

**Phosphorites du passage Viséen-Namurien
à Blaton, province de Hainaut, et à Warnant,
province de Namur (*),**

par J. SCHEERE ⁽¹⁾ et R. VAN TASSEL ⁽²⁾.

ABSTRACT. — *The occurrence of rare beds, laminae and more frequent nodules of phosphorites in bedded cherts (silicites) is described. The phosphate is either apatite s.l. or crandallite. Microscopical study reveals that the apatite forms isotropic groundmass and pellets, spherulitic concretionary structures and minute rodlike crystals. According to chemical and X-ray diffraction analyses this phosphate is francolite with $a=9,35 \text{ \AA}$ and $c=6,88 \text{ \AA}$, entering the nodular composition up to 84 %. These nodules show mostly well preserved radiolaria submitted to different diagenetic stages of phosphatization, carbonatation (calcite or dolomite) and pyritization. Other spherical nodules, 1 to 3 cm across, occurring in cellular silicites contain radiated crandallite up to 30 %. The francolite phosphorites are considered as primary marine deposits of no great depth, while the crandallite nodules are secondary.*

RÉSUMÉ. — *L'occurrence de phosphorites en rares bancs et straticules et en nodules plus fréquents est signalée dans une série de silicites. Ces phosphorites sont composées essentiellement soit d'apatite s.l., soit de crandallite. D'après l'étude micrographique l'apatite forme une masse de fond et des ovules isotopes, des concrétionnements sphérolithiques et de menus cristaux prismatiques. Les données chimiques et radiocristallographiques indiquent qu'il s'agit de francolite avec $a=9,35 \text{ \AA}$ et $c=6,88 \text{ \AA}$, qui entre jusqu'à 84 % dans la composition des nodules. Ceux-ci présentent généralement des radiolaires à structure bien conservée, à des stades divers de diagenèse en phosphate, carbonate (calcite ou dolomite) et pyrite. D'autres nodules sphériques, de 1 à 3 cm de diamètre, se présentent dans des silicites vacuolaires et sont composés jusqu'à 30 % de crandallite fibreuse. Les phosphorites à francolite sont considérées comme dépôts marins primaires de profondeur pas très grande, tandis que les nodules à crandallite sont secondaires.*

1. CADRE GÉOGRAPHIQUE ET LITHOLOGIQUE.

Le creusement du canal de Nimy-Antoing a fourni, à travers le Mont des Grosseillers à Blaton, une belle et longue coupe permettant de suivre le passage du Dinantien au Namurien depuis une brèche du Viséen supérieur jusqu'au Grès du Bois de Ville d'âge namurien.

(*) Texte remis en séance.

(1) Ecole Royale Militaire, Bruxelles.

(2) Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.

Cette coupe a été décrite pour la première fois par J. BOUCKAERT, A. DELMER et P. OVERLAU (1961), qui ont ainsi pu définir le cadre biostratigraphique et lithologique du Viséen supérieur et du Namurien inférieur dans ce coin sud-ouest de la Belgique.

K. FIEGE, à partir de 1963, en a repris l'étude dans le but d'y établir des cycles sédimentaires, tandis que J. SCHEERE et R. VAN TASSEL en ont étudié les roches. Une première communication concernant les données stratigraphiques (K. FIEGE) et lithologiques (J. SCHEERE et R. VAN TASSEL) fut présentée au 6^e Congrès du Carbonifère tenu à Sheffield en 1967. La description détaillée de la coupe, les déterminations paléontologiques, le relevé des analyses chimiques et pétrographiques, ainsi qu'une vue d'ensemble de la pétrographie ont été publiés dans le Professional Paper n° 14 du Service géologique de Belgique (K. FIEGE *et al.*, 1967).

Du point de vue lithologique, la coupe est constituée en ordre principal par une impressionnante série de silicites ⁽¹⁾, dans lesquelles, suite aux études en laboratoire, a pu être décelée la présence occasionnelle de phosphorites ⁽²⁾. Quelques-unes de celles-ci, en nodules, présentent l'intérêt de contenir des radiolaires en bon état de conservation, comme déjà signalé en 1967 (J. SCHEERE et R. VAN TASSEL).

D'autre part, des phosphorites à radiolaires, sous forme de nodules, ont été signalées en 1938, dans les couches de passage du Dinantien au Namurien, par F. DEMANET, à Warnant (Bassin de Dinant). Un échantillonnage serré y a été effectué par nous en 1961 et 1966, dans un but de comparaison avec les nodules de Blaton.

Il nous a semblé intéressant de présenter les données minéralogiques et lithologiques des phosphorites de ces deux coupes.

A Blaton, les phosphorites se présentent sous trois formes bien distinctes : en bancs (de l'ordre du cm au dm), en straticules (de l'ordre du mm) et principalement en nodules. A Warnant, elles se présentent sous forme de straticules (de l'ordre du mm) et principalement de nodules. Dans le premier gîte ces phosphorites se trouvent dans un ensemble de silicites. Dans le second les nodules également font partie de silicites, tandis que les straticules s'observent au sein de calcaires. La figure 1 rend compte de la composition de ces roches

⁽¹⁾ Silicite, d'après la nomenclature de G. I. TEODOROVICH (1958), est une roche riche en silice libre, non clastique.

⁽²⁾ Par « phosphorite » est entendue une roche phosphatée, contenant 12-40 % P_2O_5 (L. B. RUKHIN, 1961, p. 193) et composée de phosphate de calcium (D. McCONNELL, 1950).

encaissantes ⁽¹⁾; pour les niveaux à nodules la silice totale dépasse 75 % de la fraction insoluble, tandis que l'alumine y varie entre 3 et 10 %, ce qui montre leur caractère nettement siliceux.

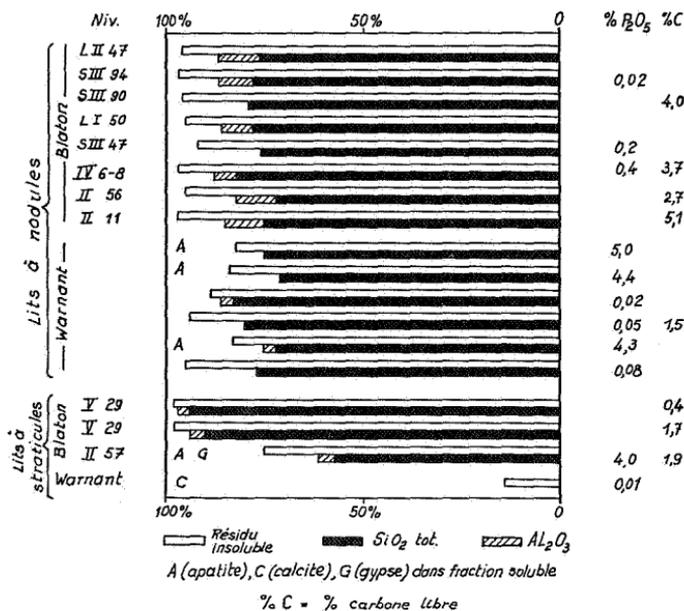


FIG. 1. — Composition des roches encaissantes.

2. NATURE MINÉRALOGIQUE DU PHOSPHATE.

La diffraction des rayons X et l'analyse chimique sont indispensables pour compléter l'examen microscopique, car celui-ci est rendu difficile par la pigmentation des échantillons, les faibles dimensions et la cristallinité peu apparente des constituants.

L'application de ces deux techniques a mis en évidence deux minéraux phosphatés : soit un minéral du groupe de l'apatite (apatite s.l.), soit la crandallite.

2.1. L'apatite s.l.

Les données chimiques rassemblées à la figure 2 se rapportent en a) aux phosphorites en nodules de Blaton à l'exception de ceux à

⁽¹⁾ Les analyses indiquant plus de 1 % P₂O₅ ont porté sur des échantillons contenant des fragments de nodules ou de straticules phosphatées.

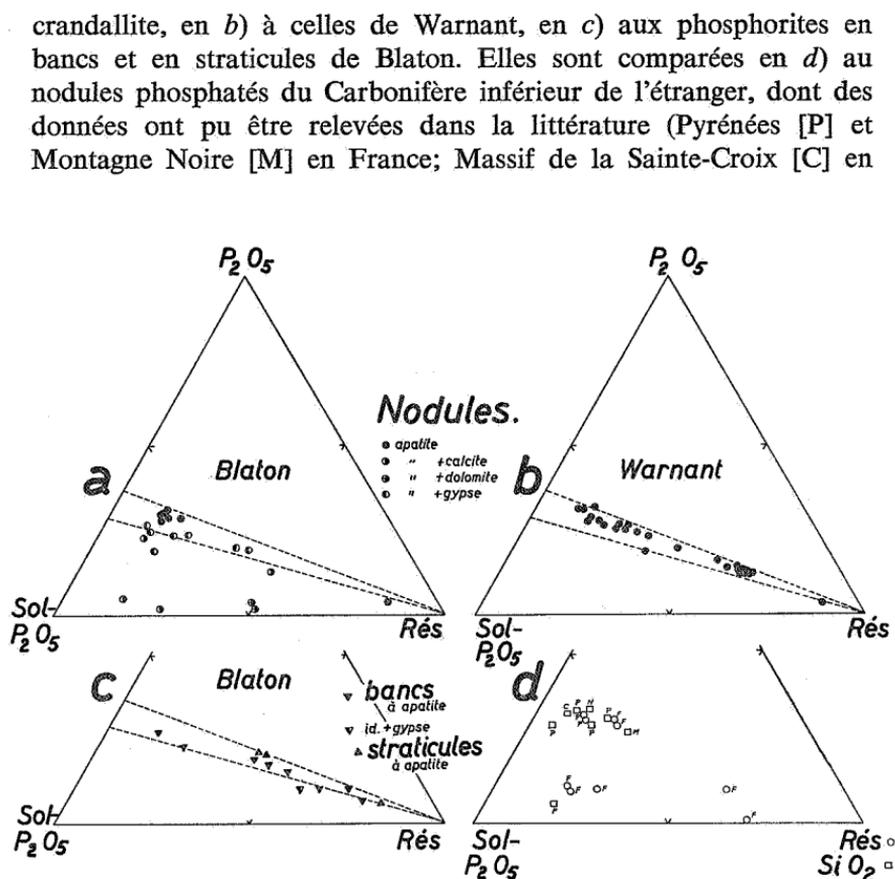


FIG. 2. — Composition de phosphorites en nodules, straticules et bancs.

Pologne; Nassau [N] et Thuringe [F] en Allemagne). Les sommets des diagrammes triangulaires représentent respectivement : la fraction insoluble dans HCl 4n chaud (Res), le pourcentage en P_2O_5 soluble (P_2O_5) et la différence fraction soluble - % P_2O_5 (Sol - P_2O_5).

Les points sur les diagrammes *a*, *b* et *c* sont concentrés dans une même zone. Les teneurs en P_2O_5 , calculées sur la fraction soluble, se groupent aux environs de 36 %. Pour les points en dehors de la zone il y a la présence, à part le phosphate, d'autres constituants solubles : carbonate (calcite, dolomite) ou gypse. En ce qui concerne le sommet « Res », l'examen aux rayons X et l'analyse chimique indiquent qu'il est constitué essentiellement de quartz. Ceci semble s'appliquer également à plusieurs concrétions de l'étranger, de sorte que

le sommet « Res » pourrait être remplacé approximativement par « SiO₂ ». Pour quelques phosphorites de Blaton (niv. *SIII87*, *90*, *91* et *95*) ⁽¹⁾ la pyrite devient cependant un constituant important.

La diffraction des rayons X révèle la présence d'apatite s.l. La netteté des réflexions indique que ce minéral est généralement bien cristallisé. Les paramètres cristallographiques ont été précisés, pour neuf échantillons, en présence d'aluminium comme étalon interne. Les calculs à partir des réflexions *hkl* : 004, 140, 300, conduisent à

$$a=9,35 \text{ \AA} \text{ et } c=6,88 \text{ \AA}, \text{ d'où } \frac{c}{a}=0,736.$$

La méthode directe indiquée par H. BRASSEUR (1950) donne également $\frac{c}{a}=0,736$.

Ces caractéristiques sont les mêmes pour les nodules de Blaton (niv. *II56k*, *IVb6-8*, *LI* zone faillée, *SIII47* et *95*), pour ceux de Warnant (trois niveaux étalés sur 1 m à hauteur du niveau 26) ⁽²⁾, ainsi que pour la fine straticule d'environ 1 mm de Blaton (niv. *Va29*).

Ces constantes se rapprochent de celles d'une carbonate-apatite (Z.S. ALTSCHULER, 1953).

Les nodules à apatite s.l., röntgenographiquement et optiquement exempts de minéraux carbonatés (calcite, dolomite), contiennent, tant pour Blaton que pour Warnant, de 1,0 à 1,6 % de CO₂ (calculé sur la fraction soluble des nodules). L'apatite se range donc parmi les carbonate-apatites.

D'autre part, les examens röntgenographiques d'après G. GOTTARDI *et al.* (1957) et spectrographiques (basés sur l'émission de la bande CaF) y indiquent une forte teneur en fluor par rapport à la dahllite (concrétions de Wyoming, U.S.A.; voir aussi D. McCONNELL, 1935) et il y a lieu de considérer la carbonate-apatite examinée comme une francolite (D. McCONNELL, 1938), qui peut entrer, sur la base des données chimiques rassemblées à la figure 2, jusqu'à environ 84 % dans la composition des nodules, 73 % des bancs et 58 % des straticules.

2.2 La crandallite.

La diffraction des rayons X a indiqué la présence de crandallite, à Blaton, dans des nodules (niv. *SII79*, *SII24*) de la paroi SW et dans

⁽¹⁾ Les niveaux sont indiqués par les numéros du Professional Paper n° 14 (1967).

⁽²⁾ Les numéros des niveaux de la coupe de Warnant sont ceux donnés par F. DEMANET (1938).

une concrétion (niv. *Va34*) de la paroi NE. Le minéral est reconnu par ses réflexions intenses : 3,52, 2,96, 1,89 et 1,75 Å.

La crandallite était déjà connue à Blaton, à Sirault et à Bioul, sous forme de rosettes ou de sphères fibroradiées, en remplissage de fentes (R. VAN TASSEL, 1956).

Les résultats des analyses chimiques des nodules du niveau *SI179* (prise de cinq nodules réunis), de ceux du niveau équivalent *SII24* (prise de quatre nodules réunis), ainsi que de la concrétion de forme irrégulière du niveau *Va34* sont donnés au tableau I, qui reprend également les analyses des roches situées sensiblement au même niveau, mais dépourvues de nodules.

TABLEAU I. — Composition des nodules à crandallite et des roches encaissantes de Blaton.

	Composition chimique						Composition minéralogique d'après les rayons X
	% P ₂ O ₅	% Si O ₂ tot.	% Al ₂ O ₃	% Ca O	% Fe ₂ O ₃	% H ₂ O tot.	
Paroi NE.							
Concrétion <i>Va34</i> , ...	7,4	63,3	—	—	—	—	Quartz, (illite), crandallite.
Roche <i>Va34</i>	—	—	—	—	—	—	Quartz (illite).
Paroi SW.							
Niveau <i>SI 179</i> :							
Nodules	5,0	71,6	12,7	1,7	1,5	5,0	Quartz, illite, crandallite.
Roche	0,04	91,5	2,7	—	—	—	Quartz, illite.
Niveau <i>SII24</i> :							
Nodules	10,7	51,5	23,4	3,6	1,8	7,9	Quartz, illite, crandallite.
Roche	0,08	85,3	7,0	—	—	—	Quartz, illite.

Les analyses indiquent, pour les nodules, une concentration en calcium, aluminium et phosphore. Ceux-ci sont les constituants

majeurs de la crandallite, qui peut entrer jusqu'à 30 % dans la composition des nodules. En ce qui concerne les roches encaissantes, il faut noter la quasi-absence de phosphore et la richesse en silice.

3. LES PHOSPHORITES DE BLATON.

La coupe de Blaton fournit la série la plus étendue de ces roches (fig. 3). Leur nature phosphatée ne fut reconnue qu'en laboratoire : les bancs et les straticules sont à apatite, les nodules sont à apatite ou à crandallite.

3.1. Les bancs.

Le long de la paroi NE un seul banc de phosphorite a été reconnu : niveau *LI47*, épaisseur moyenne ⁽¹⁾ : 12 cm, 22,6 à 27,1 % P_2O_5 ⁽²⁾. Par contre, à la paroi SW il y a, du haut vers le bas, quatre niveaux : *SIII105b*, ép. 12 cm, 10,7 % P_2O_5 ; *SIII46*, ép. 10 cm, 10,1 % P_2O_5 ; *SIII37*, ép. 10 cm, 7,0 % P_2O_5 et *SII69-70*, ép. 24 cm, 10,9 à 19,3 % P_2O_5 . L'aspect macroscopique de ces bancs est peu différent de celui des roches encaissantes. Ils sont de ce fait peu reconnaissables sur le terrain. En surface polie, ils présentent un aspect plus grossier, mais ce n'est qu'en lame mince qu'ils livrent leur vraie identité (pl. I, fig. 1 et 2).

De ces cinq bancs, quatre ont le même aspect caractéristique sous le microscope : niveaux *LI47*, *SII69-70*, *SIII46*, *SIII105b* (pl. III, fig. 1, 2 et 3). Ils sont composés d'ovules (pellets) (100 à 250 μ) de collophanite ⁽³⁾, de grains de quartz relativement grands (jusqu'à 400 μ alors que dans les silicites encaissantes les très rares grains ne dépassent pas 40 μ), de prismes et plages d'apatite (100 μ), le tout enrobé d'une masse de fond de quartz cryptocristallin, teintée de jaune à brun. Comme constituants accessoires on observe des débris charbonneux noirs ou rouges translucides et des débris organiques phosphatés en forme de baguettes montrant parfois un canal médian ⁽⁴⁾ (pl. III, fig. 3).

⁽¹⁾ Les épaisseurs signalées sont celles du levé de terrain (K. FIEGE et L. LAMBRECHT in Professional Paper n° 14, 1967).

⁽²⁾ Une silicite, d'aspect schisteux, contenant 10,4 % P_2O_5 , est rencontrée au niveau *IIII*. Il s'agit ici d'une roche fortement imprégnée de phosphates secondaires : strengite, phosphosidérite et cacoxénite (R. VAN TASSEL, 1966).

⁽³⁾ Par « collophanite » est entendue le phosphate cryptocristallin ou apparemment isotrope.

⁽⁴⁾ Une dolomie phosphatée (3,8 % P_2O_5), rencontrée à la base du Namurien, montre les mêmes débris (J. SCHEERE, 1962).

Le cinquième banc (niv. *SH73*) n'est pas aussi caractéristique. Cette roche est un mélange intime de phosphate cryptocristallin à amorphe et de quartz cryptocristallin, reconnaissable, en lumière ordinaire, par sa teinte brun clair homogène.

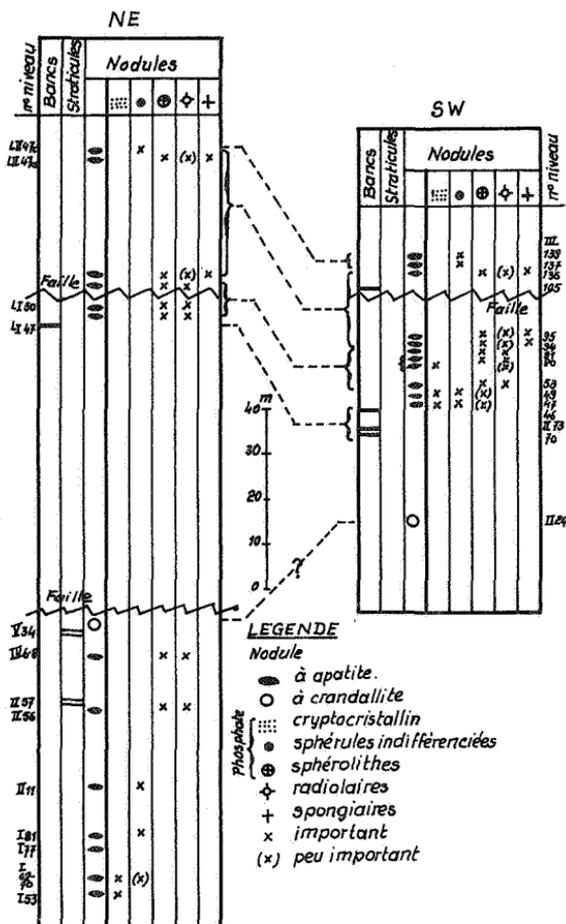


FIG. 3. — Localisation des phosphorites le long des parois NE et SW du canal de Blaton.

3.2. Les straticules.

K. FIEGE (1967) a désigné sur le terrain les straticules claires dans les silicites foncées par le terme général de « helle Bänder » (pl. I, fig. 3). J. BOUCKAERT, A. DELMER et P. OVERLAU (1961) ont appelé d'après R. CONIL (1959) « phtanites tachetés » les phtanites noirs entrelardés de minces traînées beige clair.

Les straticules claires sont de l'ordre du mm (0,2 à 2 mm). Il est apparu qu'elles sont le plus souvent composées exclusivement de quartz cryptocristallin, la couleur claire de ces straticules étant due à une pauvreté relative en matières charbonneuses par rapport à la silicite encaissante de couleur foncée. Mais pour quelques-unes de ces straticules, les analyses chimiques et röntgenographiques font apparaître la présence d'apatite s.l. Même quand le pourcentage en phosphate est considérable (niv. *Va29*: 21 % P_2O_5), on ne peut les reconnaître macroscopiquement comme des phosphorites.

Contrairement aux bancs, les straticules phosphatées ont été trouvées uniquement le long de la paroi NE ⁽¹⁾, où elles se trouvent au sein des silicites riches vacuolaires (poids spécifique apparent : 2,07 à 2,18; porosité : 45,4 à 48,5 %) ⁽²⁾. Le niveau *II57* excepté, les straticules se concentrent dans la section *Va* et principalement vers le milieu, soit les niveaux *Va27b*, *29*, *32b* et *34b3*, où elles sont toutes groupées sur environ un mètre et constituent en somme un niveau à straticules phosphatées. Celles-ci y présentent, selon le plan de stratification, une série de craquelures ⁽³⁾ dues à la microtectonique (pl. I, fig. 4).

Au microscope, les straticules siliceuses claires sont composées de quartz cryptocristallin non pigmenté, ce qui lui conserve, en lumière naturelle, sa limpidité. Les straticules phosphatées de couleur claire, par contre, montrent, au microscope en lumière naturelle, une couleur brune plus ou moins foncée (pl. III, fig. 4). Elles sont composées de quartz cryptocristallin, de phosphate amorphe à cryptocristallin et, parfois, de prismes (100 μ) d'apatite (pl. III, fig. 5).

Lorsqu'il s'agit de straticules phosphatées, il est intéressant d'observer au microscope la différence entre ces straticules et les silicites encaissantes (pl. III, fig. 4). Celles-ci montrent, dans une masse de fond de quartz cryptocristallin, des vacuoles rhomboédriques ⁽⁴⁾ ou subcirculaires et quelques sphérules à quartz microcristallin à cristallin, toutes de mêmes dimensions (100 à 200 μ).

Une straticule à apatite du niveau *Va34b3* est en relation avec une concentration locale en crandallite (voir § 3.3.2) (pl. II, fig. 1).

(1) Cette partie de la stampe n'a pas son équivalent décrit pour la paroi SW in Professional Paper n° 14, 1967.

(2) Mesures de porosité d'après H. BEEG in Professional Paper n° 14, 1967.

(3) Ces craquelures sont signalées « Trockenrisse » in K. FIEGE *et al.*, 1967, p. P 73.

(4) Sections vues au microscope en forme de losange.

3.3. Les nodules.

Parmi les nodules nombreux, tant le long de la paroi NE que le long de la paroi SW, il faut distinguer, en premier lieu, selon la minéralogie, les nodules à apatite s.l. et ceux à crandallite. Les premiers ont pour la plupart une forme discoïde, les derniers une forme sphérique. La couleur est généralement celle de la roche et elle peut varier du gris au noir.

Une distinction macroscopique est possible entre les nodules à apatite et ceux à crandallite, lorsque la straticulation est visible, ce qui est généralement le cas. Celle-ci contourne les nodules à apatite et traverse les nodules à crandallite. Cette observation milite en faveur d'une origine primaire des nodules à apatite et d'une origine secondaire de ceux à crandallite.

3.3.1 *Les nodules à apatite.*

Les dimensions de ces nodules varient assez fortement; elles peuvent être de l'ordre du cm ou du dm, le maximum observé étant de 20 cm (niv. *SIII95*). La plupart des nodules sont discoïdes et ont 1 à 3 cm de diamètre et 0,5 à 1,5 cm d'épaisseur (pl. II, fig. 5, 6, 8 et 9). Certains ont une forme nettement lenticulaire et peuvent alors montrer un cloisonnement perpendiculaire à la stratification (niv. *SIII90*, 92 et 94) (pl. II, fig. 8 et 9).

Le minéral phosphaté se présente au microscope sous trois faciès bien distincts : a) un faciès cristallin pouvant être déterminé comme étant de l'apatite s.l., b) un faciès isotrope à cryptocristallin pouvant être assimilé à de la collophanite, c) un faciès fibreux ou fibroradié.

L'apatite s'observe soit sous forme de cristaux prismatiques assez trapus ($20 \times 70 \mu$) toujours en rapport avec des débris végétaux charbonneux, soit en plages limpides, polycristallines de forme irrégulière, soit comme substitution de la silice de certains tests ou spicules de radiolaires.

La collophanite est le constituant de sphérules indifférenciées (100 à 200 μ), ainsi que de la masse de fond. Elle est de couleur jaune clair à brune et isotrope ou cryptocristalline (2 μ) (pl. III, fig. 6).

Le phosphate fibreux prend naissance au sein de la masse de fond de collophanite, sous forme de sphérolithes (pl. III, fig. 6, 7 et 8), d'encroûtements d'épines, de spicules, de radiolaires (pl. III, fig. 11) ou de « baguettes », ou comme une rare recristallisation vermiculaire.

Dans beaucoup de nodules, la pyrite est présente en fine poussière ou en cubes bien développés (20 à 100 μ). Le quartz en grains est très rare et les dimensions en sont fort petites (10 à 30 μ). Par contre,

le quartz cryptocristallin et les formes de recristallisation de celui-ci sont abondants. La calcite et/ou la dolomite sont présentes à des niveaux différents (*I53b*, *I62-70*, *I77*, *LI* zone faillée, *SIII9I*). Dans tous les nodules, il y a présence de matières noires charbonneuses.

Un fait important est la présence, dans un grand nombre des nodules, de radiolaires à tests plus ou moins biens conservés (pl. III, fig. 9, 10, 11 et 12), ainsi que, dans quelques-uns des nodules, de spicules d'éponges ? tétra- ou triradiés, celles-ci accompagnées ou non de radiolaires (pl. III, fig. 13, 14 et 15).

Les différentes combinaisons des trois faciès du phosphate, d'une part, et la présence de radiolaires, ou/et de spicules d'éponges ?, d'autre part, permettent de distinguer des types différents de nodules. Il apparaît que ces types dépendent dans une large mesure de la situation stratigraphique, et que pour un même niveau stratigraphique tous les nodules sont généralement du même type. Ces deux observations permettent une corrélation à courte et à moyenne distance (fig. 3).

Les différents types peuvent être caractérisés comme suit :

- a) à collophanite (masse de fond indifférenciée),
- b) à sphérules indifférenciées (ovules, pellets),
- c) à sphérolithes et à radiolaires,
- d) à sphérolithes et à spongiaires ?, avec ou sans radiolaires.

Au type à collophanite correspondent les niveaux *I53b* (12,9 % P_2O_5), *I62-70* (23,2 % P_2O_5), *I77* (4,7 % P_2O_5), tous situés dans la partie inférieure de la coupe, composée de calcaires et de silicites. Au microscope, il s'agit de nodules composés de collophanite, de quartz cryptocristallin (2 μ), de calcite microcristalline (20 μ), de quelques débris de coquilles en calcite microcristalline (30 μ), de très rares lamelles de muscovite (20 μ), de très rares grains de quartz (15 μ) et de la pyrite (20 à 100 μ). Le niveau *I62-70* montre quelques très rares ovules de collophanite (150 μ).

Au type de sphérules indifférenciées (pl. III, fig. 16) correspondent les niveaux : *I8I* (18,3 % P_2O_5), *IIII*, *LII47c* (31,3 % P_2O_5), *SIIII37* (20,1 % P_2O_5) et *SIIII39* (24,3 % P_2O_5). Les deux premiers sont situés à la base de la série des silicites, les trois derniers vers le sommet. La collophanite se présente comme masse de fond en mélange avec du quartz cryptocristallin et comme ovules brun foncé. L'apatite prismatique est présente en contact ou englobée dans une matière noire charbonneuse. Comme constituants accessoires il y a quelques grains de quartz (15 μ) et de rares débris d'organismes en forme de bâtonnets (« baguettes ») (200 à 400 μ).

Deux niveaux, *SIII47* et *49*, d'un type mixté (ovules, sphérolithes, grains de quartz), sont à comparer au banc *SIII46*.

Au type à sphérolithes et radiolaires correspondent les niveaux *II56* (28,3 % P_2O_5), *IV6-8* (31,3 % P_2O_5), *LI50* (24,9 % P_2O_5), *LI* zone faillée (29,1 et 30,9 % P_2O_5), *SIII53*, *SIII90* (19,1 % P_2O_5) et *SIII91*. La masse de fond brun clair se résoud, entre nicols croisés, en une impressionnante série de sphérolithes fibroradiées, généralement contigus, formant des plages irrégulières. Les interstices entre ces plages sont à quartz cryptocristallin et, lorsque le carbonate est présent, à calcite et/ou dolomite cryptocristalline. Par endroits, cette texture cryptocristalline, tant pour le quartz que pour les carbonates, montre une recristallisation microcristalline limpide.

Un fait à souligner est la présence, en plus ou moins grand nombre, de tests de radiolaires (100 à 200 μ), quelques-uns bien conservés, d'autres moins mais toujours reconnaissables, ainsi que la présence d'épines (pl. III, fig. 9, 10, 11 et 12). Tous les passages entre une composition entièrement en quartz de ces radiolaires et débris à une composition entièrement phosphatique sont observables. Quand les carbonates sont présents, ceux-ci peuvent également occuper le test partiellement ou complètement. Le carbonate peut remplacer le quartz directement, ou bien le phosphate si la phosphatisation du test avait déjà eu lieu. La pyrite peut envahir à son tour le quartz, le phosphate ou le carbonate. Il faut noter une totale indépendance entre sphérolithes et radiolaires. D'une part, les diamètres des premiers sont nettement inférieurs à ceux des radiolaires; d'autre part, il arrive qu'on observe une plage de sphérolithes traversant au hasard les cloisons intérieures et extérieures d'un radiolaire. Quelques sphérolithes sont à texture concentrique due à une alternance de zones claires et de zones foncées.

Au type à sphérolithes et spongiaires ? (pl. III, fig. 13, 14 et 15) correspondent les niveaux *LII47a* (31,3 % P_2O_5), *SIII94* (27,0 % P_2O_5) *SIII95* (19,2 % P_2O_5) et *SIII36* (32,8 % P_2O_5). La masse de fond est identique à celle des niveaux précédents. A côté des sphérolithes nombreuses et des radiolaires, il y a une très grande quantité de spicules d'éponges ? tétraradiées, triradiées ou simples. Celles-ci sont en quartz ou en apatite avec tous les passages possibles comme pour le type précédent.

3.3.2 *Les nodules à crandallite.*

Des concrétions de crandallite sont rencontrées exceptionnellement le long de la paroi NE (niv. *Va34b3*; pl. II, fig. 1) et abondamment en un niveau de la paroi SW (*SI179* = *SI124*; pl. II, fig. 2, 3 et 4).

Les nodules de la paroi SW se présentent dans un banc de silicite vacuolaire, d'environ 1 m d'épaisseur. Ils sont sphériques et de même couleur que la roche. A la base du banc, ils ont un diamètre variant entre 1 et 1,5 cm (porosité de la silicite : 28,4 %) ⁽¹⁾, tandis que vers le sommet le diamètre atteint 3 cm (poids spécifique apparent de cinq nodules : 2,30 à 2,39; celui de la silicite encaissante : 2,00 à 2,10, porosité 34,1 %) ⁽¹⁾. La silicite montre une straticulation par l'alternance de lits siliceux à couleur claire ou foncée traversant les nodules (pl. II, fig. 3 et 4).

Le spécimen de la paroi NE présente, au contact d'un petit plan de glissement, une zone de concrétionnement de forme irrégulière due à la crandallite (pl. II, fig. 1). La silicite vacuolaire, où se trouve ce concrétionnement, présente trois straticules à apatite (voir § 3.2). Une straticule butte contre le renflement nodulaire, tandis que deux autres sont incurvées vers le haut.

Au microscope les deux niveaux, d'une part *Va34b3* et d'autre part *SII79 SII24*, se présentent de la même façon (pl. III, fig. 18, 19, 20 et 21). La roche encaissante est caractérisée par une masse de fond de quartz cryptocristallin, teintée fortement par des matières charbonneuses pour les straticules sombres et moins fortement pour les straticules claires. Dans cette masse de fond se présentent de nombreuses vacuoles rhomboédriques et subcirculaires, ainsi que des sphérules de quartz microcristallin à cristallin, toutes de mêmes dimensions (100 à 200 μ).

La crandallite est caractérisée par une cristallisation fibreuse (allongement négatif), disposée en éventail, à l'intérieur des vacuoles rhomboédriques et subcirculaires qui se présentent vides en dehors de la concrétion. Aucune orientation préférentielle n'est visible pour les sections rhomboédriques par rapport à la stratification, ni pour les fibres de la crandallite au sein du nodule.

4. LES PHOSPHORITES DE WARNANT.

F. DEMANET (1938) a levé, à la carrière de Jaiffe à Warnant, une coupe continue des couches de passages du Viséen supérieur au Namurien. Dans les 13 m du *V3 sup*, il a signalé l'occurrence de calcaires, calcaires silicifiés, calcaire siliceux, calcschistes, phtanites, schistes gréseux et schistes. Il y a reconnu, sur 5 m de puissance, six niveaux de schistes à nodules, dont quatre (niveaux 8, 16, 26 et 28) ⁽²⁾

⁽¹⁾ Mesures de porosité d'après H. BEEG in Professional Paper n° 14, 1967.

⁽²⁾ Les numéros des niveaux de la coupe de Warnant sont ceux donnés par F. DEMANET (1938).

sont désignés comme phosphatés et à radiolaires. Nos récoltes en 1961 et 1966 ont confirmé l'existence, sur 5,5 m, de nombreux niveaux à nodules, presque tous à radiolaires. Ces nodules sont particulièrement nombreux au-dessus du dernier gros banc (30 cm) de calcaire (assimilé au niv. 23).

Sous ce banc se présentent, sur 4 m, plusieurs niveaux carbonatés. Dix d'entre eux, assimilés aux niveaux 4 à 23, ont fait l'objet d'une analyse. Le seul minéral carbonaté présent est, d'après les rayons X, la calcite. Le résidu insoluble dans l'acide comprend, du haut vers le bas, respectivement : 20,6, 9,8, 12,2, 21,3, 14,0, 3,6, 10,2, 3,1, 13,7 et 14,1 %. La silice totale entre dans ce résidu pour 90 à 95 %. Le phosphate n'est pas totalement absent, car le pourcentage en P_2O_5 varie, pour quatre calcaires, entre 0,7 et 1,8 %, dû à de petites lentilles, de fines straticules, de petits nodules à « pellets » noirs ou de nids phosphatés à radiolaires.

Les « schistes » à nodules contiennent 62 à 83 % de silice totale, qui entre pour 82 à 90 % dans le résidu insoluble, montrant ainsi que ces « schistes » sont fort siliceux, comme illustré à la figure 1. L'examen aux rayons X confirme le caractère très quartzeux de ces roches.

4.1. Les straticules.

Dans la partie inférieure de la coupe, au sein des niveaux calcaires (niveaux inférieurs à 23), se présentent souvent de fines straticules de 0,5 à 2 mm, de couleur brune, plus foncée que la roche, discontinues (faciès inférieur) ou continues (faciès supérieur). La diffraction des rayons X indique que l'apatite s.l. y est un constituant essentiel à côté de la calcite et du quartz. L'analyse chimique donne 16,8 % P_2O_5 et 40,4 % de résidu pour une straticule continue de 1,5 mm d'épaisseur, tandis que le calcaire encaissant contient 0,01 % P_2O_5 et 14 % de résidu (fig. 1.).

Au microscope, les straticules se présentent comme étant composées de calcite crypto- à microcristalline; l'ensemble est finement pigmenté par une matière noire carbonneuse. Ni le phosphate, ni le quartz révélés par les rayons X ne sont décelés par le microscope. Le calcite du calcaire encaissant a sensiblement les mêmes caractéristiques que celles des straticules.

4.2. Les nodules.

Les nodules décrits par F. DEMANET (1938) sont de forme sphérique à discoïde (2 à 5 cm de diamètre) et de couleur presque noire (pl. II, fig. 7). P. RONCHESNE a procédé à l'analyse d'un nodule du

niveau 26, le plus riche en radiolaires, conduisant à la composition 19,4 % P_2O_5 , 30,7 SiO_2 , 32,6 Al_2O_3 , 11,3 CaO , où la très forte teneur en alumine doit étonner.

Pour les nodules étudiés au cours du présent travail et provenant de plusieurs niveaux (huit niveaux), échelonnés sur presque toute la hauteur de 5,5 m, les résultats chimiques et röntgenographiques sont rassemblés au § 2. Les nodules du niveau très riche en radiolaires (correspondant au niveau 26 de F. DEMANET) sont les plus purs, le résidu n'y occupant que 11,8 à 19,8 %, tandis que le pourcentage en P_2O_5 y varie entre 27,0 et 31,8 %.

La composition minéralogique des nodules, basée essentiellement sur la présence de francolite et de quartz, ne varie guère; seul le niveau supérieur, à quelque 4 m au-dessus du niveau 23, comprend en plus de l'albite.

Presque tous les nodules sont, au microscope, du type à sphérolithes et à radiolaires, et répondent à la description générale donnée au § 3.3.1 Deux niveaux contiennent, outre les sphérolithes et radiolaires, quelques rares sphérules de collophanite, tandis que deux niveaux sont essentiellement à ovules de collophanite.

Il est à remarquer, contrairement à ce qui se présente à Blaton, que des noyaux phosphatés, de l'ordre du mm au cm, d'une part à pellets sphériques ou ellipsoïdaux (250 à 800 μ), d'autre part à radiolaires et sphérolithes phosphatés, s'observent au sein d'une roche franchement calcaire (43 % CaO , 20,6 résidu, 1,8 P_2O_5) constituant le dernier banc calcaire de la coupe (niveaux 23-25 de F. DEMANET).

5. CONCLUSIONS.

Les phosphorites à apatite s.l. examinées (bancs, straticules, nodules) sont composées de francolite.

La plupart des nodules renferment des radiolaires à structure parfois bien conservée, ayant souvent subi une phosphatisation plus ou moins prononcée. En raison de ce bon état de conservation et du fait que la straticulation contourne les nodules, ceux-ci sont considérés comme syngénétiques de la sédimentation.

Dans les bancs et straticules phosphatés ne s'observent pas de radiolaires, mais, dans les silicites encaissantes, des sphérules de quartz microcristallin à cristallin, de dimensions égales à celles des radiolaires, sont assimilées à des radiolaires dont l'opale initiale de leurs tests a subi une recristallisation diagenétique, de même que les débris constitués par les épines et les spicules.

Au sujet de la formation de la carbonate-apatite, deux courants d'opinion se manifestent : selon les uns, il s'agit d'un précipité biochimique et selon les autres il y a transformation d'un milieu calcaire par introduction d'ions P O_4 .

L'association silicites-plancton (radiolaires, spongiaires ?)-phosphate est à souligner. D'après N. M. STRAKHOV (1967, pp. 65-68), on peut admettre que ce plancton, qui durant sa vie a assimilé du phosphore, peut restituer celui-ci en solution dans les eaux au moment de la décomposition des cellules organiques et il est probable qu'une partie de phosphore soit enterrée avec la boue siliceuse, voire carbonatée, se déposant sur le fond.

Le phosphate des nodules, straticules et bancs est généralement cryptocristallin, ce qui est compatible avec un dépôt primaire. Des remplacements de carbonate par le phosphate ne s'observent pas; au contraire, on peut observer le remplacement du phosphate par du carbonate (calcite ou dolomite) dans un des stades de la diagenèse. Il semblerait donc que l'hypothèse de la formation d'une carbonate-apatite aux dépens d'un milieu calcaire ait moins de poids que la formation à partir de solutions phosphatées enfermées au moment de la sédimentation avec les boues siliceuses et même calcaires.

En ce qui concerne le milieu de sédimentation, il n'y a pas de divergence d'opinion : il s'agit d'un milieu marin, ni très profond, ni très peu profond, ce qui est en accord également avec les observations paléontologiques et sédimentologiques faites à Blaton et à Warnant.

Les concrétions à crandallite sont manifestement post-sédimentaires. Les straticules de la silicite encaissante traversent les concrétions et, au microscope, on voit nettement que la crandallite s'est installée dans les vacuoles rhomboédriques et subcirculaires de la silicite. Si pour une concrétion de la paroi NE de Blaton l'infiltration de la crandallite dans les vacuoles s'explique par une petite faille de glissement, elle-même tapissée de crandallite fibroradiée, il n'y a aucune indication en ce qui concerne les nodules sphériques de la paroi SW; tout au plus remarque-t-on que les vides préexistants, occupés par la crandallite, sont plus nombreux au sein des nodules qu'en dehors de ceux-ci. Quant à l'origine de la crandallite, elle résulte vraisemblablement de la mise en solution de l'apatite des bancs, straticules et nodules, et il en est de même pour les autres phosphates secondaires (minyulite, strengite, phosphosidérite, caco-xénite, beraunite, strunzite) rencontrés à Blaton, quoique aucune trace de carbonate n'existe dans les roches encaissantes.

Les vides subcirculaires sont interprétés par l'un de nous (J.S.) comme étant des vides laissés par une dissolution de tests de radiolaires lorsque ceux-ci étaient constitués d'opale. Ensuite la crandallite, cristallisant dans le système trigonal, a pu corroder le quartz des bords et provoquer la naissance d'une forme rhomboédrique. Une dissolution ultérieure du phosphate peut avoir libéré ces rhomboèdres par endroits et avoir donné lieu à la formation des grandes rosettes de remplissage des joints et des diaclases.

BIBLIOGRAPHIE.

- BOUCKAERT, J., DELMER, A. et OVERLAU, P., 1961, Stratigraphie du Viséen moyen et supérieur et du Namurien inférieur dans la région Basècles-Blaton. (*Mém. Inst. géol. Univ. de Louvain*, 22, pp. 239-255.)
- BRASSEUR, H., 1950, Méthode permettant d'obtenir avec rapidité et précision le rapport *c/a* d'une apatite. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, Cl. Sci., 5^e sér., 36, pp. 521-524.)
- CAYEUX, L., 1939, Les phosphates de chaux sédimentaires de France. (*Serv. Carte géol. de France*, Paris, I, 349 p.)
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. and ZUSSMAN, J., 1962, Rock-forming minerals. Vol. 5: Non-silicates, London.
- DEMANET, F., 1938, La faune des Couches de passage du Dinantien au Namurien dans le Synclinorium de Dinant. (*Mém. Mus. Hist. nat. de Belgique*, 84, 201 p.)
- FIEGE, K. (Collab. BOUCKAERT, J., LAMBRECHT, L., SCHEERE, J. et VAN TASSEL, R.), 1967, Tranchée du Canal Nimy-Antoing au Mont des Groseilliers, Blaton. Viséen supérieur et Namurien inférieur. (*Prof. Paper Serv. géol. de Belgique*, 14, 276 p.)
- GOTTARDI, G., PEDERZOLLI GOTTARDI, L. et TONGIORGI, E., 1957, La determinazione roentgenografica del contenuto in fluoro dell'apatite delle ossa fossili. (*Rivista Sci. Preistor.*, 12, fasc. 1-4, 37 p.)
- HOLDSWORTH, B. K., 1966, Radiolaria and sponges in Namurian « bullion » limestones. (*Proc. geol. Soc. London*, n° 1630, pp. 34-35.)
- HOSS, H., 1957, Untersuchungen über die Petrographie Kulmischer Kiesel-schiefer. (*Beiträge Miner. Petr.*, 6, pp. 59-88.)
- LEHDER, J., 1906, Die Phosphoritkonkretionen des untersten Culm in Ost-thuringen und im Vogtland. (*N. Jb. Miner.*, B. 27, pp. 48-108.)
- MCCONNELL, D., 1935, Spherulitic concretions of dahllite from Ishawooa, Wyoming. (*Amer. Miner.*, 20, pp. 693-698.)
- 1950, The petrography of rock phosphates. (*Journ. Geol.*, 58, pp. 16-23.)
- PULFREY, W., 1932, The occurrence of radiolarian-bearing nodules at the base of the Edale Shales, near Salver Sough, North Derbyshire. (*Proc. Geol. Ass.*, 43, pp. 192-198.)

- RUKHIN, L. B., 1961, Roches sédimentaires. (*Trad. B.R.G.M.*, n° 3783.)
- SUJKOWSKI, Z., 1933, Radiolarites du Carbonifère inférieur du Massif de Sainte-Croix. (*Bull. Serv. géol. de Pologne*, 7, pp. 637-671.)
- SCHEERE, J., 1961, Une dolomie phosphatée du Namurien de la Belgique. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, 70, pp. 302-312.)
- SCHEERE, J. et VAN TASSEL, R., Etude pétrologique, in FIEGE, K., SCHEERE, J. und VAN TASSEL, R., 1967, Die stratonomische und petrologische Entwicklung des oberen Visé und untersten Namur im Kanal-Einschnitt des Mont des Grosseilliers bei Blaton, Hainaut (Hennegau), Belgien. 6th Int. Congr. Carbonifer. Stratigr. Geol., Sheffield.
- STRAKHOV, N. M., 1967, Principles of Lithogenesis, I. Edinburg, London.
- TEODOROVICH, G. I., 1958, Classification des roches silicato-carbonato-argileuses. (*Prosp. Protect. Sous-Sol.* n° 6, Moscou; *Ann. Serv. Inform. B.R.G.G.M.*, n° 33, pp. 6-11.)
- VAN TASSEL, R., 1956, Découverte de crandallite en Belgique. (*Bull. Inst. roy. Sci. nat. de Belgique*, 32, n° 33, 10 p.)
- 1966, Minéraux secondaires phosphatés ferrifères (strunzite, beraunite, strengite, phosphosidérite, cacoxénite) de Blaton, Hainaut. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, 75, pp. 38-48.)

EXPLICATION DE LA PLANCHE I.

FIG. 1, 2 et 3. — Sections polies.

1. Phosphorite en banc (niveau *LI47*), Blaton (1×).
 2. Phosphorite en banc (niveau *SIII46*), Blaton (1×).
 3. Silicite vacuolaire montrant au sommet deux straticules claires de phosphorite à apatite (niveau *Va29*), Blaton (1/2×). Coupe perpendiculaire à la stratification.
 4. Idem (1/2×). Plan parallèle à la stratification. Surface craquelée de la straticule de phosphorite indiquée par une flèche à la figure 3. Les craquelures sont dues à la microtectonique, visible sur la photo 3.
-

PLANCHE I

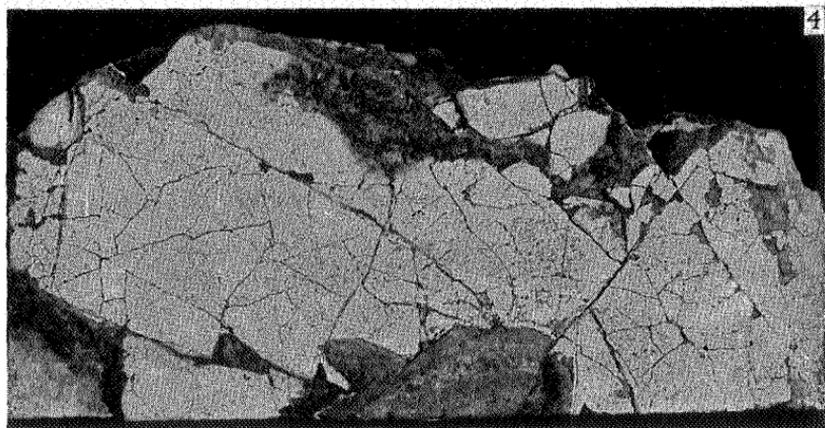
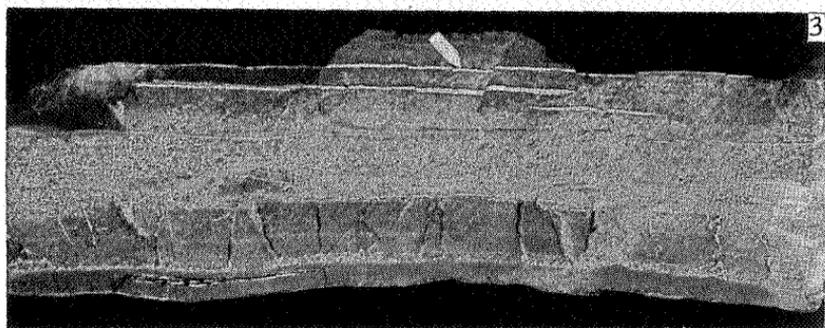
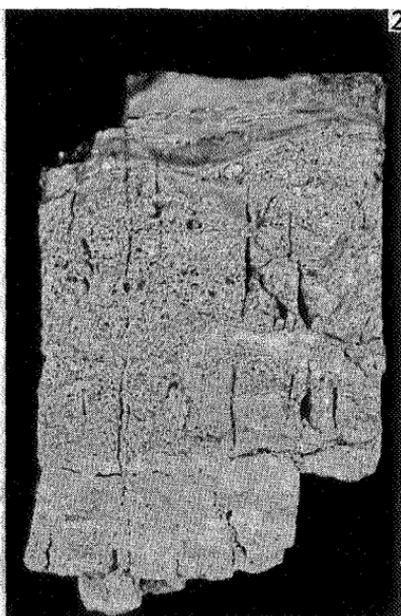


PLANCHE II

EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

Fig. 1, 3, 4, 5, 6, 7 et 8. — Sections polies.

1. Silicite vacuolaire à straticules claires de phosphorites à apatite (indiquées par les deux flèches supérieures) (niveau *Va34b3*), Blaton ($2/3\times$). La plage blanche au SW est une concrétion de crandallite, qui se trouve dans un système de petites failles, peu visibles sur la photo, mais responsables du morcellement et du rebroussement des straticules supérieures.
 2. Nodules sphériques de phosphorite à crandallite dans silicite straticulée (niveau *SI179*), Blaton ($2/3\times$).
 3. Nodule sphérique de crandallite au centre (niveau *SI179*), Blaton ($2/3\times$). Les straticules traversent le nodule.
 4. Nodule sphérique de crandallite (niveau *SI124*), Blaton (env. $1\times$). Les straticules traversent le nodule.
 5. Nodule de phosphorite à apatite et à radiolaires dans silicite (niveau *IVb6-8*), Blaton ($1\times$).
 6. Deux nodules discoïdes de phosphorite à apatite et radiolaires (niveau *SIII90-94*), Blaton ($1\times$).
 7. Nodule sphérique de phosphorite à apatite et à radiolaires, Warnant ($1\times$).
 8. Silicite à types différents de nodules de phosphorite (niveau *SIII90*), Blaton ($1\times$). Les lentilles montrent un cloisonnement perpendiculaire à la stratification.
 9. Silicite montrant à la fois un nodule discoïde de phosphorite à droite, un autre à cloisonnement à gauche, un débris de tige (indiqué par la flèche). L'échantillon contient en outre des crinoïdes (niveau *SIII92*), Blaton ($2/3\times$).
-

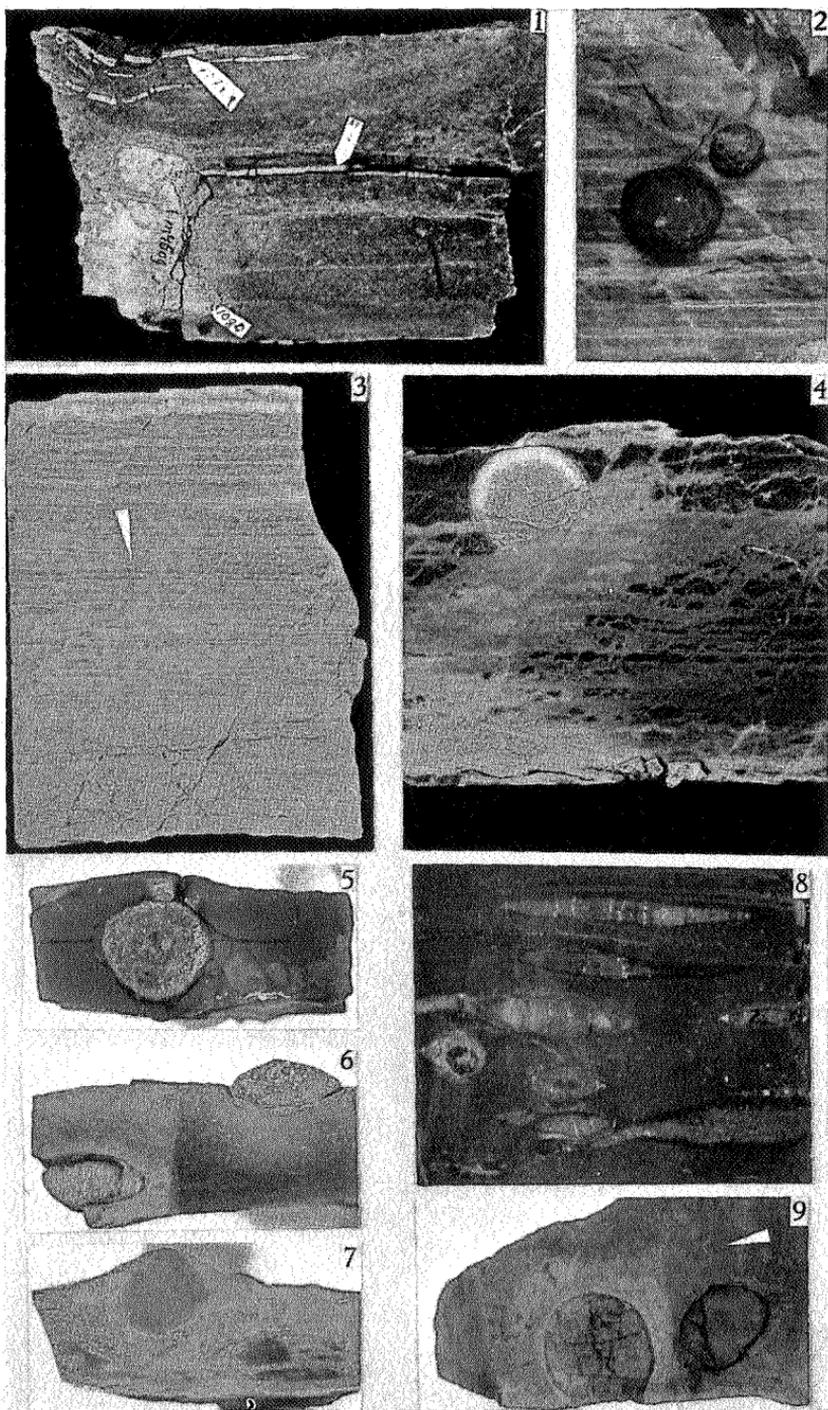


PLANCHE III

EXPLICATION DE LA PLANCHE III.

Sauf indication contraire toutes les microphotographies sont prises en lumière ordinaire.

1. Phosphorite en banc : ovules isotropes, débris organiques (niveau *SII70*), Blaton (45×).
 2. Phosphorite en banc : ovules isotropes, grains de quartz, grains charbonneux (niveau *SII70*), Blaton (45×).
 3. Phosphorite en banc : ovules isotropes, grains de quartz, grains charbonneux, débris organiques (niveau *LI47*), Blaton (20×).
 4. Straticule phosphatée foncée dans silicite vacuolaire claire (niveau *Va29*), Blaton (10×).
 5. Idem : straticule phosphatée à prismes d'apatite dans masse de fond silico-phosphatée (niveau *Va29*), Blaton (50×).
 6. Nodule à radiolaires : concrétionnement sphérolithique du phosphate (niveau *IVb6-8*), Blaton (45×).
 7. Nodule à radiolaires : concrétionnement sphérolithique du phosphate, plage de quartz corrodée sur les bords par l'apatite (niveau *LI* zone faillée), Blaton (45×).
 8. Idem, entre nicols croisés.
 9. Radiolaire, concrétionnement sphérolithique du phosphate. Nodule du niveau *IVb6-8*, Blaton (45×).
 10. Radiolaire, concrétionnement sphérolithique du phosphate. Nodule du niveau *LI* zone faillée, Blaton (100×).
 11. Radiolaire, concrétionnement sphérolithique du phosphate. Nodule du niveau *IVb6-8*, Blaton (45×).
 12. Radiolaire, épines, concrétionnement sphérolithique du phosphate. Nodule du niveau *IVb6-8*, Blaton (45×).
 - 13 et 14. Spongiaires ?, masse de fond phosphatée. Nodule du niveau *SIII95*, Blaton (45×).
 15. Spongiaires ?, masse de fond phosphatée. Spicule tétraradiée remplacée par du carbonate. Nodule du niveau *LI* zone faillée, Blaton (140×).
 16. Ovules de phosphate isotrope. Nodule du niveau *IIII*, Blaton (20×).
 17. Plage de dolomite corrodant des sphérolithes d'apatite. Nodule du niveau *LI* zone faillée, Blaton (45×).
 18. Nodule de crandallite (niveau *SII24*), Blaton (×20).
 19. Nodule de crandallite, sections rhomboédriques remplies de crandallite fibreuse (niveau *SII24*), Blaton (40×).
 - 20 et 21. Crandallite fibreuse dans concrétion du niveau *Va34b3*, Blaton (45×).
-

