

ROYAUME DE BELGIQUE

**MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES**

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

**ETUDE DES PHENOMENES DE DOLOMITISATION  
ET DE MINERALISATION STRATOIDE DANS LE  
FRASNIEN DU MASSIF DE PHILIPPEVILLE  
(SYNCLINORIUM DE DINANT)**

par  
**DEJONGHE L. et MARDAGA M.**

**PROFESSIONAL PAPER 1989/3  
Nr 238**

**Etude des phénomènes de dolomitisation et  
de minéralisation stratoïde dans le Frasnien  
du Massif de Philippeville (Synclinorium de Dinant)**

**Etude des phénomènes de dolomitisation et  
de minéralisation stratoïde dans le Frasnien  
du Massif de Philippeville (Synclinorium de Dinant)**

**L. DEJONGHE (1,2) et M. MARDAGA (1)**

**(1) Service géologique de Belgique, rue Jenner, 13 - B1040 BRUXELLES.  
(2) Université libre de Bruxelles, Faculté des Sciences, 50 avenue F.D. Roosevelt, B1050  
BRUXELLES.**

## Résumé

Le but de ce travail est d'étudier les relations entre dolomitisation et minéralisation stratoïde situées dans une formation frasnienne (la Formation récifale supérieur) du Massif de Philippeville. Quatre types principaux de dolomies ont été définis : des dolomies grisâtres finement à moyennement grenues (type 1); des dolomies blanchâtres à jaunâtres (type 2); des dolomies rubanées (type 3); des dolomies grisâtres grossièrement grenues (type 4). Une chronologie a été établie pour les dolomies des types 1 à 3. La place de la dolomie de type 4 dans cette chronologie reste cependant indéterminée. Or c'est uniquement à ces dolomies de type 4, situées au front de dolomitisation, vers le sommet des amas dolomitiques, qu'est associée une minéralisation stratoïde principalement zincifère. Une étude lithogéochimique a montré le caractère anormal en Fe, Zn et Pb des calcaires du sommet de la Formation récifale supérieure. Les dolomies de type 4 sont également fortement enrichies en Zn, Fe, Mn, Ti, Cu et, dans une moindre mesure, en Pb, V et Cr. Par contre, les dolomies de types 1 à 3 se caractérisent par des logs plats et des fonds géochimiques en métaux assez faibles. Des observations à l'appareil de cathodoluminescence ont été conduites sur les phases carbonatées et sulfurées. Elles sont particulièrement démonstratives dans le cas de la smithsonite. Par contre, peu de différences apparaissent dans les teintes de cathodoluminescence des 4 types de dolomies. Des analyses à la microsonde ont également été réalisées sur les différentes phases minérales étudiées.

## Remerciements

Les auteurs remercient P. Gérard (Laboratoire central du Ministère des Affaires Economiques) qui a réalisé les analyses chimiques par spectrométrie gamma à couplage inductif, A. Lees (Université de Louvain) qui a initié l'un de nous (M.M.) à la technique de cathodoluminescence, J. Wautier (Université de Louvain) qui a effectué les analyses à la microsonde, D. Sweetlove qui a assuré la dactylographie du manuscrit et L. Hance dont l'aide a été précieuse pour résoudre les problèmes informatiques de mise en page.



## Table des matières

<b>Chapitre 1. Introduction.</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Historique.</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Cadre géographique.</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre 2. Cadre géologique et paléogéographique du Massif de Philippeville.</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Cadre géologique</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Le Givctien (Gi et Flabc) .....	5
2.1.2 Le Frasnien (F2) .....	5
<b>2.2 Cadre paléogéographique.</b> .....	<b>8</b>
<b>Chapitre 3. Caractérisation des dolomies frasniennes du Massif de Philippeville.</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Introduction.</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Caractères pétrographiques.</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3 Conclusions.</b> .....	<b>16</b>
<b>Chapitre 4. Étude lithogéochimique de la formation récifale supérieure.</b> .....	<b>21</b>
<b>Chapitre 5. Etude à l'appareil de cathodoluminescence et à la microsonde des phases carbonatées et sulfurées.</b> .....	<b>35</b>
<b>5.1 Introduction.</b> .....	<b>35</b>
<b>5.2 Description du phénomène de cathodoluminescence.</b> .....	<b>35</b>
<b>5.3 Observations à l'appareil de cathodoluminescence.</b> .....	<b>35</b>
<b>5.4 Analyses à la microsonde.</b> .....	<b>46</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>51</b>

## Liste des illustrations

Figure 1.	Localisation des ensembles géographiques de l'Entre-Sambre-et-Meuse.	2
Figure 2.	Localisation de la région étudiée.	3
Figure 3.	Massif de Philippeville - Légende chrono - et lithostratigraphique.	6
Figure 4.	Carte géologique de la région de Philippeville - Merlemont.	7
Figure 5.	Modèle simplifié de complexe récifal développé pendant une phase de stabilité relative du fond (cas du F2c au F2h)	8
Figure 6.	Modèle simplifié de complexe récifal développé pendant une phase transgressive (cas du F2ij).	9
Figure 7.	Corrélations Belgique - Allemagne - U.S.A.	10
Figure 8.	Extraits de figures d'après Coen & Coen-Aubert (1975) et Coen (1977).	11
Figure 9.	Banc de dolomie grise de type 1	15
Figure 10.	Schéma de la carrière Matissen (1986)	23
Figure 11.	Analyses d'échantillons de dolomies de type 4 prélevés dans la carrière Matissen.	28
Figure 12.	Profils géochimiques dans la Formation récifale supérieure - Carrière Matissen, paroi ouest.	29
Figure 13.	Profils géochimiques dans la Formation récifale supérieure - Carrière Matissen, paroi est.	30
Figure 14.	Profils géochimiques dans la Formation récifale supérieure - Carrière Matissen, paroi est.	31
Figure 15.	Diagramme de corrélation binaire Ti - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	32
Figure 16.	Diagramme de corrélation binaire Cu - Zn.	33





## Liste des tables

Tableau	1. Analyses chimiques des échantillons correspondant aux calcaires. . . . .	24
Tableau	2. Analyses chimiques des échantillons correspondant aux dolomies de type 1 à 3. . . . .	24
Tableau	3. Analyses chimiques des échantillons correspondant aux dolomies de type 4. . . . .	25
Tableau	4. Analyses chimiques des échantillons prélevés dans la carrière Matissen. . . . .	25
Tableau	5. Analyses chimiques moyennes des calcaires. . . . .	26
Tableau	6. Analyses chimiques moyennes des dolomies de types 1 à 3. . . . .	26
Tableau	7. Analyses chimiques moyennes des dolomies de type 4. . . . .	27
Tableau	8. Analyses effectuées à la microsonde sur les carbonates. . . . .	47
Tableau	9. Analyses effectuées à la microsonde sur les sulfures. . . . .	49



## Chapitre 1. Introduction.

### 1.1 Historique.

La région de l'Entre-Sambre-et-Meuse fut, durant le siècle passé et le début de ce siècle, l'objet d'exploitations minières : Philippeville et Sautour : Fe; Villers-en-Fagne : Pb; Vierves : Ba; Fagnolle, Dourbes et Matagne-la-Grande : Fe, Pb,... Il s'agissait essentiellement de gisements filoniens. Des indices de type stratoïdes ont aussi été signalés à Barbençon et Solre-St-Géry : Pb, Zn(Ba) ; Philippeville, Vodecée, Samart, Villers-le-Gambon, Sautour et Merlemont : Zn(Pb) ; Doische et Foisches : F,....

Parmi les gisements à affinité sédimentaire, ceux associés aux dolomies frasniennes du Massif de Philippeville ont été plus particulièrement étudiés dans le cadre d'une action financée conjointement par la Communauté Economique Européenne (contrat n°MSM -078-B) et le Ministère des Affaires Economiques (visa n°083/90.031) (Dejonghe & Mardaga 1986). Les principaux résultats sont présentés dans le présent travail. Les recherches ont été menées dans la région de Sautour-Merlemont, choisie pour la facilité d'accès aux affleurements, la présence de carrières où l'on exploite la dolomie et la proximité d'un filon (Philippeville-Sautour).

### 1.2 Cadre géographique.

L'Entre-Sambre-et-Meuse est formée au Nord du plateau condrusien à substratum essentiellement calcaire, au centre de la dépression famenienne aussi connue sous le nom de "La Fagne" à substratum essentiellement schisteux et au Sud du haut plateau ardennais à substratum essentiellement schisto-gréseux. Philippeville, Sautour et Merlemont se trouvent sur la bordure méridionale du plateau condrusien (fig. 1). Du point de vue morphologique, des crêtes calcaires alternent avec des vallées schisteuses. La région étudiée se trouve entre les méridiens de Philippeville et de Merlemont et entre les latitudes passant par Villers-le-Gambon et Merlemont (fig. 2).

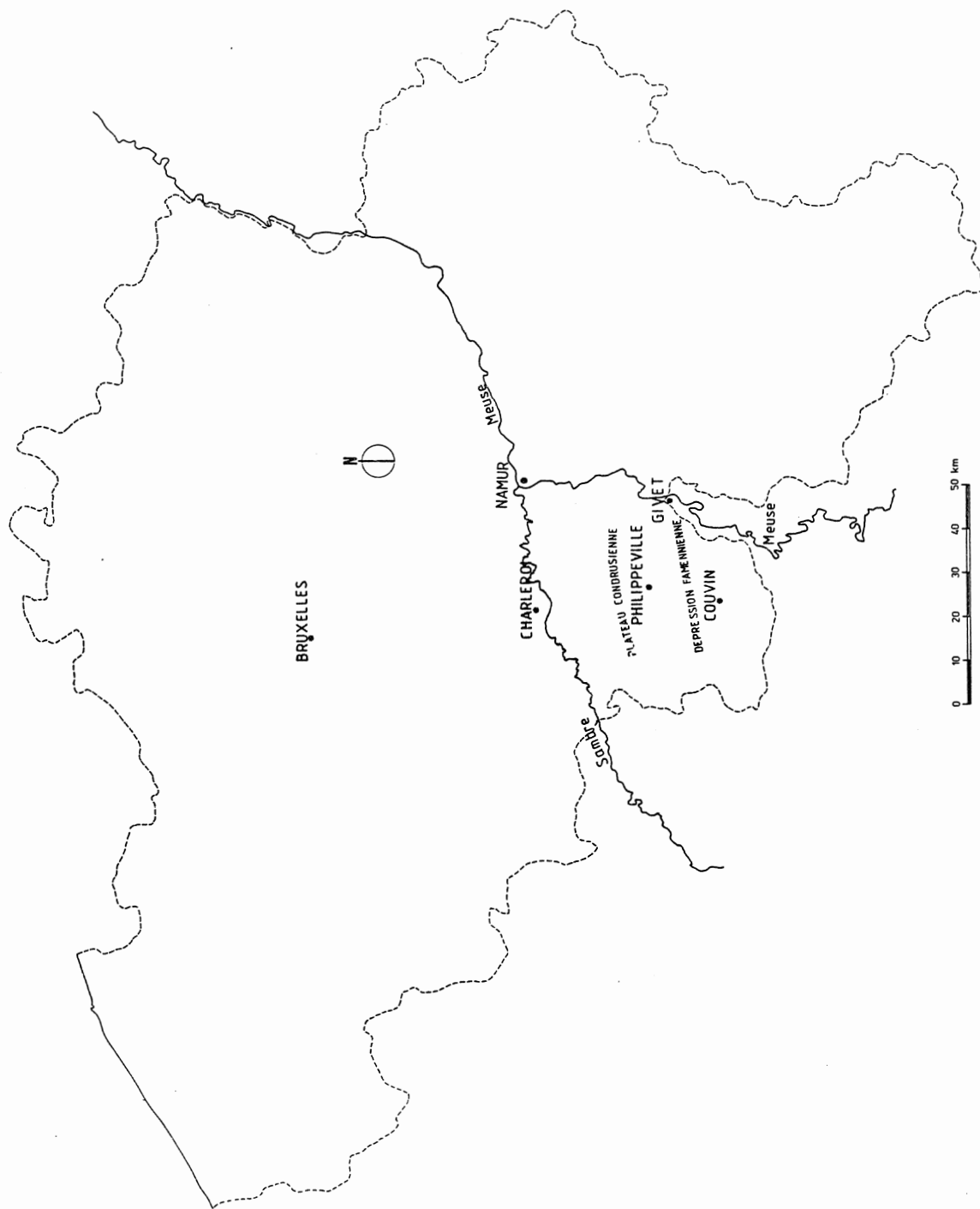


Figure 1. Localisation des ensembles géographiques de l'Entre-Sambre-et-Meuse.

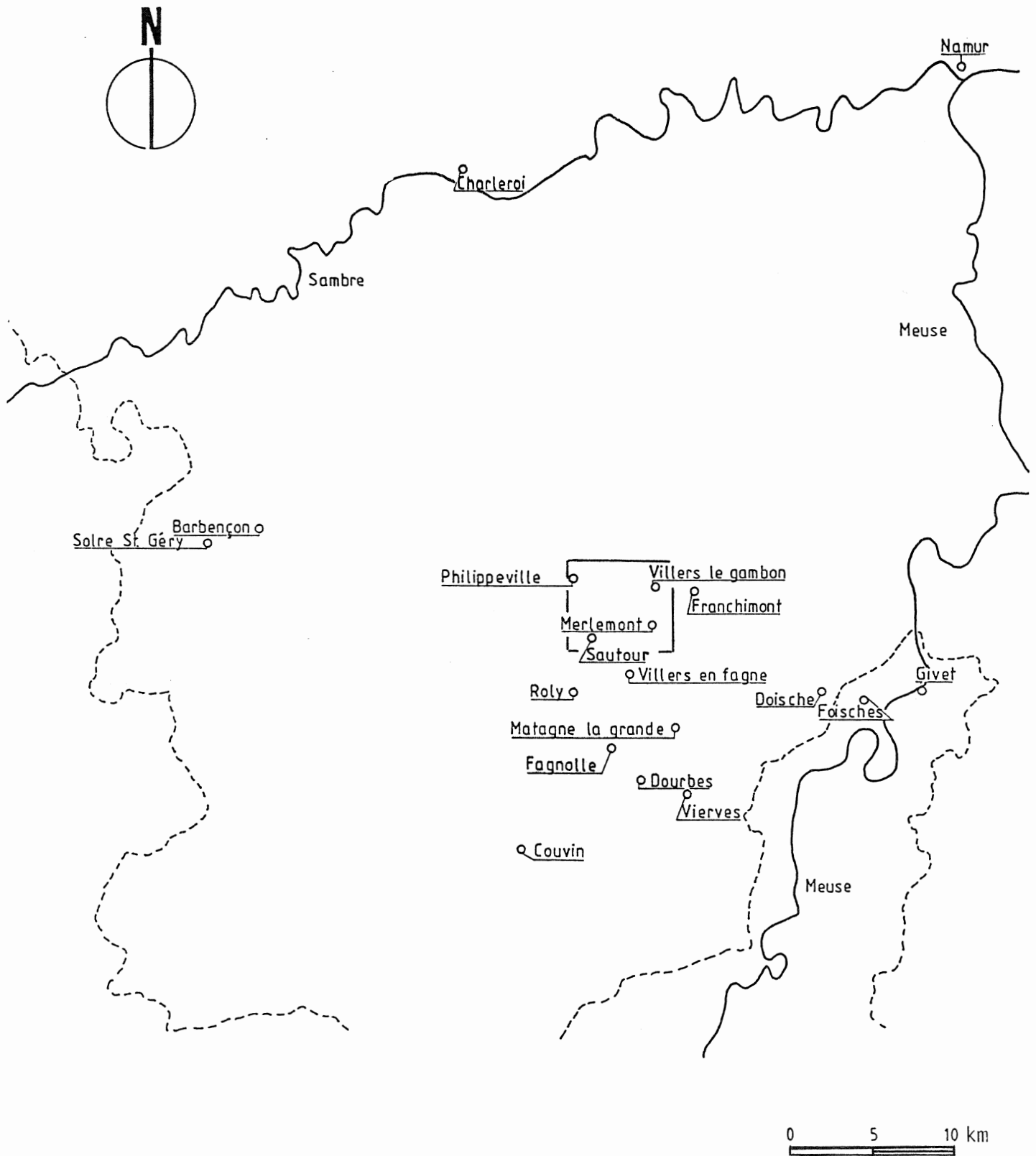


Figure 2. Localisation de la région étudiée.



## Chapitre 2. Cadre géologique et paléogéographique du Massif de Philippeville.

### 2.1 Cadre géologique

Le Massif de Philippeville occupe la partie centrale de l'extrémité occidentale du Synclinorium de Dinant. Il est formé de roches dévoniennes (Givetien, Frasnien et Famennien) au sein desquelles alternent calcaires (par endroit, dolomitisés) et shales. Ces roches ont été plissées par l'orogénèse varisque (direction générale des plis :  $n70^{\circ}E$ ).

Six anticlinaux à flanc sud généralement déversés se succèdent du Nord au Sud :

- anticlinal de Philippeville
- anticlinal de Senzeilles-Villers-le-Gambon
- anticlinal de Sautour-Franchimont
- anticlinal de Merlemont
- anticlinal de Surice
- anticlinal de Vodecée

Seuls les anticlinaux de Sautour et de Merlemont correspondent à la zone étudiée.

L'échelle stratigraphique à laquelle nous nous référons, est celle de Mailleux & Demanet (1929), actualisée par Tsien (1974, 1984) et par Coen (1977). A l'échelle du secteur étudié, les formations étant peu diachrones, on peut leur assigner des limites chronostratigraphiques précises (fig. 3).

#### 2.1.1 Le Givetien (Gi et F1abc)

Il est formé par l'alternance de calcaires et de shales. Bien que son épaisseur atteigne environ 150 m, il affleure assez mal.

#### 2.1.2 Le Frasnien (F2)

La Formation de Dailly (F2ab) est constituée uniquement de shales (40 m).

La Formation récifale inférieure débute par quelques mètres de calcaires (F2cd) surmontés par environ 50 m de shales (F2cf).

Ces deux formations affleurent très mal.

La Formation récifale supérieure (F2gf) dont l'épaisseur est de l'ordre de 100 m, est formée de calcaires. A la base, l'assemblage paléontologique est constitué essentiellement par des tabulés lamellaires (*Alveolites*) et branchus, des *Disphyllum*, des crinoïdes et de très rares stromatoporoïdes lamellaires et branchus (*Stachyodes*). Par la suite, les stromatoporoïdes prennent le dessus sur les coraux. On trouve des stromatoporoïdes branchus, massifs et lamellaires, quelques fois des tabulés branchus, des *Hexagonaria* et des gastéropodes. Cette formation est par endroit dolomitisée mais la base est toujours épargnée (contenu argileux plus élevé). C'est également dans cette formation que l'on trouve une minéralisation stratoïde à Zn (Pb), associée aux dolomies.

La Formation de Neuville (F2ij) est caractérisée par un matériel plus terrigène. Elle consiste en une centaine de mètres de shales dont les premiers mètres renferment des nodules de calcaire. Localement, des biohermes de type mud-mound s'intercalent dans les shales. Ces biohermes se manifestent dans la topographie régionale sous forme de mamellons accidentant le relief des vallées.

Ces deux dernières formations font l'objet d'exploitations : la première pour la dolomie et la seconde pour le marbre rouge des biohermes.

Une carte géologique de la région étudiée est présentée à la figure 4.

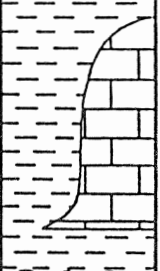
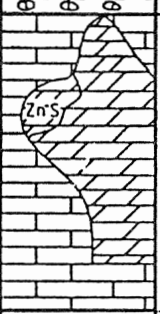
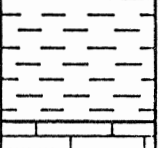

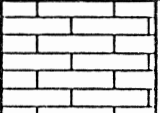
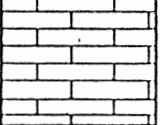
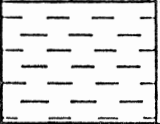
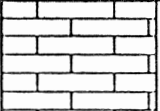
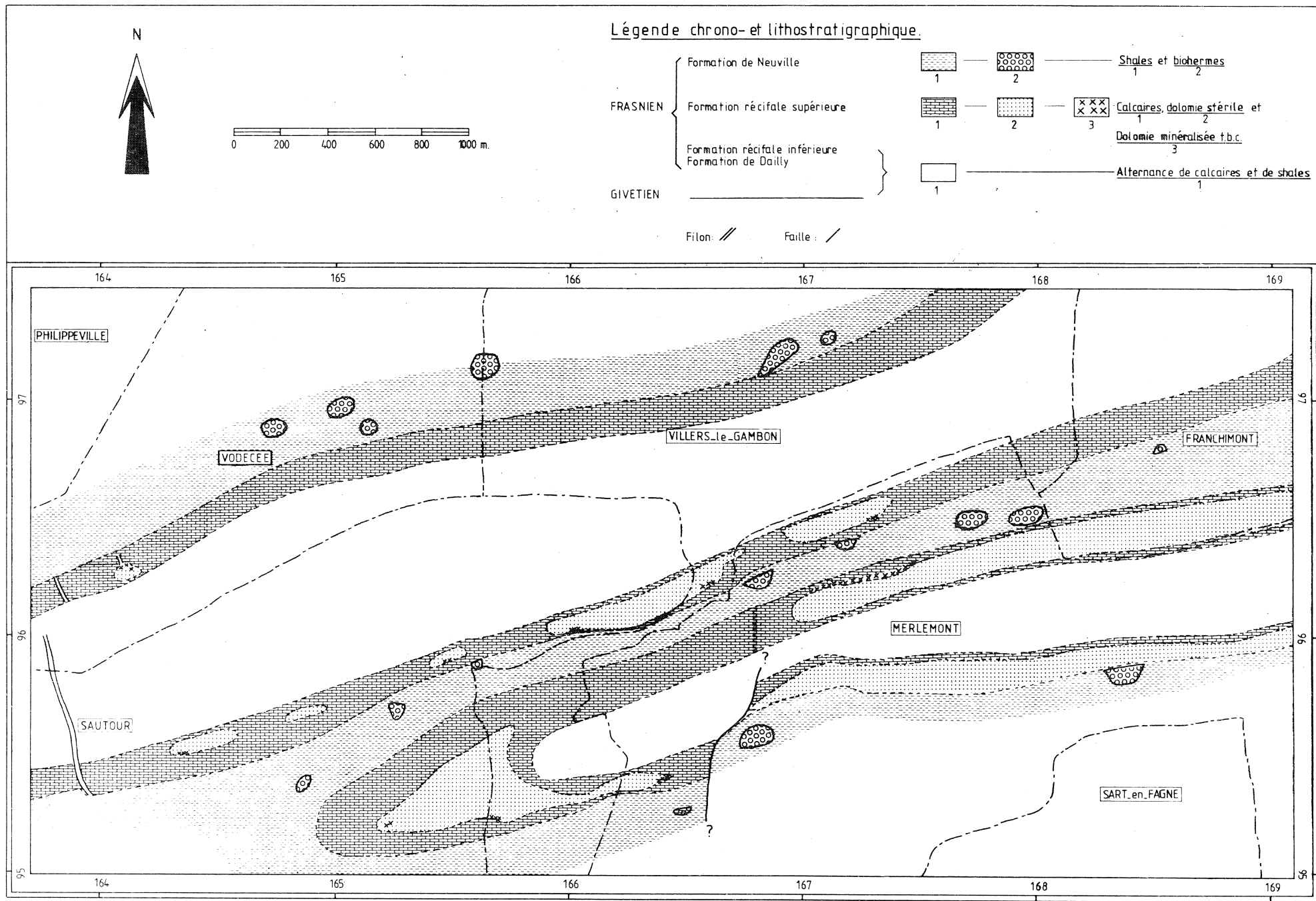
MASSIF de PHILIPPEVILLE				
CHRONOSTRATIGRAPHIE		LITHO - LOGIE	EPAISSEURS (m)	FORMATIONS
FRASNIEN	F2 i j		100	Neuville
			100	Récifale supérieure
	F2 e f		50	Récifale inférieure
	F2 cd			
	F2 ab		40	Dailly
GIVETIEN	F1 bc		80	Fromelennes
	F1 a		40	
	Gi		(40)?	Charlemont

Figure 3. Massif de Philippeville - Légende chrono - et lithostratigraphique.



Figure 4. Carte géologique de la région de Philippeville - Merlemont.



## 2.2 Cadre paléogéographique.

Tsien (1984) a défini les grands traits de la paléogéographie frasnienne. Il distingue deux phases : l'une relativement stable, cas du F2c à h ; l'autre transgressive, cas du F2ij.

1. Durant la phase relativement stable (fig. 5), l'aire de sédimentation présente deux parties distinctes : au Nord, une plate-forme relativement stable et au Sud, un bassin plus subsident. Des biostromes se développent sur la plate-forme tandis que dans le bassin, des biohermes s'interdigitent au sein de séries argileuses. En outre, des organismes constructeurs se fixent en bordure de la plate-forme où ils édifient des barrières récifales qui peuvent isoler à certains moments les eaux de la plate-forme.

- R1 : récifs barrières
- R2 : patch reefs
- R3 : complexes biohermaux
- R4 : biostromes
- R5 : mud mounds
- R6 : récifs frangeants

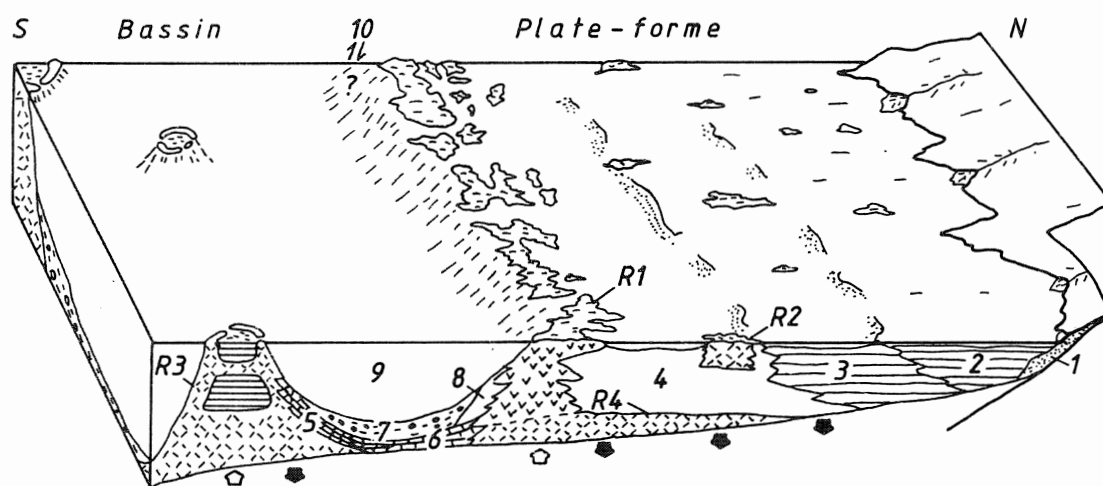


Figure 5. Modèle simplifié de complexe récifal développé pendant une phase de stabilité relative du fond (cas du F2c au F2h): 1. faciès littoral très localisé ; 2. faciès lagunaires ; 3. faciès sublagunaire ; 4. faciès subrécifal ; 5. et 6. calcaires contemporains du développement des récifs ; 7. schistes noduleux synchrones de l'édification récifal ; 8. les relations entre les récifs barrières et le bassin sont inconnues ; 9. schistes azoïques postérieurs au développement des récifs ; la source des matériaux terrigènes se trouve probablement au S ; 10. différenciation du bassin sédimentaire en deux parties (bassin sensu-stricto et plate-forme) en relation soit avec une faille contemporaine de la sédimentation soit une zone de flexure. Flèches noires, subsidence. Flèches blanches, croissance des récifs (d'après Tsien, 1983, 1984).

2. Durant la phase transgressive (fig. 6), toute l'aire de sédimentation est subsidente et on assiste à un nouvel apport de matériel terrigène. Les organismes qui tolèrent les eaux boueuses se fixent sous la forme de biohermes de type mud-mound.

- R1 : récifs barrières
- R2 : patch reefs
- R3 : complexes biohermaux
- R4 : biostromes
- R5 : mud mounds
- R6 : récifs frangeants

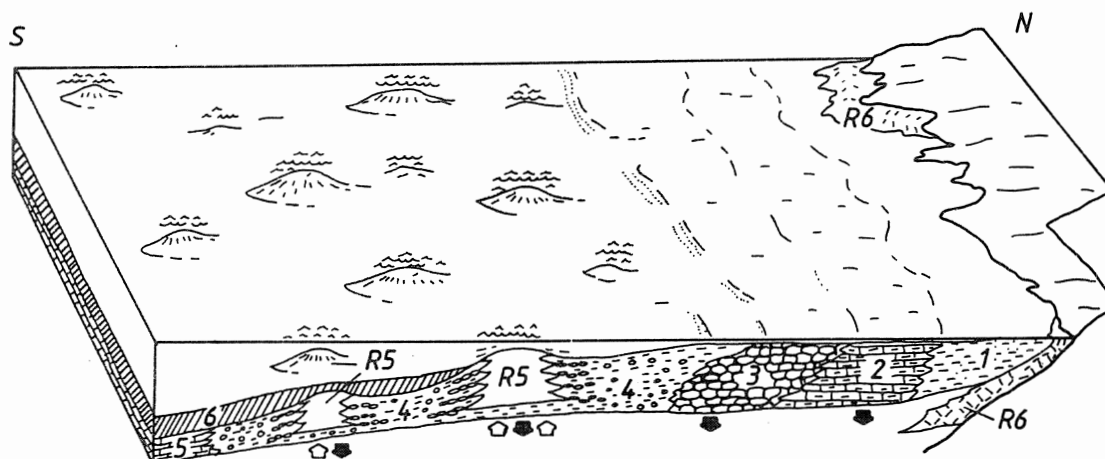


Figure 6. Modèle simplifié de complexe récifal développé pendant une phase transgressive (cas du F2ij): 1. faciès littoral ; 2. calcaires argileux ; 3. calcaires noduleux ; 4. schistes noduleux ; 5. calcaires pélagiques ; 6. schistes pélagiques. Flèches noires, subsidence. Flèches blanches, croissance des récifs (d'après Tsien, 1983, 1984).

Le Massif de Philippeville se situe en bordure méridionale de la plate-forme (voir, par exemple Tsien, 1980 - figure 8). A cet endroit, durant le F2gh, une barrière récifale s'est individualisée. C'est également là que le phénomène de dolomitisation s'est développé.

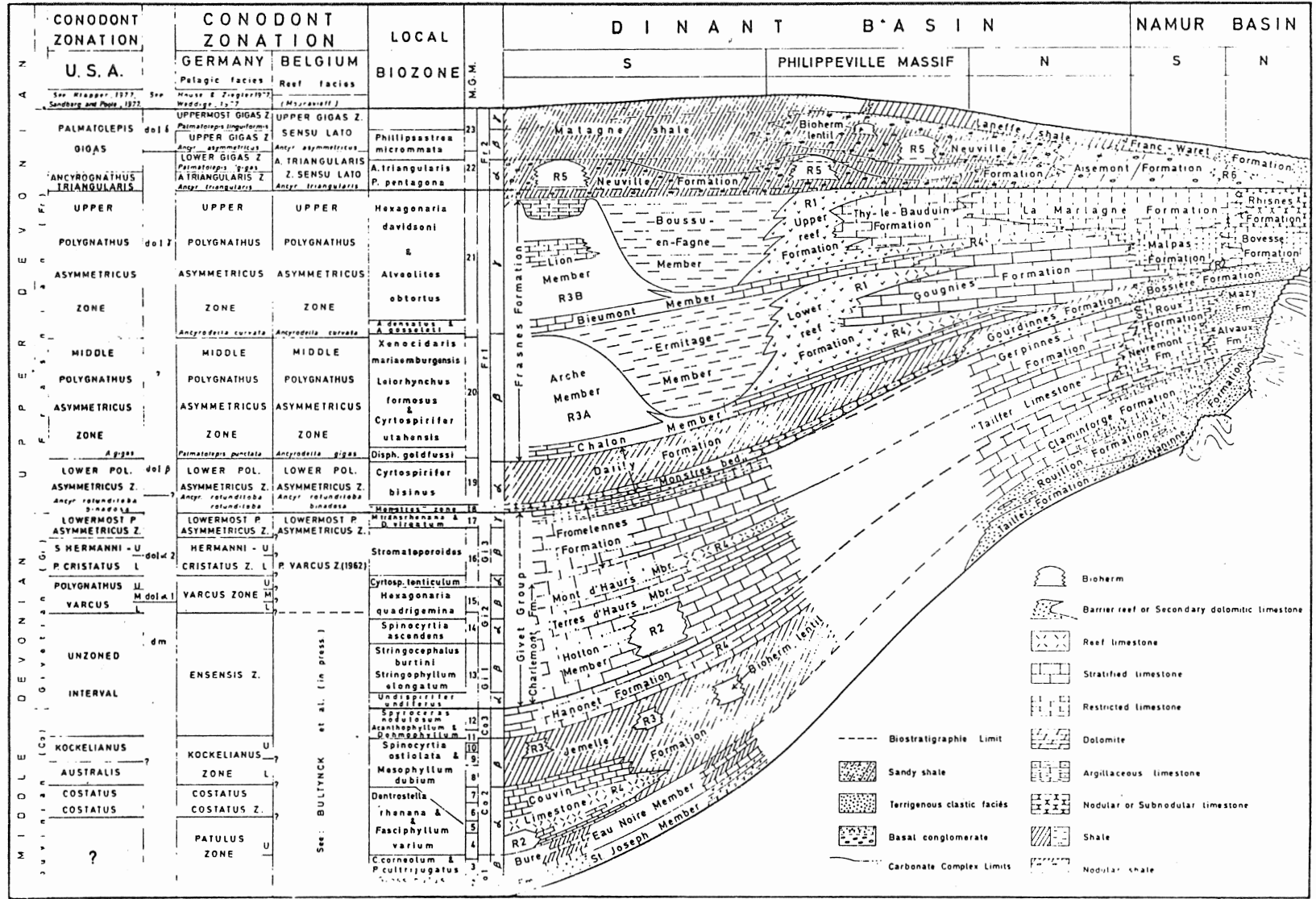
Lecompte (1963) signale en effet, qu'il n'affecte que les calcaires purs ou peu argileux de la plate-forme, formés en eau peu profonde, dans la zone de turbulence, comme ceux construits par les stromatoporoïdes lamellaires et massifs des barrières récifales. Il n'affecte pas les calcaires argileux à coraux situés dans les zones soumises à la subsidence.

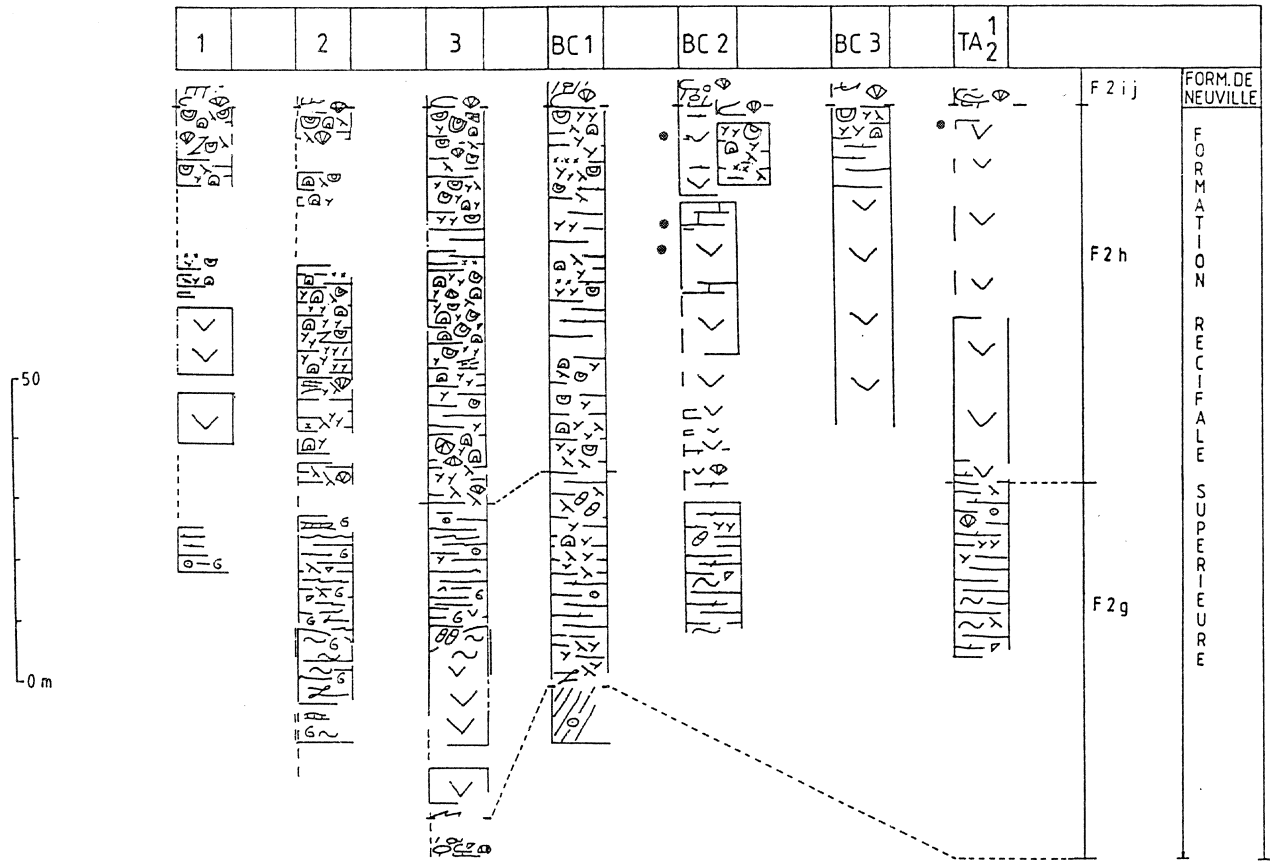
Cornet (1977) a étudié en détail une coupe située le long d'une ancienne tranchée de chemin de fer à Neuville (fig.7 - point 3). Elle correspond au complexe biostromal<sup>1</sup> F2gh. Cornet (1977) précise qu'on se trouve dans un environnement de back reef, très près de la barrière récifale.

Coen & Coen-Aubert (1975) ont décrit cinq sondages effectués par le Compagnie Asturienne des Mines en 1964 et 1966 à Sautour et Merlemont (fig. 8 - points BC1, BC2 et TA1-2). L'étude a été complétée par la description d'autres affleurements (Coen, 1977) parmi lesquels trois ont retenu notre attention. Ce sont ceux qui décrivent la Formation récifale supérieure (fig. 8 - points 1, 2 et 3). Coen & Coen-Aubert distinguent deux unités dans la Formation récifale supérieure. La première (F2g) est formée de calcaires en bancs minces à faunes coralliennes avec des intercalations de lentilles récifales (double marge dans la figure 8). Elle correspondrait à un faciès de lagon. La seconde (F2h) forme un complexe biostromal qui vers le sud se terminerai en barrière récifale. C'est ce complexe qui est complètement ou partiellement dolomitisé à BC2, BC3, TA1-2 et à Philippeville nord.

<sup>1</sup> Il définit le complexe biostromal comme étant un ensemble constitué de biostromes et de bancs non construits qui le prolongent latéralement ou les séparent.

Figure 7. Corréations Belgique - Allemagne - U.S.A.: Figure montrant les relations stratigraphiques entre les différents faciès sédimentaires et les corréations stratigraphiques entre la séquence devonienne belge et les autres localités en Allemagne et aux U.S.A. (d'après T sien, 1980)





Légende :

- ⊕ Stromatopores massifs
- × Stromatopores branchus
- ⊗ Stromatopores lamellaires
- λ Tabulés branchus
- ~ Tabulés lamellaires
- ◇ Hexagonaria
- ⊕ Phillipsastraea
- ⊕ Disphyllum
- ▽ Rugueux solitaires
- ⊙ Crinoides
- ⊕ Brachiopodes
- ⊕ Dolomie
- ⊕ Calcaire
- ⊕ Calcaire nodulaire
- ⊕ Shales
- XX Brèches

- 1 : Philippeville Nord (anticlinal de Philippeville)
- 2 : Philippeville Sud (anticlinal de Senzeille)
- 3 : Neuville - Ancienne tranchée (anticlinal de Senzeille)
- BC1-BC2-BC3 : Sautour - Bois des Corbeaux (anticlinal de Sautour)
- TA1-2 : Merlemont - Carrière Matissen (anticlinal de Merlemont)
- Minéralisation : ●

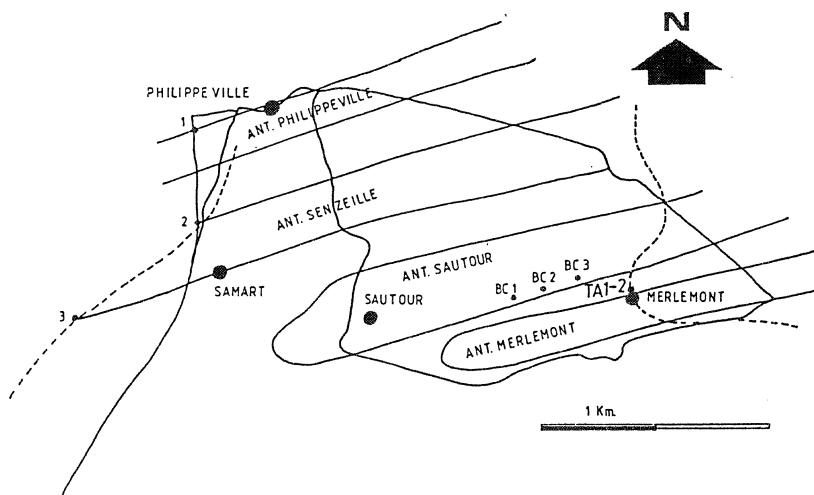


Figure 8. Extraits de figures d'après Coen & Coen-Aubert (1975) et Coen (1977).



## Chapitre 3. Caractérisation des dolomies frasniennes du Massif de Philippeville.

### 3.1 Introduction.

Dans la région étudiée, la dolomitisation n'affecte que la Formation récifale supérieure. A Merlemont, les dolomies forment de grands amas (70 mètres d'épaisseur, plus de 2 km d'extension latérale E-W et plus d'1 km d'extension latérale N-S). A Sautour, ceux-ci sont de plus petite taille. Dans les grands amas, la dolomie remplace pratiquement toute la masse calcaire. Ce sont ces grands amas qui sont actuellement exploités. La dolomitisation débute quelques mètres au-dessus de la base de la Formation récifale supérieure et peut :

- soit en atteindre le sommet et être en contact direct avec les shales noduleux de la Formation de Neuville ;
- soit ne pas en atteindre le sommet et être surmontée par quelques mètres de calcaire. Le contact dolomie-calcaire s'accompagne, dans certains cas, d'une minéralisation.

### 3.2 Caractères pétrographiques.

Sur base de leur aspect macroscopique, on peut distinguer 4 types de dolomies :

- **Type 1 : la dolomie grisâtre finement à moyennement grenue** (pl. I.A.). Elle est constituée de cristaux de dolomite xénomorphes à hypidiomorphes (150 à 600 micromètres), riches en lacunes de cristallisation. En outre, on peut encore y reconnaître des articles de crinoïdes, parfois granoclassés, des brachiopodes, des polypiers et des stromatopores.
- **Type 2 : la dolomie blanchâtre à jaunâtre**, formée de cristaux hypidiomorphes de dimension généralement supérieure au millimètre, moins riches en lacunes de cristallisation que dans le type précédent. Par endroits, de nombreuses vacuoles affectent ce type de dolomie. Elle ne renferme aucune trace de fossile.
- **Type 3 : la dolomie rubanée (ou zébrée, ou franciscaine)** (pl.I.B.) constituée par l'alternance rythmique d'ordre plurimillimétrique à pluricentimétrique de plaques de dolomies grisâtres et blanchâtres. Les rythmites sont rigoureusement parallèles à la stratification. On peut distinguer 3 générations subséquentes de dolomies :
  1. une dolomie grisâtre de type 1;
  2. une dolomie blanchâtre, parfois zonée, à croissance centripède entre deux plaques de dolomie grisâtre. Elle s'apparente à la dolomie de type 2;
  3. souvent, la partie centrale reste vide. Parfois, elle est occupée par une troisième génération de dolomie, à cristaux xénomorphes de dimension supérieure au millimètre. Cette dernière est macroscopiquement jaunâtre mais transparente sous le microscope.
- 4. Plusieurs particularités peuvent être soulignées :
- 5. A la base d'une plaque blanche, s'intercale parfois une mince plaque de dolomie sombre, finement grenue, à lacunes de cristallisation très abondantes (structure géopétale);
- 6. dans la partie supérieure de la série dolomitique, les plaques blanchâtres sont discontinues, voire remplacées par des alignements de mouchetures géodiques de dolomie blanchâtre (dolomie mouchetée). La base des mouchetures est souvent soulignée par la présence de dolomie noire finement grenue (structure géopétale) (pl.I.C);
- 7. les plaques de dolomie blanchâtre de type 3.2. sont parfois isolées au sein de bancs de dolomies grises de type 1 bien délimités par des joints argileux stylolithiques (fig. 9);

8. certaines plaques de dolomie blanchâtre sont limitées aux épontes par des surfaces de formes différentes : à la base, il s'agit de surface relativement planes; par contre au sommet, les surfaces présentent des circonvolutions plus ou moins complexes (structure géopétale) (fig. 9);
  9. la structure rubanée s.s. évolue parfois latéralement vers une structure bréchique (clastes de dolomie grise cimentés par de la dolomie blanchâtre).
- **Type 4 : la dolomie grisâtre grossièrement grenue.** (pl. I,D,E,F,) Ce type de dolomie n'a été observé que très rarement, en particulier au lieu-dit "Notre-Dames de Lourdes", à Sautour. Mais chaque fois qu'elle a été rencontrée, elle était positionnée au front de dolomitisation et plus particulièrement, vers le sommet des amas dolomitiques, immédiatement sous les derniers mètres de calcaires frasniens du sommet de la Formation récifale supérieure. Il s'agit d'une dolomie formée de cristaux de grande taille, gris clair, entre lesquels s'insinue souvent de la matière organique noire. Elle est également mouchetée et veinulée par de la dolomie blanchâtre à jaunâtre. Les fossiles, même fantomatiques, y sont absents. Elle est quasi systématiquement minéralisée en sphalérite et pyrite et, assez rarement, en galène. Les caractères microscopiques de ces divers minéraux sont décrits dans les lignes qui suivent.
1. *La dolomite* est automorphe à hypidiomorphe. La dimension des cristaux est très variable (quelques centaines de  $\mu\text{m}$  à 2 mm et plus). Dans un même échantillon, on peut avoir soit des cristaux de même dimension, soit des cristaux de deux dimensions différentes et le passage d'une granulométrie à l'autre est rapide. Les cristaux sont généralement turbides et certains sont zonés en périphérie. Leur extinction est franche ou ondulante. Lorsque les grains sont fracturés, de la calcite et/ou de la dolomite colmatent les cassures, surtout au front de dolomitisation.
  2. *La matière organique* est soit présente sous forme d'un mince film s'insinuant entre les cristaux de dolomite, soit concentrée dans de plus grandes plages (millimétriques ou centimétriques), soit localisée dans des joints stylolitiques. Ces derniers atteignent souvent quelques millimètres d'épaisseur. Les faces cristallines des cristaux de dolomite en contact avec la matière organique présentent souvent des anneaux de croissance. Dans ces plages de matière organique, on trouve aussi des minéraux des argiles, de la pyrite framboïdale, de la calcite, de la dolomite et de la sphalérite, en cristaux de dimension inférieure au millimètre.
  3. *La sphalérite* est généralement automorphe, de dimension variable (jusqu'à plusieurs centimètres) et coïncée entre les grains de dolomite. En général, les cristaux de sphalérite sont de dimension supérieure aux cristaux de dolomite qui les entourent. On observe parfois des inclusions de dolomite dans la sphalérite et vice versa. La sphalérite est brune à brun-rouge et montre des anneaux concentriques de couleurs différentes. De la pyrite framboïdale micrométrique entoure souvent la sphalérite centimétrique. Quand la sphalérite est fracturée, elle est colmatée par de la calcite et/ou de la dolomite. On la rencontre aussi dans des veinules et dans des joints stylolitiques. Dans ce derniers cas, il arrive que l'on observe des textures de dissolution. La sphalérite s'altère en smithsonite.
  4. *La galène* a des dimensions millimétriques à centimétriques. Elle s'insère entre les rhombes de dolomite. Elle est nettement tardive.



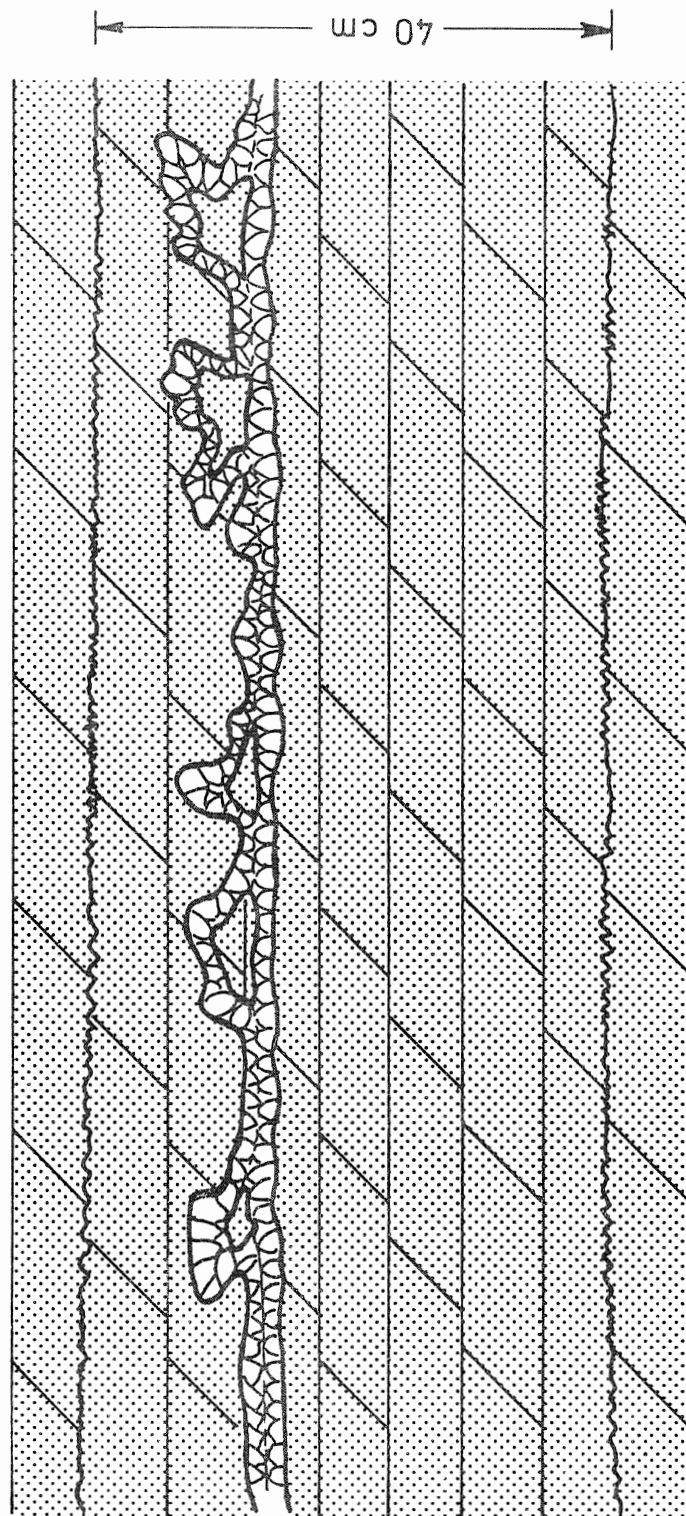


Figure 9. Banc de dolomie grise de type 1: Banc de dolomie grise de type 1 délimité par des joints argileux stylolitiques et contenant un horizon de dolomie blanchâtre de type 3. 2. Cette dernière est caractérisée par une base plane et un sommet circonvoqué.

### 3.3 Conclusions.

Les observations mégascopiques permettent de dégager les conclusions suivantes :

- toutes les variétés de dolomie sont postérieures aux calcaires, qu'elles métasomatisent plus ou moins fortement (reliques de fossiles). Les limites de bancs sont toutefois souvent conservées;
- la dolomie grisâtre finement à moyennement grenue (type 1) est la plus précocce. Elle contient encore des fantômes de fossiles. Elle est progressivement remplacée par les dolomie de types 2 et 3 au cours de phases successives de dissolution - reprécipitation;
- les dolomie sombres de types 3.4 et 3.6. sont les reliquats de dissolution de dolomie grise de type 1;
- la dolomie blanche à croissance centripède a précipité soit dans des vides parallèles à la stratification (type 3.2) soit dans des géodes (type 3.5);
- on passe de façon progressive des dolomies grises (type 1) aux dolomies blanchâtres (type 2) par l'intermédiaire des dolomies rubanées, bréchiques et mouchetées.

Par contre, la place de la dolomie grisâtre grossièrement grenue (type 4) dans la séquence qui vient d'être décrite est moins claire. Sur base des observations de terrain, rien ne s'oppose à ce que les dolomies grises de types 1 et 4 soient contemporaines. Il est possible que localement, au front de dolomitisation, certaines conditions aient favorisé la cristallisation de dolomie de type 4 plutôt que celle de type 1. Mais il est tout aussi possible que la dolomie grisâtre de type 4 caractérise une phase de dolomitisation nettement plus tardive que celle responsable de la dolomie grise de type 1.

Enfin, vouloir introduire une relation d'espace-temps entre les différents types de dolomies ne se justifie peut-être pas toujours. Il est possible en effet que certaines dolomies de types différents soient contemporaines et liées à des profaciés ou des protolithologies particulières (phénomène de mimétisme).

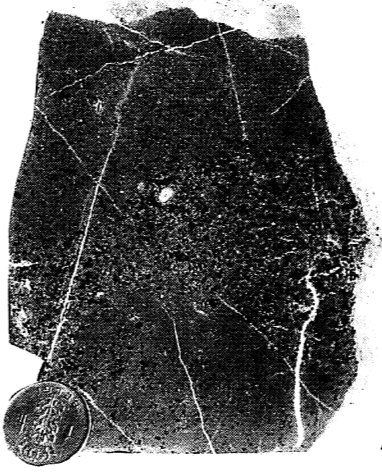
Par exemple, les dolomies rubanées pourraient dériver de calcaires à laminations cryptalgaires ou de rythmites à évaporites, les dolomies blanches, de calcaires massifs. Les processus de dolomitisation auraient pu se développer au même moment sur des substrats variables mais à partir d'une même solution dolomitisable.

Minéralisation et dolomitisation de type 4 semblent deux phénomènes concomitants. On rencontre en effet des inclusions réciproques de dolomite et de sphalérite. En outre, l'abondance de matière organique dans ce type de dolomie traduit le caractère réducteur du protosédiment, ce qui a peut-être joué un rôle dans la fixation des métaux.

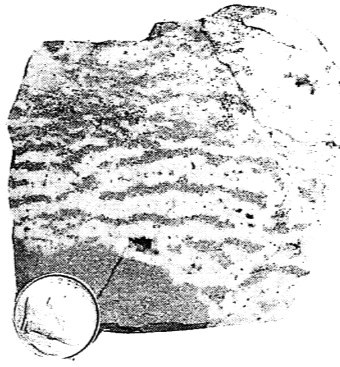


***Planche I.***

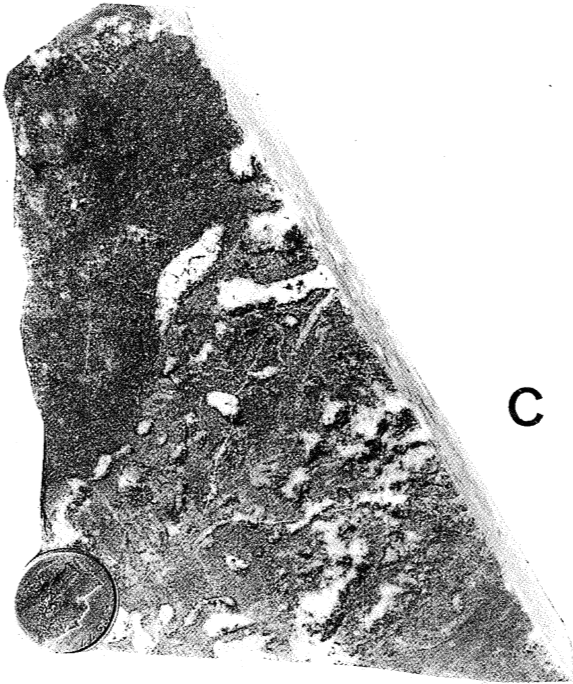
- Photo A.** Formation récifale supérieure. Dolomie grisâtre (type 1) riche en articles de Crinoïdes (taches plus sombres)
- Photo B.** Formation récifale supérieure. Dolomie rubanée (type 3)
- Photo C.** Formation récifale supérieure. Dolomie mouchetée (type 3.5)
- Photo D.** Formation récifale supérieure. Contact entre la dolomie blanchâtre à jaunâtre (type 2) et la dolomie grisâtre, grossièrement grenue (type 4). Cette dernière est minéralisée en sphatérite (taches noires)
- Photo E.** Formation récifale supérieure. Dolomie grisâtre, grossièrement grenue (type 4)
- Photo F.** Formation récifale supérieure. Contact entre la dolomie grossièrement grenue (type 4) et les calcaires sus-jacents.



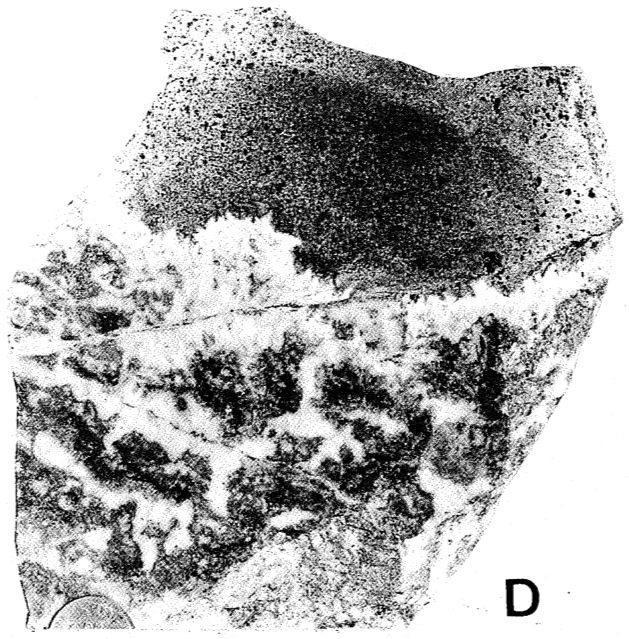
A



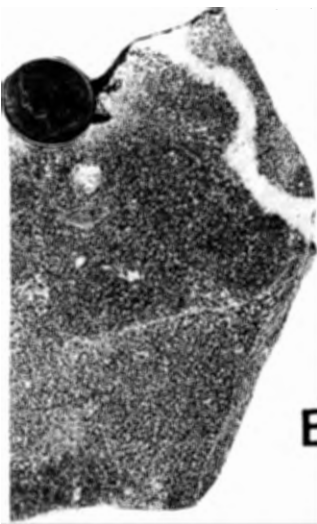
B



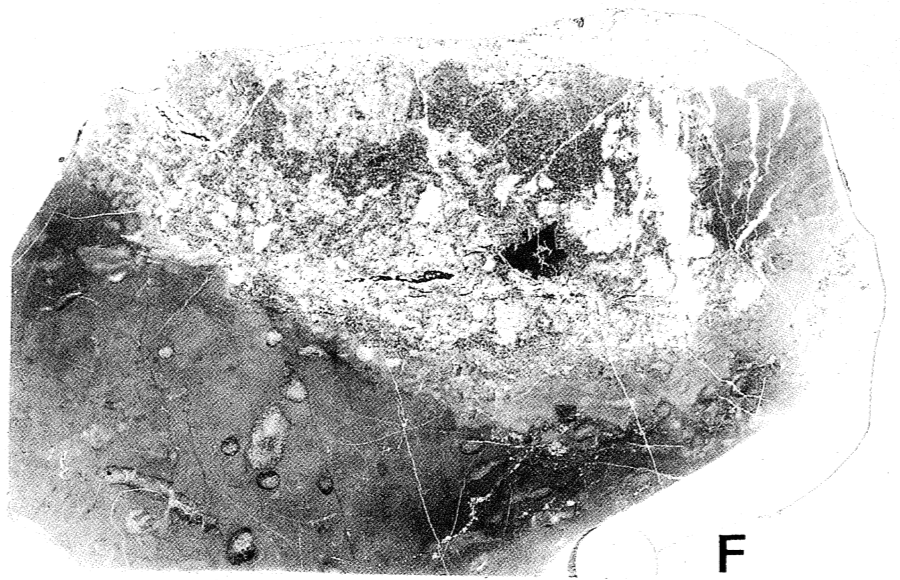
C



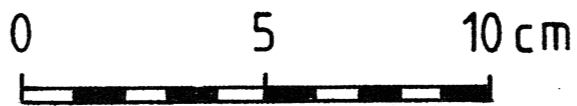
D



E



F





## Chapitre 4. Etude lithogéochimique de la formation récifale supérieure.

Pour cette étude géochimique, 71 échantillons appartenant à la Formation récifale supérieure ont été répartis en trois groupes :

1. les calcaires de la base et du sommet (15 échantillons)
2. les dolomies de types 1 à 3 (27 échantillons)
3. les dolomies de type 4 (29 échantillons)

Parmi ces 71 échantillons, 24 ont été prélevés dans la carrière exploitée en 1986 par la société Matissen et située au Nord du village de Merlemont. Un schéma de cette carrière correspondant à la situation existant en 1986 est montré à la figure 10.

Les analyses ont été réalisées par P. Gérard au Laboratoire Central du Ministère des Affaires Economiques de Belgique, par spectromètre d'émission avec plasma à couplage inductif. Les 17 éléments suivants ont été dosés :

- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, et perte au feu exprimés en %;
- Na, Zn, Fe, Mn, Pb, V, Co, Ni, Cr, As, Cu, Sr et Ti exprimés en ppm.

Les résultats analytiques détaillés sont montrés aux tableaux 1 à 3. Au tableau 4, figurent les analyses des échantillons propres à la carrière Matissen.

Des profils géochimiques établis dans la carrière Matissen sont montrés aux figures 11 à 14. On constate que les trois groupes lithologiques considérés présentent des comportements géochimiques distincts. D'une façon très schématique on peut dire que :

1. les calcaires du sommet de la Formation récifale supérieure possèdent des anomalies en Fe, Zn et Pb.
2. les dolomies des types 1, 2 et 3 se caractérisent par des logs plats et des fonds géochimiques en métaux assez faibles (sauf en Pb)
3. les dolomies de type 4 sont, par rapport aux autres types de dolomies, fortement enrichies en Zn, Fe, Mn, Ti, Cu et, dans une moindre mesure, en Pb, V et Cr.

Une étude statistique portant sur la moyenne arithmétique, l'écart-type, le coefficient de variation et les corrélations binaires a été réalisée. Les échantillons anomaux ont été écartés des groupes de calcaire et de dolomies de types 1 à 3. Par contre, pratiquement toutes les dolomies de types 4 étant anormales, le même genre de sélection n'a pas été opéré pour cette population. Les résultats sont présentés aux tableaux 4, 5 et 6 et aux figures 15 et 16.

Les conclusions principales qui se dégagent sont les suivantes :

**Sr** : valeur moyenne dans les calcaires : 245 ppm et dans les dolomies de types 1 à 3 : 32 ppm. Les teneurs en Sr sont aussi plus élevées dans les calcaires de la base que dans ceux du sommet. Cette information doit être prise avec prudence étant donné le petit nombre d'échantillons.

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Ti** : ces deux éléments présentent une très forte corrélation positive (fig. 15). C'est dans les dolomies de types 1 à 3 que leurs concentrations sont les plus faibles : en général, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 0.40% et Ti < 80 ppm. Dans les dolomies de type 4, ces teneurs sont plus élevées : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 0.20% et Ti variant de 40 à 200 ppm.

**Na** : les teneurs varient peu dans les différents groupes considérés. Les dolomies sont cependant légèrement enrichies en Na par rapport aux calcaires.

**Zn et Cu** : dans les dolomies de types 4, ces deux éléments présentent une corrélation positive (fig. 16). Dans les dolomies de types 1 à 3, les teneurs en Zn et Cu sont très basses ; en général, Zn < 35 ppm et 3 < Cu < 5 ppm. Dans les calcaires de la base et du sommet, les teneurs sont variables. Les calcaires les plus riches en Zn sont ceux situés directement au contact avec les dolomies de type 4.

**Fe** : il se trouve à des teneurs plutôt basses dans les calcaires (certaines valeurs sont < 1000 ppm). Dans les dolomies de types 1 à 3, Fe varie de 1000 à 2500 ppm et dans les dolomies de type 4, de 1750 à 4500 ppm.

**Mn** : on constate un enrichissement progressif en Mn dans les dolomies de types 1 à 3 par rapport aux calcaires et dans les dolomies de type 4 par rapport aux dolomies de types 1 à 3

calcaires :  $Mn < 100$  ppm

dolomies de types 1 à 3 :  $50 < Mn < 130$  ppm

dolomies de type 4 :  $100 < Mn < 200$  ppm

**Pb** : dans les calcaires et les dolomies de types 1 à 3, Pb se situe pratiquement aux mêmes teneurs (40 à 50 ppm). Dans les dolomies de type 4, les teneurs sont un peu plus élevées (40 à 100 ppm).

**As** : dans la plupart des cas, les teneurs en As sont inférieures à la limite de détection de l'appareil (10 ppm). Pour deux échantillons, l'augmentation des teneurs en As est liée à la celle de la fraction détritique et au Fe;



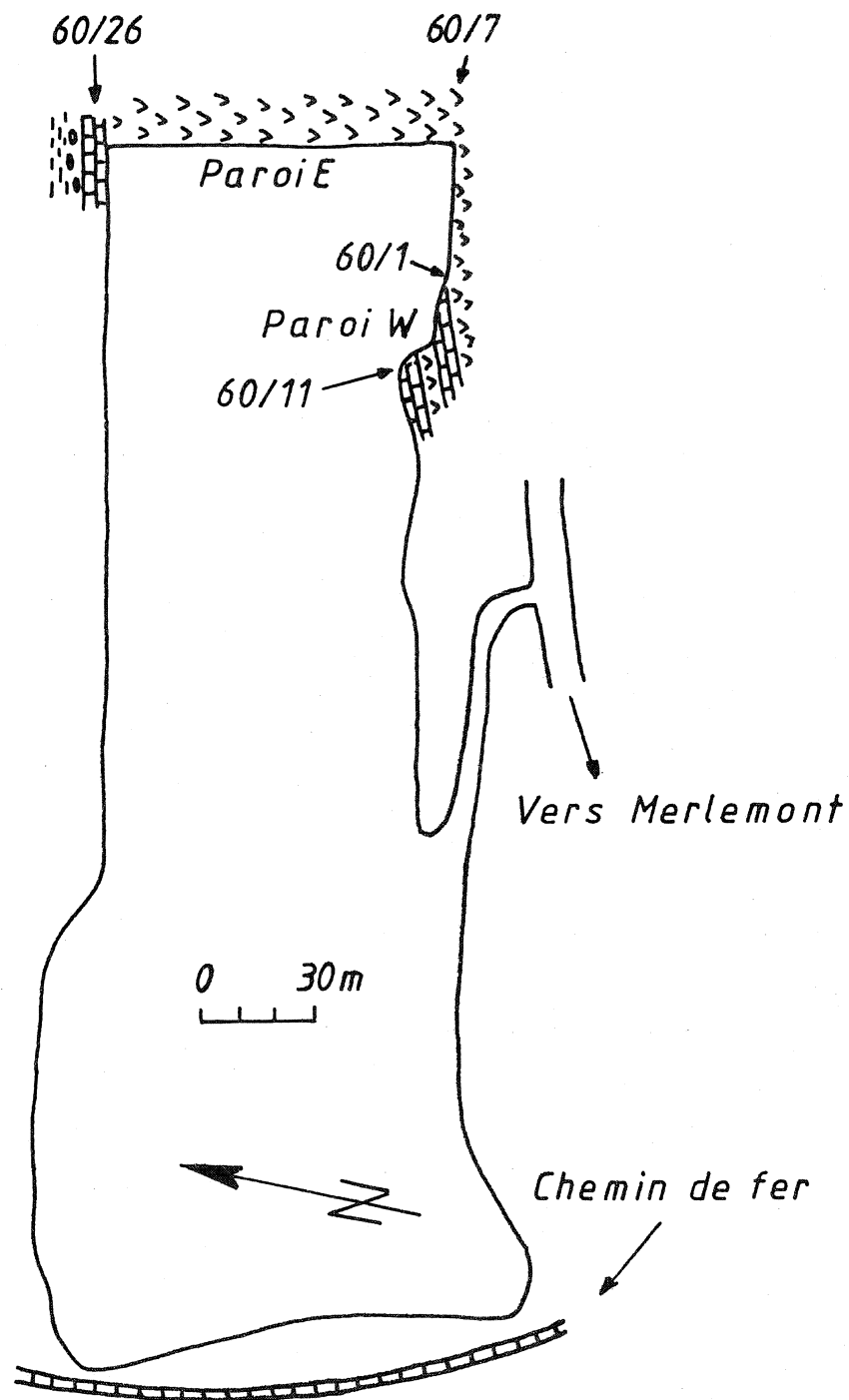


Figure 10. Schéma de la carrière Matissen (1986): Les échantillons prélevés à la paroi "Ouest" correspondent au log de la figure 11; ceux à la paroi "Est", aux logs des figures 12 et 13. Les deux bancs calcaires visibles à la paroi Ouest disparaissent vers l'Est où ils sont complètement dolomitisés.

N°	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Fe	Mn	Pb	V	Co	Ni	Cr	As	Cu	Sr	Ti
	oxydes en %			éléments en ppm												
1	54.5	0.2	0.31	145	62	300	41	48	5	7	14	5	5	5	141	67
2	53.9	0.7	0.35	104	20	380	30	42	5	7	13	5	5	6	168	82
3	54.0	0.4	0.22	104	48	980	62	45	5	7	14	5	5	6	174	103
4	51.6	1.6	0.19	106	256	920	57	44	18	8	14	5	5	7	180	55
5	52.8	0.4	0.09	67	8700	530	66	46	5	8	13	5	5	48	186	44
6	50.6	0.5	1.50	128	360	4300	124	96	16	10	21	21	5	10	189	365
7	52.7	0.3	0.50	460	16	1280	68	42	3	8	15	10	5	5	193	95
8	52.8	0.2	0.35	78	56	2540	95	45	8	8	17	9	5	6	200	60
9	54.5	0.2	0.30	71	36	630	70	42	5	7	14	5	5	3	214	58
10	53.0	0.2	0.25	64	40	340	51	45	5	7	14	5	5	5	227	35
11	51.1	1.9	0.15	156	8	440	32	50	3	22	14	5	5	7	230	16
12	48.0	0.0	1.70	200	63	5040	160	700	8	9	22	16	5	10	300	370
13	50.8	1.5	0.50	137	44	1890	90	50	8	8	17	10	5	6	345	111
14	49.8	2.9	0.35	152	14	1000	52	44	7	7	15	5	5	3	365	58
15	46.8	0.2	0.20	168	15	430	26	42	3	17	14	5	5	6	560	26

Tableau 1. Analyses chimiques des échantillons correspondant aux calcaires.

N°	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Fe	Mn	Pb	V	Co	Ni	Cr	As	Cu	Sr	Ti
	oxydes en %			éléments en ppm												
1	31.0	19.2	0.17	182	130	1600	81	47	9	9	17	10	5	3	32	46
2	30.9	21.3	0.59	165	35	2080	75	45	16	9	18	13	5	5	36	130
3	31.3	22.3	0.08	195	18	1160	63	46	10	9	17	10	5	3	25	19
4	31.0	21.9	0.23	164	23	2110	109	50	10	9	16	11	5	3	32	68
5	30.8	21.8	0.08	129	54	1930	108	72	8	8	15	10	5	3	35	18
6	29.8	21.0	0.57	262	16	2450	120	45	11	9	17	12	5	3	36	146
7	30.7	21.6	0.22	175	11	1180	92	45	9	8	15	10	5	3	35	46
8	25.4	15.1	5.30	0	101	42000	1390	57	47	20	45	38	50	3	40	840
9	28.2	21.5	0.03	149	20	1820	100	45	8	8	15	5	5	3	21	16
10	30.6	20.2	0.40	227	17	1910	108	47	10	8	16	10	5	3	36	70
11	29.9	21.3	0.08	142	10	1760	86	46	8	8	15	5	5	3	22	19
12	30.1	21.5	0.03	132	5	1060	95	47	8	8	15	5	5	3	37	7
13	30.3	21.2	0.15	192	5	1530	96	48	9	8	16	10	5	3	26	28
14	30.0	21.4	0.08	142	5	1340	71	48	9	8	16	10	5	3	33	12
15	30.0	21.6	0.10	141	11	1260	78	49	8	8	16	10	5	3	27	29
16	30.6	21.2	0.25	240	27	1420	82	49	11	8	16	11	5	3	18	57
17	30.4	21.7	0.11	154	11	1100	90	50	10	8	15	11	5	3	35	25
18	30.0	21.4	0.16	145	32	2160	116	59	10	9	16	11	5	3	47	35
19	30.0	21.8	0.05	126	13	930	64	48	10	8	15	10	5	3	25	11
20	30.3	21.8	0.06	130	21	1030	72	49	9	8	15	10	5	3	31	17
21	30.2	21.7	0.08	176	22	1050	74	50	9	9	16	10	5	3	31	19
22	30.5	21.8	0.18	158	33	1060	52	50	9	8	16	11	5	3	27	36
23	50.7	1.2	0.37	59	111	2880	1561	43	6	9	19	10	5	5	43	36
24	29.1	21.4	0.07	180	28	1610	92	46	9	8	15	10	5	3	12	22
25	30.1	20.8	0.08	172	16	1120	85	48	8	8	16	10	5	3	12	20
26	35.3	15.9	0.08	213	7	1960	130	49	9	8	16	10	5	3	70	18
27	29.8	21.0	0.40	172	33	1490	88	49	10	9	17	12	5	5	63	74

Tableau 2. Analyses chimiques des échantillons correspondant aux dolomies de type 1 à 3.

N°	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Fe	Mn	Pb	V	Co	Ni	Cr	As	Cu	Sr	Ti
	oxydes en %			éléments en ppm												
1	28.9	19.6	0.23	186	28000	2750	135	17000	9	9	16	12	5	25	35	60
1	30.0	18.7	2.01	347	330	4490	112	44	21	10	20	20	5	5	62	517
3	31.0	20.5	0.51	191	1120	1800	116	45	11	9	17	14	5	3	39	115
4	31.6	19.2	0.43	309	2460	2100	135	55	10	8	16	14	5	5	40	122
5	29.5	19.3	0.77	310	35000	2210	121	55	12	10	17	15	5	13	35	181
6	31.5	20.1	0.51	215	3700	2180	113	50	11	9	17	13	5	7	44	128
7	31.2	21.7	0.16	252	1400	2080	120	3504	11	8	16	11	5	5	30	57
8	30.2	20.0	1.15	215	4040	2440	109	48	16	9	16	17	5	6	34	230
9	23.3	16.5	2.17	160	92300	4000	140	285	17	13	22	17	5	92	13	320
10	30.9	21.0	0.48	181	2020	2340	129	47	12	8	15	12	5	5	34	99
11	30.2	21.0	0.25	140	10500	2100	101	49	11	9	15	12	5	15	20	82
12	26.4	18.6	0.43	152	68000	2740	92	90	12	11	19	12	5	22	20	157
13	30.3	21.0	0.18	152	10400	2480	122	50	11	9	16	11	5	13	37	58
14	35.5	16.6	0.20	147	6970	3060	146	57	10	9	15	11	5	12	82	38
15	30.1	21.5	0.16	214	12100	2700	141	53	10	9	16	11	5	13	32	38
16	33.5	17.7	0.27	164	105	2690	173	53	10	8	17	12	5	3	58	50
17	29.0	19.9	0.10	124	51000	1800	138	54	8	9	15	10	5	21	22	29
18	29.3	21.2	0.94	158	191	2640	123	47	16	9	17	17	5	5	36	175
19	28.4	19.5	0.17	165	38600	1990	125	52	9	9	15	11	5	42	25	46
20	22.5	15.1	0.40	95	177000	2580	112	68	9	10	19	10	5	198	15	75
21	26.3	18.4	0.50	155	73000	3100	113	92	13	9	14	12	5	40	14	129
22	30.1	20.8	0.16	244	17000	2460	123	50	10	9	19	10	5	10	14	42
23	30.0	20.7	0.65	136	158	2980	120	64	13	8	15	13	5	5	21	132
24	29.4	19.8	0.47	186	26000	2630	125	54	12	9	16	12	5	24	26	103
25	27.9	17.8	3.00	261	400	6110	120	52	27	10	19	28	5	5	24	350
26	40.3	3.3	4.50	160	1400	20000	200	144	32	14	31	36	27	3	12	750
27	30.4	19.3	0.65	243	66	2230	110	44	12	8	16	11	5	3	26	137
28	27.2	19.0	0.40	128	39000	2320	122	53	9	9	16	10	5	30	20	69
29	31.5	20.9	0.15	285	27	1750	114	48	9	8	15	9	5	3	17	42

Tableau 3. Analyses chimiques des échantillons correspondant aux dolomies de type 4.

N°	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Fe	Mn	Pb	V	Co	Ni	Cr	As	Cu	Sr	Ti
	oxydes en %			éléments en ppm												
1	50.6	0.5	1.50	128	360	4300	124	96	16	10	21	21	5	10	189	365
2	40.3	3.3	4.50	160	1400	20000	200	144	32	14	31	36	5	3	12	750
3	27.9	17.8	3.00	261	400	6110	120	52	27	10	19	28	5	5	24	350
4	29.4	19.8	0.47	186	26000	2630	125	54	12	9	16	12	5	24	26	103
5	30.0	20.7	0.65	136	158	2980	120	64	13	8	15	13	5	5	21	132
6	30.1	20.8	0.16	244	17000	2460	123	50	10	9	19	10	5	10	14	42
7	26.3	18.4	0.50	155	73000	3100	113	92	13	9	14	12	5	40	14	129
8	26.4	18.6	0.43	152	68000	2740	92	90	12	11	19	12	5	22	20	157
9	30.5	21.8	0.18	158	33	1060	52	50	9	8	16	11	5	3	27	36
10	30.2	21.7	0.08	176	22	1050	74	50	9	9	16	10	5	3	31	19
11	30.3	21.8	0.06	130	21	1030	72	49	9	8	15	10	5	3	31	17
12	30.0	21.8	0.05	126	13	930	64	48	10	8	15	10	5	3	25	11
13	30.0	21.4	0.16	145	32	2160	116	59	10	9	16	11	5	3	47	35
14	30.4	21.7	0.11	154	11	1100	90	50	10	8	15	11	5	3	35	25
15	30.0	21.6	0.10	141	11	1260	78	49	8	8	16	10	5	3	27	29
16	30.0	21.4	0.08	142	5	1340	71	48	9	8	16	10	5	3	33	12
17	30.3	21.2	0.15	192	5	1530	96	48	9	8	16	10	5	3	26	28
18	30.1	21.5	0.03	132	5	1060	95	47	8	8	15	5	5	3	37	7
19	29.9	21.3	0.08	142	10	1760	86	46	8	8	15	5	5	3	22	19
20	50.8	1.5	0.50	137	44	1890	90	50	8	8	17	10	5	6	345	111
21	49.8	2.9	0.35	152	14	1000	52	44	7	7	15	5	5	3	365	58
22	30.6	21.2	0.25	240	27	1420	82	49	11	8	16	11	5	3	18	57
23	30.6	20.2	0.40	227	17	1910	108	47	10	8	16	10	5	3	36	70
24	28.2	21.5	0.03	149	20	1820	100	45	8	8	15	5	5	3	21	16

Tableau 4. Analyses chimiques des échantillons prélevés dans la carrière Matissen.

Eléments	Moy.arithm.	Ecart-type	Minimum	Maximum
CaO %	52.01	2.21	46.80	54.50
MgO %	0.83	0.87	0.20	2.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.40	0.35	0.15	1.50
Na ppm	144	101	64	460
Zn ppm	75	107	8	360
Fe ppm	1187	1146	300	4300
Mn ppm	61	28	26	124
Pb ppm	49	14	42	96
V ppm	7	5	3	18
Co ppm	9	5	7	22
Ni ppm	15	2	13	21
Cr ppm	7	5	5	21
As ppm	5	0	5	5
Cu ppm	6	2	3	10
Sr ppm	245	115	141	560
Ti ppm	87	88	16	365

Tableau 5. Analyses chimiques moyennes des calcaires.: (N = 13).

Eléments	Moy.arithm.	Ecart-type	Minimum	Maximum
CaO %	30.41	1.22	28.20	35.30
MgO %	21.21	1.21	15.90	22.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.17	0.16	0.03	0.60
Na ppm	170	36	126	262
Zn ppm	20	12	5	54
Fe ppm	1522	444	930	2450
Mn ppm	89	19	52	130
Pb ppm	49	6	45	72
V ppm	10	2	8	16
Co ppm	8	0	8	9
Ni ppm	16	1	15	18
Cr ppm	10	2	5	13
As ppm	5	0	5	5
Cu ppm	3	1	3	5
Sr ppm	32	13	12	70
Ti ppm	39	36	7	146

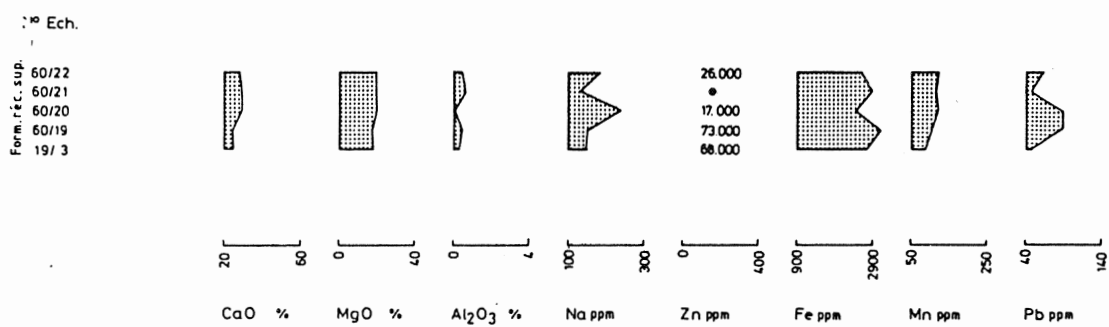
Tableau 6. Analyses chimiques moyennes des dolomies de types 1 à 3.: (N = 24).

Eléments	Moy.arithm.	Ecart-type	Minimum	Maximum
CaO %	30.12	3.21	22.50	40.30
MgO %	18.88	3.52	3.30	21.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.75	0.99	0.10	4.50
Na ppm	195	65	95	347
Zn ppm	22330	38250	27	177000
Fe ppm	3305	3521	1750	20000
Mn ppm	125	22	92	200
Pb ppm	58	21	44	144
V ppm	13	6	8	32
Co ppm	9	1	8	14
Ni ppm	17	3	14	31
Cr ppm	14	6	9	36
As ppm	6	4	5	27
Cu ppm	20	38	3	198
Sr ppm	31	16	12	82
Ti ppm	150	162	29	750

Tableau 7. Analyses chimiques moyennes des dolomies de type 4.: (N = 26).

## MERLEMONT - CARRIERE MATISSEN -

échantillons non en place



## MERLEMONT - CARRIERE MATISSEN -

échantillons non en place

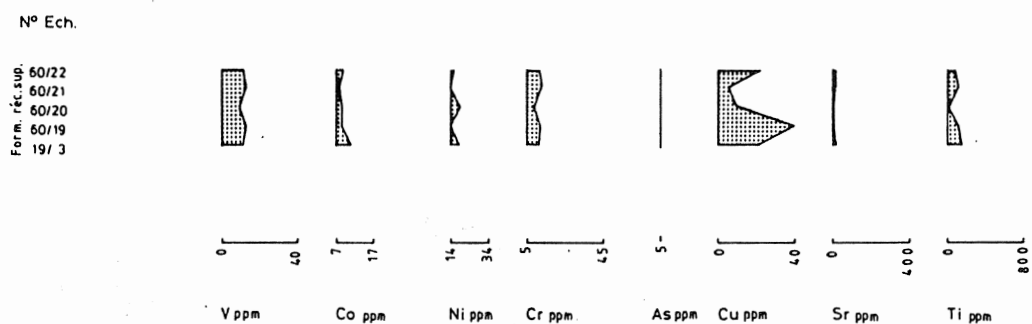
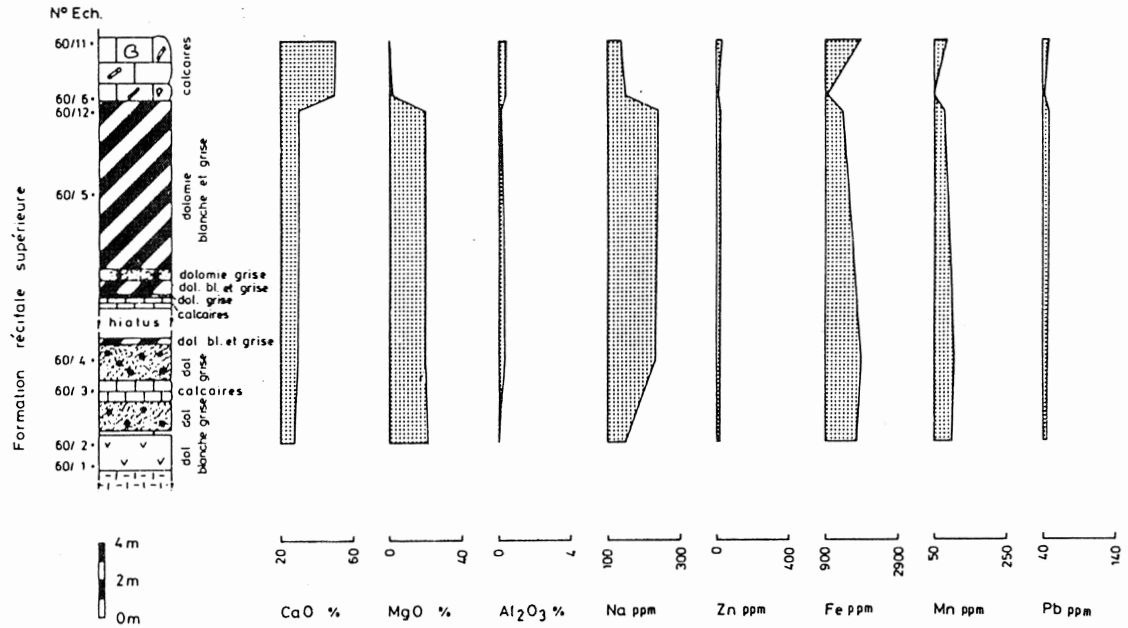


Figure 11. Analyses d'échantillons de dolomies de type 4 prélevés dans la carrière Matissen.

MERLEMONT - CARRIERE MATISSEN : PAROI OUEST -



MERLEMONT - CARRIERE MATISSEN : PAROI OUEST -

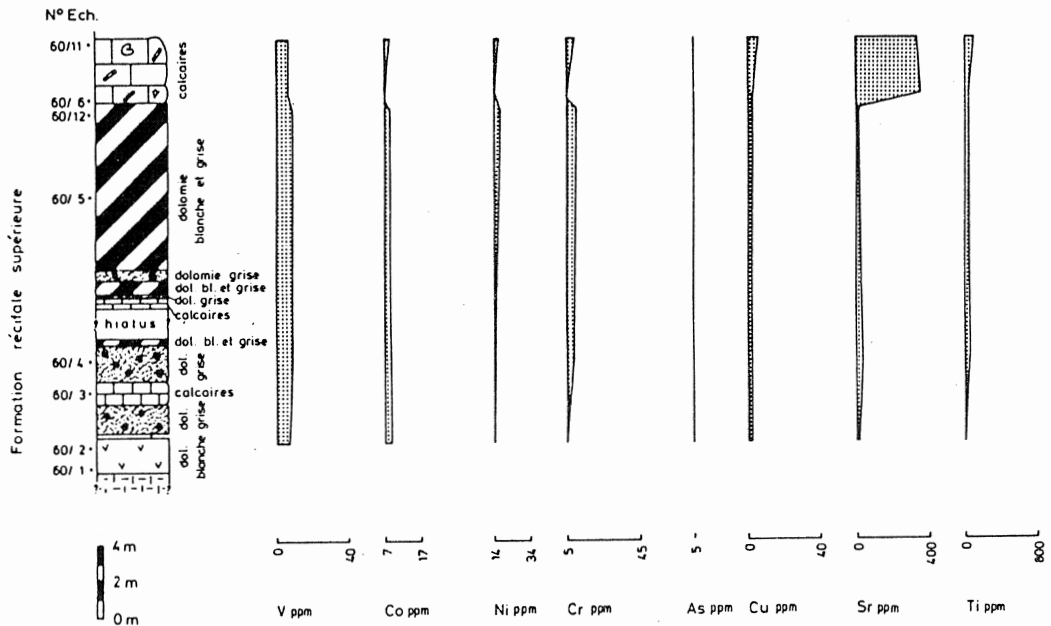


Figure 12. Profils géochimiques dans la Formation récifale supérieure - Carrière Matissen, paroi ouest.

MERLEMONT - CARRIERE MATISSEN : PAROI EST -

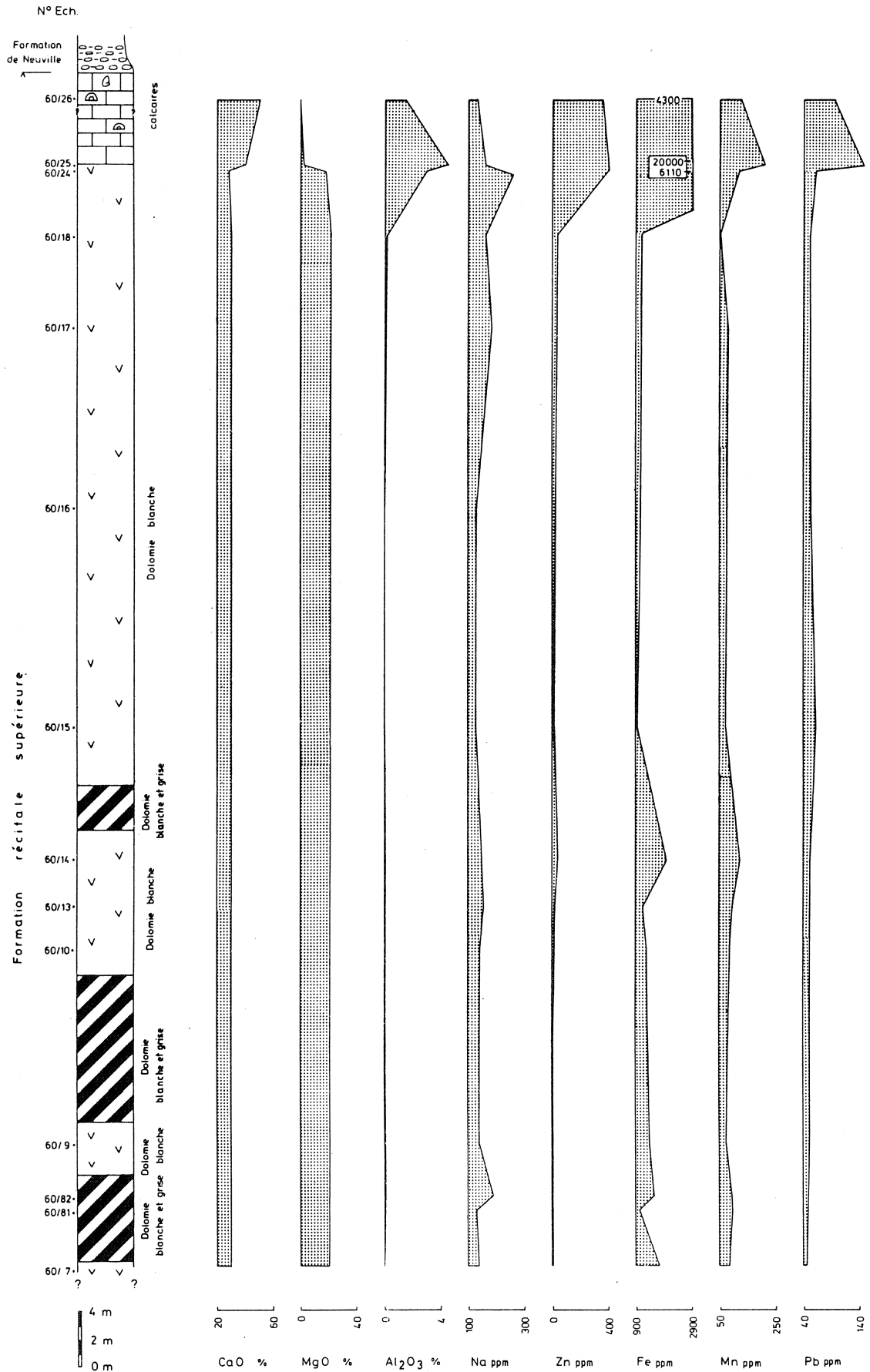


Figure 13. Profils géochimiques dans la Formation récifale supérieure - Carrière Matissen, paroi est.



MERLEMONT - CARRIERE MATISSEN : PAROI EST -

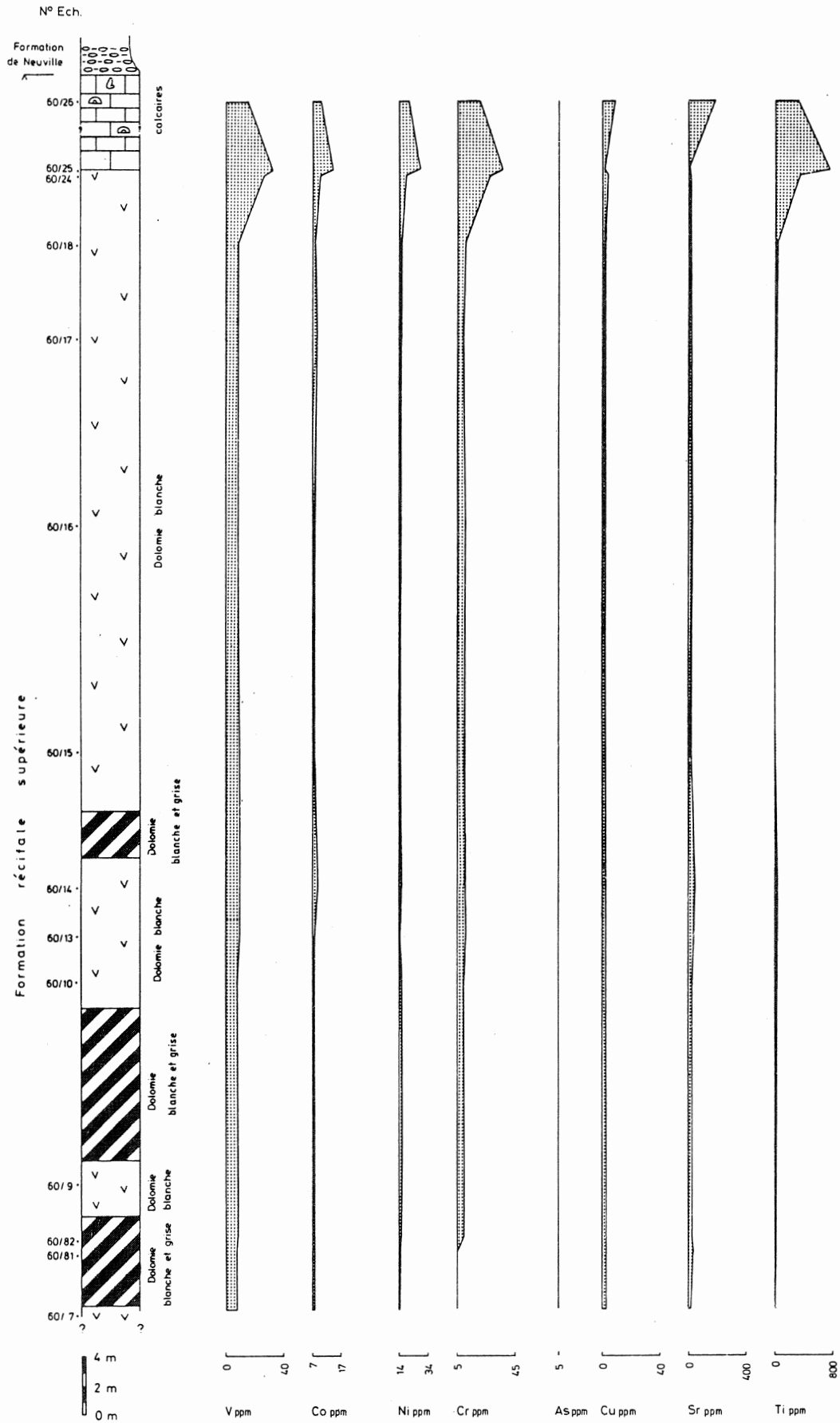
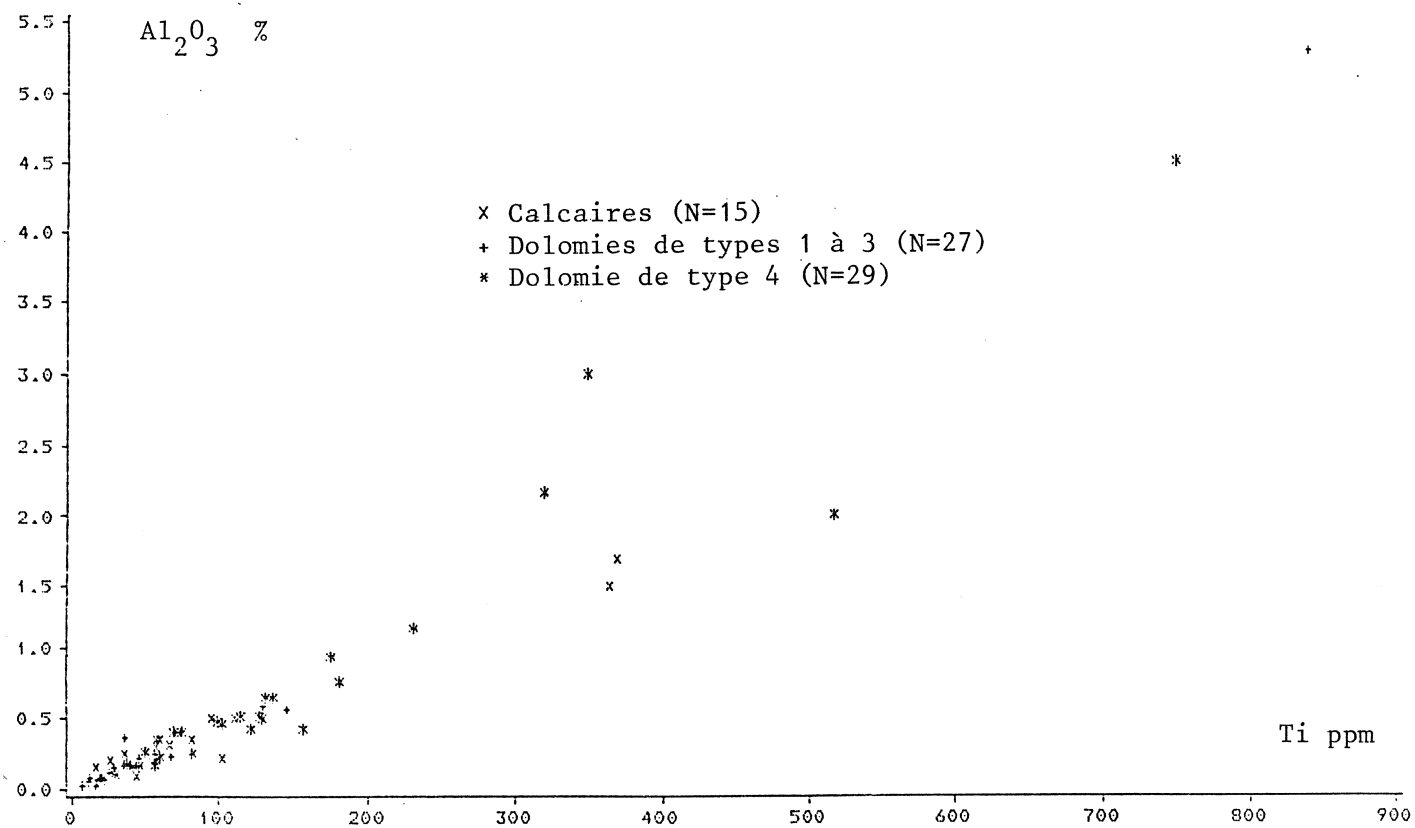


Figure 14. Profils géochimiques dans la Formation récifale supérieure - Carrière Matissen, paroi est.

Figure 15. Diagramme de corrélation binaire Ti - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.





## Chapitre 5. Etude à l'appareil de cathodoluminescence et à la microsonde des phases carbonatées et sulfurées.

### 5.1 Introduction.

Une étude a été faite à l'appareil de cathodoluminescence (ACL) afin de confirmer l'existence de différentes générations de dolomitisation et de tenter d'établir leur chronologie. L'appareil utilisé est un Technosyn, modèle 8200 MK II, appartenant aux Laboratoires Associés de Géologie Générale de l'Université Catholique de Louvain. Ces mêmes échantillons ont ensuite été étudiés à la microsonde.

### 5.2 Description du phénomène de cathodoluminescence.

Une cathode est soumise à une tension variant de 15 à 20 KV. L'émission non thermique d'électrons est dirigée sur l'échantillon. Chaque minéral qui reçoit cette irradiation électronique émet une ou deux couleurs caractéristiques de luminescence appelée couleur de cathodoluminescence (CL). Lors de notre étude, les couleurs de CL observées furent les suivantes :

<i>Minéral</i>	<i>Couleurs de cathodoluminescence</i>
<i>dolomite</i>	rouge foncé, rouge, rose
<i>calcite</i>	brun et jaune
<i>smithsonite</i>	bleu, violet et fuchsia
<i>sphalérite</i>	brun, rarement jaune or
<i>fluorite</i>	noir

Pour les carbonates, ces couleurs peuvent dépendre :

- de la variation de la structure cristalline ou de la distance entre les atomes;
- de la composition chimique du minéral;
- de l'évolution diagénétique de la roche.

Certains éléments chimiques inhibent la luminescence. Pour la dolomie, lorsque la teneur en Mn est inférieure à 100 ppm ou lorsque celle du Fe est supérieure à 1 %, il n'y a pas de luminescence.

Ceci a été confirmé, du moins pour le Fe, par analyse à la microsonde.

L'utilisation de l'ACL est aisée et la préparation des échantillons est rapide. L'étude peut se faire sur des morceaux de roches grossièrement polis, sur des lames minces non couvertes ou sur des surfaces polies. La méthode ne nécessite que de petits échantillons et n'est pas destructive.

### 5.3 Observations à l'appareil de cathodoluminescence.

**Les dolomies de types 1 à 3 :** tous les cristaux de dolomite qu'ils appartiennent à la dolomie grise ou la dolomie blanche, ont la même couleur rouge de CL. Il ont tous une fine bordure externe rouge clair à rose très difficilement observable (ph. B, pl. II).

**Les dolomies de type 4 :** tous les cristaux de dolomite présentent une variation de couleur CL allant du rouge au rouge foncé voire rouge-noir. Généralement, du centre des cristaux vers l'extérieur, il y a passage progressif du rouge au rouge foncé (ph. C, pl. II). Tous les cristaux ont également une bordure externe rose importante et grâce à celle-ci, les grains sont bien individualisés. (ph. C, pl. II; ph. B, D, pl. III; ph. A, B, C, D, pl. V). Les clivages sont aussi roses (ph. C; pl. II). Le passage du rouge foncé au rose est toujours net et tranché. La ph. D, pl. V illustre les faciès différents des dolomies de types 2 et 4. A droite de cette photo, la dolomie de type 4 se présente en cristaux bien individualisés, rouges, entourés d'une fine bordure

externe rosée. A gauche, la dolomie de type 2 apparaît en plages rouge clair à rouge sombre (nombreuses lacunes de cristallisation), à limites floues entre les cristaux. Dans certains cas, les cristaux de dolomite de type 4 semblent corrodés (flèche, ph. C, pl. II). L'étude CL ne permet toutefois pas d'établir la place de la dolomie de type 4 dans la chronologie des différents types de dolomies.

**La calcite** : elle entoure parfois certains rhomboèdres de dolomite (ph. C, D, pl. II). Le plus souvent, elle apparaît en veinules (ph. B, pl. III).

**La sphalérite** : à la planche II, on peut voir deux cristaux de sphalérite fracturés avec des teintes de cathodoluminescences allant du brun clair au brun foncé voire au brun-noirâtre. Dans un des cas, les fractures sont colmatées par de la dolomite (CL rouge; ph. B, pl. III); dans l'autre, par de la smithsonite (CL bleu et fuschia, ph. D, pl. III). Aux ph. A, B, pl. IV et ph. C, pl. V, la sphalérite est remplacée par la smithsonite et ne subsiste plus qu'à l'état de reliques.

**La smithsonite** : elle présente des teintes de CL très caractéristiques : bleu, violet, fuschia. Elle apparaît sous plusieurs aspects :

en plages zonées ou non colmatant les fractures de la sphalérite (ph. D, pl. III; ph. B, pl. IV; ph. C, pl. V).

en bordures cerclant les cristaux de sphalérite généralement avec des teintes de CL fuschia (ph. D, pl. III).

en couches zonaires concentriques (ph. A, B, C, D, pl. V) ou non (ph. B, pl. IV).

en rhomboèdres d'une cinquantaine de micromètres, à teintes de CL bleues au centre et fuschia en périphérie (ph. C, D, pl. IV).



*Planche II.*

**Photo A.** L2/2, lumière transmise, 1 nicol. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 3 (rubanée, blanche et grise) provenant de la base. 2 générations de dolomites sont observables. La dolomie de type 3.1 à grain fin ( 150  $\mu\text{m}$ ), occupe la partie droite de la photographie. Elle renferme de nombreuses inclusions. La dolomie de type 3.2 à grain plus grossier ( 400  $\mu\text{m}$ ) occupe la partie gauche de la photographie.

**Photo B.** L2/2, ACL. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 3 (rubanée blanche et grise). Les générations de dolomites présentent la même couleur de cathodoluminescence.

**Photo C.** L1/13, ACL. Dolomie de type 4 (grisâtre, grossièrement grenue, minéralisée).

En rouge (1), rouge foncé (2) et rose (3) : la dolomite.

En jaune (4) et brun (4) : la calcite.

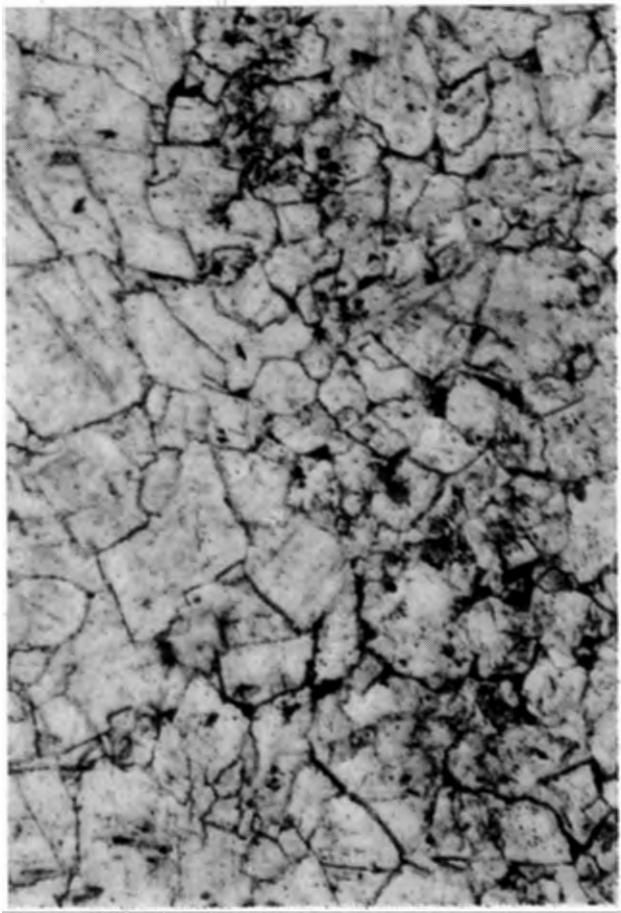
En brun foncé à noir (5) : la sphalérite.

En noir, au centre : les matières organiques et argileuses.

La variation de la teneur en Fe au cours de la croissance de la dolomite est, dans ce cas-ci, bien observable. Le passage de la dolomite rouge (1) à la dolomite rouge foncé (2) est progressif; celui de la dolomie rouge foncé (2) à la dolomite rose (3) de la bordure des cristaux ou des clivages est net et tranché. Ce contact et généralement rectiligne mais peut aussi correspondre à une surface de type de corrosion (flèche).

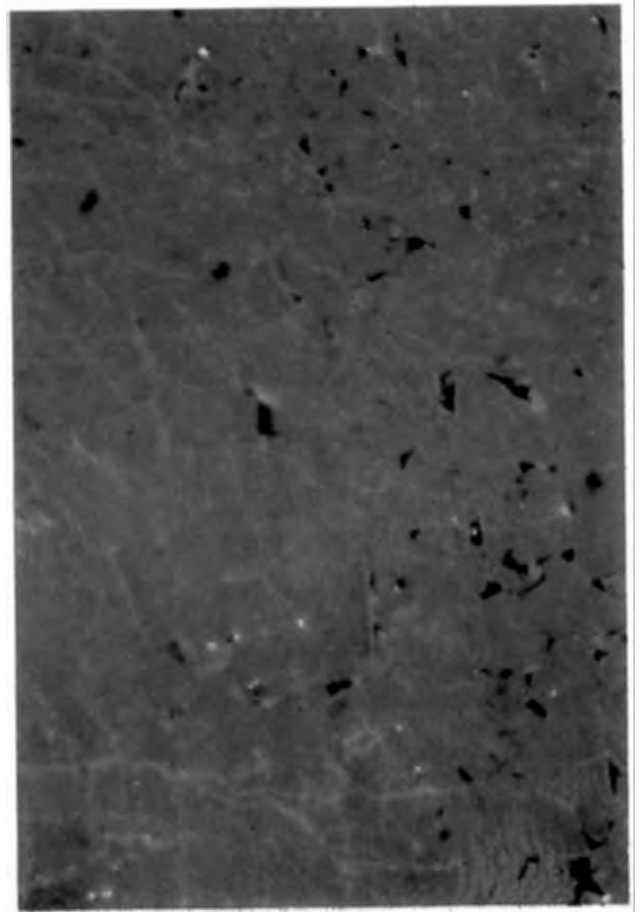
**Photo D.** L1/13, ACL. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Photo montrant avec un grossissement 2x plus élevé qu'à la photo C un assemblage identique à celui du centre de la photo C. On remarque mieux que certains rhomboédres dolomitiques (rouge) sont cerclés de calcite (brunâtre).





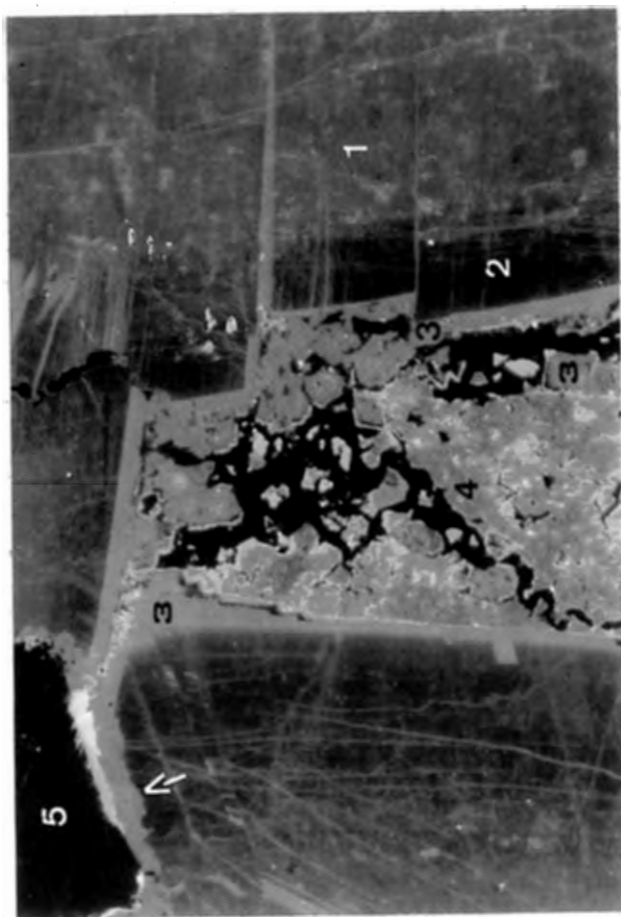
400  $\mu$ m

A



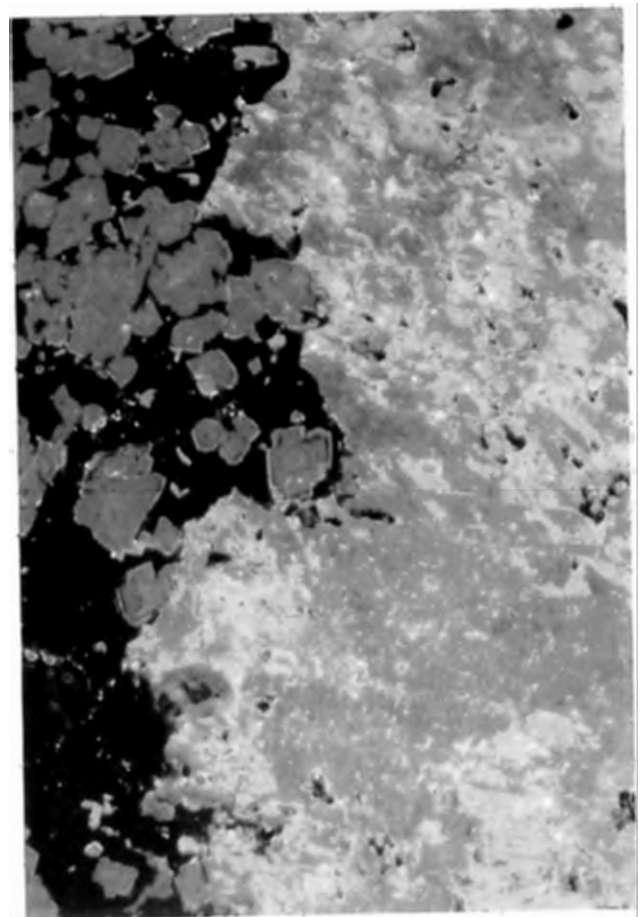
400  $\mu$ m

B



400  $\mu$ m

C

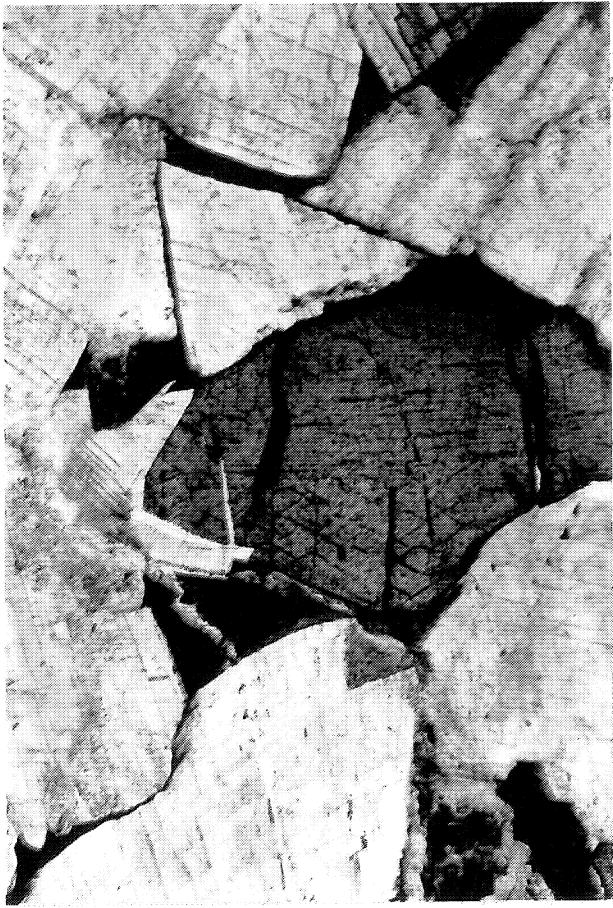


200  $\mu$ m

D

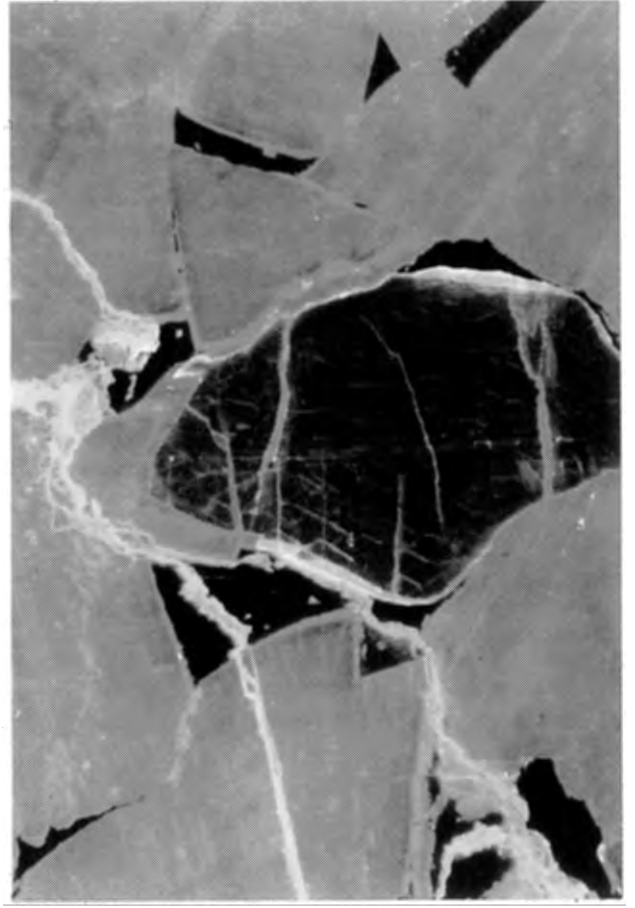
*Planche III.*

- Photo A.** L1/9/, lumière transmise 1 nicol. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Cristal de sphalérite (brun), fracturé.
- Photo B.** L1/9, ACL. Même échantillon que photo A. Les fractures de la sphalérite (brun sombre) sont colmatées par de la dolomite (rouge). Les veinules de calcite se marquent en jaune. Enfin, les cristaux de dolomite sont entourés d'une bordure nettement plus rosée que la partie centrale.
- Photo C.** L51/2b, lumière transmise 1 nicol. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Cristal de sphalérite (brun foncé), fracturé.
- Photo D.** L51/2b, ACL. Même échantillon que photo C à smithsonite (bleu, fuschia) remplaçant la sphalérite (brun foncé) en périphérie du cristal et le long de fractures.



400  $\mu$ m

A



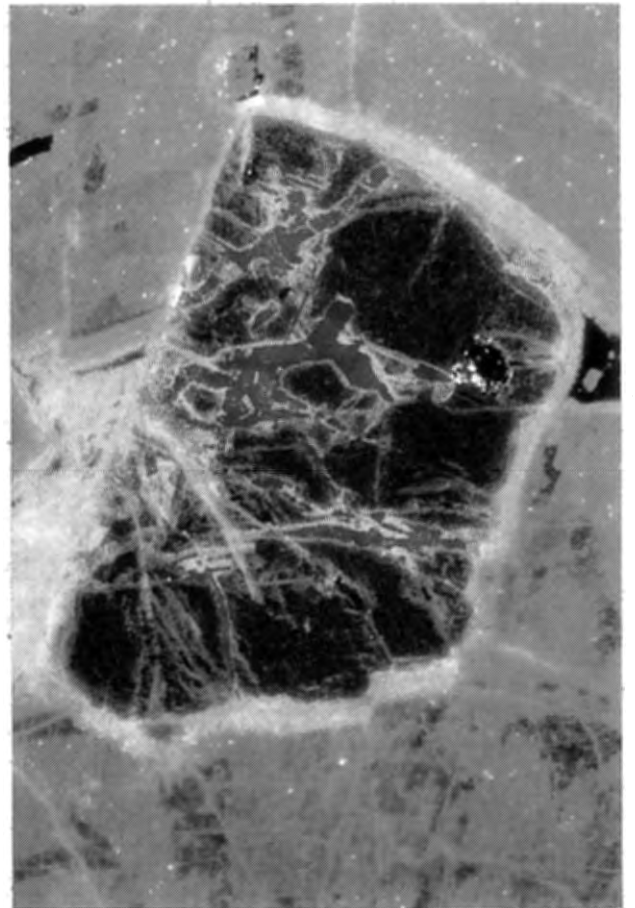
400  $\mu$ m

B



200  $\mu$ m

C



200  $\mu$ m

D

*Planche IV.*

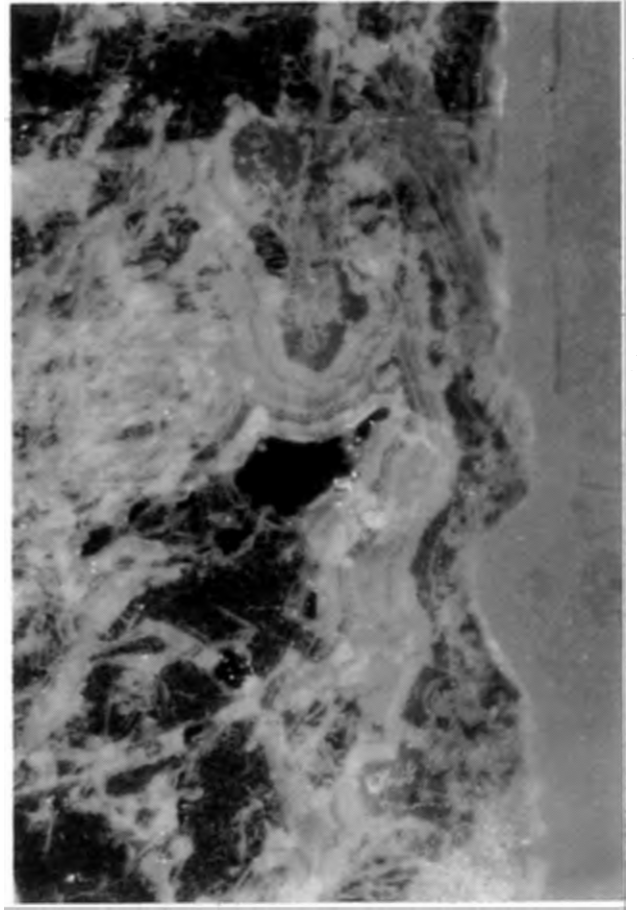
- Photo A.** L50/2, lumière transmise, 1 nicol. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Agrégat de sphalérite (brun), fracturé.
- Photo B.** L50/2, ACL. Même échantillon que photo A. Smithsonite (bleu, violet, fuschia) à structure zonaire, remplaçant la sphalérite (brun clair à brun foncé). A l'extrême droite, dolomite (rouge).
- Photo C.** L51/2a. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Petits rhomboédres de smithsonite (bleu, violet, fuschia) cimentés par de la calcite (brun).
- Photo D.** L51/2a. Agrandissement d'une partie de la photo C montrant plus clairement que le centre des rhomboédres de smithsonite est bleu et leur périphérie fuschia.





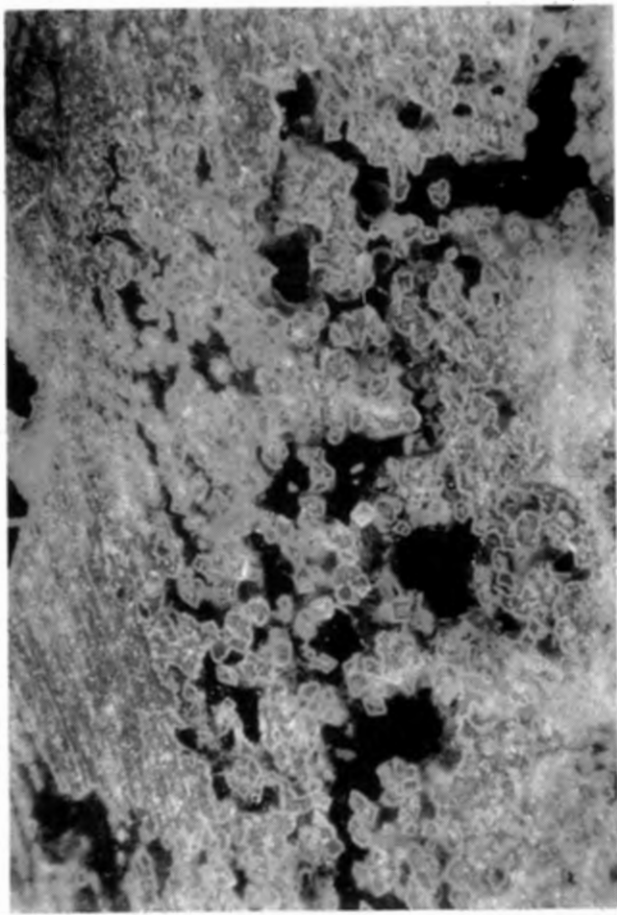
400  $\mu$ m

A



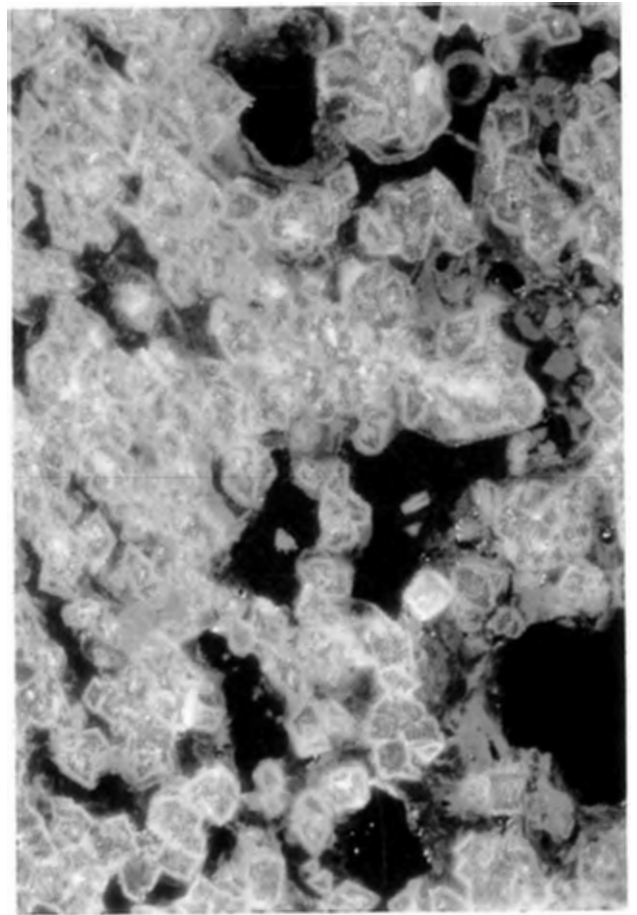
400  $\mu$ m

B



400  $\mu$ m

C

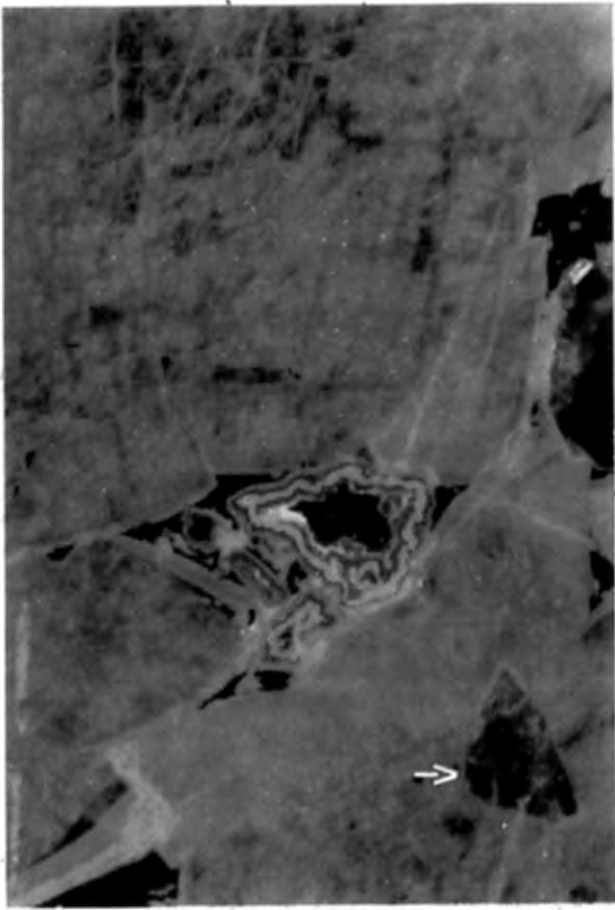


200  $\mu$ m

D

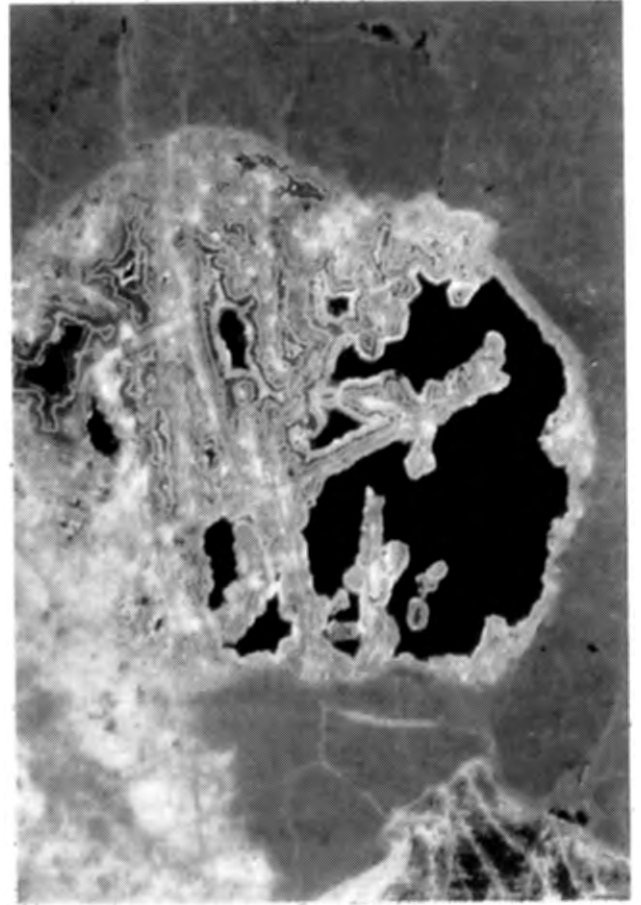
*Planche V.*

- Photo A.** L55/2, ACL. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Smithsonite en couches zonaires concentriques (bleu, violet, fuschia) dans dolomite (rouge). Dans le coin inférieur droit, près de la flèche blanche, smithsonite (bleu) épigénisant un cristal de sphalérite (les contours du cristal sont conservés).
- Photo B.** L19/1, ACL. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Smithsonite en couches zonaires concentriques (bleu, fuschia dominant), dans dolomite (rouge). En bas, à droite, relique de sphalérite (brun).
- Photo C.** L51/2a, ACL. Formation récifale supérieure. Dolomie de type 4. Smithsonite en dépôts zonaires. (teintes bleues dominantes) dans des fractures (fuschia) et en bordure des plages zincifères (fuschia). Des reliques de sphalérite subsistent (brun foncé). La dolomite se présente en plages sales (rouge foncé) et limpides (rouge plus clair à rose) en périphérie des cristaux.
- Photo D.** L19/1, ACL. Formation récifale supérieure. Contact entre dolomies de types 2 et 4. La dolomie de type 4 se trouve dans la moitié droite de la photographie, et contient de la smithsonite zonaire (bleu, fuschia). La dolomie de type 2 occupe la moitié gauche de la photographie. Au contact des deux types de dolomies se trouve également de la smithsonite (S). Dans la dolomie de type 4, les grains sont bien individualisés grâce à la bordure externe rose. Les grains de dolomie de type 2 renferment souvent des inclusions.



400  $\mu$ m

A



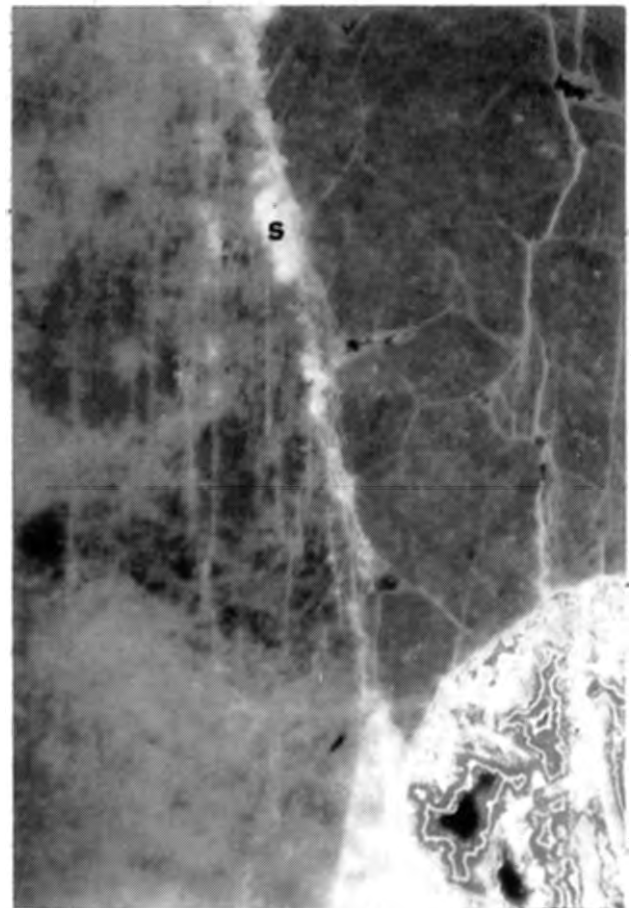
400  $\mu$ m

B



400  $\mu$ m

C



400  $\mu$ m

D

## 5.4 Analyses à la microsonde.

Les échantillons étudiés à l'appareil de cathodoluminescence ont aussi été analysés à la microsonde. Cette étude a été menée pour diverses raisons :

- étudier la variation de la teneur en certains éléments au sein de la dolomite et de la sphalérite ;
- observer si la composition chimique de la dolomite est influencée lorsqu'elle est en contact direct avec la sphalérite ;
- étudier s'il y a une variation significative de la teneur en certains éléments entre la sphalérite contenue dans les dolomies et celle contenue dans les calcaires ;
- voir ce qui provoque les différentes teintes de cathodoluminescence pour la dolomite et la smithsonite.

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'une microsonde Camebax aux Laboratoires associés de Géologie Générale de l'Université Catholique de Louvain. Les carbonates ont été analysés pour : FeO, MnO, ZnO, PbO, CaO et SrO exprimés en %; les sulfures pour : Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, S, Cd et Sb exprimés en %. Les résultats sont présentés aux tableaux 8 et 9.

### 1. Les carbonates.

Les variations les plus significatives dans la composition chimique de la dolomite concernent le FeO et le ZnO. Les analyses à la microsonde montrent qu'il y a toujours augmentation de ZnO en bordure des rhomboédres dolomitiques quand ceux-ci sont en contact direct avec la sphalérite. En outre, c'est l'augmentation de la teneur en FeO qui provoque l'assombrissement de la couleur rouge en CL de la dolomite. Les zones rouge-noire en CL ont des teneurs en FeO supérieures au %. La bordure externe rose des cristaux de dolomite correspond toujours à une faible teneur en FeO.

Les smithonites incluses dans les calcaires ont généralement des teneurs en CaO plus élevées que celles incluses dans les dolomies. Par contre, l'étude à la microsonde n'a pas permis de mettre en évidence le ou les éléments responsables des deux teintes de cathodoluminescence.

Enfin la variation des teneurs en MnO et PbO, ne semble pas suivre de règle bien précise.

### 2. Les sulfures.

En lumière naturelle, la sphalérite est parfois zonée. L'étude à la microsonde montre que la teneur en Fe est légèrement plus élevée dans les zones sombres tandis que celle en Cd est beaucoup plus faible. Toutefois, la concentration en Fe dans la sphalérite est toujours faible. Elle n'excède pratiquement jamais 3000 ppm. La teneur en Cd est plutôt élevée : 19 analyses sur 28 donnent des teneurs supérieures à 1000 ppm.

Cinq éléments (Co, Ni, As, Sb et Pb) sont à des teneurs proches de la limite de détection de l'appareil.

Le cuivre présente plus de variation mais ne semble pas suivre de règle bien précise.

Enfin, les compositions chimiques des sphalérites incluses dans les calcaires ou les dolomies ne diffèrent pas fondamentalement.



N°	FeO	MnO	MgO	ZnO	PbO	CaO	SrO	Total.
1	0.29	0.02	43.39	0.22	0.30	53.62	0.00	97.84
2	0.13	0.03	44.14	0.03	0.08	53.01	0.00	97.42
3	0.09	0.09	44.51	0.02	0.16	52.24	0.00	97.12
4	0.45	0.00	38.95	0.00	0.03	58.22	0.00	97.64
5	0.27	0.08	40.49	0.09	0.05	56.72	0.03	97.73
6	0.04	0.07	45.13	0.29	0.16	51.98	0.10	97.78
7	0.06	0.02	0.49	0.06	0.33	96.13	0.10	97.19
8	0.06	0.13	0.27	0.31	0.24	99.38	0.06	100.45
9	0.00	0.00	0.77	0.35	0.05	98.53	0.02	99.71
10	0.00	0.06	46.10	0.27	0.10	54.56	0.00	101.09
11	0.66	0.07	42.56	0.11	0.18	56.79	0.00	100.38
12	0.57	0.46	0.26	0.11	0.03	97.65	0.12	99.20
13	0.00	0.00	0.48	0.13	0.00	97.79	0.01	98.41
14	0.20	0.02	43.66	0.04	0.00	55.66	0.00	99.58
15	1.43	0.07	41.42	0.00	0.00	55.34	0.04	98.30
16	1.71	0.08	42.20	0.04	0.11	54.47	0.04	98.64
17	0.23	0.01	1.59	0.09	0.11	99.65	0.10	101.79
19	0.51	0.60	0.84	0.28	0.15	98.88	0.00	101.27
21	0.00	0.01	0.84	0.02	0.19	97.51	0.13	98.71
22	0.04	0.00	0.54	0.00	0.22	99.07	0.00	99.87
23	0.00	0.05	0.44	97.94	0.15	2.36	0.00	100.94
24	0.17	0.00	0.63	98.17	0.30	2.73	0.11	102.12
25	0.00	0.03	0.47	96.52	0.09	2.32	0.00	99.43
26	0.27	0.00	0.89	96.96	0.26	2.13	0.14	100.65
27	0.17	0.02	0.62	98.67	0.00	2.82	0.00	100.32
29	0.09	0.00	0.51	0.03	0.00	99.18	0.04	99.84
31	0.00	0.00	0.55	0.26	0.32	100.03	0.00	101.16
32	0.07	0.10	0.69	0.12	0.10	98.55	0.00	99.63
33	0.28	0.00	0.51	97.71	0.15	2.55	0.00	101.19
35	0.07	0.00	0.72	95.59	0.96	2.33	0.00	99.68
36	0.00	0.22	0.41	0.10	0.08	97.93	0.01	98.75
37	0.56	0.02	45.15	0.12	0.00	52.28	0.00	98.13
38	1.44	0.09	42.61	0.00	0.13	53.28	0.00	97.56
39	0.16	0.13	43.48	0.02	0.05	53.05	0.00	96.90
40	0.00	0.00	44.35	0.10	0.01	53.63	0.10	98.19
41	0.03	0.09	43.56	0.12	0.08	55.87	0.01	99.76
42	0.04	0.17	43.80	0.04	0.14	52.30	0.00	96.49
43	6.16	0.54	37.05	0.07	0.00	54.52	0.03	98.38
44	1.28	0.46	39.23	0.10	0.03	58.27	0.12	99.49
46	5.53	0.61	36.44	0.14	0.01	54.82	0.12	97.68
47	0.87	0.23	38.92	0.10	0.00	55.49	0.07	95.69
48	3.36	0.74	38.10	0.13	0.13	54.01	0.00	96.46
49	0.26	0.03	44.54	0.00	0.00	51.54	0.00	96.37
50	0.30	0.00	44.76	0.12	0.00	53.45	0.00	98.63

51	0.52	0.05	44.59	0.06	0.05	53.15	0.00	98.43
52	0.00	0.04	0.57	95.61	0.13	2.30	3.19	101.83
53	0.02	0.00	0.35	94.42	0.25	1.53	0.00	96.56
54	0.12	0.00	1.36	93.90	0.19	2.35	0.00	97.91
55	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	98.49	2.47	101.55
56	0.09	0.05	0.58	95.48	0.24	2.29	0.11	98.84
57	0.00	0.00	0.25	96.45	0.15	1.13	0.00	97.99
58	0.04	0.01	0.23	94.54	3.00	1.63	0.00	99.44
59	0.12	0.00	0.16	95.09	0.00	1.52	0.07	96.96
60	0.06	0.00	0.44	96.19	0.00	1.23	0.00	97.93
61	0.13	0.00	0.57	95.98	0.12	2.13	0.00	98.93
62	0.00	0.00	0.21	96.99	0.00	2.02	0.13	99.35
63	0.22	0.17	0.56	95.32	0.11	2.28	0.18	98.85
64	0.97	0.08	42.28	0.22	0.05	55.37	0.01	98.98
66	0.02	0.14	0.51	96.34	0.08	1.36	0.01	98.45
67	0.35	0.00	43.88	0.14	0.04	54.85	0.00	99.27
68	0.12	0.13	43.63	0.10	0.21	55.63	0.01	99.83
69	0.43	0.00	0.34	95.02	0.00	2.68	0.00	98.47

Tableau 8. Analyses effectuées à la microsonde sur les carbonates.

N°	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	S	Cd	Sb	Total.
1	0.24	0.02	0.03	0.09	64.83	0.00	0.00	33.15	0.18	0.02	98.55
2	0.14	0.04	0.01	0.12	65.69	0.00	0.08	33.41	0.07	0.02	99.56
3	0.21	0.01	0.00	0.09	66.04	0.00	0.05	33.38	0.19	0.00	99.96
4	0.24	0.03	0.02	0.19	65.56	0.00	0.05	33.87	0.09	0.00	100.05
5	0.50	0.00	0.03	0.22	64.93	0.00	0.01	33.51	0.28	0.00	99.47
6	0.17	0.06	0.00	0.14	66.18	0.00	0.00	33.15	0.00	0.03	99.74
7	0.45	0.00	0.02	0.27	65.30	0.00	0.00	33.50	0.02	0.00	99.56
8	0.12	0.01	0.01	0.07	66.96	0.00	0.00	33.82	0.15	0.00	101.15
9	0.11	0.02	0.01	0.00	65.96	0.00	0.02	33.81	0.25	0.00	100.19
10	0.22	0.02	0.01	0.03	66.17	0.00	0.00	33.60	0.17	0.01	100.24
11	0.06	0.00	0.03	0.05	66.40	0.00	0.00	34.17	0.23	0.06	100.99
12	0.21	0.05	0.00	0.08	66.42	0.00	0.00	33.51	0.05	0.02	100.34
13	0.13	0.02	0.00	0.14	66.06	0.00	0.05	33.58	0.12	0.02	100.11
14	0.09	0.00	0.00	0.10	66.43	0.00	0.00	33.55	0.21	0.02	100.41
15	0.11	0.01	0.00	0.03	65.66	0.00	0.04	33.35	0.11	0.00	99.31
16	0.14	0.01	0.00	0.21	64.37	0.00	0.04	33.72	0.00	0.00	98.48
17	0.19	0.02	0.03	0.24	64.93	0.00	0.00	33.45	0.19	0.08	99.12
18	0.18	0.00	0.01	0.19	65.55	0.00	0.04	33.24	0.12	0.00	99.32
19	0.09	0.00	0.03	0.03	66.26	0.00	0.08	33.57	0.26	0.00	100.33
20	0.09	0.04	0.04	0.06	64.76	0.00	0.08	33.97	0.09	0.05	99.18
21	0.07	0.00	0.01	0.02	65.39	0.00	0.01	33.18	0.03	0.03	98.75
22	0.17	0.02	0.01	0.00	65.89	0.00	0.03	33.47	0.30	0.02	99.91
23	0.18	0.00	0.02	0.12	65.18	0.00	0.08	33.92	0.07	0.00	99.57
24	0.17	0.00	0.01	0.08	65.39	0.02	0.00	33.32	0.21	0.01	99.19
25	0.10	0.03	0.00	0.14	65.41	0.00	0.00	33.29	0.22	0.00	99.18
26	0.18	0.00	0.02	0.04	64.95	0.00	0.00	33.49	0.22	0.03	98.93
27	0.06	0.04	0.00	0.04	65.33	0.14	0.02	33.81	0.12	0.02	99.57
28	0.08	0.04	0.03	0.06	65.62	0.00	0.03	33.30	0.20	0.06	99.42

Tableau 9. Analyses effectuées à la microsonde sur les sulfures.



## Bibliographie

- BALCON, J. (1966a) - Entre-Sambre-et-Meuse. Résultats des sondages effectués en 1966. Rapport interne, Compagnie Royale Asturienne des Mines, GG/BE/50.
- BALCON, J. (1966b) - Entre-Sambre-et-Meuse. Compte rendu général des recherches. Rapport interne, Compagnie Royale Asturienne des Mines, GG/BE/51.
- CORNET, P.J. (1977) - Le biostrome "F2h" de la tranchée du chemin de fer de Neuville (Bassin de Dinant, Belgique). *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège, 100*, 31-40.
- COEN, M. & COEN-AUBERT, M. (1975) - Description et interprétation géologique de cinq sondages du flanc sud du massif de Philippeville. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique, Bruxelles, 1975/10*, 15p.
- COEN, M. (1977) - Le Givetien et le Frasnien dans le contournement routier de Philippeville, comparaison avec la coupe de Neuville. *Ann. Soc. géol. Belgique, Liège, 100*, 23-30.
- DEJONGHE, L. & MARDAGA, M. (1986) - Indicateurs pétrographiques et géochimiques pour la recherche de gites 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.
- LECOMPTE, M. (1963) - VIème Congrès International de Sédimentologie - Hollande-Belgique 1963 - Excursions C-D. *Note préliminaire introductive. Bruxelles, 27 p.*
- MAILLEUX, E. & DEMANET, F. (1929) - L'échelle stratigraphique des terrains primaires de la Belgique. *Bull. Soc. belge Géol., Bruxelles, 38*, 124 - 131.
- TSIEN, H.H. (1974) - Paleocology of Middle Devonian and Frasnian in Belgium. *Int. Symp. on Belgian micropaleo. limits, Namur 1974, Edit. Bouckaert & Streef, Bruxelles, 12*, 53 p.
- TSIEN, H.H. (1980) - Les régimes récifaux dévoniens en Ardenne. *Bull. Soc. belge Géol., Bruxelles, 89*, 71 - 102.
- TSIEN, H.H. (1983) - Palcoecology of Devonian reefs and reef builders of Ardennes (Belgium). *1er Cong. Inter. Paléoécologie (Lyon), excursion B*, 32 p.
- TSIEN, H.H. (1984) - Récifs du Dévonien des Ardennes. Paléoécologie et structures. *In : Géologie et Paléoécologie des Récifs. Edit. : Geister et Herb, Inst. géol. Univ. Berne, 7*, 1-7, 34.