

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES
DE BELGIQUE

MÉMOIRES

MÉMOIRE N° 151

KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT
VOOR NATUURWETENSCHAPPEN

VERHANDELINGEN

VERHANDELING N° 151

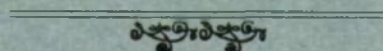


SÉDIMENTOLOGIE
DES
FACIÈS « MARBRES NOIRS »
DU PALÉOZOÏQUE FRANCO-BELGE

PAR

BERNARD MAMET

DOCTEUR EN SCIENCES GÉOLOGIQUES ET MINÉRALOGIQUES U. L. BRUXELLES,
INGÉNIEUR-GÉOLOGUE E.N.S.P. PARIS, MASTER OF ARTS U. CAL. BERKELEY, ASPIRANT F.N.R.S.,
COLLABORATEUR À L'INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES.



BRUXELLES

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES DE BELGIQUE
RUE VAUTIER, 31

1964

Distribué le 30 avril 1964.

BRUSSEL

KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT VOOR NATUURWETENSCHAPPEN
VAUTIERSTRAAT, 31

1964

Uitgedeeld de 30^e april 1964.

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES
DE BELGIQUE

MÉMOIRES

MÉMOIRE N° 151

KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT
VOOR NATUURWETENSCHAPPEN

VERHANDELINGEN

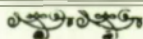
VERHANDELING N° 151

SÉDIMENTOLOGIE
DES
FACIÈS « MARBRES NOIRS »
DU PALÉOZOÏQUE FRANCO-BELGE

PAR

BERNARD MAMET

DOCTEUR EN SCIENCES GÉOLOGIQUES ET MINÉRALOGIQUES U. L. BRUXELLES,
INGÉNIEUR-GÉOLOGUE E.N.S.P. PARIS, MASTER OF ARTS U. CAL. BERKELEY, ASPIRANT F.N.R.S.,
COLLABORATEUR À L'INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES.



BRUXELLES

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES DE BELGIQUE
RUE VAUTIER, 31

1964

Distribué le 30 avril 1964.

BRUSSEL

KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT VOOR NATUURWETENSCHAPPEN
VAUTIERSTRAAT, 31

1964

Uitgedeeld de 30^e april 1964.

RÉSUMÉ

Ce travail est l'aboutissement de recherches dans les formations paléozoïques de la Belgique et du Nord de la France.

Il est centré sur l'analyse séquentielle des faciès calcaires et en particulier sur celle des « marbres noirs »; par corrélation de proche en proche, ce mode d'étude permet de définir des « rythmes » qui se poursuivent sur toute l'étendue d'un bassin. Ces « rythmes » ont une valeur chronostratigraphique. Couplés à des marqueurs locaux, ils permettent de reconstituer une paléogéographie de détail.

L'examen pétrographique des strates de « marbre noir » conduit à l'élaboration d'une classification générale des calcaires, où le type de cimentation et de débris calcaires sont les variables principales.

L'analyse écologique des lithofaciès est fondée sur la répartition relative des macro- et microorganismes : dans la majorité des faciès de la plate-forme dinantienne, l'assemblage faunique représente une biocénose.

Les « marbres noirs » ne se caractérisent pas par des teneurs élevées en matière planctonique, mais par la finesse et l'uniformité des cristaux de carbonate de calcium. Ils ne se sont pas déposés en milieu sulfurique, mais sous le contrôle de potentiels Redox réducteurs.

ABSTRACT

This study works out the sedimentation of upper paleozoic formations of Belgium and northern France.

It deals with sequential analysis of calcareous facies, more particularly, the so-called « black marbles »; it is possible to recognize a number of « rhythmic patterns » which can be followed laterally from quarry to quarry. These « rhythms » have chronostratigraphic value; coupled with local markers, they enable the building of an extremely precise paleogeography.

The petrographic investigation of the strata of « black marbles » leads to a more general classification of limestones in which the type of cement and the proportions of the different calcareous debris (allochems) are the main variables.

Ecologic studies on the relative distribution of macro- and microfauna show the faunal assemblage to be dominated by biogenic influences.

« Black marbles » are neither characteristically rich in plankton, nor deposited in sulfuric environments; they are characterized by the thinness and uniformity of the calcite grains and by a reducing Eh at the sedimentation time.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre entière gratitude à nos professeurs MM. G. MORTELMANS et A. LOMBARD qui, tant par leur enseignement, que par leur sollicitude à l'égard de nos recherches sur le terrain, nous ont permis de mener à bien notre tâche.

MM. les professeurs M. E. DENAEYER, P. PARENT et I. DE MAGNÉE ont eu la bonne obligeance de lire le manuscrit et d'y apporter leurs critiques constructives.

MM. J. THOREAU, P. MICHOT et F. STOCKMANS ont également revu le texte et nous leur sommes redevable de plus d'une mise au point.

M. P. DUMON nous a fourni de nombreux renseignements, souvent inédits, concernant la lithologie des « marbres noirs » de Basècles. Quant à don AUGUSTIN DE BROUWER, il nous a donné libre accès aux remarquables collections de l'Abbaye de Maredsous.

Il nous plaît de souligner l'excellent accueil reçu à l'Institut Français du Pétrole de Paris, où M^{me} Y. GUBLER n'a ménagé ni son temps, ni sa peine, pour discuter avec nous de certains aspects de la sédimentation.

Aux États-Unis, c'est au cours de multiples conversations, souvent fort animées, avec MM. les professeurs W. DURHAM, W. BERRY et Z. ARNOLD, que nous sommes parvenu à dégager point par point les grands traits de la microécologie. Aussi, nous ne pouvons que remercier la Commission for Relief of Belgium qui, par l'octroi de l'Edgard Ricker Fellowship, nous a permis de travailler une année entière au laboratoire de paléontologie de l'Université de Californie. Cette même bourse nous a d'ailleurs permis de discuter avec une cinquantaine de chercheurs américains des problèmes les plus actuels de la sédimentation.

En Europe, de nombreuses personnes nous ont apporté leur aide à la réalisation matérielle de certaines expériences. M. J. JEDWAR, en particulier, nous a conseillé pour les aspects géochimiques de nos travaux et en accord avec M. le professeur DE MAGNÉE, nous a permis d'utiliser le Laboratoire du Centre de Recherche Géochimique.

MM. W. DE KEYZER et PAHLAVOUNI ont mis à notre disposition l'appareillage de leur laboratoire destiné à l'étude des argiles.

M. A. VATAN nous a permis l'emploi de l'appareillage de dolomimétrie par résistivité de l'Institut Français du Pétrole.

Un subside du Fonds National de la Recherche Scientifique a permis à M. MANIGAERT d'analyser chimiquement une cinquantaine de faciès calcaires.

Enfin, il n'est pas possible de passer sous silence l'accueil chaleureux des maîtres de carrières, accueil souvent accompagné de renseignements qui ont grandement facilité l'établissement des corrélations.

A tous ceux qui, à tous les échelons, nous ont aidé à la réalisation de cette thèse, nous dédions ce travail, en espérant qu'il répondra à quelques-unes des multiples questions que pose la sédimentation des séries anciennes.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les « marbres noirs » ou « calcaires sapropéliens fétides » (F. KAISIN, 1910, 1928) sont des sédiments calcaires très fins, d'un noir profond, faciles à polir; de ces qualités résultent leur intérêt au point de vue marbrier et leur intense exploitation entre le moyen âge et la première guerre mondiale. Comme nous le montrerons, ces « marbres noirs » n'ont rien d'exceptionnel parmi les faciès calcaires et c'est même l'abondance et la dispersion géographique de leurs affleurements, permettant une étude stratigraphique détaillée, qui nous les a fait choisir comme sujet de thèse.

Les « marbres noirs » apparaissent à plusieurs reprises dans la succession stratigraphique de la plate-forme dévono-dinantienne (F. KAISIN, 1935). Nous étudierons successivement le « marbre noir » de Golzinne d'âge Frasnien, le « marbre noir » de Dinant d'âge Viséen inférieur, et le « marbre noir » de Basècles appartenant au Viséen moyen.

Le premier affleure au bord nord du Synclinal de Namur, le deuxième dans la partie centrale du Synclinorium de Dinant et le dernier dans la partie occidentale du Synclinal de Namur (fig. 1).

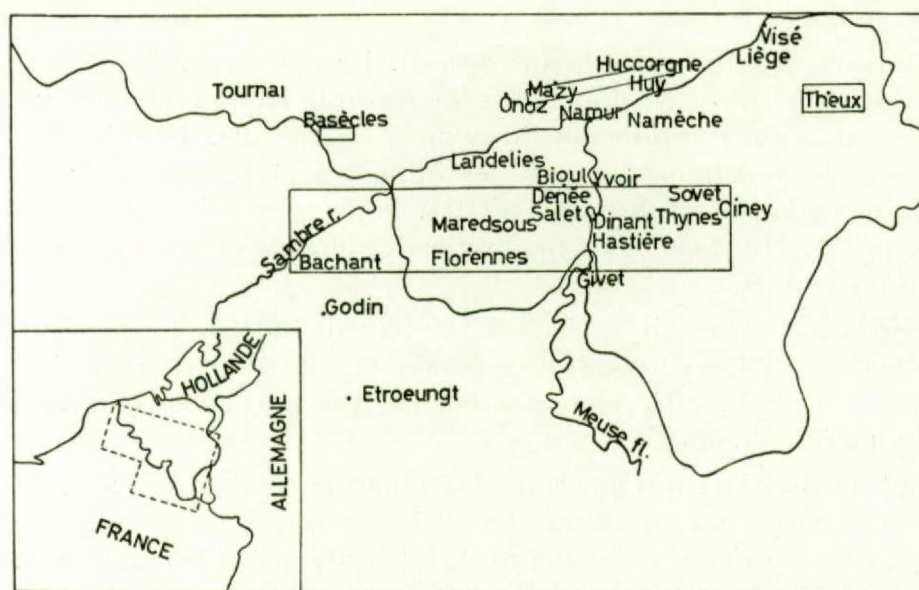


FIG. 1. — Localisation géographique des affleurements de « marbres noirs ».

Faute d'affleurements valables, la sédimentation du « marbre noir » de Theux (qui renferme une microfaune d'âge Viséen supérieur) ne pourra être évoquée dans cette thèse. Il est l'équivalent probable des faciès « Bleu belge » du Synclinorium de Dinant.

Notre propos était d'étudier les différents facteurs responsables de la pluralité des faciès, sans en négliger pour autant le concept stratigraphique; celui-ci comprend d'ailleurs classiquement trois aspects fondamentaux : la lithostratigraphie, la biostratigraphie et la chronostratigraphie.

Jusqu'au début du XIX^e siècle, les corrélations étaient purement lithostratigraphiques : lorsque W. SMITH eut démontré la valeur de la paléontologie, les fossiles devinrent rapidement l'argument souverain et ce fut l'âge d'or de la biostratigraphie; le faciès et l'écologie furent déconsidérés à un point tel, que nombre d'articles publiés au siècle dernier, fournissent des listes fauniques, sans même mentionner la roche qui les contient. La chronostratigraphie date de ce siècle et perfectionne encore ses méthodes, mais là encore, un travail pétrographique poussé doit être accompli avant d'arriver à des conclusions fermes; l'âge absolu d'une roche dont la lithostratigraphie et l'histoire tectonique restent inconnus, a moins de sens encore, qu'un ensemble de fossiles dont on ignore s'ils représentent une biocénose ou une thanatocénose.

*
* *

Cette thèse concerne essentiellement la lithostratigraphie. Elle l'intègre toutefois aux deux autres concepts de base. Nous pensons en effet que, si les trois aspects de la stratigraphie sont intimement liés, si aucune hiérarchie de valeur ne peut être recherchée entre eux, l'étude lithostratigraphique doit précéder obligatoirement toute autre forme de recherche.

Ce fait n'a pas toujours été compris par les paléontologues et, dans les sections classiques, il existe encore des erreurs et des imprécisions qui ne sont pas tellement dues à des erreurs de détermination spécifiques, qu'à la simple méconnaissance de la localisation géométrique de la faune et à l'ignorance du faciès et de l'écologie. Nous verrons, par ailleurs, ce qu'il faut penser de ces trois aspects de la « description des strates » et nous aurons l'occasion d'en préciser certains points.

Dans ce travail nous nous attacherons à formuler une hypothèse de travail permettant des corrélations logiques entre affleurements : les raccords stratigraphiques ne se feront plus de faciès à faciès, mais entre rythmes sédimentaires équivalents. L'ensemble de ces rythmes fournira un critère de synchronisme entre les lithotopes et permettra de définir une suite d'événements chronologiquement distincts. C'est là le principe même des corrélations séquentielles développé par A. LOMBARD. Nous montrerons combien son application est féconde dans le cas des « marbres noirs ».

Les corrélations établies, il deviendra possible de mettre en parallèle les séquences de termes lithologiques et leurs assemblages fauniques, de manière à préciser l'influence de l'écologie. De cette comparaison découlera naturellement la valeur biostratigraphique à accorder à la faune des « marbres noirs ».

Nous revenons ainsi à la très ancienne définition de LA FORGE, qui considérait la stratigraphie comme la « somme des caractères, des épaisseurs, de l'âge, des séquences et des corrélations des roches d'un district ». Il est étonnant, que cette définition admise en théorie depuis plus d'un siècle, n'ait pas trouvé plus d'écho dans les travaux des grandes écoles géologiques.

*
* *

Nous avons trouvé un adjuvant secondaire à effectuer ce travail dans la précarité de nos coupes-types. Ainsi, de nombreuses sections classiques où furent définies les subdivisions stratigraphiques, sont artificielles et menacées de disparaître dans un avenir fort proche.

Il est donc urgent de dresser les stampes exposées dans ces sections; c'est un travail lent, fastidieux, strate après strate, mais qui permettra d'établir des coupes-types lithostratigraphiques

qui compléteront et éclaireront les récoltes paléontologiques. Ensemble, ces documents formeront un corps de référence permanent, qui restera accessible alors que les *loci typici* auront disparu.

*
* *

Pour mener à bien la tâche que nous nous étions imposée, deux modes de travail distincts se sont succédé.

Nous avons d'abord conduit un travail de terrain dont les conclusions lithostratigraphiques régionales et générales apparaissent aux deux premiers chapitres.

Nos recherches se sont poursuivies ensuite au laboratoire; elles comportent, d'une part, une étude systématique de plaques minces sous le microscope qui nous a conduit à une classification nouvelle des calcaires, permettant de raffiner les conclusions de terrain et de relier les lithofaciès à leur faune; elles sont constituées, d'autre part, d'analyses chimiques qui mettent en lumière les différents facteurs physico-chimiques responsables de la diversité des faciès.

SÉDIMENTOLOGIE

DES

FACIÈS « MARBRES NOIRS »

DU PALÉOZOÏQUE FRANCO-BELGE

CHAPITRE I.

LES OBSERVATIONS DE TERRAIN ET LA LITHOSTRATIGRAPHIE RÉGIONALE.

A. — QUELQUES DÉFINITIONS DE TERMES SÉDIMENTOLOGIQUES ⁽¹⁾.

La séquence est une « série de termes lithologiques formant une suite naturelle sans interruptions importantes autres que celles des joints de stratifications » (A. LOMBARD, 1956).

L'examen de nombreuses coupes stratigraphiques nous a en effet montré qu'il fallait attacher le plus grand intérêt au mode de stratification. L'observation montre par exemple :

qu'il faut départager soigneusement un banc de calcaire oolithique d'un ensemble de plaquettes ayant même épaisseur et formées d'un calcaire lithologiquement identique;

qu'il y a une grande différence sédimentologique entre un banc massif d'oolithes et un banc consistant en crachées oolithiques séparées par de fines straticulations de calcaire microcristallin;

qu'une séquence de plaquettes de « marbre noir » composée de calcaires extrêmement fins, ne passe jamais latéralement, de façon directe, à une suite monotone de gros bancs de « marbre noir ».

⁽¹⁾ La sédimentologie est une science relativement nouvelle en Europe continentale, alors qu'elle est devenue d'emploi courant en Angleterre et aux États-Unis. Toutefois, nous nous sommes efforcé d'éviter l'emploi abusif de termes étrangers comme *graded-bedding*, *flute casts*, etc. Il existe, en général, une tournure française tout aussi précise pour désigner ces phénomènes; cependant, nous avons été forcé d'employer dans cette thèse, quelques expressions qui sont des traductions libres de l'anglais; que l'on nous pardonne donc l'emploi de « marqueur » ou de « corrélation ».

C'est donc bien le critère de stratification, de succession de bancs à faciès déterminés, qui doit servir de guide dans les corrélations. Ces successions de bancs ou séquences ont été étudiées par A. LOMBARD, qui en a publié une synthèse théorique en 1956.

Avant de passer à leur étude, il nous a semblé utile de rappeler ici ou de modifier légèrement la définition de quelques termes d'analyse sédimentologique.

Une séquence positive est une suite polaire d'une succession de strates allant des détritiques grossiers aux fins ou des séries terrigènes aux séries à prédominance chimique.

Une séquence négative est l'inverse d'une séquence positive.

On peut distinguer plusieurs ordres de grandeur dans ces séquences (A. LOMBARD, 1956):

1. **Microséquence**: c'est une suite de microstratifications comme les varves, les calcaires rubanés ou zonés.

2. **Stratoséquence** ou séquence à l'échelle des bancs.

3. **Mégaséquence**: à plus grande échelle, elle est en relation avec l'évolution paléogéographique d'un bassin sédimentaire.

Tous ces ordres de grandeur sont intégrables l'un à l'autre; aussi, à l'échelle de la sédimentation des « marbres noirs » proposons-nous l'emploi des termes suivants:

Monoséquence: c'est une suite monotone, sans évolution verticale appréciable de strates d'un même faciès et limitée à sa base et à son sommet, par une variation sédimentologique.

Polyséquence: c'est un ensemble régional de microséquences à extension latérale locale ou un ensemble de microséquences condensées.

Il est bon d'insister sur le fait que les polyséquences permettent de grouper un certain nombre de séquences classiques, ayant en commun des polarités très accusées.

La monoséquence, au contraire, se caractérise par une grande « paresse » de la courbe des lithofaciès, une absence de polarité, et elle correspond souvent aux portions de séquences classiques en « I ».

Ces deux définitions n'ont de sens que pour des successions de faciès condensées; elles traduisent une dualité de style sédimentaire à une échelle immédiatement supérieure aux stratoséquences, mais inférieure aux mégaséquences.

La série virtuelle est l'ordre de dépôt d'une suite de lithofaciès « allant des clastiques grossiers aux clastiques plus fins, puis aux colloïdes mêlés aux calcaires, aux calcaires de plus en plus purs, aux dolomies et aux évaporites » (A. LOMBARD, 1956).

Une série virtuelle locale est une série virtuelle telle qu'elle est observée pour un lithotope donné. Elle n'en reste pas moins empreinte d'une conception théorique. L'examen des coupes de terrain est souvent insuffisant pour restituer « l'ordre naturel » des termes d'une série.

Un lithotope est une aire de sédimentation uniforme ou le lieu des points de même faciès (W. KRUMBEIN et L. SLOSS, 1951). Le terme n'a aucune acception stratigraphique: tel n'est pas le cas des faciès isopiques qui impliquent une idée d'âge.

Un diastème sédimentaire est une interruption temporelle de la sédimentation d'un banc qui se traduit par un « refend » de la roche, sans qu'il y ait accumulation d'insolubles ou formation d'un joint.

Les micrites sont des calcaires microcristallins fins, en mosaïque de cristaux de l'ordre du micron (R. FOLK, 1959).

Les sparites sont des calcaires macrocristallins dont le ciment présente des cristaux de l'ordre de plusieurs centaines de microns (R. FOLK, 1959).

Ces quelques définitions étant posées, nous allons passer en revue d'étage en étage et de région en région, les divers affleurements de faciès « marbre noir » et étudier les corrélations que nous proposons.

Nous définirons tout d'abord les différents faciès rencontrés dans l'assise et nous les classerons suivant l'échelle virtuelle locale. A partir de celle-ci, un lever banc par banc nous permettra de reconnaître un certain nombre de rythmes sédimentaires. Les corrélations basées sur ceux-ci seront très simples lorsqu'il n'y a pas de variations paléogéographiques importantes entre les différents points d'observation; c'est le cas des « marbres noirs » de Basècles et de Golzinne. Au Viséen inférieur, tout au contraire, les faciès varient latéralement, mais un lever de proche en proche, nous a montré que la constance latérale des rythmes sédimentaires restait d'application.

B. — LE « MARBRE NOIR » DE GOLZINNE.

Situé dans l'assise de Rhisnes (Frasnien moyen), le « marbre noir » de Golzinne, connu également sous le vocable de « noir de Mazy », fait suite au « calcaire noduleux de Rhisnes » et est surmonté par le « calcaire noduleux de Falnuée ». Ses affleurements s'étendent au bord nord du Synclinal de Namur entre Tongrinne-Saint-Martin et Huccorgne (fig. 2); puissant d'une vingtaine de mètres, il est visible sur près de quarante kilomètres.

1° HISTORIQUE.

J. GOSSELET a fixé en 1860 la position stratigraphique de ce « marbre noir ». C. DEWALQUE en 1863 précisa cette attribution et les épaisseurs des formations.

X. STAINIER publia en 1890 une révision du Frasnien, mais n'apporta guère de changements au classement de J. GOSSELET.

Au point de vue paléontologique, nous citerons les travaux de R. MARLIÈRE (1930) et d'ASSELBERGHS (1936).

La lithologie du « marbre noir » fut précisée par F. KAISIN en 1910 et 1927. Mais, l'étude la plus fouillée reste celle de P. DUMON (1933), étude qui nous a grandement facilité l'établissement des stampes et des variations de faciès.

2° ÉCHELLE VIRTUELLE LOCALE.

Nous avons reconnu six lithofaciès dont les cinq premiers sont liés à la teneur en insolubles argileux et dont le dernier est dolomitique :

0° les calcschistes à plus de 50 % d'insolubles;

1° les calcaires calcschisteux possédant de 50 à 20 % d'insolubles;

2° les calcaires « noduleux » avec une teneur en insolubles d'environ 15 % répartis capricieusement. La roche fraîche, subcompacte, possède une patine égale et sombre, mais avec des liserés flous et des nuages d'argile. A l'affleurement, ces passées s'altèrent rapidement et les parties plus calcaires forment saillie, donnant à la roche un aspect de « nodules calcaires empâtés dans un calcaire calcschisteux »;

3° les calcaires microcristallins (dont la pâte fondamentale est formée de cristaux de moins de 10 microns), à teneur en insolubles encore élevée (plus de 10 %);

4° les « marbres noirs » qui ne se distinguent du faciès précédent que par une teneur en argile un peu plus faible. Ce sont typiquement les micrites de R. Folk (1959); calcaires microcristallins très bien calibrés en mosaïque de quelques microns;

5° le lithofaciès dolomitique se présente sous forme d'un calcaire noduleux à dolomie pénécontemporaine.

3° ÉTUDE DÉTAILLÉE DES AFFLEUREMENTS.

Le « marbre noir » de Golzinne fut principalement exploité entre Mazy et Rhisnes, mais les carrières souterraines sont aujourd'hui pour la plupart abandonnées (fig. 2).

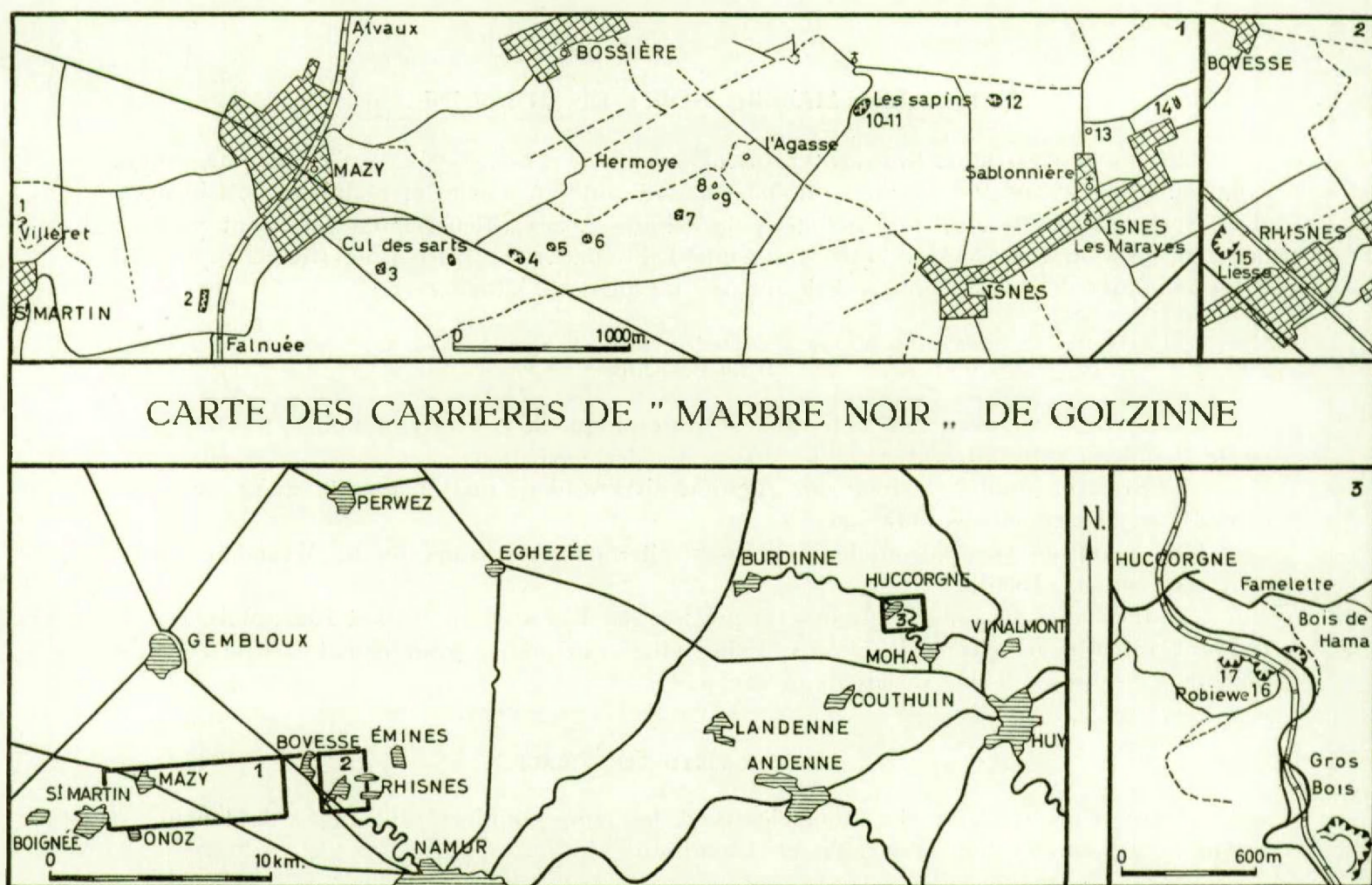


FIG. 2. — Carte des carrières de « marbre noir » de Golzinne.

Pour expliciter la méthode de travail que nous avons suivie, examinons par exemple, une coupe bien exposée et facile d'accès d'une carrière de la région (fig. 3 : Carrière Artoisenet n° 15).

La stampe se compose de deux colonnes.

CARRIÈRE ARTOISENET À RHISNES (N° 15)

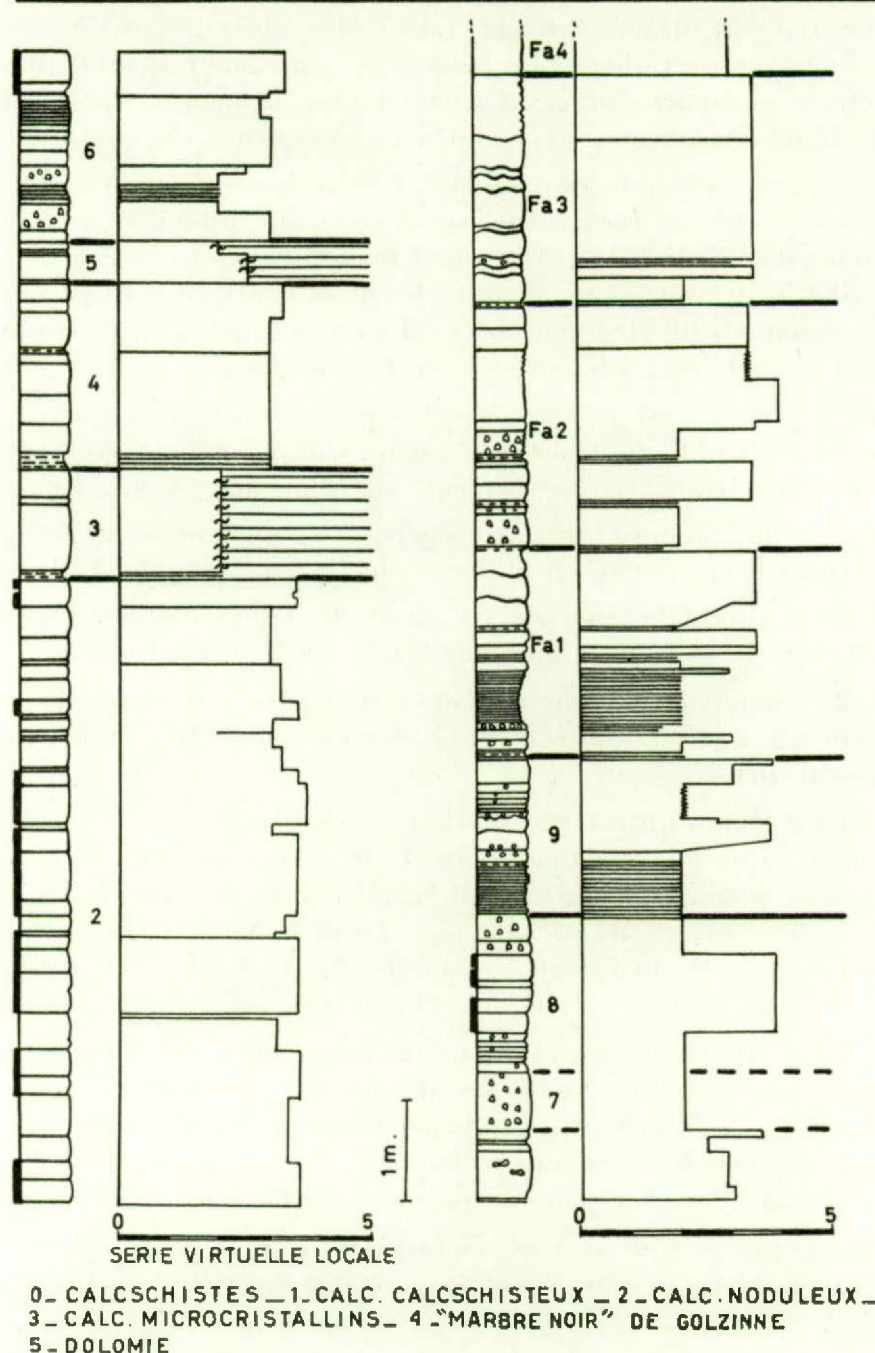


FIG. 3. — Coupe de la carrière Artoisenet à Rhisnes (n° 15).

A gauche est reportée la coupe lithologique : nous y avons réduit les termes de la légende au strict minimum; les passées argileuses sont soulignées par des traits discontinus et les strates de « marbres » par un liseré vertical épais; les calcaires noduleux sont représentés par de petites sphères déformées; les stylolithes sont schématiquement désignés par des « dents de scie »; la surface des bancs est conforme à l'observation en affleurement, soit plane, soit onduleuse; par contre, la partie verticale droite de la colonne représente les « retraits » schématiques d'une paroi où l'altération a attaqué différemment les passées les plus argileuses.

Cette coupe paraît grossière. Toutefois elle s'est avérée suffisamment précise dans le cas de plaquettes de quelques centimètres d'épaisseur. Par cette façon de procéder, nous avons gardé une certaine reproductibilité dans la valeur des observations. Si nous avons dans nos carnets, une foule d'observations plus détaillées concernant des stamps visibles dans des carrières en activité et faciles d'accès, il n'en est plus de même pour d'anciennes galeries de mines à moitié effondrées, où nous avons dû nous contenter d'un minimum d'observations.

La colonne de droite est obtenue en plaçant en abscisse la série virtuelle locale et en ordonnée les épaisseurs des phases positives actives et passives, c'est-à-dire des bancs et des joints. Ici encore, la légende est fort condensée; la série virtuelle locale est représentée à l'extrême base par ses six termes (0 à 5); les variations horizontales de la courbe des lithofaciès correspondent point par point aux variations lithologiques de la colonne de gauche; ainsi, la plupart des droites se recoupent à angle droit, puisqu'il n'y a guère de passées gradées.

Ce mode de représentation diffère de celui proposé par A. LOMBARD; au lieu d'une représentation moyenne de la lithologie du banc par un seul point, nous avons préféré une représentation purement géométrique rigoureusement conforme aux modifications de faciès.

Surimposées à cette colonne, nous avons séparé les séquences ou groupe de séquences par un trait gras, et leur avons donné un indice distinctif (par exemple, Fa 1, pour Falnuée 1).

Pour faciliter la compréhension de ce mode de représentations, nous décrivons ici rapidement les rythmes observés en affleurement à la carrière Artoisenet.

Le rythme 2, comprend 5,50 m de bancs moyennement épais, très bien stratifiés, à surfaces horizontales. Les joints sont francs. La sédimentation, très monotone, n'est troublée que par des passées argileuses.

Ce rythme correspond grosso modo à la « veine inférieure » ou « grande veine » des carriers. Les bancs qui la composent portent des dénominations locales. A la carrière Artoisenet de Rhisnes, ils sont appelés « A, B, ..., U, V ». Au Raidit, l'usage était « O, I, M, N, B, BB, W, V, FF, TT, S, H, AP, R, T ». Enfin à Mazy, l'usage variait entre « IA, IB, J, K, OO, M, L, N, O, P, mal cuit, amoureux, R, T, U, V » et « EE, E, G, H, HH, K (appâts), L, M, P, MM, Q, R, S, T, U, V » (P. DUMON, 1933).

Le rythme 3 est représenté par 1,30 m de gros bancs de « brèche » et de calcaire noduleux dolomitisé. Comme il ne s'agit pas de dolomie primaire, le trait des lithofaciès n'est pas à l'abscisse cinq; la sédimentation du banc étant celle d'un calcaire noduleux, l'abscisse correspond à la série virtuelle locale « deux », modifiée par des traits horizontaux. Les carriers dénommaient cet épisode « les gros mâles » (ou encore « troisième mâle »).

Le rythme 4 est épais de 1,80 m. Fort semblable au rythme 2, il se présente sous la forme d'une suite monotone de bancs moyennement épais. On observe une certaine tendance à passer à une phase positive.

Aux Isnes ce rythme comprend les bancs « A, B, C, D, E, F, premier et deuxième marche, crèches et relies ». A la carrière du Raidit prévalait l'usage de « U, C, D, E, F, x, xx, et L ». A la carrière des Polissoirs on employait « U, C, D, 15 pouces, F, G, H et I ». Enfin, à Mazy, ces bancs étaient connus comme « AA, A, D, B, C, X, Y, XX ».

La sédimentation est brutalement interrompue par le rythme 5, le « deuxième mâle », de 0,50 m, semblable en tous points au rythme 3 et surmontée comme elle d'une séquence sans sens évolutif.

Ce rythme fort peu riche en bancs exploitables, comprend les bancs connus soit comme « A, R, AB, Ac, BB », soit comme « V, W, WW, ZZ et Z ».

Les rythmes 7-8, qui totalisent 2,40 m, sont récurrents et semblables aux précédents; toutefois, la dolomitisation est absente et des bancs à surface onduleuse apparaissent. Cet épisode comporte des bancs connus comme « rachis », « croûtes », « petits mâles », avec quelques passées moins argileuses (les « vifs »).

Le dernier rythme du faciès de Golzinne (9) est une séquence de transition, qui annonce le régime des calcaires de Falnuée : séquences positives avec à la base de nombreuses fines passées de calcaires calcschisteux, puis une sédimentation troublée avec bancs noduleux qui s'affinent vers le haut jusqu'à passer aux « marbres noirs ».

Nous avons dressé sur le terrain dix-sept coupes identiques à celle de la carrière Artoisenet que nous venons de décrire. Faute de place, il ne nous est pas possible de les faire reproduire à une aussi petite échelle. Toutefois ces coupes peuvent être consultées aux bibliothèques de l'Université Libre de Bruxelles et du Service Géologique de Belgique. Nous nous contenterons donc, pour la commodité de la lecture, de présenter une coupe résumée, établie d'après les coupes originales (fig. 4). On y a porté, d'Ouest en Est, les affleurements qui suivent.

1. Ancienne carrière de Villeret à Saint-Martin (à 1.000 m au Nord-Nord-Est du village).
Carrière mi-souterraine, d'accès facile.
Coupe : 13 m allant du rythme 4 des « marbres noirs » de Golzinne à la séquence 2 du « calcaire noduleux de Falnuée ».
Référence : CO 1-CS 1. P. DUMON, 1933, p. 260.
2. Carrière Marchand à Mazy (à 1.000 m au Sud-Ouest de l'église de Mazy).
Carrière abandonnée, boisée et d'accès assez difficile.
Coupe : 12,50 m allant du rythme Golzinne 3 à Fa 1.
Référence : CS 8. P. DUMON, 1933, p. 264.
3. Carrière Arthur Étienne (à 700 m au Sud-Sud-Est de l'église de Mazy).
Carrière souterraine abandonnée.
Coupe : 6 m des rythmes 4-7 sont exposés; les séquences suivantes sont très altérées et mal visibles.
Galerie dans 4.
Référence : CS 11. P. DUMON, 1933, p. 266.
4. Carrière Marbres-Pierres-Granites (à 1.100 m Est-Sud-Est de l'église de Mazy).
Carrière souterraine abandonnée.
Coupe : 4,50 m des rythmes 4-7 sont encore accessibles et les séquences suivantes sont très mal exposées. Galerie dans 4.
Référence : CS 13. P. DUMON, 1933, p. 266.
5. Carrière Joseph Étienne (à 1.150 m Est-Sud-Est de l'église de Mazy).
Carrière souterraine abandonnée.
Coupe : 16 m sont visibles allant de Golzinne 2 à Fa 1.
Deux galeries dans 4 et 2 (photo 1, pl. I).
Référence : CS 14. P. DUMON, 1933, p. 267.
6. Carrière de Merbes-Sprimont (à 300 m au Sud du château d'Hermoye).
Carrière souterraine abandonnée.
Coupe : 7,50 m exposant les rythmes de Golzinne 4 à Fa 1.
Référence : CS 15. P. DUMON, 1933, p. 267.
7. Carrière Dejaiffe (à 550 m à l'Est-Sud-Est du château d'Hermoye).
Carrière souterraine abandonnée, noyée et actuellement inaccessible.
La stampe est établie d'après les documents d'exploitation de la firme Dejaiffe.
Coupe : 16 m décrits de Golzinne 2 à Fa 1. Exploitation en galerie de 2.
Référence : CS 16. P. DUMON, 1933, p. 268.
8. Carrière de l'Agasse (à 850 m à l'Est du château d'Hermoye).
Carrière souterraine abandonnée.
Coupe : 14 m visibles de Golzinne 3 à Fa 1. Exploitation en galeries des rythmes 6-2.
Référence : CS 17. P. DUMON, 1933, p. 268.
9. Carrière de l'Agasse (à 850 m à l'Est du château d'Hermoye).
Descenderie abandonnée.
Coupe : 13,50 m des rythmes de Golzinne 2-8. Exploitation par galerie de 2.
Référence : CS 17. P. DUMON, 1933, p. 268.

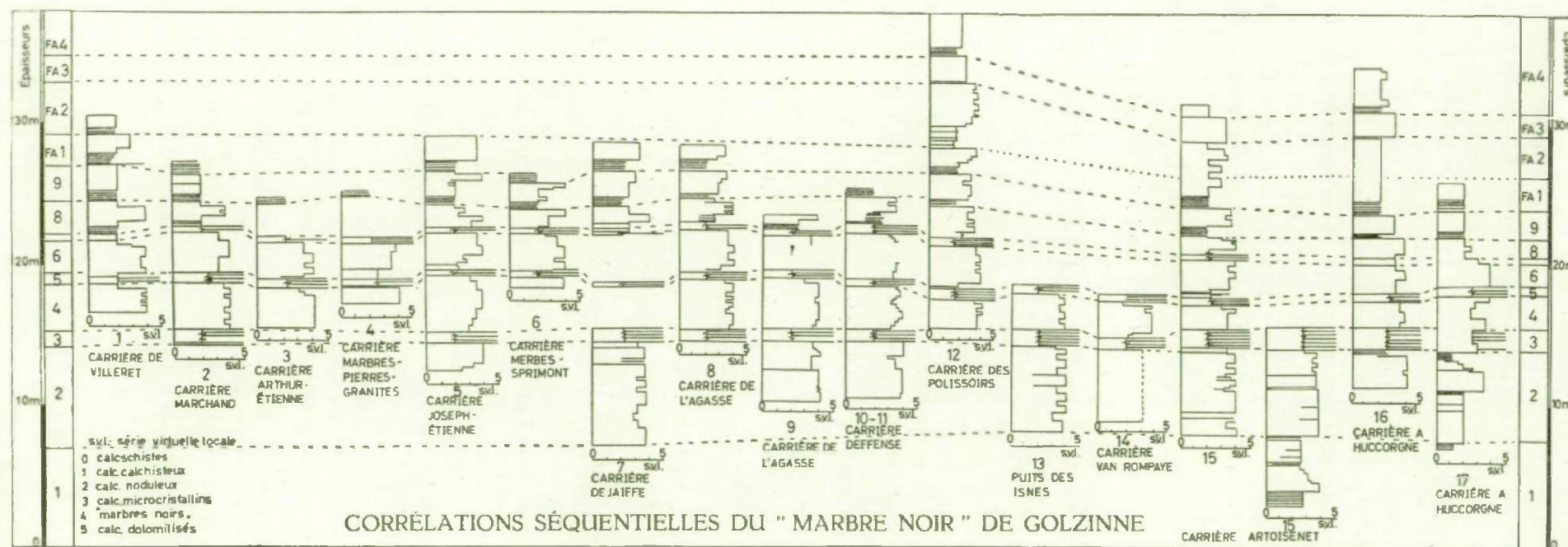


FIG. 4. — Corrélations séquentielles du « marbre noir » de Golzinne.

10. Carrière Deffense (à 1.400 m Est-Nord-Est de l'église des Isnes).
Carrière souterraine abandonnée, noyée et d'accès difficile.
Coupe : 11 m des rythmes de Golzinne 3-9. Galerie d'exploitation dans 4.
Référence : CS 19. P. DUMON, 1933, p. 271.
11. Carrière Deffense (à 1.450 m Est-Nord-Est de l'église des Isnes).
Petite descenderie.
Coupe : 5,50 m du rythme Golzinne 2.
Référence : CS 19. P. DUMON, 1933, p. 271.
12. Les Polissoirs (à 850 m de l'église des Isnes).
Carrière en activité (firme Dejaiffe de Mazy).
Coupe : 22 m, facilement accessibles allant des rythmes de Golzinne 4 à Fa 4.
Référence : CS 20. P. DUMON, 1933, p. 273.
13. Puits de la cour de la ferme des Isnes (à 400 m au Nord de l'église des Isnes).
Puits de recherche creusé en 1928 par la Société Merbes-Sprimont.
Cette coupe n'est plus visible et la stampe est dressée d'après des documents anciens.
Coupe : 11 m des rythmes de Golzinne 2-5.
Référence : CS 21. P. DUMON, 1933, p. 273.
14. Carrière van Rompaye (à 800 m au Nord-Ouest de l'église des Isnes).
Carrière non accessible; les séquences sont établies d'après d'anciens documents de recherche.
Coupe : 9,50 m des rythmes de Golzinne 2-5.
Référence : CO 15. P. DUMON, 1933, p. 274.
15. Carrière Artoisenet (à 1.100 m à l'Est-Sud-Est de l'église de Rhisnes).
Carrière en activité, mais partiellement noyée.
On peut encore y relever des coupes assez complètes.
Coupes : les trois stampes proviennent d'affleurements visibles en 1958 :
13,50 m de Golzinne 1 à 3 derrière le bâtiment des pompes;
16 m de Golzinne 2 à Fa 1 dans la galerie exploitée jusqu'en 1961;
23 m de Golzinne 2 à Fa 4 dans la galerie exploitée en 1956.
Référence : CO 11. P. DUMON, 1933, p. 275.
(Voir photos n°s 2 et 3, pl. I.)
16. Carrière à Huccorgne (immédiatement au Sud de la station d'Huccorgne).
Carrière partiellement noyée, où affleurent les rythmes Golzinne 2 à Fa 4.
Coupe : la partie noyée entamait le rythme Golzinne 2, 23 m de coupe sont encore visibles.
17. Carrière à Huccorgne (à quelque 200 m à l'Ouest de 16).
Coupe : ancienne carrière fort boisée entamant la base du rythme Golzinne 2 jusqu'à Fa 1, 16 m sont visibles.
Références : V. DORMAL, 1892; A. SALEE, 1920; C. DEWALQUE, 1875.

4° CORRÉLATIONS SÉQUENTIELLES.

Le « marbre noir » de Golzinne, dont l'épaisseur reste assez constante dans toute l'étendue du bassin carrier (22 m), se divise en neuf rythmes.

La séquence de base, puissante d'au moins 5 m, introduit le régime, où une timide apparition de calcaires microcristallins assez purs est noyée par des détritiques argileux (1).

Il lui succède un rythme de 6 à 7 m, plus calme, avec réduction des apports détritiques (2).

Suit alors une dolomie pénécontemporaine en gros bancs (les « gros mâles » des carriers), dont l'épaisseur varie de moins d'un mètre à plus de deux mètres (3).

Un rythme du même type que 2 s'établit à l'Ouest du bassin, alors qu'à l'Est les séquences restent troublées (environ 3 m) (4).

Les rythmes 5-6, 7-8, forment des couples récurrents du même type que le couple 3-4, mais dans des faciès de plus en plus argileux (1-2 m, 1-2 m).

Une phase de fermeture de 2 à 3 m, (9), inverse de la séquence 1, clôt la série et introduit les séquences positives du calcaire de Falnuée.

Ces séquences, ou groupes de séquences, se retrouvent semblables à eux-mêmes sur près de 40 km; les variations rapides d'épaisseurs décrites par P. DUMON concernent principalement les « tranches » des carrières qui sont limitées par des diastèmes et non par des joints : elles ne sont donc pas des « bancs » au sens sédimentologique. C'est ainsi que les deux puits de la carrière Artoisenet (n° 15), séparés par moins de 100 m, montrent des variations très importantes pour les diastèmes du rythme 2.

Verticalement, les séquences ou groupes de séquences ne se modifient guère; tout au plus les pourcentages relatifs des lithofaciès varient-ils latéralement : ainsi les dolomies sont plus abondantes à l'Est qu'à l'Ouest pour 3, mais c'est l'inverse qui est vrai pour 7 : ces modifications de détail ne doivent pas cacher l'extrême monotomie du style sédimentaire des « marbres noirs » de Golzinne.

Il n'y a guère de difficultés, pour établir les corrélations, puisque les épaisseurs des séquences ne varient pas latéralement. C'est là un cas extrême d'une sédimentation de plate-forme à subsidence faible et uniforme.

C. — LE « MARBRE NOIR DE DINANT » (V1 A).

Surmontant le « calcaire de Leffe » (Tn3c) et précédant les « calcaires et dolomies de Sovet » (V1b), le « marbre noir » de Dinant est décrit par les auteurs comme caractérisant l'extrême base du Viséen. En réalité, comme nous le montrerons plus loin, sa position stratigraphique est variable et dépend de la paléogéographie.

Les « marbres noirs » affleurent en trois grandes régions du Synclinorium de Dinant; à l'Ouest entre Bachant et Ferrières; au centre entre Denée et Dinant; à l'Est le long de la ligne de chemin de fer Namur-Luxembourg (planche hors texte).

La distance entre les points extrêmes dépasse une centaine de kilomètres mais, par suite des plissements hercyniens qui ont fortement affecté ces terrains, les coupes représentent une paléogéographie d'origine encore plus étendue.

Les exploitations de « marbre noir » se sont concentrées sur une étroite bande d'une trentaine de kilomètres de long. L'extraction fut florissante aux environs de Dinant, du moyen âge au début du XIX^e siècle. A cette époque les carrières s'établirent au Nord-Ouest vers Salet et Denée. Depuis 1900, cette industrie est tombée en complet abandon.

1^o HISTORIQUE.

La littérature relative au « marbre noir » de Dinant est particulièrement abondante. Parmi les travaux les plus importants, nous citerons :

- 1878. E. DUPONT dans DE KONINCK, Poissons et genre Nautilé.
- 1882. E. DUPONT, Explications des feuilles Ciney-Natoye-Clavier, Modave-Dinant.
- 1895. H. DE DORLODOT, Le Calcaire Carbonifère et ses relations avec celui du Hainaut.
- 1909. H. DE DORLODOT, Description succincte des assises du Carbonifère de Belgique.
- 1910. H. DE DORLODOT, Relations de l'échelle stratigraphique, etc.
- 1911. G. DELÉPINE, Recherches sur le Calcaire Carbonifère de la Belgique.
- 1922. F. KAISIN, Les faciès du Dinantien de la Belgique.
- 1922. M. LOHEST, Les faciès du Dinantien.
- 1929. F. DEMANET, Les lamellibranches du « marbre noir » de Dinant.
- 1940. G. DELÉPINE, Les goniatites du Dinantien de la Belgique.

1954. G. MORTELMANS et P. BOURGUIGNON, Le Dinantien. Prodrome d'une description géologique de la Belgique.
 1957. F. DEMANET, Commission internationale de stratigraphie.
 1958. F. DEMANET, Contributions à l'étude du Dinantien de la Belgique.

On ne peut toutefois passer sous silence les études publiées par G. SOREIL (1895), G. FOURNIER (1903), J. FRAIPONT (1904), H. WOODWARD (1924), A. RENIER (1925), V. VAN STRAELEN (1926), P. FOURNIER et P. PRUVOST (1928), R. JACKSON (1929) et G. UBAGHS (1941).

Le problème de la limite Tournaisien-Viséen a souvent été posé. Sans vouloir entrer dans le détail des discussions concernant cette limite, et pour lesquelles nous renvoyons le lecteur au mémoire du chanoine F. DEMANET, nous indiquerons succinctement les positions récemment prises par MM. G. MORTELMANS et P. BOURGUIGNON (1954) et par le chanoine F. DEMANET (1958).

La première se résume comme suit :

V1b	Calcaire et dolomie de Sovet.	<i>Davisiella llangollensis.</i>	S 1
V1a sup. inf.	« Marbre noir » de Dinant. Oolithe à <i>P. sublaevis</i> . Récif waulsortien de Sosoye.	<i>Cyatophyllum.</i>	C 2
Tn3c	Calcaire de Leffe. Calcaire de Paire.	<i>Spirifer konincki</i> et <i>Caninia patula.</i>	C 1

Le tableau stratigraphique de l'Institut royal des Sciences naturelles se présente un peu différemment :

Assise de Dinant (faciès waulsortiens exceptionnels).	Calcaire et dolomie de Sovet.	V1b	<i>Productus, Davisiella llangollensis.</i>	S 1
	« Marbre noir » et oolithe inférieure.	V1a	<i>P. humerosus, Chonetes papilionaceus.</i>	C 2
Assise de Celles (faciès waulsortiens ordinaires).	Calcaire de Leffe, vaseux, violacé et foncé.	Tn3c	<i>P. mesolobus.</i>	C 1

On constatera que les deux positions sont assez similaires; elles ne diffèrent que par la position de l'« oolithe inférieure ».

Nos recherches ont permis de confirmer l'hypothèse la plus récente concernant l'interstratification et l'identité des séquences entre l'« oolithe de Godin » et le « marbre noir ».

Par contre, le récif waulsortien de Sosoye, proposé par le chanoine F. DEMANET comme V1a, est contemporain, du moins en sa partie supérieure, des « calcaires et dolomies de Sovet ».

2° SÉRIE VIRTUELLE LOCALE.

Nous avons distingué sur le terrain six lithofaciès, qu'il est aisé de distribuer en trois groupes :

a) Groupe des détritiques argileux.

0. Calcschistes fissiles.

1. Calcaires calcschisteux, calcaires rubanés ou argileux, calcaires plaquettés et zonés.

b) Groupe des calcaires francs.

2. Calcaires « grenus » : calcaires à foraminifères, calcaires oolithiques, calcaires spathiques, calcaires dits « à points cristallins ».

3. Calcaires microcristallins dits « à petits points cristallins ».

4. Calcaires microcristallins fins et « marbres noirs ».

Ces trois lithofaciès peuvent être subdivisés en termes 2,5 et 3,5 intermédiaires entre 2,5 et 4.

c) Groupe des dolomies.

5. Calcaires dolomitisés et dolomies.

La répartition tant horizontale que verticale de tous ces faciès semble de prime abord extrêmement capricieuse. Les calcaires fins en plaquettes, les calcaires à foraminifères ou à bryozoaires, les calcaires à empreintes néréitiformes nombreuses, les graviers à ostracodes, les biostromes, les calcschistes à hachis végétaux et à crustacés, sont autant d'indices qui, considérés séparément, n'ont qu'une valeur bathymétrique limitée, mais qui indiquent dans leur ensemble une sédimentation épicontinentale sous faible tranche d'eau, à caractère éminemment variable. Les essais de corrélation entre ces divers lithotopes sont naturellement très ardu. Non seulement le sommet du Tournaisien prend parfois une teinte noire et fut alors décrit comme « marbre noir », mais la limite supérieure du VIa est tout aussi floue; placée à l'apparition d'une lunachelle à *Davisiella llangollensis*, elle fluctue en fait avec la dolomitisation.

Devant ces brusques variations de faciès et l'absence de critère paléontologique certain, nous nous sommes lancé, un peu en désespoir de cause, dans l'analyse banc par banc; notre espoir était faible, car visiblement les strates étaient lenticulaires. Grande fut donc notre surprise de voir que les séquences ou groupes de séquences de carrières séparées par une centaine de kilomètres, ne fluctuent pas davantage que d'autres distantes de 200 m à peine; nous découvrîmes que les changements d'épaisseur et les variations de faciès étaient purement locaux, alors que les séquences obéissent à des rythmes d'ordre supérieur qui contrôlaient tout le bassin.

3° ÉTUDE DES AFFLEUREMENTS.

Tout comme pour le « marbre noir » de Golzinne, nous allons rapidement passer en revue une coupe dressée dans une carrière aisée d'accès, la carrière Gilles à Denée. Il est bon d'insister sur le fait que cette coupe n'est en rien plus soignée que les autres stampes de la région; pour garder un sens à la reproductibilité des séquences, nous nous



FIG. 5. — Coupe de la carrière (« Falize ») Gilles à Denée (n° 10).
Base de l'affleurement.

sommes efforcé de lever banc par banc avec le minimum de détail. Nous avons pu garder ainsi une certaine homogénéité dans la qualité de l'observation entre des carrières tantôt faciles d'accès et tantôt extrêmement périlleuses.

La coupe de la carrière Gilles (fig. 5 et 6) débute dans la galerie nord, partiellement noyée. On y observe 50 cm de fines plaquettes de calcaire spathique alternant avec des passées argileuses. La sédimentation est très hachée (du type « zig-zag »).

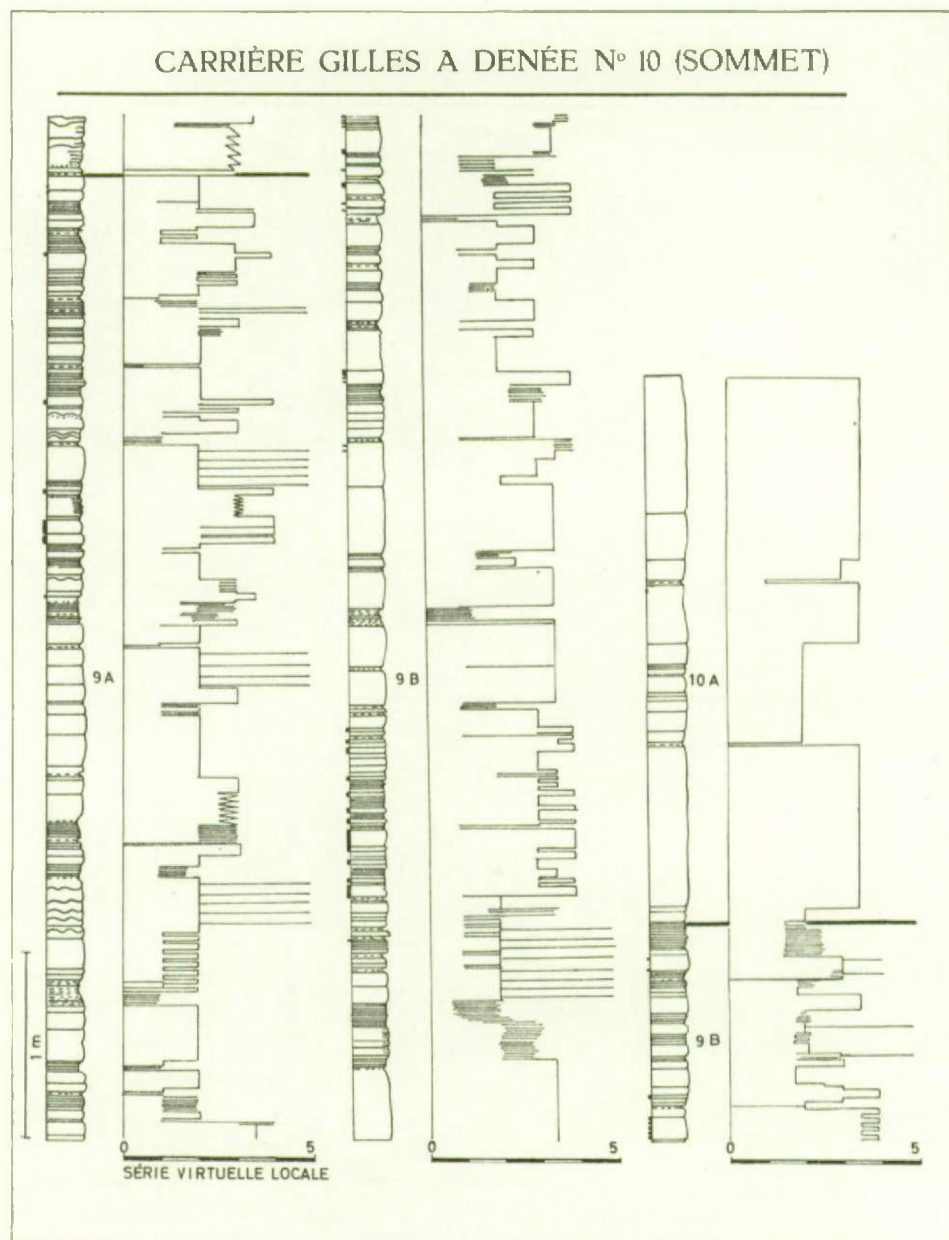


FIG. 6. — Coupe de la carrière (« Falize ») Gilles à Denée (n° 10).
Sommet de l'affleurement.

La monoséquence 2 (1,65 m) est troublée par quelques diastèmes et des passées argileuses à son sommet. Elle est surmontée de quelques décimètres de plaquettes très délitées (poly-séquence 3) avec un mince banc de « marbre noir ». La tendance est négative.

Un gros banc de 80 cm, forme la séquence 4 qui fait place sans transition à la poly-séquence 5 (les « nutons »). Il est impossible de dresser une coupe lithologique de détail de ces 2 m, mais ils sont bien exposés, quelques centaines de mètres plus loin à la carrière 13^{bis} à Denée.

La monoséquence 6 est typique. C'est un gros banc de 2,10 m, recoupé par quelques diastèmes.

La polyséquence 7 (« chauve-souris ») est une petite biséquence comprenant des calcaires argileux à la base et au sommet et une augmentation des « marbres noirs » et calcaires « zig-zag » à son milieu.

La monoséquence 8, également très typique, atteint 1,90 m.

La polyséquence 9, fort épaisse, est divisée arbitrairement en deux termes 9a et 9b. On y reconnaît de bas en haut :

les « dris inférieurs » (1,50 m);

des calcaires dolomitisés à sédimentation lenticulaire (« les mâles »);

les « dris supérieurs » (1,50 m);

la « veine » (4,30 m) caractérisée par des passées de « marbre », des calcaires dolomitisés en bancs onduleux et des couches du type « zig-zag »;

le « gros banc »;

les « gahis » qui, sur 2 m d'épaisseur, ont fourni la majorité du « marbre noir » de la carrière;

enfin, un épisode de calcaires en plaquettes et de gros bancs (2,50 m) qui annonce la dernière « veine » de 2 m de « marbre noir » (les « berwettis »).

La monoséquence 10 clôt le régime des polyséquences typiques.

Nous avons ainsi dressé 69 coupes au 1/20 et au 1/50. L'impossibilité de les présenter ici sous leur forme originale, nous a conduit à dessiner une stampe résumée; elle est présentée sous forme de planche hors texte à la fin du volume.

Passons donc en revue, de région en région, les affleurements observés.

a) Groupe des carrières de Bachant.

Carrière Adam à Bachant (au lieu-dit le Rohué-Bachant).

Cette carrière est comblée et plus aucune coupe n'est visible. C'est le *locus typicus* du calcaire noir de Bachant.

Référence : A. CARPENTIER, 1913, pp. 99 à 104.

Carrières de Tripette ou Lhoripette au Sud du clocher de Bachant : elles n'offrent plus aucune coupe.

1. Carrière Lebrun (sur la rive droite du ruisseau Grimou, à 1 km de l'Ouest du clocher de Limont-Ferrières).

Exploitée jusqu'en 1962 par M. Lequeux, elle recoupe toutes les séquences du Viséen inférieur jusqu'à l'extrême base de l'oolithe de Namèche. La partie V1b-V2a est actuellement noyée.

Coupe : 76 m des rythmes 0-13. Puis l'entière de la dolomie de Sovet.

Référence : A. CARPENTIER, 1913, p. 94.

2. Carrière Cuisset (à 800 m au Nord-Est d'Eclaibes).

Carrière abandonnée et fort boisée, mais d'accès aisé.

Coupe : 12 m du Tn3c-0.

Référence : A. CARPENTIER, 1913, p. 91.

3. Carrière Mercier à Ferrières-la-petite (à 200 m au Sud-Ouest de la station de Ferrières).

Carrière abandonnée donnant une excellente coupe du sommet du calcaire de Leffe sous faciès récifal et de la base du Viséen dérangée par la tectonique.

Coupe : 26 m de Tn3c-7 m de 0.

Référence : A. CARPENTIER, 1913, p. 86.

L'affleurement signalé par A. CARPENTIER (1913, p. 86), le long de la voie ferrée Sars-Maubeuge, non loin de la ferme du Pré-Haut, est tectonisé et n'expose pas une coupe claire. Il s'agit des rythmes 0 et 1 et probablement de quelques bancs des rythmes 2-3.

Les affleurements près de l'église d'Eclaibes et dans la vallée du ruisseau de Cligneux ont disparu.

b) Groupe des carrières de la région de Denée-Salet.

4. Carrière de Biesmes (à 1.500 m à l'Est-Sud-Est du clocher de Biesmes).
Carrière à ciel ouvert, abandonnée, complètement boisée.
Coupe : très mauvaise coupe de 9 m de bancs altérés.
Référence : L. DESCHAMPS, 1937.
Les affleurements D 201, 516-523-525-526 décrits par L. DESCHAMPS sont très mal exposés.
5. Carrière abandonnée à Furnaux (à 900 m à l'Ouest du clocher du village).
Deux puits d'extraction, noyés et d'accès très difficiles sont encore visibles. Ils entament la polyséquence 9.
Coupe : 4,60 m.
Référence : L. DESCHAMPS, D 2-D 131-D 132.
Les affleurements D 216-219-139-140-141-142 de L. DESCHAMPS n'ont plus donné de coupes valables.
6. Coupe de la Responette (à 700 m au Nord-Est de l'église de Saint-Gérard).
Affleurement le long de la route de Wépion ne montrant que le sommet du calcaire de Leffe (17 m) et la base de 0 (12 m).
Plusieurs carrières à l'Est du remblai entaillaient autrefois le Viséen inférieur, mais elles ont disparu; il ne subsiste plus qu'une petite excavation exposant une dizaine de mètres de calcaire noir.
Il faut noter qu'à 550 m du Nord de l'église de Saint-Gérard affleure un récif viséen à dolomie tigrée rose.
7. Carrière « Couture et Cordier » (à 1.750 m à l'Ouest-Sud-Ouest du clocher de Denée).
Mauvais affleurement, partiellement noyé.
Coupe : 6 m des rythmes 8-9.
Référence : Carte géologique 246.
8. Carrière Piette (à 900 m à l'Ouest-Sud-Ouest du clocher de Denée).
Carrière souterraine, abandonnée depuis quarante ans, d'accès difficile, mais donnant une des meilleures coupes de la région (photo 8, pl. II).
Coupe : 16 m des rythmes 9-10.
Références : Carte géologique 75; C. UBAGHS, 1941; G. FOURNIER et P. PRUVOST, 1928.
9. Ancienne carrière Minet (à 400 m à l'Est du clocher de Denée).
Carrière, en partie à ciel ouvert, exposant une coupe assez complète.
Coupe : 12 m des rythmes 9-10.
10. Falize Gilles (à 600 m à l'Est du clocher de Denée).
Carrière à ciel ouvert dans les rythmes 9-10; par contre, l'accès des rythmes 1-8, exploitées en galerie, est rendu dangereux par suite d'éboulements (photo 8, pl. II).
Référence : Carte géologique 241.
11. Carrière des « Cerisiers » (à 150 m au Sud-Est du clocher de Denée).
Exploitation souterraine d'accès dangereux.
Coupe : 7,50 m des rythmes 5-7.
Référence : Carte géologique 242.
12. Carrière dite « Cheminée » (à 200 m au Sud-Est du clocher de Denée).
Exploitation souterraine partiellement éboulée et d'accès dangereux.
Coupe : 4,80 m dans les rythmes 5-6.
Référence : Carte géologique 180.
Les carrières Gobert et Évrard qui ont encore connu quelque activité après la première guerre mondiale, de même que les carrières des Neuf-Bonniers et Desmarais, sont actuellement inaccessibles.
13. Affleurement le long de la route de Denée à Maredsous (à 650 m à l'Est du clocher de Denée).
Cet affleurement qui domine la carrière Gilles présente un pendage NO 20° et est séparé des travaux souterrains de la carrière 10, par une faille de plus de 30 m de rejet. Cette faille fait donc apparaître par deux fois les séquences dans la section-type; une fois en ordre normal, une seconde fois en ordre inverse. Il en résulte que l'épaisseur visible des « veines de marbre noir » est, à Denée, d'une quarantaine de mètres et non de 85 m comme l'avait estimé le chanoine DEMANET.
Coupe : 17,50 m. Rythmes 0-9.
Pour mieux montrer le dédoublement des « marbres noirs » dans la région de Denée, nous insérons ici une coupe Sud-Sud-Ouest à Nord-Nord-Est, passant par l'abbaye de Maredsous, la région de Denée et la carrière des Noires Terres de Bioul (fig. 7).
- 13^{bis}. Petite carrière partiellement à ciel ouvert au Sud et contre l'affleurement précédent (à 700 m à l'Est du clocher de Denée).
Coupe : 6 m dans la polyséquence 9.

14. Carrière Minet (à 800 m à l'Est du clocher de Denée).
Petite carrière souterraine.
Coupe: 10 m des rythmes 9-10.
15. Ancienne carrière Jadin-Meurice (à 1.100 m à l'Est du clocher de Denée).
Coupe: grande carrière entaillant plus de trente mètres des séquences 3 à 10. Actuellement, ne sont plus visibles que 5 m des rythmes 5-6 et 8 m de la polyséquence 9.
Références: Carte géologique 488, Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 531.

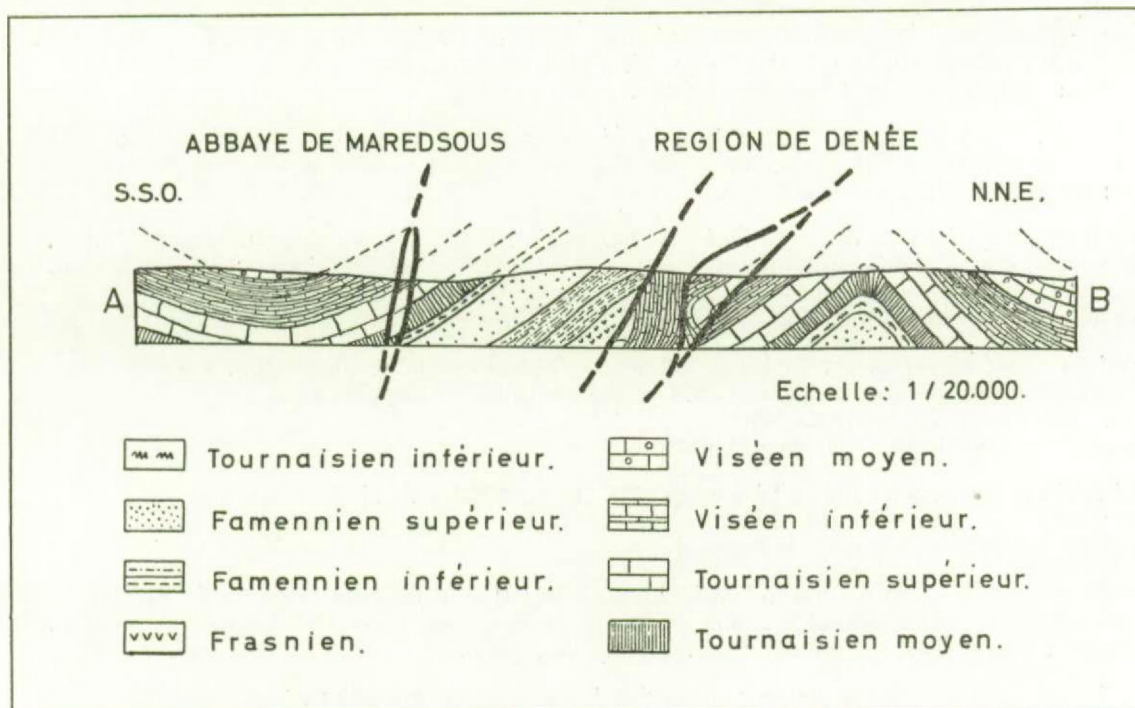


FIG. 7. — Coupe tectonique de la région de Denée.

16. Carrière Demarais-Hotelet (à 1.200 m à l'Est du clocher de Denée).
Coupe: deux carrières souterraines rendues assez dangereuses par suite d'éboulements, recoupant les rythmes 9-10 sur 12 m.
La carrière dite « du Baron » (à 1.900 m à l'Est du clocher de Denée) exploitait la polyséquence 9. Elle est actuellement complètement noyée.
17. Tranchée de Maredret (à l'Est de la station de Maredret).
Coupe: excellente coupe de 19 m dans les faciès de transition des rythmes 5-9 (photo 5, pl. I).
Référence: Carte géologique 189 (cet affleurement est d'ailleurs erronément marqué V1b).
18. Tranchée du passage à niveau (à 700 m au Nord-Est de la station de Maredret au lieu-dit Gilotia).
Coupe: très bonne coupe, facile d'accès, entamant 64 m des rythmes 0-12.
- 19-20. Deux affleurements en face de la gare de Denée.
Coupe: deux bonnes coupes séparées par une faille exposant 27 m des rythmes 0-8 et 29 m des rythmes 8-11.
Référence: Carte géologique 243.
21. Ancienne carrière communale de Sosoye (à 300 m au Sud-Est de l'église de Sosoye).
Coupe: mauvais affleurement, très boisé, montrant 15 m des rythmes 0-6 au voisinage du biostrome de Sosoye.
Référence: Carte géologique 198-199.
22. Ancienne carrière de Foy (à 200 m à l'Ouest de la chapelle de Foy).
Petite exploitation à ciel ouvert complètement envahie par la végétation.
Coupe: 12 m des rythmes 0-6, assez mal visibles.

23. Carrière abandonnée (à 1.600 m Nord-Ouest de l'église de Salet).
(Point 216 de la carte au 10.000°.)
Coupe : 12 m de coupe discontinue dans les rythmes 2-9 mal préservées.
24. Deux petites exploitations au Nord et Sud de la route de Salet à Bioul.
Coupe : 9 m y sont visibles dans les rythmes 8-9.
25. Carrière à ciel ouvert du Ravin des Roches (à 450 m au Sud-Ouest du clocher de Salet).
Coupe : affleurement très boisé exposant une très mauvaise coupe de 14 m des rythmes 0-6.
Il subsiste un certain doute quant à la position stratigraphique de cette carrière.
Référence : 403-405 de la Carte géologique.
26. Tentative avortée d'exploitation au versant nord de la Molinee (à 650 m au Sud-Sud-Est du clocher de Salet).
Coupe : 10 m dans la polyséquence 9.
27. Grande carrière de Salet (à 700 m à l'Est-Nord-Est du clocher de Salet).
Coupe : excellente coupe dans une carrière à ciel ouvert, des séquences 0-10 sur 35 m.
Une galerie souterraine à la base de la polyséquence 9 (photo 6, pl. I).
Référence : Carte géologique 645.
28. Carrière à ciel ouvert (à 750 m à l'Est du clocher de Salet).
Cette carrière encore accessible en 1958 a été remblayée depuis lors.
Coupe : 14 m dans les rythmes 9-10.
Référence : n° 646 de la Carte géologique.
29. Tentative d'exploitation (à 750 m à l'Est du clocher de Salet).
Coupe : 4,50 m des rythmes 5-6.
Référence : n° 647 de la Carte géologique.
30. Carrière souterraine et affleurement le long de la route de Salet à la Molinee.
Coupe : excellent affleurement du « calcaire de Leffe » surmonté par 52 m des rythmes de 0-12.
Références : Carte géologique 90-91; F. KAISIN jr., 1936.
31. Carrière Tanret (à 600 m au Sud-Est du clocher de Salet).
Excellent affleurement d'une carrière en partie à ciel ouvert, en partie souterraine. Les déchets de carrière ont été récemment réexploités, mais la coupe levée en 1958, n'en a pas été affectée.
Coupe : 28 m des rythmes 6-11.
Référence : Carte géologique 401.
32. Ancienne carrière dite « des Pouilles » (à 350 m au Sud-Est du clocher de Salet).
Carrière encore exploitée après la première guerre mondiale.
Coupe : elle offre une excellente coupe des rythmes 4-10 sur une trentaine de mètres.
Référence : 402 de la Carte géologique.
Il existe encore plusieurs carrières dans les environs immédiats de Salet : à 200 m à l'Est de la carrière 25 se situe la descenderie de la carrière Piro, dite des « Lanciers », actuellement en voie de disparition.
A 1.100 m à l'Est de cette carrière existent deux puits de carrières souterraines où l'on peut encore relever 3,50 m de coupe dans la polyséquence 9 B. Ces exploitations d'accès très dangereux n'ajoutent rien aux excellentes coupes de la région.

c) Groupe des régions de Dinant-Ciney.

33. Ancienne carrière de Hun (à la 20° borne de la route Namur-Dinant, sur la rive gauche de la Meuse).
Coupe : carrière abandonnée entamant le « calcaire de Leffe » et présentant à son extrémité supérieure 11 m de calcaires calcschisteux et de calcaires en plaquettes avec cherts décrits par A. RENIER en 1909 (pp. 85-92). C'est la base de 0.
Référence : Carte géologique, entre 409 et 425.
34. Carrière souterraine reprise par la S. A. La Routière (à 2.100 m au Sud de l'église de Houx).
Coupe : la société exploitante se contente de broyer les déchets des anciennes exploitations, mais elle a mis à jour une assez bonne coupe de 27 m des rythmes 7-11 (photo 4, pl. I).
Référence : Carte géologique 260.

- 35-38. Quatre petites carrières souterraines (à 1.700 m au Sud du clocher de Houx).
Leurs entrées cachées par la végétation sont assez difficilement visibles.
Coupe : elles entament respectivement 5 m des rythmes 4-6, 10 m des rythmes 3-7, 6 m des rythmes 9-10 et 11 m des rythmes 9-10.
Référence : Carte géologique 262.
39. Ancienne carrière de Devant-Bouvignes.
Carrière à ciel ouvert; toutefois la séquence 9 A fut exploitée en galerie.
Coupe : on y voit 35 m des rythmes 1-10 et des affleurements discontinus des rythmes 11-13.
40. Carrière et affleurement le long de la route de Leffe à Loyers
(à 750 m à l'Est-Sud-Est de l'ancienne abbaye de Leffe).
Coupe : 8 m des séquences 3-6 et 7 m des rythmes 6-8 séparés par une faille.
La carrière signalée sur la carte au 10.000^e entre 40 et 41 n'existe plus.
41. Carrière souterraine et affleurements des Fonds de Leffe (à 950 m à l'Est-Sud-Est de l'ancienne abbaye de Leffe sur le versant du ruisseau des Polissoirs).
Coupe : 17 m des rythmes 0-8, puis 7 m des rythmes 9-11.
43. Ancienne carrière souterraine Monnard (à 350 m au Nord-Ouest de la ferme du Chenoy à Gemmechenne).
L'accès de cette carrière a nécessité l'emploi de 35 m d'échelle de corde et est particulièrement périlleux.
Coupe : les galeries entament des rythmes 0-7.
- 42, 44, 45, 46. Suite de quatre carrières, abandonnées, mi-souterraines, le long du ravin de Gemmechenne.
Coupe : formant une suite de galeries ininterrompues sur plus d'un kilomètre, ces carrières entament 13 m des rythmes 1-6, 12 m des rythmes 3-7, 10 m des rythmes 3-7 et enfin 9 m des rythmes 2-6.
47. Petite carrière souterraine, abandonnée (à 1.000 m à l'Ouest-Sud-Ouest du village de Loyers).
Coupe : descenderie, complètement éboulée, ne présentant plus que 3 m des rythmes 7-8.
48. Carrière à ciel ouvert (à 1.000 m au Sud-Ouest du clocher de Loyers); complètement envahie par la végétation.
Coupe : très mauvaise coupe des rythmes 2-6, visible sur environ 12 m.
49. Ancienne carrière del Marmol (à 800 m au Sud-Est du village de Loyers).
Carrière souterraine exigeant l'emploi d'échelles de corde.
Coupe : 5,50 m des rythmes 6-7.
Référence : Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 2406.
50. Ancienne carrière mi-souterraine des Polissoirs (à 1.100 m au Sud-Ouest de l'église de Thynes).
Coupe : les rythmes 9-10 y sont visibles sur 12 m.
Référence : 2420, Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique.
51. Trou Picot (à 1.400 m au Sud-Ouest du château de Sorinne).
Mauvais affleurement dans les bois de Daviseaux.
Coupe : une vingtaine de mètres des rythmes 5-10 ?
Il subsiste un doute quant à la position stratigraphique de cette carrière.
52. Les Fonds Joset (ou Josay) (carrière à l'Est de la route de Sorinne à Foy, à 850 m au Sud du château de Sorinne).
Coupe : 7,50 m des rythmes 9-10.
Référence : Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 1362.
53. Les Fonds Joset (affleurement le long de la route Sorinne-Foy).
Tentative avortée d'exploitation de la séquence 9.
Coupe : 22 m des rythmes de 5-10.
Référence : Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 1363.
54. Les Fonds Joset (carrière souterraine à l'Ouest de la route de Sorinne à Foy).
On accède actuellement à cette galerie par un trou de renard très exigü exigeant la reptation.
Coupe : 7,50 m des rythmes 9-10.
Référence : Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 1963.
55. Coupe de Sovet (tranchée du chemin de fer Ciney-Yvoir).
Coupe : excellente coupe, depuis les calcaires de Leffe (visibles sur 30 m) jusqu'à la dolomie de Sovet (*locus typicus*). Les rythmes de 0-13 totalisent 83 m.
Référence : G. DELÉPINE, 1911, p. 381.

56. Coupe de Stée (bifurcation du chemin de fer Luxembourg-Namur et Ciney-Yvoir).
Coupe : trois affleurements discontinus montrant 18 m de Tn3c, 28 m des rythmes 0-8, 35 m des rythmes 10-13 et 9 m des rythmes 13-14.
Références : H. DE DORLODOT, pp. 257-258; E. DUPONT, 1882; Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 5163 A.
57. Coupe le long de la route de Braibant à Ciney (à 100 m au Sud de la Chapelle de Halloy).
Coupe : 10 m de Tn3c surmontés de 38 m des rythmes 0-9.
58. Tranchée de chemin de fer Luxembourg-Namur (à 100 m de la halte d'Halloy) (halte non signalée sur les cartes au 10.000° et 20.000°).
Coupe : 9 m de Tn3c et 6 m de 0.
Référence : E. DUPONT, 1882.
59. Tranchée du chemin de fer Luxembourg-Namur (à 300 m à l'Ouest du moulin d'Haljoux).
Coupe : 59 m des rythmes 10-13 et 35 m de dolomie de Sovet.
Référence : E. DUPONT, 1882.
60. Tranchée de la gare de formation de Ciney.
Coupe : coupe discontinue et fort dérangée par la tectonique montrant 5 m de Tn3c surmontés par 19 m de 0-6. Plus loin affleurent 25 m de 10-12.
Référence : G. SOREIL, 1900, p. 301.
62. Le Calvaire (à 700 m au Sud de la collégiale de Dinant).
Carrière abandonnée depuis plus d'un siècle. Très mauvais affleurement discontinu et boisé.
63. Ancienne carrière du Faubourg Saint-Nicolas (à 1.150 m au Sud-Sud-Est de la collégiale de Dinant).
Coupe : rythmes 0-2 sur 5 m et rythmes 7-10 sur 13 m.
64. Ancienne carrière du Faubourg Saint-Nicolas (à 950 m au Sud-Sud-Est de la collégiale de Dinant).
Coupe : bonne coupe, mais malaisément accessible, des rythmes 3-8 visibles sur 18 m, dans les faciès de transition.
65. Carrière Lambert (sur l'ancienne carte au 10.000° en face de l'église du Faubourg Saint-Paul, à 400 m au Nord de la Roche à Bayard).
Coupe : excellente coupe continue des rythmes 0-12 visibles sur 56 m. Le lever de la partie supérieure de la carrière exige un certain talent d'alpiniste.
66. Ancienne carrière (à 200 m au Nord de la Roche à Bayard).
Coupe : excellente coupe dans 6 m de Tn3c et 60 m des rythmes 0-12.
67. Tranchée de Chaleux (à 100 m au Sud de la ferme de Chaleux).
Coupe : le long du chemin de fer Dinant-Houyet affleurent les dolomies du Tn3c, surmontées par 32 m des rythmes 0-9.
Références : H. DE DORLODOT. Notes du Service Géologique n° 314.
68. Carrière du synclinal de Mont-Anseremme (à 450 m au Nord du château de Freyr), sur la rive droite de la Meuse.
Coupe : excellent affleurement entamant sur 53 m le calcaire de Leffe Tn3c sous le faciès récifal et brèches de démantèlement « périrécifales » et sur 22 m les rythmes 1-8, sous des faciès analogues (photo 7, pl. II).
Référence : Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, 505 B.

4° CORRÉLATIONS SÉQUENTIELLES.

La mise en œuvre des données de terrain fait apparaître que le Vla expose une évolution séquentielle qui se résoud dans le détail en treize termes caractérisés par l'accroissement des polyséquences par rapport aux monoséquences.

Le rythme 0 forme transition avec l'énorme monoséquence finale du Tournaisien. Son épaisseur varie de 3 à 12 m. Elle débute par des joints « bitumeux » très fossilifères. Cette lumachelle de base, très facile à reconnaître sur le terrain, s'étend sur plusieurs milliers de kilomètres carrés. Elle correspond à une hécatombe de quelques dizaines de milliards d'individus, en grande majorité des *Productidae* : toutefois elle ne fluctue verticalement que de quelques centimètres par rapport à la base de la séquence.

Une alternance de polyséquences et de monoséquences fait suite (1-2, 3-4, 5-6, 7 et 8); elles conduisent à la polyséquence principale 9, la « grande veine » des carriers de Denée. La monotonie de ces couples est troublée par des mouvements tectoniques locaux qui conduisent à des phénomènes de fluage, surtout dans le Nord de la France.

Les rythmes du sommet, mal individualisés (11 à 13) forment transition avec la monoséquence de la « dolomie de Sovet » proprement dite.

Les épaisseurs des séquences ou groupes de séquences variant sensiblement (leurs fluctuations sont indiquées avec exactitude au chapitre traitant de la paléogéographie), nous n'indiquerons ici que des ordres de grandeur :

Polyséquence 1	0,50-2 m	« petite veine ».
Monoséquence 2	0,50-4 m	« gros bancs ».
Polyséquence 3	0,50-2 m	« petite veine ».
Monoséquence 4	1-4 m	« gros bancs ».
Polyséquence 5	0,50-4 m	« nutons ».
Monoséquence 6	1- 4 m	« gros bancs ».
Polyséquence 7	1- 5 m	« chauve-souris ».
Monoséquence 8	2- 6 m	« gros bancs ».
Polyséquence 9a	2-10 m	« dris inférieurs », « mâles ».
		« dris supérieurs », « veine » et « gros bancs ».
Polyséquence 9b	2- 9 m	« gahis », « gros bancs », « berwettis ».
Monoséquence 10a	3- 6 m	« gros bancs ».
Monoséquence 10b	2-11 m	« grise veine ».
Rythme 11	7-16 m	
Rythme 12	5-10 m	
Rythme 13	6-20 m	

Toutefois, l'évolution séquentielle du Vla, pris dans son ensemble, est remarquablement constante. (Cette monotonie des séquences tranche d'avec les hypothèses anciennes qui se sont attachées à des variations locales de faciès sans tenir compte des rythmes sédimentaires.) Elle se résume, comme nous l'avons montré, en une alternance de dépôts à courbe de lithofaciès tantôt oscillante, tantôt monotone. Cette alternance étant récurrente et les épaisseurs des séquences étant variables, leur identification doit s'appuyer sur des critères confirmatifs (p. 37).

Le problème qui nous occupe peut se représenter schématiquement comme suit; soit A et B, deux types distincts de sédimentation. Deux affleurements exposent

A 5	A 5'.
B 4	B 4'.
A 3	A 3'.
B 2	B 2'.
A 1	A 1'.

Tout en postulant une continuité latérale de sédimentation, il n'en reste pas moins évident que l'on peut proposer $A 1 = A 1'$, mais également $A 1 = A 3'$ ou $A 1 = A 5'$.

Il est donc évident que le mode de sédimentation n'est pas suffisant pour assurer une corrélation univoque; il faut caractériser individuellement chaque séquence par une

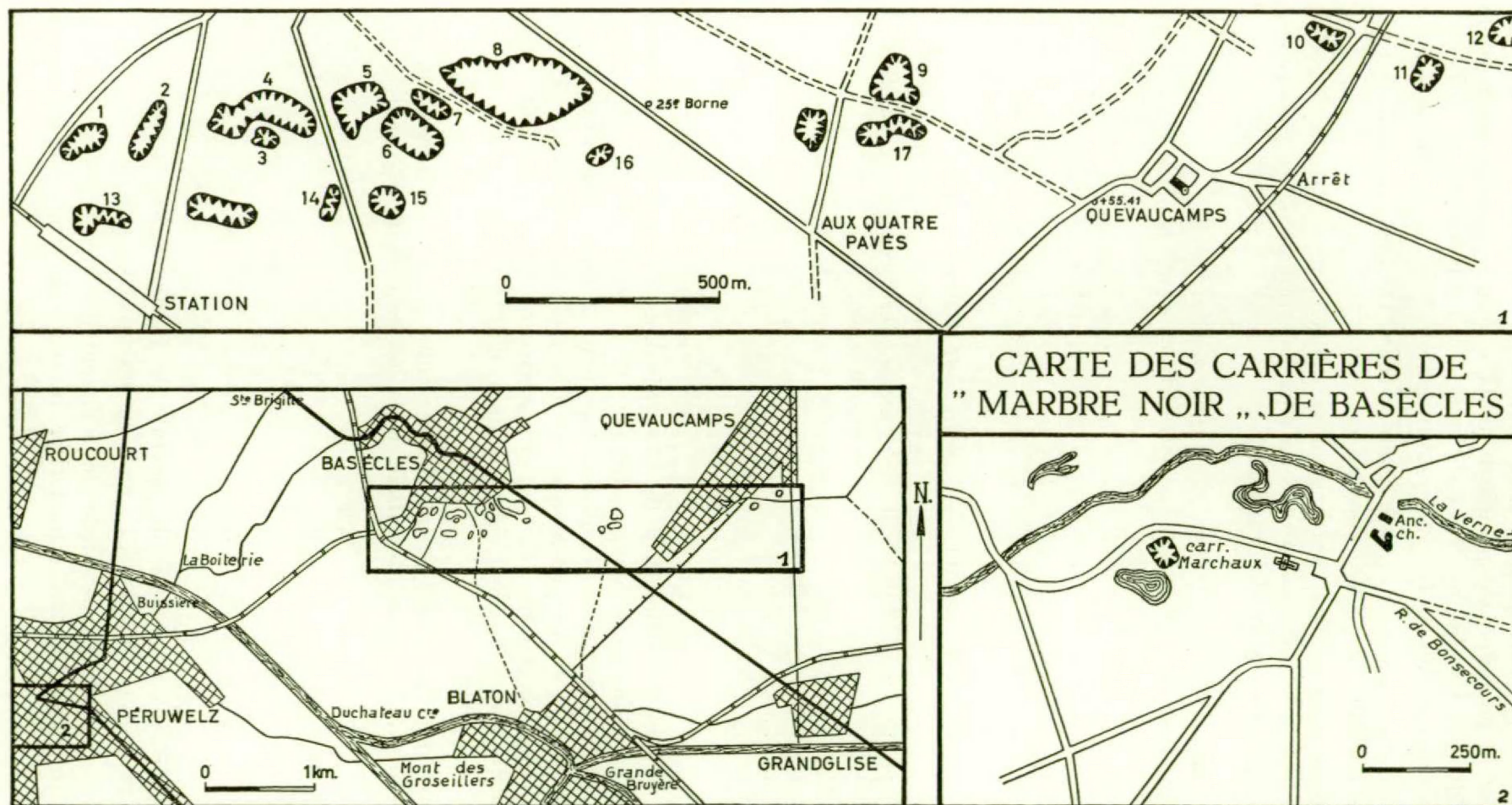


FIG. 8. — Carte des carrières de « marbre noir » de Basècles.

particularité locale du lithofaciès permettant des raccords à petite distance. Nous revenons ici aux corrélations classiques de faciès à faciès, mais en utilisant celles-ci dans le cadre des séquences.

Au chapitre II, nous aurons l'occasion de nous étendre plus longuement sur le problème des critères confirmatifs aux raccords de séquences.

D. — LE « MARBRE NOIR » DE BASÈCLES.

Le « marbre noir » de Basècles affleure dans la partie occidentale du Synclinal de Namur, où des carrières à ciel ouvert s'étendent depuis Péruwelz jusqu'aux environs de Quevaucamps (fig. 8).

La base de cette formation reste inconnue et il est surmonté par le « calcaire de Blaton » (J. CORNET, 1927; P. DUMON, 1947; B. MAMET, 1958).

1° HISTORIQUE.

La position stratigraphique de ce « marbre noir » est restée longtemps indécise. Fort peu de travaux y furent consacrés et il fut placé tantôt dans le Viséen inférieur (P. CORIN, 1929; G. DELÉPINE, 1911; F. DEMANET, 1958), tantôt dans le Viséen moyen (J. CORNET, 1927; G. MORTELMANS et P. BOURGUIGNON, 1954). Nous avons récemment montré qu'il appartient à la partie inférieure du Viséen moyen (V2a). Cette position a été confirmée par P. OVERLAU en 1961.

On consultera également avec grand profit le compte rendu d'une excursion de la Société belge de Géologie (1947) conduite par P. DUMON. Nous devons à son extrême obligeance, plus d'un renseignement concernant des affleurements actuellement disparus.

2° SÉRIE VIRTUELLE LOCALE.

Nous avons reconnu sur le terrain six lithofaciès dont cinq sont calcaires et le sixième dolomitique.

a) Groupe des détritiques argileux.

0. Calcschistes.

1. Calcaires calcschisteux et schistoïdes.

b) Groupe des calcaires francs.

2. Calcaires microgrenus, dits « à points cristallins », calcaires finement organogènes.

3. Calcaires microcristallins, « marbre noir » de Basècles.

4. Lutites calcaires, micrites fines.

c) Groupe des dolomies.

5. Ce sixième faciès est sporadiquement présent sous forme de dolomie pénécontemporaine.

3° ÉTUDE DES AFFLEUREMENTS.

Nous avons appliqué au « marbre noir » de Basècles, le mode de lever décrit par nous pour les « marbres noirs » de Golzinne et de Dinant. Nous ne nous répéterons donc pas. Dix-sept coupes ont été décrites au 1/50 et nous les avons déposées à la bibliothèque de l'Université Libre de Bruxelles et au Service Géologique. Nous les avons réduites ici en un format plus commode. Elles concernent les carrières suivantes (fig. 9 et 10) :

1. Carrière Marchaux à Péruwelz (à 300 m de l'église de Péruwelz).
Carrière encore en activité en 1961 (photo 9, pl. II).
Coupe : 32,50 m des séquences 2-5.
Références : P. DUMON, 1947, p. 82; B. MAMET, 1957, p. 169.

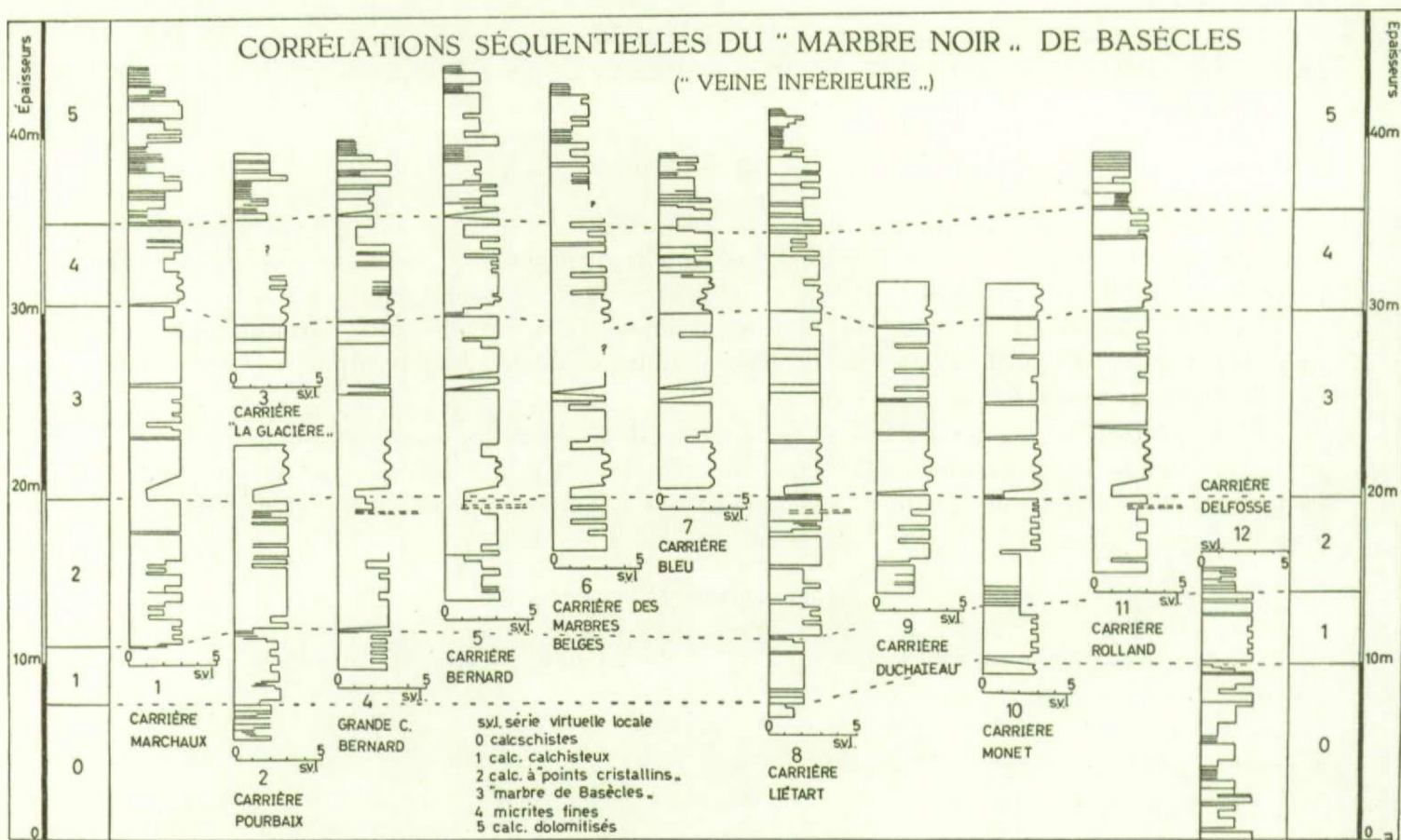


FIG. 9. — Corrélation séquentielle du « marbre noir » de Basècles (« veine inférieure »).

2. Carrière Pourbaix à Basècles (à 750 m au Sud-Sud-Ouest de l'église de Basècles).
Carrière abandonnée et complètement noyée; il est actuellement impossible d'y relever une coupe et la stampe est établie d'après les renseignements de P. DUMON.
Coupe : 16,50 m de 1-3.
Références : P. DUMON, 1947, p. 85; B. MAMET, 1957, p. 109.
3. Carrière « La Glacière » à Basècles (à 650 m au Sud de l'église de Basècles).
Carrière abandonnée et inondée dont l'étude nécessite l'emploi d'un canot pneumatique.
Coupe : 11,80 m de 3-5.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 103.

4. Grande carrière Bernard à Basècles (à 600 m au Sud de l'église de Basècles).
Carrière abandonnée, partiellement noyée, mais présentant encore plusieurs parois accessibles.
Coupe : 29,50 m de 1-5.
Références : J. CORNET, 1927, p. 450; B. MAMET, 1957, p. 99.
5. Carrière Bernard à Basècles (à 650 m au Sud-Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière encore exploitée en 1962 (photos 10 et 12, pl. II).
Coupe : 30 m de 2-5.
6. Carrière des Marbres belges à Basècles (à 700 m au Sud-Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière abandonnée et noyée, mais qui expose encore quelques parois accessibles.
Coupe : 25 m de 2-5.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 79.

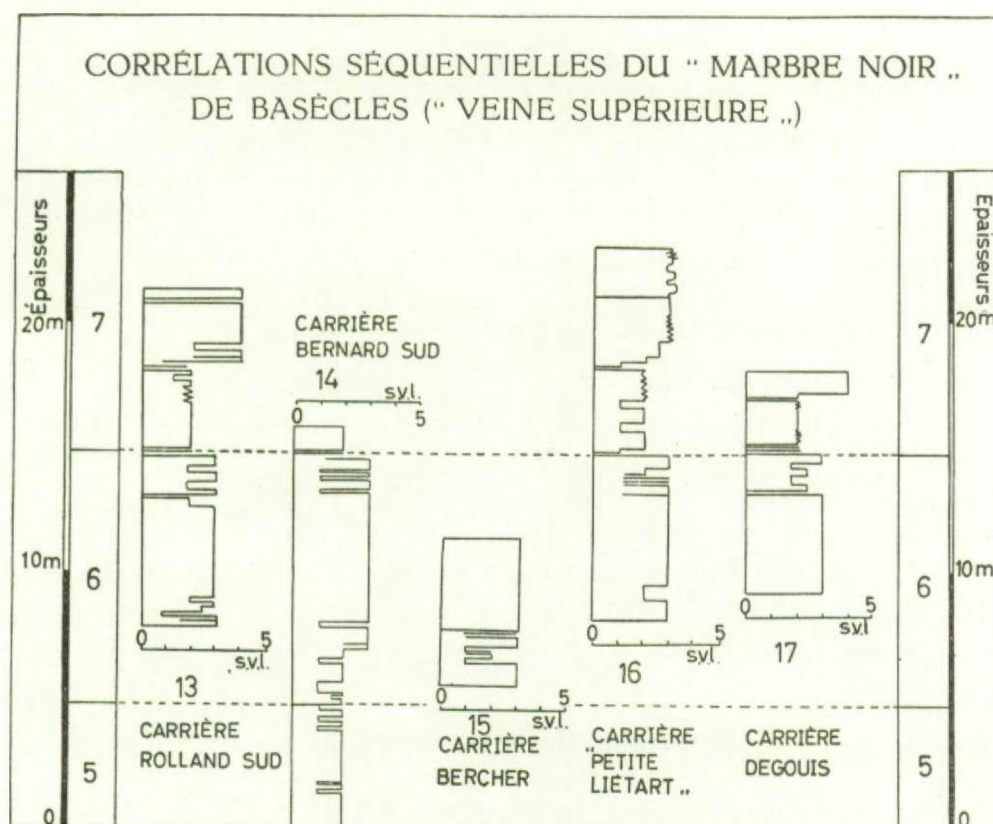


FIG. 10. — Corrélations séquentielles du « marbre noir » de Basècles (« veine supérieure »).

7. Carrière Bleu (à 750 m au Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière abandonnée et noyée, avec une paroi encore accessible.
Coupe : 18,80 m de 3-5.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 77.
8. Carrière Liétard (Est) à Basècles (à 900 m au Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière abandonnée et noyée, d'accès fort difficile.
Coupe : 35,50 m de 0-5.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 70.
9. Carrière Duchâteau à Quevaucamps (à 750 m à l'Ouest-Nord-Ouest de l'église de Quevaucamps).
Carrière abandonnée et complètement noyée, dont l'étude a nécessité l'emploi d'un canot pneumatique.
Coupe : 31,60 m de 2-5.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 27.

10. Carrière Monet à Quevaucamps (à 500 m au Nord-Est de l'église de Quevaucamps).
Carrière abandonnée et partiellement noyée.
Coupe : 25 m de 0-4.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 32.
11. Carrière Rolland à Quevaucamps (à 700 m au Nord-Est de l'église de Quevaucamps) (photo 11, pl. II).
Carrière en activité jusqu'en 1961, mais actuellement complètement noyée.
Coupe : 24,10 m de 2-5.
Références : P. DUMON, 1947, p. 90; B. MAMET, 1957, p. 24.
12. Carrière Delfosse à Quevaucamps (à 950 m au Nord-Est de l'église de Quevaucamps).
Carrière abandonnée et transformée en décharge municipale; on peut prévoir sa disparition dans peu d'années.
Coupe : 16 m de 0-2.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 19.
13. Carrière Rolland à Basècles (à 950 m au Sud-Sud-Ouest de l'église de Basècles).
Carrière partiellement noyée, mais exposant une coupe assez facile d'accès.
Coupe : 15 m de 6-7.
Références : P. DUMON, 1947, p. 84; B. MAMET, 1957, p. 118.
14. Carrière Bernard Sud à Basècles (à 800 m au Sud-Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière complètement noyée et nécessitant pour son étude l'emploi d'un canot pneumatique.
Coupe : 15 m de 5-6.
Références : P. DUMON, 1947, p. 83; B. MAMET, 1957, p. 95.
15. Carrière Bercher à Basècles (à 850 m au Sud-Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière noyée et très difficile d'accès.
Coupe : 16,70 m de 5-7.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 93.
16. Carrière « Petite Liétart » à Basècles (à 1.050 m au Sud-Est de l'église de Basècles).
Carrière noyée et difficile d'accès.
Coupe : 14,60 m de 6-7.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 51.
17. Carrière Degouis à Quevaucamps (à 750 m à l'Ouest de l'église de Quevaucamps).
Carrière noyée et très difficile d'accès.
Coupe : 8,40 m de 6-7.
Référence : B. MAMET, 1957, p. 44.

4° CORRÉLATIONS SÉQUENTIELLES.

La partie supérieure du « calcaire de Basècles » (60 m) se divise en six séquences dont deux positives, sous-jacentes aux « veines » des carriers.

La séquence 1, puissante d'environ 8 m, est fort troublée; elle introduit la sédimentation des calcaires microcristallins dans une suite de strates où prédomine le groupe des détritiques argileux.

La séquence 2, épaisse de 8 m, débute par des phénomènes de « slumping » accusés à l'Est de la région; à ceux-ci succèdent une séquence positive qui s'achève par le « gris blanc »; des goniatites flottées y traduisent une période de fermeture temporaire du lithotopé.

La séquence 3, puissante de 10 m, débute également par un phénomène de « slumping ». Elle constitue la « veine » des carriers.

Un ultime phénomène de décollement interne suivi d'une séquence négative (5 m) clôt le régime, qui passe à une polyséquence (environ 25 m) sans sens évolutif bien accusé.

Une dernière séquence positive, totalisant 7 m, donne lieu à une récurrence de faciès et passe au « calcaire de Blaton ».

CHAPITRE II.

LES OBSERVATIONS DE TERRAIN
ET LA LITHOSTRATIGRAPHIE GÉNÉRALE.

A. — LA NOTION DE CORRÉLATIONS SÉQUENTIELLES.

1° VALEUR DES SÉQUENCES ET CONSTANCE DE LEUR ÉVOLUTION.

La séquence est, nous l'avons vu, une suite naturelle de strates qui présente ou ne présente pas de polarité et qui est délimitée à la base par un épisode sédimentologique majeur : ce peut être, soit la disparition de la polarité, soit une coupure par diastrophisme, soit une orientation nouvelle des rythmes. La valeur à accorder à cet épisode est donc entachée d'un facteur personnel et il en résulte qu'une séquence isolée n'offre guère d'intérêt pour les corrélations.

La même constatation s'impose pour les lithofaciès : grâce à des « marqueurs » locaux, on peut prouver les migrations verticales des faciès par rapport aux lignes isochrones : des faciès identiques ne sont pas preuve de synchronisme, surtout si la distribution des points d'observation est perpendiculaire aux lignes de sédimentation.

Par contre, une succession de types de stratifications qui se retrouvent latéralement à travers les lithotopes peut servir de fil d'Ariane pour l'établissement des corrélations : on ne peut en général parler d'une suite de cycles, mais plutôt d'une succession de rythmes qui traduisent la dualité d'origine du matériel sédimentaire ; en partie détritique et allochtone, en partie calcaire et *in situ*.

Cette différenciation des rythmes a été pour nous la base même de la séparation entre mono- et polyséquences. Il est évident que cette façon de voir diffère légèrement des hypothèses présentées par A. LOMBARD : nous avons en effet tendance à grouper les petites séquences à extension locale en ensembles plus importants ou polyséquences et à considérer les groupes de strates sans évolution, comme des monoséquences.

C'est ainsi que, ayant tenu compte de la possibilité de diagenèse, de condensations de séquences, de dichotomie des joints, des omissions ou des lacunes, de mouvements tectoniques locaux, l'évolution séquentielle des « marbres noirs » de Golzinne, de Dinant et de Basècles est latéralement constante pour chacun des « bassins » où les coupes furent observées.

Toutes les variations de faciès qui s'y voient, si brutales soient-elles, se sont avérées être contrôlées par un mécanisme d'ordre supérieur qui intéresse la stratification. Nous avons pu retrouver ainsi la même polarité des rythmes dans tous les affleurements ; ceci prouve, qu'il est erroné d'attribuer une valeur bathymétrique aux séquences. Le critère de bathymétrie reste moins important que les relations entre l'alimentation en détritiques, la forme de la surface de réception et la précipitation *in situ*. Comme nous le montrerons plus loin, dans les séries calcaires dinantiennes, c'est cette dernière qui est prépondérante dans la formation des bancs, alors que la première est responsable des « joints ».

2° FACIÈS ET BATHYMÉTRIE DES DÉPÔTS.

A. CAROZZI et R. WALPOLE (1961) ont récemment publié une analyse sédimentologique poussée des calcaires viséens de l'Alberta. Ils ont fondé leurs corrélations sur la bathymétrie supposée des dépôts; dans ce cas, la série virtuelle locale est remplacée par une suite de lithofaciès rangés par ordre de bathymétrie croissante; les auteurs obtiennent ainsi une courbe oscillante de « régressions et de transgressions » qui ont pu être suivies sur une quarantaine de kilomètres.

Toutefois, nous restons assez sceptiques quant à la possibilité de déterminer la bathymétrie exacte de calcaires déposés sous faible tranche d'eau. A Dinant, par exemple, se succèdent, centimètre par centimètre, des faciès extrêmes de l'échelle « bathymétrique » de CAROZZI-WALPOLE. Or, il est ici impossible d'imaginer des variations bathymétriques incessantes autres que celles dues aux marées; il n'y a aucune preuve qu'une biomicrite (R. FOLK, 1959) fine soit engendrée dans un milieu plus profond qu'une sparite primaire ou secondaire (B. MAMET, 1961). De plus, les critères invoqués par ces auteurs sont souvent d'application difficile.

Par quel moyen différencier les micrites fines des platiers algaires très peu profonds, des micrites tout aussi fines et tout aussi bien classées considérées comme « profondes » dans le Viséen canadien ?

Si même nous parvenions à retrouver un cycle sédimentologique idéal, les corrélations bathymétriques ne permettraient pas d'établir un synchronisme absolu entre des suites de ces cycles; nous pensons, en effet, que la plupart des variations verticales de la tranche d'eau sont le fait de gauchissements locaux du socle et la méthode proposée par CAROZZI et WALPOLE n'offre pas plus de certitude qu'une comparaison de suites de faciès.

3° SYNCHRONISMES DES SÉQUENCES.

NOTIONS DE SÉQUOTOPE ET DE SÉQUOSTRATIGRAPHIE.

C'est d'affleurement en affleurement, que nous sommes parvenu à étendre latéralement la succession verticale des rythmes sédimentaires du Viséen inférieur. Cette succession constante des rythmes nous paraît inconciliable avec une migration de ceux-ci par rapport aux isochrones : l'observation d'une succession d'une dizaine de rythmes bien caractérisés qui recoupent les faciès, postule pour nous l'existence d'un synchronisme entre les séquences de « marbre noir » que nous avons étudiées.

Le terme « bassin de sédimentation » restant trop vague pour qualifier le type de sédimentation qui nous occupe, il nous a paru utile d'introduire un terme nouveau qui tienne compte de l'analogie géographique des séquences. Par définition, nous qualifierons de séquotope, le lieu des points représentant une suite de séquences latéralement semblables.

Un séquotope comprend une somme de lithofaciès variés. Puisqu'il dépend du mode de sédimentation, on peut prévoir que son extension géographique pourra être différente de l'étendue des lithotopes qui le compose. Pour une plate-forme continentale, les séquences synchrones recoupent les lithotopes sur des étendues appréciables.

On a vu que le complexe sédimentaire des « marbres noirs » de Dinant comportait une dizaine de rythmes superposés, dont chacun apparaît comme synchrone en chacun des points d'observation : on peut dès lors parler de l'« âge » de ces séquences, chaque rythme représentant un intervalle de temps bien défini. Il apparaît dès lors nécessaire de créer

une quatrième subdivision de la stratigraphie classique, subdivision qui unit le concept lithologique au concept chronologique; ce sera la séquostratigraphie qui étudiera les corrélations de séquences.

4° NOTION ET UTILITÉ DES SECTIONS-TYPES ÉQUIVALENTES.

Le synchronisme de deux coupes dans un même séquotopie permet une application intéressante de la séquostratigraphie aux sections-types. Celles-ci conservent encore toute leur valeur et sont d'une inappréciable actualité; c'est ainsi que l'étude des foraminifères libres calcaires, fournira dans peu d'années des critères excellents pour la zonation mondiale du Carbonifère inférieur marin. On peut de même supposer que dans une vingtaine d'années un groupe encore méconnu des microfossiles apportera peut-être les critères que la macrofaune est impuissante à fournir. Ces travaux de micropaléontologie n'auront de valeur que s'ils sont basés sur les strates du « *locus typicus* ». Or, il se fait que la plupart d'entre eux sont en voie de disparition. La séquostratigraphie en fournissant la possibilité d'établir le synchronisme absolu de groupes de strates, palliera cet inconvénient en permettant l'extension de la coupe-type à un ensemble régionalement plus vaste, ayant davantage de chances de rester accessible. Nous qualifierons de tels affleurements de sections-types équivalentes.

De plus, puisque les séquotopes recoupent les lithotopes, on pourra trouver latéralement des faciès riches en micro- ou en macrofaune qui compléteront utilement l'assemblage paléontologique du « *locus typicus* ».

Enfin, la comparaison de la faune d'un « *locus typicus* » avec une section fossilifère synchrone, permettra d'évaluer l'influence du lithofaciès sur son contenu paléontologique. Les sections-types équivalentes permettent, en effet, de juger si la faune d'un « *locus typicus* » possède une vraie valeur biostratigraphique, ou si au contraire, elle représente un assemblage lié au faciès. C'est ainsi que dès à présent, il est permis d'affirmer qu'il fut téméraire de caractériser la base du Viséen par la présence du *Productus (Plicatifera) humerosus* = *Productus sublaevis* et des formes associées; celles-ci se cantonnent exclusivement dans les faciès oxygénés et péri-récifaux.

5° CONTRÔLE ET CONFIRMATION DES CORRÉLATIONS SÉQUENTIELLES.

A l'observation des séquences, viennent s'ajouter un certain nombre de critères lithologiques, qui permettent de confirmer les corrélations séquostratigraphiques. Ils forment des « marqueurs » à valeur locale, qui n'en ont pas moins leur utilité par l'observation de proche en proche de leur extension. Par ordre d'importance ce sont :

- a) les joints de stratification,
- b) les interpénétrations de faciès,
- c) les surfaces d'abrasion, surfaces taraudées et halmyrolyses,
- d) les décollements internes et le « slumping »,
- e) les passées granoclassées,
- f) les pistes, empreintes néréitiformes et lumachelles.

a) Les joints de stratification.

Il a été admis par A. LOMBARD en 1956 que les « joints » séparant les bancs correspon-
daient à des phases positives passives, c'est-à-dire à des phases de ralentissement sédimentaire.

Cette notion demande à être précisée. En effet, nous considérons que deux processus différents peuvent rendre compte de la constance remarquable des « joints » des « marbres noirs » et en particulier de ceux du « marbre noir » de Basècles.

1° Dans le premier processus, l'arrivée des terrigènes argileux serait une constante pour le lithotope; son dépôt serait comparable à un « bruit de fond » sur lequel viendraient se greffer des phases positives actives calcaires.

2° Dans le second, l'arrivée des terrigènes serait au contraire variable dans le temps, alors que le dépôt de calcaire serait constant.

Les figures 11 et 12 expriment schématiquement ces deux hypothèses qui conduisent à une interprétation fort différente des « joints de stratification ».

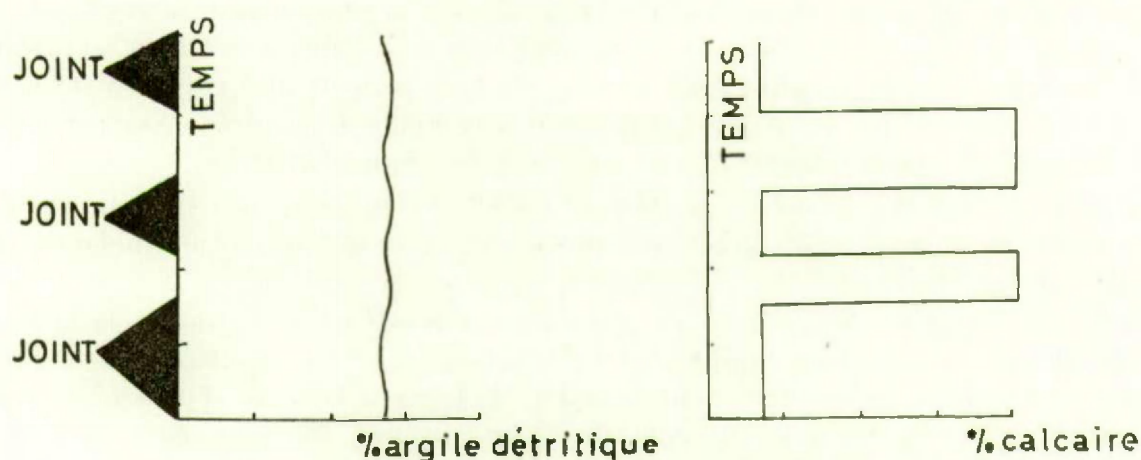


FIG. 11. — Première hypothèse. Le « joint » est une phase positive passive.

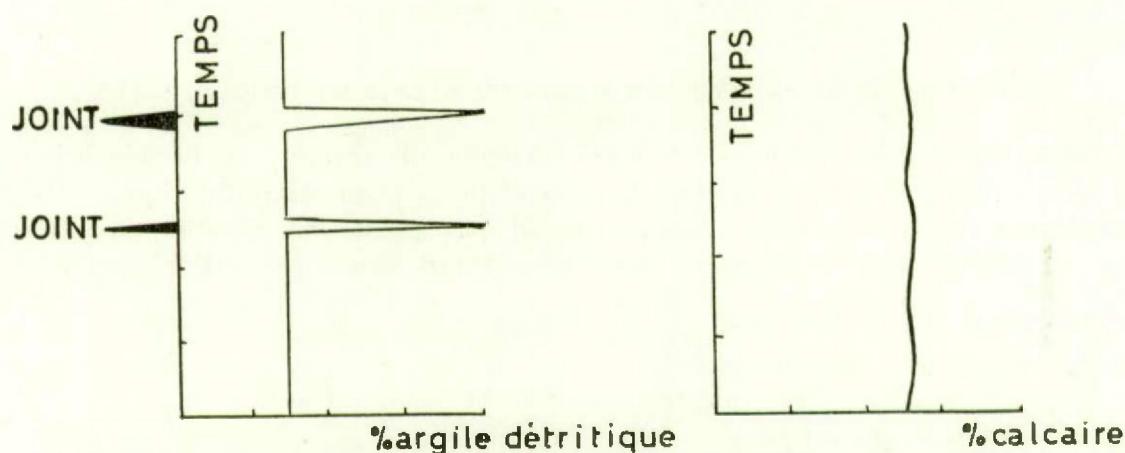


FIG. 12. — Le « joint » est une phase positive active.
C'est un microbanc argileux.

Dans le premier cas, le joint représente une phase très longue de sédimentation ralentie par rapport à celle du banc; c'est bien une phase positive passive.

Dans le second cas, le dépôt des argiles est un phénomène rapide; il recoupe la sédimentation calcaire dont la vitesse d'accumulation est beaucoup plus lente; c'est une phase positive active. Il s'agit en fait d'un « microbanc argileux » interstratifié entre deux strates.

Les critères à retenir en faveur de la première hypothèse sont :

1° la constance de l'épaisseur des bancs dans le lithotopé,

2° la rareté des diastèmes,

3° le fait que, compte tenu des variations du « bruit de fond » en terrigènes du lithotopé, la somme des argiles est une constante dans la dichotomie d'une phase positive passive; la sédimentation du banc apparaissant en « coin » dans le joint, exige une durée égale à celle de ce dernier,

4° le fait que les « marqueurs » terrigènes ne se retrouvent pas lorsqu'on passe d'un lithotopé à un autre, ce qui signifie que dans des aires à sédimentation différente, les phases positives passives n'ont pas de constance latérale.

Qu'en est-il dans le cas du « marbre noir » de Dinant ?

Aucun de ces quatre critères n'y a pu être vérifié. En particulier, les « marqueurs » terrigènes se poursuivent à travers les lithotopes alors que la sédimentation calcaire admet des vitesses de dépôt différentes; c'est ici qu'apparaît le caractère de « crachées » d'impondérables qui se répandent dans tout le séquotopé et recoupent les faciès : il est donc improbable que les épisodes terrigènes soient particulièrement plus longs que les épisodes représentés par des bancs calcaires; bien au contraire, au point de vue de la durée de formation, les phases positives actives couvrent un intervalle de temps considérable.

Comme nous l'avons fait remarquer, il serait nécessaire de qualifier ces phénomènes de microbancs argileux. Le terme « joint » étant toutefois passé dans l'usage courant, nous proposons l'emploi de « joint actif » pour qualifier des phénomènes de ce type.

Tout autre est le cas du « marbre noir » de Basècles. La constance des épaisseurs de la plupart des bancs y est remarquable, surtout dans les séquences 2-3. Non seulement le nombre de bancs par séquence ne varie guère, mais les épaisseurs individuelles de chaque banc se conservent latéralement pour la plupart des points d'observation.

Ici les quatre critères énumérés plus haut concourent à prouver que la constance d'alimentation en terrigènes a été rigoureuse pour chaque point du séquotopé de Basècles. En particulier, le troisième critère s'applique facilement aux « circassiennes », à la base de la séquence 3; celles-ci constituent un ensemble de calcaire argileux et de calcaire algaire zoné, dont la puissance globale varie notablement entre Quevaucamps (75 cm), Blaton (75 cm) et Péruwelz (22 cm) (fig. 13). Cet ensemble tranche fortement avec les bancs qui l'enserrent.

L'arrivée de crachées rapides de terrigènes ne pourrait expliquer la lithologie observée puisque le matériel argileux a pu se mélanger intimement au calcaire. Il a donc fallu un apport relativement lent et constant dont on peut d'ailleurs chiffrer l'équivalence dans les différentes carrières; pour ce faire, il suffit d'opérer une triple multiplication : la teneur moyenne en terrigène pour un faciès donné par l'épaisseur de la strate, puis par la teneur de cette strate en argile.

L'évaluation du « bruit de fond » des détritiques est assez simple; elle se fait à partir des résultats d'une dizaine d'échantillons de calcaire d'un type lithologique constant (dans le cas du « marbre noir » de Basècles, nous avons analysé une trentaine d'échantillons de calcaire microcristallin). Pour les séquences 2 et 3 nous avons trouvé à Quevaucamps, une teneur moyenne de 1,95 % en argile, de 2,05 % à Basècles et de 1,35 % à Péruwelz.

La vitesse relative de croissance des bancs étant la même, puisqu'il s'agit de faciès homologues à épaisseur identique, nous en concluons que le « bruit de fond » est constant pour un affleurement donné, mais qu'il varie latéralement au sein des lithotopes.

Pour évaluer la teneur en argile des « circassiennes » nous avons analysé 10 échantillons moyens par affleurements. Les carrières de Quevaucamps ont donné une teneur moyenne de 4,5, celles de Basècles de 4,95 et celles de Péruwelz de 9,4 %.

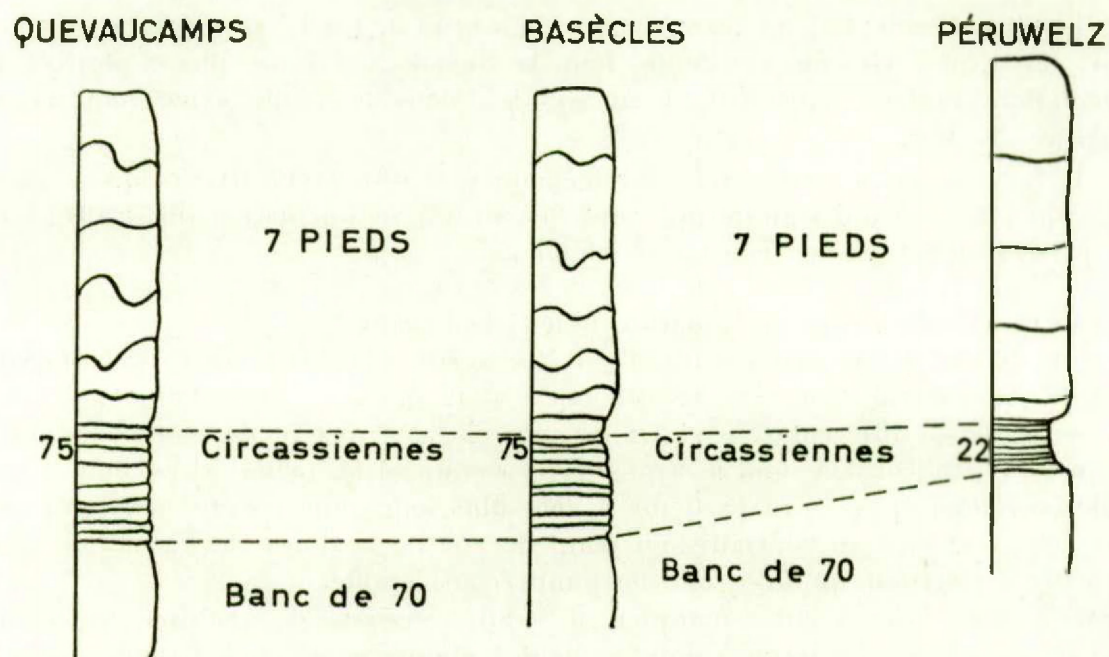


FIG. 13. — Variations d'épaisseurs des « circassiennes » du bassin carrier de Basècles.

En tenant compte des variations d'épaisseurs des « circassiennes », on obtient :

$$\begin{array}{ccccc} 75 \times 4,5 \times \frac{2,05}{1,95} & \approx & 75 \times 4,96 \times \frac{2,05}{2,05} & \approx & 22 \times 9,4 \times \frac{2,05}{1,35} \\ 354 & \approx & 371 & \approx & 307 \end{array}$$

On voit donc qu'aux erreurs d'instrumentation près, la teneur en argile des « circassiennes » est liée au « bruit de fond » de détritiques de la séquence et à la dureté de la sédimentation. Le calcul fait apparaître que les joints correspondent ici à des phases positives passives pendant lesquelles la sédimentation calcaire est réduite au minimum. On peut estimer que dans ces conditions un joint puissant de 1 cm représente un intervalle de temps égal à la dureté de dépôt de 6 à 8 cm de calcaire microcristallin. Similairement, lors du dépôt de la séquence 3, 30 % du temps sont représentés par 59 cm de joints et les 70 % restants du temps sont représentés par 740 cm de bancs.

La sédimentation du séquotope subsident de Basècles ayant été particulièrement active, on peut imaginer que ces chiffres ne sont pas exceptionnels et qu'au contraire un joint peut représenter en puissance toute une séquence, sans qu'il y ait pour cela un arrêt visible de la sédimentation.

L'explication de pareils phénomènes est ardue, le critère de stratification restant mal connu, voire complètement ignoré des géologues ⁽²⁾.

Une des seules études rationnelles des joints de stratification reste celle de W. SCHWARZACHER (1958), qui a montré leur utilité pour les corrélations locales; il les attribuait à des variations climatiques, suivant en cela l'opinion de R. VORTISH (1930).

On peut admettre pour les phases positives passives, la probabilité d'un délavage du socle lié aux facteurs climatiques. Mais ce n'est qu'un facteur premier modifié ultérieurement par d'autres souvent prédominants. D'ailleurs, pour les phases positives actives, l'hypothèse climatique ne peut expliquer la rapide dispersion des terrigènes dans tout le séquotope et ce, pendant une période relativement courte. L'alternance des monoséquences et des polyséquences indépendantes de la bathymétrie et qui recoupent les lithofaciès, ne peut s'expliquer que par l'ouverture et la fermeture alternée d'un bassin, phénomène dont seuls les mouvements eustatiques ou épirogéniques peuvent rendre compte; il est possible que ces deux causes aient agi concurremment, mais l'existence de slumping à la limite des monoséquences et des polyséquences du lithotop de transition, nous fait plutôt pencher pour la seconde hypothèse. De plus le manque de transition verticale entre polyséquences et monoséquences ne se concilie guère avec les mouvements eustatiques qui restent lents et graduels.

L'existence d'« impondérables argileux » venant recouper une sédimentation calcaire sans que les courants aient été actifs, doit aussi être mise en relief; elle s'accorde sur plus d'un point à la théorie du poids géologique formulée par A. LOMBARD (1956).

b) Interpénétration des faciès.

La plupart des auteurs qui se sont penchés sur la sédimentation dinantienne ont constaté que les variations horizontales des faciès calcaires sont assez brutales. Néanmoins, nous avons trouvé plusieurs cas où le passage latéral de deux lithotopes se faisait par indentations. Ainsi l'on connaît, aux Fonds Joset, l'enchevêtrement des séquences de faciès « oolithiques » dans celles des « marbres noirs ».

Ces relations de faciès sont parfois plus subtiles et nécessitent l'observation pétrographique de lames minces. Ainsi, on ne connaît aucun affleurement où puisse s'observer l'interpénétration du « marbre noir » de Bachant et de l'« oolithe de Godin », faciès à faune complètement distincte; cependant, les séquences inférieures de la carrière Lebrun se chargent sporadiquement d'oolithes. On peut donc assurer que la position de l'« oolithe de Godin » est semblable à celle trouvée dans la tranchée de Sovet.

Cette interprétation n'a de valeur de synchronisme que si les séquences se retrouvent de part et d'autre des lithotopes; elle n'est qu'une confirmation de la valeur du séquotope.

c) Surfaces d'abrasion, surfaces taraudées et halmyrolyses ⁽³⁾.

Ces figures de sédimentation se retrouvent sur des étendues assez considérables et, de par leur rareté, servent de « marqueurs » locaux.

Nous avons déjà décrit (B. MAMET, 1958) un type spécial de surface d'halmyrolyse dite « à champignons ». Quant aux surfaces ravinées ou aux ripple-marks, ils sont peu fréquents; nous montrerons, en effet, que les courants ont été négligeables durant le dépôt des « marbres noirs » de Dinant. On peut étendre cette conclusion aux autres « marbres ».

⁽²⁾ On a d'ailleurs considéré les joints comme de simples « accidents » sédimentaires ou comme le résultat de l'altération superficielle. Une autre « théorie » leur assignait une origine tectonique; ils étaient les plans de moindre résistance de la masse sédimentaire.

⁽³⁾ Halmyrolyse : terme créé en 1922 par HUMMEL (voyez A. LOMBARD, 1956, p. 108) pour les phénomènes d'échanges chimiques à la surface même de la tranche sédimentée.

d) Décollements internes et slumpings.

Des formes de « loupes de décollement interne » particulières à une suite de bancs ont été décrites pour le « marbre noir » de Basècles (B. MAMET, 1958).

Des figures de ce genre, parfois plus aberrantes encore, se rencontrent dans les « marbres », en particulier aux carrières Guisset et Lebrun. Dans cette dernière, on peut observer des bancs transformés en véritables « vagues de calcaire »; les formes aberrantes que revêtent certains de ces dérangements sédimentaires a fait même croire à l'existence de récifs, mais l'examen de la masse zonée et des surfaces listriques qui la coupent, ne laisse aucun doute quant à leur genèse par fluage de la masse des strates. Il faut noter que plusieurs de ces bancs flués sont des dolomies pénécontemporaines, fait qui apporte un critère sûr quant au moment de la diagénèse.

Pour le Viséen inférieur, les mouvements tectoniques qui ont présidé à la formation de « slumping » sont contemporains des premiers bancs des polyséquences. Les mouvements de séquoïte qui ont permis l'arrivée des crachées de terrigènes, ont eu pour autre effet de déterminer le fluage de la masse de la monoséquence précédente. On observe donc ces phénomènes exclusivement sur le pourtour du lithotope réducteur, dans la zone de transition où les gradients de pente étaient variables et accusés.

e) Passées granoclassées (*).

Deux séries de cause peuvent déterminer leur formation :

1° déplacement en masse ne répondant pas aux lois classiques de STOCKES (courants de turbidité);

2° classement mécanique des particules par les courants.

La première hypothèse est totalement exclue sur une plate-forme épicontinentale et est rejetée ici. Quant aux courants, ils sont faibles, ce qui explique la rareté du « phénomène ». C'est d'ailleurs cette rareté, qui en fait des indices locaux susceptibles d'être suivis latéralement sur quelques kilomètres. Nous avons remarqué que ces couches granoclassées se rencontrent normalement au sommet des polyséquences.

f) Pistes, empreintes néréitiformes et lumachelles.

Les indices biologiques sont naturellement liés au faciès et fluctuent avec lui. Pourtant, nous avons trouvé plusieurs exemples d'activité zoologique qui ont montré une constance latérale remarquable par rapport aux séquences. Nous avons déjà cité l'exemple de la petite lumachelle localisée dans les quelques joints inférieurs de la séquence 0, à l'extrême base du Viséen. Cette lumachelle occupe une surface de plusieurs milliers de kilomètres carrés, alors que sa position en verticale ne varie guère par rapport aux joints de base.

(*) Il ne faut pas confondre une microséquence positive consistant en straticules de type calcaire grenu — calcaire microcristallin — « marbre noir » séparés par des diastèmes avec des passées granoclassées. Pour qu'il y ait granoclassement, il est nécessaire que la gradation soit intime et progressive dans une même strate.

6° CONCLUSIONS PARTIELLES.

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons discuté de la signification, de la valeur et du contrôle des corrélations séquentielles. Nous pensons avoir montré de la sorte que ce sont bien les rythmes de faciès et non les faciès eux-mêmes qui ont fourni le fil d'Ariane indispensable à nos corrélations; en d'autres termes, la position de la courbe des lithofaciès par rapport à la série virtuelle locale a moins d'importance que le nombre et l'importance de ses variations horizontales et verticales. Toutefois, le faciès n'en garde pas moins son utilité pour des corrélations à très faibles distances.

B. — LA NOTION DE COEFFICIENT DE TROUBLE ET DE VARIATION.

De ce qui précède, nous avons pu conclure que la sédimentation obéissait à des rythmes, s'étendant à l'ensemble du séquotopie. Nous inspirant de l'exemple de K. FIEGE qui, dès 1936, avait compté les rythmes du Carbonifère allemand, il nous a semblé utile d'exprimer numériquement l'importance des rythmes des séquences.

Supposons, pour fixer les idées, une suite de bancs de calcaire alternativement de micrite et de sparite (fig. 14).

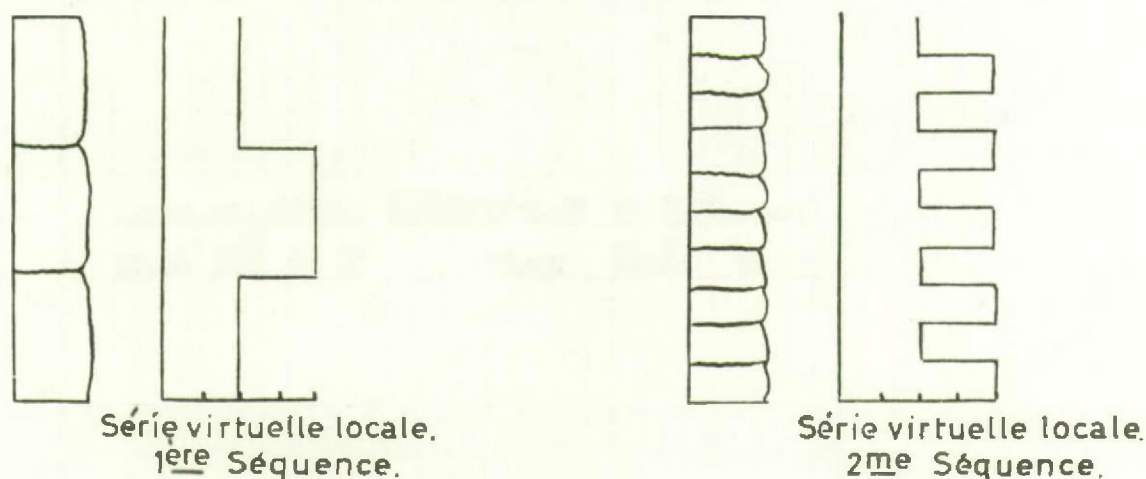


FIG. 14. — Diagramme servant à l'explication du coefficient de trouble.

Il est évident que la deuxième séquence représente une sédimentation trois fois plus troublée, trois fois plus différenciée que la première. Par définition, le coefficient de trouble est le rapport entre l'épaisseur d'une séquence et le nombre de variations sédimentologiques qui s'y rencontrent.

Ce coefficient n'est toutefois pas suffisant pour définir clairement un type de sédimentation; supposons en effet deux séquences de bancs finement zonés (fig. 15).

Le nombre et le type de « plaquettes » sont identiques dans les deux séquences. Leur coefficient de rythme est donc identique. Mais l'alternance des plaquettes de la séquence 1 passe par deux termes de la série virtuelle locale, alors que la courbe des lithofaciès de la séquence 2 est à peine marquée; il importe donc de chiffrer également l'amplitude des variations horizontales de la courbe des lithofaciès. La façon la plus parlante de se

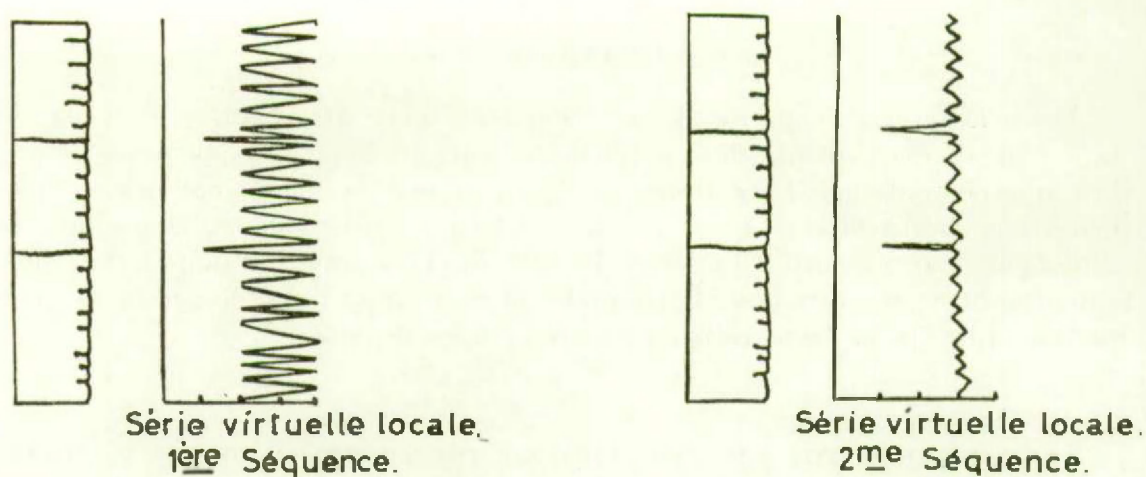


FIG. 15. — Diagramme servant à l'explication du coefficient de variation.

COEFFICIENTS DE VARIATION ET DE TROUBLE DU « MARBRE NOIR », DE DINANT

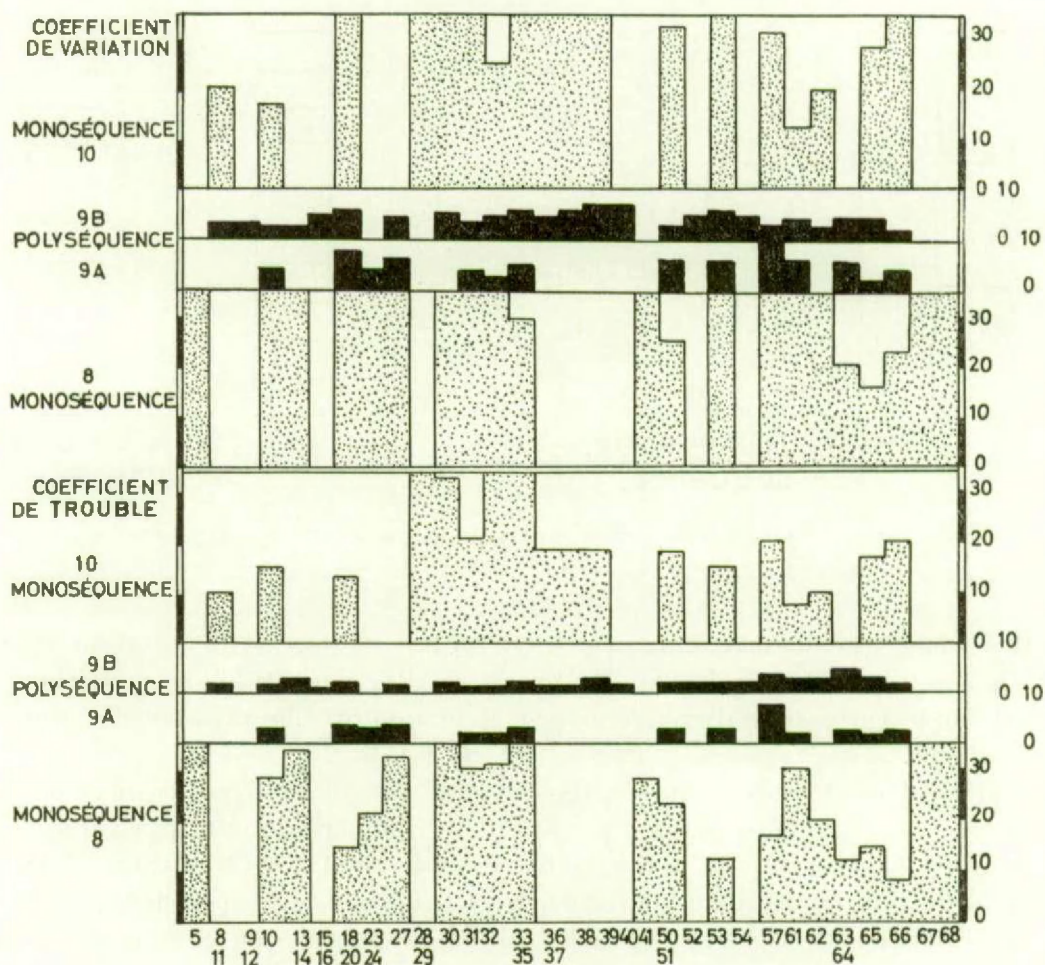


FIG. 15bis. — Coefficients de variation et de trouble du « marbre noir » de Dinant.

représenter ce concept est d'imaginer le chemin parcouru par la pointe du stilet traçant la courbe des lithofaciès. Pour une séquence donnée, plus ce chemin sera long (plus le coefficient est petit) et plus les variations de la sédimentation seront accusées. Par définition, le coefficient de variation est le rapport entre l'épaisseur d'une séquence et l'importance des variations tant verticales qu'horizontales de la courbe des lithofaciès par rapport à la série virtuelle locale.

Le premier coefficient traduit l'alternance des phases de dépôts actifs et passifs. Le second coefficient a l'avantage de ne pas être influencé par de simples vitesses d'apports sédimentaires et tient compte de l'amplitude du « saut » entre différents lithofaciès juxtaposés.

Le premier coefficient est général, le second local; en effet, il faut chiffrer par la série virtuelle locale l'importance des variations de l'échelle virtuelle locale. On établit là un arbitraire qui traduit d'ailleurs l'impossibilité de représenter une sédimentation par un seul paramètre.

Les coefficients calculés pour les séquences complètes de 8-10 du Viséen inférieur, sont présentées à la figure 15^{bis} en abscisse; nous y avons porté les numéros d'ordre des coupes et en ordonnées les valeurs calculées des coefficients. Ces diagrammes mettent parfaitement en lumière l'alternance des polyséquences (en noir) et des monoséquences (en grisaille).

Nous n'avons observé qu'une seule exception à cette constance; elle concerne la monoséquence 4 de Denée, qui passe latéralement à une polyséquence aux environs de Dinant. De plus, les coefficients sont influencés tous deux dans le même sens par la paléogéographie; ils voient leur valeur augmenter en passant du lithotope réducteur aux faciès de mer ouverte.

C. — PALÉOGÉOGRAPHIE DU « MARBRE NOIR » DE DINANT.

Nous nous concentrerons uniquement sur l'étude du « marbre noir » de Dinant, car les deux autres formations affleurent sur une même ligne tectonique et n'offrent guère de variations sédimentaires majeures.

En reprenant toutes les observations de terrain, nous avons esquissé (fig. 16) les limites des lithotopes et la répartition géographique actuelle des coupes ⁽²⁾. On constate que les traits majeurs de la paléogéographie consistent en un lithotope réducteur d'orientation Ouest-Nord-Ouest à Est-Sud-Est, alimenté en terrigènes depuis le Nord-Ouest et barré au Sud-Est par des hauts-fonds formant limite entre la plate-forme et le talus continental. Cette barrière donne au lithotope réducteur le caractère d'un lagon ouvert aux influences marines; la sédimentation y varie selon l'éloignement du socle gallo-brabançon; il est entouré au Nord-Est et au Sud par des paléoreliefs à lithotopes de turbulence; enfin, çà et là apparaissent des biohermes. Deux lithotopes sont donc en présence; leur orientation par rapport au socle gallo-brabançon s'explique par des courants longitudinaux, soit par des paléoreliefs. Nous préférons la première hypothèse, car les courants du lithotope réducteur étaient négligeables, alors qu'il n'en est plus de même pour les faciès de Maurenne et de Sovet.

L'existence de deux modes majeurs de sédimentation nous forcera à envisager deux cas théoriques liés au type de séquence et à la position géographique de celle-ci.

⁽²⁾ Nous avons gardé la distribution géographique actuelle des affleurements pour faciliter le repérage des coupes sur le terrain; en déployant les couches plissées par l'orogénie hercynienne, la largeur du lithotope barré doublerait pour le moins.

1° ÉVOLUTION THÉORIQUE DU TERME POLYSÉQUENTIEL.

a) Lithotope réducteur barré ou « lagon ouvert ».

α) Aire proche du socle gallo-brabançon.

Dépôt de calcaires argileux et calcschisteux alternant avec des calcaires grossiers à foraminifères.

β) Aire à prédominance organo-détritique.

Dépôt de calcaires calcschisteux rares, alternant avec des plaquettes de calcaires grenus ou microcristallins plus ou moins bien classés et renfermant de rares lentilles de « marbres noirs » et de lutites.

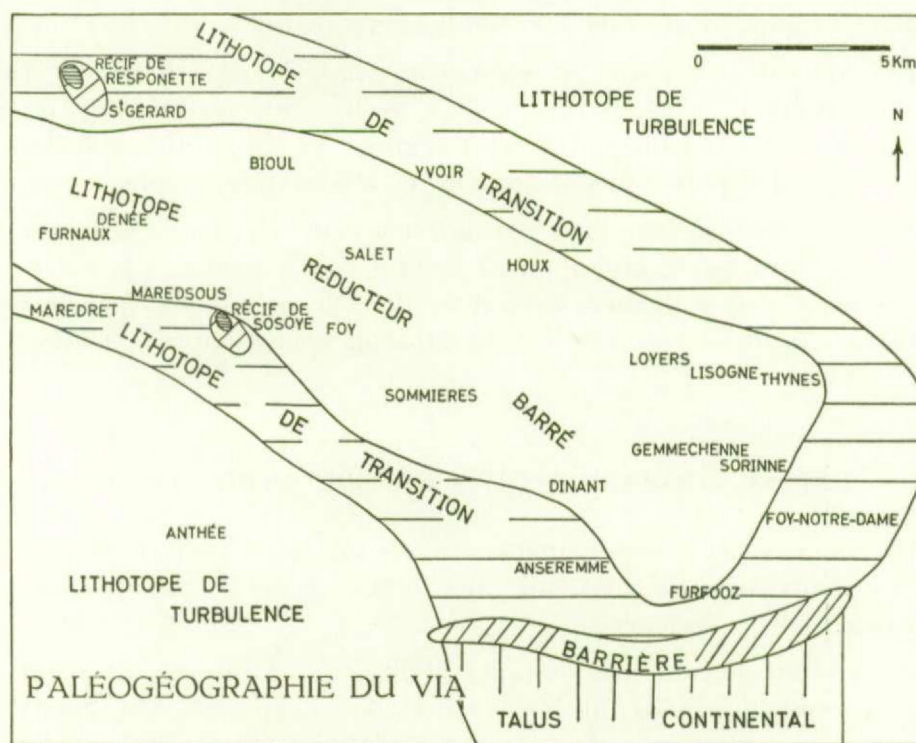


FIG. 16. — Paléogéographie schématique du Vla.

γ) Aire à prédominance chimique.

Dépôt de rares passées argileuses et organo-détritiques accompagnées de calcaires très fins, « marbres noirs » et dolomies abondantes.

b) Lithotope de transition.

Calcaires zonés, fins, calcaires grumeleux, « slumping » et loupes de décollement.

c) Lithotope de turbulence (paléorelief).

Crachées de calcaires oolithiques et pseudo-oolithiques dans des calcaires microcristallins. « Intraclasts » algaires (R. FOLK, 1959). Platiers à graviers d'algues. Biostromes avortés ou à croissance contrariée.

d) Talus continental.

Calcaires calcschisteux et calcaires microbréchiques souvent plaquetés.

2° ÉVOLUTION THÉORIQUE DU TERME MONOSÉQUENTIEL.

a) Lithotope réducteur barré.

Gros bancs monotones, à rares stylolithes, de lutites et micrites; seules quelques crachées de brèches interrompent parfois la monotonie de la sédimentation; en se dirigeant du littoral vers la barrière, des rythmes de plus en plus nombreux apparaissent; les monoséquences s'anastomosent et passent parfois à des polyséquences.

b) Lithotope de transition.

Séries monotones de calcaires microgrumeleux accompagnées de quelques passées de brèches de démantèlement. Aux mouvements qui ont affecté les strates de la polyséquence sous-jacente, succède l'apparition des biostromes.

c) Lithotope de turbulence (paléorelief).

Oolithe massive, calcaires pseudo-oolithiques et algaires massifs, calcaires microgrumeleux à diastèmes.

d) Talus continental.

Brèche massive de démantèlement.

La répétition ou l'alternance de ces deux styles sédimentaires n'apparaît pas comme liée aux variations de courants, ni aux variations de gradient de pente qui ne peuvent déterminer que des modifications locales; elle n'est pas contrôlée par la barrière de hauts-fonds dont la présence n'influe que sur le bras de mer barré; elle doit donc correspondre à des mouvements de subsidence épirogéniques généraux affectant l'ensemble de la plate-forme.

3° ANALYSE DÉTAILLÉE DES SÉQUENCES.

Dans le détail, on peut établir le film des variations sédimentologiques séquence après séquence : pour ce faire nous avons exprimé pour chacune des coupes envisagées, une représentation graphique qui donne l'épaisseur de la séquence par un cercle dont le diamètre lui est proportionnel et qui est partagé en secteurs dont la surface est liée au pourcentage des différents lithofaciès : nous avons condensé ceux-ci en 5 principaux types dont les sigles sont donnés ci-après :

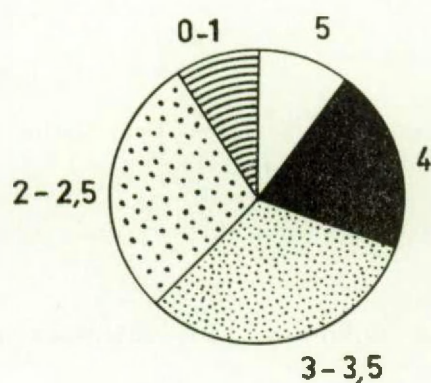


FIG. 17.

0 et 1 : Calcschistes et calcaires calcschisteux.

2-2,5 : Calcaires grenus et calcaires à plus de 66 % de débris.

3-3,5 : Calcaires microcristallins.

4 : « marbres noirs ».

5 : Calcaires dolomitiques.

Par ce procédé graphique, il nous a été possible de reconstruire la paléogéographie de toutes les séquences. Il nous suffira toutefois de publier ici, à titre d'exemple, les représentations du lithotope réducteur durant les rythmes 3-6 et 9 B.

Polyséquence 3.

(Fig. 18.)

a) Lithotope réducteur barré.

Denée : calcaires argileux et organoclastiques dominant. Quelques calcaires micro-cristallins assez purs (« petite veine ») (coefficient de trouble 1,7).

Salet : subsidence et appel de sédimentation organodétritique (coefficient de trouble 2).

Dinant : fines plaquettes de « marbre noir », subsidence accentuée (coefficient de trouble 2,5).

b) Lithotope de transition.

Dinant : calcaires zonés, séquence troublée (coefficient de trouble 2,3).

Maredret : séquence troublée (coefficient de trouble 3).

Monoséquence 6.

(Fig. 19.)

a) Lithotope réducteur barré.

Denée : monoséquence typique (« gros banes inférieurs ») (C.T. 40-80).

Salet : monoséquence (C.T. 30-50).

Dinant : monoséquence qui se trouble vers le Sud par des passées de plus en plus nombreuses de détritiques. La tendance à des séquences polaires s'accroît (C.T. 10).

b) Lithotope de transition.

Dinant : monoséquence (C.T. 60).

Maredret : monoséquence (C.T. 40).

Polyséquence 9 B.

(Fig. 20.)

a) Lithotope réducteur barré.

Denée : l'influence des détritiques reste forte, avec trois passées principales de « marbre noir » (les « gahis », les « berwettis » et la « grise ») (C.T. 1,8).

Salet : comme à Denée, mais il s'y intercale des lentilles de calcaire zoné rubané (C.T. 1,5).

Dinant : suite de calcaires très fins, micrites et dolomies pénécemporaines (C.T. 1,9 à 2,6).

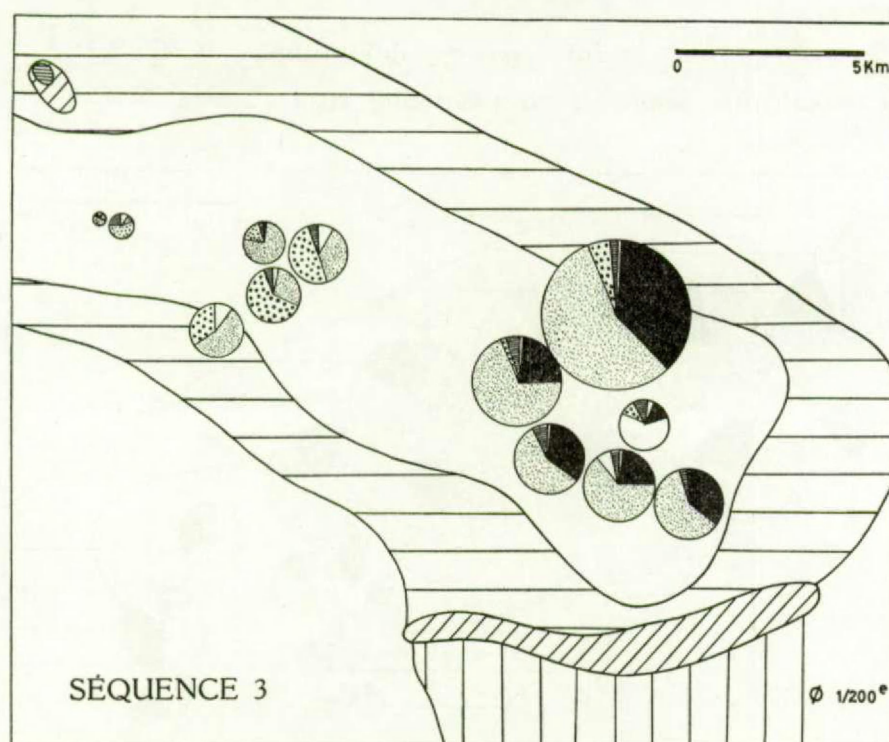


FIG. 18. — Paléogéographie du lithotype réducteur barré durant la polyséquence 3.

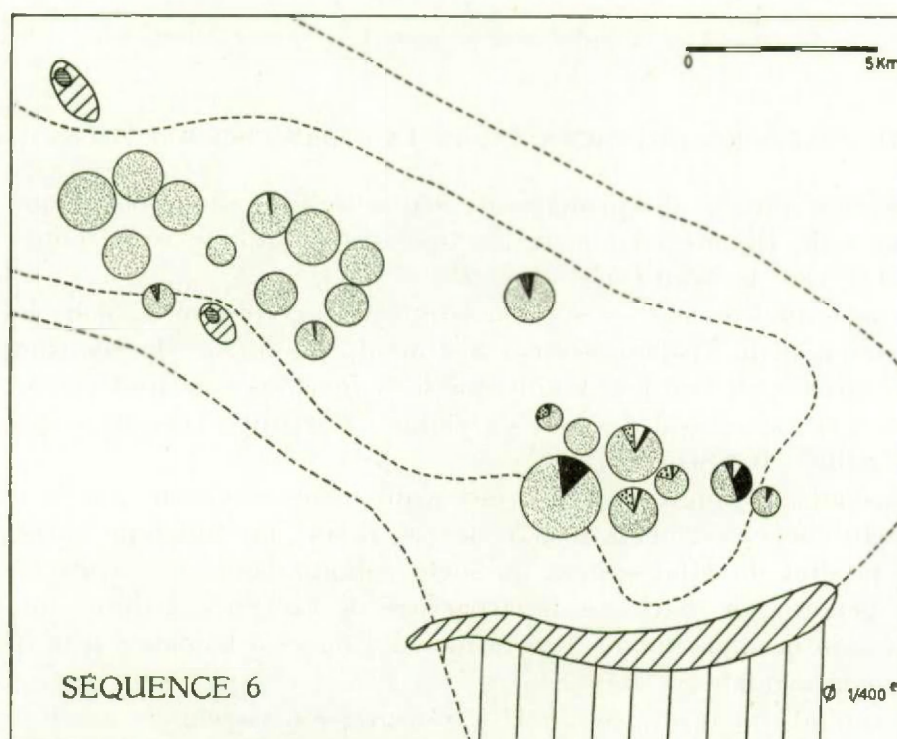


FIG. 19. — Paléogéographie du lithotype réducteur barré durant la monoséquence 6.

b) Lithotope de transition.

Dinant : calcaires zonés à fines passées dolomitiques (C.T. 2,1).

Maredret : calcaires zonés et en plaquettes (C.T. 2).

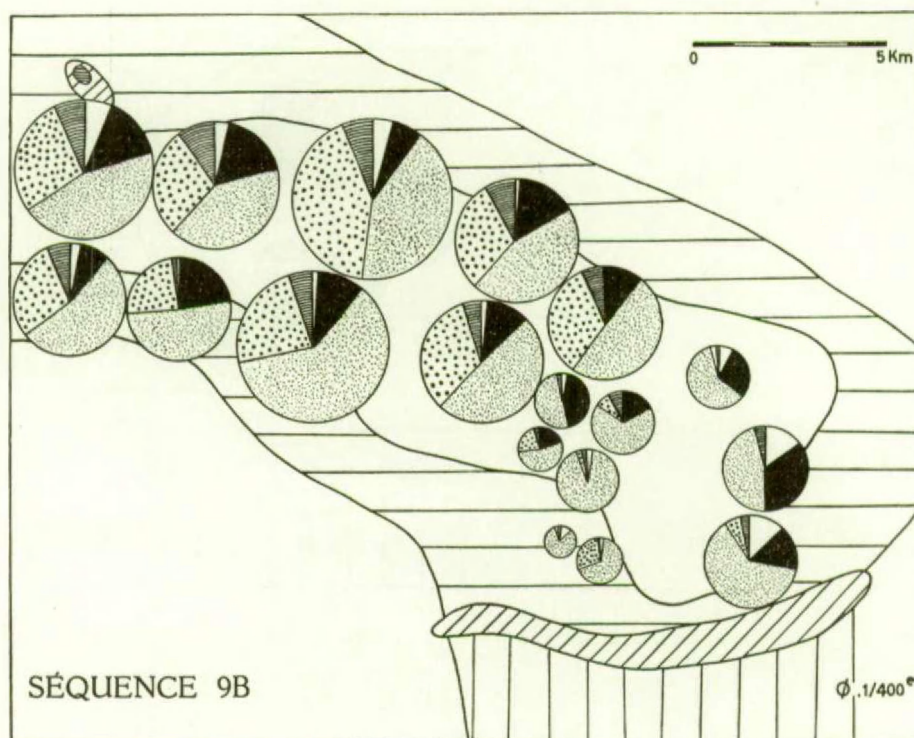


FIG. 20. — Paléogéographie du lithotope réducteur barré durant la polyséquence 9B.

4° TRANSGRESSION DES FACIÈS. CAS DE LA « TRANSGRESSION VISÉENNE ».

Une application directe du principe de séquostratigraphie montre que les lithotopes du « marbre noir » de Dinant recoupent les isochrones dans le sens d'une migration des micrites du Sud-Est vers le Nord-Ouest (fig. 21).

Alors que les « marbres noirs » sont inconnus (ou exceptionnels) dans les séquences 1-3 de Denée, ils sont en plein épanouissement à Dinant. De même, la séquence 5 correspond à la « veine » des carriers au Sud-Est, tandis que les « marbres » ne font encore qu'une timide apparition à Denée; la séquence 9, les voit s'y établir, alors qu'à Dinant on passe à un milieu à tendance pénésaline (R. SLOSS, 1953).

Si l'on constate une migration progressive du faciès « marbre noir » du Sud-Est vers le Nord-Ouest, le lithotope réducteur n'en reste pas moins un lithotope barré aux approches de Dinant. Il se produit un affaissement du socle gallo-brabançon, réajustement négatif qui n'affecte pas le « genou » ou charnière de la barrière de Freyr : si la ligne littorale se déplace vers le Nord, il ne continue pas moins à se former des faciès à tendance pénésaline au Sud-Est de la plate-forme continentale.

Ce fait est capital, car il prouve que la « transgression viséenne » tenue pour responsable par G. DELÉPINE des changements de faune à la limite Tournaisien-Viséen, est d'une extrême lenteur, et que la migration des lignes de rivage vers le Nord-Ouest n'a pas dû dépasser 30 km pendant la durée du Viséen inférieur (V1a).

Si une légère migration des faciès s'observe dans le lithotope réducteur barré, une migration de même ordre se suit en quittant le lagon et en se dirigeant à l'Est vers la région de Ciney. Là, les séquences 1-9 sont constituées de faciès pseudo-oolithiques; le faciès « marbre noir » se retrouve dans la séquence 12 et celui des « calcaires et dolomies de Sovet », ne débute

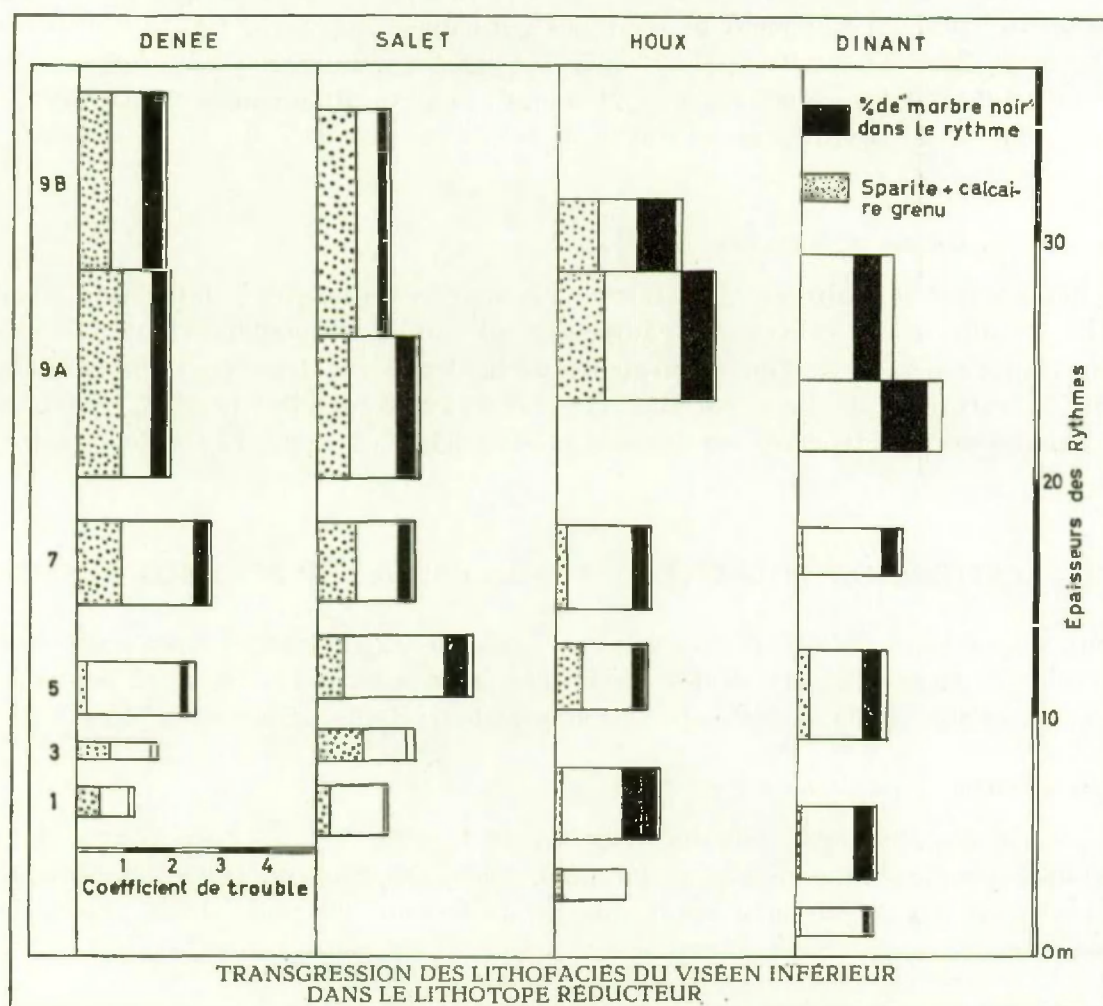


Fig. 21. — Transgression du lithofaciès « marbre noir » par rapport aux séquences.

qu'à la séquence 14 (alors que dans la région de Dénée, il apparaissait dans la séquence 12). Toutefois, comme l'on déborde dans ce cas d'un lithotope à un autre, la vitesse de cette migration de faciès ne peut être comparée au cas décrit plus haut.

C'est ce fait qui avait conduit G. MORTELMANS et P. BOURGUIGNON à distinguer un Viséen 1 A inférieur d'un Viséen 1 A supérieur, distinction qui n'a en réalité qu'une valeur de faciès et est restreinte à la région de Ciney. Cet exemple montre qu'il convient de garder indifférencié le Viséen 1 A.

En résumé, à part des modifications mineures, telles que l'hétérochronie des faciès, les limites du lithotope réducteur barré n'ont pas varié de façon importante pendant la durée de la sédimentation des séquences 0-9, classiquement reconnues comme sections-types du « marbre noir » de Dinant. Ceci postule une plate-forme sédimentaire stable.

5° CONCLUSIONS RELATIVES
À LA PALÉOGÉOGRAPHIE DES « MARBRES NOIRS ».

a) « Marbre noir » de Dinant.

La formation de ce marbre dépend de l'isolement du lithotope par une « barrière » (W. WOOLNOUGH, 1937). Cette barrière n'est pas constituée par des calcaires construits, mais par une ligne de haut-fonds. Parmi les « marbres noirs » étrangers probablement analogues à ce type, on peut citer les « marbres » de Menlough et d'Angliham près de Galway (Irlande), de Castleton dans le Derbyshire et « l'Isle la Motte black marble » du lac Champlain (États-Unis).

b) « Marbres noirs » de Golzinne et de Basècles.

La délimitation de l'aire de formation de ces marbres n'est pas le fait d'une « barrière », mais de la rapidité de la subsidence compensée par une sédimentation rapide, monotone, sous faible tranche d'eau. Comme équivalents probables de ce type de sédimentation, nous citerons les « marbres » de Poolvash Bay et Castletown dans l'île de Man, d'Ashford près Bakewell (Angleterre), d'Asheaten en Irlande et de Glen Falls dans l'État de New-York.

D. — CRITÈRE DE POLARITÉ DES COUCHES (« TOP AND BOTTOM »).

Nous clôturerons l'étude des séquences, par un sujet quelque peu différent, mais connexe : celui de la polarité des strates. Ce critère fut constamment employé pendant l'étude de terrain, en raison de la complexité tectonique de certains affleurements.

a) Polarité des séquences.

La polarité des séquences constitue évidemment le critère le plus univoque, si l'on possède d'autres coupes géographiquement peu éloignées. Mais, exigeant un travail de dépouillement assez long, il n'est pas directement applicable sur le terrain. De plus, il est sans utilité dans les monoséquences.

b) Polarité des stratifications obliques.

Lors du dépôt des sédiments sur un microtalus incliné vers l'aval, à profil sigmoïde, des rides successives peuvent amorcer des stratifications obliques; si une troncature des laminae intervient, l'angle du sommet sera plus grand que l'angle de base, qui tend asymptotiquement vers l'horizontale.

De telles figures sont très rares dans les « marbres noirs », mais les quelques cas observés furent confirmés par la position des séquences.

c) Polarité des couches granoclassées.

Ce critère réclame une certaine prudence dans son application. Très généralement les couches granoclassées sont positives dans les séquences positives. Par contre, en séquences négatives, elles sont à peu près indifféremment positives ou négatives. Il en résulte que l'application du critère exige une étude statistique des polarités; si tous les granoclassements sont négatifs, il y a présomption de renversement des couches; mais il faut obtenir confirmation du fait par d'autres critères.

Quoiqu'il en soit, cette méthode n'est guère d'application pour les « marbres noirs » où, comme on le montrera plus loin, dominent les laminations.

d) Polarité des joints onduleux.

Un dépôt positif passif a tendance à niveler les irrégularités du sommet du banc sur lequel il s'étend. Si la fin de la phase positive active a vu se développer des ravinements, on peut établir facilement la polarité par le comblement plus important des cavités par les détritiques argileux.

Quatre-vingts pour cent des cas sont démonstratifs, tant à Basècles qu'à Dinant.

e) Polarité des surfaces de craquellement.

Des modifications brutales du milieu de sédimentation (variations de pH, ou de salinité, phénomène d'exondation) peuvent amorcer des craquellements dans la vase calcaire en voie d'induration; ces fentes de retrait sont alors comblées par infiltration *per descensum* de détritiques argileux.

C'est un bon critère dans la région dinantaise et surtout dans les environs de Denée.

f) Polarité des microbrèches intraformationnelles.

Les variations de milieu citées ci-dessus, conduisent parfois à la formation d'une mince pellicule de microbrèche au sommet des bancs.

Plus de septante pour cent des cas observés à Dinant et Golzinne sont concluants.

g) Polarité des pseudo-nodules.

Les pseudo-nodules dus au concrétionnement hâtif de noyaux calcaires peuvent s'enfoncer dans la vase qui les entoure; il se forme alors des figures de fluxion caractéristiques en forme de poire.

Ce phénomène est trop rare pour être employé systématiquement.

h) Polarité des traces organiques.

Les perforations et terriers fournissent un critère sûr. On constate d'ailleurs que s'ils sont remplis d'un sédiment détritique, celui-ci est souvent granoclassé. De plus, de nombreuses pistes en creux parsèment les joints calcschisteux.

Quatre-vingt-dix pour cent des cas observés sont concluants.

i) Polarité des tests de fossiles.

Vu la rareté des fossiles, c'est un critère d'application bien incertain pour les « marbres noirs ». Dans la lumachelle de base, les valves ventrales et dorsales des brachiopodes se prêtent fort mal à une étude systématique, de par leur aplatissement dans les joints.

j) Polarité des figures d'écoulement (« slumping »).

Ces figures assez développées dans les régions de Basècles et de Bachant, apportent d'utiles précisions quant à la disposition et direction des lignes de plus grande pente. Toutefois elles ne fournissent pas de critère de polarité.

k) Polarité des « gouttes de pluie ».

Certaines plaquettes de calcaires fins sont couvertes de petites cupules sphériques qui furent attribuées au siècle dernier, à l'écrasement de gouttes de pluie sur le sédiment. En réalité, il s'agit là de cupules d'abrasion en milieu aqueux, semblables à celles qu'on voit se former actuellement dans les gours de grotte à eau sursaturée en bicarbonate de calcium.

Comme on peut voir, aucun des critères énumérés n'est décisif par lui-même : en particulier, le granoclassement peut être trompeur et ne doit être employé qu'avec circonspection; il faut multiplier les observations de plusieurs critères, en tenant compte de leur valeur relative, avant de formuler un jugement.

*
* *

Nous avons ainsi passé en revue les différentes hypothèses qui gravitent autour du concept de séquence, en négligeant quelque peu l'étude des faciès. C'est de leur examen pétrographique que traite le chapitre qui suit.

CHAPITRE III.

UN ESSAI D'ÉTABLISSEMENT D'UNE CLASSIFICATION
DES ROCHES CALCAIRES.

A. — GÉNÉRALITÉS.

Nous avons publié il y a quelques années un essai de classification des roches calcaires dinantiennes. Depuis lors, un nombre fort important de recherches ont vu le jour et tout particulièrement aux États-Unis (HAM. W., 1962). Nous avons été ainsi appelé soit à reviser quelques-uns de nos concepts, soit à préciser notre pensée. De plus, nous croyons utile de créer un vocable suppléant aux insuffisances de la classification « décimale » précédemment proposée. Enfin, nous aurons l'occasion de présenter quelques microphotos destinées à illustrer cette classification.

B. — L'ASPECT CHIMIQUE DU PROBLÈME.

Chimiquement, on dénomme calcaire, toute roche carbonatée indurée contenant plus de 75 à 80 % de carbonate de calcium. En effet, des changements importants de propriétés physiques (porosité, perméabilité) et écologiques (nette régression des fusulinidés dans le Dinantien, par exemple) s'observent si les insolubles excèdent 20 à 25 %. Suivant la teneur en insolubles argileux, A. CAROZZI (1953) propose de distinguer des calcaires purs (plus de 95 % de CO_3Ca), des calcaires argileux (95 à 85 % de CO_3Ca) et des calcaires marneux (85 à 75 % de CO_3Ca) : les discussions qui suivent ne sont valables que dans ces limites chimiques assez étroites.

C. — L'ASPECT PÉTROGRAPHIQUE ET ÉCOLOGIQUE DU PROBLÈME.

1° RAPPEL DE QUELQUES HYPOTHÈSES RÉCENTES.

En 1958, R. POWERS a étudié la lithologie des calcaires jurassiques de la plate-forme arabe. La cimentation de ces calcaires est assez faible, d'où leur grande porosité et leur qualité comme réservoir pétrolier. La calcite en grands cristaux y est toujours secondaire, ce qui a induit cet auteur à n'envisager que deux variables dans sa classification : la boue micro-cristalline et les débris calcaires.

On peut rapprocher de ces vues la position de R. BATHURST (1959). Pour celui-ci, les calcites en grands cristaux proviennent de la consolidation tardive d'un assemblage

de débris en état d'équilibre, par percolation de solutions calcaires; ces sédiments sont donc à cimentation secondaire. R. BATHURST envisage également les calcaires de recristallisation, mais rejette formellement toute formation hâtive de calcite en grands cristaux.

R. FOLK (1959), à la suite de R. C. MOORE (1954), considère pour sa part trois variables : le ciment microcristallin (« micrite » de 2-5 microns), la calcite en grands cristaux (« sparite » de 20-500 microns et plus) et les débris calcaires (« allochems »). Il postule que la calcite cristalline se forme dans les milieux agités où des cristaux microscopiques de micrite ont été emportés par les courants; une matrice de sparite indiquerait donc une sédimentation assez agitée, alors que les boues microcristallines seraient uniquement le fait de milieux calmes. De là une théorie « dynamique » des dépôts calcaires.

Quant à nous, l'examen de près de mille lames minces du Dinantien belgo-français nous a permis d'observer clairement trois types de cimentation par calcite en grands cristaux :

- 1° Consolidation pénécontemporaine d'un assemblage de débris calcaires par la sparite.
- 2° Percolation de solutions postérieure à la sédimentation et formation de sparite « secondaire ».
- 3° Recristallisation d'une boue originellement microcristalline.

Ces constatations qui diffèrent sensiblement des opinions émises jusqu'à ce jour, nous ont conduit à une classification nouvelle des calcaires.

2° CAS DU « MARBRE NOIR » DE DINANT.

a) Généralités.

L'étude du « marbre noir » de Dinant est particulièrement instructive au point de vue sédimentologique. Ce faciès est, on l'a vu, caractérisé par une succession extrêmement rapide de fines plaquettes de calcaire « fin » et de calcaire « grossier ».

Le premier microfaciès est une « micrite » à grains de 1-10 microns, de teinte noire, très pure (avec souvent moins de 1 % d'argile) et contenant une moyenne de 0,2 % de carbone.

Le second microfaciès est une « sparite » à grands cristaux de 10-500 microns, à teneur en carbone et en insolubles sensiblement égale à celle du calcaire fin. Tous les intermédiaires existent entre ces deux types extrêmes et nous avons pu classer tous ces calcaires purs dans une série virtuelle locale (termes de 2-4, p. 20).

b) Part revenant à la cimentation pénécontemporaine.

Par cimentation pénécontemporaine nous entendons tous les phénomènes ayant lieu immédiatement après le dépôt et précédant la lapidification.

Nous montrerons qu'il existe des sparites se développant par remplissage de vacuoles en milieu aqueux; cette cimentation est extrêmement rapide et se développe pendant la sédimentation (*).

Dans le cas du « marbre noir », un diagramme triangulaire à trois variables — sparite-micrite-débris calcaires (fig. 22) — permet immédiatement de conclure à l'existence de tous

(*) Provisoirement nous n'envisagerons pas le passage du carbonate de calcium à sa forme stable, sans variation de taille des cristaux. On ne connaît en fait aucun critère univoque de distinction entre les boues d'aragonite ou de vaterite (?) et les boues de micrite dans les sédiments anciens.

les intermédiaires en pourcentage entre les micrites pures et les sparites pures. Il y a une apparente continuité entre les deux types de matrice; sans que cette continuité autorise à rejeter l'hypothèse de sparite secondaire, elle indique que les domaines « sparite » et « micrite » ne sont pas incompatibles l'un avec l'autre.

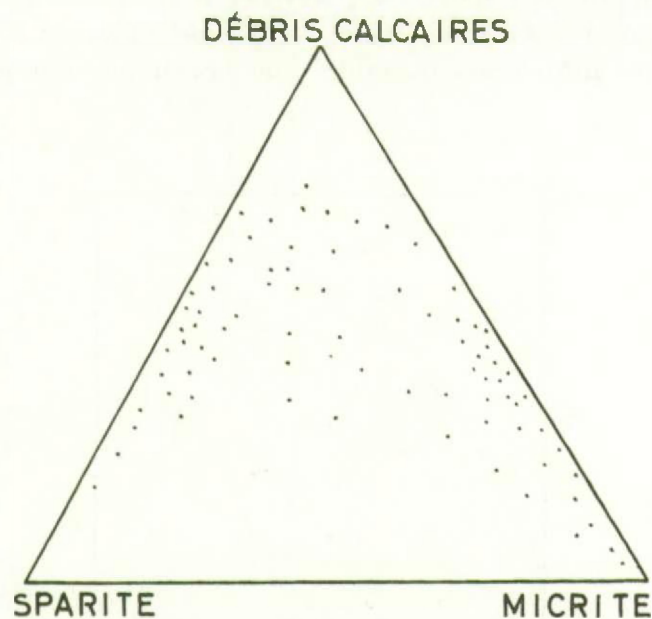


FIG. 22. — Pétrographie schématique des lames minces provenant du faciès « marbre noir » de Dinant.

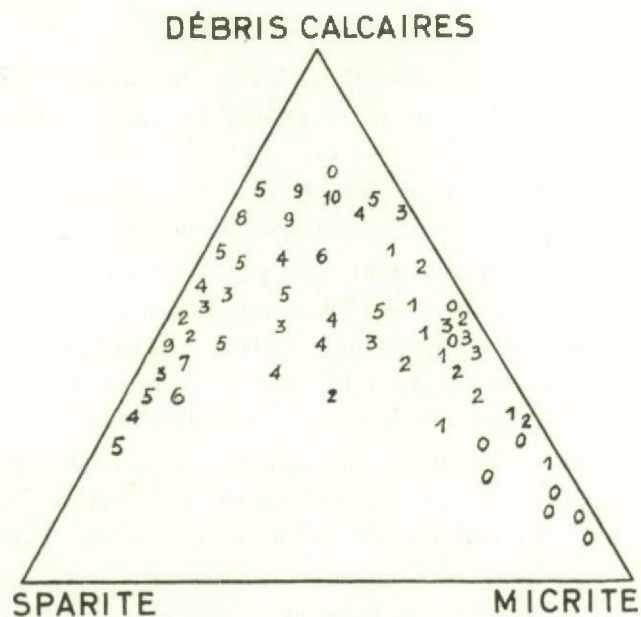


FIG. 23. — Répartition des foraminifères du faciès « marbre noir » de Dinant (schématique).

Si dans le même diagramme, on inscrit la fréquence des foraminifères (moyenne de 10 observations par oculaire), les résultats (fig. 23) montrent que l'abondance des foraminifères, dont la taille varie entre 100 et 500 microns, est nettement influencée par les trois variables; elle croît avec la teneur en débris et en sparite.

Or, si la sparite était uniquement de formation secondaire, on ne voit pas comment un tel phénomène affecterait uniquement les couches à foraminifères. Il faut un classement mécanique et concentration par ordre de taille, ce qui nous ramène à l'hypothèse de R. FOLK; en effet, dans les calcaires jurassiques d'Arabie nous constatons une concentration des micro-

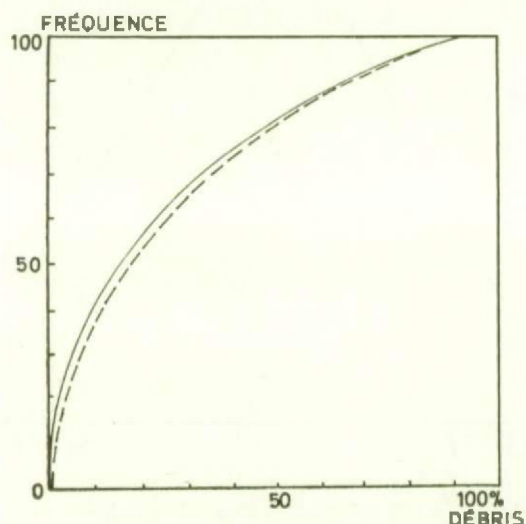


FIG. 24. — Courbe cumulative des débris remaniés non biologiques du « marbre noir » de Dinant.

———— sparite - - - - - micrite

fossiles d'après leur taille dans les passées détritiques grossières; alors que les boues microcristallines sont à peu près dépourvues de microfaune. De même, dans les Bahamas (P. CLOUD et V. BARNES, 1958), les fonds indurés sont favorables à la concentration du bios alors que les boues microcristallines sont à peu près dépourvues de coquilles. Ce sont là des phénomènes mécaniques qui s'éclairent dans le cas d'hypothèse dynamique.

Cette théorie dynamique n'est cependant pas confirmée dans le Viséen de Dinant. Si, dans un diagramme de fréquence (fig. 24), nous portons le pourcentage de débris non biologiques (c'est-à-dire « oolithes », « fausses oolithes », microbrèches), nous obtenons une courbe cumulative identique pour les sparites pures et pour les micrites pures; l'agitation des eaux n'a pas été un facteur prépondérant de la sédimentation.

Cette dernière observation est d'ailleurs confirmée par la répartition des calcisphères. Celles-ci sont distribuées uniformément (fig. 25) quel que soit le faciès. La très petite taille de ces organismes (10-200 μ) les fait en effet flotter, ce qui les répartit uniformément dans les sédiments.

Les faits que nous avons exposés sont en désaccord avec les théories proposées à ce jour. Dans le cas du « marbre noir » de Dinant, les courants ont une influence insignifiante sur la répartition du sédiment et n'expliquent pas les variations de taille de la calcite. De plus,

ces considérations suggèrent que la formation de calcite en grands cristaux peut être relativement hâtive, voire pénécotemporaine à la sédimentation. D'autres observations vont confirmer cette façon de voir.

1° Si la sparite qui occupe actuellement la place de vides laissés entre les débris calcaires était secondaire, le contact entre les fines straticules sparite-micrite devrait être très irrégulier, les micrites devraient s'infiltrer *per descensum* entre les débris non encore consolidés (fig. 26).

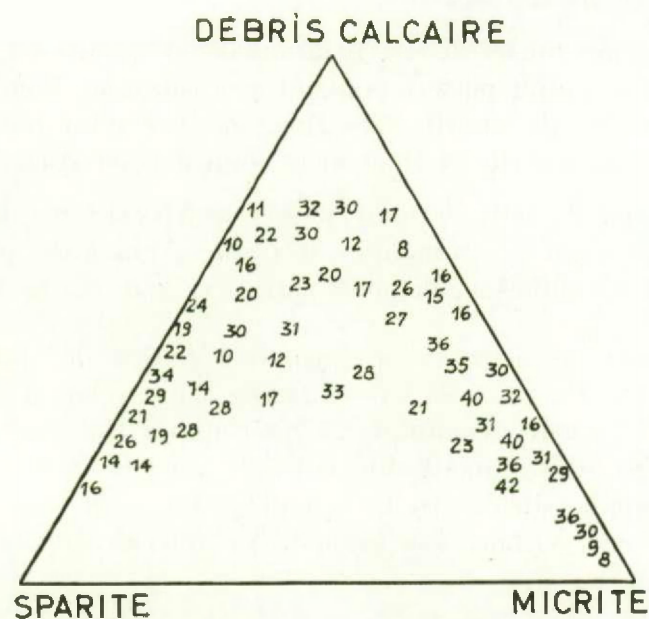


FIG. 25. — Répartition des calcisphères du faciès « marbre noir » de Dinant (schématisé).
(Nombre de calcisphères par oculaire.)

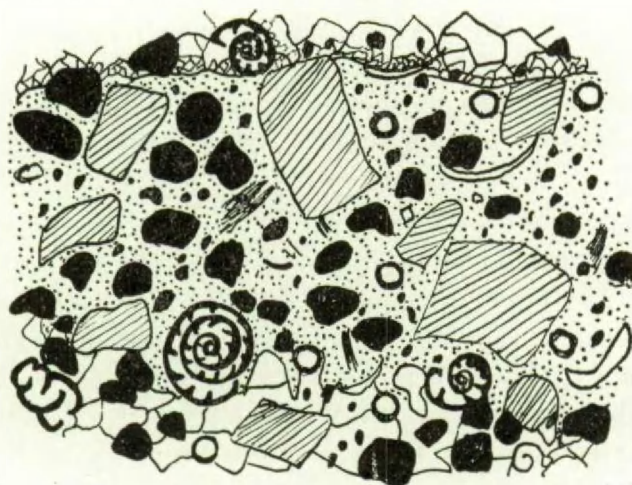


FIG. 26. — Infiltration *per descensum* de calcite microcristalline à travers un assemblage de débris calcaires.

Or, dans le cas de fines straticulations du V1a, sans séparation argileuse, le contact sparite-micrite est assez net, prouvant que la sparite sous-jacente était bel et bien cimentée quand la micrite est venue se déposer sur elle (voir photo 28, pl. V).

2° Il s'est trouvé plusieurs exemples, où une trame de sparite ne cimente guère plus de 40 et même 30 % de débris calcaires; pareil assemblage ne peut se maintenir en équilibre sans une cimentation hâtive.

3° Certains foraminifères paléozoïques (*Haplophragmella*) agglutinent des débris calcaires variés; ce sont parfois des sparites.

4° Les oolites ont des nuclei divers, notamment de sparite. Or, le centre d'une oolithe n'a jamais été un « vide » rempli postérieurement par solution. Nous avons observé des cas d'oolithe possédant un noyau de micrite très fine, entouré d'un premier anneau de calcite hyaline, puis d'un anneau de micrite et finalement d'un dernier cortex de sparite.

5° Il faut rapprocher de cette dernière observation l'existence dans l'oolithe de Godin, près d'Avesnes (V1a), de « galets » remaniés d'oolithes, cimentés par de la calcite claire flottant dans une masse d'oolithes également cimentées par de la sparite.

En résumé, il existe des preuves de formation hâtive de sparite pénécontemporaine au dépôt des débris calcaires. On peut dès lors s'attendre à une relation étroite entre la lithologie et l'écologie, alors que le facteur dynamique ne joue qu'un rôle fort secondaire.

Il n'y a dès lors pas d'incompatibilité entre la micrite et la sparite qui représentent des milieux physico-chimiques différents. La sparite se forme si la nucléation est faible et si la vitesse de croissance des cristaux est grande. La micrite apparaît dans des conditions opposées.

Les débris calcaires non organogènes (« intraclasts » de R. Folk) sont généralement en micrite. Il s'est bien trouvé des « intraclasts » de sparite, mais ils sont comparativement rares. Ceci s'explique si les sparites sont mécaniquement plus résistantes que les boues de micrite : cette induration rapide éclaire l'existence de biohermes composés en majeure partie de calcite microcristalline (Waulsortien belge, Knolls anglais et irlandais, biohermes du Montana et du Nouveau-Mexique) (L. PRAY, 1959). Dans l'hypothèse des causes actuelles une telle accumulation de boue « fluide » n'aurait jamais pu se maintenir en équilibre; il y a cependant de bonnes raisons de penser que la calcite primaire qui enrobe les tissus des bryozoaires ait formé très tôt un réseau, une trame extrêmement résistante. Cette cimentation rapide et la modicité, voire l'inexistence, de l'action des vagues explique l'accumulation de plusieurs dizaines, voire centaines de mètres de boue « fluide » et la réduction des flancs d'avant- et arrière-récif observée en Belgique.

c) Cimentation secondaire.

Dans le cas d'une sparite secondaire, la percolation de fluides à travers un assemblage en équilibre de débris permet leur cimentation; il s'agit d'un phénomène tardif, il n'y a pas de relation entre l'écologie et le type de ciment; les contacts entre cristaux de micrite-sparite seront bien tranchés et les variations de tailles brusques; on observe des croissances géopétales à partir d'un plancher, des cristaux en couronnes autour d'oolithes, etc., tous phénomènes parfaitement illustrés dans l'oolithe du V2a près d'Andenne.

Ne nous méprenons pas sur la valeur de l'argument pétrographique. Il est certain qu'une sparite, même pénécontemporaine, ne peut que cimenter postérieurement les débris calcaires. Le critère de postériorité n'est pas en lui-même une preuve de caractère secondaire.

Pour un ciment secondaire, il est souvent superflu d'employer une représentation triangulaire des paramètres. En effet, la sparite représente dans ce cas un vide originel et on est ramené à un système binaire (micrite — débris calcaires).

L'introduction d'un troisième paramètre montrerait une discontinuité de l'écologie à partir de 10-15 % de sparite et séparerait deux domaines qui s'expliquent alors par l'hypothèse dynamique de R. FOLK. Ces deux domaines s'opposent au *continuum* écologique observé dans les sparites primaires.

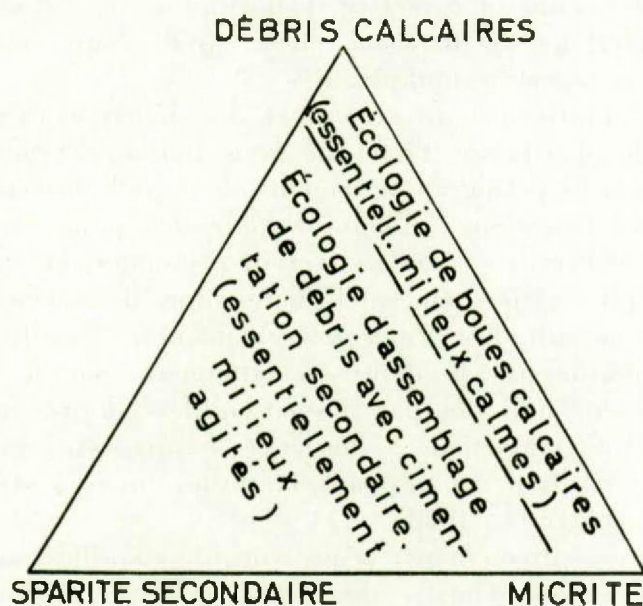


FIG. 27. — Écologie théorique des calcaires à cimentation secondaire.

d) Part revenant à la recristallisation.

Un troisième cas est à envisager, celui de la recristallisation d'une micrite ou d'une sparite avec variation concomitante de taille. Les eaux connées ou phréatiques saturées en carbonate de calcium ne peuvent que reprécipiter les ions calciques qu'elles auront momentanément dissouts et le résultat sera un réarrangement moléculaire. Il n'y aura pas de variation de volume (N. NEWELL, 1953). Cette transformation s'accompagne d'une modification de la structure des débris calcaires; l'ordre de destruction de celle-ci est identique pour toutes les lames observées; les algues en pâtissent d'abord, puis les brachiopodes et enfin les crinoïdes et les échinides. La recristallisation de ces derniers est le terme ultime de l'évolution; il ne reste plus alors qu'une masse indéfinissable de sparite irrégulière noyant des fantômes d'oolithes ou de fossiles.

Une évolution identique s'observe chez les foraminifères; l'ordre de recristallisation y est invariable; d'abord les pré-fusulines et les *Tetrataxinae*; ensuite les *Bradyininae* et les *Endothyridae*; enfin, les *Archaeodiscidae*.

Il est donc possible de fixer une limite entre calcaires recristallisés et calcaires non recristallisés par l'observation du contenu faunique de la roche; par convention, nous avons fixé celle-ci à la disparition des structures des crinoïdes et des *Archaeodiscidae*.

Il est certain que les calcaires ne sont pas composés de cristaux ayant retenu leur forme originelle; même les micrites les plus fines montrent des formes cristallines qui se moulent l'une sur l'autre. Toutefois, suivant l'usage des métallographes, nous ne parlerons de recristallisation que dans le cas d'une variation de taille des cristaux de carbonate et destruction de l'assemblage originel.

e) Caractères d'allochtonie et d'autochtonie.

Il n'est pas sans intérêt de s'arrêter un moment à un facteur souvent négligé des classifications sédimentaires, celui du caractère d'allochtonie ou d'autochtonie des matériaux (F. PETTIJOHN, 1957). Précisons avant toute chose qu'il s'agit de l'aspect sédimentaire du problème et non de son aspect tectonique.

Nous avons constaté l'influence du ciment et des débris calcaires sur la distribution des foraminifères; or, une sparite de bioherme sera toujours beaucoup moins riche en foraminifères qu'une biosparite pétrographiquement identique, provenant de la plate-forme adjacente au récif. Les modifications écologiques latérales pour une même pétrographie d'un platier du type Bachant-Ferrières (Nord) s'avèrent profondes; là, les éléments allochtones seront systématiquement plus riches en calcisphères que des éléments semblables, mais autochtones. Nous devons donc introduire ce caractère dans notre classification bien qu'il n'y ait aucun caractère pétrographique qui le définisse nettement. Sur le terrain, des éléments autochtones sont généralement indiqués par des ensembles confus, sans stratification nette mais à stylolithes, sans joints vrais mais à diastèmes locaux, sans graded-bedding, mais à polypiers et bryozoaires en position de vie, sans laminites, mais à structure colloformes ou en « fumée de pipe » (H. DERVILLE, 1936).

Ces caractéristiques se confirment par la présence de coquilles non roulées, d'ostracodes avec valves en contact, de buissonnements algaires ou d'épines de *Productidae* non brisées.

Les caractères d'autochtonie ou d'allochtonie ne doivent pas être confondus avec ceux de biocénose et de thanathocénose. Un sédiment autochtone sera dans la plupart des cas une biocénose, mais un sédiment allochtone ne postule nullement une thanathocénose.

D. — PROPOSITION D'UNE CLASSIFICATION NOUVELLE.

Si nous nous sommes attaché à séparer par observation pétrographique les trois modes possibles de formation des sparites, nous n'avons pas cherché à différencier les micrites. Il va sans dire qu'on groupe sous ce vocable des faciès de genèses fort différentes; pour le Dinantien, nous sommes enclin à penser qu'il s'agit de boues de précipitation directe ou peut-être indirecte par le biais de bactéries ou d'algues. Mais, il nous faut admettre l'existence théorique de micrites clastiques, véritables farines d'« intraclasts » qui postulent une agitation mécanique intense. L'observation pétrographique directe n'apportant guère de critères concluants quant à leur caractérisation, nous avons gardé un seul sigle pour les micrites.

Compte tenu des différents éléments que nous venons de passer en revue, une classification des calcaires peut s'élaborer comme ci-après :

1° La classe est déterminée d'après le type de cimentation des débris calcaires. On distingue ainsi :

- α) Calcaire à cimentation de sparite pénécontemporaine;
- β) Calcaire à cimentation de sparite secondaire;
- γ) Calcaire recristallisé, de diagenèse;
- δ) Calcaire dolomitisé, dolomie.

Les classes γ et δ sont à peine esquissées; on pourrait, comme pour le carbonate de calcium entreprendre une classification en dolomies pénécontemporaines, dolomies secondaires et dolomies de recristallisation. Tel n'est cependant pas notre propos qui est plus d'établir un mode de classification qu'un tableau embrassant tous les types de carbonates.

Théoriquement les calcaires à cimentation incomplète de sparite seront groupés dans la classe β . Nous n'avons pas observé de calcaires de ce type et leur cas est resté en suspens.

2° Les classes α et β sont à leur tour divisées en trois ordres, d'après leur teneur en débris calcaires :

- Celui de moins de 10 % de débris représenté par des boues ultra-fines du type « marbre noir » et « calcilutites » (m). Les débris calcaires y jouent un rôle fort restreint, voire négligeable. L'absence de cet ordre parmi les sparites primaires est un fait d'observation courante; toute sparite contenant moins de 10 % de débris est toujours secondaire (β) ou de diagenèse (γ).
- Celui contenant plus de 66 % de débris et où le type de calcite intersticielle n'a plus qu'une influence limitée sur l'écologie par rapport à la masse des débris (π).
- Celui des calcaires contenant de 10 à 66 % de débris, ordre qui représente l'immense majorité des roches dinantiennes (α ou β + la famille).

3° La famille est déterminée d'après le pourcentage relatif du type de trame calcaire de la classe :

- Plus de 66 % de calcite macrocristalline; sparite (s);
- Plus de 66 % de calcite microcristalline; micrite (m);
- Moins de 66 % de calcite micro- et macrocristalline; grumite (g).

Ces limites sont purement conventionnelles; nous avons vu comment les familles passent insensiblement de l'une à l'autre. Dans la classe β , les familles basées sur le type de ciment n'existent qu'à la condition de remplacer mentalement « sparite » par « vide originel »; pour éviter toute confusion possible on a préféré ne pas trop insister sur la symétrie des deux classes.

4° Chaque type est désigné d'après la nature et la proportion des débris calcaires. Ces débris forment en effet trois variables qui peuvent également être introduites dans un diagramme triangulaire.

a) Le bios comprend les fossiles. Dans le Dinantien, il s'agit essentiellement de crinoïdes et de brachiopodes et accessoirement de bryozoaires, foraminifères, pélécy-podes, échinides et algues.

b) Les débris calcaires remaniés sont des fragments de micrite à peine consolidés, remaniés par de faibles courants, les fausses brèches, les fausses oolithes, les conglomérats intraformationnels, les « brèches » dues à l'action des organismes fouisseurs (J. GREENSMITH, 1960) ou des aggrégats du type « bahamite ». L'origine de ces débris est donc variable et ils participent d'une action mécanique et biologique. Dans certains cas il est d'ailleurs très difficile de déterminer la genèse de ces petits nodules irréguliers à contours évanescents; ils n'apportent en tout cas pas une preuve univoque de l'existence d'organismes fouisseurs comme on le pense trop souvent. Ainsi le contact plane et net entre les fines plaquettes de micrite et de sparite du VIa exclut la possibilité d'un remaniement postérieur au dépôt par les organismes.

c) Les oolithes sont des précipités chimiques de calcite autour d'un nucleus. Elles sont rares, compte tenu de l'abondance de référence aux « calcaires oolithiques » de la littérature.

La plupart de ces oolithes sont des « intraclasts de Folk » recouverts ou non d'une mince pellicule de calcite microcristalline. Les vraies oolithes indiquent donc une action mécanique (turbulence) et une action chimique.

Les sept types principaux sont délimités d'après le diagramme triangulaire (fig. 28) suivant :

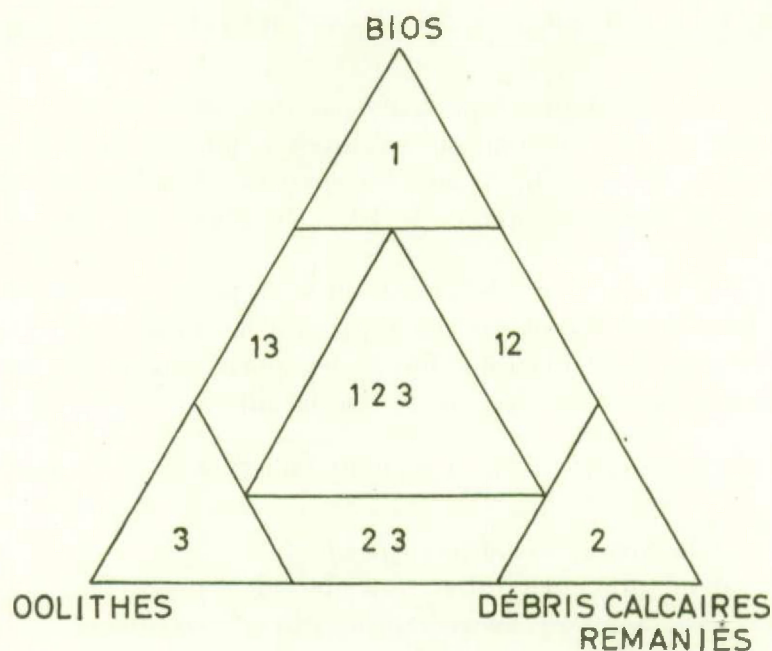


FIG. 28.

5° Le caractère d'autochtonie du type se marque par le symbole « prime » ('). Ainsi $\alpha 1'$ est l'autochtone correspondant à $\alpha 1$ allochtone.

6° Le dernier facteur envisagé est la dimension des débris. Dans l'impossibilité d'appliquer l'échelle de Wentworth à une lame mince de calcaire, nous avons adopté comme limite entre calcarénite et calcirudite, plus de 10 % de débris dépassant 1 mm. Les calcarénites seront représentées par leur chiffre-type en caractères arabes; les caractères romains indiquent un calcaire plus grossier ($\alpha 1$ et αI).

E. — LES RÉSULTATS OBTENUS POUR LE DINANTIEN BELGE.

Le schéma théorique que nous venons de présenter a été vérifié par l'examen des lames minces du Dinantien belge. Parmi les calcaires à cimentation pénécontemporaine le type m est de loin le plus représenté (environ 30 %) suivi par les types $\alpha 1$ s et $\alpha 12$ m qui atteignent chacun une dizaine de pour-cent. Tous les autres types ne sont représentés que par des pourcentages minimales. Une association m, $\alpha 1$ s $\alpha 12$ m représente donc au Dinantien un assemblage caractéristique d'une plate-forme stable.

L'homogénéité et la constance des relations entre l'écologie et le type de roche tel qu'il est ici, confirme la valeur de cet essai de classification. Il serait intéressant d'étendre

α										β					γ
< 10 % de débris	> 66 % de débris		10 à 66 % de débris							< 10 % de débris	> 66 % de débris		10 à 66 % de débris		
m	Ciment non différencié		s		g		m			m g s					
III	$\pi \alpha 1$ $\pi \alpha' 1$	$\pi \alpha I$ $\pi \alpha' I$	$\alpha 1 s$ $\alpha' 1 s$	$\alpha I s$ $\alpha' I s$	$\alpha 1 g$ $\alpha' 1 g$	$\alpha I g$ $\alpha' I g$	$\alpha 1 m$ $\alpha' 1 m$	$\alpha I m$ $\alpha' I m$	1	$\beta m, \beta g, \beta s$ d'après le ciment	$\pi \beta 1$ $\pi \beta' 1$	$\pi \beta I$ $\pi \beta' I$	$\beta 1$ $\beta' 1$	βI $\beta' I$	$\gamma 1 \gamma I$
	$\pi \alpha 2$ $\pi \alpha' 2$	$\pi \alpha II$ $\pi \alpha' II$	$\alpha 2 s$ $\alpha' 2 s$	$\alpha II s$ $\alpha' II s$	$\alpha 2 g$ $\alpha' 2 g$	$\alpha II g$ $\alpha' II g$	$\alpha 2 m$ $\alpha' 2 m$	$\alpha II m$ $\alpha' II m$	2		$\pi \beta 2$ $\pi \beta' 2$	$\pi \beta II$ $\pi \beta' II$	$\beta 2$ $\beta' 2$	βII $\beta' II$	$\gamma 2 \gamma II$
	$\pi \alpha 3$ $\pi \alpha' 3$	$\pi \alpha III$ $\pi \alpha' III$	$\alpha 3 s$ —	$\alpha III s$ —	$\alpha 3 g$ —	$\alpha III g$ —	$\alpha 3 m$ —	$\alpha III m$ —	3		$\pi \beta 3$ —	$\pi \beta III$ —	$\beta 3$ —	βIII —	$\gamma 3 \gamma III$
	$\pi \alpha 12$ $\pi \alpha' 12$	$\pi \alpha I II$ $\pi \alpha' I II$	$\alpha 12 s$ $\alpha' 12 s$	$\alpha I II s$ $\alpha' I II s$	$\alpha 12 g$ $\alpha' 12 g$	$\alpha I II g$ $\alpha' I II g$	$\alpha 12 m$ $\alpha' 12 m$	$\alpha I II m$ $\alpha' I II m$	12		$\pi \beta 12$ $\pi \beta' 12$	$\pi \beta I II$ $\pi \beta' I II$	$\beta 12$ $\beta' 12$	$\beta I II$ $\beta' I II$	$\gamma 12 \gamma I II$
	$\pi \alpha 13$ —	$\pi \alpha I III$ —	$\alpha 13 s$ —	$\alpha I III s$ —	$\alpha 13 g$ —	$\alpha I III g$ —	$\alpha 13 m$ —	$\alpha I III m$ —	13		$\pi \beta 13$ —	$\pi \beta I III$ —	$\beta 13$ —	$\beta I III$ —	$\gamma 13 \gamma I III$
	$\pi \alpha 23$ —	$\pi \alpha II III$ —	$\alpha 23 s$ —	—	$\alpha 23 g$ —	$\alpha II III g$ —	$\alpha 23 m$ —	$\alpha II III m$ —	23		$\pi \beta 23$ —	$\pi \beta II III$ —	$\beta 23$ —	$\beta II III$ —	$\gamma 23 \gamma II III$
	$\pi \alpha 123$ —	$\pi \alpha I II III$ —	$\alpha 123 s$ —	$\alpha I II III s$ —	$\alpha 123 g$ —	$\alpha I II III g$ —	$\alpha 123 m$ —	$\alpha I II III m$ —	123		$\pi \beta 123$ $\pi \beta' 123$	$\pi \beta I II III$ $\pi \beta' I II III$	$\beta 123$ $\beta' 123$	$\beta I II III$ $\beta' I II III$	$\gamma 123 \gamma I II III$

FIG. 29. — Tableau général.

ces hypothèses à d'autres domaines de sédimentation calcaires tels que plates-formes subsidentes et axes géosynclinaux. Il est à prévoir une relation entre la paléogéographie et les types de calcaires tels que nous les avons proposés.

Suivant l'exemple de R. FOLK (1959) nous avons créé un vocable pour désigner chacun de ces types. Pour ce faire, il suffit d'ajouter aux termes de « sparite, grumite ou micrite », le préfixe du type, suivant leur pourcentage relatif. Par exemple, α 1 s est une « biosparite », α 2 m une « intramicrite » et α 3 g, une « oogrumite ». Le type 123, se désigne par « poly »; ainsi α 123 s est une « polysparite ».

Nous avons groupé aux planches III-V les photos de quelques types pétrographiques courants, afin de familiariser le lecteur avec notre classification.

F. — CONCLUSIONS.

Le schéma de classification que nous avons proposé est hybride; il intègre des observations de terrain avec celles du microscope; il y est fait appel à des arguments écologiques là où la méthode pétrographique fait défaut. Que l'on veuille se rappeler les limitations inhérentes à chacun de ces arguments, et leur association ne sera plus un point faible, mais au contraire un avantage marquant.

La lenteur d'exécution reste certes un défaut majeur de cette hypothèse de travail; néanmoins, elle reste la seule méthode applicable à l'analyse d'un lithotope et la seule manière raisonnée d'établir une carte détaillée des lithofaciès calcaires.

CHAPITRE IV.

L'ÉCOLOGIE DES « MARBRES NOIRS ».

A. — LA MACROÉCOLOGIE DU « MARBRE NOIR » DE DINANT.

1° VALEUR STRATIGRAPHIQUE DES ASSISES DU DINANTIEN.

Dans sa monumentale étude du Dinantien de la Belgique, le chanoine F. DEMANET a reconstitué avec une minutieuse patience, les étapes multiples qui ont conduit à l'élaboration des subdivisions du Carbonifère inférieur. Ce long cheminement est d'autant plus important, qu'il fut conditionné par l'évolution des idées paléontologiques.

Notre but n'est pas de nous pencher davantage sur ces conceptions, mais uniquement de préciser certains points concernant le passage du Tournaisien au Viséen sous faciès « marbre noir ». Depuis bientôt cent ans, de profondes divergences n'ont cessé de se manifester au sujet de cette limite. Aussi importe-t-il d'analyser objectivement la cause de cet état de fait.

Un premier point à examiner est celui de la valeur stratigraphique à attribuer aux fossiles du Carbonifère inférieur, normalement employé dans les corrélations.

Pour un séquotope donné, même sans aucun isolement physiographique, les échanges de macrofaune et, en particulier, de brachiopodes sont extrêmement restreints. On peut même les assumer nuls dans certains cas. Ainsi, l'« oolithe » viséenne et le « marbre noir » qui lui correspond, synchrones et interstratifiés, ne possèdent aucune espèce de *Productinae* en commun. Par contre, 50 % d'espèces sont communes au Viséen inférieur, sous faciès « marbre noir », et aux faciès réducteurs du calcaire de Leffe.

Si nous admettons que les listes publiées par F. DEMANET en 1958 sont exhaustives (elles sont basées sur plus de deux mille individus), nous obtenons les distributions suivantes pour la limite Tournaisien-Viséen :

a) Le calcaire de Leffe sous faciès calcaire réducteur, fin, sombre, est caractérisé par l'assemblage de :

- *P. (Thomasina) margaritaceus*.
- *P. (Plicatifera) plicatilis*.
- *P. (Dictyoclostus) vaughani*.
- *P. (Dictyoclostus) rotundus*.
- *P. (Pustula) pustulosus*.
- *P. (Pustula) pilosus*.

b) Les faciès « récifaux » du même âge contiennent :

- *P. (Linoproductus) corrugatus*.
- *P. (Plicatifera) plicatilis*.
- *P. (Plicatifera) pseudoplicatilis*.
- *P. (Dictyoclostus) vaughani*.
- *P. (Pustula) pustulosus*.
- *P. (Avonia) youngianus*.
- *P. (Plicatifera) mesolobus*.

c) D'autre part, le faciès « marbre noir » Viséen est caractérisé par :

- *P. (Linoproductus) corrugatus*.
- *P. (Overtonia) fimbriatus*.
- *P. (Thomasina) margaritaceus*.
- *P. (Pustula) elegans*.
- *P. (Pustula) interruptus*.
- *P. (Plicatifera) plicatilis*.
- *P. (Plicatifera) mesolobus*.
- *P. (Dictyoclostus) rotundus*.

d) Alors que le « bioherme » Viséen de Sosoye renferme :

- *P. (Plicatifera) humerosus*.
- *P. (Plicatifera) humerosus* var. *christiani*.
- *P. (Plicatifera) plicatilis*.
- *P. (Plicatifera) longus*.
- *P. (Dictyoclostus) semireticulatus*.
- *P. (Pustula) pustulosus*.
- *P. (Avonia) youngianus*.
- *P. (Plicatifera) mesolobus*.
- *P. (Pustula) pyxidiformis*.
- *P. (Thomasina) margaritaceus*.
- *P. (Pustula) interruptus*.
- *P. (Pustula) pilosus*.

La distribution stratigraphique de ces *Productidae* est reprise dans le tableau ci-dessous :

	Tn3c		V1A	
	* Calcaire de Lefte *	Bioherme	* Marbre noir *	Bioherme
<i>Productus (Thomasina) margaritaceus</i>	×	..	×	×
<i>Productus (Plicatifera) plicatilis</i>	×	×	×	×
<i>Productus (Plicatifera) pseudoplicatilis</i>	..	×	..	..
<i>Productus (Plicatifera) mesobolus</i>	..	×	×	×
<i>Productus (Plicatifera) humerosus</i>	..	..	..	×
<i>Productus (Plicatifera) humerosa christiani</i>	..	..	..	×
<i>Productus (Plicatifera) longus</i>	..	..	..	×
<i>Productus (Dictyoclostus) vughani</i>	×	×	..	..
<i>Productus (Dictyoclostus) rotundus</i>	×	..	×	..
<i>Productus (Dictyoclostus) semireticulatus</i>	..	..	..	×
<i>Productus (Pustula) pustulosus</i>	×	×	..	×
<i>Productus (Pustula) pilosus</i>	×	..	..	×
<i>Productus (Pustula) elegans</i>	..	..	×	..
<i>Productus (Pustula) interruptus</i>	..	..	×	×
<i>Productus (Pustula) pyxidiformis</i>	..	..	..	×
<i>Productus (Linoproductus) corrugatus</i>	..	×	×	..
<i>Productus (Avonia) youngianus</i>	..	×	..	×
<i>Productus (Overtonia) fimbriatus</i>	..	..	×	..

De l'examen de ce tableau, nous avons établi les relations suivantes :

Tn3c. Faciès réducteur	{	3 espèces en commun avec le Tn3c (faciès « bioherme »).
	{	3 espèces en commun avec le V1a (faciès « marbre noir »).
	{	4 espèces en commun avec le V1a (faciès « bioherme »).
Tn3c. Faciès « bioherme » ...	{	3 espèces en commun avec le Tn3c (faciès réducteur).
	{	3 espèces en commun avec le V1a (faciès « bioherme »).
	{	3 espèces en commun avec le V1a (faciès réducteur).
V1a. Faciès « marbre noir » ...	{	3 espèces en commun avec le Tn3c (faciès réducteur).
	{	3 espèces en commun avec le Tn3c (faciès « bioherme »).
	{	4 espèces en commun avec le V1a (faciès « bioherme »).
V1a. Faciès « bioherme »	{	4 espèces en commun avec le Tn3c (faciès réducteur).
	{	4 espèces en commun avec le Tn3c (faciès « bioherme »).
	{	4 espèces en commun avec le V1a (faciès « marbre noir »).

Enfin, pour les espèces propres de la région envisagée, nous trouvons :

Espèces propres au Tn3c réducteur	0.
Espèces propres au Tn3c bioherme	1.
Espèces propres au Tn3c total	1.
Espèces propres au V1a réducteur	2.
Espèces propres au V1a bioherme	5.
Espèces propres au V1a total	1.

Il semble bien que les conditions physico-chimiques qui ont contribué à la formation des lithofaciès aient eu une plus grande importance que le facteur « chronologique » sur la répartition de ces faunes : on trouve des variations aussi grandes dans le sens latéral à l'intérieur des faciès des sous-assises que dans le sens vertical dans des faciès semblables.

Si, dans des aires à échanges latéraux limités, les individus buissonnaient en évolutions parallèles, il serait légitime de prévoir des évolutions relativement semblables. Poussant plus loin ce raisonnement, si la vitesse de divergence du buissonnement était très grande, on pourrait espérer trouver un parallélisme complet des phylogénies entre les faciès. Cet éclatement permettrait ainsi de comparer des ensembles de faunes différentes, mais restées affines, pour en tirer une approximation biostratigraphique suffisante. Cette méthode n'est pas applicable aux brachiopodes; un buissonnement de ce type n'apparaît pas à la base du Viséen; le « renouvellement » de la faune au Viséen se réduit à l'existence d'un seul « fossile caractéristique ».

On pourrait objecter à cette façon de voir le parallélisme faunique existant entre la région de Bristol et la Belgique. En fait, cette analogie de faune reflète simplement l'extraordinaire similitude des successions de faciès de l'Avonien anglais et du Dinantien belge. N'oublions pas que dès 1894, M. LONEST était parvenu à établir la corrélation des couches sans le secours de l'argument paléontologique.

Notre propos n'est pas de critiquer la zonation anglaise du Dinantien, à laquelle nous sommes personnellement attaché. Bien au contraire, il est de critiquer la valeur de certaines sous-assises admises en Belgique et de voir si elles ont une valeur biostratigraphique.

Il est bon de rappeler la remarque énoncée par A. DUMONT dès 1847 :

« Le caractère paléontologique peut aisément faire reconnaître dans une contrée l'âge relatif des terrains qui ont été formés à des époques éloignées, mais à mesure qu'il s'agissait

de déterminer l'âge relatif des couches appartenant à des époques plus rapprochées, il offrirait moins de valeur, et je doute fort qu'un paléontologue auquel on montrerait des fossiles nouveaux de deux couches contiguës peut dire laquelle des deux est la plus ancienne. »

Pour ne pas l'avoir admis, on a été amené à subdiviser en sous-assises des assises valables et à donner à ces subdivisions une valeur zonale fondée sur des « fossiles de faciès » ou des « fossiles caractéristiques ».

Ce qui est plus grave encore, c'est d'avoir oublié, au fil des années, les critères sur lesquels les échelles stratigraphiques avaient été établies. Certaines d'entre elles et en particulier les divisions fines de E. DUPONT, et même celles de H. DE DORLODOT, sont essentiellement lithologiques. Les notations a , b , c , n'avaient souvent pour les premiers auteurs qu'une valeur lithologique; ce pouvaient être des faciès équivalents, mais c'étaient également des termes localement observés en succession. Le temps leur a attribué une valeur biostratigraphique, qu'elles n'avaient pas toujours au départ et les querelles personnelles n'ont fait que cristalliser un état de fait.

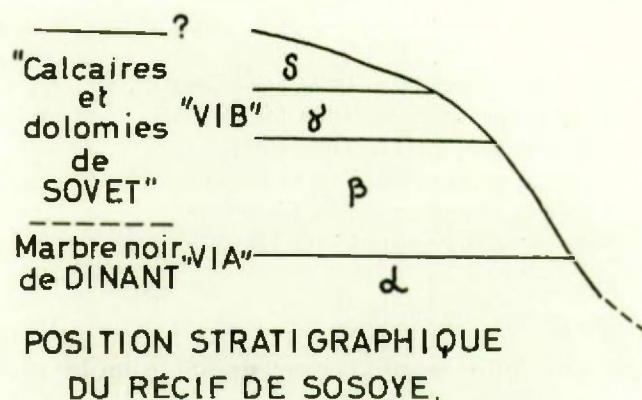


FIG. 30. — Position stratigraphique des lithofaciès du récif de Sosoye.

Prenons l'exemple du Viséen inférieur. Si la subdivision V1 représente un intervalle de temps biostratigraphiquement défini, il n'en est plus de même des sous-assises V1a et V1b qui sont pratiquement des subdivisions de faciès, un peu analogues aux « formations » des géologues américains. Pour la carte géologique, le V1a est l'ensemble lithologique des couches en plaquettes de « marbre noir ». De même le V1b est l'ensemble des « calcaires dolomités et dolomies de Sovet », également d'âge Viséen inférieur. Par le moyen des séquences, nous avons montré que si ces formations étaient souvent superposées l'une à l'autre, elles étaient parfois contemporaines. Il en résulte que le V1b de la région de Denée n'a pas la valeur d'une sous-assise, mais celle d'un lithotype.

Ce V1b est d'ailleurs très mal caractérisé paléontologiquement. Seuls quelques rares et mauvais gîtes fossilifères ont été décrits et l'ensemble faunique qu'ils fournissent est absolument inadéquat pour définir actuellement une division biostratigraphique.

Par ailleurs, la faune du récif de Sosoye a été décrite avec grand soin par F. DEMANET (1923). Il n'y a pas observé de variations paléontologiques entre les termes lithologiques, ce qui lui a fait dire très justement que le « récif » ne représentait qu'une seule unité biostratigraphique. Or, l'examen de l'arrière-« récif » de Sosoye nous a montré clairement que ses termes supérieurs (γ et δ) venaient s'interstratifier dans les « calcaires de Sovet », notés V1b par tous les géologues, y compris F. DEMANET.

Qui plus est, F. DEMANET admet une puissance de 87 m pour les « marbres noirs » à Denée et environ 150 m pour le récif de Sosoye. Nous avons montré que suite d'un redoublement tectonique, l'épaisseur des séquences de « marbre noir » n'était que d'une trentaine de mètres; quant à celle du récif, elle atteint pour nous 200 m. Il est impossible d'admettre un facteur de multiplication de un à sept entre les calcaires en bancs et les biohermes; tout au plus, les séquences de « marbre noir » représentent le terme α , et peut-être la base de β ; γ et δ sont les équivalents du faciès V1b.

De ces observations, il appert que le récif de Sosoye correspond à l'assise de Dinant, ou Viséen inférieur, et que le V1b n'est pas défini paléontologiquement dans la région de Denée. Aussi est-il indispensable de séparer les unités lithostratigraphiques basées sur le faciès que nous dénommerons suivant l'usage V1a, V1b, d'unités biostratigraphiques, basées sur assemblage faunique que l'on peut désigner par des lettres grecques; l'existence d'un « V1 β » reste hypothétique et doit absolument être redéfinie en une autre région.

2° DIAGRAMME D'ABONDANCE DE MACROFAUNE.

Les macrofossiles ont été signalés, depuis fort longtemps, dans les carrières de Denée-Salet, mais la difficulté d'accès des affleurements rend actuellement malaisée leur récolte; aussi n'avons-nous recueilli personnellement qu'une centaine d'échantillons. Heureusement, grâce à l'obligeance de DOM AUGUSTIN DE BROUWER, nous avons pu avoir accès aux riches collections de l'Abbaye de Maredsous et y dresser une liste statistique de la faune des « marbres noirs ». Le bon millier d'échantillons observés nous a révélé :

Coelentérés (6 %) :

Clisiophyllum, *Carcinopyllum*, *Zaphrentis*, *Caninia*, *Syringopora*, *Michelinia*.

Brachiopodes (48 %) :

Productus, *Chonetes*, *Schizophoria*, *Schellwienella*, *Reticularia*, *Athyris*, *Leptaena*, *Schuchertella*.

Gastropodes et Pélécypodes (15 %) :

Conocardium, *Nuculana*, *Edmondia*, *Solenomya*, *Aviculopecten*, *Pterinopecten*.

Ammonoïdes (7 %) :

Goniatites, *Nomismoceras*, *Munsteroceras*, *Merocanites*, *Pericyclus*.

Échinodermes (17 %).

Ces fossiles étant occlus dans une gangue, dont il fut aisé de reconnaître le lithofaciès, en reprenant les mêmes critères qui nous avaient guidé sur le terrain.

De plus, la connaissance que nous avons acquise des « veines exploitées » dans la vingtaine des carrières de Denée-Salet, nous permet d'estimer que :

- 9 % des strates y ont le faciès 1 (calcaires calcschisteux).
- 23 % le faciès 2 (sparites, calcaires grenus).
- 11 % le faciès 2,5.
- 21 % le faciès 3 (calcaires microcristallins, biomicrites).
- 24 % le faciès 3,5.
- 12 % le faciès 4 (« marbres noirs »).

Or, la distribution statistique de fossiles recueillis au hasard dans ces mêmes carrières est bien différente. C'est ainsi que les Productidés fossilisés dans le faciès 1, ne représentent

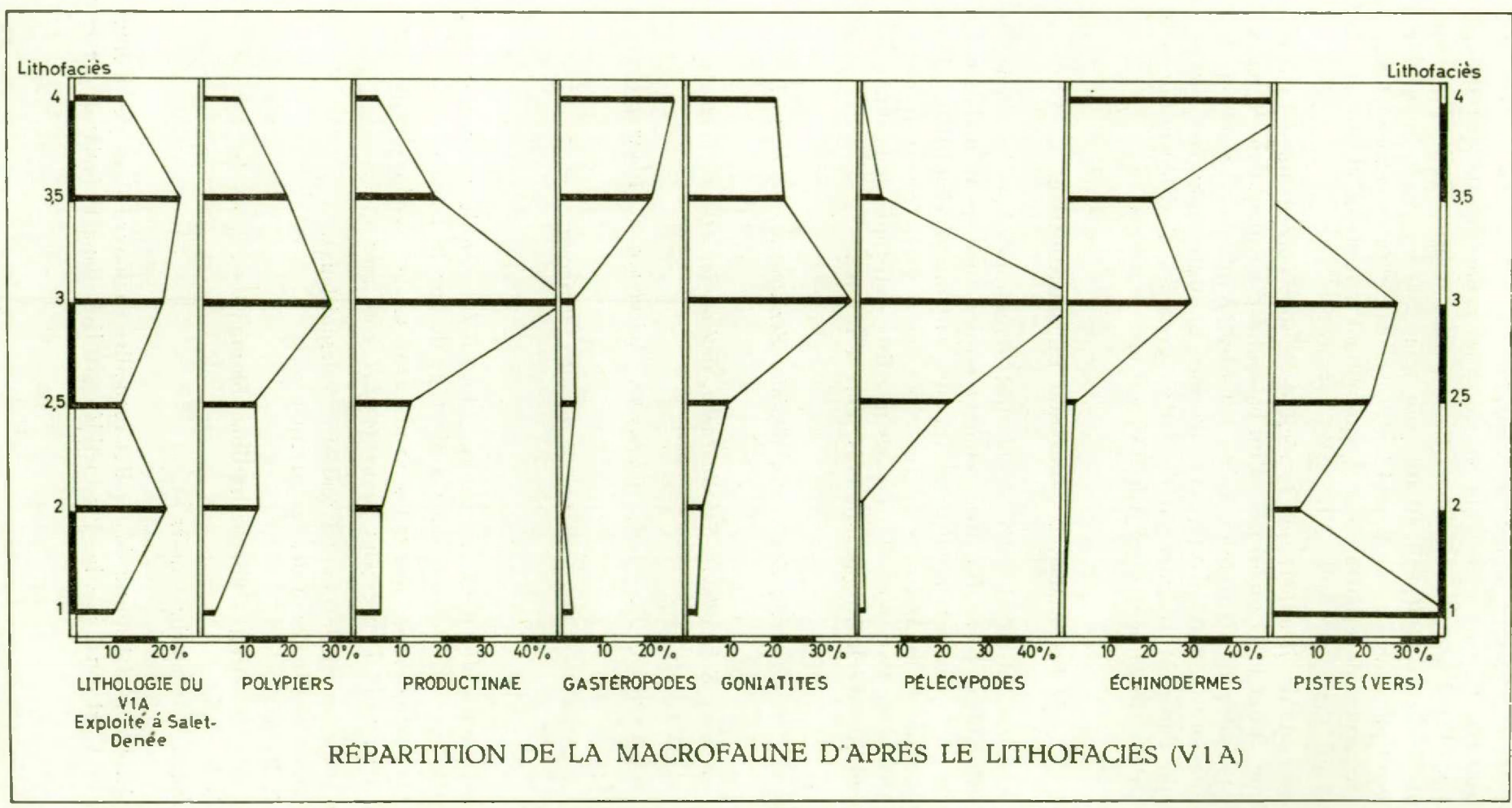


FIG. 31. — Répartition de la macrofaune d'après le lithofaciès.

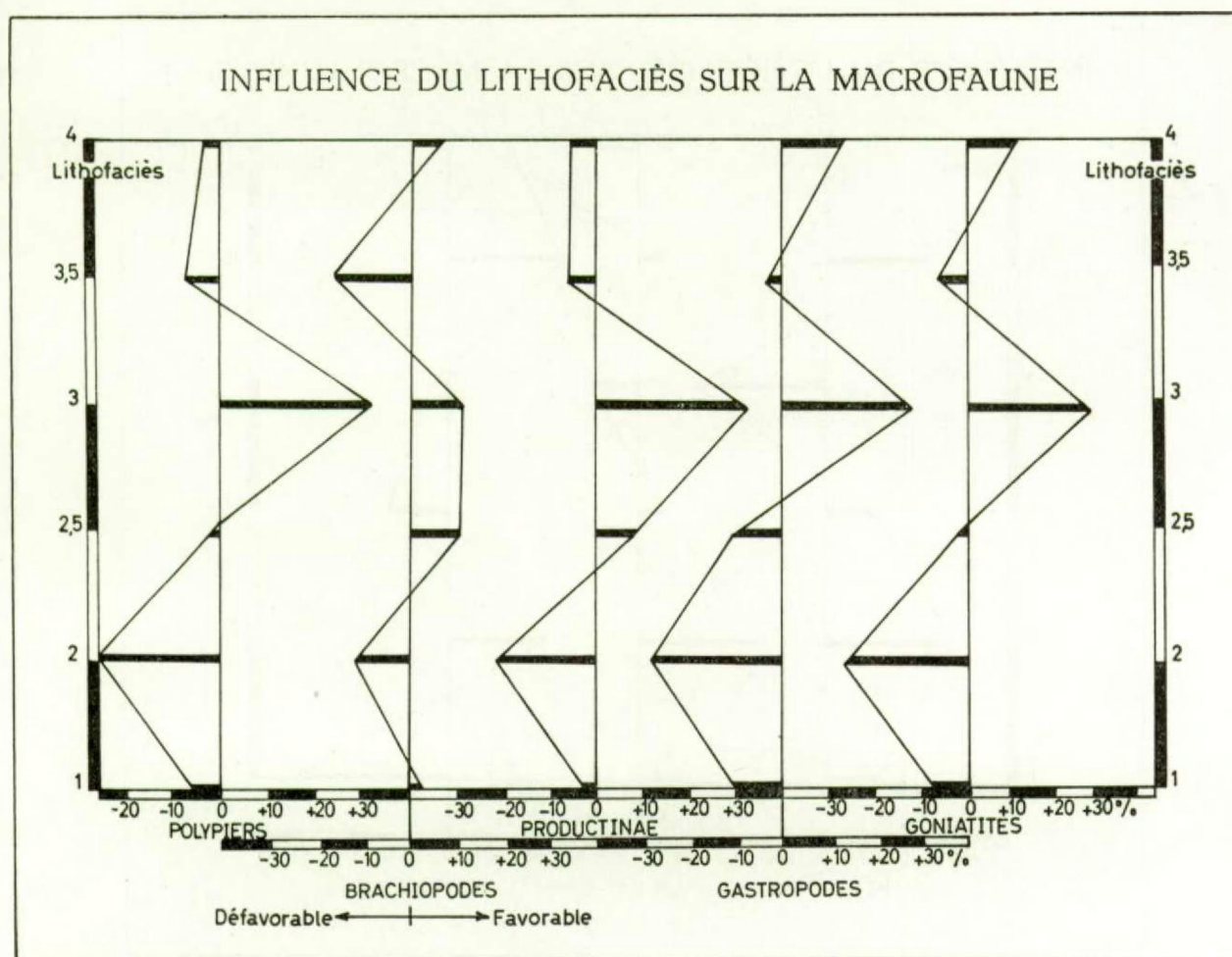


FIG. 32. — Diagramme d'abondance relative de la macrofaune par rapport à une distribution du hasard.

que 2 % du total des Productidés récoltés. Pour le faciès 2, on atteint à peine 10 %. Il y a donc un réel déficit de ce groupe dans le domaine des calcaires calcschisteux et des sparites. Par contre, les faciès 2,5 ou 3 leur étaient favorables puisqu'on y retrouve respectivement 17 et 34 % des Productidés récoltés.

Nous avons pu dresser ainsi un diagramme (fig. 31) donnant en regard de la distribution des lithofaciès, celle des groupes de macrofaune, exprimée en pour-cent. A partir de ce diagramme on peut en dériver un autre (fig. 32 et 33) qui indique l'excès ou le déficit du pourcentage observé de l'assemblage faunique par rapport à une distribution du hasard; s'il n'y avait pas de relation faciès-macrofaune, on devrait trouver en effet 9 % des fossiles concentrés dans les lithofaciès 1, 23 % dans les faciès 2 et ainsi de suite (calculées en pourcentage absolu, ces valeurs donneraient une ligne verticale « zéro »); mais, du fait de la relation faciès-écologie, la distribution est tout autre, et se place tantôt à gauche, tantôt à droite de cette ligne « zéro »; chaque fois que la ligne de distribution tend vers la gauche, elle indique un faciès défavorable, un déficit de faune par rapport à une distribution au hasard; l'inverse pour la tendance vers la droite.

En général, les faciès 1 et 2 sont défavorables au développement de la quasi-totalité de la macrofaune. Seules les traces, pistes et empreintes néréitiformes sont abondantes. La faune,

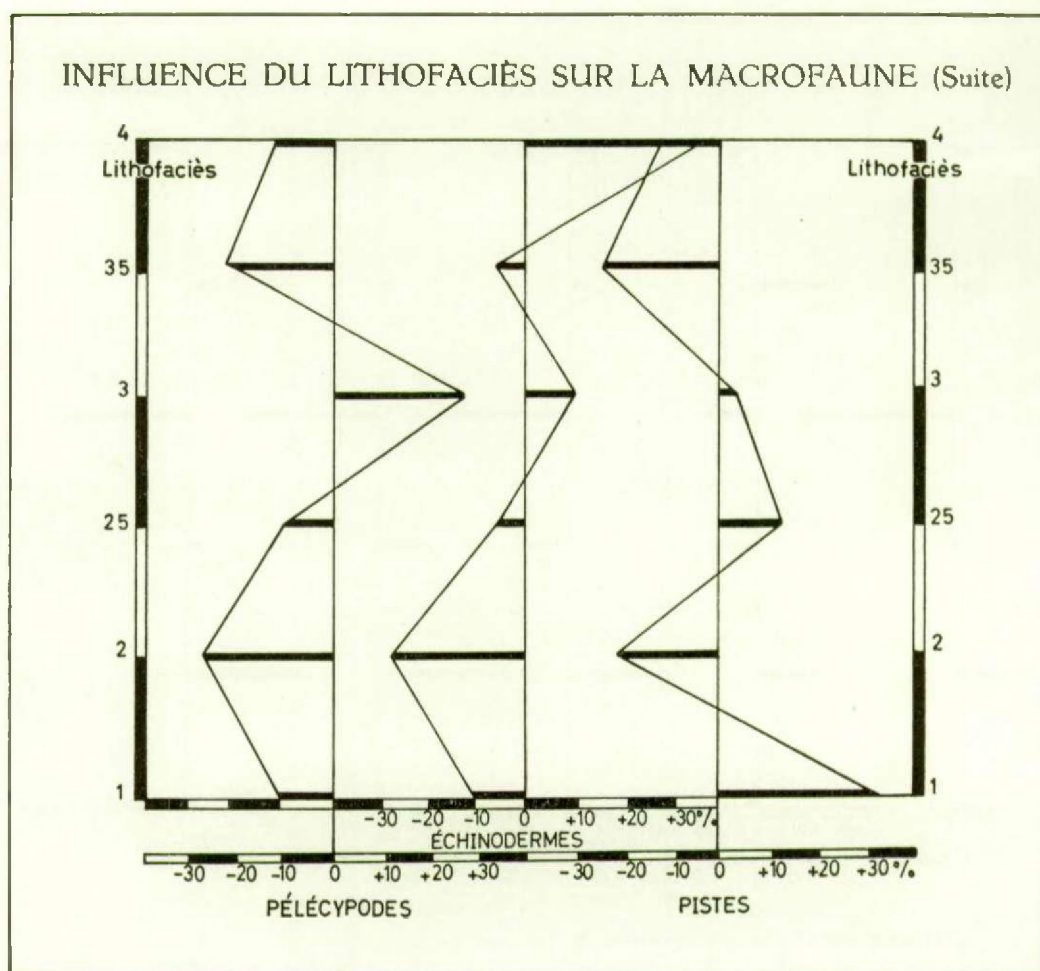


FIG. 33. — Diagramme d'abondance relative de la macrofaune par rapport à une distribution du hasard (*suite*).

par contre, est favorablement influencée par les faciès 2, 5 et 3. Quant aux faciès 3, 5 et 4, leur influence est plutôt défavorable, mais cet effet est mal marqué.

Le résultat le plus frappant est la ressemblance inattendue entre les courbes de distribution des goniatites, des gastéropodes et des brachiopodes. Elles explicitent jusqu'à un certain point les anomalies trouvées par C. PAREYN au Sahara (1959).

On remarquera que ce diagramme est lié à deux facteurs :

- 1° la possibilité pour la macrofaune de prospérer dans un lithofaciès;
- 2° la possibilité pour les tests d'être préservés après la mort.

Il existe donc un facteur « conservation », et si l'assemblage est une thanathocénose, c'est évidemment ce facteur qui devient dominant.

Certains pétrographes (R. FOLK, par exemple) trouveraient là un argument pour avancer que les sparites sont défavorables à la conservation des tests parce que déposés en milieu agité, alors que les micrites formées en eau plus calme augmenteraient la probabilité de conservation des coquilles; or, nous prouverons plus loin que l'action des courants était extrêmement faible (p. 84) si pas négligeable, et qu'ils étaient incapables de transporter des coquilles de plus de 0,1 mm. De plus, la plupart des brachiopodes sont encore en position

de vie, et leurs coquilles intactes, sans trace d'usure, sont encore connectées à leurs épines calcaires. Ce n'est certes pas là le fait d'une faune remaniée et le facteur « conservation » apparaît comme négligeable dans l'appréciation statistique de la répartition de la macrofaune des « marbres noirs ».

Cette conclusion doit être mise en parallèle avec le travail de L. SLOSS (1958) sur les affinités « lithocongruentes ». Nous y trouvons que pour les calcaires, le faciès reste le plus important des facteurs contrôlant la composition de la faune, plus important à lui seul que toutes les autres variables venant troubler par après l'assemblage.

3° REMARQUE SUR LE MODE DE FOSSILISATION.

A. SALÉE a attiré l'attention sur l'aplatissement des tests des fossiles du « marbre noir »; certains chercheurs en ont même tiré la conclusion que le sédiment fut un gel colloïdal, susceptible d'aplatir les coquilles en se rétractant.

Tant dans les carrières que dans les vieilles collections, on rencontre, en effet, d'assez nombreux individus aplatis, mais ils se trouvent alors dans un joint ou un diastème. Or, c'est là un fait très général; les fossiles trouvés dans les joints sont souvent aplatis, qu'il s'agisse de la zone d'Etrœungt ou du calcaire de Lives... Comme il n'existe que de rares joints dans le « petit granite », la faune qu'on y récolte est évidemment en volume dans la roche : par contre, pour les séquences de « marbre noir », il existe plus d'un millier de joints et de diastèmes, si bien qu'un grand nombre d'individus sont écrasés.

A ce mode de fossilisation dans les joints, il faut ajouter la réduction systématique de l'épaisseur du test dans les faciès « marbre noir »; alors que la moyenne des épaisseurs des coquilles de *Productidae* y est bien inférieure au millimètre, elle monte à 6 mm et plus dans les faciès oxydés et turbulents (« oolithe de Godin »).

Enfin, tous les sédiments à grains fins sont susceptibles de rétraction après le dépôt; bien que la limite de plasticité des boues microcristallines reste mal connue, nous avons montré (B. MAMET, 1958) qu'une couche d'environ 2 m (représentant une durée de sédimentation assez longue) de boues fines calcaires peut rester plastique et prête à fluer; c'est là une limite maximale du « décollement interne » pour un gradient de pente normal.

Il est probable que cette plasticité est due, partiellement au moins, à la thixotropie. Comme P. BOSWELL (1951) l'a fait remarquer, même des sédiments relativement grossiers peuvent exhiber cette propriété qui rend les couches anormalement visqueuses. Chaque lithofaciès a une valeur limite de concentration d'eau à partir de laquelle la transformation gel-sol peut avoir lieu; pour les micrites très fines, cette valeur (échelle de Boswell 100-200) ne doit pas être très inférieure à celle des argiles non expansibles (Boswell 200-500). Pour les sparites, au contraire, l'induration est beaucoup plus rapide et la thixotropie est faible (Boswell 50).

B. — LA MICROÉCOLOGIE DU « MARBRE NOIR » DE DINANT.

1° INTRODUCTION.

L'étude microscopique des lames minces taillées dans les différents faciès du « marbre noir » de Dinant, a révélé l'existence de débris désarticulés de macrofaune mêlés à :

1. Des algues représentées en majeure partie par les *Orthonelles*. Les *Dasycladaceae* ne deviennent abondantes qu'à partir du Viséen moyen.

2. Des calcisphères, ou petites sphères (10-250 μ) à cortex de calcite finement cristalline.

Longtemps considérées comme foraminifères (et encore admises comme telles par certains chercheurs russes), elles sont en relation probable avec la reproduction algale (H. DERVILLE, 1941, 1950, 1952; A. LOMBARD et R. MONTEYNE, 1956). Les principaux genres sont *Calcisphaera*, *Diplosphaera* et *Palaeocancellus*.

3. Des foraminifères benthoniques libres à test calcaire.

Les principaux genres observés sont : *Endothyra*, *Palaeotextularia*, *Tetrataxis*, *Forschia*, *Brunsia*, *Archaediscus*, *Lituobella*, auxquels s'en ajoutent une cinquantaine d'autres.

4. Des bryozoaires parmi lesquels se reconnaissent les *Pinnatopora*, *Vincularia* et *Acanthocladia*.

Dès le début des études en plaques minces du Carbonifère calcaire, H. SORBY (1879) avait établi que l'on y rencontrait par ordre d'importance les crinoïdes, les brachiopodes, les bryozoaires et les foraminifères. Cette estimation garde toute sa valeur et il ne fait aucun doute que les crinoïdes représentent plus de 75 % du bios carbonifère.

Les autres groupes ne représentent normalement que de faibles pourcentages. En particulier, les « calcaires construits à Fenestellidés » ne renferment jamais beaucoup plus de 1 à 2 % de bryozoaires et les « calcaires algaires » des teneurs du même ordre en algues discernables (W. S. SCHWARZACHER, 1961).

2° MÉTHODE DE TRAVAIL.

Nous avons estimé par observations microscopiques la répartition de cet ensemble de faune, auquel se mêlent des débris de macrofaune, pour plusieurs centaines de plaques minces. Les débris non biologiques, les algues, les bryozoaires, les brachiopodes, les ostracodes et les échinoïdes sont estimés en pourcentage, alors que les foraminifères et les calcisphères le sont en unités par oculaire (moyenne arithmétique de 5 champs de 0,5 mm²).

Les erreurs inhérentes à ce mode d'observation ont été estimées par la comparaison des résultats de l'observation directe et comptage de 1.000 points à la platine intégratrice.

a) Pourcentage estimé.

Lame	Sparite	Micrite	Foraminifères	Débris non biologiques	Crinoïdes	Autres
314	45	16	1	24	5	5
328	41	10	2	24	16	7
390	62	5	2	10	14	7
352	40	10	1	39	3	7
354	15	33	3	22	13	16
380	65	9	4	15	0	7
343	55	15	1	16	4	9

b) Pourcentage obtenu à la platine intégratrice.

314	46,1	20,5	1,0	23,3	5,0	6,1
328	42,2	9,0	2,2	24,9	15,1	7,7
390	58,1	6,1	2,1	10,0	14,2	9,7
352	42,4	10,0	0,7	37,9	3,8	5,1
354	15,0	36,4	2,0	20,3	14,1	13,6
380	62,6	11,9	3,5	15,9	0,0	7,0
343	54,1	18,1	1,1	17,8	3,5	7,7

c) Erreur relative apparente (en assumant arbitrairement une erreur absolue pour l'estimation de la platine intégratrice).

314	3 %	22 %	0 %	4 %	0 %	22 %
328	4 %	11 %	14 %	4 %	7 %	10 %
390	8 %	18 %	5 %	0 %	11 %	30 %
352	5 %	0 %	30 %	4 %	20 %	25 %
354	0 %	9 %	25 %	8 %	7 %	15 %
380	2 %	25 %	14 %	6 %	0 %	0 %
343	2 %	17 %	0 %	9 %	12 %	15 %

Ces résultats sont encourageants et suggèrent une meilleure reproductibilité des estimations pour les roches carbonatées que pour les arénacées. Il n'en reste pas moins que les chiffres avancés ont plus d'intérêt par leur évolution relative que par leur valeur absolue.

Pour les petits organismes, l'estimation conduit à des erreurs par trop flagrantes; il est nécessaire d'estimer numériquement les individus pour une surface déterminée, puis de multiplier par un facteur de surface. Cette méthode a été appliquée pour les foraminifères, calcisphères et ostracodes.

3° MICROÉCOLOGIE DU « MARBRE NOIR » DE DINANT.

L'estimation numérique étant faite, nous avons établi une série de diagrammes triangulaires pétrographiques (sparite-micrite-débris calcaires) (fig. 34 à 43), où les groupes biologiques sont portés en valeur absolue. Le premier de ces diagrammes triangulaires concerne la lithologie des échantillons de « marbre noir » provenant des carrières de Denée-Salet.

La figure 44 est basée sur les moyennes arithmétiques des résultats trouvés pour les diagrammes triangulaires. La valeur statistique de cette façon de procéder n'est pas classique puisque les aires occupées par les différents termes lithologiques ne sont pas géométriquement équivalentes et que la densité des points d'observation y varie fortement; toutefois, le problème n'est pas de trouver un pourcentage absolu, mais d'établir une tendance dans la variation de ces pourcentages.

Si l'on compare les données de la microécologie et celles des diagrammes macroscopiques d'abondance de la macrofaune, on ne peut que rester assez surpris de la similitude des courbes, en particulier dans le cas des brachiopodes. Cette similitude confirme que la faune des « marbres noirs » est bien une biocénose.

La répartition des foraminifères est fortement influencée par la famille pétrographique; rares dans les micrites, ils prolifèrent dans les sparites. R. BATHURST nous a suggéré (communication personnelle) que l'existence des boues calcaires contrariait la multiplication des foraminifères et que leur absence, ou l'existence de vides comblés postérieurement par de la calcite secondaire, favoriserait au contraire leur prolifération. Toutefois, nous ne compre-

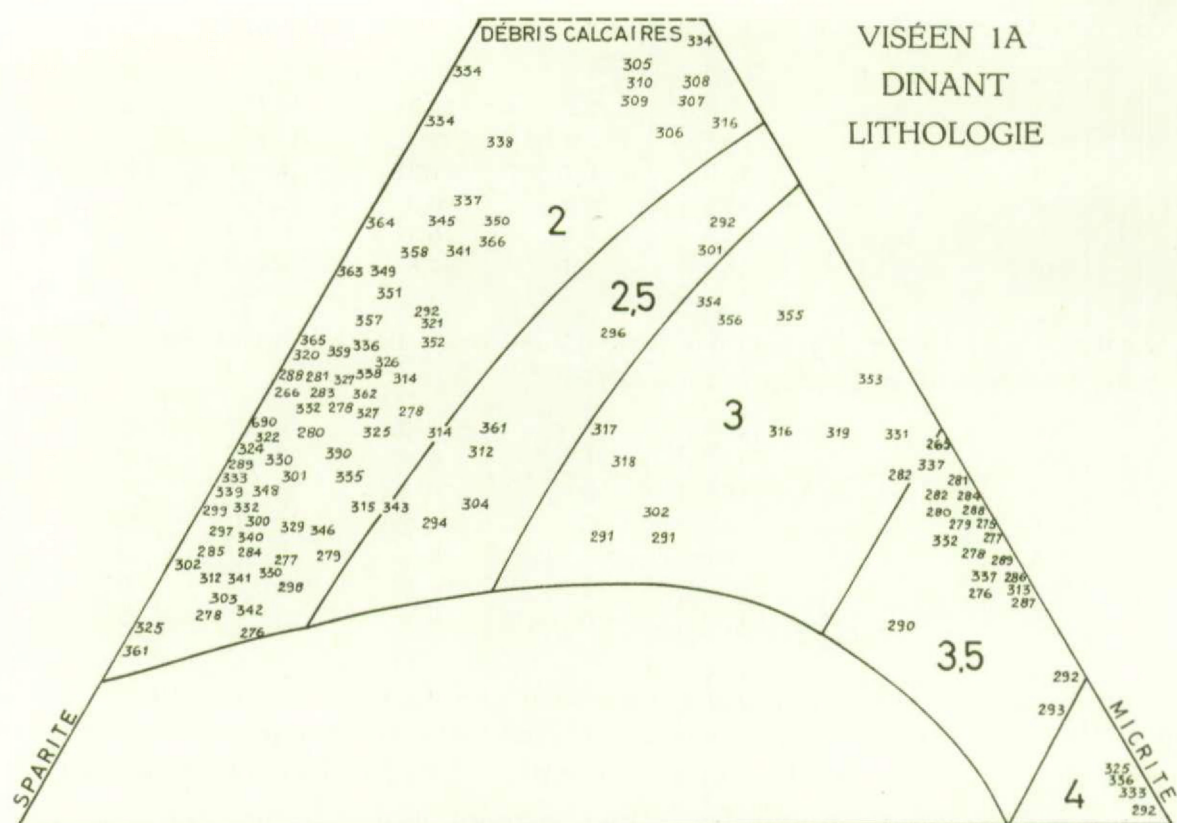


FIG. 34. — Lithologie du « marbre noir » de Dinant V1a.

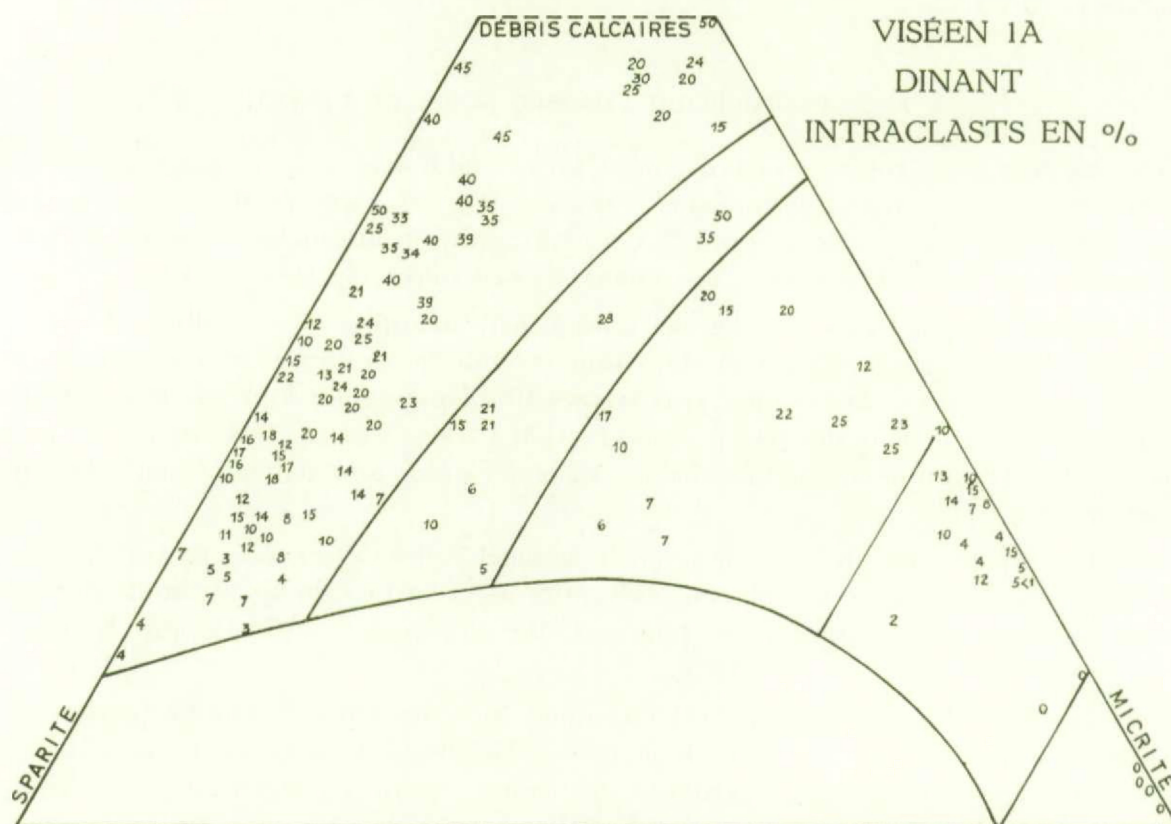


FIG. 35. — Répartition des « intraclasts » par rapport aux variables micrite-sparite-débris calcaires (en pour-cent).

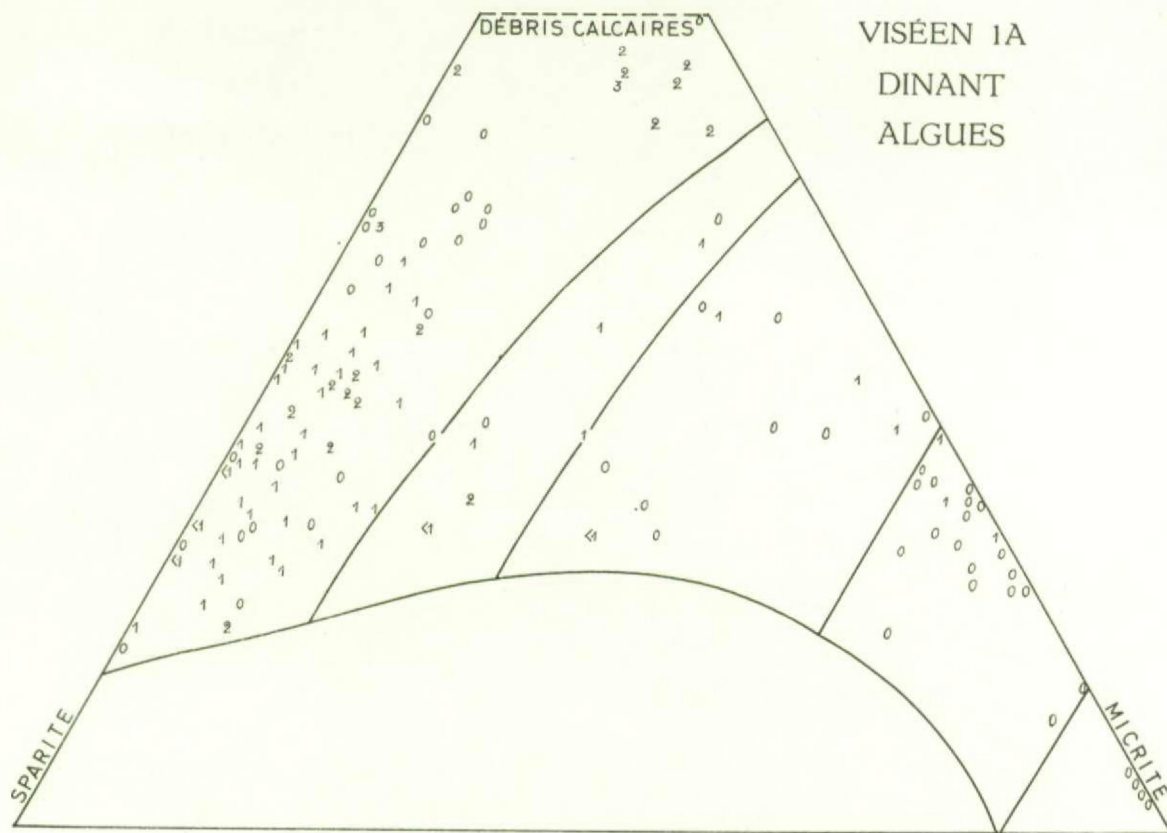


FIG. 36. — Répartition des algues calcaires libres (en pour-cent).

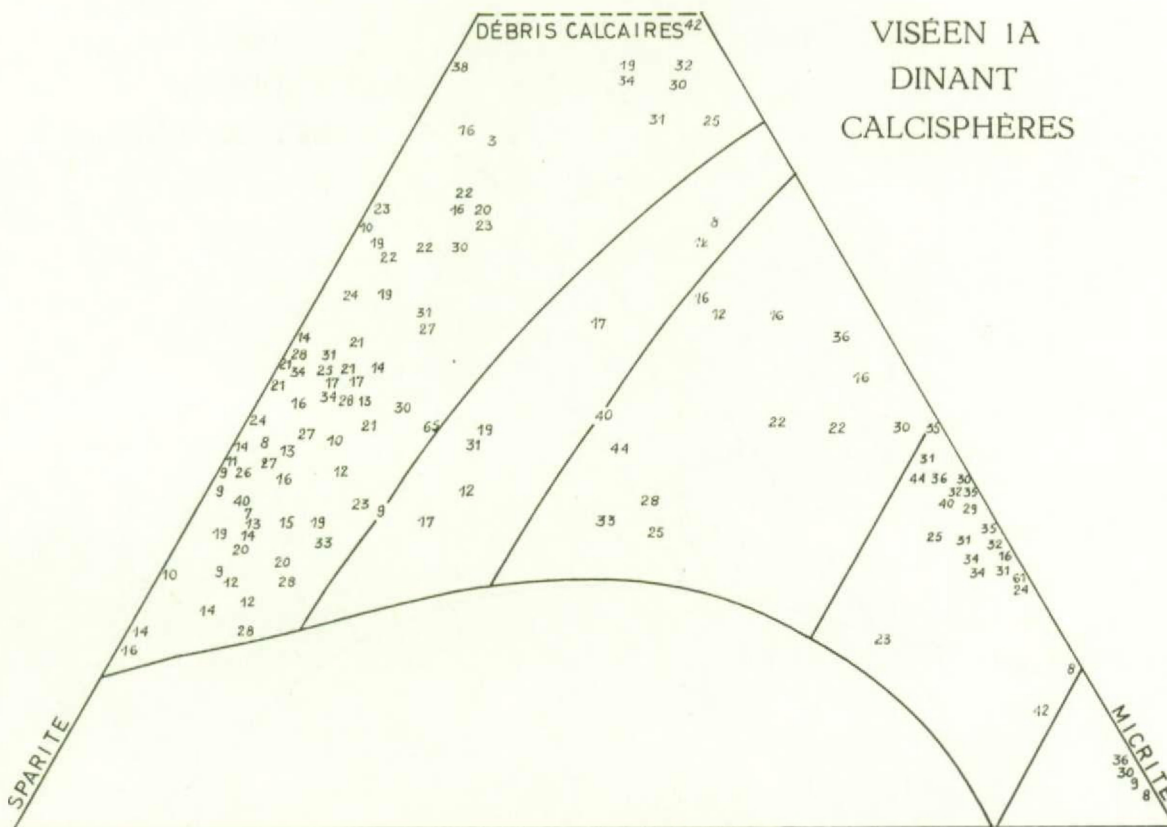


FIG. 37. — Répartition des calcisphères (en individus par oculaire).

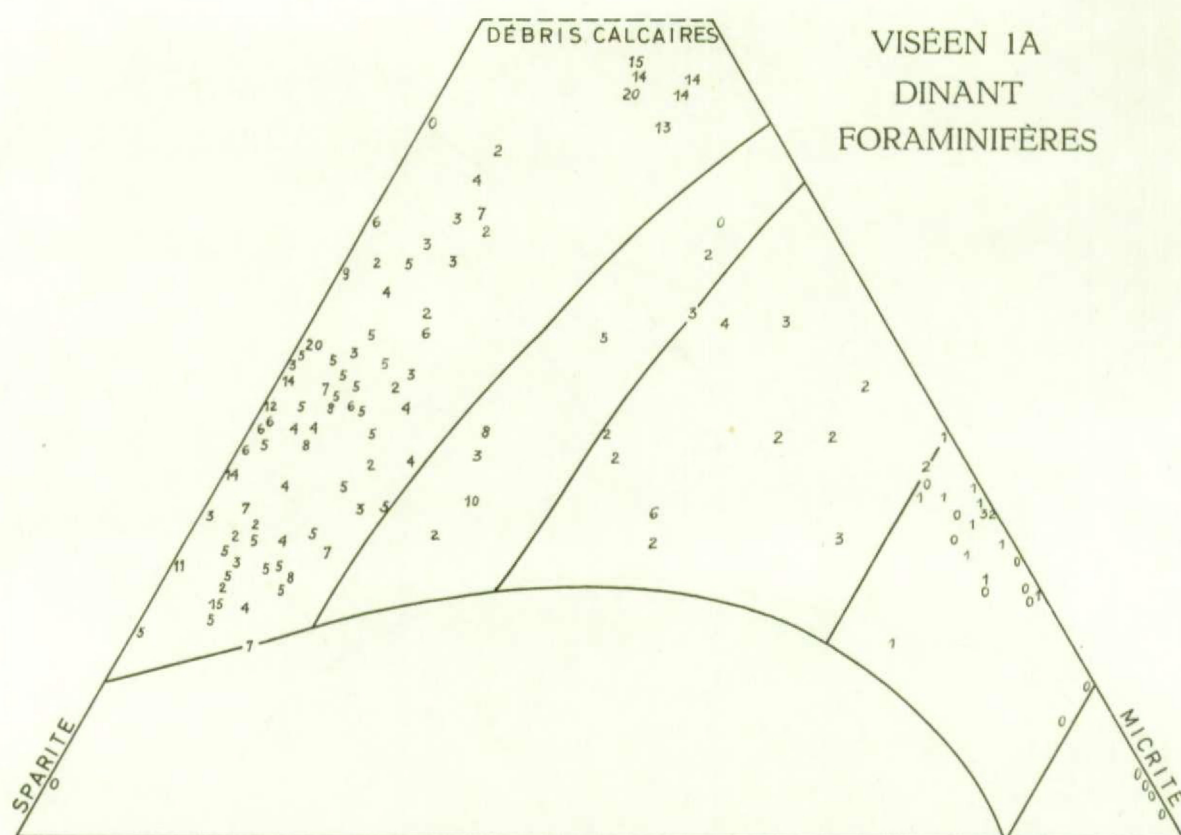


FIG. 38. — Répartition des foraminifères (en individus par oculaire).

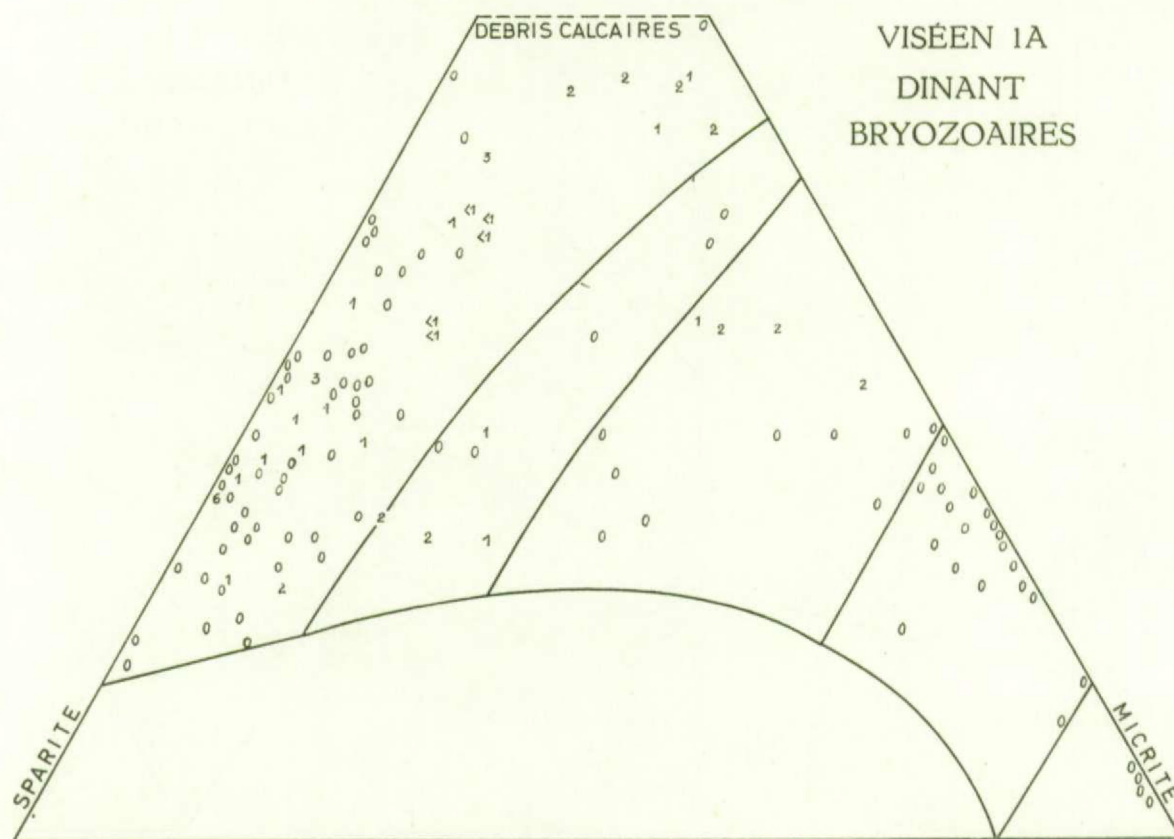


FIG. 39. — Répartition des bryozoaires (en pour-cent).

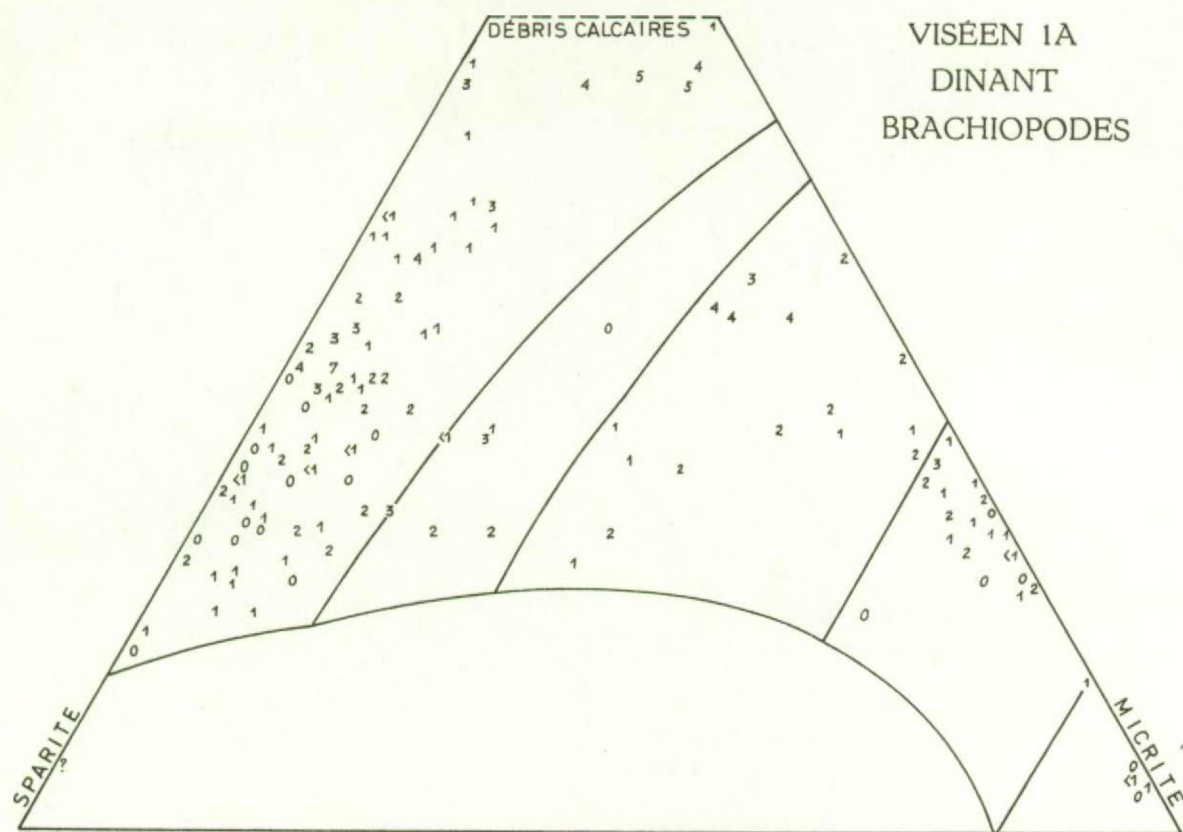


FIG. 40. — Répartition des brachiopodes (en pour-cent).

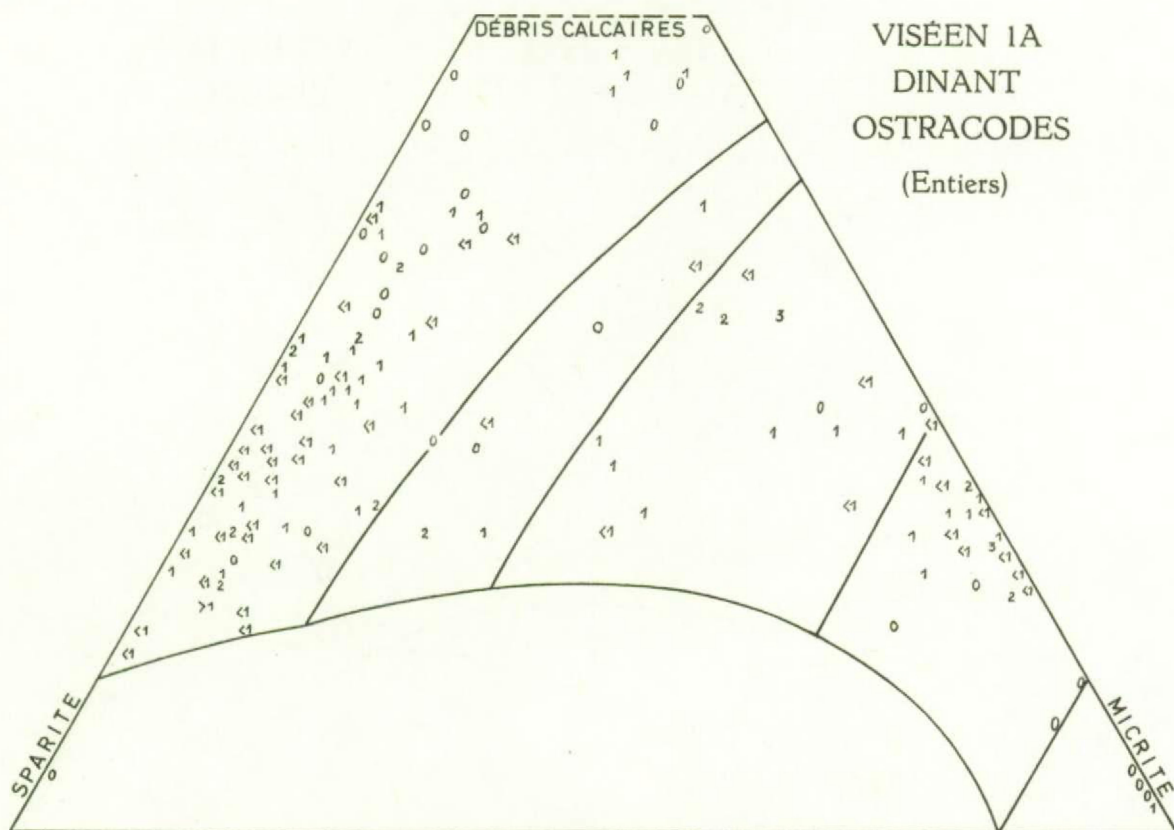


FIG. 41. — Répartition des ostracodes à valves entières (en pour-cent).

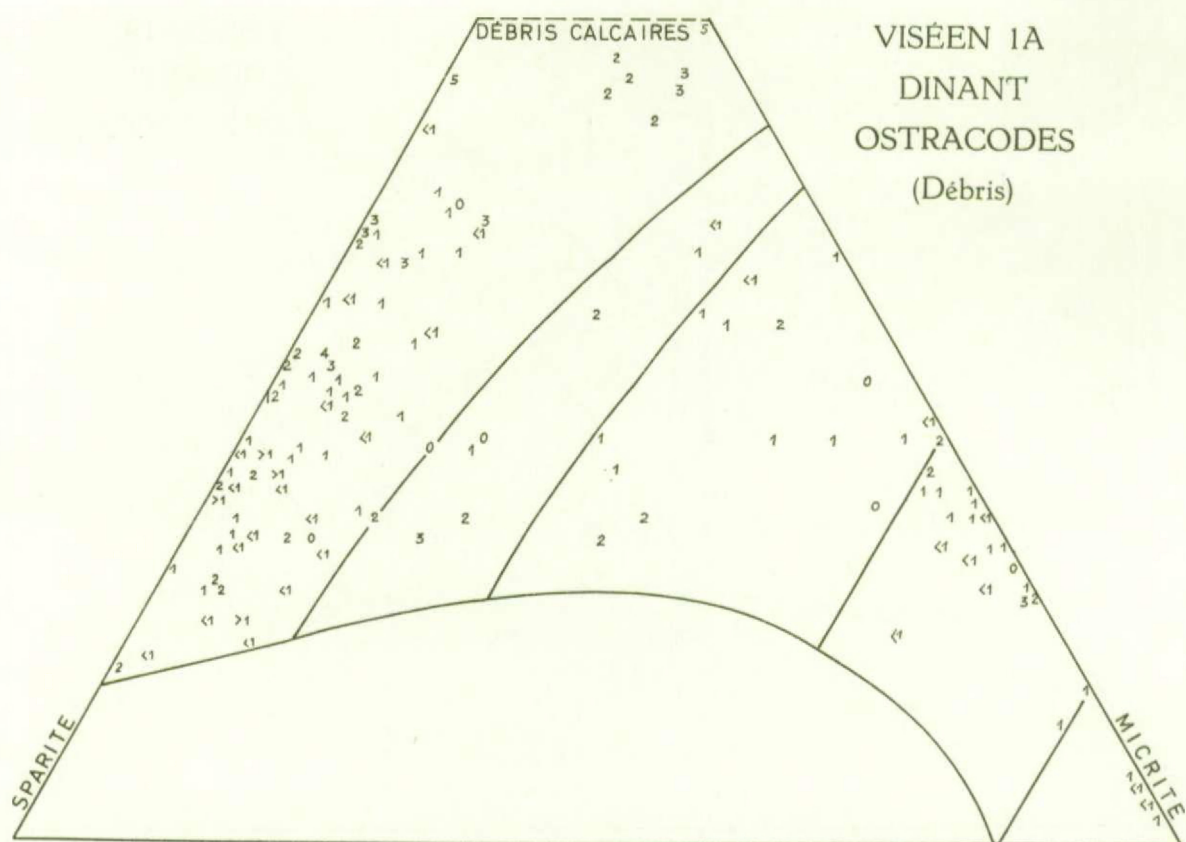


FIG. 42. — Répartition des ostracodes en débris (en pour-cent).

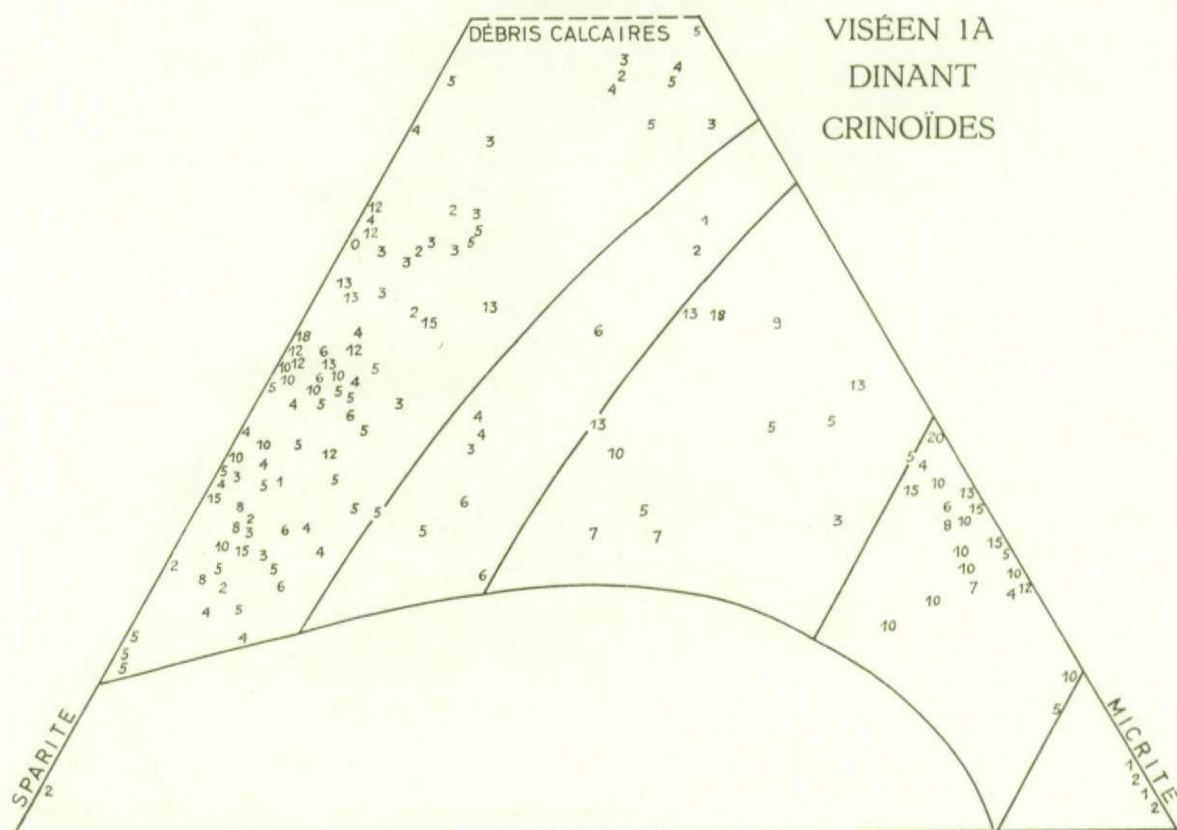


FIG. 43. — Répartition des crinoïdes (en pour-cent).

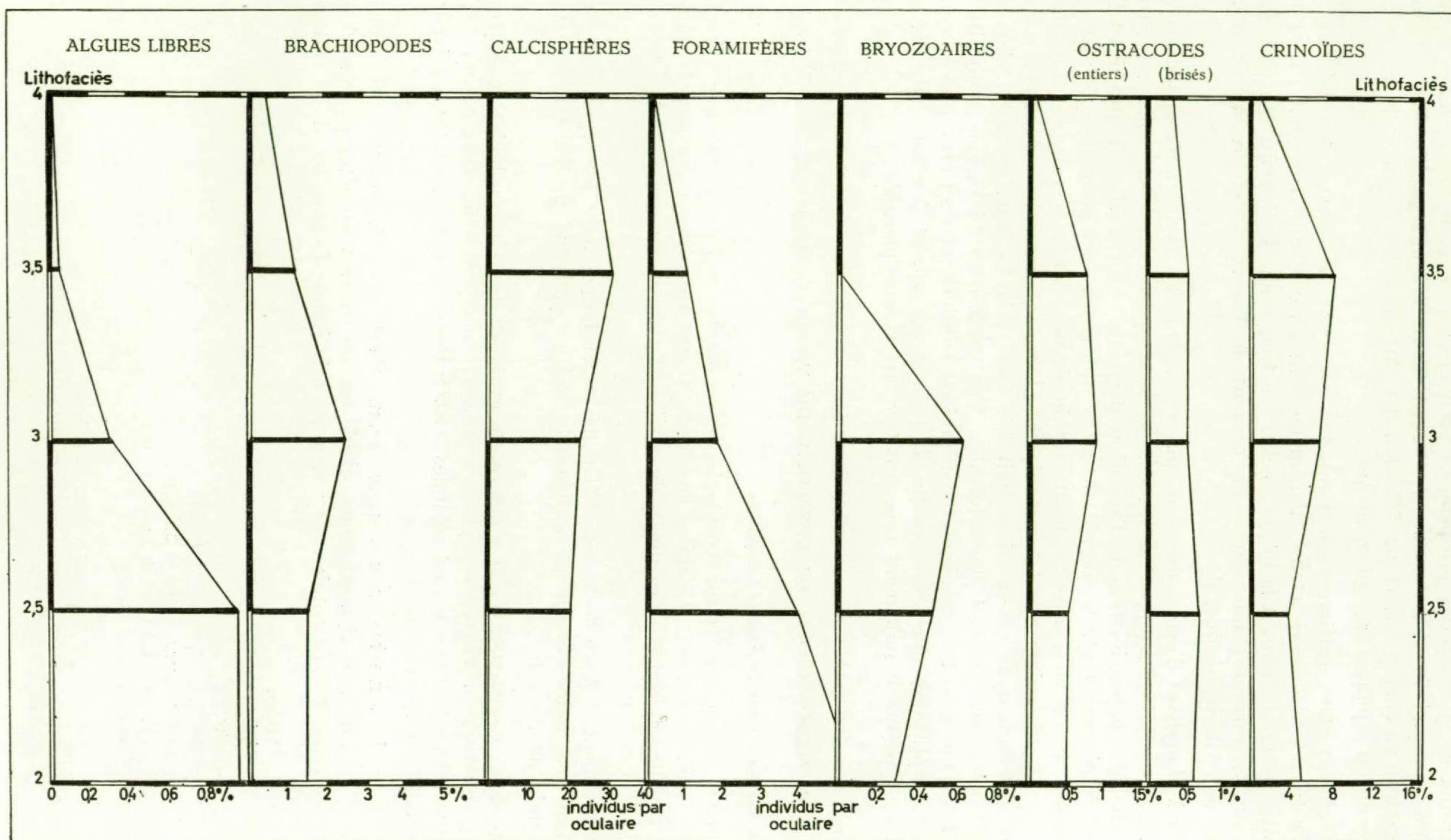


FIG. 44. — Répartition de la microfaune et de la macrofaune en débris du « marbre noir » de Dinant.
(Moyenne arithmétique par rapport aux lithofaciès de la série virtuelle locale.)

nous pas pourquoi les gastéropodes prospéraient particulièrement dans des calcaires à 50 % de « vides » ou pourquoi 70 % de « vides » seraient favorables aux protozoaires ? Comme nous l'avons montré au chapitre de la classification des carbonates, seule une calcite pénécron-temporaire permet d'expliquer ces phénomènes.

Les courants n'étant suffisamment puissants que pour transporter les individus de 10-100 μ , les ostracodes en débris et les calcisphères sont répartis uniformément parmi tous les types de calcaire. En appliquant la loi de Stokes, on trouve une limite entre thanatocénose et biocénose qui correspond à une vitesse de courant de l'ordre d'une dizaine de mètres par heure, soit une vitesse négligeable.

Les valves complètes d'ostracodes sont plus rares dans les faciès microcristallins que dans les sparites. La courbe du rapport ostracodes en débris/ostracodes à test complet pourrait donner ainsi une idée approximative de l'agitation des eaux. Ceci n'est vrai que si l'action des « fouisseurs » n'a pas perturbé le sédiment (ce qui est le cas pour les plaquettes de « marbre », puisque les contacts entre biosparites et biomicrites sont francs; de plus, les dimensions des débris non biologiques sont semblables à celles des foraminifères; or, nous avons montré que la distribution de ces derniers était liée aux variables micrite-sparite alors que les débris non biologiques en sont indépendants). Une explication biologique pourrait être également avancée. Enfin, la thixotropie élevée des micrites fluides pourrait être mise en cause. Quelle que soit l'explication que l'on admette, la courbe de rapport des ostracodes montre que les sparites ne postulent nullement une agitation mécanique marquée.

4° MICROÉCOLOGIE DE L'ENSEMBLE DU VISÉEN GALLO-BELGE.

a) La microécologie par rapport aux diagrammes triangulaires.

On pourrait penser que la microécologie des « marbres noirs » forme une exception parmi celle des faciès dinantiens; il s'agit d'une faune vivant en milieu réducteur, tranquille, protégé par des hauts-fonds; par conséquent, des sédiments marins de mer ouverte pourraient répondre à d'autres conditions.

Malheureusement, l'étude de la répartition des macrofaunes dans les séquences dinantiennes exigerait plus d'une dizaine de milliers de fossiles, quantité qu'il est actuellement devenu impossible de recueillir.

Il faudra donc se contenter d'une comparaison grossière des microécologies de différents niveaux stratigraphiques du Viséen. Les plaques minces concernent tout comme pour le V1, des calcaires allochtones dont le grain est celui des calcarénites et ne présentant pas de diagénèse ou de recristallisation importantes.

Comme pour le « marbre noir » nous avons établi des diagrammes triangulaires sparite-micrite-débris calcaires, et nous avons calculé les moyennes arithmétiques pour chacun des lithofaciès; ces résultats d'ensemble sont consignés à la figure 45 avec les sigles suivants :

————	Viséen.
-----	V3b.
+ - + - +	V2b.
- - - - -	V2a.
————	V1a (« marbre noir » de Dinant).
————	V1a (« marbre noir » de Bachant).
.....	V1a (oolithe de Godin).

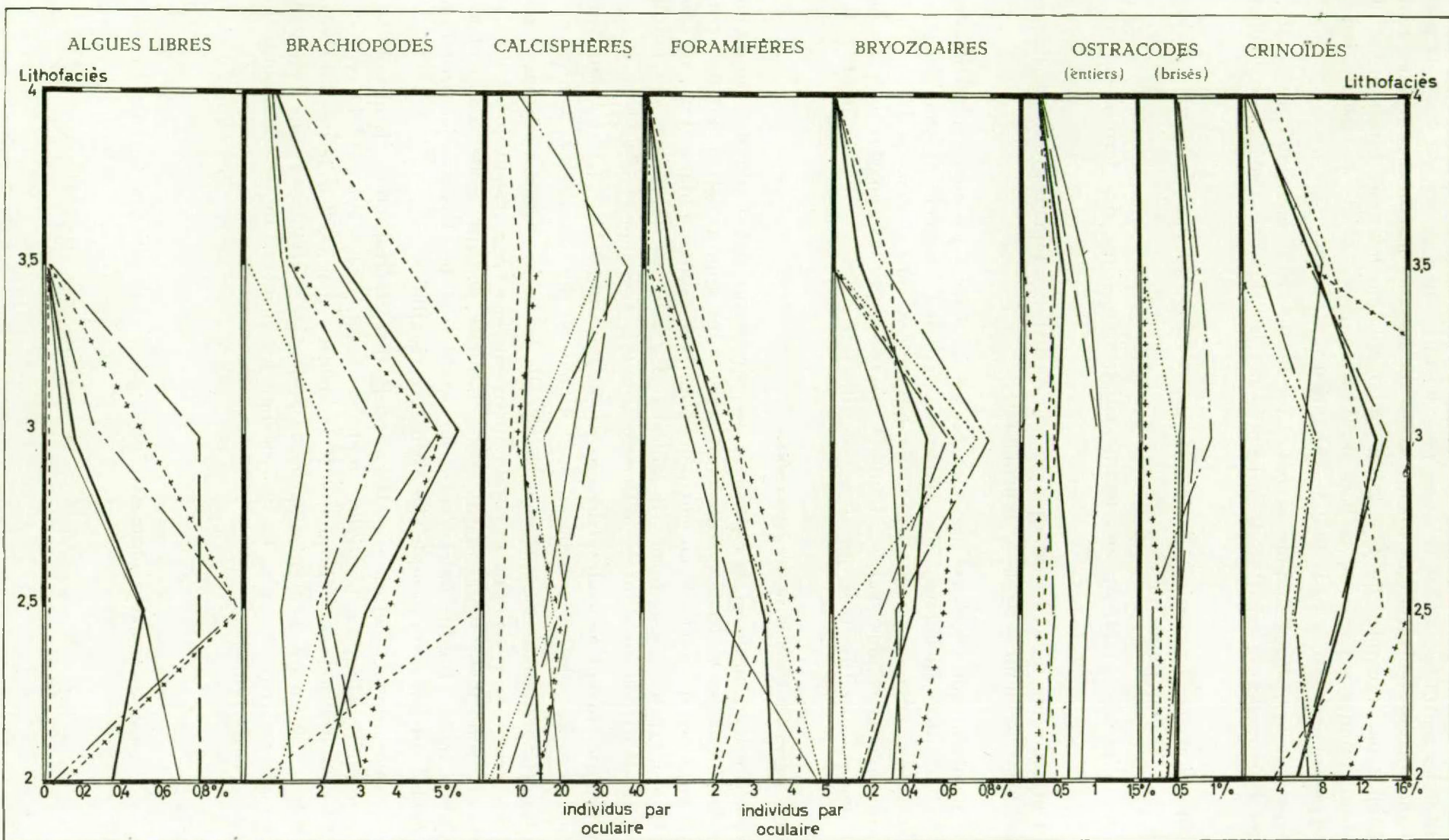


FIG. 45. — Répartition de la microfaune et de la macrofaune en débris du Viséen.
(Moyenne arithmétique par rapport aux lithofaciès de la série virtuelle locale.)

Des similitudes marquées ont été trouvées pour les différentes assises sur toute la plateforme dinantienne, malgré les variations quantitatives absolues de chacun des groupes biologiques. C'est ainsi, par exemple, qu'il y a une augmentation marquée du nombre des foraminifères benthoniques à partir de la base du Viséen, mais les lois de distribution de ces organismes restent les mêmes pour tout le Dinantien.

Quelle que soit la paléogéographie et pour des limites bathymétriques assez larges, on peut dégager trois modes de répartitions influencés par les variables sparite-micrite-débris calcaires.

1. Les brachiopodes, bryozoaires, gastropodes se développent dans les termes 3, alors que les termes 2 et 4 sont plutôt défavorables.

2. Les foraminifères montrent une augmentation numérique des termes 4 vers le terme 2.

3. Les débris d'ostracodes et les calcisphères sont répartis erratiquement et appartiennent en somme au « bruit de fond » de la sédimentation.

Ces faits montrent que l'écologie des « marbres noirs » n'est pas une exception parmi la majorité des calcaires allochtones du Dinantien. Ils ont simplement condensé, sur une échelle verticale réduite, la plupart des faciès qui se rencontrent dans le Dinantien en séquences plus monotones et plus épaisses. L'intérêt des plaquettes de « marbre noir » réside plus dans son mode de stratification que dans son lithofaciès.

b) La microécologie par rapport à la famille et au type pétrographique.

Nous avons considéré jusqu'ici, la répartition des faunes en relation avec des diagrammes pétrographiques triangulaires (micrite-sparite-débris). C'est une approximation qui ne permet pas de séparer l'influence du mode de cimentation et du type pétrographique. Pour ce faire, il nous paraît utile d'exprimer sous forme de tableaux de tendances, l'influence des familles et de la nature des débris calcaires sur les différents groupes zoologiques rencontrés.

Les résultats qui suivent ne sont valables que pour des limites bien définies; ainsi nous ne nous référons qu'à des calcaires très purs, de la dimension des arénites.

La famille pétrographique, définie page 63, appelle les considérations suivantes : nous avons écarté délibérément les sparites de recristallisation; ces calcaires à ciment de calcite claire en grands cristaux sont donc représentatifs des conditions de milieu de sédimentation. Pour les grumites, roches intermédiaires entre les sparites et les boues microcristallines, nous n'avons également pas tenu compte des roches recristallisées.

Le type pétrographique, défini page 63 n'appelle pas de restriction. Remettons tout au plus en mémoire, l'explication des sigles employés. Le préfixe « bio » ou 1, représente essentiellement les fossiles; le terme « intra » ou 2, les débris remaniés et le terme 3 ou « oo » les oolithes. Ces trois constituants peuvent se mêler en proportions variables et nous nommerons la roche d'après celles-ci; par exemple, 12 indique que les éléments figurés dominants sont les fossiles et les débris remaniés.

α) Algues calcaires libres.

a) Suivant le type pétrographique, on observe statistiquement la variation suivante du nombre d'algues calcaires libres.

Pour les sparites:

Etrœungt	intrabio	>	bio	>	intra	=	poly	=	oobio	=	00
	12	>	1	>	2	=	123	=	23	=	3
Tournaisien	bio	≥	intrabio	≥	intra	=	poly	=	oobio	=	00
	1	≥	12	≥	2	=	123	=	23	=	3
Viséen 1	bio	=	intrabio	≥	intra	>	poly	=	oobio	=	∞
	1	=	12	≥	2	>	123	=	23	=	3
Viséen 2-3	intrabio	≥	intra	>	bio	=	poly	=	oobio	=	00
	12	≥	2	>	1	=	123	=	23	=	3

Pour les grumites:

Etrœungt	bio	=	intrabio	>	intra	
	1	=	12	>	3	
Tournaisien	bio	=	intrabio	>	intra	
	1	=	12	>	2	
Viséen 1	bio	=	intrabio	>	intra	
	1	=	12	>	2	
Viséen 2-3	intrabio	>	bio	=	intra	
	12	>	1	=	2	

Pour les micrites:

Etrœungt	bio	≥	intrabio	=	intra	
	1	≥	12	=	2	
Tournaisien	bio	=	intrabio	=	intra	
	1	=	12	=	2	
Viséen	bio	=	intrabio	=	intra	
	1	=	12	=	2	

En moyenne, la tendance est nette : $\text{bio} \geq \text{intrabio} > \text{intra} = \text{poly} = \infty$ (en suivant la notation de la planche : $1 \geq 12 > 2 = 123 = 3$).

En d'autres termes, les algues calcaires se trouvent généralement dans les types de calcaires à bios abondant et elles sont rares dans les calcaires oolithiques.

b) Suivant la famille pétrographique, la distribution suivante des algues libres a été observée.

Etrœungt	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s	>	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s	>	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	>	intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	>	intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	>	intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	>	intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s	>	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m

D'une manière générale, sparites et grumites favorisent le développement des algues calcaires.

c) En conclusion, la répartition des algues calcaires libres est donc contrôlée et par la nature des débris calcaires et par le type de ciment.

β) Calcisphères.

a) Influence du type pétrographique.

Pour les sparites:

Etrœungt	bio	=	oobio	>	intrabio	=	intra	>	poly	=	oo
	1	=	13	>	12	=	2	>	123	=	3
Tournaisien	bio	=	oobio	>	intrabio	=	intra	>	poly	=	oo
	1	=	13	>	12	=	2	>	123	=	3
Viséen 1	bio	=	intrabio	=	intra	>	poly	=	oobio	...	oo
	1	=	12	=	2	>	123	=	13	=	3
Viséen 2-3	intrabio	>	bio	=	intra	>	poly	=	oobio	=	oo
	12	>	1	=	2	>	123	=	13	=	3

Pour les grumites:

Etrœungt	bio	=	intrabio	=	intra
	1	=	12	=	2
Tournaisien	bio	=	intrabio	>	intra
	1	=	12	>	2
Viséen 1	bio	=	intrabio	>	intra
	1	=	12	>	2
Viséen 2-3	bio	=	intrabio	>	intra
	1	=	12	>	2

Pour les micrites:

Etrœungt	bio = intrabio = intra
	1 = 12 = 2
Tournaisien	bio = intrabio = intra
	1 = 12 = 2
Viséen 1	bio = intrabio > intra
	1 = 12 > 2
Viséen 2-3	bio = intrabio = intra
	1 = 12 = 2

Le nombre des calcisphères ne varie guère pour les types bio-intrabio (1-12) et intra (2); il décroît brusquement pour les types oolithiques (oo-poly-oo-bio) (3-123-23).

b) Influence du ciment.

Etrœungt	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s	<	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m

L'influence du ciment est donc négligeable.

c) En conclusion, la répartition des calcisphères est fortement influencée par la présence d'un terme oolithique. Si ce terme est négligeable, la répartition est indépendante de la famille et du type pétrographiques.

γ) Foraminifères calcaires libres.

a) Influence du type pétrographique.

Pour les sparites:

Etrœungt	bio > intrabio > intra > poly > oobio > oo
	1 > 12 > 2 > 123 > 23 > 3
Tournaisien	bio > intrabio > intra > poly > oobio = oo
	1 > 12 > 2 > 123 > 23 = 3
Viséen 1.	bio > intrabio > intra > oo = oobio = poly
	1 > 12 > 2 > 3 = 23 = 123
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra > poly > oobio = oo
	1 > 12 > 2 > 123 > 23 = 3

Pour les grumites:

Etrœungt	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Tournaisien	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Viséen 1	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2

Pour les micrites:

Etrœungt	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Tournaisien	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Viséen 1	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2

Il existe une relation marquée entre le type pétrographique et l'abondance des foraminifères; une décroissance graduelle de leur fréquence s'observe suivant la relation: bio > intrabio > intra > poly > oobio > oo (1 > 12 > 2 > 123 > 23 = 23).

b) Influence du ciment.

L'influence du ciment est ici très marquée et, quels que soient les débris calcaires, on observe une décroissance du nombre des foraminifères en passant des sparites aux micrites.

c) En conclusion, la répartition des foraminifères calcaires libres dépend du type et de la famille pétrographiques.

Etrœungt	biosparite 1s	»	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	»	biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	»	biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s	»	intrabiogrumite 12g	»	intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s	»	intrabiogrumite 12g	»	intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s	»	intrabiogrumite 12g	»	intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s	»	intrabiogrumite 12g	»	intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s	»	intragrumite 2g	»	intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s	»	intragrumite 2g	»	intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s	»	intragrumite 2g	»	intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s	»	intragrumite 2g	»	intramicrite 2m

8) Bryozoaires.

a) Influence du type.

Pour les sparites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra > poly = oo = oobio
	1 > 12 = 2 > 123 = 3 = 23
Tournaisien	bio > intrabio > intra > poly = oo = oobio
	1 > 12 > 2 > 123 = 3 = 23
Viséen 1	bio > intrabio > intra > poly = oo = oobio
	1 > 12 > 2 > 123 = 3 = 23
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra > poly = oo = oobio
	1 > 12 > 2 > 123 = 3 = 23

Pour les grumites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra
	1 > 12 = 2
Tournaisien	bio > intrabio = intra
	1 > 12 = 2
Viséen 1	bio = intrabio > intra
	1 = 12 > 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2

Pour les micrites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Tournaisien	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Viséen 1	bio = intrabio = intra 1 = 12 = 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra 1 > 12 > 2

On observe une décroissance dans la distribution des bryozoaires avec la relation bio > intrabio > intra > poly = oobio = oo (1 > 12 > 2 > 123 = 23 = 3).

b) Influence de la famille.

Etrœungt	biosparite 1s < biogrumite 1g = biomierite 1m
Tournaisien	biosparite 1s < biogrumite 1g > biomierite 1m
Viséen 1	biosparite 1s < biogrumite 1g > biomierite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s = biogrumite 1g < biomierite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s = intrabiogrumite 12g = intrabiomierite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s = intrabiogrumite 12g = intrabiomierite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s < intrabiogrumite 12g = intrabiomierite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s < intrabiogrumite 12g > intrabiomierite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s < intragrumite 2g > intramierite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s < intragrumite 2g = intramierite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s < intragrumite 2g = intramierite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s < intragrumite 2g > intramierite 2m

Les grumites favorisent la multiplication des bryozoaires.

c) En conclusion, la famille comme le type pétrographique influencent la distribution des bryozoaires.

e) Brachiopodes.

a) Influence du type pétrographique.

Pour les sparites:

Etrœungt	poly > bio > oobio = intrabio = intra > oo 123 > 1 > 13 = 12 = 2 > 3
Tournaisien	poly > bio > oobio = intra = intrabio > oo 123 > 1 > 13 = 2 = 12 > 3
Viséen 1	poly > bio > oobio = intrabio = intra > oo 123 > 1 > 13 = 12 = 2 > 3
Viséen 2-3	poly > bio > oobio = intra = intrabio > oo 123 > 1 > 13 = 2 = 12 > 3

Pour les grumites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Tournaisien	bio = intrabio = intra 1 = 12 = 2
Viséen 1	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Viséen 2-3	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2

Pour les micrites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Tournaisien	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Viséen 1	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Viséen 2-3	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2

Le type de débris calcaires influence la répartition des brachiopodes et on observe une décroissance très nette suivant la relation poly > bio > oobio > intrabio = intra > oo (123 > 1 > 13 > 12 = 2 > 3).

b) Influence de la famille.

Etrœungt	biosparite 1s < biogrumite 1g < biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s < biogrumite 1g = biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s < biogrumite 1g = biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s < biogrumite 1g < biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s > intrabiogrumite 12g < intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s > intrabiogrumite 12g = intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s = intrabiogrumite 12g = intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s < intrabiogrumite 12g < intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s = intragrumite 2g < intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s = intragrumite 2g = intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s < intragrumite 2g < intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s = intragrumite 2g < intramicrite 2m

Les grumites et de rares micrites sont favorables au développement des brachiopodes.

c) En conclusion, la distribution des brachiopodes est contrôlée par le type des débris calcaires et à un degré moindre par la famille pétrographique.

ζ) Crinoïdes.

a) On peut penser que, puisque les crinoïdes constituent l'élément majeur du bios dinantien, le type pétrographique aura une grande influence sur leur répartition.

Pour les sparites:

Etrœungt	bio > oobio ≥ intrabio = intra = poly = oo
	1 > 13 ≥ 12 = 2 = 123 = 3
Tournaisien	bio > oobio > intrabio > intra = poly = oo
	1 > 13 > 12 > 2 = 123 = 3
Viséen 1	bio > intrabio = oobio = poly = oo = intra
	1 > 12 = 13 ... 123 = 3 = 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > oobio = intra = poly > oo
	1 > 12 > 13 = 2 = 123 > 3

Pour les grumites:

Etrœungt	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Tournaisien	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Viséen 1	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2

Pour les micrites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra
	1 > 12 = 2
Tournaisien	bio > intrabio = intra
	1 > 12 = 2
Viséen 1	bio = intrabio > intra
	1 = 12 > 2
Viséen 2-3	bio > intrabio > intra
	1 > 12 > 2

On remarque, en effet, une décroissance numérique suivant la relation bio > oobio = intrabio > intra = poly ≥ oo (1 > 13 = 12 > 2 = 123 ≥ 3).

b) Influence du ciment.

Etrœungt	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s	>	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s	<	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	>	intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s	<	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s	<	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s	≧	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s	≦	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s	≦	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s	≦	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m

L'influence du ciment n'est pas fort claire, mais les grumites sont toujours favorables au développement des crinoïdes.

c) En conclusion, la distribution des crinoïdes est étroitement liée au type pétrographique, puisqu'ils représentent la plus grande proportion de celui-ci.

7) Ostracodes entiers.

a) Influence du type pétrographique de débris calcaires.

Pour les sparites:

Etrœungt	intrabio	=	intra	>	bio	=	poly	=	oobio	=	oo
	12	=	2	>	1	=	123	=	13	=	3
Tournaisien	intrabio	=	intra	>	bio	=	poly	=	oobio	=	oo
	12	=	2	>	1	=	123	=	13	=	3
Viséen 1	bio	=	intrabio	>	intra	=	poly	=	oobio	=	oo
	1	=	12	>	2	=	123	=	13	=	3
Viséen 2-3	bio	>	intrabio	=	intra	>	poly	=	oobio	=	oo
	1	>	12	=	2	>	123	=	13	=	3

Pour les grumites:

Etrœungt	intra	>	bio	>	intrabio
	2	>	1	>	12
Tournaisien	bio	>	intrabio	=	intra
	1	>	12	=	2
Viséen 1	bio	>	intrabio	<	intra
	1	>	12	<	2
Viséen 2-3	intrabio	>	bio	=	intra
	12	>	1	=	2

Pour les micrites :

Etrœungt	intra	=	intrabio	>	bio
	2	=	12	>	1
Tournaisien	intra	=	intrabio	>	bio
	2	=	12	>	1
Viséen 1	intrabio	>	bio	>	intra
	12	>	1	>	2
Viséen 2-3	bio	=	intrabio	>	intra
	1	=	12	>	2

Il n'y a pas de relation entre le type de débris et la répartition des ostracodes.

b) Influence du ciment.

Etrœungt	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s	=	biogrumite 1g	>	biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	>	intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	>	intramicrite 2m

Cette variable est négligeable.

c) En conclusion, la distribution des ostracodes complets est indépendante de la famille et du type pétrographiques.

d) Ostracodes (en débris).

a) Influence du type pétrographique.

Pour les sparites :

Etrœungt	bio	=	intrabio	>	intra	=	poly	=	oo	=	oobio
	1	=	12	>	2	=	123	=	3	=	13
Tournaisien	bio	=	intrabio	>	intra	=	poly	=	oo	=	oobio
	1	=	12	>	2	=	123	=	3	=	13
Viséen 1	bio	=	intrabio	=	intra	>	poly	=	oo	=	oobio
	1	=	12	=	2	>	123	=	3	=	13
Viséen 2-3	intrabio	>	bio	=	intra	>	poly	=	oo	=	oobio
	12	>	1	=	2	>	123	=	3	=	13

Pour les grumites:

Etrœungt	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Tournaisien	bio > intrabio < intra 1 > 12 < 2
Viséen 1	bio = intrabio > intra 1 = 12 > 2
Viséen 2-3	bio = intrabio > intra 1 = 12 > 2

Pour les micrites:

Etrœungt	bio < intrabio = intra 1 < 12 = 2
Tournaisien	bio > intrabio = intra 1 > 12 = 2
Viséen 1	bio = intrabio > intra 1 = 12 > 2
Viséen 2-3	bio = intrabio > intra 1 = 12 > 2

Il n'y a pas de relation entre le type et la distribution des ostracodes en débris.

b) Influence du ciment.

Etrœungt	biosparite 1s	≠	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Tournaisien	biosparite 1s	≠	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 1	biosparite 1s	≠	biogrumite 1g	=	biomicrite 1m
Viséen 2-3	biosparite 1s	<	biogrumite 1g	≠	biomicrite 1m
Etrœungt	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	≠	intrabiomicrite 12m
Tournaisien	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 1	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	=	intrabiomicrite 12m
Viséen 2-3	intrabiosparite 12s	=	intrabiogrumite 12g	≠	intrabiomicrite 12m
Etrœungt	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Tournaisien	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m
Viséen 1	intrasparite 2s	≠	intragrumite 2g	≠	intramicrite 2m
Viséen 2-3	intrasparite 2s	=	intragrumite 2g	=	intramicrite 2m

Indépendamment du type, une légère augmentation du nombre d'ostracodes à valves brisées s'observe des sparites vers les micrites.

c) En conclusion, la distribution des ostracodes en débris est indépendante de la famille et du type avec cependant une tendance à leur augmentation dans les micrites.

5° CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Ainsi l'on retrouve dans ces tableaux les trois types principaux de relation écologie-faciès décrits précédemment :

- les répartitions indépendantes de la famille et de la classe (les ostracodes et les calcisphères);
- les répartitions dépendant fortement du type de ciment et croissant numériquement depuis les micrites vers les sparites (les foraminifères);
- les répartitions où le type pétrographique prend le pas sur le ciment comme les crinoïdes.

Sur le terrain, il est impossible d'estimer l'importance des variables de famille et de type et l'on doit se contenter d'une classification plus simpliste exprimée par diagramme triangulaire; ces diagrammes ne constituent donc qu'une première approximation, susceptible de développement, si l'on veut définir exactement le rôle des variables qui influencent la distribution, la multiplication et la concentration des formes biologiques.

CHAPITRE V.

LES ASPECTS CHIMIQUES DE LA
SÉDIMENTATION DES CALCAIRES DINANTIENS.

Notre propos n'est pas de faire connaître des méthodes d'analyses chimiques nouvelles ou raffinées, mais tout au contraire de présenter quelques modes opératoires très simples qui permettent d'estimer les teneurs en éléments cruciaux des calcaires.

Notre mérite se borne à attirer l'attention sur ces problèmes et nous espérons que dans peu d'années, nos recherches encore bien primitives, ouvriront la voie à un aspect tellement négligé de la sédimentation.

En effet, jusqu'à présent, l'estimation, même grossière, des teneurs en oligoéléments, en matière organique ou en argile, est restée complètement négligée. Nous espérons que, devant les résultats prometteurs auxquels nous sommes arrivé, d'autres chercheurs se pencheront sur le monde encore inconnu de la géochimie des calcaires.

A. — LES ANALYSES CHIMIQUES QUANTITATIVES.

L'obtention d'un subside du Fonds National de la Recherche Scientifique nous permet de présenter une quarantaine d'analyses chimiques quantitatives de divers faciès des séquotopes de « marbre noir ». Les analyses ont été effectuées en partie par M. MANICAERT et en partie par nous-même, au Laboratoire de Sédimentologie de l'Université de Bruxelles.

Les échantillons sont classés par ordre stratigraphique et suivant la séquence virtuelle locale : il s'agit principalement de termes calcaires francs.

Les données rassemblées ici, sous forme de tableau, seront discutées aux trois paragraphes qui suivent, consacrés respectivement :

- aux insolubles argileux,
- à la matière organique,
- aux calcaires dolomitisés.

	CO ² Ca	CO ² Mg	SiO ²	Al ² O ³	FeO- Fe ² O ³	K ² O	Na ² O	C
« Marbre noir » de Golzinne (Carrière Artoisenet à Rhines).								
1. Faciès 3. Séquence 2	92,7	1,75	3,20	0,89	0,80	0,28	0,10	0,31
2. « Marbre noir ». Séquence 2	92,2	1,00	2,30	0,46	0,30	0,23	0,20	0,20
3. « Marbre noir ». Séquence 2	94,3	1,00	2,82	0,77	0,40	0,18	0,19	0,25
4. « Marbre noir ». Séquence 4	94,4	1,00	3,10	0,53	0,50	0,18	0,12	0,23
« Marbre noir » de Dinant (Carrières de Salet).								
5. Faciès 2. Séquence 7	93,8	1,00	3,61	0,87	0,40	0,24	0,13	0,85
6. Faciès 2. Séquence 5	96,0	2,20	1,14	0,29	0,10	0,07	0,15	0,09
7. Faciès 2. Séquence 9	91,6	7,20	0,54	0,10	0,15	0,05	0,11	0,13
8. Faciès 2,5. Séquence 5	95,6	3,20	0,31	0,16	0,20	0,08	0,15	0,24
9. Faciès 2,5. Séquence 5	95,2	3,20	0,38	0,47	0,10	0,08	0,15	0,34
10. Faciès 2,5. Séquence 9	93,1	5,70	0,72	0,06	0,20	0,05	0,13	0,07
11. Faciès 2,5. Séquence 7	93,1	3,70	2,30	0,20	0,05	0,15	0,08	0,30
12. Faciès 2,5. Séquence 9	93,6	5,20	0,75	0,10	0,05	0,05	0,12	0,10
13. Faciès 3. Séquence 9	92,7	5,20	1,47	0,20	0,10	0,12	0,14	0,17
14. Faciès 3. Séquence 3	97,6	1,40	0,60	0,06	0,15	0,05	0,16	0,09
15. Faciès 3. Séquence 9	94,9	2,20	1,30	0,17	0,15	0,08	0,07	0,15
16. Faciès 3,5. Séquence 6	94,5	1,90	2,66	0,25	0,25	0,14	0,09	0,20
17. Faciès 3,5. Séquence 10	98,1	0,30	0,82	0,19	0,15	0,13	0,19	0,19
18. Faciès 3,5. Séquence 6	96,0	0,20	2,59	0,29	0,30	0,22	0,19	0,25
19. Faciès 3,5. Séquence 8	95,4	0,70	2,90	0,24	0,30	0,14	0,14	0,24
20. Faciès 4. Séquence 5	93,4	2,00	3,60	0,32	0,15	0,20	0,15	0,21
21. Faciès 4. Séquence 7	97,2	0,90	1,39	0,19	0,05	0,05	0,08	0,26
22. Faciès 4. Séquence 9	97,3	1,20	0,54	0,12	0,05	0,11	0,18	0,19
Faciès divers du VIA.								
24. « Oolithe de Godin »	99,1	0,30	0,10	0,07	0,10	0,04	0,14	0,12
25. « Oolithe de Godin »	98,9	0,50	0,10	0,03	0,10	0,02	0,14	0,12
26. Biostrome de Ciney	99,2	0,50	0,03	0,10	0,00	0,03	0,08	0,08
27. Biostrome de Godin	98,7	1,10	0,00	0,03	0,00	0,02	0,08	0,12
28. Dolomie de Bachant	58,1	31,50	0,72	0,23	0,27	0,04	0,07	0,05
29. Dolomie de Bachant	58,7	39,90	0,20	0,23	0,15	0,01	0,07	0,03
30. Dolomie de Bachant	60,3	38,50	0,51	0,41	0,03	0,02	0,02	0,06
31. Bioherme de Sosoye	84,1	15,50	0,10	0,18	0,05	0,02	0,12	0,11
32. Dolomie de Sovet	63,1	36,50	0,10	0,23	0,05	0,02	0,08	0,05
33. Calcaire de Sovet	96,8	3,00	0,10	0,01	0,05	0,04	0,09	0,03

	CO ² Ca	CO ² Mg	SiO ²	Al ² O ³	FeO- Fe ² O ³	K ² O	Na ² O	C
« Marbre noir » de Basècles (Carrière Bernard à Basècles).								
34. Faciès 1. Séquence 2	73,7	—	13,20	2,75	0,95	0,92	0,19	2,33
35. Faciès 1. Séquence 3	81,2	3,90	8,90	2,47	0,80	0,56	0,20	2,21
36. « Marbre noir ». Séquence 2	91,3	4,00	3,10	0,40	0,25	0,10	0,23	0,69
37. « Marbre noir ». Séquence 3	88,9	4,31	4,90	0,55	0,30	0,25	0,16	0,74
38. « Marbre noir ». Séquence 3	91,7	1,20	5,00	0,60	0,50	0,30	0,13	0,71
39. « Marbre noir ». Séquence 3	89,9	1,10	6,30	0,80	0,30	0,32	0,11	1,18
40. « Marbre noir ». Séquence 3	93,9	2,30	2,40	0,40	0,30	0,21	0,09	0,63
41. Faciès 5. Séquence 6	90,5	7,30	0,28	0,20	0,20	0,32	0,11	1,40
« Bleu belge » (Carrière des « Noires Terres » à Bioul).								
42. Faciès 1. Bioul	86,2	4,20	1,23	2,29	1,20	1,20	0,15	3,57
43. Faciès 3. Bioul	96,6	1,00	1,26	0,21	0,30	0,07	0,14	0,66
44. Faciès 3. Bioul	96,0	1,00	1,00	0,20	0,30	0,22	0,50	0,73
45. « Bleu belge ». Bioul	95,6	1,00	1,43	0,28	0,30	0,05	0,50	0,86
46. « Bleu belge ». Bioul	95,4	1,00	1,82	0,20	0,03	0,14	0,43	0,65
47. « Bleu belge » Bioul	96,6	1,00	0,76	0,20	0,30	0,14	0,43	0,65

B. — LE PROBLÈME DES INSOLUBLES.

1° ÉTUDE MÉGASCOPIQUE.

On désigne par « insolubles » les résidus d'attaque des calcaires par un acide dilué. Pour les « marbres noirs », ils comprennent les argiles, le quartz, la pyrite, le carbone organique et les minéraux lourds.

a) Examen mégascopique au binoculaire.

H. IRELAND (1950) a proposé une méthode de description macroscopique au binoculaire des résidus d'attaque; ceux-ci, bien que peu spectaculaires, sont parfois caractéristiques d'un faciès.

Tel n'est pas le cas pour le Dinantien, dont les insolubles sont très monotones. Bien que nous ne soyons pas parvenu à reconnaître les lithofaciès d'après leurs insolubles, il est sage de procéder systématiquement à un examen mégascopique du produit des attaques, même si elles ont été faites dans un tout autre but; c'est ainsi qu'une augmentation assez nette des quartz diagénétiques bipyramidés liée à celle en carbonate de magnésium est nettement visible au binoculaire pour les « marbres noirs » de Dinant.

b) Méthode de séparation.

Il est possible d'isoler par flottation les principaux constituants des insolubles. M. G. PAXOU nous a aidé à mettre au point une cellule de flottation qui a donné d'excellents résultats; la manière d'opérer est la suivante.

Un kilo de calcaire est lavé au kérozène, puis à l'éther et broyé grossièrement. Une attaque à froid à l'HCl 1 N est ménagée pendant deux jours. Le résidu est lavé abondamment, séché à 60°, puis broyé au broyeur à disques jusqu'à 40 microns; les particules arrachées aux disques sont séparées à l'aimant.

On prépare alors trois cellules : la première pour charbon pur, avec un moussant synthétique (150 grammes/tonne) ou quelques gouttes d'huile de pin; la deuxième, au xanthate d'éthyle et même moussant à 100 grammes/tonne isolera la pyrite; enfin, une cellule pour quartz à collecteur anionique (xanthate à 150 grammes/tonne) et sulfate de cuivre (800 grammes/tonne) sépare les quartz purs et les argiles. Si l'on veut procéder à une analyse des oligoéléments, on peut remplacer le sulfate de cuivre par un chlorure d'amine, qui séparera les argiles pures d'un mélange de quartz et d'argiles.

La séparation par flottation est purement qualitative. Pour les analyses quantitatives, seules des méthodes destructrices sont susceptibles d'apporter des chiffres absolus.

c) Méthode du dosage semi-quantitatif des insolubles totaux.

Lorsque la teneur en détritiques des calcaires est faible, il est souvent suffisant d'en connaître les pourcentages totaux.

La roche broyée à 60 mesh est attaquée par l'acide chlorhydrique 1 N. Le résidu est filtré sur un filtre lent taré. On laisse sécher à 60°, puis on rehydrate le papier-filtre à l'atmosphère ambiante pendant un jour. La différence donne la teneur en insolubles totaux.

Le poids de l'échantillon attaqué dépend de la lithologie. Il est calculé de manière à fournir une erreur relative de 5 % par rapport aux variations d'hydratation du filtre. Pour estimer celles-ci, on pèse 20 papiers-filtres lents sans cendre; on les lave abondamment à l'acide chlorhydrique dilué, on les sèche à 60°, puis on les laisse se réhydrater. Le maximum d'erreur sur les pesées étant de 0,004 gramme, par gramme de papier-filtre, il suffit que la quantité d'insolubles soit environ 100 milligrammes, pour obtenir une précision suffisante.

Il serait préférable d'employer un creuset en verre fritté, mais la filtration prendrait des heures et la méthode n'exige pas une telle précision. Si la teneur en insolubles est élevée, il est indispensable de séparer par élutriation, les parties résiduelles supérieures et inférieures à 10 microns.

2° ÉTUDE QUALITATIVE DES ARGILES.

Il est pratiquement impossible d'étudier directement les argiles d'une roche carbonatée, si faiblement qu'elle le soit; aussi est-il nécessaire de travailler sur les insolubles.

M. OSTROM (1961) a montré que la montmorillonite était fortement affectée par les acides. Les chlorites et les illites sont elles aussi assez sensibles et seul le kaolin reste très stable.

Si l'on voulait conserver intégralement les mailles des silicates, il serait donc nécessaire de se cantonner dans des attaques à froid par l'acide acétique 0,5 N.

Toutefois, une attaque ménagée, à froid, par l'acide chlorhydrique 1 N, d'un échantillon finement broyé, nous a paru largement satisfaisante. Cette façon de voir est confirmée par l'étude de D. SPEIGHTS et G. BRUNTON (1961).

Après attaque, la matière organique est détruite par digestion dans l'eau oxygénée à pH neutre, puis la fraction détritique grossière est éliminée par élutriation. L'échantillon est alors séché à 60° et prêt à l'analyse.

a) Roentgenographie par la méthode des poudres.

L'échantillon est homogénéisé en masse sur plaque d'aluminium. Dans la pratique courante, on pourrait se contenter de la méthode de dispersion de Grim-Bradley, mais la présence possible d'un mélange intime de nombreux silicates, a conduit à l'étude de toutes les raies, sans orientation privilégiée des feuillets. Nous avons employé le spectromètre Phillips du Laboratoire de Chimie Industrielle (raie du cuivre).

Identification des argiles.

1. Minéraux à distance réticulaire de 7 Angström.

Les pics de 12,6-12,4° correspondent à une distance réticulaire de 7,15 Å du groupe du kaolin (001) et des septachlorites (002).

Si la réflexion 060 correspond à 1,48 Å, elle confirme la présence du groupe du kaolin et permet d'éliminer les septachlorites. (Celles-ci sont difficilement identifiables dans les mélanges d'argile, car leur raie 001 coïncide avec la même raie de la montmorillonite et leurs raies 002 et 004 avec celles correspondantes du groupe du kaolin.)

Pour le groupe du kaolin, deux minéraux sont probables :

- la dickite, avec une bande asymétrique 02 et un pic aigu à 4,45 Å (R. GRIM, 1953);
- la kaolinite, qui ne montre pas de bande dans cette région, mais a des réflexions entre 4,17 et 4,12 Å.

Les « kaolins » rencontrés au Dinantien ont tous une structure très désordonnée. Ils constituent la minorité en poids des résidus argileux du Dinantien.

2. Minéraux à distance réticulaire de 10-11 Angström.

Le pic de 10 Å est assez étalé, ce qui correspond à un « mixed-layer »; confirmation de cette hypothèse est obtenue par un traitement au glycol, qui déplace légèrement les pics.

La réflexion 060 correspond à 1,508-1,506 Å et représente des feuillets dioctahédraux; ceci permet d'éliminer les hydrobiotites.

A moins de procéder à une analyse chimique, il est impossible de préciser s'il s'agit d'illite ou de muscovite; il existe d'ailleurs dans la nature tous les intermédiaires entre ces deux types de feuillets. Comme le remarquent A. VATAN et P. ROUGE (1956), les micas donnent des points de réflexion et les illites des pics étalés : c'est en général ces courbes en cloche que l'on retrouve dans nos diagrammes d'insolubles. Elles trahissent un désordre réticulaire qui serait partiellement dû au mode d'attaque acide des échantillons.

3. Minéraux à structure réticulaire de 12-15 Angström.

Ces réflexions sont fort variables. Par traitement à l'éthylène-glycol, on observe :

- 1° un déplacement caractérisé des distances réticulaires vers 17 Å pour le groupe de la montmorillonite;
- 2° une accentuation des pics et pas de déplacement latéral pour les chlorites.

Les montmorillonites du Dinantien sont des smectites dioctahédrales, ferriques et magnésiennes, à 060 compris entre 1,50 et 1,52 Å. Leur abondance est mesurée par l'aire du pic correspondant à 17 Å après traitement à l'éthylène-glycol, avec confirmation de la réflexion, 1,668 Å à 54,50° lorsque les chlorites peuvent interférer.

Les chlorites ne deviennent identifiables qu'au sommet du Viséen. Elles sont bien cristallisées, mais il est difficile d'affirmer si elles sont ferriques ou magnésiennes. En chauffant à 1.000°, au four électrique, on trouve bien un mélange d'hématite-mullite-cristobalite, mais le fer peut provenir des hydromicas et la cristobalite du groupe des kaolins.

b) Répartition des argiles en fonction de la stratigraphie.

Nous avons rangé les différents échantillons étudiés, d'après l'ordre stratigraphique. Leur provenance est la suivante :

Etrœungt	1- 2	Sondage de Tournai (Asile d'Aliénés).
	3- 4	Etrœungt (Carrière du Parcq).
Tournaisien	5	Landelies.
	6	Yvoir.
	7	Tournai.
	8- 9	Dinant-Leffe.
Viséen inférieur et moyen	10-13	Salet.
	14-20	Denée.
	21	Godin.
	22	Bachant.
	23	Biesmes.
	24-25	Basècles.
Viséen supérieur	26	Queue-Noire-Jean.
	27-29	Bioul.

La figure 46 est établie en portant pour chaque échantillon les pourcentages des aires des pics repères. C'est là une méthode empirique, ne donnant qu'une approximation du pourcentage pondéral des silicates en présence; en effet, l'état de cristallinité et d'hydratation font varier fortement les réflexions; toutefois, toutes conditions étant égales d'ailleurs, ce diagramme reste suffisamment clair. Il prouve l'existence d'un cycle parmi les constituants argileux du Dinantien.

Indépendamment du faciès et suivant la répartition stratigraphique, les argiles présentent au Strunien-Tournaisien, un assemblage du type 7-10-14 Å, puis par élimination du kaolin, une « zone » à 10-14 Å qui coïncide avec le Viséen inférieur et moyen. Le Viséen supérieur est caractérisé par un nouvel assemblage 7-10-14 Å.

Il ne fait aucun doute que le milieu sédimentaire puisse influencer la composition minéralogique des argiles et qu'une partie d'entre elles soit due à la diagenèse (R. GRIM, 1953; W. KELLER, 1953; M. PETENAN, 1960). Mais comme G. MILLOT (1949) et C. WEAVER (1960) l'ont montré, une grande partie des argiles est purement détritique et forme des « zones » minéralogiques. C'est là une théorie particulièrement séduisante, surtout si on la couple avec les types de joints positifs actifs où les détritiques sont bien indépendants du faciès.

Le Strunien et le Tournaisien sont caractérisés par des argiles de milieu mixte à influence continentale. Plus tard, l'élimination du kaolin coïncide avec le basculement du socle au Viséen inférieur; les argiles à pH bas ne se répandent plus dans les lithotopes. Enfin, après le léger diastrophisme du V3a, l'influence du socle se fait sentir à nouveau sur la sédimentation et le V3c conduit même à la coupure de la plate-forme continentale du miogéosynclinal téthysien avec prédominance des détritiques continentaux.

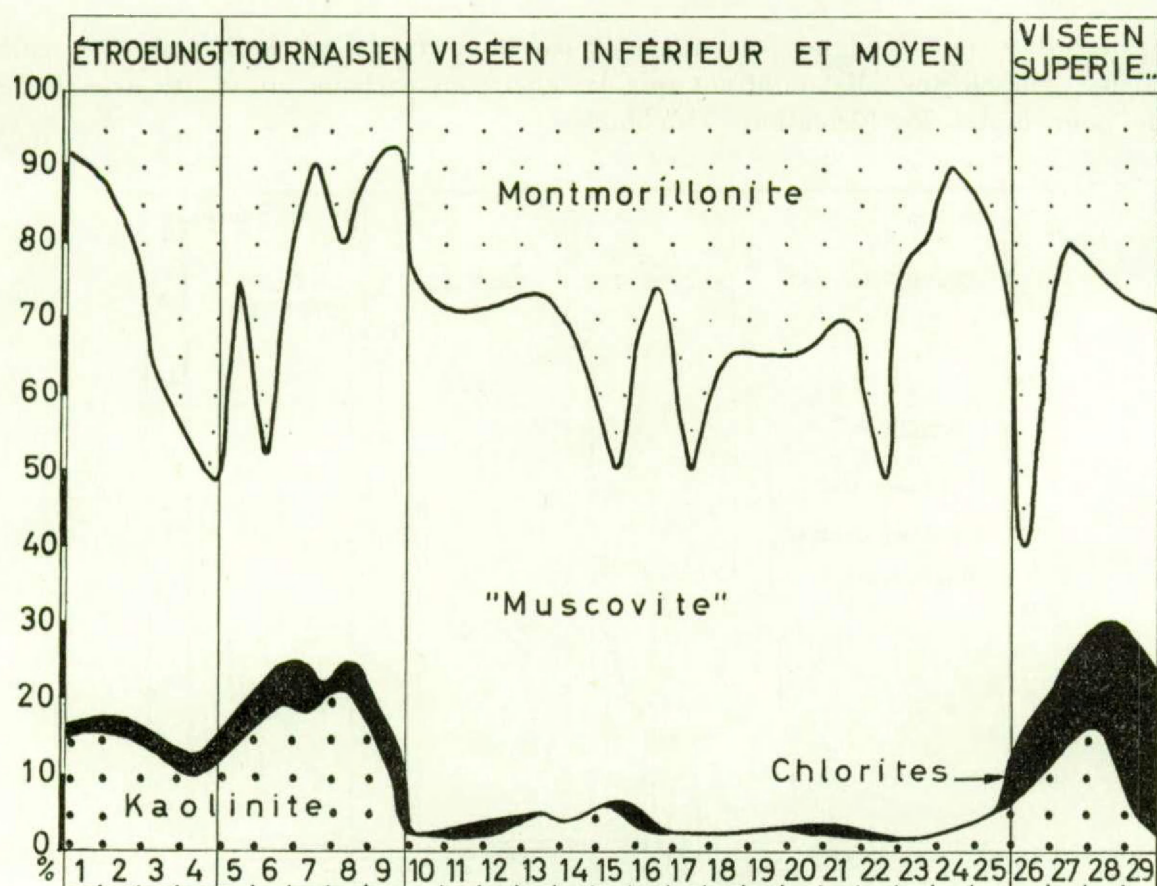


FIG. 46. — Répartition des argiles en fonction de la stratigraphie.

3° ÉTUDE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.

Un constituant important des insolubles est constitué par la matière organique. Celle-ci est classiquement tenue pour responsable de la couleur des « marbres noirs » (F. KAISIN, 1910) et de leur assimilation aux « sapropélites »; l'examen des analyses de carbone organique nous dira ce qu'il convient de penser de cette hypothèse.

a) Dosage du carbone organique.

Mode opératoire :

Nous avons préféré la voie sèche par courant d'oxygène plutôt que l'oxydation par l'acide chromique préconisée par P. TRASK et H. PATNODE (1942). L'analyse est en effet plus rapide et les erreurs instrumentales sont réduites au minimum.

L'échantillon est chauffé dans une nacelle en nickel à 850° et le CO² dégagé est recueilli sur de la chaux sodée. Un tube barboteur à sulfate d'argent élimine le chlore et un second tube barboteur élimine le SO² formé par grillage de la pyrite.

L'appareil a été testé par combustion de graphite spectrographiquement pur. La reproductibilité de la méthode est bonne lorsque la teneur en carbone ne tombe pas en dessous de 1/10.000^e de la masse chauffée dans la nacelle. Pour respecter cette condition, on prend un échantillon de 1 gramme pour les faibles teneurs et de 0,2 gramme pour les calcaires argileux et les calcschisteux.

Résultats :

Les résultats sont consignés à la figure 47 par rapport à la lithologie (calcaires, calcaires calcschisteux, calcschistes). Ils montrent que la teneur en carbone augmente avec la teneur en argile pour toutes les formations rencontrées.

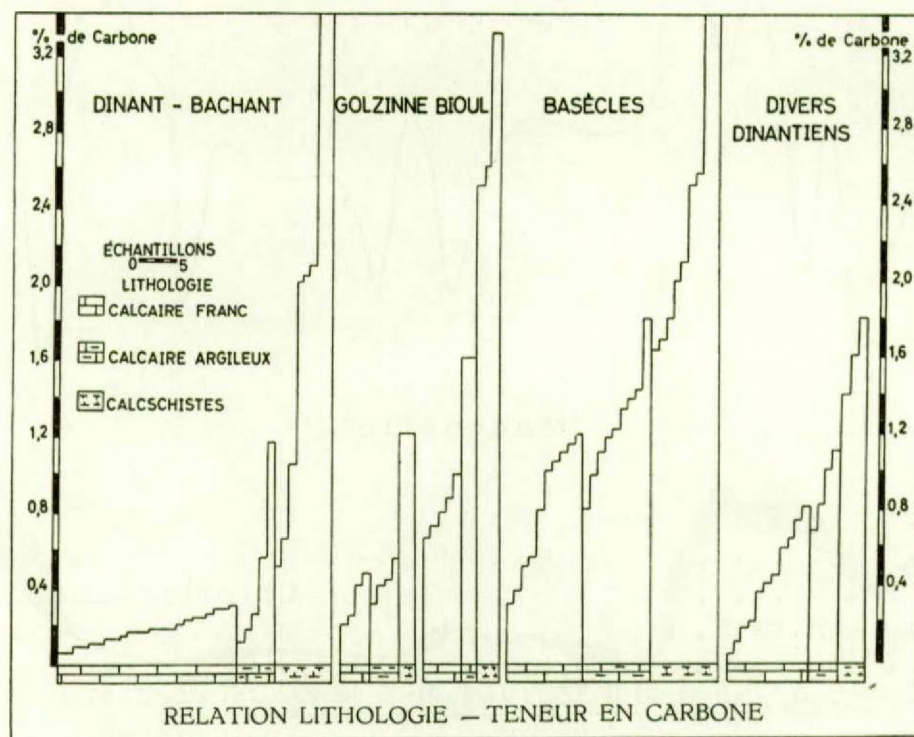


FIG. 47. — Relation entre la lithologie et la teneur en carbone organique.

La moyenne de la teneur en carbone organique pour le « marbre noir » de Dinant est de 0,15-0,20 %, pour le calcaire de Bachant de 0,2 %, pour le « marbre » de Golzinne de 0,35 %, pour le « bleu belge » de Bioul de 0,8 % et pour le « marbre noir » de Basècles de 0,8 %.

Les calcaires calcschisteux et les calcschistes présentent des valeurs qui fluctuent entre 1 et 5 %. En moyenne, on trouve 1,5 % à Dinant et pour le calcaire de Golzinne, 2,5 % pour le « bleu belge » de Bioul et 2,8 % à Basècles.

Ces résultats font apparaître qu'il existe un rapport certain entre la teneur en détritique argileux et celle en matière organique.

Cette relation est linéaire pour les séries à joints positifs passifs, mais elle ne l'est plus lorsque les joints sont des phases positives actives.

Théoriquement, il peut exister deux séries minérales indépendantes; celle des argiles et celle des carbonates. Si le « bruit de fond » d'argile est constant et si le lithotope est réducteur, auquel cas le carbone planctonique n'est pas oxydé, on trouve une relation linéaire argile-carbone. Par contre, pour les joints positifs actifs, il n'y a pas de relation avec le « background » de carbone.

Il est difficile de comparer ces résultats à ceux obtenus par P. TRASK aux États-Unis (1942), car cet auteur n'a pas tenu compte des faciès et présente des courbes d'isocarbone

sur base géographique actuelle, sans considérer les lithotopes anciens. En Russie, par contre, A. ROXOV (1958) a publié des analyses de carbone organique en relation avec les lithofaciès et l'âge stratigraphique. Ainsi, il a pris en considération les joints argileux, les arénites et les carbonates, qui lui ont respectivement donné des teneurs de 1,32 %, 0,58 % et 0,13 % de carbone pour le Dinantien pétrolier russe.

L'influence des bassins pétroliers sur le « bruit de fond » moyen de carbone est frappant pour le Paléozoïque russe, où A. ROXOV trouve les teneurs moyennes suivantes :

	Argiles	Arénites	Carbonates
Plates-formes marines à bassins pétroliers	1,67	0,58	0,32
Plates-formes marines sans bassins pétroliers	0,32	0,21	0,17

Ces teneurs ne sont valables que pour une période déterminée; ainsi il existe trois fluctuations très remarquables de la teneur en carbone qui coïncident avec l'Ordovicien, le Carbonifère inférieur et le Crétacé. A ces trois augmentations de teneurs en carbone organique correspondent sur les plates-formes, la formation des caustobiolithes ⁽⁷⁾; ces périodes coïncident avec un certain calme tectonique, et avec des climats chauds et humides.

Le calcul montre qu'il y a, bloqué dans les sédiments, des quantités de carbone plusieurs milliers de fois supérieures au carbone des hydrocarbures liquides en nappe (K. EMERY, 1960). De plus, il y a trois fois plus de carbone dans les séries pétrolifères, que dans celles qui ne le sont pas : il semble donc y avoir « clarke » minimum ⁽⁸⁾, en dessous duquel les complexes sédimentaires ne peuvent plus donner lieu à accumulation d'huile (J. ERDMANN, 1961). Ce pourcentage critique doit être recherché entre 0,3 et 1,5 %, suivant le faciès et la période. L'importance de la paléogéographie est également à considérer, car il y a augmentation nette des teneurs en carbone organique pour les régions littorales, maximum qui correspond au développement et la conservation optimum de la vie planctonique.

Le Dinantien belge dans son ensemble se compare favorablement aux sédiments du miogéosynclinal russe qui ont donné naissance aux champs du Volga-Oural. Toutefois, les teneurs en carbone des « marbres noirs » ne se sont pas particulièrement élevées par rapport aux autres faciès carbonatés. Le « marbre noir » de Dinant, qui est décrit comme « sapropélien » par tous les auteurs, ne possède guère plus de carbone qu'un calcaire pénergifal. Le « marbre noir » de Golzinne se compare aux calcaires de Landelies et d'Yvoir ou au « bleu belge » de Bioul. Seul le « marbre noir » de Basècles a une teneur moyenne assez élevée. Remarquons d'ailleurs que c'est dans la région d'affleurement de ce « marbre » ou dans celles où il s'est étendu anciennement que l'on rencontre fréquemment des anthraxolithes colmatant les diaclases.

La teinte sombre d'un sédiment n'est pas directement liée à la teneur en carbone organique. C'est ainsi qu'il y a deux fois moins de carbone dans les « récifs gris » que dans les « marbres noirs » synchrones; il y a par contre dix fois plus de matière organique dans les calcschistes gris que dans les micrites noires où ils sont interstratifiés.

A teneur en carbone égale, et pour un même état de réduction, la dimension des cristaux de calcite est responsable de la « teinte » des calcaires du Viséen inférieur. Les « marbres noirs » ont des cristaux de micrite absorbant fortement la lumière : les sparites,

(7) Caustobiolithe : type de sédiment formé par l'accumulation directe de matière végétale. Nom proposé par H. POTONIE en 1910 (voir A. GRABAU, Principes de Stratigraphie, 1924).

(8) Clarke : pourcentage moyen d'un élément dans un faciès donné pour la surface terrestre.

par contre, ont des cristaux moins purs, mais qui atteignent plusieurs centaines de microns; la lumière incidente n'est guère absorbée et la teinte semble grise. Enfin, pour les sparites à très grands cristaux, la roche semble blanche.

b) Dosage de l'azote.

P. TRASK (1942) a montré que pour les séries réductrices, il existait une relation entre les teneurs en azote et celles en carbone. Pour vérifier cette loi, nous avons suivi, malgré sa lenteur, la méthode classique de Kjeldalh; elle est la seule qui permette d'atteindre la précision voulue pour des quantités d'azote présumées très faibles.

Mode opératoire.

Un gramme d'échantillon pour les calcschistes et 10 grammes pour les calcaires sont finement broyés, puis séchés à 100° jusqu'à poids constant. On chauffe dans un Erlenmeyer avec 20 cc de SO^4H^2 concentré, 5 grammes de SO^4Na et 0,7 gramme de mercure, jusqu'à décoloration complète; celle-ci a lieu normalement après une heure, mais certains échantillons ont nécessité plusieurs dizaines d'heures d'attaque. La décoloration obtenue, verser avec précaution 0,5 gramme de MnO^4K , qu'on laisse digérer pendant 10 minutes. Refroidir, puis ajouter de l'eau distillée, jusqu'à obtenir 200 cc de solution dans un matras jaugé. Ajouter 1 gramme de tournures de zinc, et 80 cc de Na OH concentré. Distiller immédiatement et recueillir le distillat dans un Erlenmeyer contenant une solution de H Cl N/14 .

Après distillation, l'acide est titré en retour avec du Na OH N/14 ; ce qui donne directement la teneur en azote pour les calcschistes et un nombre à diviser par dix pour les calcaires.

Résultats et discussions.

Nous avons établi les rapports azote-carbone pour trente échantillons de « marbre noir » de Dinant. La relation n'y est pas exactement linéaire, mais il y a coïncidence entre l'augmentation des deux teneurs.

Comme il existe une relation entre la teneur en azote et la formation d'hydrocarbures, il serait intéressant de calculer pour un lithotope donné le coefficient de pente du rapport carbone-azote : ce rapport, couplé au dosage rapide du carbone organique, donnera une « échelle de productivité probable » des roches-mères du lithotope.

En ce qui nous concerne, nous trouvons une gradation de probabilité de roche-mère croissante avec les relations :

calcaire < calcaire calcschisteux < calcschiste

et de plus :

« marbre noir » de Dinant < « marbre noir » de Golzinne < « marbre noir » de Basècles.

c) Nombre de Trask.

Par définition, le nombre de Trask est le nombre de centimètres cubes d'acide chromique normal, réduit par un gramme de roche. Si on élimine les sulfures, la matière réductrice principale des roches carbonatées est la matière organique et le nombre de Trask est proportionnel à la teneur en carbone pour des roches ayant subi un métamorphisme identique et une évolution semblable de la matière organique.

Mode opératoire.

La roche finement broyée est mise en digestion dans le chloroforme pendant 24 heures, puis séchée à poids constant. On prélève 0,5 gramme pour les roches à faible teneur en carbone et 0,1 gramme pour les roches argileuses.

L'échantillon est placé dans un Erlenmeyer de 250 cc avec 10 cc d'acide chromique 0,4 N. On chauffe sur bain de sable avec un autre Erlenmeyer témoin contenant exactement 10 cc d'acide chromique, jusqu'à 145°. Refroidir. Transférer dans un Bêcher avec 200 cc d'eau distillée, 1,5 cc de diphénylamine et 2,5 cc d'acide phosphorique. Une couleur pourpre apparaît. Titrer avec du sulfate ferreux d'ammonium 0,2 N jusqu'au virage au vert. Le nombre de cc réduit multiplié par le rapport du poids de la prise donne le nombre de Trask.

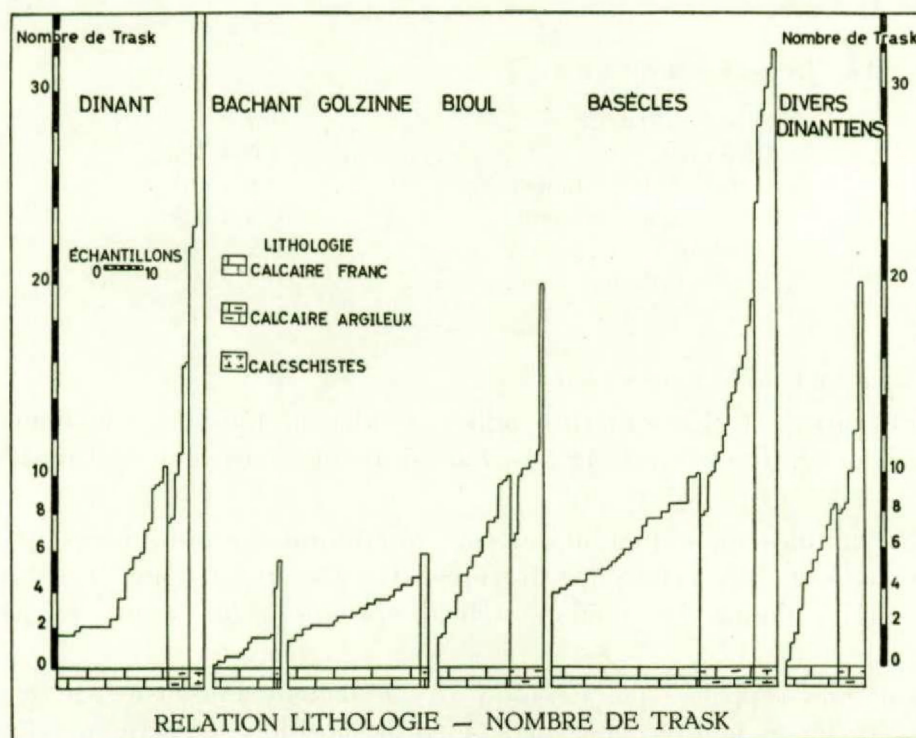


FIG. 48. — Relation entre la lithologie et le nombre de Trask.

Les détails opératoires ont été longuement exposés par P. TRASK et H. PATNODE (1942). Nous les avons scrupuleusement suivis, sauf pour le mode de chauffage où le bain de sable s'est avéré être la méthode la plus expéditive et la moins onéreuse. La méthode est extrêmement simple, lorsque les solutions titrées ont été établies. On peut ainsi effectuer une quarantaine d'analyses par jour, soit un rendement cinq fois supérieur à l'analyse du carbone par la méthode classique.

La seule cause d'erreur appréciable est due au chauffage; toute surchauffe intempestive au-delà de 144°, abaisse rapidement le titre de l'acide chromique. Il faut donc toujours procéder avec un témoin de contrôle.

Résultats et discussion.

Les résultats ont été consignés à la figure 48. Comme pour le carbone, on y voit apparaître une relation entre la lithologie et le nombre de Trask. Par ordre de décroissance, se placent les calcschistes, les calcaires calcschisteux et les calcaires francs. De même, nous observons une croissance systématique suivant les différents « marbres » avec :

« marbre noir » de Dinant < « marbre noir » de Golzinne < « marbre noir » de Basècles.

d) Rapport nombre de Trask/carbone.

S'il existe une variation concomitante entre la teneur en carbone et le nombre de Trask, cette relation doit être linéaire pour un même faciès et une même évolution de la matière organique.

Le nombre de Trask est en effet une détermination de l'état de réduction de la substance; à teneur en carbone égale, la consommation d'oxygène varie avec la teneur en hydrogène (Y. KHALIFEH et M. LOUIS, 1958). C'est donc la relation nombre de Trask/carbone qui est caractéristique de l'état de réduction du sédiment et non sa teneur absolue en carbone.

Empiriquement, nous avons choisi les limites suivantes pour la qualification de l'état de réduction de la roche :

Nombre de Trask/carbone :

Ultra réducteur	1,4.
Réducteur	1,0 à 1,4.
Légèrement réducteur	0,8 à 1,0.
Légèrement oxydant	0,6 à 0,8.
Oxydant	0,5 à 0,6.
Très oxydant	< 0,5.

Résultats et discussion.

Les échantillons de faciès « marbre noir » se placent tous dans le domaine de roches réduites à légèrement réduites (fig. 49 et 50). Par contre, le biostrome de Ciney est légèrement oxydant.

Le rapport nombre de réduction/carbone organique qui est beaucoup plus rapide à calculer que le rapport fer ferreux-fer ferrique (C. TOMLINSON dans F. PETTJOHN, 1957; N. STRACKOFF, 1957), donne les mêmes indications que celui-ci sur le potentiel Redox du sédiment.

Il faut toutefois rappeler que ce n'est pas tellement l'intensité de la « barrière du potentiel » qui caractérise le lithotope, mais bien la position de cette barrière par rapport à l'interface sédimenté (W. KRUMBEIN et R. GARRELS, 1952). Ainsi une barrière de potentiel légèrement oxydante et située à quelques millimètres au-dessus de l'interface sédimenté sera néanmoins favorable à la préservation d'une partie du carbone organique, alors qu'une barrière de potentiel très réductrice, mais se situant à quelques millimètres sous l'interface, n'empêchera pas la destruction du plancton.

Il n'est donc pas possible de classer le « marbre noir » de Dinant parmi les faciès sulfuriques; en effet, dans ces faciès, la barrière de potentiel se trouve dans la tranche d'eau comprise entre la partie supérieure en oxygène et la partie inférieure saturée en acide sulfhydrique; cette limite d'oxydo-réduction se place donc bien au-dessus du sédiment.

Pour les plaquettes de « marbre noir » de Dinant, la barrière a fluctué au voisinage immédiat de la surface sédimentée; c'est ce qui explique les brusques variations apparaissant entre les sparites avec leur bios abondant et les micrites noires qui en sont dépourvues.

Pour le « marbre noir » de Basècles, la position de la barrière d'oxydo-réduction est également proche du sédiment, mais les fluctuations verticales ne sont pas aussi rapides.

Dans le cas du « marbre noir » de Golzinne, par contre, un déficit d'oxygène a existé durant tout le dépôt des séquences et il se traduit par la suppression quasi totale de la faune benthonique.

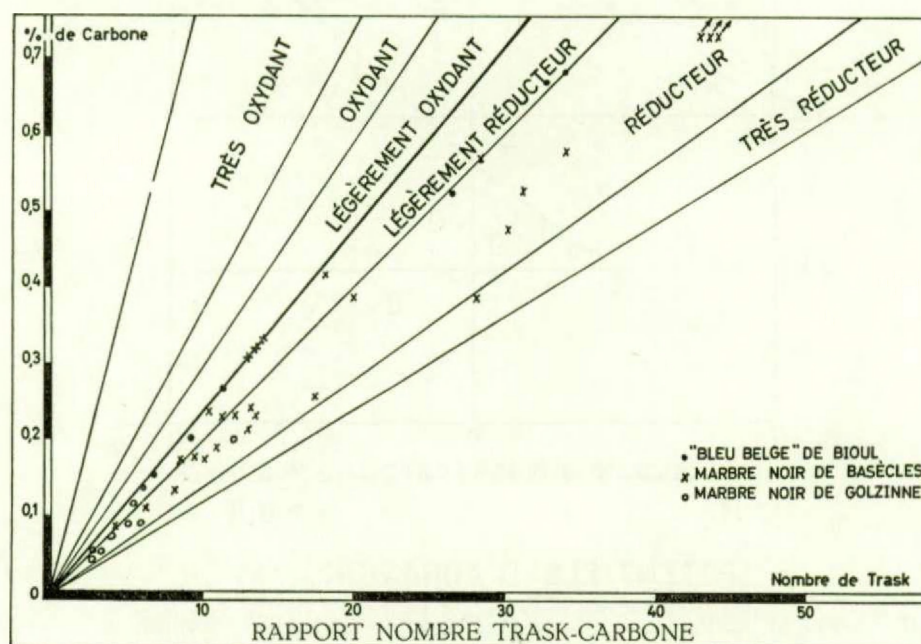
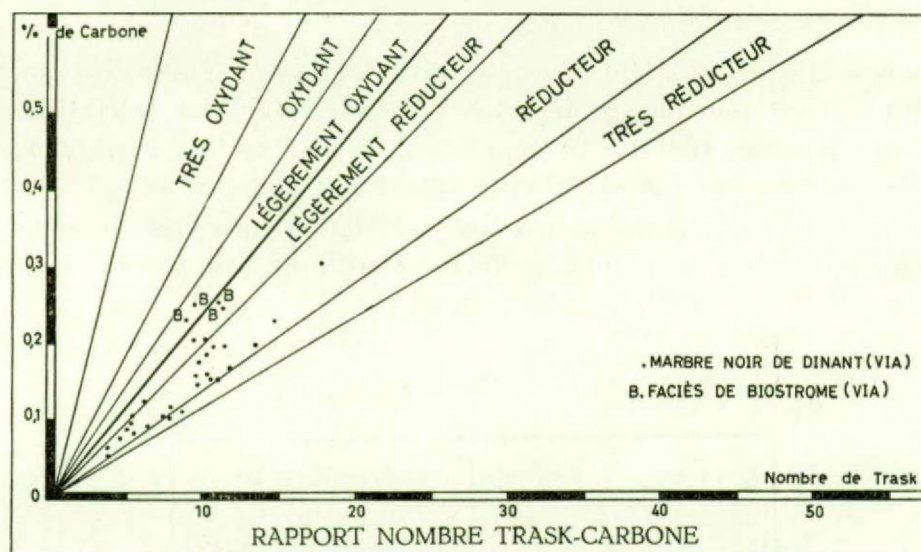


FIG. 49 et 50. — Rapport nombre de Trask-carbone.

e) Potentiel d'abrasion.

A. SOULTANOV (1957) a montré que les mesures directes de potentiel de poudre peuvent être employées pour caractériser le faciès; les valeurs d'Eh et de pH y représentent le « potentiel d'abrasion » de la composition minéralogique actuelle (R. STEVENS et M. CARRON, 1948).

Mode opératoire.

Broyer 50 grammes de roche jusqu'à réduction des grains à moins de 0,1 millimètre. Placer la poudre dans un long tube en Pyrex, puis boucher par de la gaze. Placer le tube dans une cloche, au fond de laquelle repose de l'eau bi-distillée privée de CO_2 et d' O_2 . Au bout de deux jours, la roche est en équilibre avec l'atmosphère de la cloche; on mesure alors le pH et l'Eh à l'aide d'un potentiomètre Beckman (électrode au calomel et électrode de platine).

Résultats et discussion.

Les résultats sont consignés ci-dessous (fig. 51). Comme A. SOULTANOV (in N. STRACKOFF, 1957) l'a démontré, il est possible de départager grossièrement les échantillons de calcaires oxydés de ceux des calcaires réduits. La répartition de nos résultats concorde en effet avec celle des rapports nombre de Trask/carbone organique.

Toutefois, ce potentiel d'abrasion n'a pas de relation univoque avec des particularités du milieu ancien; ainsi l'état de réduction du fer s'explique soit par un milieu acide à Eh élevé, soit par un pH neutre à Eh très bas.

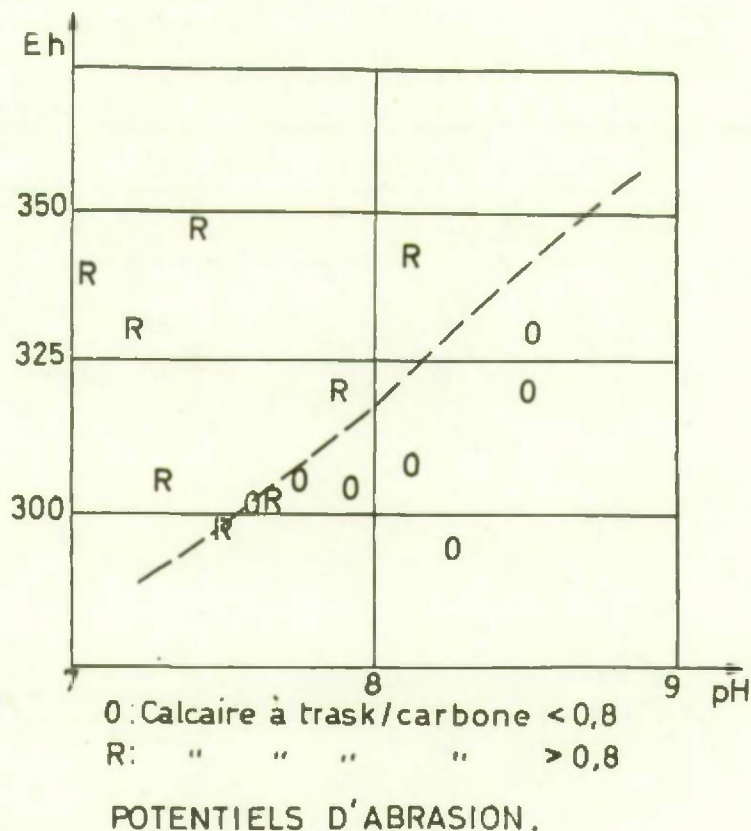


FIG. 51. — Potentiels d'abrasion de différents lithofaciès calcaires du Viséen inférieur.

Par sa très grande simplicité, le potentiel d'abrasion pourrait également être substitué au rapport fer ferreux-fer ferrique. Toutefois, il n'a de valeur que pour un lithofaciès donné; ainsi les potentiels entre calcaires francs et calcaires calcschisteux ne sont-ils pas comparables, alors que les rapports nombre de Trask/carbone restent comparables quel que soit le faciès.

f) Oligoéléments.

La répartition des oligoéléments des roches permet de distinguer les constituants mineurs propres à certains types sédimentaires. Nous nous sommes particulièrement attaché à la tétralogie nickel-cobalt-vanadium-cuivre, tant par l'intérêt de ses enseignements sur les conditions du milieu ancien que par la rapidité de sa mesure.

Modes opératoires.

a) Dosage semi-quantitatif de cuivre-cobalt-nickel (HUNT, NORTH et WELLES, 1955).

Le dosage consiste en une chromatographie sur papier révélé par l'acide rubanéique.

Le mode opératoire est le suivant :

- On attaque l'échantillon par l'acide sulfurique concentré jusqu'à siccité et on reprend le culot par 1 cc d'eau régale (50 ml d'acide chlorhydrique 1,18 et 50 ml d'acide nitrique). On dilue à 100 cc, puis on centrifuge.
- On a préparé auparavant les solvants en mélangeant 15 ml de HCl 1,18 et 10 ml d'eau avec 75 ml d'éthylméthylcétone et en les versant dans une cuve à chromatographie.
- Appliquer 0,01 de la solution à l'aide d'une pipette d'hématolyse sur un papier Whatmann n° 1/CR/I que l'on plie ensuite en forme de cylindre. On le place dans la cuve et on l'y laisse jusqu'à ce que le solvant arrive aux trois quarts de la hauteur du papier.
- Sécher à l'air pendant cinq minutes, puis placer le Whatmann dans une seconde cuve contenant le révélateur (acide rubanéique à 0,1 gramme par 60 cc d'éthanol et 40 cc d'eau distillée).
- Agiter la cuve. Retirer le papier que l'on place dans une cuve contenant un peu d'ammoniaque. Neutraliser pendant 15 minutes. Retirer le papier. Sécher.
- On compare avec une série étalon.

β) Dosage semi-quantitatif du vanadium (H. AGRINIER, 1958).

Ce dosage consiste également en une chromatographie sur papier. Le vanadium est séparé par un solvant composé d'ammoniaque et d'eau oxygénée, puis révélé par la 8 hydroxyquinoline. L'extraction du vanadium à la valence cinq se fait sous forme de vanadate; une chromatographie sur papier en solution alcoolique à 2 % le sépare facilement du fer-plomb à Rf 0,8 et du cuivre-cobalt-nickel à Rf 1,0. Le vanadium est caractérisé par une bande brun-violet. Il suffit d'établir une série d'étalons pour obtenir des résultats semi-quantitatifs.

Analyse des résultats et discussion.

Le tableau d'analyse des oligoéléments (fig. 52) concerne une vingtaine de prises représentant 110 échantillons de terrain. Après examen mégascopique, on les a homogénéisés par groupe de 5 échantillons de 5 grammes.

Les prises sont classées suivant un ordre croissant de teneur en carbone (ligne continue), tandis que la teneur en insolubles argileux est indiquée par la ligne en tirets.

Les premières prises représentent des échantillons de « marbre noir » de Dinant du type biosparite à micrite pure. Les teneurs en carbone et insolubles sont faibles; la proportion des oligoéléments également, avec prédominance du cuivre.

Les prises 7-8 (« marbre noir » de Golzinne) ont une faible teneur en carbone, mais assez forte en insolubles. Le cuivre y est abondant, mais la teneur en cobalt-nickel-vanadium reste très faible.

Les prises 9 à 14 concernent des calcaires à 5-15 % d'insolubles argileux et à environ 1 % de carbone (« marbre noir » de Basècles, calcaire d'Yvoir). La teneur en cuivre reste forte et les traces de cobalt-nickel-vanadium commencent à devenir appréciables.

Les prises 15 à 23 (calcaires calcschisteux puis calcschistes) ont des teneurs en carbone variant entre 2 et 5 %. Les oligoéléments y sont très abondants, avec des variations accusées pour le nickel et le cobalt. Ainsi, 19 et 21, malgré leur teneur élevée en carbone, n'en contiennent qu'une faible quantité; il s'agit là de calcaires argileux et de calcschistes associés aux « ténouilles » du V3b, alors que les autres calcschistes, franchement marins, sont caractérisés par une abondance de tous les oligoéléments considérés.

Ce diagramme permet de conclure :

1° que la teneur moyenne des oligoéléments augmente avec le pourcentage en carbone et en insolubles argileux (°);

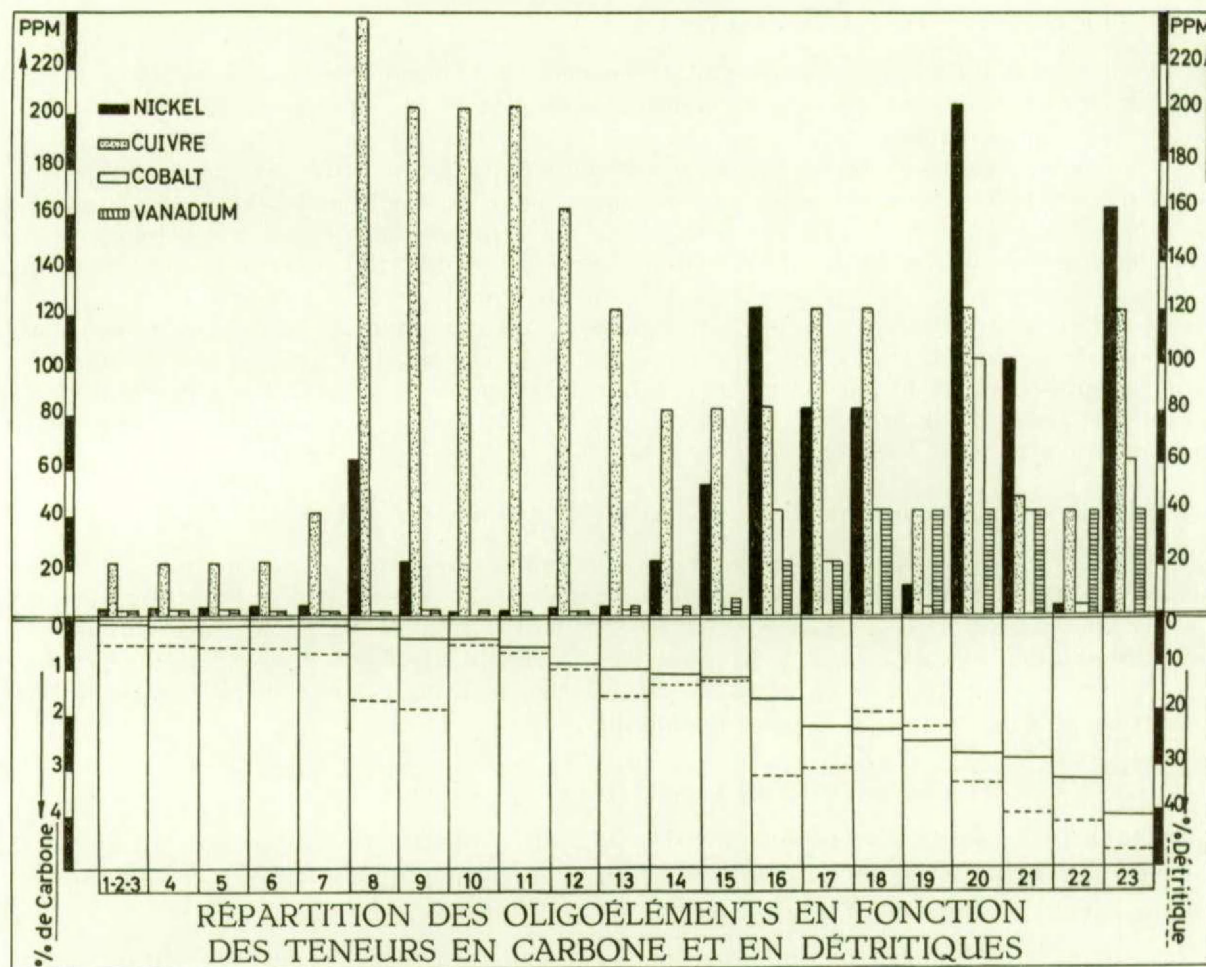


FIG. 52. — Répartition des oligoéléments en fonction des teneurs en carbone organique et en détritiques.

2° que la teneur en cuivre est liée pour le « marbre noir » de Golzinne au pourcentage d'argile plutôt qu'à celui du carbone;

3° que la teneur en cobalt-nickel diminue en passant d'un régime franchement marin à un régime mixte.

K. KRAUSKOPF (1956) a étudié les facteurs contrôlant la concentration du nickel-cobalt-cuivre-vanadium dans l'eau de mer. Il a montré que quatre mécanismes pouvaient expliquer la concentration de ces éléments dans les vasières marines :

1° précipitation des composés ioniques en présence d'ions normalement présents dans l'eau de mer;

(°) Ce fait avait déjà été mis en évidence par H. LE RICHE dans le Lias d'Angleterre (1959).

- 2° précipitations en milieu réducteur avec formation de gels colloïdaux;
- 3° adsorption par les hydrates, les colloïdes, l'argile et la matière organique;
- 4° concentration par phénomènes biochimiques.

Examinons les mécanismes en détail :

1° La précipitation sous forme de composés ioniques non sulfurés est peu vraisemblable, l'eau de mer étant extrêmement loin d'être saturée en ces métaux. Les rapports entre la concentration des carbonates d'oligoéléments et les concentrations normales en eau de mer, varient en effet de 30 à 800 pour le cobalt, à 1.000 à 1.000.000 pour le vanadium. Il est peu probable que les vasières dinantiennes aient jamais atteint des concentrations aussi aberrantes; seul le cuivre, pour une température élevée et un pH très basique, pourrait précipiter suivant ce processus.

2° Nous avons montré que les calcaires du type « marbre noir » étaient déposés en milieu réducteur; l'ubiquité de l'ion S^{2-} ferait un anion particulièrement actif et les concentrations de précipitation, en pH neutre, des sulfures de cuivre pourraient être théoriquement atteintes; par contre, les sulfures de nickel-cobalt-vanadium ne peuvent pas précipiter.

3° Tout autre est le comportement des éléments de la tétralogie vis-à-vis des colloïdes : leur adsorption à l'hydroxyde de fer, l'argile et le plancton est très rapide. K. KRAUSKOPF a calculé ces pourcentages d'adsorption en faisant percoler des solutions de concentrations variables des sels de cations dans des colloïdes. Il a montré que le cuivre était rapidement adsorbé par l'argile et que le mécanisme s'appliquait aux autres éléments. Pour de faibles concentrations, on peut prévoir que l'adsorption augmentera avec le rapport adsorbé-adsorbéur.

4° Les métaux pris dans les cycles biologiques repassent normalement en solution après la mort de l'animal; mais ils peuvent être captés par les parties non hydrolysables et devenir ainsi constituants du sédiment. Par exemple, W. BLACK et R. MITCHELL (1952) ont montré que les algues pouvaient concentrer dans leurs tissus des teneurs en oligoéléments très appréciables : 200 à 1.000 fois la teneur de l'eau de mer pour le nickel, 10 à 300 fois pour le vanadium, 4.000 fois pour le cobalt et 400 fois pour le cuivre. Si le milieu est réducteur, une partie importante de ces métaux reste bloquée dans les hydrocarbures et finalement dans le sédiment.

En conclusion, les mécanismes de précipitation ioniques sont peu probables pour les « marbres noirs » de Dinant. Seul le cuivre pourrait exceptionnellement se former sous forme de sulfures.

Dans le mécanisme d'adsorption, il faut également séparer le comportement du cuivre de celui des autres oligoéléments. En effet, alors que tous les métaux du groupe se trouvent dans l'eau de mer en quantités comparables (C. CORRENS, 1948), l'extraction du vanadium-nickel-cobalt est beaucoup plus forte que celle du cuivre.

D'ailleurs, le tableau de répartition des oligoéléments nous a montré que la teneur en cuivre varie plus avec la teneur en argile qu'avec celle en carbone. Ainsi, les prises 8 et 9, pauvres en matière organique, sont riches en cuivre. La répartition du cobalt-nickel-vanadium suit, par contre, pour les séries marines, la teneur en carbone organique.

Enfin, pour les séries à influences continentales marquées, la concentration du vanadium-cobalt tombe rapidement, car une partie importante du carbone n'est plus d'origine planctonique.

g) Problèmes de l'anthraxolithe.

Définition,

La matière organique ou kérogène, présente dans tous les faciès dinantiens, peut se concentrer sous forme d'anthraxolithe (G. MONSEUR, 1956; R. LEGRAND, A. TAVERNIER et W. VAN LECKWIJK, 1950).

Nous avons montré (B. MAMET, 1957) que ce « charbon » avait pu fluer; c'est ainsi qu'il se trouve en remplissage sur toute la hauteur d'une diaclase de la carrière Bernard-Nord à Basècles. Depuis, nous l'avons trouvée dans des diaclases du « marbre noir » de Dinant, et surtout sous forme de miroirs noirâtres, intercalés dans les joints et diastèmes des calcaires en plaquettes des environs de Salet ^(1°).

L'anthraxolithe de Visé a une teneur en hydrogène de 2,6 % et celle de nombreux nodules carbonifères varie entre 3 et 4 % (G. MONSEUR, 1956). L'analyse de deux anthraxolithes provenant de Basècles et de Dinant, nous a donné des teneurs proches de 3 % en hydrogène. C'est là un chiffre très bas, mais qui n'est pas une preuve contre la relation des charbons marins avec les hydrocarbures : MOHR (1959) a montré que les kérogènes ont des compositions chimiques qui oscillent entre celle des « huiles de schistes » et celle des charbons. En particulier, il est impossible de séparer sur un diagramme triangulaire carbone-hydrogène-oxygène, les kérogènes des charbons continentaux pour des couches ayant subi un métamorphisme appréciable (J. FORSMAN et J. HUNT, 1958).

Oxydation sélective de la matière organique.

Si l'évolution de la matière organique n'est pas connue, une méthode artificielle d'oxydation sélective a été mise au point à l'Institut Français du Pétrole (Y. KHALIFEH et M. LOUIS, 1955, 1958, 1961). Ces deux auteurs ont pu montrer qu'il existait des différences très nettes dans les courbes d'oxydation sélectives; les roches-mères, en particulier, ont une courbe d'allure ascendante, alors que les sédiments sans relations avec le pétrole ont des courbes descendantes.

Le mode opératoire préconisé par Y. KHALIFEH et M. LOUIS est le suivant :

Broyer et sécher l'échantillon. Introduire des prises aliquotes dans une série d'Erlenmeyer avec 5 cc de permanganate de potassium à 0,3 %. Mettre à l'étude à 60°. Dès décoloration de la solution, sortir deux Erlenmeyer et poursuivre l'opération jusqu'à l'oxydation de la majeure partie de la matière organique.

A chaque fois, le contenu des deux Erlenmeyer est récupéré dans un Becher et distillé; un courant d'anhydride sulfureux enlève les oxydes de manganèse; on filtre sur creuset de verre fritté taré. Après plusieurs lavages à l'eau distillée bouillante, on sèche et on pèse. La roche ainsi préparée sert au dosage du carbone organique et à la détermination du pouvoir réducteur d'après les méthodes vues précédemment.

Trois échantillons composites de calcaires caleschisteux provenant de « marbre noir » de Dinant et de Basècles et du « bleu belge » ont été analysés. Le dernier était associé à une « téréulle » et n'est probablement pas lié au pétrole. Par contre, le carbone des « marbres noirs » est planctonique, mais leur courbe d'oxydation ménagée est décevante et ne peut se comparer à celle des roches-mères classiques (fig. 53).

Toutefois, le diagramme des Forsman-Hunt nous avait montré qu'il y avait coïncidence des teneurs en carbone-hydrogène-oxygène pour les charbons et les kérogènes, lors du

^(1°) MM. G. MORTELMANS et R. LEGRAND ont pu observer les anthraxolithes suivant un mode de gisement analogue au sondage de Leuze (communication personnelle).

métamorphisme régional. La détermination de l'ascendance de l'oxydation y étant directement proportionnelle, cette courbe devient en réalité une mesure du degré de métamorphisme. C'est ce qu'ont récemment prouvé M. TEICHMÜLLER, Y. KHALIFEH et M. LOUIS (1960), en montrant que, pour des schistes bitumeux ayant subi un métamorphisme régional du type « anthracite », les courbes d'oxydation sont descendantes ⁽¹¹⁾. Or, les régions où nos échantillons ont été prélevés possèdent des houilles, à moins de 15 % de matière volatile; il y est donc impossible d'y trouver des courbes d'oxydation ascendantes.

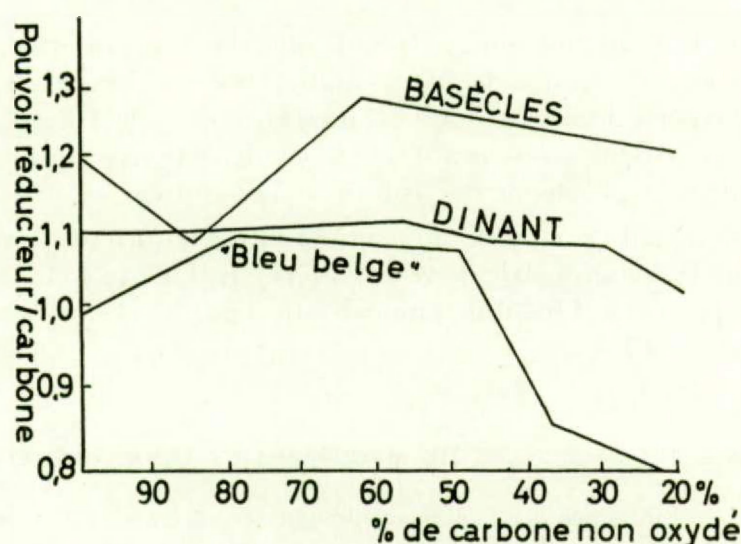


DIAGRAMME D'OXYDATION MÉNAGÉE
DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.

Fig. 53. — Diagramme d'oxydation ménagée de la matière organique de trois lithofaciès du Viséen de la plate-forme belge.

Conclusion.

En résumé, le carbone organique des « marbres noirs » est probablement d'origine planctonique marine, mais il n'y a pas de preuve qu'il ait pu évoluer en hydrocarbures liquides.

Si nous adoptons les idées de W. MEINSCHEN (1961), les « marbres noirs » ne seraient pas des roches-mères. Toutefois, puisqu'il n'y a pas de différence essentielle entre les hydrocarbures bloqués dans les sédiments et ceux des nappes mobiles de pétrole, on peut affirmer que tout sédiment contenant de la matière organique planctonique en quantité appréciable, déposé en milieu réducteur ou faiblement réducteur avec une barrière d'oxydo-réduction fluctuant près de la surface sédimentée, et qui possède une perméabilité suffisante pour une accumulation sélective d'hydrocarbures par lessivage aqueux, est une roche-mère.

Ces conditions sont réalisées dans le cas des « marbres noirs » et la majorité des sédiments de la plate-forme dinantienne.

Cette constatation est purement académique; le degré de métamorphisme atteint par les sédiments de la plate-forme dinantienne est tel, qu'il exclut toute accumulation exploitable d'hydrocarbures liquides.

⁽¹¹⁾ Pour un métamorphisme du type « charbon maigre », les courbes sont à peu près horizontales.

C. — LE PROBLÈME DES CALCAIRES DOLOMITISÉS.

1° PRÉSENTATION DU PROBLÈME.

L'existence de calcaires dolomitisés parmi les sédiments dinantiens a nécessité la création d'un sixième terme à la série virtuelle locale. Pour le Viséen moyen de Basècles, le fait est assez exceptionnel.

Par contre, pour le « marbre noir » de Golzinne, la dolomitisation est un fait d'observation courante; pénécontemporaine à la sédimentation, elle se localise à des niveaux définis qui peuvent servir de repères locaux. Pour le « marbre noir » de Dinant, les plaquettes sont diversement dolomitisées et nous avons profité de la condensation verticale d'un grand nombre de strates pour y étudier le problème des calcaires dolomitisés.

La méthode de dosage du carbonate de magnésium a été fortement améliorée et accélérée grâce à l'introduction de la dolomimétrie de résistivité par R. FOUQUET et L. CAPDECOMME (1940). Cette méthode est employée à l'Institut Français du Pétrole et son principe a été décrit par A. VATAN et P. ROUGE (1954).

2° DOSAGE DU CARBONATE DE MAGNÉSIUM ET MODE OPÉRATOIRE.

Une prise constante est attaquée par l'acide sulfurique; les carbonates de calcium et de magnésium passent à l'état de sulfate; l'excès d'acide est neutralisé par un excès de carbonate de calcium; on obtient ainsi une solution aliquote sursaturée de sulfate de calcium à résistivité connue et de sulfate de magnésium, dont la teneur, toutes conditions étant égales d'ailleurs, fait varier la résistivité. Il suffira de mesurer, grâce à une électrode impolarisable, la conductivité de la solution qui croît proportionnellement à la teneur en magnésium. La mesure est effectuée sur Philoscope, l'échantillon étant porté à température fixe dans un bain thermostatique.

La précision de la mesure est liée à l'exactitude des conditions de température. Nous nous sommes contenté d'une erreur absolue de 1 %. L'appareillage est assez complexe; une fois monté, on peut espérer opérer de 500 à 1.000 analyses par mois.

3° RÉSULTATS ET DISCUSSION.

(Fig. 54.)

Plusieurs centaines de plaquettes ont été classées d'après l'échelle virtuelle locale, mélangées en une centaine d'échantillons composites et analysés par dolomimétrie. Les résultats ont été comparés avec cinq variables :

1. Taille des cristaux du carbonate.
2. Insolubles totaux.
3. Rapports du quartz visible et de la calcédoine.
4. Teneur en carbone organique.
5. Nombre de Trask.

De ces analyses et comparaisons, il découle que les calcaires « 2 » (classification de terrain) sont bien le lieu d'élection de la dolomitisation, alors que celle-ci est complètement absente des « marbres noirs » (colonne 1). Il est donc probable qu'une grande partie

du magnésium de ces sédiments doit son origine à l'accumulation des organismes (K. CHAVE, 1954). Ce fait, lié à la putréfaction et l'abondance d'anhydride carbonique qui l'accompagne, a favorisé par ailleurs, la cimentation pénécotemporaine de l'assemblage par des sparites (colonne 2).

L'influence de la dolomitisation sur la teneur en insolubles totaux reste assez faible. On observe une baisse de celle-ci, mais elle est essentiellement liée à la diminution brutale de la teneur en silice (voir analyses totales, p. 100). Cette baisse de la silice s'accompagne d'une recristallisation du quartz; dans ces sédiments, la silice se présente soit sous forme de quartz détritique fort rare, soit sous forme de quartz bipyramidé à faces cristallines et d'amas informes de calcédoine. Une statistique du rapport quartz bipyramidé/amas de calcédoine, montre une augmentation sensible des premiers pour les sparites (colonne 4).

ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE DES LITHOFACIÉS DU " MARBRE NOIR " DE DINANT

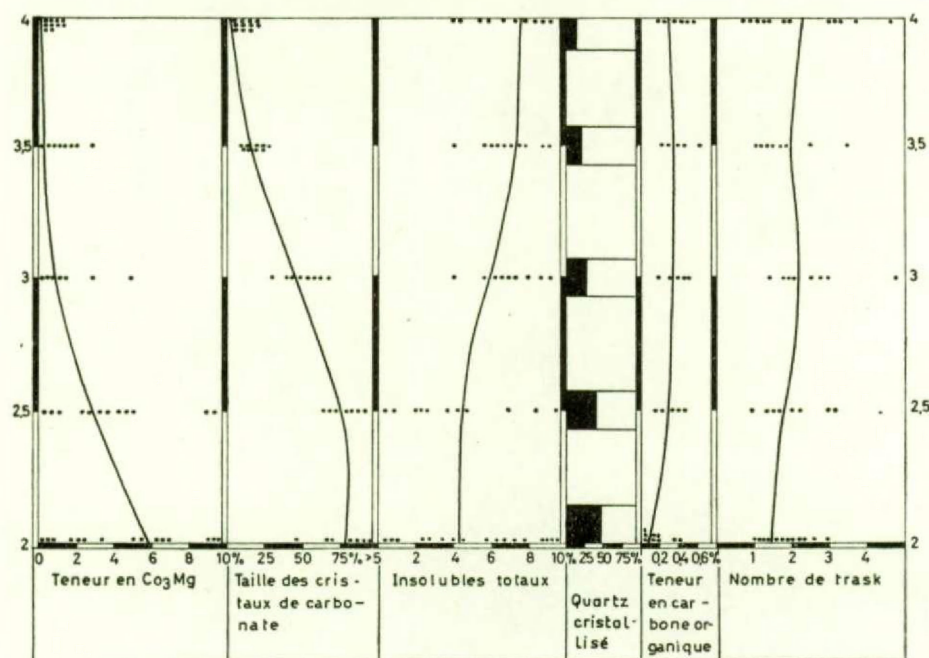


FIG. 54. — Analyse sédimentologique des lithofaciés du « marbre noir » de Dinant.

La teneur en carbone diminue en passant des micrites aux calcaires à grands cristaux (colonne 4). Cette diminution est concomitante à une baisse légère du pouvoir réducteur (colonne 5). En moyenne, le rapport nombre de Trask/carbone organique est donc légèrement supérieur pour les micrites, mais cette augmentation reste dans les limites extrêmes des variations des calcaires, du type deux.

En conclusion, ces diagrammes indiquent clairement une relation entre l'augmentation en carbonate de magnésium et celles de la taille moyenne des cristaux du ciment et de la teneur en débris biologiques. De plus, la dolomitisation s'accompagne d'une légère baisse du potentiel Redox du milieu, d'un lessivage modéré des insolubles alumineux et d'une recristallisation de la silice.

P. ROUGE, O. DE CHARPAL et L. MONTADERT (1959) ont récemment montré que la dolomitisation secondaire d'un calcaire marneux abaissait notablement ses teneurs en silice et en argile. C'est ainsi que la montmorillonite diminuait de 24 % et le quartz de 70 % en passant des calcaires à la dolomie (« T dolomite » ou dolomie secondaire d'origine tectonique). Une dolomitisation à pH élevé lessiverait les argiles et solubiliserait le quartz.

Les chiffres cités par P. ROUGE (1959) sont beaucoup plus élevés que ceux trouvés à Dinant, mais il est erroné de penser pouvoir distinguer ainsi les dolomies précoces des dolomies secondaires. Une diminution de l'alumine peut certes provenir d'un lessivage des insolubles, mais il ne faut pas perdre de vue que les dolomies pénécontemporaines se déposent en bassin provisoirement fermé, avec raréfaction des détritiques; qu'elles soient pénécontemporaines ou secondaires, les dolomies ont des teneurs en insolubles inférieures à celles des calcaires correspondants.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Au terme de ce travail, nous pensons qu'un grand pas a été accompli en confrontant les données nouvelles de la sédimentologie avec celles acquises par la géologie; celle-ci avait conduit à formuler des hypothèses de travail, incontrôlables par les méthodes classiques et qui ont pu finalement être jugées sous une optique moderne.

De plus, ce travail introduit de nouveaux concepts, qui nous ont aidé à formuler une synthèse cohérente d'un milieu sédimentaire et de ses relations avec la faune qu'il abrite; qui plus est, nous avons prouvé que la stratigraphie se divisait en quatre champs et nous nous sommes efforcé à les intégrer par l'expérience conduite tant sur le terrain qu'en laboratoire.

Au point de vue séquostratigraphie, nous avons montré :

1° que des rythmes synchrones se retrouvent sur toute l'étendue du séquotoppe des « marbres noirs » de Dinant. Nous avons confirmé cette façon de voir par l'étude des joints, qui se sont avérés être aussi bien des phases positives actives que passives (joints passifs et joints actifs);

2° qu'une mesure de ce type de sédimentation est fournie par les coefficients de trouble et de variation.

L'aspect biostratigraphique nous a successivement prouvé :

1° que la répartition de la faune des « marbres noirs » est influencée par les caractéristiques pétrographiques de la roche;

2° que la distribution des micro- et macrofossiles des « marbres noirs » est celle d'une biocénose et que cette constatation peut s'étendre grosso modo à la majorité des lithofaciès de la plate-forme dinantienne;

3° que l'évolution stratigraphique verticale des *Productidae* est masquée par les variations des différents faciès;

4° que la valeur des sous-assises est parfois mal fondée et que celles-ci se confondent souvent avec des « formations » purement lithologiques.

Enfin, au point de vue lithostratigraphique, nous avons prouvé :

1° que la cimentation des boues calcaires peut s'opérer rapidement après le dépôt par la calcite en grands cristaux (sparite) et qu'il est possible de classer les calcaires en sparites pénécontemporaines, sparites secondaires et sparites de recristallisation;

2° que les variables « taille », importance relative et type des débris calcaires, permettent de raffiner la classification en une centaine de types pétrographiques théoriques, que nous avons trouvés ensuite par l'étude des lames minces du Dinantien;

3° que les teneurs en matière organique varient essentiellement avec la teneur en insolubles argileux et que la teinte des « marbres noirs » n'est pas directement liée au carbone organique, mais dépend du potentiel Redox et de la taille des cristaux de carbonate;

4° que géochimiquement, cette matière organique est liée à l'abondance du plancton préservé dans un milieu réducteur;

5° que les « marbres noirs » ne sont pas des sapropèles proprement dits et qu'ils ne présentent pas des caractéristiques de « roches-mères » différentes des autres faciès du Dinantien;

6° l'étude des argiles, comme l'examen pétrographique des lames minces, permet de mettre en évidence les caractéristiques physico-chimiques de la sédimentation. Par la suite, la recristallisation et la diagenèse ont étendu un voile qui ne parvient jamais à cacher entièrement les caractères originels du dépôt.

*
**

Nous espérons que les méthodes d'investigations conduites par nous, suscitent quelque intérêt; aucune des méthodes n'a nécessité de mises de fonds considérables, ni d'appareillage compliqué; bien au contraire, la plupart des expériences cruciales se sont avérées très simples; ainsi dans le domaine encore vierge de la sédimentologie, « ce qui est le plus simple est souvent le plus vrai »; il a suffi d'une seule hypothèse, de beaucoup d'observations et plus encore de mesures, pour arriver à une compréhension meilleure de la sédimentation carbonifère.

Bruxelles, le 5 novembre 1962.

BIBLIOGRAPHIE

1. AGRINIER, H., 1958, *Détermination semi-quantitative du vanadium par chromatographie ascendante sur papier*. (C. R. Ac. Sc. de Paris, t. 246, pp. 2761-2762.)
2. AKERMAN, C., DE CHARPAL, O. et MONTADERT, L., 1959, *Relations réciproques entre dolomitisation et fraction silicatée des roches carbonatées*. (C. R. Ac. Sc. de Paris, t. 248, p. 574.)
3. AOKI, F., 1951, *Determination of silica in water*. (J. Chem. Soc. of Japan, vol. 72, p. 17.)
4. ARENS, P., 1951, *A study on the different thermal analysis of clays and clay minerals*. La Haye.
5. ASSELBERGHS, E., 1936, *Le Dévonien du bord Nord du bassin de Namur*. (Mém. Inst. géol. Univ. Louvain, t. 10, pp. 229-327.)
6. BANERJEE, A., 1959, *Petrography of some upper Viséan limestones in North Wales*. (J. Sed. Pet., vol. 29, n° 3, pp. 311-320.)
7. BATHURST, R. G., 1958, *Diagenetic fabrics in some British Dinantian limestones*. (Liv. and Manchester Geol. Jour., n° 2, pp. 11-36.)
8. — 1959, *Diagenesis in Mississippian calcilutites and pseudobreccias*. (J. Sed. Pet., vol. 29, n° 3, pp. 365-376.)
9. BEALES, F. W., 1960, *Acetate peels*. (Journ. Alberta Soc. of petroleum geologists, vol. 8, n° 4, pp. 132-135.)
10. BIEN, G., COURTOIS, D. et THOMAS, W., 1959, *The removal of soluble silica from fresh water entering the sea. Silica in sediments*. (AAPG, 1595, pp. 20-35.)
11. BLACK, W. and MITCHELL, R., 1952, *Trace elements in the common brown algae and in sea-water*. (J. Marine Biol. Ass., n° 30, p. 575.)
12. BOUCKAERT, J., DELMER, A. et OVERLAU, P., 1961, *Stratigraphie du Viséen moyen et supérieur et du Namurien inférieur dans la région de Basècles-Blaton*. (Mém. Inst. géol. Univ. Louvain, t. 22, pp. 242-255.)
13. BOSWELL, P., 1951, *Thixotropy limits of sediments*. (Liv. and Manchester Geol. Jour., vol. 1, part I.)
14. BRIEN, V., 1904, *Description et interprétation de la coupe du Calcaire Carbonifère de Landelies*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 32, pp. 239-256.)
15. CAMERMAN, C., 1944, *La pierre de Tournai*. (Mém. Soc. belge de Géol., n° 1 [n. s.].)
16. CARPENTIER, A., 1913, *Contribution à l'étude du Carbonifère du Nord de la France*. (Mém. Soc. géol. du Nord, t. VII.)
17. CAROZZI, A., 1953, *Pétrographie des roches sédimentaires*. Rouge, Genève.
18. CAROZZI, A. et WALPOLE, R., *Microfacies study of Rundle group of Front Ranges, central Alberta*. (AAPG, Bull., vol. 45, pp. 1810-1846.)
19. CAYEUX, L., 1935, *Les roches sédimentaires de la France. Les roches carbonatées*. Masson, Paris.
20. CHAVE, K., 1954, *Aspects of the biogeochemistry of magnesium*. (J. Geol., vol. 62, pp. 266-283 et 587-599.)

21. CLOUD, P. et BARNES, V., 1958, *Early Ordovician in Central Texas. Treatise of Marine Ecology and Paleoecology*. (G. S. A., Mem. 67.)
22. CORIN, F., 1929, *Sur quelques particularités lithologiques du Viséen inférieur de Basècles*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 39, pp. 49-51.)
23. CORNET, J., 1907, *Observations aux carrières de Basècles*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 34, p. 111.)
24. — 1927, *Leçons de géologie*. Lamertin, Bruxelles.
25. CORRENS, C. N., 1948, *Die Geochemische Bilanz*. (Natuwissenschaften, n° 35, pp. 7-12.)
26. DEBYSER, J., 1961, *Contribution à l'étude des Vases marines*. (I. F. Pétroles, Div. Sédim., Réf. 6005.)
27. DECKER, C. et MERRIT, C., 1928, *Physical characteristics of the Arbuckle limestone*. (Okl. Geol. Survey, Circ. 15.)
28. DEHÉE, G., 1929, *Description de la faune d'Etrœungt*. (Mém. Soc. Géol. de France, n. s., t. V, n° 11.)
29. DE KEYZER, W., 1938, *Bijdrage tot de studie van het kaolin en van enkele Belgische kleisoorten*, pp. 1-257, Bruxelles.
30. — 1950, *Système Valérite-Aragonite-Calcite*. (Bull. Soc. Chim. de Belgique, pp. 40-71.)
31. DELÉPINE, G., 1911, *Recherches sur le Calcaire Carbonifère de la Belgique*. (Mém. Fac. Un. Cath., Lille.)
32. — 1922, *La transgression de la mer Viséenne*. (Congrès Géol. Intern., XIII^e session, pp. 609-630.)
33. — 1924, *Note sur quelques horizons fossilifères du Dinantien de l'Entre-Sambre-Meuse*. (Ann. Soc. géol. du Nord, t. XLIX, pp. 84-96.)
34. — 1940, *Les goniatites du Dinantien de la Belgique*. (Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, n° 91.)
35. DEMANET, F., 1920, *Archives Service géologique de Belgique. Feuilles de Mettet-Bioul*.
36. — 1923, *Le Waulsortien de Sosoye*. (Mém. Inst. géol. Univ. Louvain, t. II, pp. 36-286.)
37. — 1929, *Les lamellibranches du « marbre noir » de Dinant*. (Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, n° 40.)
38. — 1934, *Les brachiopodes du Dinantien de la Belgique*. (Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, n° 61.)
39. — 1957, *Commission internationale de Stratigraphie*. (Lexique international, Belgique, fasc. 4.)
40. — 1958, *Contribution à l'étude du Dinantien de la Belgique*. (Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, n° 141.)
41. DERVILLE, H., 1936, *Les marbres du bas-Boulonnais*. Strasbourg.
42. — 1941, *De quelques manières d'être des Calcisphères*. (Bull. Soc. Géol. de France, 5^e série, t. 11, pp. 357-365.)
43. — 1950, *Contribution à l'étude des Calcisphères de Bachant*. (Ann. Soc. géol. du Nord, t. 70, pp. 277-285.)
44. — 1951, *Le calcaire massif à Productus sublaevis dans la région d'Avesnes*. (C. R. Som. Ac. Sc. Paris, pp. 260-264.)
45. — 1952, *A propos de calcisphères*. (Bull. Soc. Géol. de France, 6^e série, t. 2, p. 236.)
46. — 1952, *Les faciès du calcaire de Bachant*. (Ann. Soc. géol. du Nord, t. 72, pp. 14-29.)
47. DERVILLE, H. et JAROVY, M., 1954, *Analyse de quelques calcaires viséens de l'Avesnois*. (Ann. Soc. géol. du Nord, t. 74, pp. 20-30.)

48. DESCHAMPS, L., 1937, *Thèse. Géologie de la Région de Mettet*. Univ. Libre de Bruxelles.
49. DEWALQUE, C., 1863, *Compte-rendu de la session extraordinaire tenue à Liège par la Société Géologique de France*. (Bull. Soc. Géol. de France, 2^e série, t. 20, pp. 761-883.)
50. — 1875, *Compte-rendu de l'excursion à Statte-Moha, Huccorgne et Fallais*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 11, p. 129.)
51. DORLODOT, H. DE, 1895, *Le Calcaire carbonifère de la Belgique et ses relations stratigraphiques avec celui du Hainaut français*. (Ann. Soc. géol. du Nord, t. 23, pp. 257-258.)
52. — 1909, *Description succincte des assises du Calcaire Carbonifère de la Belgique*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 23, pp. 175-194.)
53. — 1910, *Relations entre l'échelle stratigraphique du Calcaire carbonifère et les zones paléontologiques de A. Vaughan, d'après les recherches les plus récentes*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 24, p. 247.)
54. — 1911, *Sur les conditions de dépôt des « marbres noirs » dinantiens et des sapropélites marines en général*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 25, pp. 146-155.)
55. DORMAL, V., 1892, *Sur le Dévonien dans le bassin de Namur*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 6, pp. 76-83.)
56. DUMONT, A., 1847, *Remarques de M. Dumont*. (Acad. roy. de Belgique, t. XIV, n° 8 des Bulletins.)
57. DUMON, P., 1933, *Quelques observations sur le « marbre noir » de Mazy*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 43, pp. 237-281.)
58. — 1947, *Compte-rendu de l'excursion du 30 mars 1947*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 56, pp. 77-95.)
59. DUNBAR, C. et RODGERS, J., 1957, *Principles of stratigraphy*. Freeman, San Francisco.
60. DUPONT, E., 1878, dans DE KONINCK, L. *Faune du Calcaire Carbonifère de la Belgique*. (Ann. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, t. 2, p. 8.)
61. — 1882-1884, *Explications de la famille de Ciney-Natoye-Dinant-Clavier et Modave*.
62. EMERY, K., 1960, *The sea off Southern California*. John Wiley, New York.
63. ERDMANN, J. G., 1961, *Some chemical aspects of petroleum genesis as related to the problem of source bed recognition*. (Geoch. et Cosm. Acta, p. 16.)
64. ERVIN, R., 1957, *Geology of the limestone of Isle la Motte*. (Vermont Geol. Survey, Montpelier, Bull. 9.)
65. FIEGE, K., 1936, *Stratonomische Beobachtungen in der Grauwackenfacies des Harzer kulms*. (Festschrift zum 60 Geburtstag v. H. Stille, Stulgart.)
66. FOLK, R., 1959, *A practical petrographic classification of limestones*. (AAPG, Jan. 1959, vol. 43, pp. 1-32.)
67. FORSMAN, J. et HUNT, J., 1958, *Insoluble organic matter (kerogen) in sedimentary rocks*. (Geoch. et Cosmo. Acta, pp. 170-183.)
68. FOSTIER, J., 1959, *Recherches sur la stratigraphie du Viséen de l'Orneau*. (Thèse, Université Libre de Bruxelles, 1959.)
69. FOUQUET, R. et CAPDECOMME, L., 1940, *Dosage rapide de la magnésie dans les dolomies*. (Ann. Chim. Analyt., t. 22, p. 300.)
70. FOURNIER, G., 1903, *Découverte de deux ophiurides dans le « marbre noir » de Dinant*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 29, p. 144.)
71. FOURNIER, G. et PRUVOST, P., 1922, *Découverte d'un poisson nouveau dans le « marbre noir » de Denée*. (Acad. Roy. de Belgique, Cl. des Sc., n° 5, p. 210.)
72. — 1928, *Description des poissons élasmobranches du « marbre noir » de Dinant*. (Mém. Soc. géol. du Nord, t. IX, pp. 7-12.)

73. FRAIPONT, J., 1904, *Echinodermes du « marbre noir » de Dinant*. (Mém. Soc. géol. de Belgique, t. II.)
74. GOSSELET, J., 1860, *Mémoire sur les terrains primaires de la Belgique des environs d'Avesnes et du Boulonnais*. Paris.
75. — 1860, *Observations sur les terrains primaires de la Belgique et du Nord de la France*. (Bull. Soc. Géol. France, 2^e série, t. 18, pp. 18-33.)
76. — 1888, *L'Ardenne*. Paris.
77. GREENSMITH, J., 1960, *Introduction to the petrology of the oil-shale Group*. (J. Sed. Pet., t. 30, pp. 553-560.)
78. GREKOFF, 1949, *Les roches-mères de pétrole*. (Revue IFP, nov. 59, p. 591.)
79. GRIM, R., 1953, *Clay mineralogy*. New York.
80. GÜRICH, G., 1906, *Les spongiostromides du Viséen de la province de Namur*. (Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, n° 3.)
- 80^{bis}. HAM, W. E. ed., 1962, *Classification of carbonate rocks*. (AAPG, Memoir 1, Tulsa.)
81. HECKER, R., 1957, *Bases de la paléoécologie*. (Traduction Technique, 1960, Paris).
82. HUNT, NORTH et WELLS, 1955, *Application of paper chromatographic methods of analysis to geochemical prospection*. (The Analyst, vol. 80.)
83. ILLING, L. V., 1954, *Bahaman calcareous sands*. (AAPG, Bull. 38, pp. 1-15.)
84. INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE, 1959, *Contribution française à l'étude de la dolomitisation. II. Recherches sur des phénomènes de dolomitisation d'origine structurale*. (V^e Congrès Mondial du Pétrole, Section I, paper 3.)
85. — 1959, *Relations entre le mode de gisement et les propriétés physico-chimiques des dolomies*. (Revue IFP, vol. 14, n° 4-5, Réf. 3253.)
86. IRELAND, H. E., 1950, *Subsurface geologic methods*. (2th. ed., pp. 146-147.)
87. JACKSON, R. T., 1929, *Paleozoic Echini of Belgium*. (Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, n° 38.)
88. JOHNSON, J., 1951, *Organic limestones*. (Col. School of Mines quart., vol. 46, n° 2.)
89. KAISIN, F., 1910, *Observations sur le « marbre noir » de Golzinne*. (Ann. Soc. Sc. de Bruxelles, p. 199.)
90. — 1910, *Sur quelques caractères lithologiques du « marbre noir » de Dinant*. (Ann. Soc. Sc. de Bruxelles, p. 207.)
91. — 1922, *Les faciès du Dinantien de Belgique*. (Congrès Géol. Intern., C. 3.)
92. — 1925, *Les roches du Dinantien de la Belgique*. (Compte-rendu séances XIII^e Congrès international de Géologie, fasc. III.)
93. — 1927, *Contribution à l'étude lithologique et au mode de formation des roches calcaires de la Belgique*. (Acad. roy. Sc. Belgique, 2^e série, t. VIII, fasc. 5.)
94. — 1928, *Stratigraphie et sédimentologie du « marbre noir » de Dinant (V1a)*. (Bull. Soc. belge de Géol., t. 38, pp. 16-21.)
95. — 1935, *Le faciès « marbre noir » dans le Paléozoïque de la Belgique*. (Mém. Inst. géol. Univ. Louvain, t. 8, pp. 81-131.)
96. KAISIN, F. jr., 1936, *Étude tectonique de la partie occidentale du bassin namurien d'Anhée*. (Mém. Inst. géol. Univ. Louvain, t. 10, pp. 189-227.)
97. KELLER, W., 1953, *Clays minerals in the type-section of the Morrisson formation*. (J. Sed. Pet., vol. 23, pp. 93-105.)

98. KHALIFEH, Y. et LOUIS, M., 1955, *Contribution à la recherche des roches-mères de pétrole*. (Revue IFP, n° 5, p. 340.)
99. — 1958, *Étude de la matière organique dans les roches sédimentaires*. (Revue IFP, vol. XIII, n° 9, réf. 2838; également Géoch. et Cosm. Acta, 1961, pp. 50-57.)
100. KING, P. B., 1948, *Geology of the S. Guadalupe Mountains, Texas*. (GSA. Prof. Papers, 215.)
101. KRAUSKOPF, K., 1956, *Factors controlling the concentration of 13 rare metals in sea-water*. (Geoch. et Cosm. Acta, vol. 9, pp. 1-32.)
102. — 1956, *Dissolution and precipitation of silica at low temperature*. (Geoch. et Cosm. Acta, vol. 10, pp. 1-26.)
103. — 1959, *Geochemistry of silica in sediments*. (AAPG, Silica Symposium, Tulsa.)
104. KREY et LAMAR, 1925, *Limestones resources of Illinois*. (Illinois State Geol. Survey, Bull. 46.)
105. KRUMBEIN, W. et SLOSS, L., 1951, *Stratigraphy and sedimentation*. Freeman, San Francisco.
106. KRUMBEIN, W. et GARRELS, R., 1952, *Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials*. (J. Geol., n° 60, pp. 1-33.)
107. LAMBORN, K., 1951, *Limestones of eastern Ohio*. (Ohio div. of Geol. Survey, 4th series, Bull. 29.)
108. LE RICHE, H. H., 1959, *The distribution of certain trace elements in the lower Lias of southern England*. (Geoch. et Cosm. Acta, vol. 16, p. 101.)
- 108^{bis}. LESLEY, Y., 1879, *Notes on a series of analyses of dolomitic limestone rocks of Cumberland Co. Penn.* (2th. Geol. Survey, pp. 311-362.)
109. LOMBARD, A., 1953, *Directives pour le levé de coupes lithologiques et stratigraphiques*. (Revue Cercle des Sciences, Univ. Bruxelles, vol. I.)
- 109^{bis}. — 1953, *Géologie sédimentaire*. Vaillant-Carmanne, pp. 1-722.
110. MACCUE, 1939, *Limestones of West Virginia*. (West Virginia Geol. Survey, vol. XII, 560 p.)
111. MAMET, B., 1957, *Évolution des lithofaciès du Viséen de la région de Basècles-Blaton*. (Thèse, pp. 1-280.)
112. — 1958, *Données nouvelles sur la stratigraphie, la paléontologie et la sédimentologie du Viséen moyen et supérieur de la région de Basècles-Blaton*. (Bull. Soc. belge de Géol., pp. 368-381.)
113. — 1961, *Réflexions sur la classification des calcaires*. (Bull. Soc. belge de Géol., pp. 48-64.)
114. MARLIÈRE, R., 1929, *Sur la présence d'un poisson arthrodire du genre Dinichtys dans le Frasnien moyen de la Belgique*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 53, pp. 154-164.)
115. — 1929, *Observations complémentaires sur Dinichtys sp. ind. du Frasnien de Mazy*. (Ibidem, pp. 251 et 262.)
116. — 1936, *Session extraordinaire tenue à Mons par la Société géologique de Belgique*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 60, pp. 45-106.)
117. MEINSCHEN, W., 1961, *Significance of hydrocarbons in sediments and petroleum*. (Geoch. et Cosm. Acta, p. 58.)
118. MILLOT, G., 1949, *Relations entre la constitution et la genèse des roches argileuses*. (Bull. Ass. Ing. Geol. Univ. Nancy, vol. II, n° 2-4.)
119. MILLER, 1934, *Limestones of Pennsylvania*. (Penn. Geol. Survey, Bull. M. 20.)
120. MONSEUR, G., 1956, *A propos de l'anthraxolithe de Visé*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 80, pp. 219-231.)
121. MORTELMANS, G. et BOURGUIGNON, P., 1954, *Le Dinantien. Prodrôme d'une description géologique de la Belgique*, Vaillant-Carmanne, Liège.

122. MORTELMANS, G. et LEGRAND, R., 1956, *Le sondage de l'Asile d'Aliénés à Tournai. Reconnaissance du Tournaisien moyen. Présentation d'échantillons.* (Bull. Soc. belge de Géologie, 1956, t. 65, pp. 347-355.)
123. — 1959, *Le sondage de l'Asile d'Aliénés à Tournai et le problème de la stratigraphie du Tournaisien de Tournai.* (Bull. Soc. belge de Géologie, 1959, t. 68, pp. 335-348.)
124. NEWELL, N. D., etc., 1953, *The Permian reef complex of the Guadalupe Mountain.* Freeman, San Francisco.
125. OKAMOTO, G., OKURA, T. et GOTO, K., 1957, *Properties of silica in water.* (Geoch. et Cosm. Acta, n° 12, pp. 123-132.)
126. ORTON, 1906, *Limestones resources and lime industry in Ohio.* (Ohio Geol. Survey, 4th. series, Bull. 4, pp. 20-248.)
127. OSTROM, M., 1961, *Separation of clay minerals from carbonate rocks by using acids.* (J. Sed. Pet., pp. 123-129.)
128. PAREYN, C., 1959, *La limite paléontologique entre le Viséen et le Namurien dans le Sahara occidental.* (Bull. Soc. Linnéenne de Normandie, n° 9, série 9.)
129. — 1959, *Les récifs carbonifères du Grand Erg occidental.* (Bull. Soc. Géol. de France, t. 1, 7^e série, pp. 347-365.)
130. PETENAN, M., 1960, *Mineralogy and petrology of upper Mississippian Carboniferous rocks of Cumberland Plateau in Tennessee.* Thesis, Harvard.
131. PETTJOHN, F., 1957, *Sedimentary rocks.* Harper and Brothers, New York.
132. PRAY, L. C., 1954, *Fifth field conference.* (New Mexico Geological Society, pp. 92-106 et 185-188.)
133. — 1959, *Fenestrate Bryozoan core facies Mississippian bioherms, southwestern United States.* (J. Sed. Pet., vol. 28, n° 3, pp. 261-273.)
134. RENIER, A., 1919, *Note sur quelques végétaux fossiles du Dinantien moyen de Belgique.* (Mém. Soc. géol. de Belgique, t. II, pp. 85-92.)
135. — 1925, *Sur la présence de Dictyonema dans le « marbre noir » de Denée.* (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 48, p. 311.)
136. RIES, 1897-1901, *Limestones and cement industry.* (N. Y. State Geol., 17th Annual report, pp. 355-467. Également N. Y. State Museum Bulletin.)
137. RODGERS, J., 1957, *Distribution of the marine carbonate sediments.* (A review. J. Sed. Pet. Sp., Publ. n° 5, pp. 1-11.)
138. RONOY, A., 1958, *Organic carbon in sedimentary rocks (in relation to the présence of petroleum).* (Geochemistry, n° 5, pp. 510-536 [du texte anglais].)
139. ROUGE, P., DE CHARPAL, O. et MONTADERT, L., 1959, *Relations réciproques entre dolomitisation et fraction silicatée des roches carbonatées.* (C. R. Ac. Sc., t. 248, pp. 435-436.)
140. SALÉE, A., 1911, *Sur le mode d'écrasement de polypiers du « marbre noir » de Denée.* (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 25, pp. 133-135.)
141. — 1920, *Excursion dans la vallée de la Méhaigne de Funal à Moha.* (Bull. Soc. belge de Géol., t. 30, p. 136.)
142. SCHWARZACHER, W., 1946, *Sediment petrographische Untersuchungen Kalkalpine Gesteine.* (Jahr. Geol. Bundesanst., vol. 78, pp. 1-52.)
143. — 1958, *The stratification of the Great Scar limestone in the Settle district of Yorkshire.* (Liverpool and Manchester Geol. Journ., vol. 2, pp. 124-142.)
144. — 1961, *Petrology and structure of some lower Carboniferous reefs in Northwestern Ireland.* (AAPG, Bull., vol. 45, pp. 1431-1503.)

145. SLOSS, L. L., 1947, *Classification of limestone on the basis of their depositional environment*. (J. Sed. Pet., pp. 109-113.)
146. — 1953, *The significance of evaporites*. (J. Sed. Pet., vol. 23, pp. 143-161.)
147. — 1958, *Paleontological and lithologic associations*. (J. Pal., n° 32, pp. 715-729.)
148. SMITH, G., 1915, *Mineral resources of Michigan*. (Michigan State Survey, Publ. 21, Geol. Serv.)
149. SORBY, H., 1879, *Presidential address to the Geological Society*. (QJGS, t. 35, London, pp. 86-87.)
150. SOREIL, G., 1895, *Note sur la faune du « marbre noir » de Denée*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 22, p. 127.)
151. — 1900, *Compte-rendu de la session extraordinaire de la Société*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 28, p. 301.)
152. SOULTANOV, A., 1947, dans STRACKOFF, 1957, *Méthode de détermination de l'Eh et du pH des roches sédimentaires*, t. II, pp. 115-125.
153. SPEIGHTS, D. et BRUNTON, G., 1961, *Clay mineral distribution in Permo-Penn. shales of Val Verde basin and Yates-Todd Arch*. (AAPG, Bull., pp. 1957-1971.)
154. STAINIER, X., 1890, *Contribution à l'étude du Frasnien*. (Mém. Soc. géol. de Belgique.)
155. STEITZMAN, E., 1917, *Origin of dolomite as disclosed by stains and other methods*. (GSA Bull., vol. 28, pp. 431-450.)
156. — 1924, *Limestones and marls of Wisconsin*. (Wisc. Geol. and Nat. Sc. Survey, Econ., series 22, Bull. 66.)
157. STEVENS, R. et CARRON, M., 1948, *Field test for minerals by pH abrasion*. (Am. Min., vol. 33, pp. 31-49.)
158. STOUT, W., 1944, *Dolomites and limestones of Western Ohio*. (Ohio State Geol. Survey, 4th series, Bull. 42.)
159. STRACKOFF, N., 1957, *Méthodes d'étude des roches sédimentaires*. Moscou. Traduction C.N.R. Sc., Paris, 2 tomes.
160. TEICHMÜLLER, M., KALIFEH, Y., ROUCADE et LOUIS, M., 1960, *Transformation de la matière organique*. (IFP Revue, vol. XV, n° 11, p. 1567.)
161. TRASK, P. et PATNODE, H., 1942, *Sources beds of Petroleum*. (AAPG, Tulsa.)
162. TWENHOFEL, W. H., 1950, *Principles of sedimentation*. Mc Graw Hill, New York.
163. UBAGHS, G., 1941, *Les graptolithes dendroïdes du « marbre noir » de Denée (Viséen inférieur)*. (Bull. Mus. roy. Hist. nat. de Belgique, t. 17, n° 2.)
164. VAN STRAELEN, V., 1926, *Sur la présence de restes de méduses trouvés dans le Calcaire Carbonifère de Belgique*. (Bull. Acad. roy. de Belgique, Cl. Sc., p. 952.)
165. VARLAMOFF, N., 1936, *Stratigraphie du Viséen du massif de la Vesdre*. (Mém. Soc. géol. de Belgique, fasc. 3, pp. 133-188.)
166. — 1936, *Quelques précisions sur la stratigraphie des calcaires viséens de la fenêtre de Theux*. (Ann. Soc. géol. de Belgique, t. 60, pp. 313-320.)
167. VATAN, A. et ROUGE, P., *Pétrographie sédimentaire*. (Institut Français du Pétrole. Paris.)
168. WARSHAW, C. M. et ROY, R., 1961, *Classification and scheme for identification of layer silicates*. (GSA, Bull., t. 72, p. 1455.)
169. WEAVER, C., 1960, *Possible uses of clay minerals in search for oil*. (AAPG, Bull., p. 1505.)
170. WHITE, D., etc., 1956, *Silica in hot spring waters*. (Geoch. et Cosm. Acta, vol. 10, pp. 27-59.)
171. WOODWARD, H., 1924, *Un nouvel élasmoderme du Calcaire Carbonifère inférieur de Denée*. (Livre Jub. Soc. géol. de Belgique, p. 59.)
172. WOOLNOUGH, W., 1937, *Sedimentation in barred basins and source rocks of petroleum*. (AAPG, Bull., vol. 21, pp. 1101-1157.)
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
ABSTRACT — RÉSUMÉ	3
REMERCIEMENTS	4
INTRODUCTION GÉNÉRALE	5
CHAPITRE I. — Les observations de terrain et la lithostratigraphie	
locale	9
A. — Quelques définitions de termes sédimentologiques	9
B. — Le « marbre noir » de Golzinne	11
1° Historique	11
2° Série virtuelle locale	11
3° Étude détaillée des affleurements	12
4° Corrélations séquentielles	17
C. — Le « marbre noir » de Dinant	18
1° Historique	18
2° Série virtuelle locale	20
3° Étude détaillée des affleurements	20
4° Corrélations séquentielles	28
D. — Le « marbre noir » de Basècles	31
1° Historique	31
2° Série virtuelle locale	31
3° Étude détaillée des affleurements	32
4° Corrélations séquentielles	34
CHAPITRE II. — Les observations de terrain et la lithostratigraphie	
générale	35
A. — La notion de corrélation séquentielle	35
1° Valeur des séquences et constance de leur évolution	35
2° Faciès et bathymétrie des dépôts	36
3° Synchronisme des séquences. Notions de séquotope et de séquostratigraphie ...	36
4° Notion et utilité des sections-types équivalentes	37
5° Contrôle et confirmation des corrélations séquentielles	37
B. — La notion de coefficients de trouble et de variation	43
C. — La paléogéographie du « marbre noir » de Dinant	45
1° Évolution théorique du terme polyséquentiel	46
2° Évolution théorique du terme monoséquentiel	47
3° Analyse détaillée des séquences	47
4° Transgression des faciès. Cas de la « transgression viséenne »	50
5° Conclusions relatives à la paléogéographie des « marbres noirs »	52
D. — Les critères de polarité des couches	52

CHAPITRE III. — Un essai d'établissement d'une classification rationnelle des roches calcaires	55
A. — Généralités	55
B. — L'aspect chimique du problème	55
C. — L'aspect pétrographique et écologique du problème	55
1° Rappel de quelques hypothèses récentes	55
2° Cas du « marbre noir » de Dinant	56
D. — Une proposition d'une classification nouvelle	62
E. — Les résultats obtenus pour le Dinantien franco-belge	64
F. — Conclusions	66
CHAPITRE IV. — L'écologie des « marbres noirs »	67
A. — La macroécologie du « marbre noir » de Dinant	67
1° Valeur stratigraphique des assises du Dinantien	67
2° Diagramme d'abondance de macrofaune	71
3° Remarque sur le mode de fossilisation	75
B. — La microécologie du « marbre noir » de Dinant	76
1° Introduction	76
2° Méthode de travail	76
3° Microécologie du « marbre noir » de Dinant	77
4° Microécologie de l'ensemble du Viséen gallo-belge	84
5° Conclusions générales	98
CHAPITRE V. — Les aspects chimiques de la sédimentation des calcaires dinantiens	99
A. — Les analyses chimiques quantitatives	99
B. — Le problème des insolubles	101
1° Étude mégascopique	101
2° Étude qualitative des argiles	102
3° Étude de la matière organique	105
a) Dosage du carbone organique	105
b) Dosage de l'azote	108
c) « Nombre de Trask » ou « nombre de réduction »	108
d) Rapport nombre de Trask/carbone	110
e) Potentiel d'abrasion	111
f) Oligoéléments	112
C. — Le problème des calcaires dolomitisés	118
1° Présentation du problème	118
2° Dosage du carbonate de magnésium et mode opératoire	118
3° Résultats et discussion	118
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	121
BIBLIOGRAPHIE	123
TABLE DES MATIÈRES	130
PLANCHES	132

PLANCHE I

EXPLICATION DE LA PLANCHE I.

« Marbre noir » de Golzinne.

PHOTO 1.

Carrière Joseph Étienne (n° 5).
Rythmes; Golzinne 4 à 7.
Remarquez l'altération typique du « mâle » (Golzinne 5).

PHOTO 2.

Carrière Artoisenet (n° 15).
Rythmes; Golzinne 2 à Golzinne 9.
Golzinne 2 constitue la partie exploitée souterrainement. Golzinne 3 forme le toit de l'exploitation.
Golzinne 5 se reconnaît à son altération typique (voyez la photo 1).

PHOTO 3.

Carrière Artoisenet (n° 15).
Rythmes; Golzinne 2 à Falnuée 4.
Le tunnel entame les séquences 5 à 7. Le calcaire de Falnuée débute à l'extrême droite et au sommet de la photo; son aspect caractéristique s'observe sur la paroi au-dessus du tunnel.

« Marbre noir » de Dinant.

PHOTO 4.

Carrière de Houx. S. A. La Routière (n° 34).
Rythmes 7 à 10.
La monoséquence 8 est la hauteur du toit du bulldozer. Les galeries de mines sont dans la partie supérieure de la séquence 9.

PHOTO 5.

Tranchée de Maredret (n° 17).
Séquences 7 à 10 du lithotope de transition.
La stratification si apparente dans la photo précédente, s'estompe dans le lithotope de transition.
On reconnaît aisément la monoséquence 8 à la hauteur de la voie ferrée.

PHOTO 6.

Grande carrière de Salet (n° 27).
Détail de la polyséquence 7 surmontée de la monoséquence 8.

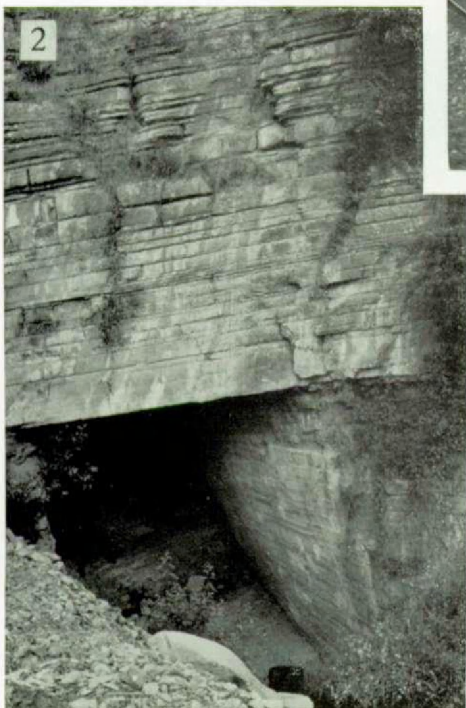
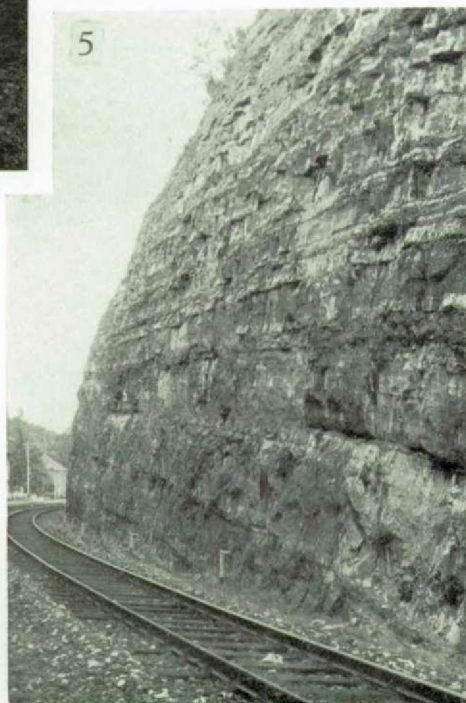


PLANCHE II

EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

PHOTO 7.

Carrière du synclinal de Mont-Anseremme (n° 68).

Vue générale de la carrière qui expose le Tournaisien supérieur surmonté des 10 premiers rythmes du Viséen inférieur. La différence de style sédimentaire apparaît nettement entre la monoséquence du Tournaisien et les calcaires rythmiques du Viséen.

PHOTO 8.

Falize Gilles (n° 10).

Passage entre 9 A et 9 B. La « veine » des carriers est séparée des « gahis » par le « gros banc ».

« Marbre noir » de Basècles.

PHOTO 9.

Carrière Marchaux (n° 1).

Sommet de la séquence 3 et base de 4.

Le personnage est à la hauteur du « banc de 7 pieds » qui n'expose guère de slumping. La monotonie des faciès de la séquence 4 et la stratification plan-parallèle sont frappantes.

PHOTO 10.

Carrière Bernard (Nord) (n° 5).

Détail de la séquence 2 et base de la séquence 3.

On reconnaît, tout en haut de l'affleurement, le « banc de 7 pieds » et les « circassiennes ».

PHOTO 11.

Carrière Rolland (n° 11).

Les « circassiennes » et le « banc de 7 pieds ».

La photo étant prise Est-Ouest, les loupes de slumping apparaissent comme des strates lenticulaires.

PHOTO 12.

Carrière Bernard (Nord) (n° 5).

Vue de détail des loupes de décollement du « banc de 7 pieds ».

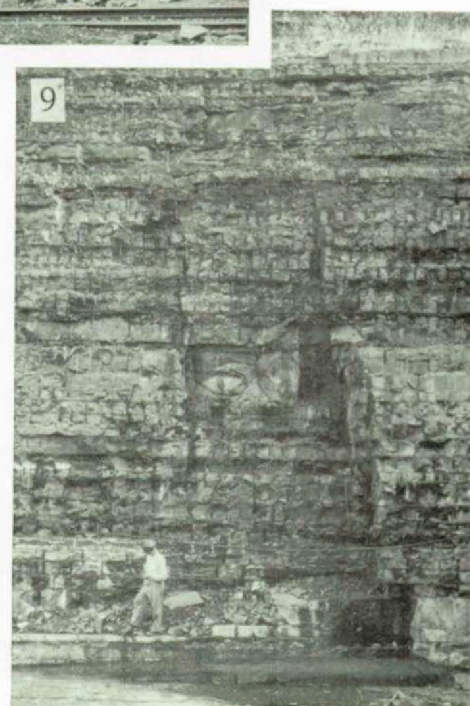
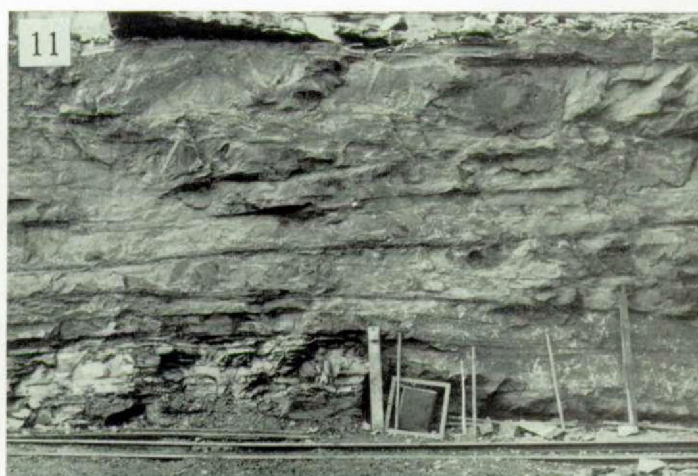


PLANCHE III

EXPLICATION DE LA PLANCHE III.

PHOTO 13.

Intragrumite $\alpha 2g$.
Carrière Pouilles. Viséen inférieur. $\times 75$.
Cette photo (comme la photo 19) illustre le type d'intraclasts le plus courant du Dinantien.

PHOTO 14.

Polygrumite passant à une intrabiomicrite $\alpha \gamma 123g - \alpha 12m$.
Carrière Hosselet. Etrœungt. Tournaisien inférieur. $\times 75$.

PHOTO 15.

Micrite m.
Carrière Gilles. Viséen inférieur. $\times 75$.
C'est une microphoto typique du « marbre noir » de Dinant.

PHOTO 16.

Intramicrodile passant à une intrasparudite. $\alpha 11m - \alpha 11s$.
La Rocq. Etrœungt? $\times 75$.

PHOTO 17.

Micrite m.
Carrière Tanret. Viséen inférieur. $\times 75$.
Un autre aspect typique du « marbre noir » de Dinant.

PHOTO 18.

Archæodiscus dans une intrabiogrumite $\alpha 12g$. Viséen supérieur. $\times 180$ env.
La structure originelle des parois fibro-radiées est parfaitement visible bien que les cristaux de calcite soient jointifs. La structure étant conservée et la dimension des cristaux n'ayant guère varié, nous classons le sédiment parmi les calcaires non recristallisés.

PHOTO 19.

Intragrumite $\alpha 2g$.
Carrière Pouilles. Viséen inférieur. $\times 75$.

PLANCHE IV

EXPLICATION DE LA PLANCHE IV.

PHOTO 20.

$\pi\alpha\gamma 12$ passant à $\alpha\gamma 12s$.

Etrœungt. Carrière Hosselet. Tournaisien inférieur. $\times 75$.

PHOTO 21.

Biosparite $\alpha 1s$.

Sondage de l'Asile d'Aliénés à Tournai. Tournaisien moyen. $\times 75$.

L'abondance d'algues est très remarquable.

PHOTO 22.

Intrabiosparudite αI II s .

La Rocq. Etrœungt ? $\times 75$.

PHOTO 23.

Intrabiosparite $\alpha 12s$.

Carrière Lebrun près de Bachant. Viséen inférieur. $\times 75$.

PHOTO 24.

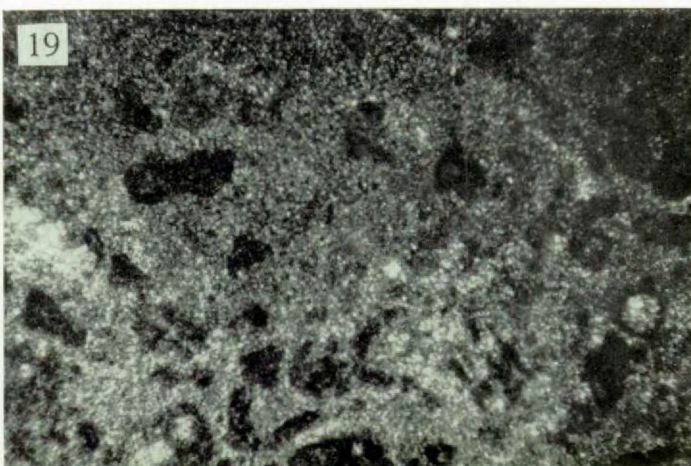
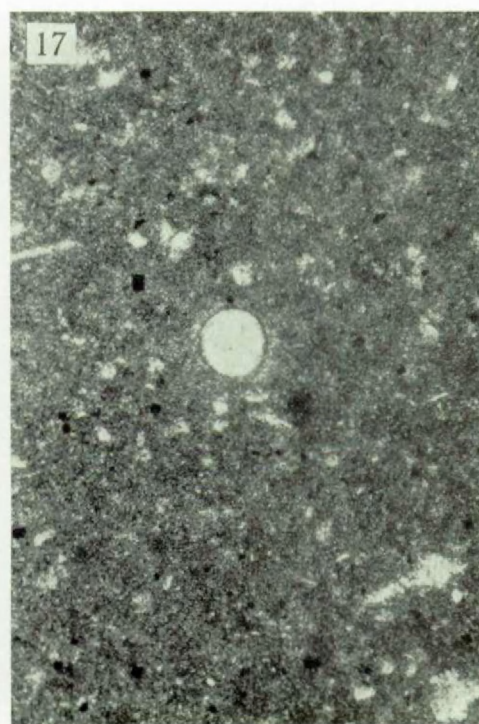
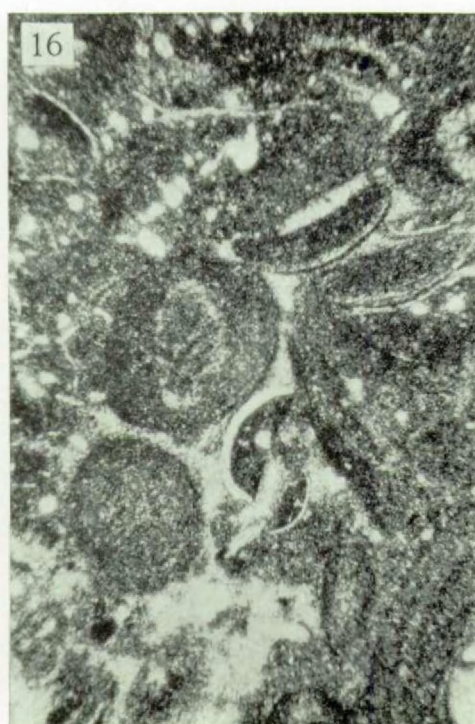
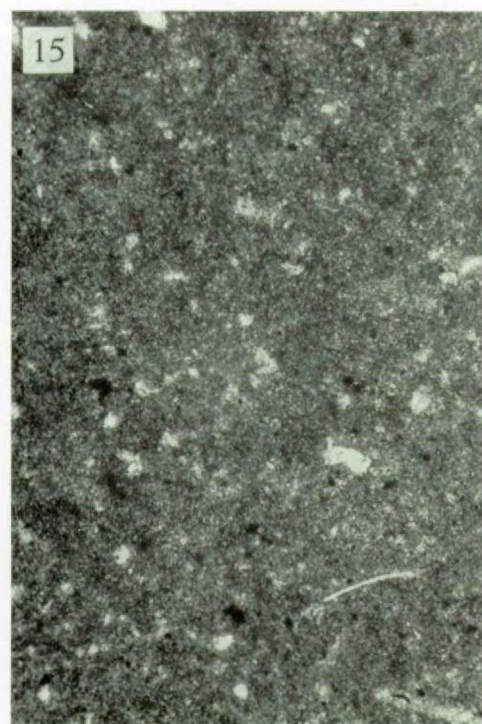
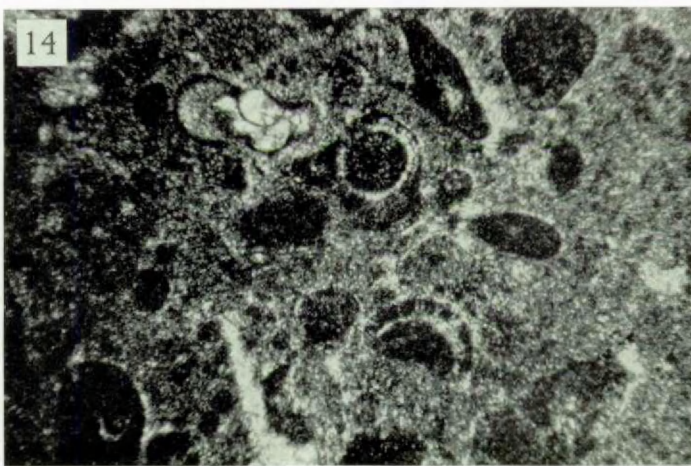
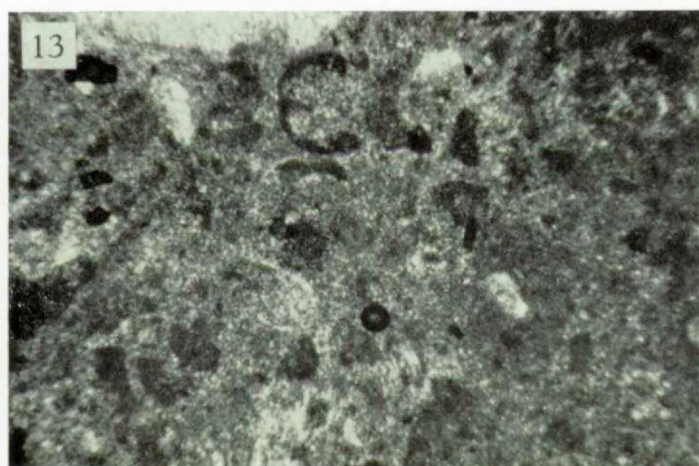
Oosparite $\pi\alpha 3$ - $\alpha 3s$.

Carrière de Godin près d'Avesnes. Viséen inférieur. $\times 75$.

PHOTO 25.

Introosparudite αII III s .

Carrière de Godin. Viséen inférieur. $\times 75$.



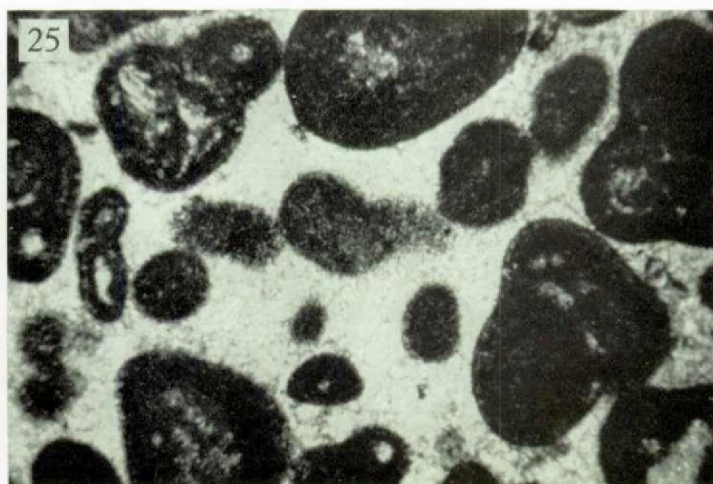
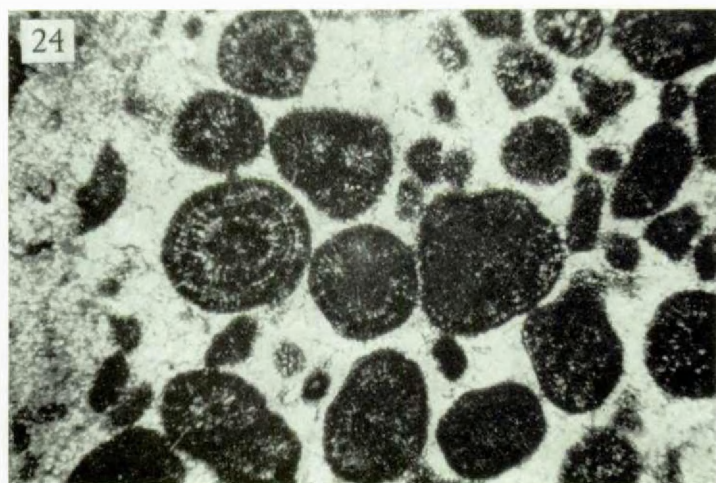
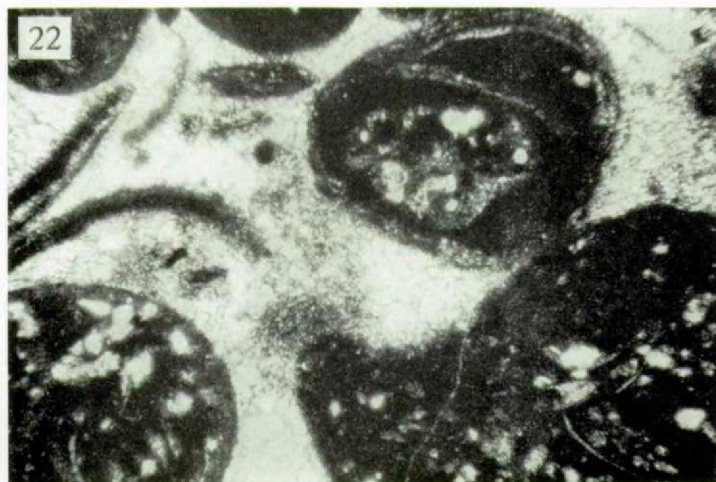
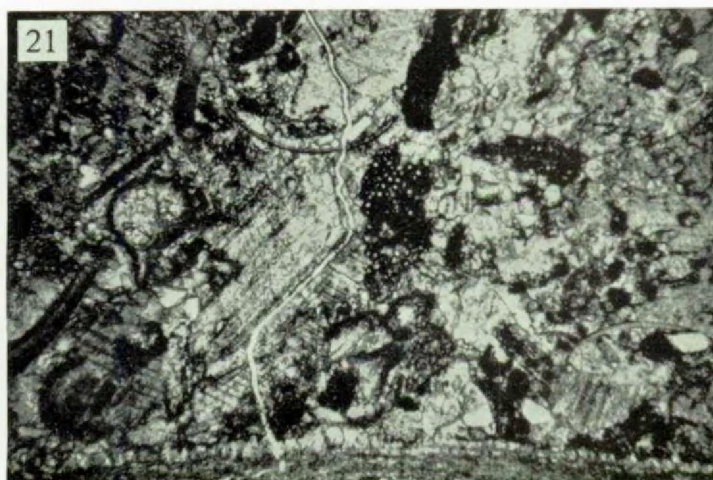
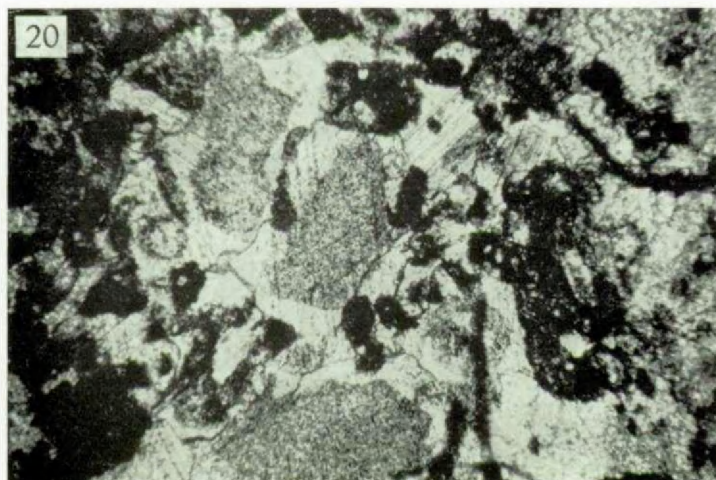


PLANCHE V

EXPLICATION DE LA PLANCHE V.

PHOTO 26.

Intragrumite $\alpha 23g$.
Etroeungt. Carrière Hosselet. Tournaisien inférieur. $\times 75$.

PHOTO 27.

Biomicrorite $\alpha 1m$.
Carrière Pouilles. Viséen inférieur. $\times 75$.

PHOTO 28.

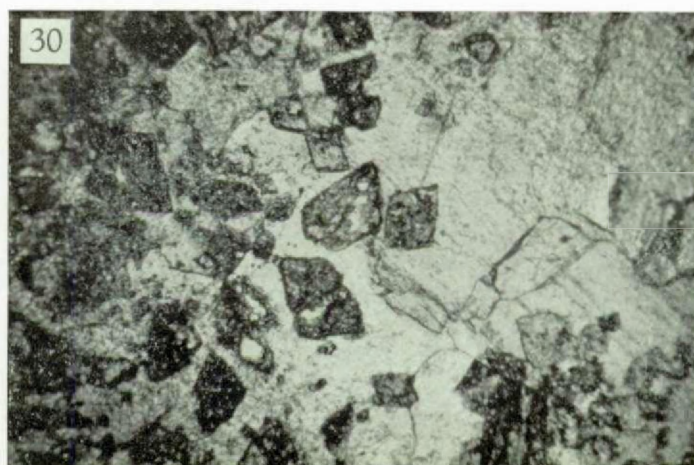
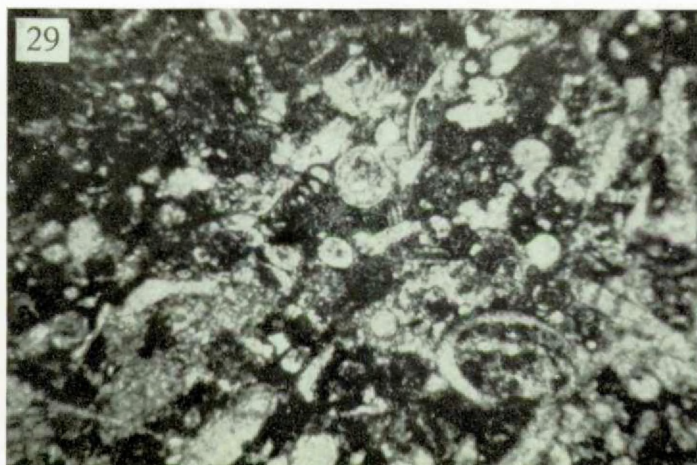
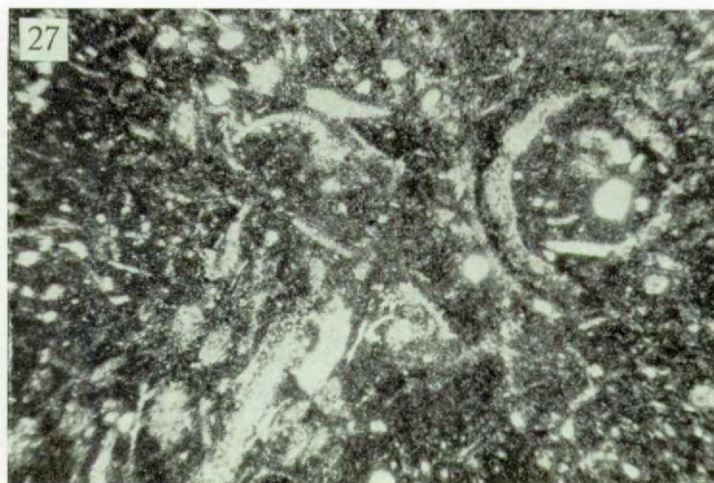
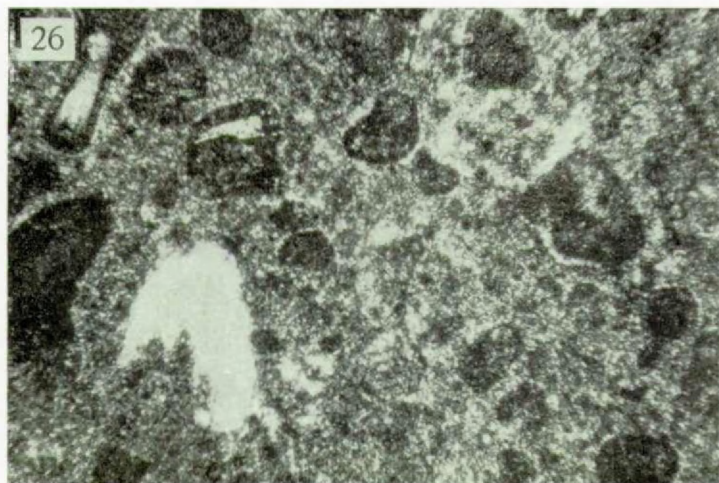
Contact franc entre le marbre noir (m) et une intrasparite ($\alpha 2s$).
Carrière Pouilles. Viséen inférieur. $\times 75$.

PHOTO 29.

$\pi 12g$. Carrière Pouilles. Viséen inférieur. $\times 75$.
Un foraminifère calcaire (*Brunsia* emend.) occupe le centre de la photo.

PHOTO 30.

$\gamma 31$. On reconnaît avec peine quelques fantômes de crinoïdes.
Warnant. Viséen supérieur. $\times 75$.





IMPRIMERIE HAYEZ, s.p.r.l.
112, rue de Louvain, 112, Bruxelles 1
Gérant: M. Hayez, av. de l'Horizon, 39
Bruxelles 15