

## ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE DU SONDAGE DE GRAND-HALLEUX CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES (\*)

par L. FRANSSSEN (\*\*) et J. MICHOT (\*\*)

(3 figures et 1 tableau)

### RÉSUMÉ

Le sondage de Grand-Halleux est établi dans le cœur de l'anticlinal de Stavelot, dans les terrains devilliens, les plus anciens connus en Belgique. Il a traversé deux séries sédimentaires distinctes : la première (0 à 1900 m) est composée surtout de schistes et psammites verts, la seconde, dans laquelle le forage est arrêté à la profondeur de 3200 m, est formée principalement de phyllades noirs. L'association minérale de ces deux ensembles correspond à celle du sous-faciès supérieur des schistes verts : quartz-albite-muscovite-chlorite. Elle indique que le gradient géothermique était relativement faible dans cette partie de l'orogène calédonien. Jusqu'à 500 m environ, la stratification est fortement plissée ; en profondeur, son pendage, comme celui de la schistosité, acquièrent progressivement une allure horizontale. Cette disposition et l'existence de microstructures caractéristiques, telles les auréoles d'éirement, soulignent l'importance du glissement différentiel qui s'est développé dans les niveaux inférieurs de l'ensemble sédimentaire. Ce glissement suivant des plans horizontaux laisse donc supposer une variation du style tectonique avec la profondeur.

### I. INTRODUCTION

Le Cambro-Ordovicien de la Belgique et des régions limitrophes comprend trois formations importantes que l'on désigne communément de haut en bas sous les termes de Salmien (Trémadocien), Revinien et Devillien. Les couches du Salmien ont livré de nombreuses *Dyctionema flabelliforme* permettant de les rattacher au Trémadocien, tandis que les formations de Revin et de Deville ne contiennent que de rares fossiles, d'ailleurs douteux (*Oldhamia*). La découverte toute récente d'*Acri-tarches* (M. Vanguetaine, 1967) dans les roches de la partie supérieure du Revinien (150 m en dessous du Salmien) du massif de Stavelot, a apporté quelques précisions sur leur âge ; elles appartiendraient au Cambrien ou au Trémadocien.

Les terrains devilliens, les plus anciens rencontrés en Belgique, affleurent dans le massif de Stavelot, à Grand-Halleux, où ils occupent une surface assez étendue liée à la formation d'un horst dont la présence a été mise en évidence par J. M. Graulich (1962). Dans le Salmien du flanc Sud et Sud-Est de ce massif, les roches révèlent les effets d'un métamorphisme sélectif, favorisé, semble-t-il, par la présence de manganèse. Elles renferment entre autres des minéraux bien caractéristiques tels que l'ottrélite et la spessartine. Ce dernier constitue la majorité de certains lits,

(\*) Communication faite durant la séance du 4 mars 1969. Manuscrit déposé le même jour.

(\*\*) Université Libre de Bruxelles, Laboratoire de Minéralogie et de Pétrologie, 50, avenue F.-D. Roosevelt, Bruxelles 5.

de quelques cm d'épaisseur, connus dans la région sous le nom de coticule. Le Devillien moins métamorphique ne contient que quelques couches dans lesquelles se disposent des cristaux de magnétite.

Il y avait ainsi plusieurs raisons de réaliser un sondage dans les environs de Grand-Halleux : entre autres, pour reconnaître le substratum de la série sédimentaire, observer l'évolution du métamorphisme avec la profondeur et éventuellement y déterminer l'allure du plissement.

L'étude géomagnétique préliminaire (J. M. Graulich, 1962) a permis d'éclaircir la tectonique de cette région et a justifié le choix de l'anticlinal de Bécharprez (1 km au Sud de Grand-Halleux) comme emplacement du sondage. C'est en effet dans cet anticlinal secondaire qu'on peut atteindre le plus rapidement les roches n'affleurant pas à la surface.

Le forage s'est fait par carottage continu sur un peu plus de 3.000 m. Les roches étant bien lapidifiées, le pourcentage « perte » est resté très faible. Une stampe complète a donc pu être examinée par le responsable du sondage, M. J. M. Graulich ; il en a conservé systématiquement un échantillon tous les 50 cm et s'est attaché à compléter les prélèvements partout où les roches présentaient des caractéristiques nécessitant une étude complémentaire.

La forte déviation du sondage ( $10^{\circ}$ ) n'a pas permis de donner une valeur très précise au pendage des couches dans sa partie inférieure.

#### *Remerciements.*

Nous tenons à remercier Monsieur A. Delmer, Directeur du Service Géologique de Belgique et Monsieur J. M. Graulich qui nous ont permis d'accéder aux collections de ce Service, procuré une série de lames minces et fourni de très nombreuses données de terrain ; certaines de celles-ci sont d'ailleurs consignées dans notre tableau du sondage.

## II. DESCRIPTION GÉNÉRALE

(Tableau)

De 0 à 1990 m, le sondage traverse des alternances de péliphyllades verts et de roches verdâtres plus arénacées (des psammites, grès, quartzites et psammophyllades).

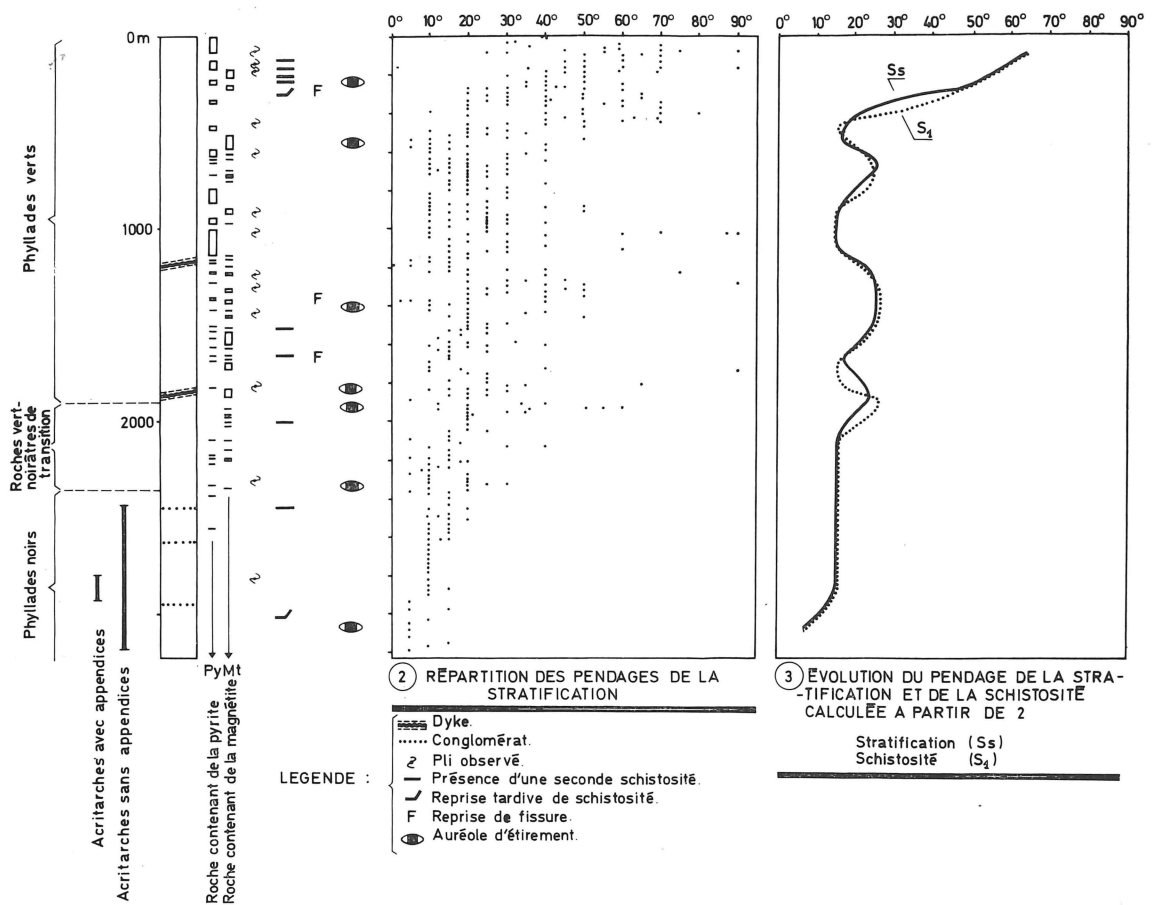
De 1900 à 2360 m, une série de roches vert foncé à noirâtres fait la transition avec des phyllades et des quartzophyllades noirs. C'est dans ce dernier ensemble que le sondage a été arrêté à la profondeur de 3220 m.

Dans les 500 premiers mètres, les plis à petite échelle sont nombreux et leurs flancs très resserrés ; leurs plans axiaux inclinent d'environ  $50^{\circ}$  à  $60^{\circ}$  au Sud. Ensuite l'impression prévaut qu'ils deviennent de moins en moins fréquents.

Dans la partie apparemment peu plissée du sondage, les strates acquièrent graduellement la position subhorizontale, disposition qu'elles gardent à quelques exceptions près, jusque dans les derniers mètres. Il faut noter cependant que les textures microscopiques se retrouvent aussi nettement exprimées dans l'un et l'autre cas, en particulier en ce qui concerne la schistosité, localement ondulée, et les auréoles d'étirement.

La schistosité est légèrement transverse à la stratification dans les premières centaines de mètres ; plus bas, elle se dispose généralement parallèlement ou sub-parallèlement aux couches. Son pendage suit la même évolution que ces dernières et s'atténue progressivement, devenant presque horizontal après 500 mètres.

# TABLEAU DU SONDAGE DE GRAND-HALLEUX



Phyllades verts

Phyllades noirs

Roches vertes-noirs de transition

Acritarches avec appendices

Acritarches sans appendices

PyMt

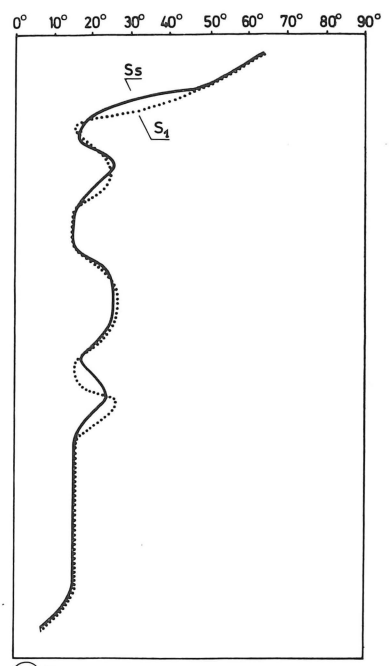
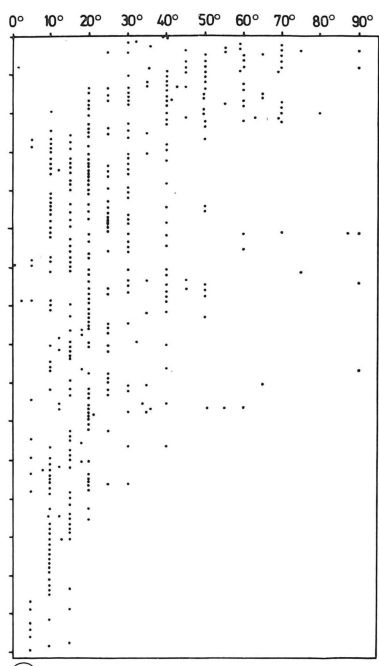
Roche contenant de la pyrite

Roche contenant de la magnétite

0m

1000

2000





Deux dykes recoupent les pélophyllades verts, le premier, à 1200 mètres est complètement chloritisé ; il s'agit vraisemblablement d'une diabase. Dans le second, à 1900 mètres, on reconnaît encore les traces d'un pyroxène monoclinique et les baguettes de plagioclase. Il s'agit d'un gabbro finement grenu dont les minéraux sont rétrotransformés par autométamorphisme en hornblende verte, chlorite, épidote, saussurite et carbonate. Il existe une légère fracturation contemporaine de l'autométamorphisme. Les schistes encaissants n'ont pas subi de métamorphisme de contact appréciable, même au microscope.

Les seuls fossiles rencontrés, à l'exception des *Oldhamia*, sont les Acritarches (M. Vanguetaine, 1968). Si les schistes verts se sont révélés stériles, les schistes noirs par contre ont livré de nombreuses formes très bien conservées. M. Vanguetaine y a dénombré et décrit deux assemblages bien distincts : le premier, composé de formes à appendices complexes caractéristiques du Cambrien, se rencontre depuis 2787 m jusqu'à 2922 m. Le second ne contient que des formes à morphologie simple et présente une plus grande extension aussi bien dans la partie supérieure que dans la partie inférieure : de 2448 jusqu'à 3175 m. Si le premier assemblage est donc cambrien, l'âge précambrien — ou cambrien — des couches contenant uniquement le second assemblage n'est pas encore démontré.

### III. DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES

#### A. Les roches de teinte verdâtre

##### 1. *Pélophyllades.*

Ces roches sont composées essentiellement de paillettes de séricite (illite) et de chlorite (\*) longues de quelques microns, très bien orientées, dessinant une schistosité de flux excellente dans la plupart des cas (\*\*). Le quartz y est rare et apparaît en grains de quelques microns de diamètre.

La majorité de ces pélophyllades contient de petits nodules oblongs constitués d'un empilement de lamelles de chlorite englobant en sandwich des paillettes de muscovite. Cet empilement se présente sans rapport avec l'allongement des nodules disposés eux-mêmes en conformité avec la texture schisteuse. On y décèle bien souvent des torsions ou des cassures, indices de l'antériorité de ces nodules vis-à-vis de la texture orientée. La présence de nodules semblables n'est pas exceptionnelle et a déjà été signalée dans d'autres régions (P. Antun, 1962). Ils paraissent pouvoir être considérés comme des éléments détritiques.

Parmi les minéraux accessoires, le rutile est le plus abondant ; il apparaît sous

(\*) Les diffractogrammes aux rayons X donnent, pour l'illite une valeur très petite de l'aigu, indiquant un bon degré de cristallinité, et pour la chlorite, une distance intrafoliaire relativement petite caractéristique des remplacements de Si par Al. Les chlorites de Grand-Halleux (y compris septechlorites) comprendraient 1,7 à 2 % d'Al de remplacement.

(\*\*) Nos interprétations microscopiques se basent sur les définitions de C. K. L. Leith (1905) conformes à celles de P. Fourmarier (1950, pp. 654-657).

« *Fracture cleavage* is conditioned by the existence of incipient, cemented or welded parallel fractures, and is independent of a parallel arrangement of the mineral constituents.

» *Flow cleavage* is conditioned solely by a parallel arrangement of the mineral constituents. »

Remarquons cependant que la nature offre toutes les variétés entre ces deux types extrêmes.

la forme de fines aiguilles présentant souvent la mâcle en genou et très fréquemment agglomérées en pelotes. La tourmaline, assez commune, s'entoure d'une bordure de néoformation d'aspect plus clair que le grain détritique originel. Pyrite et magnétite sont très abondantes dans certains niveaux ; leurs répartitions sont reportées sur le tableau. On y voit que les couches pyriteuses alternent régulièrement avec les couches à magnétite. Ces deux minéraux donnent lieu au développement d'auroles d'étirement dont nous reparlerons plus loin, auroles dans lesquelles se trouvent associées quelques plages d'anhydrite de petites dimensions. Signalons que les phyllades à magnétite ont une teinte légèrement plus violacée que les phyllades contenant la pyrite.

## 2. Quartzites, grès, psammites et psammophyllades inéqui-granulaires.

La majeure partie de ces roches est composée de grains de quartz séparés les uns des autres par une réticulation séricito-chloritique, ou moins fréquemment carbonatée. Le classement y est en général fort mauvais ; dans la majorité des échantillons les dimensions des grains s'échelonnent entre 10  $\mu$  et 2 mm (\*).

Les grains de quartz se présentent sous des formes diverses dépendant surtout de leur granularité. Les plus gros d'entre eux ont souvent une forme ovale et sont disposés parallèlement à la texture orientée. Les auroles d'accroissement n'apparaissent qu'aux extrémités des grains lenticulaires où elles constituent de fines dentelures entre lesquelles sont implantées des paillettes de chlorite et de séricite. L'extinction ondulante est d'habitude peu marquée.

Dans les roches quartzitiques apparaît une structure à caractère légèrement cataclastique : les grains de quartz les plus gros ont des contours déchiquetés, une extinction ondulante et sont noyés dans une matrice composée de quartz généralement anguleux grossièrement disposés suivant la texture. Notons cependant que les lamelles de déformation (lamelles de Böhm) ont été rarement observées.

Toutes les roches arénacées contiennent environ 5 % de grains de plagioclase ; dans certains cas cependant, leur proportion peut atteindre 25 %. Leur composition est du type albite-oligoclase ; quelques grains à structure en damier et plus rarement quelques grains de feldspath potassique ont pu être observés. Tous ces feldspaths sont en général peu altérés ; les bordures d'accroissement sont rares et lorsqu'elles existent, très souvent discontinues. De nombreux grains révèlent des traces de déformation et de granulation. Leurs dimensions sont inférieures à celles du quartz.

Le zircon est fréquent ; on le rencontre sous la forme de grains ou de bâtonnets parfois métamictes, aux bords arrondis. Ses dimensions varient en général autour de 100  $\mu$ . La tourmaline est également présente ainsi que le rutile.

### B. Les roches de teinte noirâtre : *pélophyllades, psammites, grès et conglomérats noirs*

Après avoir traversé des couches violacées ou vert-noirâtres, couches de transition, le sondage recoupe de 2360 m jusqu'à sa base une formation constituée essentiellement de phyllades noirs, brillants, très fissiles, se débitant suivant la schistosité. Ces roches sont formées de séricite et de chlorite ; leur couleur foncée est due à la présence de matières organiques cryptogrenues et finement dispersées.

(\*) Le système de classification adopté est celui de P. Michot (1958). Nous avons ajouté l'adjectif inéqui-granulaire pour souligner le mauvais classement des roches que nous avons examinées.

Des laiettes de psammophyllades, de teinte plus claire, en fines alternances avec des laiettes plus sombres donnent localement à cet ensemble sédimentaire un aspect varvaire. Les roches arénacées sont moins fréquentes ; signalons toutefois l'existence de quelques niveaux de quartzite, de psammite et de micropsammite. Nous avons également observé trois niveaux présentant l'aspect de turbidites. Il s'agit dans chaque cas d'une roche constituée d'une matrice quartzeuse, chloriteuse et carbonatée dans laquelle sont empâtés des galets aplatis suivant la stratification, de composition fort diverse, certains phosphatés, mêlés à des granules de pyrrhotine, l'ensemble passant assez rapidement à un psammite clair ne renfermant plus que quelques cailloux noirâtres. La nature des cailloux et la structure générale de la roche présentent de grandes ressemblances avec les poudingues phosphatés de Coö décrits par J. Michot (1958).

La pyrrhotine et la pyrite sont extrêmement abondantes, le rutile y est très commun, la tourmaline, rare.

### C. Minéraux de néoformation

#### 1. Agrégats de chlorite.

Certains échantillons de pélrophyllade vert contiennent de petits agrégats de forme lenticulaire, allongés parallèlement à la schistosité (fig. 1). Ils sont constitués d'un feutrage de chlorite microcristalline de couleur verte, peu pléochroïque, à dispersion violette, feutrage dans lequel sont dispersées quelques très fines paillettes de séricite.

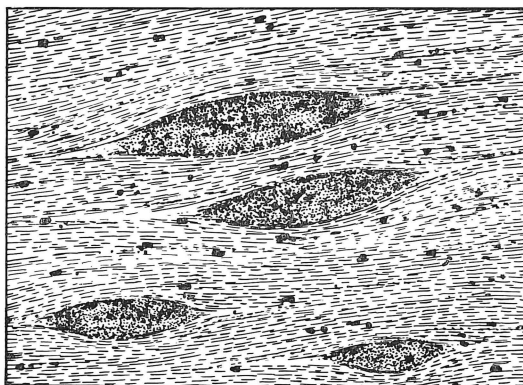


Fig. 1. — Agrégats de chlorite microcristalline déviant la schistosité.  
(444 m. ; 40 ×)

Ces agrégats provoquent généralement la déviation de la schistosité, phénomène particulièrement net au microscope grâce à la variation de la biréfringence des lamelles phylliteuses de la pâte. A leurs extrémités cependant, dans une zone plus ou moins étroite et effilée, la pâte ne présente aucune orientation préférentielle.

Il semble bien que la formation de ces agrégats corresponde à un processus développé antérieurement ou simultanément à la schistosité, résultant soit de la concentration de chlorite par diffusion dans certaines zones privilégiées de la roche, suivie d'un remaniement lors des dernières phases de la déformation, soit de la rétomorphose d'un minéral lié à un métamorphisme antérieur.

## 2. *Anhydrite.*

Ce minéral se présente très localement, soit dispersé dans la roche, sans orientation préférentielle, au contact de la pyrite partiellement altérée, soit dans les fissures, dans les auréoles d'étirement des minéraux opaques ou dans leur voisinage.

L'anhydrite est toujours xénoblastique, parfois poeciloblastique. Ses mâcles sont nettes, mais on n'observe que rarement la présence des deux clivages à angle droit.

Il s'agit de toute évidence d'une minéralisation liée aux dernières phases de la déformation et provenant très probablement de l'oxydation des sulfures.

## 3. *Magnétite et pyrite.*

De 0 à 2.200 m, les niveaux à magnétite alternent plus ou moins régulièrement avec les niveaux pyriteux. Comme nous l'avons souligné plus haut, les pélophyllades à magnétite se caractérisent du point de vue de la coloration par une teinte plus violacée qui les distingue assez nettement des pélophyllades verdâtres.

La magnétite s'y présente en petits octaèdres de taille habituellement inférieure au mm ; la pyrite de son côté, recrystallise en petits cubes de dimensions généralement du même ordre de grandeur, mais atteignant dans certains cas 1/2 cm, voire même 1 cm de côté. Ces divers cristaux sont entourés d'une auréole d'étirement souvent très nettement développée, ce qui paraît indiquer que leur formation est hâtive par rapport à l'action tectonique, qui comme nous le verrons d'ailleurs plus loin, aboutit localement à leur granulation.

#### IV. ASPECTS TECTONIQUE ET MICROTTECTONIQUE

De la surface jusqu'à 500 m environ, les plis sont nombreux et présentent un aspect qui se rapproche de l'allure isoclinale. Il s'agit de plis « semblables » à plan axial inclinant de 50° vers le Sud. Sous cette zone assez fortement plissée, les couches deviennent généralement subhorizontales ; elles paraissent moins déformées bien qu'à certains endroits on décèle encore quelques plis dont le plan axial cette fois, est subhorizontal. Ce style tectonique caractérise la majeure partie du sondage et s'observe jusque dans les faciès sédimentaires noirâtres de la base (Tableau et fig. 3).

##### A. *Schistosité*

La schistosité de flux est nettement exprimée dans les pélophyllades verts ; moins nette dans les psammophyllades de même teinte, elle présente un caractère de fracture dans les roches à structure réticulée ou quartzitique. Remarquons cependant que dans ces dernières roches, les minéraux phylliteux de la matrice s'y réorientent parallèlement à la texture et que les grains de quartz manifestent également une nette tendance à s'accroître et à s'allonger parallèlement à cette dernière.

Le pendage de la texture schisteuse est de 60° Sud à la surface, il s'atténue avec la profondeur pour atteindre vers 500 m la position subhorizontale qu'il gardera jusqu'à la base du sondage, hormis quelques variations tout à fait locales.

Dans les pélophyllades, la texture orientée est fréquemment déformée et affectée d'ondulations régulièrement répétées (« crenulation foliation ») : au microscope, on y observe une schistosité très fine reprise par un jeu très dense de plans de microglissement subparallèles, faisant un angle très aigu avec elle. Une partie de la pâte phylliteuse se réoriente parfois suivant ces plans le long desquels, suite au glissement intrafoliaire, le rutile se concentre également.



Dans les pélouphyllades noirs plus particulièrement, le clivage schisteux est le plus souvent extrêmement bien développé. Le replissement de la schistosité y est peu apparent. Signalons cependant que certains échantillons ont montré l'existence d'une série de microfractures subverticales ( $75^{\circ}$ ) déformant et rebroussant la stratification, conférant à la roche une allure en escaliers. De nombreuses surfaces de décollement de quelques mm de long, parallèles à la stratification et affectées par le microplissement, ou parallèles aux microfailles, sont remplies par du quartz microgrenu. La présence de ces ségrégations de quartz, leur forme et leur disposition en relation avec les plans de microfractures sont l'indication de ce que le processus de remaniement doit être considéré comme lié à une phase tectonique ultérieure qu'il est cependant difficile de dater. Elle ne semble pas correspondre à celle dont dépendrait la seconde schistosité décrite plus haut.

### B. Auréoles d'étirement

Dans les pélouphyllades, les cubes de pyrite ou les octaèdres de magnétite sont souvent prolongés par de petites auréoles lenticulaires disposées dans le plan de la schistosité. Elles sont composées de quartz à structure fibreuse et de chlorite, cette dernière occupant les extrémités de l'auréole (\*) (fig. 2). Dans certains cas, là où les cubes de pyrite sont assez volumineux ( $1/4 \text{ cm}^3$ ), du carbonate apparaît entre la pyrite et le quartz. Rappelons également que certaines auréoles contiennent de l'anhydrite.



Fig. 2. — Auréole d'étirement dans les phyllades noirs. On observe une très forte déviation de la schistosité au voisinage de la pyrite. Certains grains de minéral opaque et leurs auréoles sont écrasés.  
(3061 m ;  $30 \times$ )

Les fibres de quartz se disposent perpendiculairement aux faces du minéral opaque, elles sont rectilignes sauf dans les auréoles les plus grandes dans lesquelles

(\*) Ne disposant pas d'échantillons orientés, il nous a été malheureusement impossible de reconnaître le sens de rotation des pyrites et des magnétites.

nous avons observé des fibres courbes, leur concavité s'inversant de part et d'autre du minéral opaque.

Les auréoles d'étirement ont été décrites et leur formation discutée par de nombreux auteurs (A. Renard, 1882, Mugge, 1930, Pabst, 1931, Zwart et Ole, 1966, etc.). Elles sont le résultat d'un déplacement différentiel des matériaux phylliteux lors de la déformation plastique subie par la roche. Les minéraux opaques ont, par leur rigidité provoqué une déchirure dans la matrice argileuse, déchirure progressivement comblée au fur et à mesure de son ouverture, essentiellement par de la chlorite et du quartz d'exsudation.

Dans le cas d'une déformation entraînant une rotation du minéral opaque, il y a orientation des fibres de quartz qui s'incurvent dès lors dans le sens de cette rotation. Cette disposition résulte, comme l'ont encore montré récemment Zwart et Ole (1966), de l'effet de couple qui est engendré par ce type de déformation. Dans les parties les plus profondes du sondage, l'intensification de la déformation a conduit à la granulation des minéraux opaques et à l'écrasement de l'auréole qui les accompagne. On n'observe plus que des lentilles allongées, très effilées, constituées d'un amas de quartz à structure en mosaïque au centre duquel se dispersent des granules de pyrite (fig. 2).

La succession dans la ségrégation des divers minéraux qui participent au remplissage des auréoles s'effectue régulièrement de la manière suivante : chlorite, quartz, éventuellement carbonate ou anhydrite. Il semble donc bien exister une dépendance étroite entre l'évolution de la déchirure et l'ordre de ségrégation de ces minéraux, à rapporter, comme l'a montré l'un de nous dans l'étude de veines de quartz et chlorite (J. Michot, 1958), à leur vitesse de diffusion. Cette dernière, en relation avec la dépression créée dans la roche, dépendrait de la vitesse de déformation dont celle-ci a été le siège. Ainsi, on peut penser que le développement des auréoles d'étirement est lié à une vitesse de déformation rupturale faible au départ, qui irait en s'accélégrant jusqu'à son stade terminal souligné par l'apparition du carbonate. Ce processus pourrait être le témoin de l'évolution de la plasticité décroissante de la roche au cours du processus.

Dans les psammites et les grès, les minéraux opaques, environnés d'une matière de même granularité et sensiblement de même compétence sont le plus souvent broyés ; néanmoins ils engendrent parfois des traînées de quartz fibreux, à parcours onduleux, toujours cependant de faibles dimensions.

### C. *Fissures*

Suivant la nature des roches encaissantes, les fissures sont remplies par de la chlorite, du quartz ou du carbonate (les trois éléments pouvant être associés suivant une disposition déjà décrite précédemment (J. Michot, 1958)) et occasionnellement par des sulfures.

Parmi ces derniers, citons la pyrite, altérée parfois en limonite, la blende, la chalcopryrite, la galène, la bornite. L'anhydrite ne se rencontre qu'à certains niveaux et en faibles quantités.

Dans les roches arénacées, quartzites et psammites, la structure en échelon du quartz de remplissage est souvent altérée par un broyage ultérieur, broyage parfois tellement important qu'il rend impossible la distinction entre le quartz détritique et le quartz mobilisé.

Un carbonate, la dawsonite (détermination Van Tassel) se présente dans les fissures ouvertes sous la forme de sphérules fibroradiés de quelques mm de diamètre.

D'ordinaire, les fissures recoupent obliquement la schistosité et suivent un parcours sinueux. A certains niveaux, leurs allures révèlent très nettement qu'elles ont été plissées (1463 m, 1468 m, 1650 m, 1998 m, etc.).

Certains filonets de quartz sont affectés de plis concentriques dont les plans axiaux sont parallèles à la seconde schistosité. D'autres sont boudinés voire même tronçonnés. Ces phénomènes semblent en général plus ou moins localisés.

#### V. CONCLUSIONS

Le sondage a recoupé pendant 3.220 m des couches sédimentaires *de composition minéralogique monotone* dans lesquelles il s'est arrêté sans avoir pu atteindre le substratum (fig. 3).

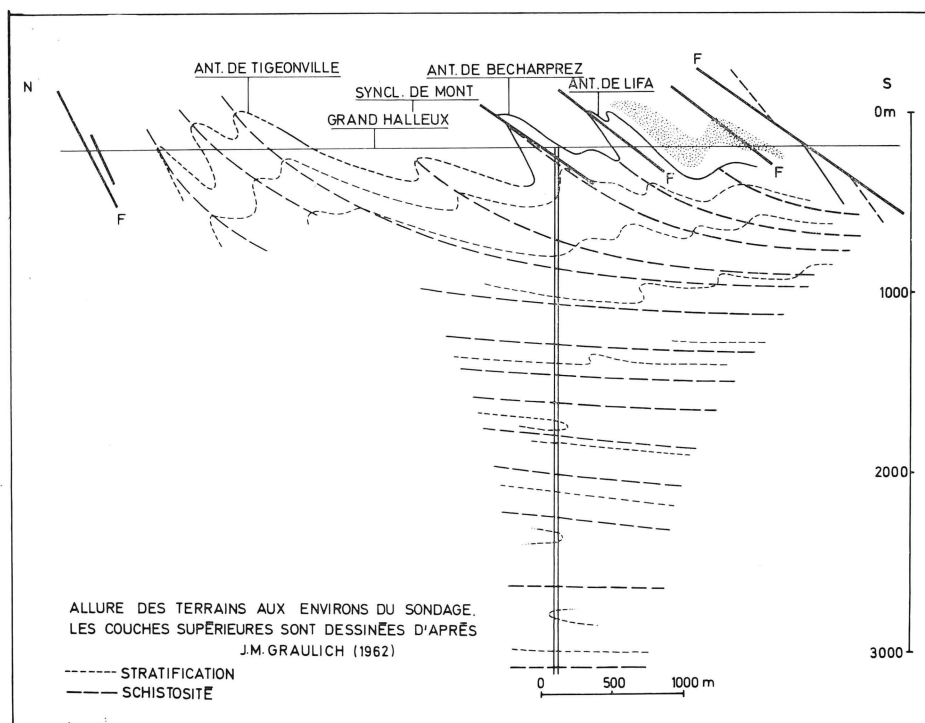


Fig. 3

Les différentes unités lithologiques traversées peuvent être groupées en deux formations : la première est constituée principalement de pélophyllades, psamphyllades, psammites, grès et quartzites mal classés, de couleur verte ou verdâtre. La seconde comprend surtout des phyllades de couleur noire, mais également des micropsammites, psammites et quelques niveaux de conglomérats de même teinte. Le passage entre ces deux formations se fait très progressivement par l'intermédiaire de couches où prédominent de plus en plus nettement les éléments phylliteux dans lesquels la pigmentation noirâtre devient de plus en plus prononcée.

Les Acritarches découverts par M. Vanguestaine ont permis de rattacher au Cambrien la partie supérieure des phyllades noirs. L'âge des roches rencontrées dans les 300 derniers mètres est, pour l'instant, encore indéterminé.

La présence de chloritoïdes (ottrélite), de spessartine, de viridine et d'andalousite dans le Salmien (Trémadocien) affleurant à quelques kilomètres au Sud du sondage, l'existence de magnétite dans les phyllades que ce sondage a rencontrés dès les premiers mètres, permettaient d'espérer traverser des zones à métamorphisme croissant au fur et à mesure de l'approfondissement du forage et éventuellement d'atteindre la base du faciès des schistes verts. L'assemblage minéralogique défini par l'association sérícite-chlorite, extrêmement monotone et reproduit avec régularité d'un bout à l'autre de ce forage apparaît donc comme une caractéristique qui mérite l'attention.

Les roches cambriennes du massif de Stavelot sont en général parcourues par une schistosité de flux nettement exprimée ; l'épaisseur des sédiments surincombants au moment du développement de cette texture devait vraisemblablement être supérieure au minimum établi par P. Fourmarier (1967) et qui se situe autour de 5.000 mètres. La base du sondage a donc atteint des roches qui ont grosso-modo évolué sous une pression statique de l'ordre de 2.000 bars tout en conservant une association minérale identique. Ainsi est-il vraisemblable que le gradient géothermique dans cette région n'ait pas été supérieur à 35°/km, ce qui exclut que le métamorphisme calédonien dans la région de Grand-Halleux puisse être du type haute température (Den Tex, 1965). La proximité de la région métamorphique du synclinal de Vielsalm-Salm-Château pose dès lors un problème, car, ou bien elle indique une grande variabilité du gradient géothermique dans cette partie de l'Ardenne, ce qui serait un argument en faveur de l'hypothèse de l'existence d'un dôme thermique, éventuellement lié à une masse magmatique sous-jacente ; ou bien elle souligne le rôle de catalyseur particulièrement marqué du manganèse dans les recristallisations métamorphiques.

*Du point de vue tectonique*, le sondage peut également être subdivisé en deux zones d'épaisseur inégale. Dans la première, qui se situe entre 0 et 500 m environ, les couches sont souvent plissées ; elles dessinent une série de plis avec flanc renversé, dont les plans axiaux inclinent de 50° à 60° environ vers le sud. Dans la seconde partie, les allures plissées deviennent extrêmement rares et l'inclinaison des bancs varie entre 10 et 40° pour finalement tendre progressivement vers l'horizontale.

L'abondance des plis dans les 500 premiers mètres et leur apparition sporadique dans le reste du forage correspondent-elles à une règle ou résultent-elles d'un défaut dans l'observation ? Une charnière de pli dans une roche homogène peut, en effet, ne pas être décelée ; aussi, se pourrait-il que les terrains contiennent plus de plis que ceux que nous avons dessinés dans la stampe (Tableau). Les unités lithologiques recoupées sur toute l'épaisseur du forage étant formées d'alternance de roches qui soulignent distinctement le litage, il est peu vraisemblable que le relevé des plis dans sa partie inférieure ait pu être erroné tandis qu'il s'effectuait sans difficulté aucune dans sa partie supérieure.

Il paraît donc raisonnable d'admettre que le style tectonique tel qu'il ressort de l'examen du sondage, montre une variation plus ou moins progressive dans ses caractéristiques lorsque l'on passe du sommet fortement plissé à la base définie surtout par des structures sensiblement horizontales.

Quant aux microstructures, soulignons que les plans de schistosité présentent également une disposition qui se modifie progressivement de haut en bas. Ces plans, très légèrement obliques à la stratification inclinent tout d'abord de 50° à 60° Sud

puis se rapprochent régulièrement d'une position voisine de l'horizontale qui s'aligne parallèlement à la stratification. La formation d'auréoles d'étirement dans les plans de schistosité, avec rotation des grains opaques, montre d'une façon très nette que ces plans se sont déplacés l'un par rapport à l'autre par glissement interfoliaire. La schistosité quasi horizontale qui apparaît dans le dernier tiers du sondage, et particulièrement dans les pélophyllades noirs, est donc le résultat d'un glissement sur des plans horizontaux. Comme l'ont montré les travaux sur le développement de la texture schisteuse, elle ne peut s'expliquer, en effet, par le seul fait de la pression exercée par les sédiments surincombants.

La variation du style de la déformation, jointe aux caractéristiques qui découlent de l'examen des textures liées au clivage schisteux, amènent à penser que la tectonique qui s'est imprimée dans le domaine traversé par le sondage est liée à des poussées « épidermiques » venues du Sud, comprimant les strates supérieures, les plissant et les déversant vers le Nord, la partie inférieure suivant ce mouvement dans un glissement intime à l'intérieur de la roche.

L'importance de ce glissement est évidemment très difficile à mesurer puisque l'évaluation que l'on pourrait en faire ne peut se baser que sur l'étude des auréoles d'étirement. Ce glissement a-t-il été ou non accompagné d'un décollement sur le socle précambrien qui dès lors ne devrait plus être très éloigné ou bien est-il en liaison avec une déformation dans le style des plis couchés? Le manque de repères stratigraphiques et l'ignorance de la polarité des couches ne nous permettent pas de résoudre actuellement ce problème. L'attention doit cependant être attirée sur le fait que la structure primitive du bâti calédonien a peut-être été profondément modifiée lors de l'orogène varisque même si la direction des tensions était à peu près semblable.

Les microstructures secondaires qui remanient la schistosité sont de plusieurs types. Les unes, fréquentes dans les pélophyllades sont liées à une réorientation partielle des phyllites suivant des plans plus ou moins resserrés; les autres, moins communes correspondant à des microfracturations dont certaines, envahies par du quartz d'exsudation, se sont développées lors de déformations ultérieures dans une phase de tectonique cassante. Il n'est pas possible de déterminer avec plus de précision les causes de ces remaniements ni d'envisager la question de l'âge de ceux-ci.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ANTUN P., 1962. — Sur l'occurrence d'idioblastes de calcite aplatis suivant la base dans le massif du Brabant et au Bas Congo. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. 85, pp. 371-381.
- DEN TEX E., 1965. — Metamorphic lineages of orogenic plutonism. *Geol. en Mijnb.*, 44<sup>e</sup> jr., n° 4, pp. 105-132.
- DE WINDT J., 1897. — Sur les relations lithologiques entre les roches considérées comme cambriennes des massifs de Roerol, du Brabant et de Stavelot. *Acad. roy. Belgique Classe des Sc.*, t. LVI, n° 4, pp. 1-96.
- FOURMARIER P., 1950. — Principes de Géologie. Masson et Cie, Paris, pp. 654-667.
- FOURMARIER P., 1967. — Les déformations mineures des roches et les tectoniques superposées en Belgique et pays limitrophes. In *Étages tectoniques*. Éd. A la Baconnière, Neufchâtel, pp. 211-227.
- GRAULICH J. M. et KOENIGSFELD, 1962. — Étude géomagnétique de la partie méridionale du massif dévillien de Grand-Halleux (massif de Stavelot). *Mém. Expl. Cartes Géol. et Min. de la Belgique*, n° 3.
- GRAULICH J. M., 1964. — Excursion du 15 juin 1963. Visite des sondages du service géologique de Belgique. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, Bull. n° 10, pp. 589-598.

- KUBLER B., 1967. — La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In *Étages tectoniques*. Éd. A la Baconnière, Neufchâtel, pp. 104-122.
- LANGHEINRICH G., 1964. — Vergleichende Untersuchungen über das Verhältnis der Schieferung zur Faltung unter Berücksichtigung des Stockwerk problems. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 120, pp. 41-80.
- LEITH C. K. L., 1905. — Rock Cleavage. *U. S. Geol. Surv.*, Bull. n° 239, pp. 1-235.
- MICHOT J., 1958. — La diffusion dans le processus de sécrétion latérale. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. LXXXI, pp. 159-177.
- MICHOT J., 1958. — Pétrogenèse du poulingue à galets de phosphate de Co. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. LXXXII, pp. B 175-185.
- MICHOT P., 1958. — Classification et terminologie des roches lapidifiées de la série psammo-pélique. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. LXXXI, pp. B 311-342.
- MUGGE O., 1930. — Bewegungen von Porphyroblasten in Phylliten und ihre Messung. *N. Jb. Min. Geol. Paläont. Abh.*, 61, pp. A 469-520.
- NELSON B. W. et ROY R., 1958. — Synthesis of the Chlorites and their structural and chemical constitution. *Am. Min.*, vol. 43, pp. 707-725.
- PABST A., 1931. — « Pressure-shadows » and the Measurement of the orientation of mineral rocks. *Am. Min.*, vol. 16, n° 1, pp. 55-70.
- RENARD A., 1882-83. — Notes sur la composition et la structure des phyllades ardennais. *Bull. Mus. Hist. Nat.*, t. I, pp. 1-35, t. II, pp. 1-23, t. III, pp. 231-272.
- VANGUESTAINE M., 1967. — Découverte d'Acritarches dans le Revinien supérieur du massif de Stavelot. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. 90, Bull. 6, pp. B 585-600.
- VANGUESTAINE M., 1968. — Les Acritarches du sondage de Grand-Halleux (note préliminaire). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. 91, Fasc. 3, pp. 361-375.
- ZWART H. J. et OELE J. A., 1966. — Rotated magnetite crystals from the Rocroi massif (Ardennes). *Geol. en Mijnb.*, 45<sup>e</sup> jr., pp. 70-74.