcourus par des terriers ou des tubes de vers (Serpules) enchevêtrés dans une trame algaire et colmatés par de la dolomite ou de la calcite spathique.

I. Calcaires formés en milieu lagunaire restreint (J.L. Wilson, 1975, pp. 68-69)

I1. Calcaires microbréchiques, à endoclastes micritiques, péloïdes, birdseyes et straticulations. Ces carbonates tiennent des bioclastes d'origine lagunaire. Ils se forment principalement dans les chenaux littoraux et sont rares à Pepinster.

I2. Laminites : calcaires finement straticulés, parfois bioturbés, formés d'alternances millimétriques de calcshale, mudstone, micrite à birdseyes, wackestone et packstone péloïdes à rares bioclastes (Ostracodes, Calcisphères, Algues tubulaires, ...). Ces laminites se déposent dans les tidal flats lors de marées exceptionnelles. Des copeaux de dessiccation sont parfois présents dans les bancs supérieurs. Voyez A. Prétat (1984) et F. Boulvain & A. Prétat (1987) pour l'interprétation climatique de ces laminites.

I3. Stromatolithes et laminites à allure stromatolithique. Les filaments algaires (Spongiostromates) ne sont pas conservés. Les laminae se composent de 4 ou 5 types de grainstone, wackestone et packstone plus ou moins péloïdes, à lumps. Ces laminae planes ou ondulées sont parcourues par de nombreux birdseyes (Y. Heroux *et al.*, 1977, pp. 2876-2878). Des Spongiaires sont piégés dans le tapis algaire soit, à l'inverse, les Algues tapissent les canaux d'Eponges. Des tubes de vers y sont fixés. Certains niveaux sont remaniés et les débris forment des calcaires microbréchiques. Des faciès stromatolithiques se développent dans la zone de battement des marées.

I4. Calcaires à birdseyes

Les birdseyes sont abondants dans les mudstones et dans les calcaires à péloïdes et très rares dans les bioclastes. Ces structures se forment sur des tidal flats où des phases d'inondation alternent avec de longues phases d'exposition (Fischer, 1964 et Tebbutt *et al.*, 1965 in J.L. Wilson, 1975, p. 82). Ces calcaires sont parcourus par des terriers et traversés par des fentes de retrait.

J. Dolomies, dolomies calcaires et dolomies gréseuses

Ce terme groupe les roches dont la teneur en dolomite est supérieure à celle de la calcite (P. Gillard, 1976) et à celle des terrigènes. Elles n'ont pas été observées à Pepinster.

II.2. Description de la coupe

La coupe lithologique, les microfaciès, les environnements et les principaux corps figurés carbonatés sont représentés à la figure 8.

Le premier banc (4 m) situé à la base de la coupe et tectonisé est formé par l'accumulation d'animaux coloniaux. Les fragments de Tabulés et de Rugueux abondent dans les calcaires de la base (1B). Ils sont plus

dispersés au sommet, colmatés par un wackestone légèrement argileux à bioclastes d'origine lagunaire, Gastéropodes et *Umbellinaceae* (1S).

Un banc mince (0,5 m) dépourvu d'apports récifaux lui succède (2). Ce packstone est principalement formé de bioclastes de *Dasycladaceae* recristallisées, accompagnées d'*Umbellinaceae* (surtout *Umbellina*), d'encroûtements algaires et de quelques Gastéropodes.

Au banc 3, tant Stromatopores que Tabulés massifs et branchus sont entourés d'une matrice micritique à petits débris de Stromatopores, de Coraux et de Brachiopodes. Les encroûtements algaires sont minces (3).

Un faciès lagunaire se réimplante en 4. Il consiste en wackestone à Gastéropodes, Ostracodes et Lamellibranches parcouru par quelques fentes de retrait. Le sommet de cette strate et la base du banc 7 sont fortement tectonisés.

Entre les débris de Stromatopores se sont insinués des bioclastes d'origine lagunaire et de la micrite, le tout formant un packstone fortement bioturbé à *Umbellina* et *Quasiumbella* (5).

L'alternance de faciès à fragments d'organismes constructeurs et de faciès d'origine lagunaire est surmontée par un mudstone fortement bioturbé et sillonné de fentes de retrait (7B). Quelques débris récifaux envahissent la partie supérieure du banc (7S). Des bioclastes de Brachiopodes et des *Umbellinaceae* se déposent dans la micrite intersticielle (7S), qui est parfois recristallisée (8). La faune, très variée (8 à 11), est composée de Rugueux, de Stromatopores, de Tabulés globuleux et d'*Amphipora*, ... (10-11). On observe de minces encroûtements algaires sur les Stromatopores (7S-8). Des petits fragments de Coraux, d'Ostracodes, de Brachiopodes micritisés, d'encroûtements algaires et de *Nanicella* sont accumulés entre les brèches récifales du banc 9. Des coquilles d'Ostracodes localement jointives, des spicules et des résidus de Spongiaires dissous sont disséminés dans la matrice. Ces résidus de Spongiaires sont accompagnés de quelques Algues tubulaires et de Gastéropodes dès le banc 10. Dans le banc 11, ces débris d'origine lagunaire deviennent abondants et le packstone (11) est criblé de birdseyes. Les interstices entre les fragments d'organismes coloniaux sont comblés par des dépôts d'origine lagunaire.

Quelques débris de Tabulés sont dispersés à la base du banc 12, wackestone lagunaire à *Labyrinthoconidae* et Proninelles accompagnées de quelques Ostracodes, *Parathuramminidae*, *Quasiumbella* et *Ellenia*. Les fragments de Spongiaires sont rares.

Les faciès à débris d'animaux coloniaux se réimplantent (13-15-19). Ils sont interrompus par un mince banc formé d'un packstone péloïde bioturbé à Algues tubulaires recristallisées (17). Les bioclastes de Tabulés, d'*Amphipora*, de Stromatopores globuleux et de Rugueux sont enfouis dans la matrice à débris d'Algues tubulaires, Brachiopodes et *Nanicella*.

Le banc 19 est levé à l'est de la carrière, en bordure de la route. Un banc de shale calcaire (20) précède un platier algaire fortement remanié à Issinelles, rares *Labyrinthoconidae*, Proninelles et Paléobéréselles (21B-S). De rares *Amphipora* sont dispersés à la base. Les mouchetures de

pyrite sont abondantes (21B).

Un calcaire à débris d'organismes coloniaux lui succède (22 à 25M). Les brèches de Tabulés, de Stromatopores et d'*Amphipora* sont abondantes (22-23), dans une matrice légèrement argileuse, dans laquelle les Issinelles et les birdseyes prolifèrent (22). Par la suite, les Tabulés et les Stromatopores branchus sont supplantés par des Stromatopores globuleux. La matrice est très micritique et les Issinelles et les Proninelles sont les principaux bioclastes déposés entre les débris récifaux (23-25B). Des Paléobéréselles, des Labyrinthoconidae et des fragments de Charophytes sont présents (25B). La base du banc 25 correspond au départ de la voie d'escalade dénommée "New Jamy" (fig. 6.1) et se termine par 30 cm de calcaire finement straticulé et bioturbé (25S). Les straticules effilochées de shale sont fréquentes dans un packstone à Algues tubulaires, birdseyes et *Umbellina* (25S). Ce calcaire est séparé d'un autre calcaire finement zoné (banc légèrement lenticulaire) (27B), par un calcshale à nodules calcaires (26) (fig. 6.1). La base du banc 27, à structure de Spongiostromates, est formée d'un packstone riche en pellets, birdseyes et Algues tubulaires, parcouru par des straticules argileuses et des fentes de retrait. Le sommet du banc est envahi par des débris d'organismes constructeurs, par des fragments de minces coquilles de Brachiopodes parfois micritisés et par des Crinoïdes (27S). Les Issinelles sont abondantes. Ce rudstone se termine par un calcshale à nodules calcaires (28). Le banc 27 est le départ de la voie d'escalade dénommée "First" (voie n° 53) (fig. 6.1).

Le banc 29 (voies n° 51 et 52) est localement riche en fragments de Stromatopores et de Coraux (29C-M-S). Dès sa base (29B), de petits débris de Tabulés sont dispersés dans le faciès micritique pauvre en bioclastes. Un packstone à bioclastes d'organismes coloniaux et d'Algues tubulaires (Issinelles principalement) termine le banc (29C-M-S) qui est fortement bioturbé et criblé de mégabirdseyes (29C et M) provenant de la dissolution de Spongiaires.

Trente centimètres de shale (banc n° 30) séparent ce rudstone de la première phase lagunaire importante (environ 4 m). Ce shale contient de nombreux nodules calcaires formés de micrite à birdseyes provenant de la dissolution de Spongiaires (idem 29).

Les faciès lagunaires débutent (31B) par des Spongiostromates formés par l'alternance de fines strates de grainstone, packstone et wackestone plus ou moins péloïdes, à lumps et birdseyes. Des spicules d'éponges sont identifiables et des Algues tubulaires sont localement piégées. Ces faciès se poursuivent par un packstone fortement bioturbé à mégabirdseyes, Ostracodes, Calcisphères et rares Algues tubulaires (31C). Tandis que l'abondance des bioclastes diminue (31D-E-S), le faciès passe à une boue micritique d'origine algaire, à lumps et birdseyes, fortement bioturbée et à allure microbréchiq (31D). Localement, des filaments de *Girvanella* (31D), des *Umbellina* et des *Ellenia* sont disséminés (31C à S). Des fantômes d'"algal balls" et des nodules millimétriques de carbonates, riches en minéraux opaques et hydroxydes de fer, sont présents (31S).

Un mince (5 à 10 cm) banc de shale noir et charbonneux (32) précède un packstone à débris de Mollusques recristallisés et rares *Umbellinaceae* (33B). De nombreuses mouchetures de pyrite microcristalline y sont dissémi-

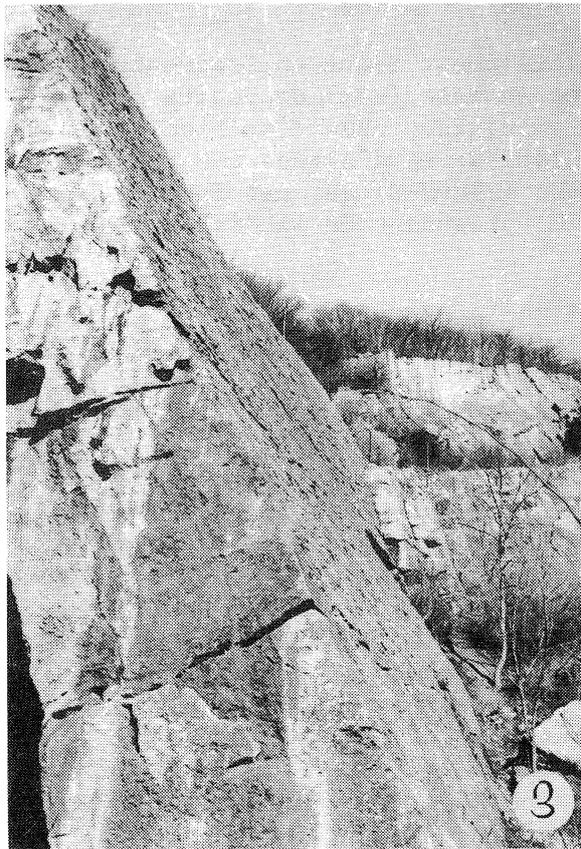
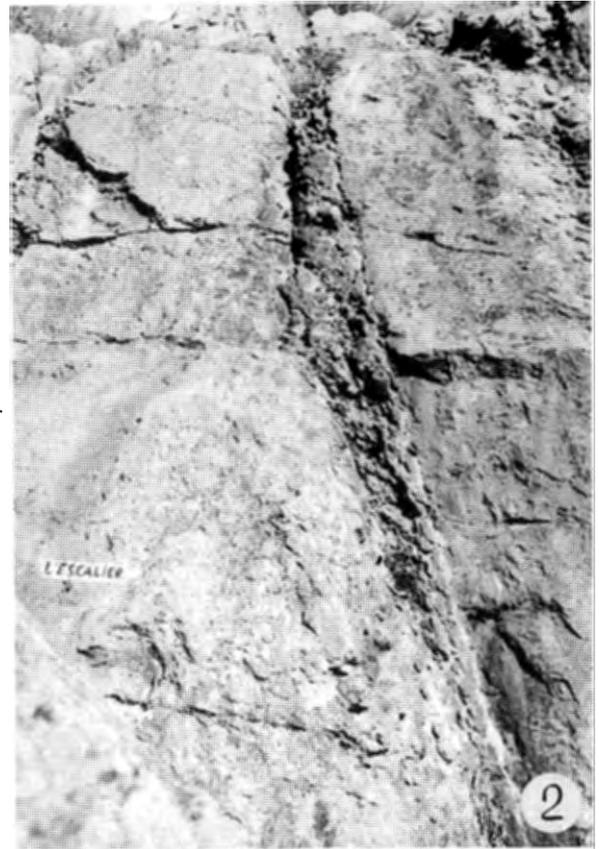
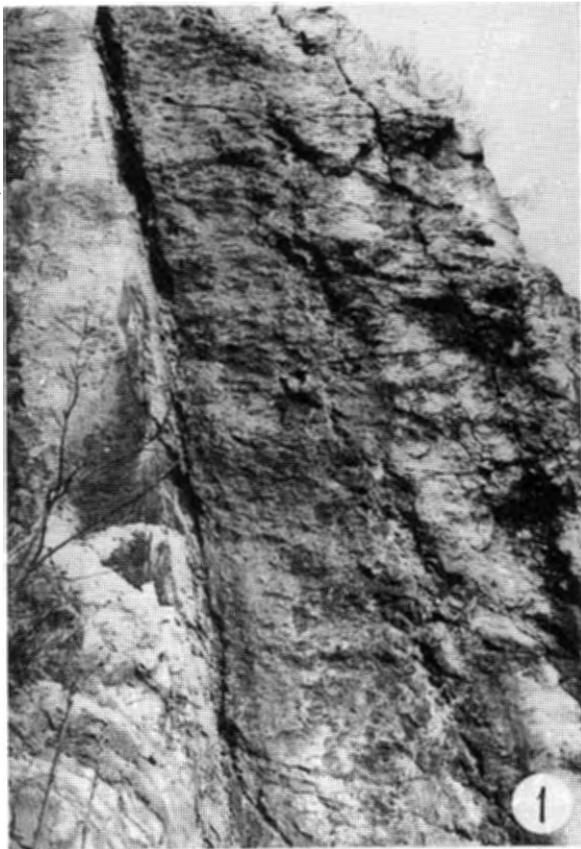


Figure 6

nés. Ce packstone recristallisé est suivi d'un calcaire zonaire lui aussi recristallisé en microspar (33S).

Le calcshale suivant (34) contient des débris d'axes de végétaux.

La phase lagunaire se poursuit par un mudstone très recristallisé contenant quelques bioclastes et des quartz authigènes (35).

Dans le banc suivant, séparé par un shale calcaire (36), la recristallisation diminue (37B), laissant apparaître un packstone fortement bioturbé riche en débris de Brachiopodes et rares Bryozoaires témoignant de l'ouverture du lagon et de son envahissement par des organismes marins. Les bioclastes d'origine lagunaire sont toutefois encore présents : Ostracodes à valves jointives, Calcisphères (*Calcisphaera*, *Parathurammia*, *Archaesphaera* et "Radiosphères"), débris d'encroûtements algaires (Epiphytales ou *Thamara*), *Paratikhinella*, Irrégularines, ... (37B).

Les mouchetures de pyrite, localement millimétriques, sont abondantes dans le banc 35 et à la base du banc 37 (37B).

Les fragments de Tabulés et Stromatopores deviennent abondants, dès que le calcaire s'enrichit en argile. Vers le sommet, s'observent quelques Rugueux. Lorsque les débris sont plus rares, des Issinelles, Proninelles, Ostracodes, Gastéropodes et quelques Paléobéréselles et *Labyrinthoconidae* se déposent dans la micrite. Il s'y ajoute des Foraminifères (*Nanicella* et *Paratikhinella*), des Calcisphères, des birdseyes et des *Sphaerocodium* dissous (37M). Deux hypothèses de formation sont à envisager. Soit que

Légende de la figure 6.

Vues rapprochées à divers niveaux de la carrière de Pepinster (Massau).

Photo 1. De droite à gauche : banc 25 (ép. : 2,40 m), banc 26 (ép. : 0,13 m) et début du banc 27 (ép. : 0,70 m).

Photo 2. De droite à gauche : banc 40 (ép. : 0,90 m), banc 41 (épaisseur variable ; au maximum, environ 0,50 m) et partie du banc 42 (ép. : 2,60 m).

Photo 3. Dalle montrant la base du banc 80 (ép. : 1,90 m).

Photo 4. Dans le coin supérieur droit : bancs 100 (ép. 1,10 m) et 102 (ép. : 1,80 m). Dans la partie centrale lentille de shale : banc 103A à C (ép. : quelques centimètres à 2,3 mètres). A gauche, calcaire noduleux : banc 103D (ép. : 0,70 m).

les débris d'organismes coloniaux sont transportés par des tempestites dans un environnement lagunaire et calme ; soit que la phase de destruction est suivie de conditions plus calmes, permettant la prolifération d'organismes vivant en milieu lagunaire qui vont, avec la micrite, s'insinuer entre les débris de Coraux et Stromatopores et colmater les interstices.

Le banc suivant est légèrement microbréchiq ue et la matrice argileuse est de plus en plus abondante (37S). Des *Umbellinaceae*, *Labyrinthoconidae*, Calcisphères *Paratikhinella* et birdseyes parsèment le mudstone alors que les Coraux et les Stromatopores sont rares (37S).

Surmontant un banc de shale (38), un monticule de micrite d'une épaisseur maximale de 1,30 m rompt la monotonie des rudstones. Riche en lumps (parfois à filaments algaires), mais pauvre en bioclastes (Brachiopodes, Crinoïdes, ...), il est criblé de *Stromatactis* millimétriques (39B). Il est entouré et surmonté par un calcaire noduleux à fragments de Tabulés, Stromatopores globuleux (parfois encroûtés par des Tabulés), et Crinoïdes.

Un carbonate lagunaire (40) se superpose (fig. 6.2) et ce dépôt évolue rapidement. Il débute (40B) par une micrite à birdseyes, lumps et pellets, parcourue par d'abondantes fentes de retrait, puis se poursuit, quelques dizaines de centimètres plus haut, par un calcaire péloïde et un calcshale straticulés (40M). Les niveaux argileux sont colmatés par de la calcite. La phase lagunaire se termine par un packstone bioturbé à lumps et bioclastes : débris algaires (*Mitcheldeania* et quelques *Girvanella*), Foraminifères (*Frondilina* et *Paratikhinella*), *Umbellina*, Calcisphères (dont *Parathurammia*), enveloppes micritiques, Irrégularines (dont *Cribosphaeroïdes*, ...) débris de Gastéropodes et petits débris dissous et encroûtés.

Les rudstones envahissent localement la micrite argileuse (mudstone ou wackestone) à rares bioclastes (Algues tubulaires, *Paratikhinella*, *Frondilina*, Calcisphères) (42C). Les principaux constructeurs sont des Rugueux globuleux, accompagnés de Tabulés, de Stromatopores, d'*Amphipora* et de débris d'*Hexagonaria* colorés en orange. Entre les bancs 40 et 42, s'intercale un horizon de épaisseur variable (ép. maximale : 0,50 m), très argileux et fortement tectonisé (schistosité transverse) (41) (fig. 6.2). Des mouchetures de pyrite présentent la même fréquence que dans les faciès lagunaires précédents.

Ce faciès s'interrompt (42M) par 40 cm de packstone stratifié, peu bioturbé, à péloïdes, rares bioclastes, birdseyes et fentes de retrait.

La partie supérieure du banc semble identique au rudstone de la base (42B-C). Il se termine également par une phase lagunaire, constituée, à la base, d'un wackestone à bioclastes dissous, birdseyes, Algues tubulaires, *Paratikhinella*, *Frondilina* et Calcisphères (42N) et, au sommet, d'un calcaire finement zoné formé d'interstratifications de calcshale et de wackestones à lumps et pellets sillonnés par des birdseyes (42S) (fig. 6.2).

La base argileuse et micritique du banc suivant (44B) est parcourue par de nombreuses straticules effilochées de shale. Des enduits limoniteux tapissent la surface des bancs 44 et 46. Les mouchetures de pyrite oxydée sont fréquentes mais visibles uniquement sous le microscope.

Quelques Stromatopores lamellaires s'implantent dans le lagon. Ils se disséminent dans un calcaire beige à violacé et légèrement noduleux (à ces endroits, matrice de shale vert) (48-50). Le banc 48 correspond à la voie d'escalade nommée "La Ploncha". Les Stromatopores baignent dans un packstone, fortement bioturbé, parcouru par des terriers. Des "algal balls" (dont *Bevocastrina*) et "sponge balls" recristallisés y sont entourés par un feutrage d'Algues filamenteuses très fines et de *Sphaerocodium*. Ils s'accompagnent d'Algues tubulaires et birdseyes.

Une phase lagunaire importante (11 m) s'implante entre 51 et 78. Elle est formée de petits bancs (50 à 60 cm) de calcaire finement straticulé (51 à 64), d'un niveau à microbrèches et nodules (66), de deux bancs de calcaire à péloïdes (68-70) et de quelques bancs de calcaire fortement bioturbé alternant avec des laminites algaires (72 à 78). Cet épisode lagunaire est interrompu par un calcshale à microbrèches (67) et par deux bancs de calcshale (71-75).

Les petits bancs (51-64) ont une lithologie fort semblables : packstone à lumps (parfois coprolithiques), pellets, Calcisphères (*Calcisphaera*, *Parathurammia* et "Radiosphères") et des *Paratikhinella*. Ces packstones sont localement zonés (51-55-56-58-61M-64) et associés à de fines strates de micrite, micrite à birdseyes, calcshale, ... La strate 64 est le point de départ de la voie d'escalade nommée "Beaujolois". Ces faciès sont interrompus (61B) par un packstone lagunaire à péloïdes riche en Issinelles et *Amphipora* accompagnés de Paléobéréselles, Calcisphères et *Paratikhinella*.

La strate 66 surmontant les calcaires straticulés contient une microbrèche à matrice de calcaire argileux à la base (66B) et de calcshale au sommet (66S). Les clastes anguleux, d'origine lagunaire, rassemblent des laminites à péloïdes et birdseyes, packsontes à lumps et/ou pellets et des micrites à rares bioclastes. Des oncolithes micritiques à *Bevocastrina* sont dispersées entre les clastes de la base (66B) et sont abondants au sommet (66S). Ce faciès se termine par un apport terrigène à nombreux clastes carbonatés (67).

Les faciès d'origine lagunaire se poursuivent aux niveaux 68-70 par un packstone recristallisé, péloïde, peu microbréchique à quartz authigène, *Umbellinaceae* et Paléobéréselles (68B). Le sommet du banc (68S) est fracturé et le calcaire est criblé de grandes plages de calcite riche en fer. Un packstone à péloïdes et Paléobéréselles (70) précède le joint de calcshale (71).

Le banc suivant est un packstone fortement bioturbé à rares Stromatopores criblé de grandes plages de dolomite spathique. Il est parcouru par des Serpules (72B) enchevêtrées dans une trame algair filamenteuse et colmatées par de la dolomite ou de la calcite spathiques. Un cristal xénomorphe de sphalérite apparaît entre les lumps algaires.

Le sommet du banc (72C-D-E) et le banc 73 sont formés de laminites algaires (Spongiostromates). Les premiers encroûtements se sont formés dans un environnement très calme, sans trace de bioturbation. Des spicules de Spongiaires sont aléatoirement piégées dans le tapis algair. Quelques Serpulopsides se réimplantent, des surfaces d'érosion apparaissent (72D) et l'agitation du milieu s'intensifie (72E) pour conduire à (73) un calcaire à débris de Spongiostromates. Des Serpulopsides s'observent dans les



Figure 7

encroûtements stromatolithiques (72D à 73). Dès les premières traces d'agitation (72D), des quartz détritiques apparaissent, accompagnés par la suite (72E-73) de minéraux argileux. Quelques bioclastes se déposent dans les faciès agités (72D-E-73). A la base et au sommet des encroûtements de Spongiostromates du banc 72 (sous 72C et au niveau 72E) on observe aussi bien macroscopiquement que microscopiquement la présence d'endoclastes carbonatés. Des enduits limoniteux tapissent les diaclases (72C à 73).

Un baffelstone à Algues tubulaires recristallisées, pellets, Stromatopores et lumps, riche en Calcisphères (*Calcisphaera* et *Parathuramina*) (74-76B) et birdseyes (76B) interrompt les encroûtements de Spongiostromates. Le banc 74 est le point de départ de la voie d'escalade nommée "Cave à Vin".

Le sommet du banc 76 et la base du banc 78, bien que fracturés, contiennent des laminites algaires (fig. 7). L'environnement est toutefois plus agité que pour les premiers encroûtements de Spongiostromates (72C) car les grainstones sont fréquents (78B). Ce second niveau stromatolithique ne contient ni Serpules ni filaments de Cyanophytes (de 72C à 73 et de 76S à 78B).

Les faciès lagunaires se poursuivent par le dépôt d'un grainstone à pellets et d'un grainstone à lumps et endoclastes micritiques (78M), ce dernier caractéristique d'un environnement à haute énergie. La présence de ces deux faciès, sans trace d'érosion ni de remaniement, témoigne de la cimentation précoce des clastes. Par contre, les corps bréchiques très anguleux et les lumps brisés de la partie la plus grossière pourraient indiquer une faible émergence.

Le sommet du banc est constitué par un packstone à lumps coprolithiques bioturbé et parcouru par des terriers (78S). Ce faciès caractérise des environnements peu profonds situés dans la zone interlittorale ou dans la zone supralittorale. Une nette augmentation de l'agitation dans le milieu de dépôt s'observe des premières laminites algaires (72C) à ces faciès à lumps (78S).

La surface inférieure du banc 80 est une grande dalle qui limite la carrière vers le nord-ouest. Elle correspond à la voie d'escalade nommée "Promenade" (fig. 6.3). Le fond de l'abri sous roche étant recouvert de concrétions calcitiques, la suite de la coupe (du banc 80 au banc 98) est levée le long d'un escarpement situé au sommet de l'affleurement.

Légende de la figure 7.

Photos de laminites algaires présentes dans les bancs 76 et 78 de la Carrière de Pepinster (Massau). A la photo 1, la partie gauche correspond à la tranche d'affleurement du banc 78 riche en encroûtements stromatolithiques tandis que la partie droite (sombre et floue) est l'image d'un arrière plan attribuable à d'autres bancs. Les photos 2 à 4 sont des vues plus rapprochées que celle de la photo 1.

Les faciès inter- ou supralittoraux sont directement surmontés par une phase importante (6 m) de rudstones (80-82). Elle débute par un calcaire grossièrement grenu à fragments récifaux. Les quartz authigènes (maximum 400 µm de long) sont abondants dans les Stromatopores globuleux (80B). Vers le milieu du banc, les *Amphipora* et les Tabulés sont nombreux. Ils sont disséminés (80C-S) dans un calcaire à Algues tubulaires, *Nanicella*, *Paratikhinella*, à petits débris (200 à 300 µm) de constructeurs. Des Rugueux globuleux (82) se joignent aux bioclastes. Les fragments d'organismes coloniaux pluricentimétrique à décimétriques baignent dans un packstone bioturbé, mal classé et dolomitisé. Ils sont associés à des petits débris (300 à 500 µm) de Coraux et de Stromatopores, à des bioclastes d'organismes provenant de la plate-forme ouverte (Brachiopode et Crinoïdes) et à des clastes d'environnements lagunaires (Algues tubulaires, Calcisphères, ...). La dolomitisation se propage dans les interstices du coenostéum des Stromatopores (82S). On observe des quartz authigènes, de la pyrite et de la galène.

Le banc 84 débute par un calcaire beige, très micritique, à péloïdes, légèrement zoné, parsemé de birdseyes et de nodules de calcite et dolomite riches en fer (84B). Il se poursuit par un packstone légèrement dolomitique, à débris d'*Amphipora* encroûtés par les Algues. Les encroûtements et débris d'encroûtements algaires (dont *Girvanella* et *Bevocastrina*) sont très abondants et associés à des Algues tubulaires, *Paratikhinella* et Calcisphères. Le packstone est parsemé de nombreuses plages, parfois plurimillimétriques de calcite ou de dolomite spathiques. Elles doivent leur origine, soit à la bioturbation soit à la dissolution d'organismes. Des cristaux de sphalérite sont présents dans la calcite de remplissage de deux *Amphipora* (84M). Le sommet (84S) devient de plus en plus argileux. Ce calcshale contient des corps bréchiques identiques au faciès 84M.

Un platier à Algues filamenteuses (86B-S) s'établit dès la base du banc 86. Le packstone bioturbé est riche en Codiacées (*Ortonella*, *Mitcheldeania* et *Bevocastrina*) et en *Girvanella* mais les *Solenopores* sont rares. Les Algues tubulaires (Labyrinthoconidae, Issinelles et Paléobéréselles), *Umbellinaceae*, *Paratikhinella* et Gastéropodes sont fréquents (86B-86S) et associés à des débris provenant de la plate-forme ouverte (86B). La prolifération de ce platier algaire est ralentie par deux niveaux successifs d'*Amphipora* (à 35 et 45 cm de la base du banc) où le packstone est plus micritique et où les Algues filamenteuses se raréfient.

Les fragments d'organismes constructeurs réapparaissent de 88 à 94 (Stromatopores globuleux, Tabulés, *Amphipora*). Les interstices entre ces débris sont colmatés par des packstones ou wackestones bioturbés à bioclastes d'origine lagunaire. Ceux-ci contiennent des Gastéropodes (88-92B-94S), des Algues tubulaires (90-92B), des pellets et lumps, généralement algaires (90-94B-S) et de nombreux micro-organismes (*Paratikhinella*, Irrégularines, Calcisphères, ...) (88-92S-94B-S). Ces packstones sont parsemés de birdseyes (90-94B). Les fragments de constructeurs sont encroûtés par des Algues (90-92S-94B) : Ortonelles, Girvanelles (92B-S-94S) et *Mitcheldeania*. Des débris de Spongiaires dissous (94S) sont discernables. Les derniers packstones (94B-S) sont légèrement dolomitisés.

Le banc 96 débute par un calcaire beige à rares fragments d'animaux coloniaux. Au sommet et dans le banc 97, le calcaire est finement stratifié et contient des bioclastes provenant de la plate-forme ouverte (Brachiopodes) ou du complexe récifal (Stromatopores). Ce niveau clôture la Formation de Lustin. La suite de la coupe est levée au nord-ouest de l'abri sous-roche.

La Formation d'Aisemont débute par une phase de rudstones (45 cm) à "*Phillipsastraea*" (98).

L'ouverture du bassin et l'envasement progressif du dépôt est souligné (99-100B-S) par un packstone argileux, légèrement gréseux (quartz : 150 μm) à Brachiopodes, Crinoïdes et Bryozoaires remaniés. Le banc 100 est le point de départ de la voie d'escalade nommée "La Hongroise". Des débris d'organismes constructeurs sont présents en 100-102.

Par après, la proportion de shale augmente et la calcaire devient noduleux puis, légèrement microbréchique (102S). Les Bryozoaires se raréfient tandis que Trilobites et Crinoïdes s'implantent (102B-S).

La base du banc 103 est soulignée par une lentille de calcaire noduleux à Brachiopodes, Gastéropodes et Bryozoaires (103A). Celle-ci est suivie (103B-C) d'une lentille de shale gris dont l'épaisseur passe de quelques centimètres à 2,3 mètres. La séquence se termine par 70 cm de calcaire noduleux, fortement recristallisé et bioturbé, à Brachiopodes et endoclastes, compris dans un shale dolomitique (103D). Des nodules de limonite sont présents à la base de ce banc 103. Les quelques nodules carbonatés du banc 104 formés de micrite dolomitique sont disséminés dans un shale également dolomitique. Les bioclastes sont rares.

La proportion de carbonate augmentent (105), il se forme un packstone argileux à Brachiopodes et organismes à test phosphaté. Dans les calcaires noduleux de la Formation d'Aisemont (100 à 105), des pseudomorphoses de calcite blanche par un carbonate riche en fer sont fréquentes. Les quartz sont petits (150 μm) et ne dépassent pas 10 %.

La coupe se termine par ce banc 105, dont la base est visible dans le talus nord-ouest situé près de l'entrée de la carrière.

II.3. Importance des Algues dans la sédimentation

Les Algues sont omniprésentes mais généralement mal conservées dans tous les carbonates étudiés. D'une part, les Algues filamenteuses (Porostromates et Codiacées) sont souvent envahies par la micrite. Elles mesurent 200 à 300 μm de diamètre et sont difficilement déterminables. D'autre part, la médulla des Algues tubulaires (Paléobéréselles, Issinelles, Proninelles) et Labyrinthoconidae est fréquemment envahie par de la calcite spathique, de même orientation que celle du cortex, qui rend leur identification difficile. Ces réserves faites, nous pouvons toutefois tirer les conclusions suivantes qui peuvent se comparer aux microflores décrites dans le Givetien par Mamet & Prétat (1987).

Légende de la figure 8

	Calcaire
	Laminite calcaire
	Stromatolithes
	Calcaire faiblement gréseux
	Calcaire microbréchiqne
	Calcaire noduleux
	Calcaire argileux
	Calcshale
	Shale à nodules calcaires
	Shale
	Diastème



Terriers



Bioturbations

*Stromatactis*

Clastes rares



Clastes fréquents



Clastes abondants

Tabulés branchus



Tabulés lamellaires



Tabulés globuleux



Rugueux solit./fasc.



Rugueux globuleux



"Phillipsastraea"



Constructeurs non identifiés



Stromatopores branchus



Stromatopores lamellaires

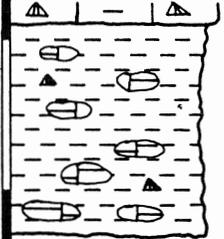
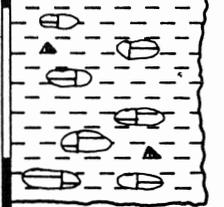


Stromatopores globuleux

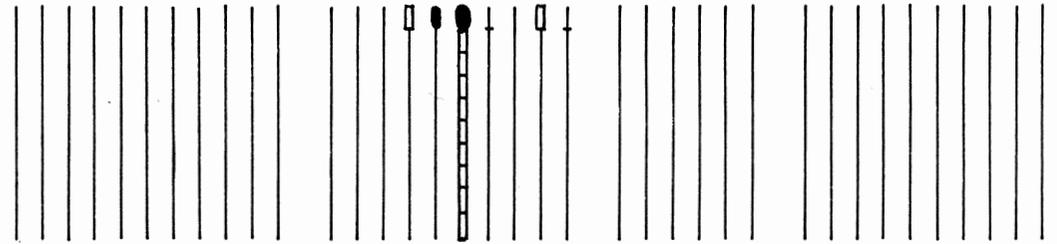
*Amphipora*

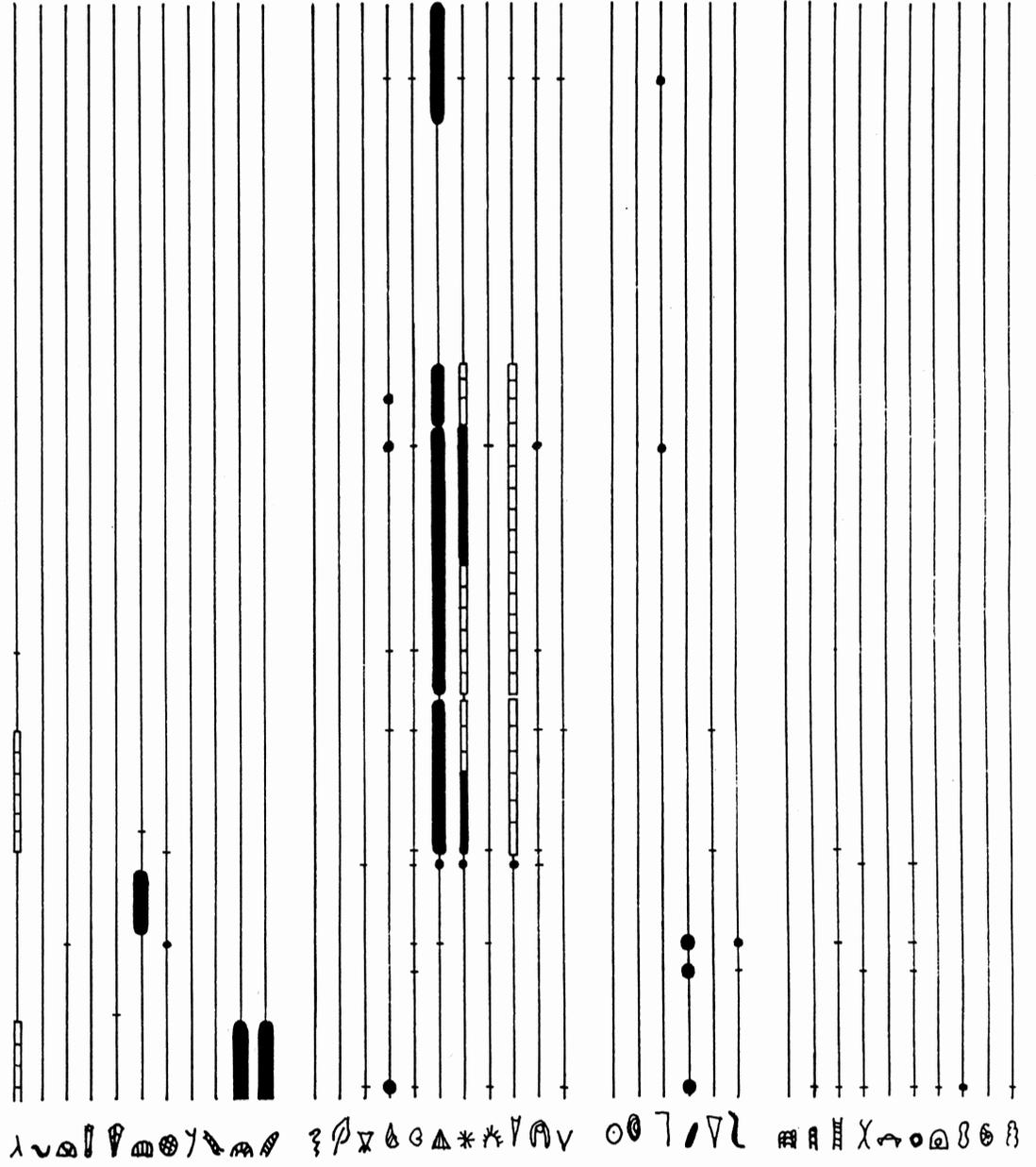
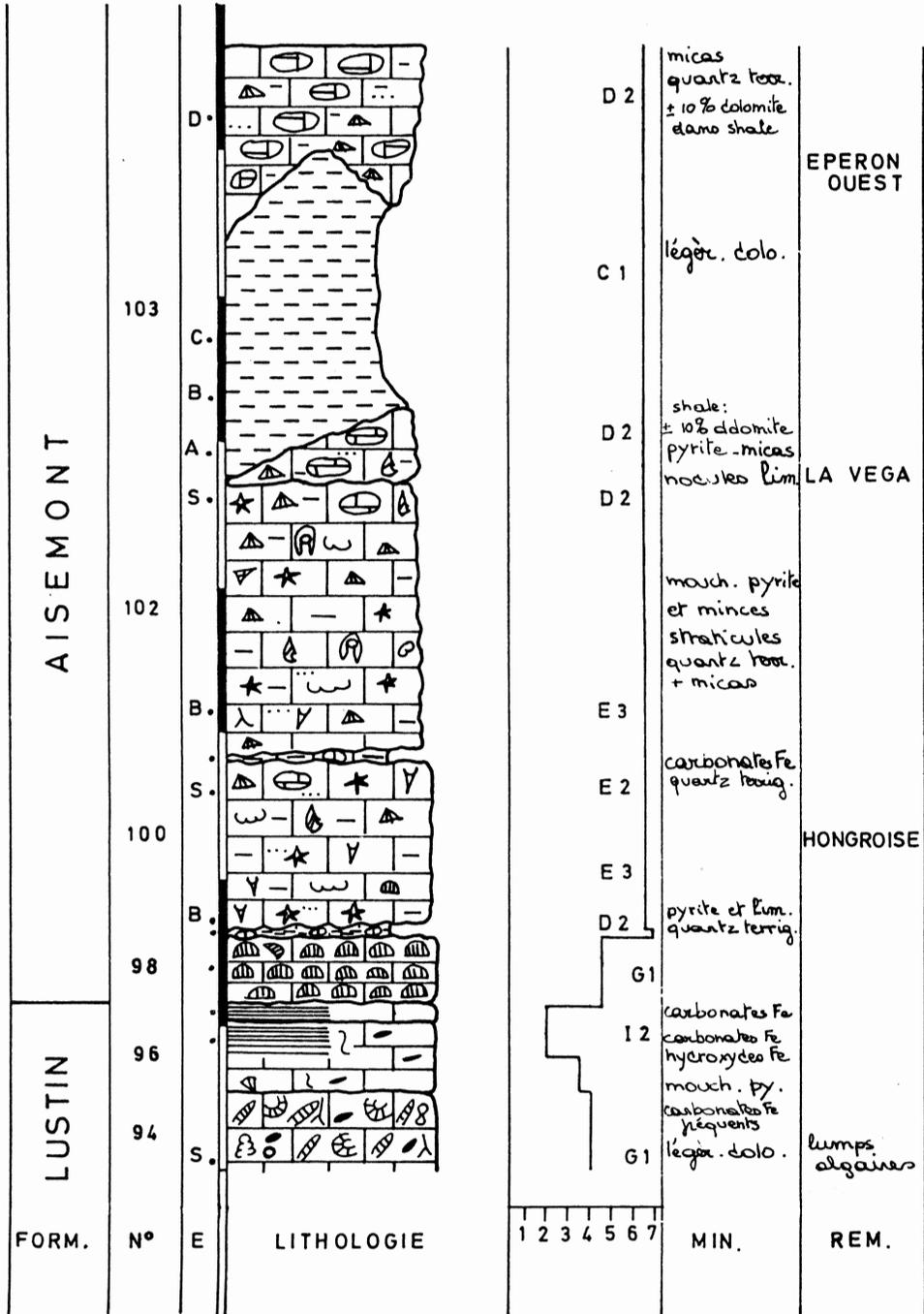
☞	Tubes de vers
☞	Débris de végétaux
✱ }	Mollusques indéterminés
	Lamellibranches
☞	Gastéropodes
○	Ostracodes
△	Brachiopodes
✱	Echinodermes
☞	Epines d'Echinoïdes
∇	Bryozoaires
Ⓜ	Trilobites
∇	Spongiaires
○	Oolithes
Ⓜ	Oncolithes
7	Endoclastes
●	Péloïdes-lumps
∇	Enveloppes micritiques
∩	Birdseyes
☞	Stromatolithes
A	Débris d'encroûtements algaires
⊥ }	Algues tubulaires
	Dasycladacées
X }	Porostromates
	Codiacées
☞	Renalcidés
●	Calcisphères
Ⓜ	Charophytes
☞ }	Irrégularines
	Cribosphaeroïdes
⊕	Nanicella
	Paratikhinella
☞ }	Frondilina
	Earlandia

Figure 8 Coupe lithologique, environnements et corps figurés du Frasnien de la carrière située à Pepinster au lieu - dit "Massau"

FORMATION	N° BANC	ECH.	LITHOLOGIE	ENVIRONNEMENT							MINÉRAUX	REMARQUES	
				1	2	3	4	5	6	7			
AISEMONT	105	•			E 2							carbonates Fe quartz ferrug.	
	104	•			D 2							carbonates Fe léger. dol.	

Handwritten symbols and characters: λ υ α β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ χ ψ ω 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9





LUSTIN

FORM.

94

B.

S.

92

B.

90

88

S.

86

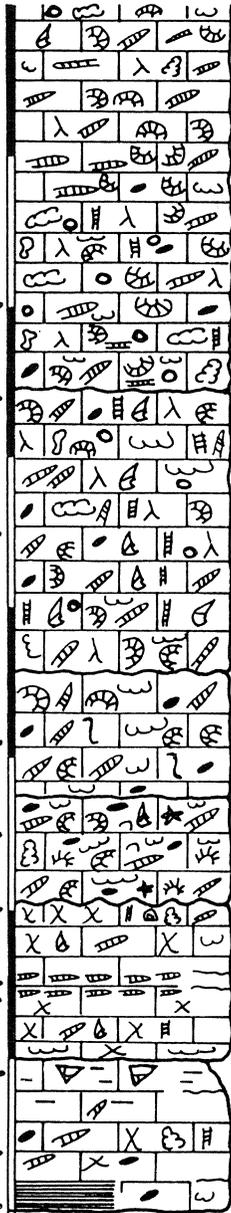
M.B.

S.

84

M.

B.



LITHOLOGIE

1 2 3 4 5 6 7

G1 pyrite
abondante lumps
algaires

G1 peu de dol

G2 1 xx sphalerite
(Selection Tr.)

G2 carbonates Fe
dans tout
le banc

G2 pyrite

G1 pellets
algaires

H3 plaques
algaires

H4 plaques
algaires

H3 mica en Fe

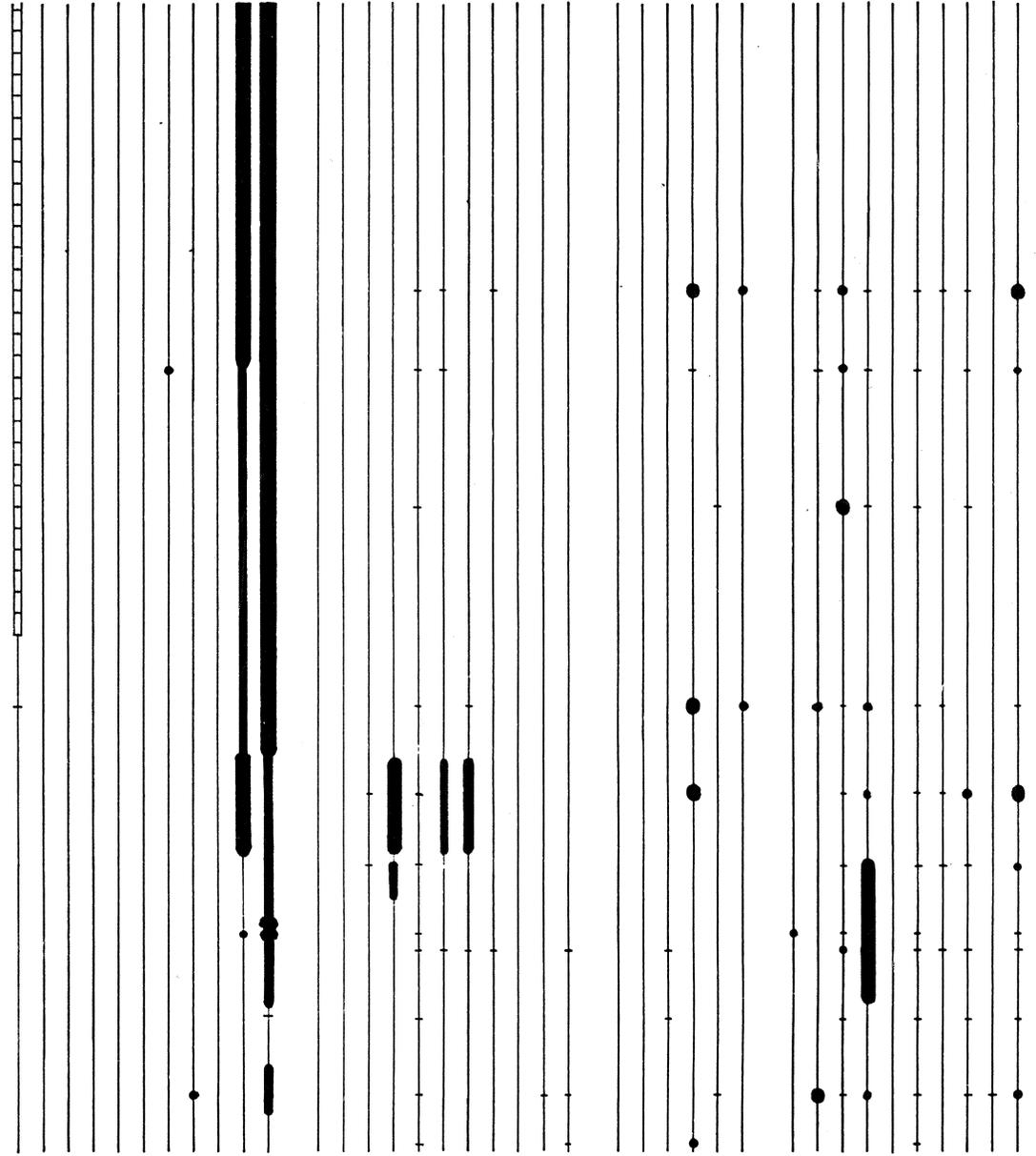
H4 ECOLE
D'ARTIF

H4 sphalerite
plus dolomite

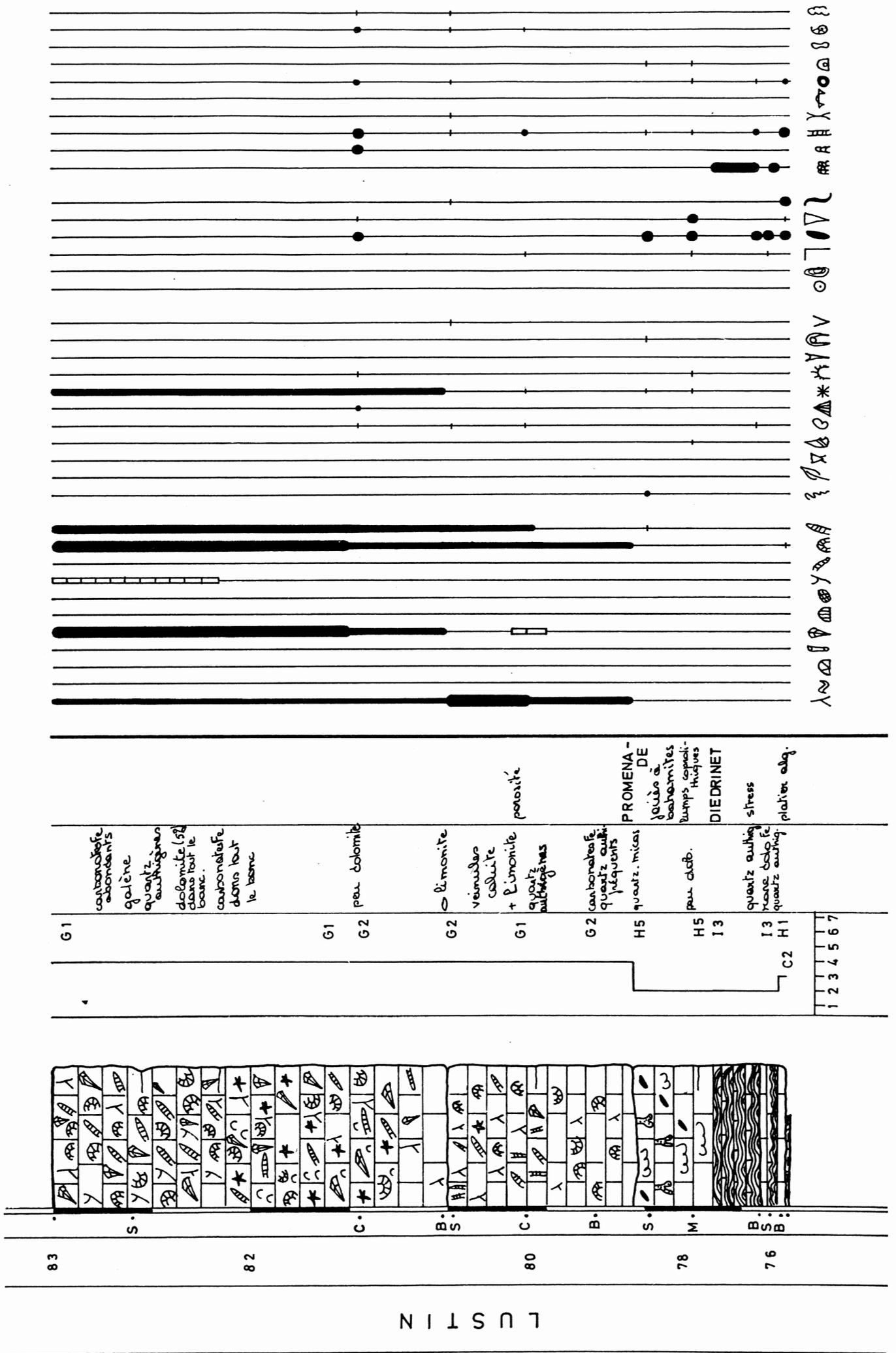
I2 carbonates Fe

MIN.

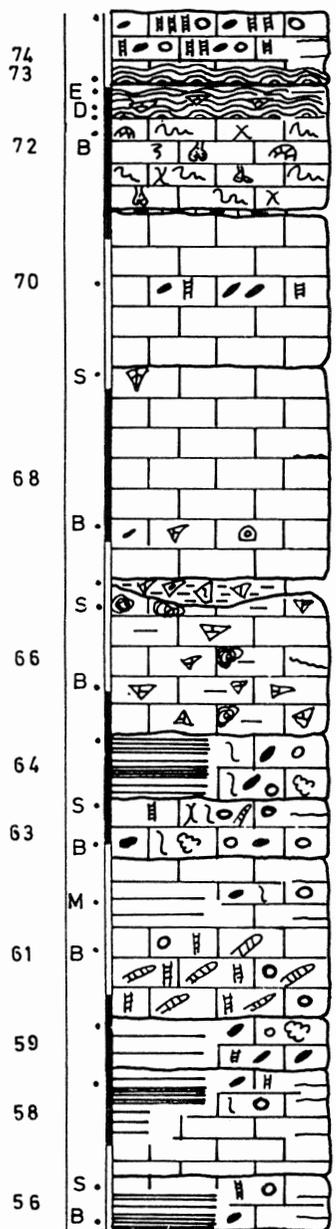
REM.



λ v o ! ♡ m o y λ m ? β x o Δ * ♣ V A V o 0 7 / V 2 m m H λ o o 0 0 0 0

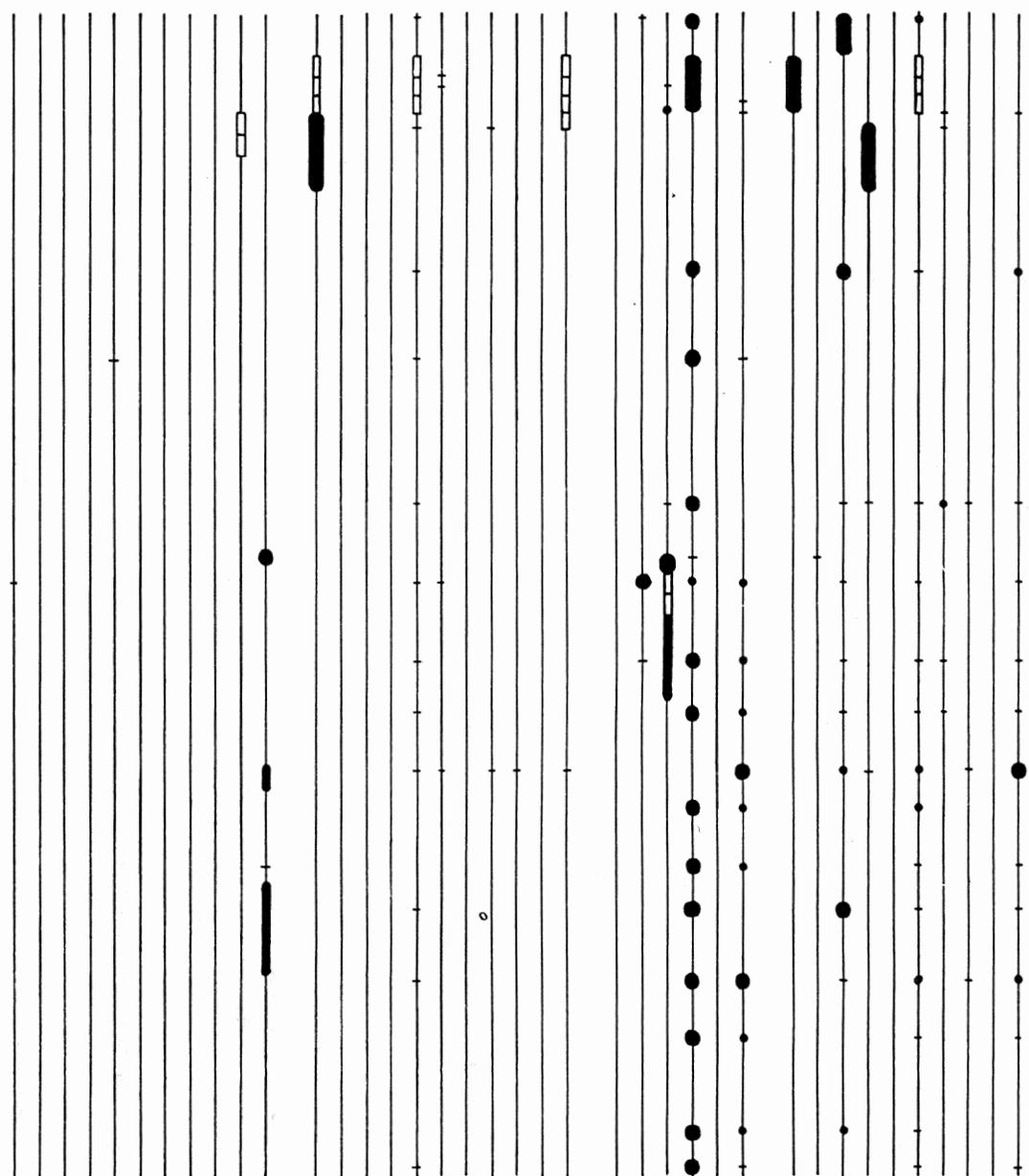


LUSTIN

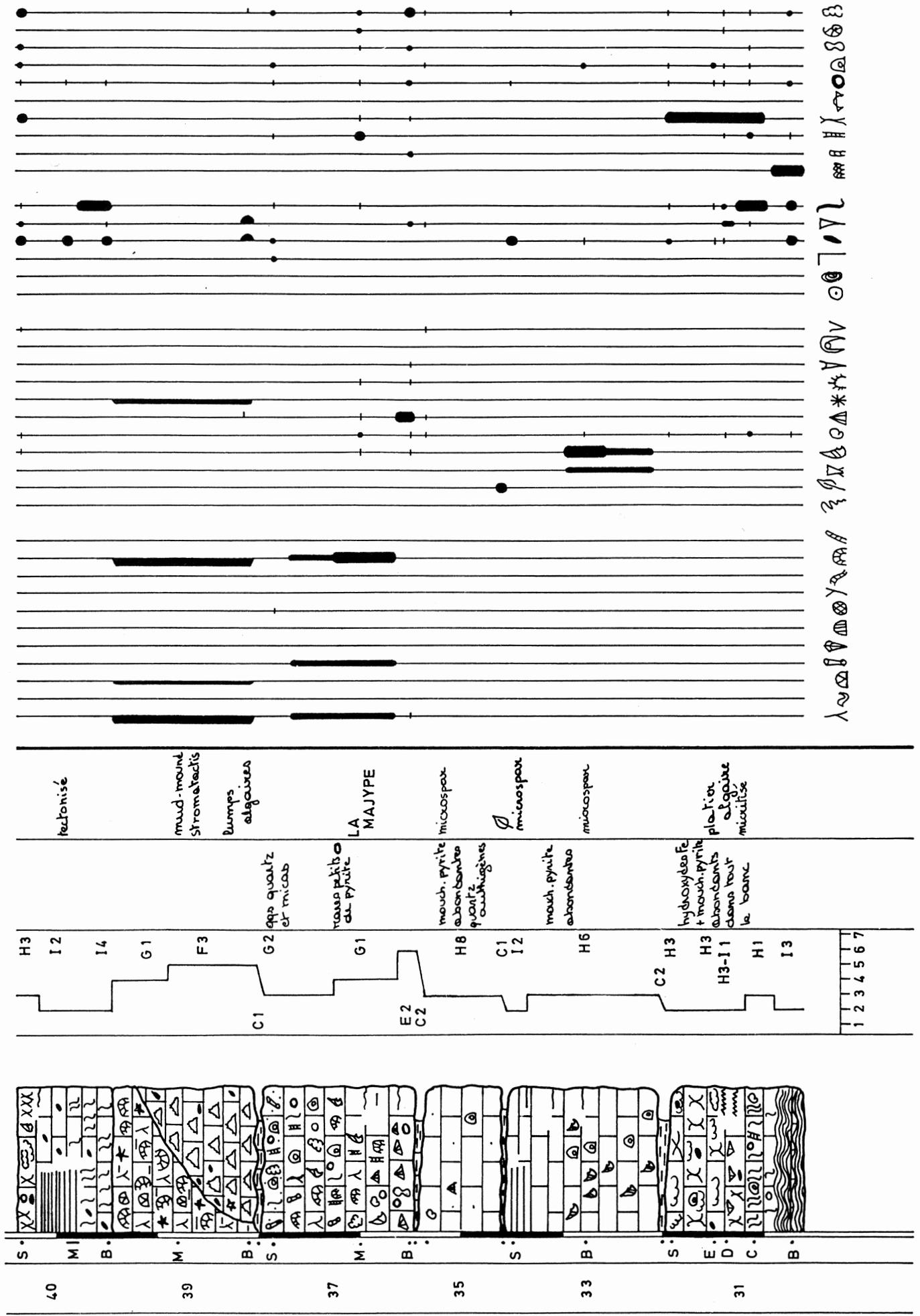


H1	CAVE A VIN
I3	enduits lim. recto ni sé pellets algues sphalerite (Lm) quartz
H3	carbonates Fe abondants cristalliques
C2	
H5-1	
	START CRA microspar
	carbonates Fe abondants veinules calcite abondantes
H5	quartz authi.
	DEPART 15°
G2-I1	carbonates Fe abondants Fe
I1	qqs cavités tapissées d' enduits lim.
I2	BEAUJOLAIS
H	± 30% dolo.
H5	sommet colomitique
H5	carbonates Fe abondants enduits lim
H4	
H5	
H5-I 2	
H5	LA ROCHE FOUCAULT
I2	

1 2 3 4 5 6 7

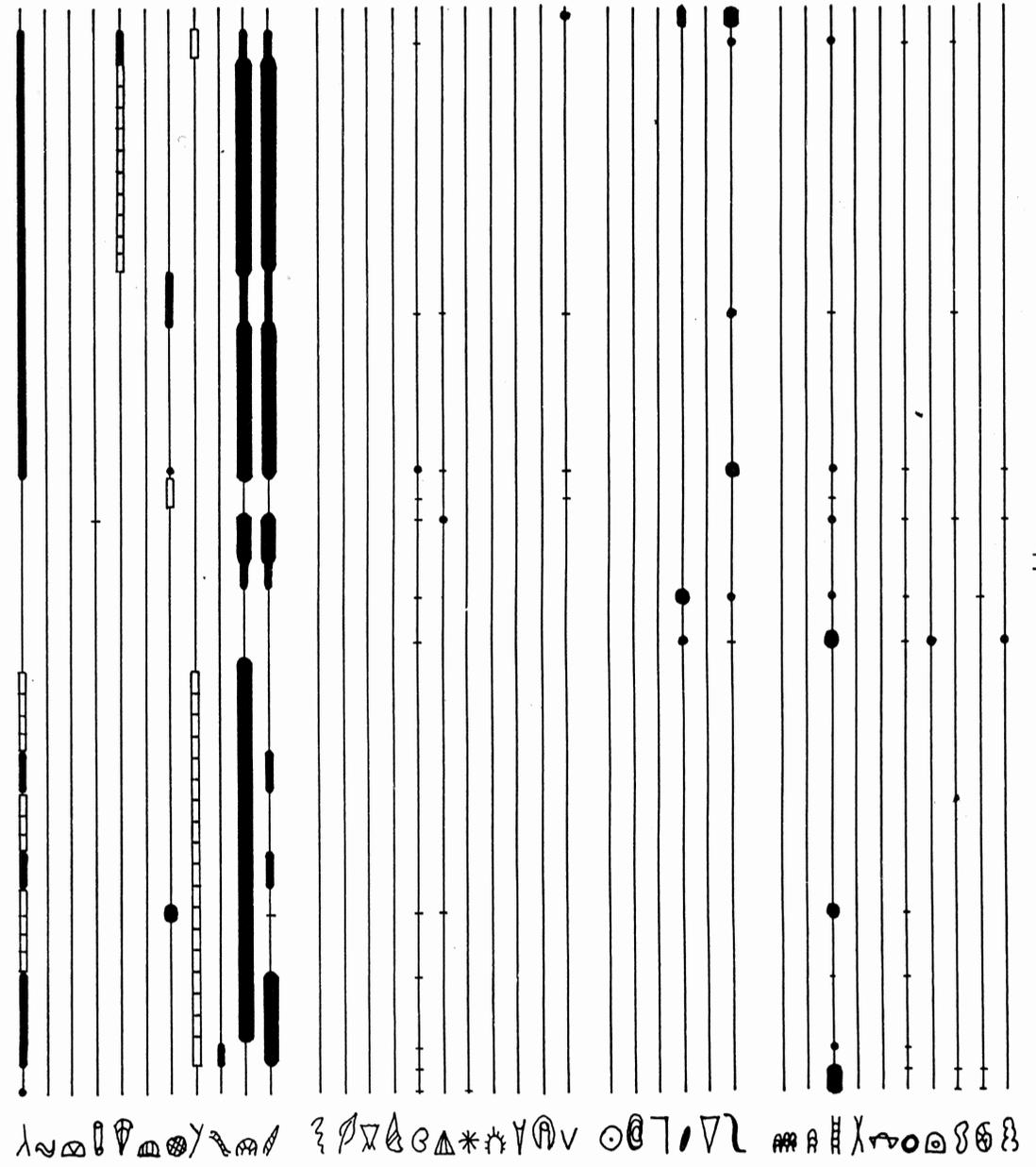
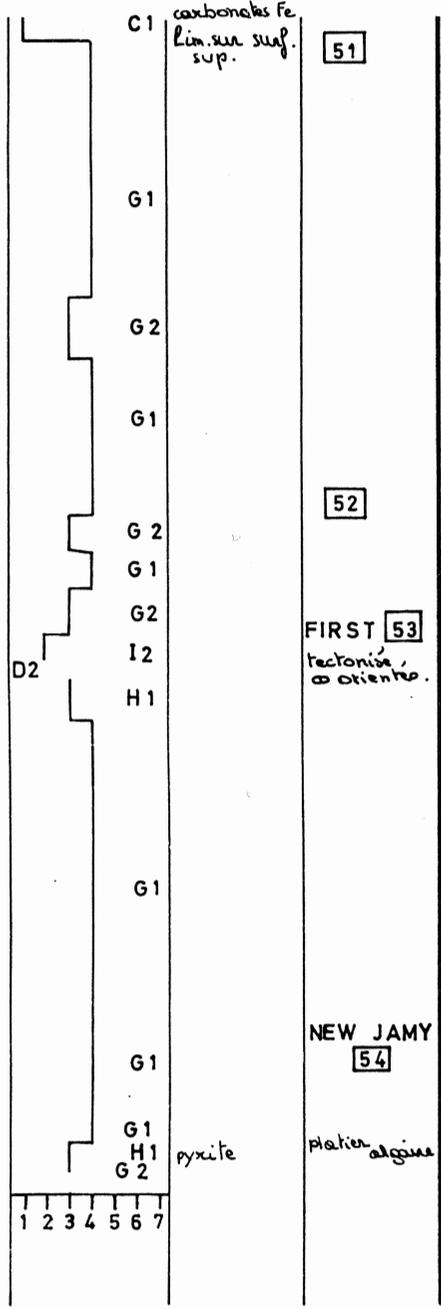
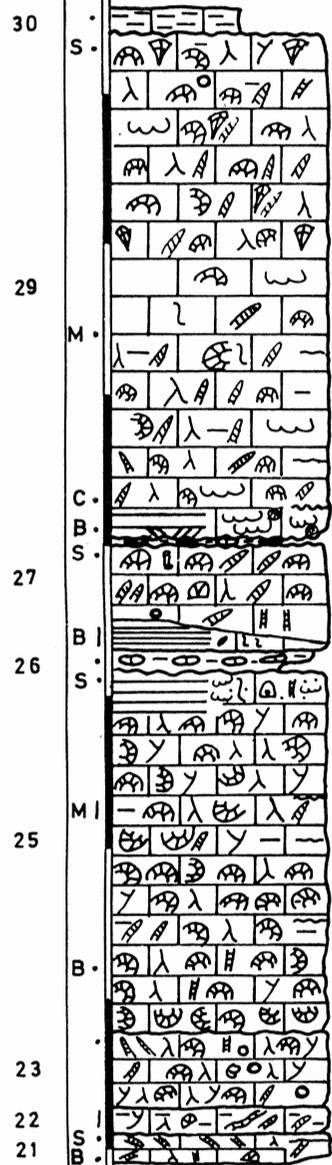


λ v m ! v m o y z m a 3 p x o Δ * * v a v o @ 7 / v l # # # X ~ o @ 8 6 3



LUSTIN

LUSTIN



1. *Porostromates*

Mal conservées, micritisées et en petits nodules, les *Girvanella* sont disséminées dans les "rudstones" (G1) et "floatstones" (G2) récifaux et dans certains calcaires lagunaires (H1-H5). Elles jouent un rôle actif dans la formation des calcaires à Girvanelles et Codiacées (H3). Ubiquiste dans la Formation de Lustin, *Girvanella* n'a toutefois pas été observée dans les faciès plus ouverts de la Formation d'Aisemont. *Rectangulina*, très rare, n'est présente que dans les calcaires noduleux (D2) de la Formation d'Aisemont. *Sphaerocodium* est très mal représenté.

2. *Spongiostromates*

Ils ont été reconnus à plusieurs reprises sous leur forme fixée (Stromatolithe) (I3). Quelques Algues tubulaires et spicules de Spongiaires sont occasionnellement piégés par les microorganismes formant les laminae algaires. Ces dernières sont régulières, parfois ondulées et soulignées par l'alternance de straticules de mudstone, de wackestone, packstone et grainstone à pellets et birdseyes. La présence de Serpulopsides dans le feutrage algaire est fréquente. Des filaments algaires (Porostromates ou Codiacées) ne sont pas observés. La forme libre des Spongiostromates (oncolithes) est rare (P66). Des encroûtements de Codiacées (*Bevocastria*) y sont associés.

3. Codiacées nodulaires

Mitcheldeania et *Ortonella* sont occasionnellement présentes sous forme de nodules isolés dans divers faciès de la Formation de Lustin ("rudstones" (G1) et "floatstones" (G2) récifaux et calcaires lagunaires à lumps et/ou pellets (H5)) et forment des platiers algaires au sommet de celle-ci (P86). *Bevocastria*, en nodules, est ubiquiste dans la Formation de Lustin mais n'a pas été reconnue dans la Formation d'Aisemont.

4. Paléobéréselles

Nous les avons observées dans plus de la moitié des lames minces. Rarement abondantes, elles participent occasionnellement à la formation des "bafflestones" à Algues tubulaires. Deux genres sont ubiquistes: *Palaeoberesella* et *Kamaena* et, parmi ceux-ci, *Palaeoberesella* aff. *P. lahuseni* (von Möller 1879) et surtout *Kamaena itkillikensis* Mamet & Rudloff 1972 sont les espèces les plus fréquentes.

5. *Dasycladacées*

Les Algues en manchon sont mal représentées. Les thalles, brisés et recristallisés, ne sont abondants que dans une seule lame (P2).

6. Algues rouges

Un seul exemplaire de Soléno-pore a été observé.

7. Algues ? d'origine indéterminée

Issinella et *Proninella* sont présentes dans plus du tiers des lames minces. *Issinella* joue un rôle primordial dans la construction des "bafflestones". Elle est accompagnée, généralement en moindre proportion, de *Proninella*, de *Palaeoberesellae* et de *Labyrinthoconidae*. *Issinella* et *Proninella* sont fréquemment observées dans les "rudstones" (G1) et dans les "floatstones" (G2) récifaux où elles prolifèrent. Les *Labyrinthoconidae* s'observent (quelques exemplaires) dans le quart des lames minces. Quelques débris sont disséminés dans les "rudstones" (G1) et dans les "floatstones" (G2) d'arrière-récif. Ces Algues caractérisent les faciès lagunaires infra-, inter- et supralittoraux (H1-H3-H5-I1 et I2 surtout). Quant à *Wetheredella*, *Renalcis* et *Nostocites*, ils sont négligeables.

III.4. Distribution des Algues dans les environnements observés dans le Frasnien de Pepinster

Nous avons tenté (figure 9) de placer les Algues fréquemment observées en lame mince, dans les différents environnements. Il serait abusif de tirer des conclusions au vu de cette figure sans garder en mémoire la restriction suivante : la distribution est basée sur les résultats issus d'une seule coupe, c'est-à-dire d'environ 120 lames minces. Si les environnements 2-3 et 4 y sont bien représentés (chacun d'eux est présents dans plus de 25 % des lames), les autres sont rares (les environnements 1-5-6 et 7 se partagent 15 % de lames). De plus, la coupe de Pepinster ne couvre qu'environ les 4/5 supérieurs de la Formation de Lustin et la base de la Formation d'Aisemont, c'est-à-dire à peine le 1/3 de l'épaisseur globale du Frasnien (F1-F2-F3) estimée dans la région (M. Coen-Aubert, 1974).

On peut toutefois souligner les points suivants :

- Les encroûtements de Spongiostromates (Stromatolithes) (Faciès 13) se développent dans la zone de battement des marées (environnement 2) (J.D. Milliman, 1974, pp. 53-54-191 ...), (J.T. Greensmith, 1979, pp. 139-216-217 ...). Dans cette zone, les *Labyrinthoconidae*, *Proninelles*, *Issinelles* et *Paléobéréselles* sont fréquemment dispersés. Les débris de *Codiacées* et *Porostromates* sont rares et petits (250-300 µm).

- Les Algues tubulaires sont surtout observables dans les faciès lagunaires (environnement 3). Localement abondantes, elles forment des platiers algaires et piègent les sédiments. Le lagon est également le domaine des *Codiacées* et des *Porostromates*. Les tapis à *Girvanelles* ont été détruits et les filaments algaires, souvent masqués par la micritisation, sont plus abondants qu'ils ne le paraissent à première vue.

- Quelques débris d'Algues tubulaires sont également piégés dans les "floatstones" (G2) et les "rudstones" (G1-environnement 3) récifaux. Plus les débris récifaux se raréfient (G2) et plus les *Labyrinthoconidae* sont fréquents.

- Les *Issinelles* et *Proninelles*, parfois abondantes sont piégées entre les débris de l'arrière-récif (5G1).

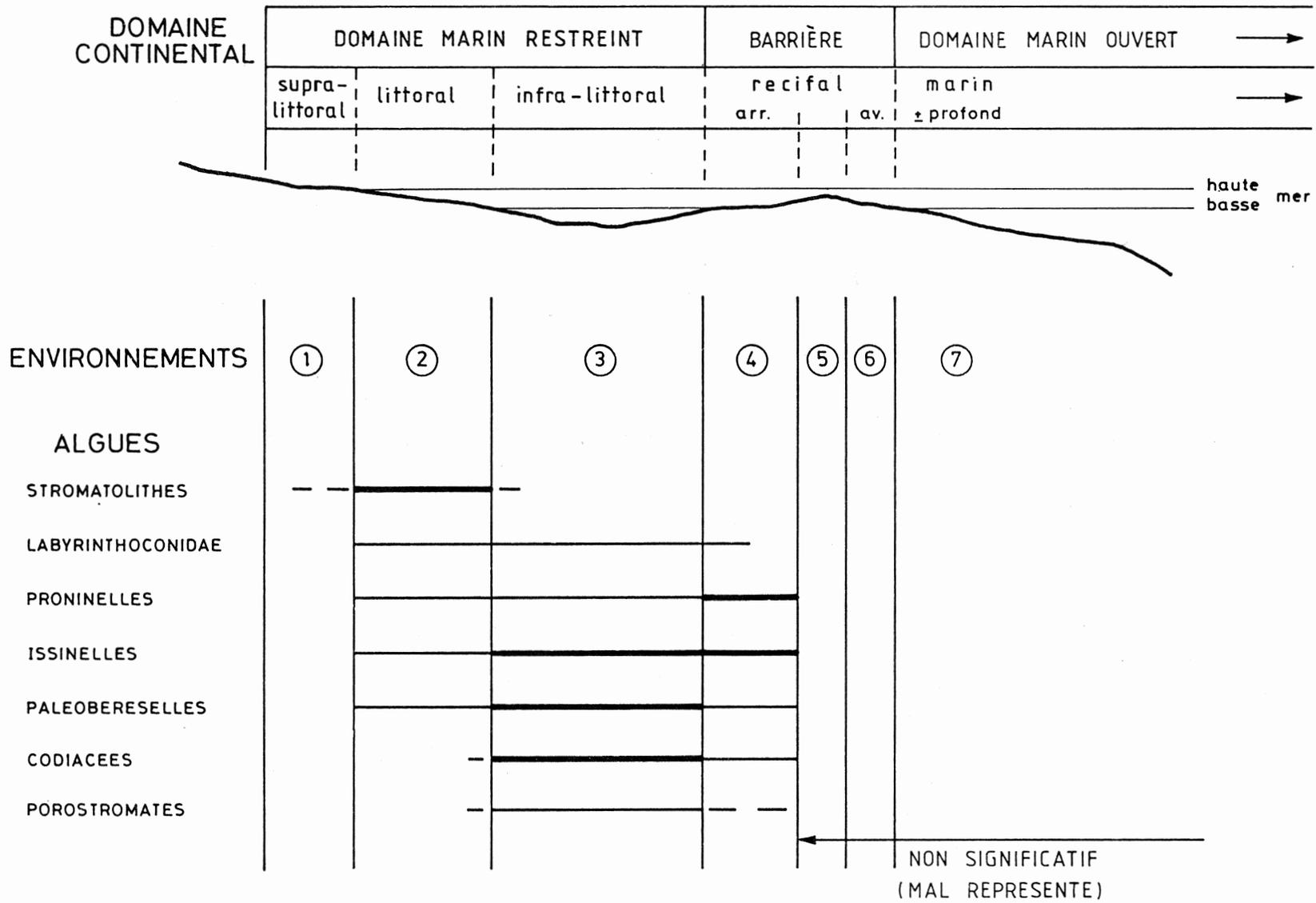


Figure 9. Distribution des Algues dans les environnements observés dans le Frasnien de Pepinster.

- Les Issinelles et Proninelles, parfois abondantes sont piégées entre les débris de l'arrière-récif (5G1).

- De rares petits (250 μm) nodules de Rectangulines (Porostromates) s'observent dans en milieux marins ouverts (environnement 6/7) (5 à 9 lames seulement).

II.5. Conclusion

Nous avons observé 13 alternances de "rudstones" (G1)/floatstones" (G2) et de calcaire d'origine lagunaire (H-I) dans les 64,2 m de calcaires appartenant à la Formation de Lustin (du banc 1 au banc 97). Ces oscillations correspondent à une succession de fermetures (H-I) et d'ouvertures ("rudstones") du lagon, n'atteignant jamais les environnements marins ouverts.

A de rares exceptions près (bancs pluridécimétriques de shales (C1-C2) ou monticule à *Stromatactis* (F3)), les calcaires de la Formation de Lustin sont essentiellement des "rudstones" et des "floatstones" récifaux et des calcaires d'origine lagunaire (H et I). Les calcaires récifaux allochtones (G1 et G2) occupent 52 % de l'épaisseur de la formation. Les calcaires d'origine lagunaire (H et I) se partagent les 42 % restants. Parmi ceux-ci, les calcaires à lumps et/ou péloïdes (H5) et les calcaires straticulés (I2) sont les plus fréquents.

Les bancs formant les phases récifales allochtones sont, en moyenne, plus épais (1,50 m) que les bancs formant les phases lagunaires (0,70 m).

Dans la première moitié de la coupe, les phases récifales allochtones sont épaisses (2-4 m) et interrompues par des phases lagunaires minces (20-80 cm). Au sommet de la Formation de Lustin (deuxième moitié de la coupe), ce sont les phases lagunaires qui supplantent les phases récifales allochtones (la onzième phase lagunaire de la coupe mesure 15,3 m et cumule une vingtaine de bancs).

La Formation d'Aisemont débute par un mince banc (45 cm) de calcaire riche en fragments de "*Phillipsastraea*" et se poursuit par quelques mètres de calcaires formés dans un environnement plus ouvert à la limite des environnements d'avant-récif, vers le domaine marin ouvert.

III. Lithogéochimie

Les profils géochimiques du Frasnien de la carrière de Pepinster au lieu-dit "Massau" sont montrés aux pages 50 à 53. La numérotation des bancs est analogue à celle du profil lithologique de la figure 8. Au total, 85 échantillons ont été prélevés à cet endroit. Leur analyse a été effectuée au Service géologique de Suède, par fluorescence de rayons X, sur une installation Rigaku de type Simultix VI permettant

l'analyse simultanée de 27 éléments. Tous les détails relatifs aux modes d'échantillonnage et d'analyse ainsi qu'aux modes de traitement et de représentation des données sont mentionnés par L. Dejonghe (1985, 1987).

Sur les profils géochimiques, les éléments majeurs sont présentés sous forme d'oxydes, tandis que les éléments mineurs et les traces sont figurés sous leur forme élémentaire. Deux éléments, Mo et W, ont été omis des reports graphiques car systématiquement situés sous la limite de détection. Les éléments majeurs sont exprimés en % ; les éléments mineurs et les traces, en ppm.

Les paramètres caractéristiques (moyennes, écarts types, extréma) et la matrice des coefficients de corrélation correspondant à la population des calcaires "purs" ($\text{CaO} > 40\%$) sont montrés aux figures 10 et 11. Pour le calcul des moyennes, les échantillons anomaux ont bien évidemment été exclus. Les seuils de coupure en Zn, Pb, Cu et Ba appliqués dans cette étude sont identiques à ceux précisés par L. Dejonghe (1985, p. 362).

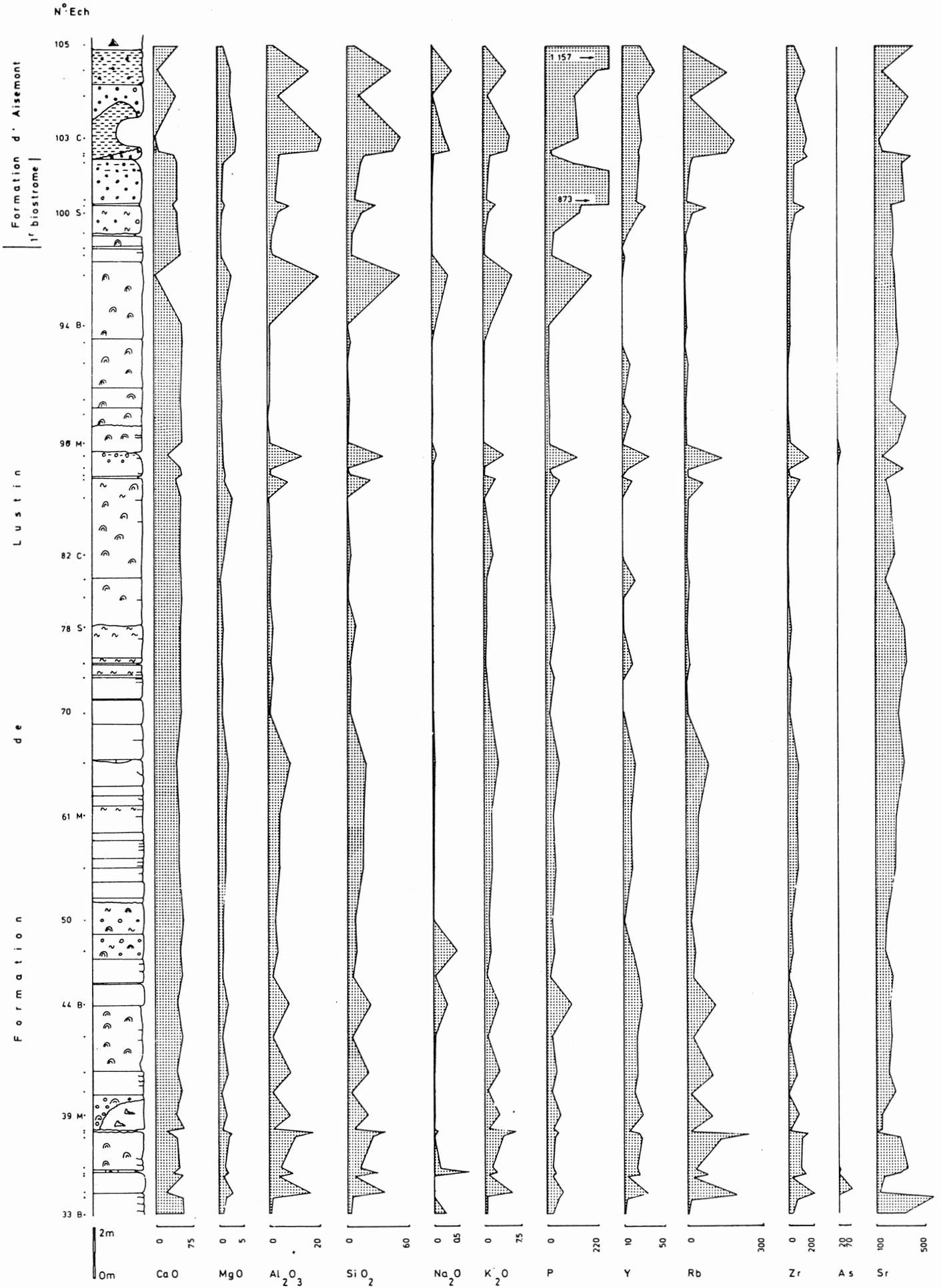
Les particularités géochimiques qui se dégagent sont les suivantes :

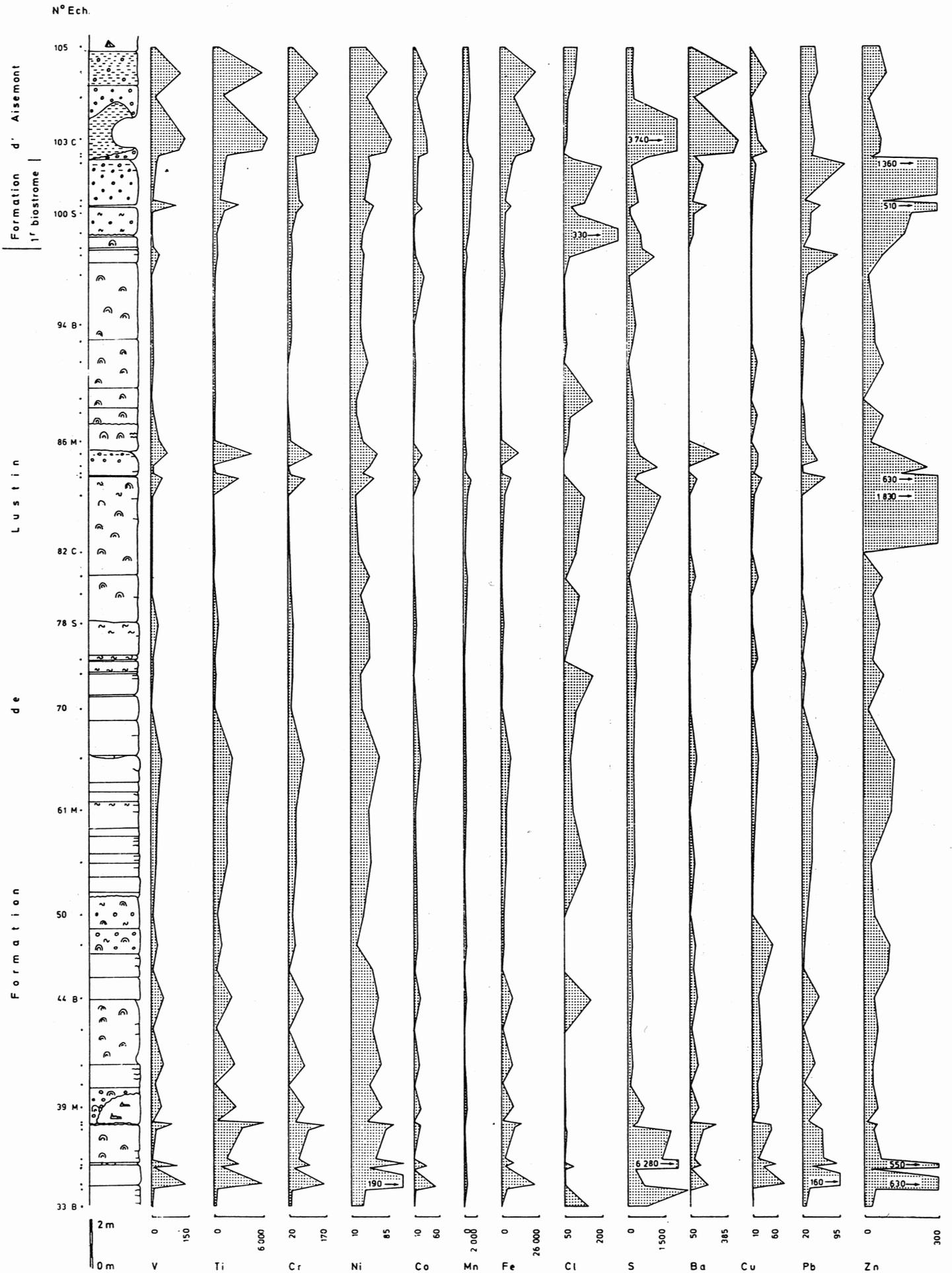
- à deux niveaux de la Formation de Lustin, on relève la présence d'anomalies en Zn atteignant jusqu'à 1830 ppm. Celles-ci sont le plus souvent associées à des anomalies en Pb (jusqu'à 160 ppm), Ni (jusqu'à 190 ppm) et S (jusqu'à 6280 ppm). Dans plusieurs cas, ces anomalies coïncident avec des interstrates plus argileuses. Il n'y a cependant que dans le cas du Pb que les coefficients de corrélation avec Si et Al sont positifs et significatifs. Sur le plan sédimentologique, ces anomalies se situent dans des roches déposées dans des environnements proches de platiers algaires ;
- des anomalies en Zn (jusqu'à 1360 ppm) sont aussi présentes dans le premier biostrome à *Phillipsastraea* de la Formation d'Aisemont. Elles ne s'accompagnent que d'une faible augmentation du fond géochimique en Pb. Les shales de la Formation d'Aisemont se caractérisent également par une anomalie en P (157 ppm) ;
- aux endroits des anomalies en Pb et Zn, galène et sphalérite ont été identifiées sous le microscope ;
- dans cette coupe, les carbonates ne sont quasi pas dolomitiques. Les profils géochimiques montrent que la faible augmentation du degré de dolomitisation s'accompagne en général d'une augmentation similaire de la teneur en SiO_2 et Al_2O_3 .

La comparaison des fonds géochimiques des calcaires purs locaux (Pepinster : N=52) et régionaux (tout le Synclinorium de Verviers : N=591) ne suscite pas de remarques particulières. Seules les moyennes de quelques éléments (Sr, Mn, Fe, S et P) diffèrent de façon significative.

REMERCIEMENTS

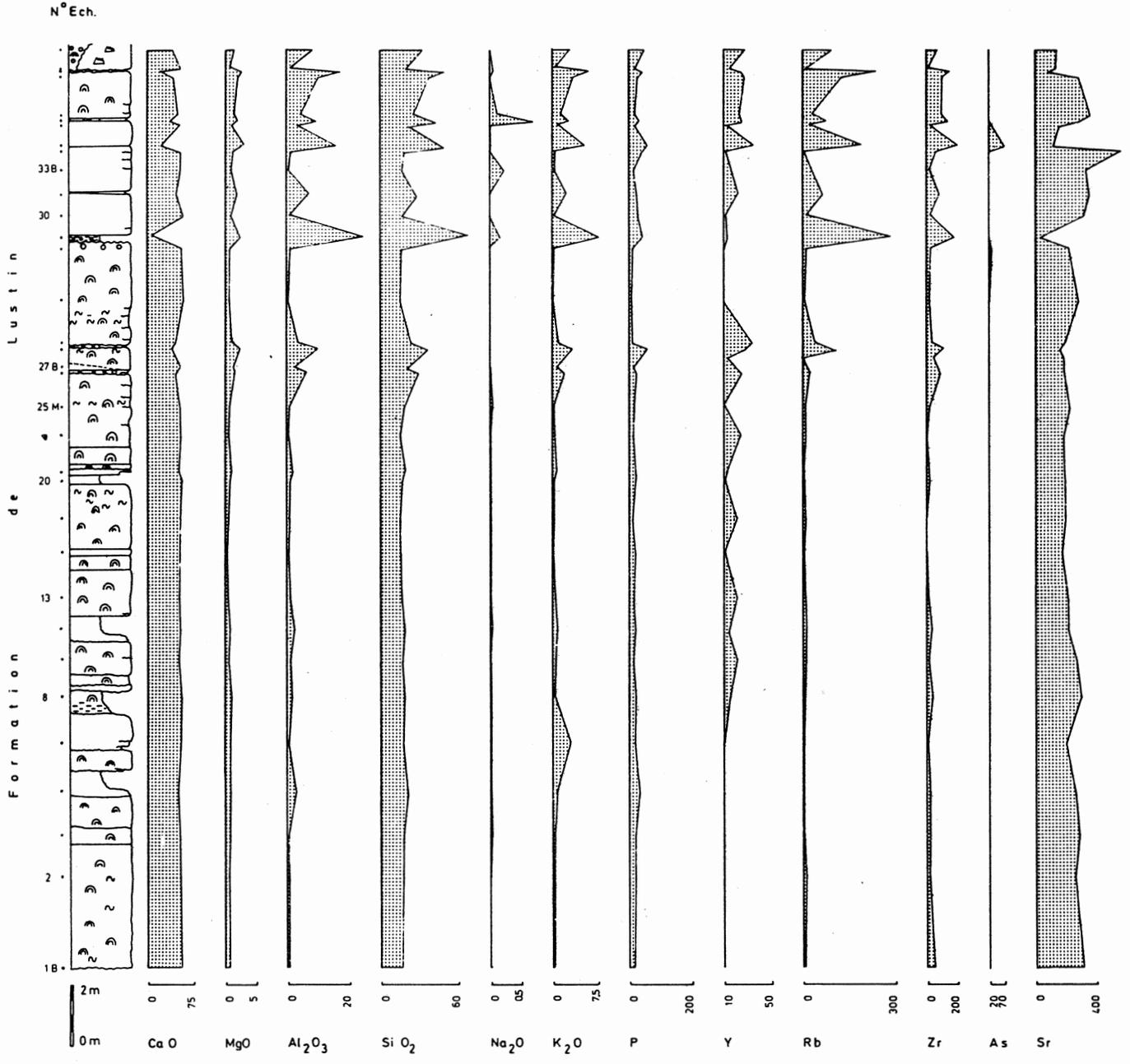
Les auteurs expriment toute leur gratitude à B. De Boose qui a réalisé la dactylographie du manuscrit.





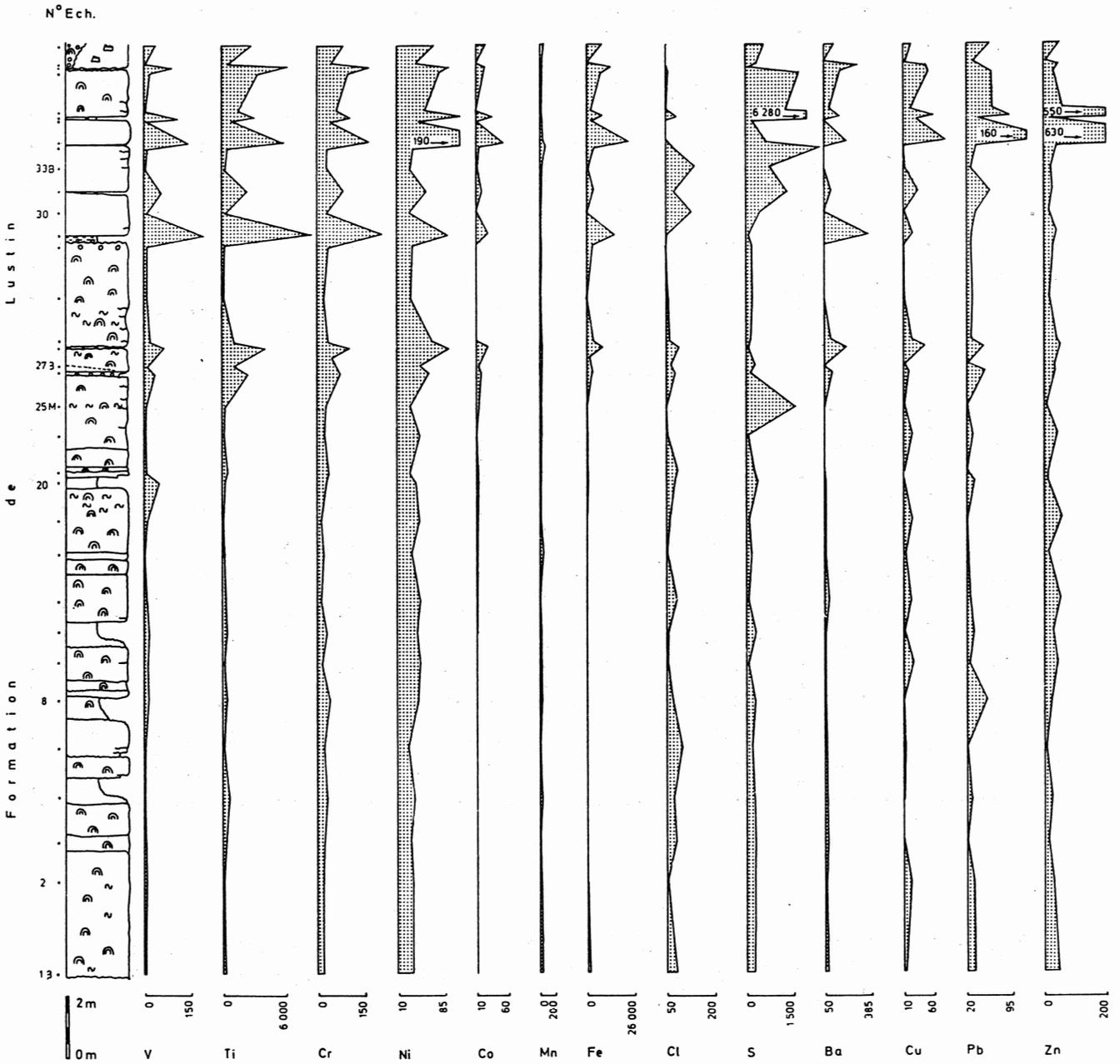
PEPINSTER - 135 E 94

II



PEPINSTER - 135 E 94

II



ELEMENT	MOYENNE ARITHM.	ECART -TYPE	COEFF. VARIATION	MOYENNE GEOM.	DEVIATION GEOM.	VALEUR MINI	VALEUR MAXI
CAO	51.25	3.98	7.76	51.09	0.04	40.50	56.30
MGO	1.01	0.38	37.34	0.95	0.16	0.39	2.10
AL2O3	2.24	2.34	104.25	1.41	0.42	0.19	8.30
SI02	5.82	5.78	99.29	3.41	0.53	0.02	21.00
HA2O	0.03	0.09	272.13	0.01	0.54	0.00	0.43
K2O	0.76	0.79	104.33	0.49	0.40	0.10	3.00
P	20.23	14.96	73.95	16.22	0.30	5.45	96.01
Y	13.88	7.95	57.24	11.44	0.29	5.00	32.00
RB	19.67	27.36	139.06	10.17	0.45	5.00	110.00
ZR	30.21	26.31	87.09	20.28	0.42	5.00	100.00
AS	10.67	3.41	31.96	10.40	0.09	10.00	29.00
SR	243.62	57.89	23.76	236.84	0.10	140.00	360.00
V	14.38	15.80	109.82	9.12	0.39	5.00	57.00
TI	642.20	733.95	114.29	352.85	0.49	29.98	2697.75
CR	33.98	19.75	58.11	29.25	0.24	5.00	83.00
NI	41.60	12.62	30.34	39.82	0.13	19.00	77.00
CO	9.29	5.71	61.47	7.91	0.24	5.00	26.00
MN	219.88	120.53	54.82	185.07	0.28	38.73	623.47
FE	1540.14	2131.64	138.41	334.89	0.97	17.49	8392.80
CL	65.71	37.40	56.92	55.61	0.26	25.00	160.00
S	355.00	439.18	123.71	209.92	0.46	25.00	2260.00
BA	47.76	32.41	67.85	38.93	0.27	22.39	125.40
CU	13.19	8.99	68.18	10.34	0.31	5.00	41.00
PB	28.62	12.76	44.58	25.78	0.21	10.00	60.00
ZN	42.46	30.80	72.53	32.68	0.34	5.00	150.00

Figure 10. Paramètres caractéristiques de la population des calcaires purs (CaO > 40 %) de la Formation de Lustin à Pepinster. Nombre d'individus : 52.

	CA	MG	AL	SI	NA	K	P	Y	RB	ZR	AS	SR	V	TI	CR	NI	CO	MN	FE	CL	S	BA	CU	PB
MG	-0.73																							
AL	-0.82	0.73																						
SI	-0.69	0.73	0.89																					
NA	-0.18	0.21	0.17	0.19																				
K	-0.84	0.69	0.99	0.84	0.15																			
P	-0.58	0.73	0.62	0.69	0.31	0.56																		
Y	-0.47	0.11	0.55	0.22	-0.06	0.62	-0.14																	
RB	-0.88	0.64	0.86	0.68	0.16	0.89	0.42	0.63																
ZR	-0.62	0.85	0.71	0.67	0.26	0.67	0.75	0.15	0.57															
AS	0.10	0.05	-0.10	-0.06	-0.08	-0.12	0.00	-0.14	-0.14	0.03														
SR	0.15	0.17	-0.21	-0.17	0.09	-0.21	-0.07	-0.26	-0.17	0.15	0.03													
V	-0.72	0.65	0.66	0.58	0.07	0.64	0.57	0.35	0.62	0.63	-0.14	-0.12												
TI	-0.79	0.82	0.96	0.93	0.17	0.93	0.72	0.36	0.79	0.78	-0.06	-0.15	0.69											
CR	-0.76	0.77	0.89	0.91	0.21	0.85	0.80	0.25	0.73	0.78	0.01	-0.21	0.68	0.93										
NI	-0.62	0.37	0.57	0.31	-0.21	0.62	0.04	0.76	0.68	0.36	-0.10	-0.06	0.44	0.45	0.37									
CO	-0.70	0.64	0.62	0.56	0.14	0.58	0.60	0.22	0.54	0.62	0.12	-0.15	0.85	0.66	0.69	0.32								
MN	-0.04	0.12	0.04	0.14	-0.06	0.02	0.32	-0.28	-0.07	0.04	0.11	-0.05	0.16	0.09	0.18	-0.27	0.20							
FE	-0.63	0.70	0.76	0.70	0.16	0.73	0.48	0.36	0.65	0.64	0.20	-0.18	0.60	0.75	0.74	0.46	0.66	0.07						
CL	-0.21	0.28	-0.04	0.01	0.12	-0.06	0.33	-0.26	-0.04	0.19	-0.05	0.29	0.30	0.05	0.08	-0.14	0.27	0.18	-0.10					
S	-0.13	0.56	0.20	0.32	0.26	0.13	0.56	-0.39	0.05	0.59	0.19	0.32	0.14	0.36	0.40	-0.16	0.27	-0.08	0.29	0.16				
BA	-0.72	0.31	0.66	0.43	0.11	0.72	0.11	0.78	0.78	0.29	-0.18	-0.10	0.52	0.50	0.45	0.72	0.40	-0.03	0.43	-0.08	-0.24			
CU	-0.38	0.11	0.36	0.10	0.08	0.43	-0.21	0.72	0.57	0.05	-0.20	-0.18	0.17	0.19	0.10	0.60	0.08	-0.16	0.24	-0.40	-0.31	0.69		
PB	-0.48	0.54	0.62	0.44	0.08	0.64	0.38	0.48	0.62	0.65	0.05	0.09	0.47	0.56	0.54	0.65	0.34	0.01	0.49	-0.09	0.18	0.52	0.40	
ZN	-0.22	0.19	0.20	0.02	0.15	0.26	-0.12	0.39	0.31	0.16	-0.05	0.19	0.15	0.10	0.04	0.38	0.12	0.19	0.30	-0.10	-0.27	0.45	0.54	0.45

Figure 11. Matrice des coefficients de corrélation de la population des calcaires purs (CaO > 40 %) de la Formation de Lustin à Pepinster.

IV. Bibliographie

- BOULVAIN, F. & PREAT, A. (1987) - Les calcaires laminaires du Givétien supérieur du bord sud du bassin de Dinant (Belgique, France) ; témoins d'une évolution paléoclimatique. *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège*, 109, 609-620.
- CNUUDE, C., DEJONGHE, L. & MAMET, B. (1986) - Paléogéographie des formations givetiennes et frasniennes du synclinorium de Verviers. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique, Bruxelles*, 225, 1986/2, 45 p.
- COEN-AUBERT, M. (1974) - Le Givétien et le Frasnien du Massif de la Vesdre. *Stratigraphie et paléoécologie, Mém. Acad. roy. Belgique, Bruxelles*, XVIII, 2, 146 p.
- COEN-AUBERT, M. & LACROIX, D. (1979) - Le Frasnien dans la partie orientale du bord sud du synclinorium de Namur. *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège*, 101, 269-279.
- COEN-AUBERT, M., DEJONGHE, L., CNUUDE, C. & TOURNEUR, F. (1985) - Etude stratigraphique, sédimentologique et géochimique de trois sondages effectués à Membach (Massif de la Vesdre). *Prof. Paper Serv. géol. Belgique, Bruxelles*, 223, 1985/10, 57 p.
- DEJONGHE, L. (1985) - Contribution à l'étude métallogénique du synclinorium de Verviers (Belgique). *Thèse Doct. Etat, Mém. Sc. Terre Univ. Curie, Paris*, 85-23, 389 p.
- DEJONGHE, L. (1987) - Lithogéochimie des sédiments de plate-forme déposés au sud du massif de Brabant (Belgique) pendant le Mésodévonien et le Frasnien. *Mém. Expl. Cartes géol. Minières Belgique, Bruxelles*, 147 p.
- DEJONGHE, L., CNUUDE, C. & JANS, D. (1982) - Etude des métallotectes du Dévonien moyen et du Frasnien dans l'est de la Belgique pour la prospection des gîtes stratiformes de plomb-zinc-baryum dans un environnement sédimentaire. *Compte rendu de fin d'étude financée conjointement par la Communauté Economique Européenne et le Service géologique de Belgique. Contrat n° 031-79 MPP-B*, 184 p.
- DEJONGHE, L. & MARDAGA, M. (1986) - Indicateurs pétrographiques et géochimiques pour la recherche de gîtes cachés en terrain sédimentaire. *Compte rendu de fin d'étude d'une recherche financée conjointement par la Communauté Economique Européenne (contrat n° MSM-078-B) et le Ministère des Affaires Economiques de Belgique (visa n° 083/90 031)*, 466 p.
- EMBRY, A.F. & KLOVAN, J.E. (1971) - A Late Devonian reef tract on northeastern Banks island. *N.W.T. - Bull. Cand. Petrol. Geol.*, 19, 730-781.
- ERRERA, M., MAMET, B. & SARTENAER, P. (1972) - Le calcaire de Givet et le Givétien à Givet. *Bull. Inst. roy. Sc. nat. Belg.*, 48-1, 1-59.
- FLUGEL, E. (1982) - Microfacies Analysis of Limestones. *Springer-Verlag*, 633 p.

- GILLARD, P. (1976) - Contribution à l'étude du sommet du Groupe de Givet - Signification stratigraphique du "Niveau des Montres". *Mémoire de licence en sciences géologiques et minéralogiques, Université libre de Bruxelles*.
- GREENSMITH, J.T. (1979) - Petrology of the Sedimentary Rocks. *Sixth Edition - George Allen and Unwin*, 241 p.
- HEROUX, Y., HUBERT, C., MAMET, B. & ROUX, A. (1977) - Algues siluriennes de la Formation de Sayabec (Lac Matapédia, Québec). *Journal canad. des Sc. de la Terre*, 14-12, 2865-2908.
- JAMES, N.P. (1977) - Facies Models 10. *Reefs-Geoscience Canada*, 5/1, 16-26.
- JENIK, A.J. & LERBEKMO, J.F. (1968) - Facies and geometry of Swan Hills Reef Member of Beaverhill Lake Formation (Upper Devonian), Goose River Field, Alberta, Canada. *AAPG Bull.*, 52/1, 21-56.
- KLOVAN, J.E. (1974) - Development of Western Canadian Devonian Reefs and Comparison with Holocene Analogues. *AAPG Bull.*, 58/5, 787-799.
- LOMBARD, A. (1972) - Séries sédimentaires - Genèse - Evolution. *Masson & Cie*, 425 p.
- MAMET, B. & PREAT, A. (1987) - Algues givétiennes du bord sud du bassin de Dinant et des régions limitrophes. *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège*, 109, 431-454.
- MILLIMAN, J.D. (1974) - Marine Carbonates - Recent Sedimentary Carbonates - Part I. *Springer-Verlag*, 375 p.
- PREAT, A. (1984) - Etude lithostratigraphique et sédimentologique du Givétien belge (Bassin de Dinant). *Thèse de Doctorat, Université libre de Bruxelles*, 466 p.
- WANLESS, H.R. (1979) - Limestone Response to Stress : Pressure Solution and Dolomitization. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49, 437-462.
- WILSON, J.L. (1975) - Carbonate facies in Geology History. *Springer-Verlag*, 471 p.