

SEANCE MENSUELLE DU 15 JANVIER 1952.

Présidence de M. P. DUMON, président.

Sur la proposition du Président, sont proclamés membres effectifs de la Société :

MM. RAYMOND KORIVE, Ingénieur au Comité Spécial du Katanga, Elisabethville (Congo Belge); présenté par MM. R. Marlière et F. Schellinck.

G. BIGOTTE, Attaché à la Mission en A.E.F. du Commissariat de l'Énergie atomique (C.E.A.), B. P. 8, Madingwe (Afrique équatoriale française); présenté par MM. L. Cahen et J. Lepersonne.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

- 10523 *Collignon, M.* Ammonites néocrétacées du Menabe (Madagascar). I. Les *Texanitida*. Paris, 1948, 60 pages et 17 planches.
- 10524 *Collignon, M.* Recherches sur les faunes albiennes de Madagascar. II. Les Echinides d'Ambarimaninga. III. L'Albien de Komihevitra. IV. L'Albien de Mokaraha. Paris, 1950, 85 pages et 14 planches.
- 10525 *Owen, H. B. et Turnbull, W.* Production and marketing of mica. Canberra, 1950, 14 pages et 2 planches.
- 10526 *Turnbull, W.* Department of supply and shipping. Australian trade in Mica. Melbourne, 1947, 8 pages.

2° Nouveaux périodiques :

- 10527 *Canberra.* Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. *Summary Report*, n^{os} 4 à 10; 12, 14 à 23; 25 à 27, 29, 31, 32, 35, 36 (1945-1949).
- 10528 *Canberra.* Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. *Bulletin*, n^{os} 1 à 3, 7, 10, 11, 13 à 17 (1932-1950).
- 10529 *Canberra.* Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. *Report*, n^{os} 1, 2, 3, 4 (1949-1950).
- 10530 *Caracas.* Boletín de Geología, vol. I, n^o 1 (1951).
- 10531 *Varsovie.* Polish technical abstracts, n^{os} 2, 3, 4 (1951).

Communications des membres :

C. CAMERMAN. — *Présentation d'échantillons d'oolithes réalisées artificiellement.* (Texte ci-après.)

L. CAHEN. — *Présentation de poissons fossiles récoltés dans la région de Stanleyville par la Mission paléontologique du R.P. P. de Saint-Seine.* (Texte ci-après.)

A. LOMBARD et R. MONTEYNE. — *Calcsphères dans le Frasnien du Bois-de-Villers (Namur) (projections lumineuses).* (Texte ci-après.)

J. DELECOURT. — *Application du Calcul équivalentaire à l'étude chimique des roches métamorphiques et sédimentaires.* (Texte ci-après.)

Présentation d'échantillons d'oolithes (*),

par C. CAMERMAN.

La formation de concrétions à facies oolithique dans des chaudières et dans certains appareils industriels est chose bien connue des pétrographes spécialisés dans l'étude des roches sédimentaires.

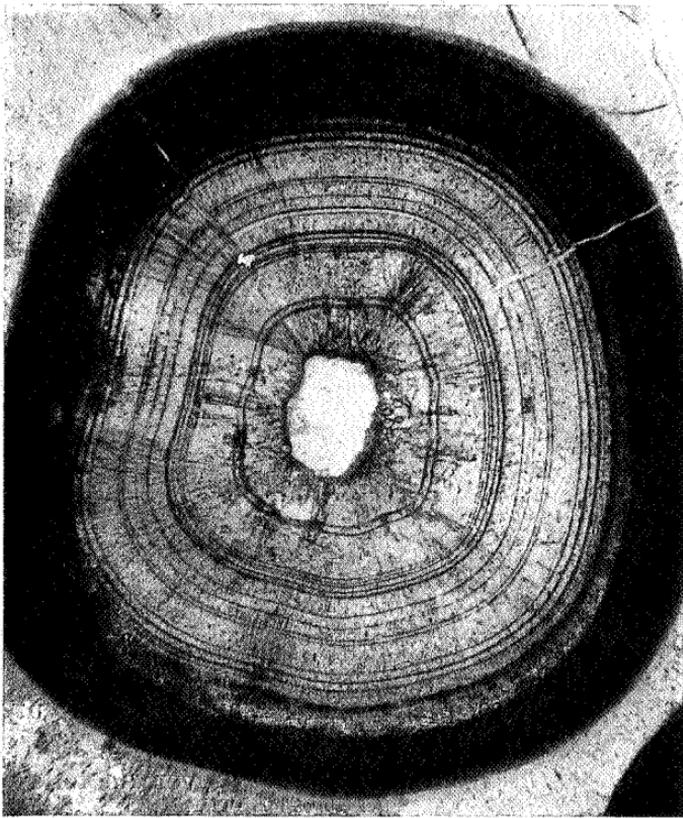
Elle est notamment mentionnée par L. Cayeux dans son mémoire classique sur « Les Roches sédimentaires de France » (1935, roches calcaires, pp. 215-216). L'auteur donne une coupe de pisolithe recueilli dans un bouilleur (pl. XI, fig. 43). Peu de géologues ayant eu l'occasion d'observer de telles concrétions, il m'a paru intéressant de présenter des oolithes intentionnellement produites dans un épurateur d'eau dénommé « GyraCTOR » et, au risque de me livrer à des redites, d'en donner une brève description :

Dans le procédé d'épuration GyraCTOR, les alcalino-terreux sont précipités par l'emploi simultané de la chaux et du carbonate de sodium. Cette précipitation est fortement accélérée et rendue plus complète par le dispositif suivant :

L'appareil consiste en un réservoir en forme de cône renversé

*. Manuscrit remis au Secrétariat le 21 février 1952.

où l'eau à épurer et la solution de réactifs sont injectés tangentielle-
ment et à froid à la partie inférieure, de manière à réaliser
un mouvement giratoire et ascensionnel des liquides, l'eau
épurée s'écoulant à la partie supérieure du réservoir. La préci-
pitation est amorcée par un « catalyseur » qui n'est autre qu'un
fin sable quartzeux injecté avec les réactifs. Les grains de sable



30x.

Photo Monteyne.

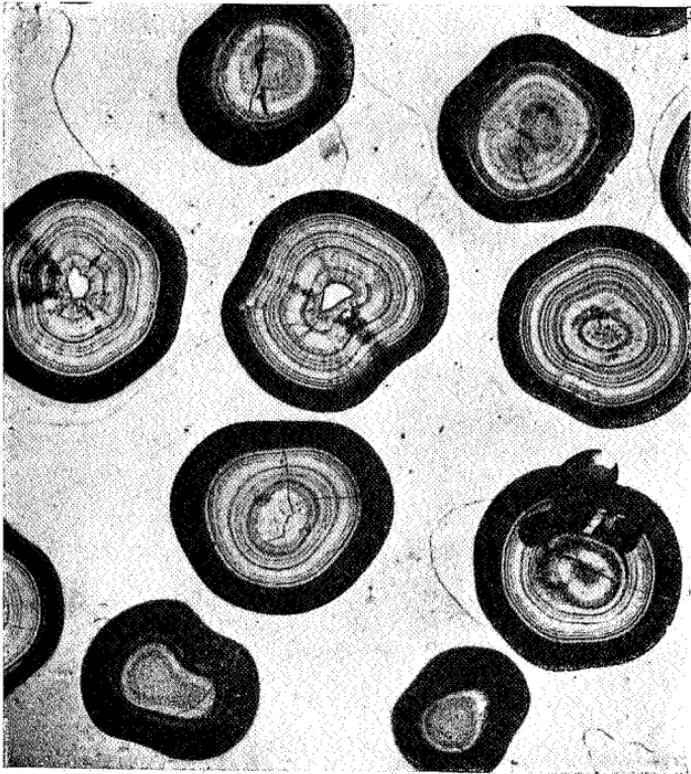
FIG. 1.

ont un diamètre moyen de 0,5 mm, allant de 0,2 à 0,8 mm. Le carbonate calcique cristallise autour des grains de sable et forme des sphérules semblables à des oolithes.

Les oolithes que j'ai pu recueillir, et qui font l'objet de la présentation, ont un diamètre de 1 à 3 mm. Cependant, dans certaines conditions de marche, l'appareil peut produire des pisolithes de 3 à 4 mm de diamètre.

Une analyse de ces oolithes a donné :

Si O ² (quartz)	0,47 %
Al ² O ³ + Fe ² O ³	0,12 %
Ca C O ³	98,88 %
Mg C O ³	0,36 %
	<hr/>
	99,83 %



12x.

FIG. 2.

Photo Monteyne.

Les coupes ci-jointes (fig. 1 et 2) montrent nettement les grains de quartz ou noyaux ayant servi d'amorce à la cristallisation et la structure fibroradiée avec enveloppe corticale microcristalline. Le carbonate calcique est cristallisé uniquement en calcite.

Les coupes que nous donnons, et particulièrement celle de la figure 1, ressemblent très fort à celle qui est figurée dans le mémoire de L. Cayeux, mais le noyau y apparaît beaucoup plus distinctement.

Quelles que soient les causes qui, dans les eaux naturelles, provoquent la précipitation du carbonate calcique, l'appareil Gyraactor présente certaines des conditions auxquelles on attribue la formation des oolithes naturelles : présence d'un élément clastique servant de noyau, mouvement tourbillonnaire dû aux vagues et aux courants.

Je remercie mes collègues G. Mortelmans et R. Monteyne qui ont bien voulu se charger de l'exécution des coupes minces et des photographies.

DISCUSSION.

M. Lombard fait ressortir l'équidistance des zones concentriques d'accroissement qu'on observe dans un groupe d'oolithes provenant d'une même opération (fig. 2).

M. Elens dit avoir observé autrefois des concrétions d'aspect oolithique dans un laveur à gaz du type Reuter.

Présentation de poissons fossiles provenant de la Mission paléontologique du Père de Saint-Seine dans la région de Stanleyville (*),

par L. CAHEN. ✓

De septembre à décembre 1951, le Père de Saint-Seine, attaché de recherches au Centre National de la Recherche Scientifique, effectua pour le Musée du Congo des recherches paléontologiques dans le bassin de Stanleyville.

Ces recherches ont livré plus d'un millier de spécimens d'au moins dix genres de poissons différents.

L'aspect général de ces riches faunes nouvelles semble placer l'étage de Stanleyville aux environs de la limite supérieure du Trias.

Certaines couches ont livré une faune d'aspect considérablement plus jeune et devront sans doute être considérées comme post-Karoo.

La conservation de la plupart de ces poissons est remarquable.

(*) Texte remis le 25 janvier 1952.

Calcisphères dans le Frasnien de Bois-de-Villers (Namur) (*),

par AUGUSTIN LOMBARD et ROGER MONTEYNE.

I. — INTRODUCTION.

Le calcaire qui renferme ces micro-organismes appartient au bord Nord du synclinal de Walgrappe. Sa charnière, bien visible dans les psammites famenniens, est connue de tous ceux qui ont suivi le cours de la Meuse de Namur à Yvoir.

L'affleurement se trouve au Nord-Est du village de Bois-de-Villers. C'est une ancienne carrière à laquelle on accède par un chemin qui quitte la grand'route de Saint-Gérard à Wépion, à la croisée dite du « Chêne à l'Image ». Elle est désignée sur la carte géologique au 1/40.000 (planchette 155, Malonne-Naninne) par la mention *Frc.*

On y voit une trentaine de mètres de bancs calcaires plongeant de 48° vers le Sud. Ils correspondent à la partie supérieure de l'assise de Frasnies et constituent la sous-assise *F2c* de l'échelle de E. Mailleux (1940) : *Calcaires stratifiés et schistes de Thy-le-Baudouin — parfois marbre Florence et Sainte-Anne.* C'est l'assise de Rhisnes et de Thy-le-Baudouin de la Carte géologique. Dans l'angle Sud de la carrière se voit la base des *Schistes de Franc-Waret*, très fossilifères.

La tranche supérieure de ces calcaires forme un complexe de bancs massifs, sombres à la cassure et finement grenus. Ils sont particulièrement riches en stromatopores globuleux. Parmi eux, le banc à calcisphères se distingue à 5 m du sommet des calcaires par sa richesse relative en coraux, encrines et brachiopodes et des restes quelque peu abondants de microfaune. Les organismes sont particulièrement apparents dans la tête du banc altérée à proximité de la surface du plateau.

II. — LES CALCISPHERES DE BOIS-DE-VILLERS.

Les formes dont il est question ici se rapportent à trois types différents mais réunis dans le même calcaire. Pour plus de clarté, nous avons renoncé à leur donner un nom de genre et d'espèce aux consonances pseudo-systématiques. Il est préfé-

(*) Manuscrit remis à la séance.

nable, lorsqu'on ne peut leur attribuer de place exacte dans l'échelle systématique, de leur conserver une dénomination provisoire en attendant de connaître leur vraie nature.

Calcispère de forme A (fig. 1, nos 1 à 13 et pl. I, nos 1, 2, 3 et 5).

L'organisme en question, lorsqu'il est entier, consiste en trois parties :

a) La sphère centrale, en calcite hyaline et cristallisée ou remplie de sédiment. Son diamètre oscille entre 100 et 150 μ . Sa forme est normalement sphérique, mais peut offrir une section subtriangulaire ou elliptique par suite de la compaction du sédiment. Il arrive souvent que la sphère soit bordée de matière sombre dont la densité croît de l'intérieur vers l'extérieur et qui peut être réduite à un simple liséré.

b) La couronne. C'est un anneau de calcite fibroradiée, adhérent étroitement à la sphère centrale suivant une surface régulière. Son contour externe est finement découpé et quelque peu irrégulier, mais son épaisseur reste sensiblement constante. En moyenne elle a pour mesure le rayon de la sphère centrale.

c) La collerette. Elle a la forme d'un triangle dont un côté enserre la couronne sur près de la moitié de son pourtour, et à laquelle il semble étroitement lié. Son sommet opposé est plus ou moins usé et flou.

Dans la zone commune de la couronne et de la collerette, la calcite semble former une seule unité. Ce qui permet toutefois de distinguer les deux parties, ce sont les fibres serrées de la couronne qui s'arrêtent suivant une ligne nette et arquée. Un

LÉGENDE DE LA FIGURE 1.

1. Forme A complète. La limite de la couronne et de la collerette est nette.
- 2. Forme A avec faisceau de grandes fibres.
- 3. Forme A. La collerette entoure partiellement la couronne.
- 4. Forme A. Collerette réduite.
- 5. Forme A sans collerette.
- 6. Forme A subtriangulaire.
- 7. Forme A subtriangulaire. Couronne découpée.
- 8. Forme A. Couronne épaisse et découpée.
- 9. Forme A ovale.
- 10. Forme A. La couronne seule est conservée.
- 11. Forme A avec corpuscule au centre de la sphère.
- 12. — Forme A. Couronne se fermant en mâchoires.
- 13. Forme A. Couronne évasée.
- 14. Forme B ovale.
- 15. Forme B subsphérique.
- 16. Forme B à anneau sombre entre la sphère et sa couronne.
- 17. Forme B. Rudiments d'épines.
- 18. Forme B à double couronne et anneau sombre.
- 19. Forme B à double couronne.
- 20. Forme B, petites dimensions, anneau sombre et épines.
- 21. Forme B, de grande dimension et fort anneau.
- 22. Forme B à pointes.
- 23. Forme B à pointes.
- 24. Forme B à longues pointes à canal axial.
- 25. Forme B à pointes et découpures irrégulières.
- 26. Forme C.
- 27. Forme B de grande taille et très découpée.

Calcisphères du Frasnien de Bois de Villers

Fig. 1

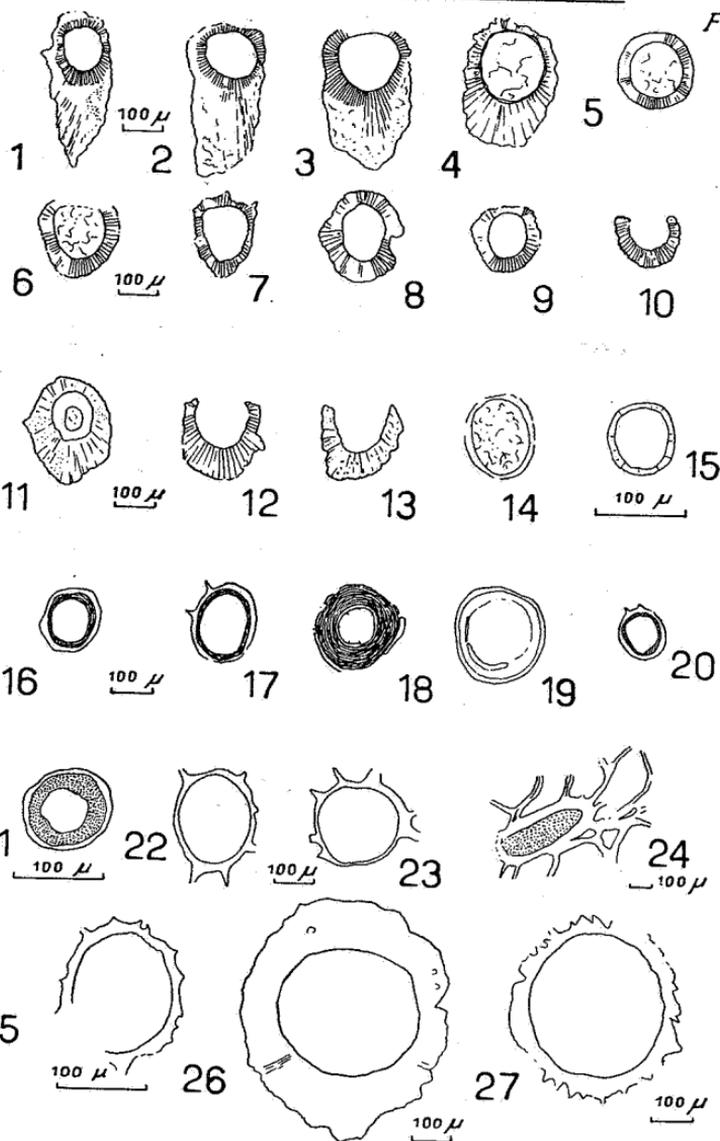


FIG. 1.

faisceau de longues fibres passe de la couronne dans la collerette; il est parfois réduit à quelques fibres isolées.

Les dimensions de la collerette varient. Sa longueur atteint 300 μ et sa largeur est de 200 μ .

La forme A se distingue facilement sous le microscope lorsqu'elle est entière. Elle est très fréquente. On en trouve également des fragments, qui sont tantôt les trois parties isolées ou tantôt ces mêmes parties groupées deux par deux.

Calcisphère de forme B (fig. 1, nos 14 à 25 et 27, pl. I, fig. 3, 4 et 6).

Ces formes se trouvent mêlées aux précédentes dans le calcaire. Ce sont des sections dans lesquelles on distingue une partie centrale sphérique remplie du calcite finement cristallisée ou de sédiment, circulaire ou ovale, et un cortex en calcite radiée et cristallisée.

Le contour externe de la sphère centrale est très net. Le cortex y adhère étroitement. Cette sphère mesure, suivant les formes, de 100 à 200 μ de diamètre. A ce propos, il faut distinguer deux groupes de formes B, les petites jusqu'à 100 μ et les grandes (100 μ et plus), tout en tenant compte du fait que de nombreuses coupes ne passent pas par l'axe de la sphère et montrent par cela même un diamètre réduit.

Les grandes formes offrent en outre d'autres particularités. On peut y voir deux cortex, avec une couche intermédiaire sombre (fig. 1, nos 18 et 19) ou simplement une couche intermédiaire sombre (fig. 16, 17, 20 et 21) sans le cortex intérieur. Ensuite, le cortex présente des épines très courtes ou des rudiments de ces épines (fig. 1, nos 22, 23, 25). Une des sections (fig. 1, n° 24) a, par contre, montré que ces rudiments d'épines pouvaient se prolonger et donner des branches flexueuses, parfois anastomosées et munies d'un canal axial (fig. 1, n° 24).

Calcisphère de forme C (fig. 1, n° 26, fig. 2, nos 1 à 17; pl. I, fig 4 et 5; pl. II, fig. 1, 3 et 4).

Il est probable que c'est cette dernière forme qui a attiré l'attention d'auteurs tels que L. CAYEUX et J. PIA. Elle est bien visible à l'œil nu, car elle atteint 1 mm de diamètre et même davantage.

D'après les coupes minces, elle apparaît comme une sphère plus ou moins parfaite, originellement creuse et actuellement

remplie de sédiments ou rarement de calcite. Cette sphère est formée par un cortex épais, de calcite hyaline largement cristallisée ou grumeleuse, sans structure apparente, lisse sur sa surface interne et irrégulier à l'extérieur. Son épaisseur est de l'ordre de la moitié du rayon de la sphère.

Les découpages du contour externe observés en coupe mince sont tantôt réguliers, du type festonné (fig. 2, n° 4), tantôt irréguliers, montrant à diverses reprises des entailles (fig. 2, n° 7) sur le pourtour.

Jamais on ne voit de perforations du cortex, soit qu'elles n'existent pas, soit que la recristallisation les ait fait disparaître.

Par contre, chaque calcisphère montre un orifice (fig. 2, n° 6) de 100 à 150 μ de diamètre.

Vues en relief, les calcisphères C montrent que la surface interne du cortex comporte deux types de décorations (pl. 2, fig. 4) :

a) Des ponctuations en creux, disséminées sur la surface.

b) Des lignes très fines rappelant des arcs méridiens. Ces lignes convergent vers un pôle où se trouve l'ouverture généralement sphérique, mais ovalisée par pression dans plusieurs cas.

La surface externe est ornée de cannelures, ce qu'ont montré les coupes minces.

III. — COMPARAISONS.

Les descriptions que donnent les auteurs peuvent être divisées en deux groupes, selon qu'il s'agit de formes dévoniennes ou carbonifères.

Dans le groupe dévonien, WILLIAMSON (24) décrit en 1880 une première espèce, *Calcisphæra robusta*, comme une balle creuse et sphérique de 50 μ de diamètre, à paroi épaisse, ridée extérieurement, à structure granuleuse et parfois fibro-radiée. Elle se rapproche de nos formes A, privées de leur collerette.

En 1928, MILON (17) définit les calcisphères comme des sphères de calcite granuleuse, creuses et parfaitement closes, souvent hérissées de pointes, tantôt longues et minces, tantôt courtes et robustes. Celles qu'il découvre dans les calcaires frasniens de Villedé-d'Ardin peuvent être rapprochées des calcisphères du Dinantien, précédemment décrites, mais sont

Calcisphères du Frasnien de Bois de Villers

Fig. 2

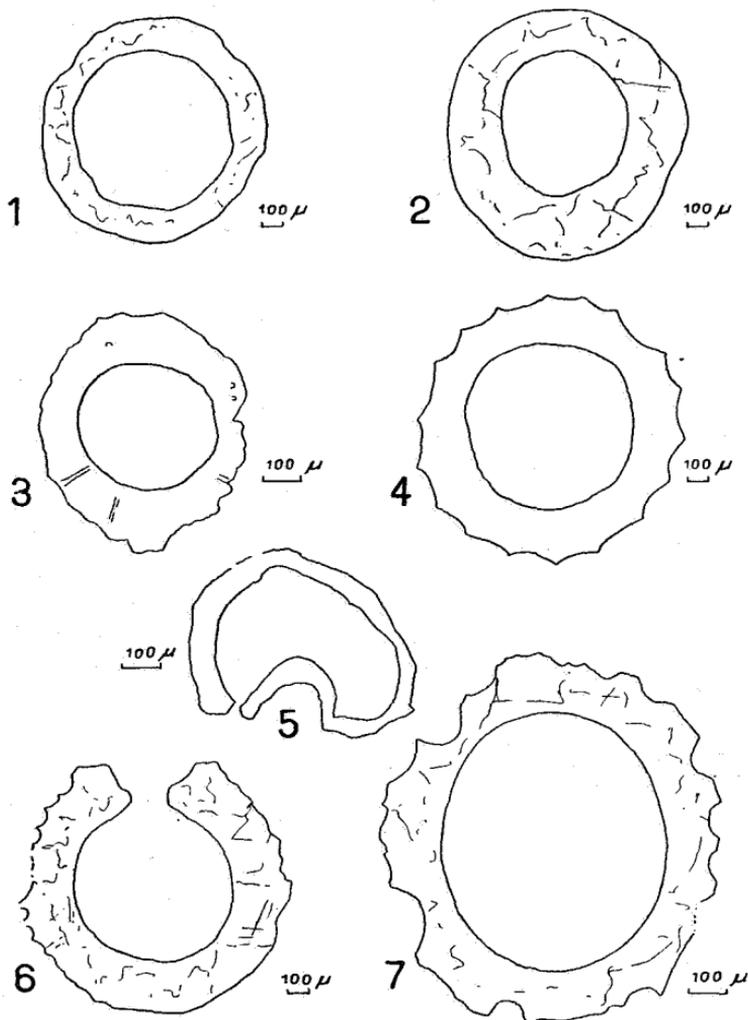


FIG. 2.

1. Forme C circulaire à test moyen. — 2. Forme C à test épais. — 3. Forme C à test épais et découpé. — 4. Forme C à test festonné. — 5. Forme C déformée. — 6. Forme C. Section passant par l'orifice. — 7. Forme C avec découpures régulières.

plus grandes, avec un test plus fin et plus épineux. Il voit dans ces épines des traces de canalicules au travers d'une couche périphérique disparue.

L'auteur figure deux groupes de calcisphères. Le premier montre des organismes à grande cavité intérieure, test fin et épineux, atteignant 200 μ (Pl. II, fig. 1a et 1a'; fig. 35-1 dans son texte). Le second groupe montre de grandes calcisphères atteignant 700 μ , dont le test est réticulé. Certaines formes semblent indiquer un passage entre ces deux groupes. Ces calcisphères sont à rapprocher de nos formes B de grande taille.

Quelques sections ont un test épais et sont plus petites du fait de leur section tangentielle.

L'auteur reproduit plusieurs figures de CHAPMAN (3), représentant des espèces du Dévonien moyen de l'Eifel.

M^{me} LE MAÎTRE (13) décrit des calcisphères du Dévonien de Bartine en Turquie. Elle en figure une de très grande section, avec des pointes, qui ne rappelle pas nos types (fig. 16). De très petites formes ressemblent, par contre, à notre forme B.

Parmi les formes carbonifères, la variété est moins grande.

WILLIAMSON, qui en 1880 décrivit pour la première fois ces organismes, distingue dans le Carbonifère des environs de Chester une série de types (et non d'espèces) tantôt lisses, tantôt hérissés de pointes.

F. KAISIN (11) figure un calcaire sapropélien du marbre noir de Dinant de l'horizon V_{1a} (Pl. XXVIII, fig. 6). Les calcisphères, très simples, sont sphériques, mais le contour extérieur n'apparaît pas. L'auteur en fait *Calcisphæra* aff. *fimbriata* WILLIAMSON. Leur diamètre (100 à 150 μ) permet de les classer dans les petites formes. Elles ne ressemblent pas aux formes frasniennes de Bois-de-Villers.

Ces calcisphères sphériques, à cortex relativement épais, ressemblent tout à fait aux calcisphères typiques que figure L. CAYEUX (1 et 2) et qu'il décrit dans les calcaires de Namèche, du Samson et du récif de Sosoye. La forme est sphérique avec un anneau périphérique épais et sombre et un globule central de calcite. L'auteur ne mentionne pas d'autres espèces, et s'il indique leur présence dans le Dévonien, il n'en décrit point.

Leur attribution à des thalles d'algues siphonnées demanderait à être précisée, car on voit difficilement, dans les formes actuelles ou anciennes, un thalle sphérique de si petite taille.

P. H. DERVILLE (4) décrit des calcisphères typiques semblables à celles de CAYEUX, formées d'un cortex relativement épais entourant une sphérule de calcite hyaline, atteignant un diamètre de 250 μ . Le cortex est soit granuleux, zoné concentriquement, ou traversé radialement par de fins canalicules. L'auteur abandonne la dénomination de calcisphères pour ces organismes, depuis que MILON (17) a étendu ce nom à des formes aussi variées et hétéroclites que ses calcisphères réticulées, et crée le genre Granulosphère pour les « Calcisphères typiques » de CAYEUX.

Dans des préparations du Viséen moyen de la vallée de la Mehaigne (environs de Huy), nous avons retrouvé la forme décrite par L. CAYEUX. Elle est d'ailleurs accompagnée de diverses autres calcisphères, dont aucune ne ressemble aux formes décrites dans cette étude à propos du Frasnien de Bois-de-Villers.

IV. — POSITION STRATIGRAPHIQUE.

Jusqu'ici, les calcisphères ont été signalées d'une manière générale au Dévonien et au Carbonifère.

Certains auteurs précisent leurs niveaux, pour le Carbonifère tout au moins. S. H. REYNOLDS (21) les place au Carbonifère C₂ dans les Upper *Syringothyris* beds, puis encore dans S₂, au niveau de l'oolithe à *Seminula*, associées à des Bryozoaires, enfin au niveau Z₂ des couches à *Zaphrentis*, à crinoïdes et à coraux.

Dans les *Dibunophyllum* beds, on les trouve à la partie inférieure associées aux couches à foraminifères suivants : *Trochammia*, *Endothyra*, *Nodosaria* et *Textularia*.

F. KAISIN (11) les trouve dans l'horizon V₁ du Viséen et E. J. GARWOOD (5) au Nord-Ouest de la Grande-Bretagne, dans la zone à *Nematophyllum minus* du Carbonifère, accompagnées de Bryozoaires et *Fenestella*. Il s'agit du Viséen à *Productus corrugato-hemisphericus*. L'auteur en a également retrouvé dans le Viséen, dans la zone à *Athyris glabristria*.

Une recherche antérieure sur des micro-organismes du Jurassique supérieur alpin (14, 15) a conduit l'un de nous (A. L.) à observer également des calcisphères dans certains calcaires du Malm. Le faciès de ces roches est souvent voisin de celui des calcaires massifs du Frasnien et du Dinantien. Ces calcisphères

ont un test très épais qui les apparenterait plutôt à celles du Dinantien. Elles ont été attribuées à des zoospores d'algues singulièrement semblables à des cellules reproductrices d'algues actuelles.

V. — ATTRIBUTIONS SYSTÉMATIQUES.

Les calcisphères ont été reconnues depuis fort longtemps, sans occuper d'ailleurs une place importante dans les recherches sur les microfaunes.

C'est W. C. WILLIAMSON (24) qui les a décrites le premier en 1880, donnant le nom de *Calcisphæræ* à un ensemble d'organismes globulaires à enveloppes variées appartenant probablement à plusieurs groupes. E. J. GARWOOD (6) les considère comme un « puzzling organism ». S. H. REYNOLDS (21) et F. KAISIN (11) les rattachent aux Foraminifères. P. JODOT (9) et L. CAYEUX (1) en font des Algues siphonnées; J. GROVES (7), des Charophytes, et H. DERVILLE (4) les attribue aux Algues.

J. VON PIA (19) est beaucoup plus réservé et voit en elles des corpuscules inorganiques, telles des bulles d'air remplies ultérieurement de calcite.

L'hypothèse qui paraît la plus vraisemblable consiste bien à les rattacher à des Algues dont elles seraient des spores. C'est en fonction de cet important groupe végétal qu'il conviendrait d'en reprendre l'étude systématique.

Cependant, on se heurtera à une difficulté. Leur résistance est très grande et elles peuvent se transporter fort loin, tout en conservant leurs caractères, surtout la sphère centrale et son cortex. Il faudra donc avoir la chance de tomber simultanément sur les algues et leurs fructifications.

VI. — CONCLUSIONS ET RÉSUMÉ.

La présence de calcisphères dans le Frasnien de Bois-de-Villers permet d'étendre la zone des gisements signalés jusqu'ici dans l'Eifel et en Bretagne.

Les trois formes décrites ici semblent particulières au Frasnien et ne se retrouvent pas au Dinantien. Leur extension dans le sens vertical paraît jusqu'ici limitée au sommet des calcaires frasniens et elles sont confinées à quelques bancs peu épais. Leur présence semble coïncider avec de rares foraminifères et quelques sections de tubes perforés dont parle L. CAYEUX, sans

les déterminer. Nos préparations montrent plusieurs types de débris d'organismes, dont certaines formes font penser à des thalles d'algues.

Le facies est mince, ce qui expliquerait également la faible extension verticale des calcispères, étroitement liées à un milieu générateur de caractère accidentel.

VII. — BIBLIOGRAPHIE.

1. CAYEUX, L., Les calcispères typiques sont des Algues siphonnées (*C.R.Ac.Sc.*, t. 188, 1929, pp. 594-597).
2. — Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées (Paris, 1935).
3. CHAPMAN, F., On Ostracoda, Foraminifera and some organisms related to *Calcisphæræ* from the Devonian of Germany (*Journ. Roy. Microsc. Soc.*, 1921, pp. 329-340).
4. DERVILLE, H., Les marbres du Calcaire carbonifère du Bas-Boulonnais (Strasbourg, 1931).
5. GARWOOD, E.J., The lower Carboniferous in the North-West of England (*Q.J.G. Soc. London*, vol. 68, p. 449, London, 1912).
6. — On the important part played by calcareous algae at certain geological horizons with special reference to the Paleozoic rocks (*Geol. Mag.*, Dec. 5, vol. 10, London, 1913).
7. GROVES, J., A sketch of the geological history of the *Charophyta* (London, 1924).
8. JODOT, P., Sur l'existence du Dinantien au col de San Colombano (Corse) et sur les conséquences tectoniques possibles de cette découverte (*B.S.G.Fr.*, série 4, vol. 30, p. 515, Paris, 1930).
9. — Sur le calcaire viséen du Moul'n du Chat-Gros, près d'Évaux (Creuse) (*Ibid.*, série 4, vol. 30, p. 273, Paris, 1930).
10. JONES, T. A., A contribution to the microscopic study of the carboniferous limestone of North Wales (*Proc. Liverpool Geol. Soc.*, Part. II, vol. XIII, 1921, p. 83).
11. KAISIN, F., Sur quelques caractères lithologiques du marbre noir de Dinant (Louvain, 1910).
12. — Les roches du Dinantien de Belgique (*C.R. Congr. Géol. internat.*, XIII^e sess., Belgique, 1922).
13. LE MAÎTRE, M^le D., Observations sur les algues et les foraminifères des calcaires dévoniens (*Ann. Soc. géol. Nord*, vol. 55, p. 42, Lille, 1930).
14. LOMBARD, AUG., Microfossiles d'attribution incertaine du Jurassique supérieur alpin (*Eclog. Geol. Helv.*, vol. 30, n^o 2, 1937).
15. — Attribution de microfossiles du Jurassique supérieur alpin à des Chlorophycées (Proto- et Pleurococcacées) (*Ibid.*, vol. 38, n^o 1, 1945, pp. 163-173).

16. MILON, Y., Sur la présence de Calcisphères dans le calcaire frasnien de Villedé-d'Ardin (Deux-Sèvres) (*C.R. somm. S.G.Fr.*, n° 15, pp. 178-179, 5 novembre 1923).
17. — Recherches sur les calcaires paléozoïques et le Briovérien de Bretagne (Rennes, 1928).
18. — Étude préliminaire de la microfaune des calcaires frasniens de Cop-Choux (Loire-Inférieure) (*C.R. somm. S.G.Fr.* 1923, p. 68, Paris, 1932).
19. PIA, J. VON, Die wichtigsten Kalkalgen des Jungpaläozoïkums und ihre geologische Bedeutung (*II^e Congrès avanc. études stratigr. Carbonif.*, Heerlen, sept. 1935, t. II; Maestricht, 1937, pp. 765-856).
20. REYNOLDS, S. H., On the rocks of the Avon section, Clifton (*Geol. Mag.*, vol. 58, p. 543, London, 1921).
21. — The lithological succession of the Carboniferous limestone (Avonian) of the Avon section at Clifton (*Q.J.G. Soc. London*, vol. 77, p. 213, London, 1921).
22. SHRUBSOLE, G. W., Proc. Chester Soc. Nat. Sc., n° 3, pp. 106-110, 1878.
23. WETHERED, E., Note on the occurrence of *Calcisphæræ* WILLIAMSON, in the Carboniferous limestone of Gloucestershire (*Proc. Geol. Soc. London*, 1888, p. 91).
24. WILLIAMSON, W. C., Note including an examination of the supposed radiolarians of the Carboniferous rocks (*Philos. Trans. Roy. Soc.*, 1880, Part. II, p. 520).
25. — On the organisation of the fossil Plants of the Coal Measures (*Ibid.*, 1889, Part. X, p. 520, pl. 20).

Université Libre de Bruxelles.

Laboratoire de Géologie.

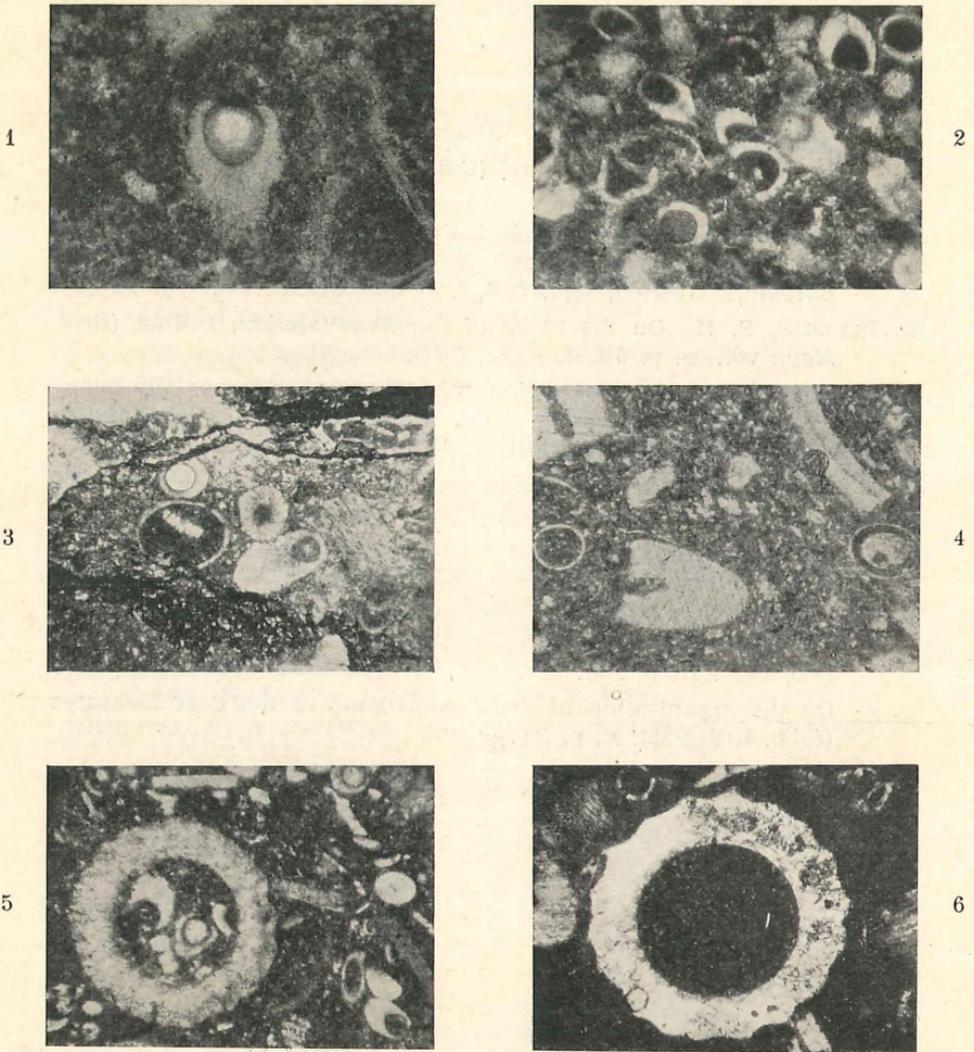


FIG. 1. — Section de Calcisphère A complète, subsphérique. Agr. 50×.
La couronne passe à la collerette.

FIG. 2. — Sections de Calcisphères A. Agr. 30×.

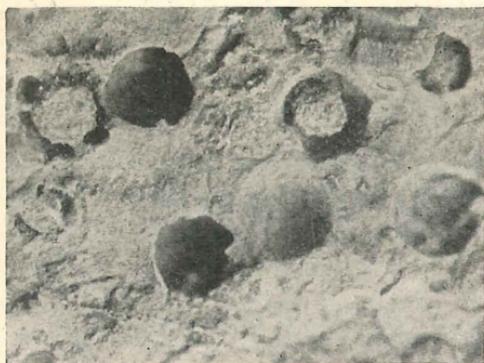
FIG. 3. — Calcisphère B et trois sections de la forme A. Agr. 30×.

FIG. 4. — A l'extrême gauche, forme B simple. Tout à droite, section B à couronne intermédiaire sombre. Agr. 30×.

FIG. 5. — Calcisphère C à contour externe irrégulier. Sections de la forme A. Agr. 25×.

FIG. 6. — Calcisphère C à contour externe en festons. Agr. 25×.
Une section B près du bord supérieur de la photo.

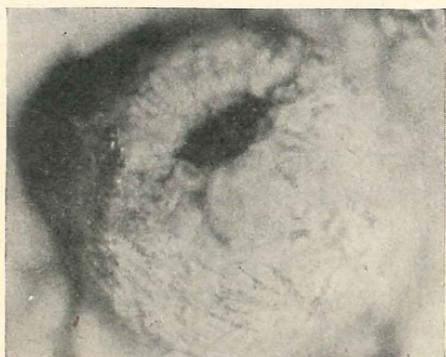
Pl. II.



1



2



3



4

FIG. 1. — Groupe de Calcisphères de forme C dont le cortex est dissous. Agr. 8x.

FIG. 2. — Calcisphère de forme A avec la sphère centrale sombre. Agr. 40x.

FIG. 3. — Calcisphère de forme C avec l'orifice ovale. Agr. 40x.

FIG. 4. — Calcisphère de forme C dont la sphère centrale a été dissoute et laisse apercevoir quelques renflements méridiens. Agr. 40x.

Application de la notation équivalente à un schiste à andalousite du Colorado (*),

par J. DELECOURT.

La communication que je fis à la séance du 15 janvier avait pour titre : « Application du calcul équivalentaire à l'étude chimique des roches métamorphiques et sédimentaires ». Plutôt que d'en donner un résumé par trop condensé, j'ai préféré appliquer les méthodes que je préconise à l'étude d'une seule analyse. J'espère ainsi rendre plus intelligibles des calculs d'ailleurs très simples.

1. Je vais donc examiner une analyse de Hillebrand se rapportant à un schiste à andalousite de Mariposa County. Ce schiste a été étudié en 1896 par H. W. Turner. Analyse et description ont été reprises à la page 617 de la quatrième édition de « The data of geochemistry », de Clarke (1920).

Suivant Turner, la roche examinée contient du quartz, de la biotite, de l'andalousite, de la séricite et des constituants mineurs non dénommés (minor accessories).

Dans le but d'évaluer équivalentairement ⁽¹⁾ et pondéralement les minéraux de la roche, ses constituants majeurs et mineurs, je vais proposer une méthode générale applicable non seulement aux roches éruptives ou métamorphiques, mais aussi aux roches sédimentaires. Je ne m'attarderai donc pas à rechercher si le schiste à andalousite de Mariposa County en Colorado a subi le métamorphisme régional ou de contact.

2. Nous établissons tout d'abord *une fiche équivalente*, tout comme nous l'avons fait ⁽¹⁾ pour des roches éruptives. Les résultats des calculs sont reproduits au tableau I. La fiche équivalente nous fournit le *calcul de base* ou thème équivalentaire sur lequel nous allons pouvoir broder presque à l'infini.

(*) Manuscrit remis au Secrétariat le 9 février 1952.

(1) J. DELECOURT, Application de la notation équivalente à l'étude des analyses des roches éruptives (*Bull. de la Soc. belge de Géol. de Paléontol. et d'Hydrol.*, 1^{re} note : t. LVI, 1947; 2^e note : t. LVIII, 1949; 3^e note : t. LIX, 1950, 4^e note : t. LX, 1951).

TABLEAU I.

617. A. Andalusite schist, Mariposa County, Colorado.

Fichier général d'entrée (calcul de base).

Si O ₂	64.280	n Sil	= 1.370			I sil	= 95,74 %
Al O ₃	17.280			n Al	= 1.017	I i	= 4,26 %
Fe ₂ O ₃	1.100	n Fe ₂ O ₄	= 14			I fm	= 19,57 %
Fe O	5.340			n Fe''	= 148	I a	= 6,36 %
Mg O	2.570			n Mg	= 129	I h	= 10,17 %
Ca O	1.190			n Ca	= 42		
Na ₂ O	910			n Na	= 29	Si E	= 46,92 mg
K ₂ O	2.930			n K	= 62		
Ti O ₂	650	n Ti O ₃	= 16			SERIE A.	
C O ₂	430	n C O ₃	= 20			TIROIR A.3	
P ₂ O ₅	270	n P O ₄	= 11			Quartz	
Mn O	90			n Mn	= 3	Biotite	
Ba O	100			n Ba	= 1	Andalousite	
Li O ₂	tr			n Li	= 0	Séricite	
<hr/>							
	97.140	n A	= 1.431	n B	= 1.431	Constituants mineurs	
H ₂ O ₊	2.720	n O H	= 151	n H	= 151		
H ₂ O ₋	200	n O H	= 11	n H	= 11		
<hr/>							
	100.060	N h	= 1.593	N h	= 1.593		

3. La description de H. W. Turner ne nous apporte aucune donnée sur les minéraux M.A. du groupe des minerais et de l'apatite. En l'occurrence, nous en sommes réduits à les éliminer conformément à la norme. Nous formons donc de l'apatite, de la calcite, de l'ilménite et de la magnétite. Il reste alors, pour les silicates :

$$\left. \begin{array}{l}
 n \text{ Sil} = 1.370 \\
 n \text{ Al} = 1.017 \\
 n \text{ K} = 62 \\
 n \text{ Na} = 29 \\
 n \text{ Ca} = 12 \\
 n \text{ Mg} = 129 \\
 n \text{ Fe}'' = 121
 \end{array} \right\} 1.370$$

Si nous cherchons à représenter la composition réelle des silicates de la roche, nous pouvons dire :

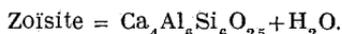
a) Les n K, n Na, n Fe'', n Mg et une partie de n Al vont former les micas, biotite et séricite.

b) Les n Ca n'entrent ni dans les micas, ni dans l'andalousite. Nous allons supposer qu'ils entrent dans la zoïsite. De la sorte, nous donnerons les calculs équivalentaires et pondéraux de ce minéral.

c) Les n Al qui ne seront employés ni dans les micas, ni dans la zoïsite, formeront, avec autant de n Si O₅, le minéral andalousite qui est exprimé.

d) La silice qui ne sera pas employée par ces trois combinaisons formera du quartz, également exprimé.

4. En doublant la formule de la zoïsite et en séparant l'eau, on obtient pour le minéral idéal :



Les 26 valences de Si₆O₂₅ sont balancées par n Ca = 8 et n Al = 18.

A chacun des n Ca de la zoïsite correspondent donc n Al = 2,25 et n Si₆O₂₅ = 3,25. Le poids moléculaire du composé Ca₄Al₆Si₆O₂₅ est 890. A chacun des n Ca = 8 de la zoïsite correspond de la sorte 890 : 8 = 111,25 du minéral déshydraté. Le calcul donne Si E = 13,846 et H₂O E = 0,692 (première note, art. 3; deuxième note, art. 21).

On trouve ainsi pour les n Ca = 12 du schiste à andalousite :

$$\begin{array}{lll} n \text{ Si}_6\text{O}_{25} = 39 & n \text{ Ca} = 12 & 12 \times 111,25 = 1.335 \text{ mg} \\ & n \text{ Al} = 27 & \text{H}_2\text{O E} = 39 \times 0,692 = 27 \text{ mg} \end{array}$$

5. L'élimination des M.A. et de la zoïsite nous laisse :

$$\begin{array}{ll} n \text{ Sil} = 1.331 & \left. \begin{array}{l} n \text{ K} = 62 \\ n \text{ Na} = 29 \\ n \text{ Mg} = 129 \\ n \text{ Fe}'' = 121 \\ n \text{ Al} = 990 \end{array} \right\} 1.331 \end{array}$$

Ces milliéquivalents représentent *des* micas et de l'andalousite. Or, dans les micas idéaux, muscovite, paragonite, phlogopite et annite, à chacun des n K + n Na correspondent n Si₃O₁₁ = 10 (troisième note, art. 42, 43 et 44); aux n K + n Na

= 62 + 29 = 91 du schiste à andalousite correspondront *des* micas — aq représentés par :

$$\begin{array}{r}
 n \text{ Si}_3\text{O}_{11} = 910 \\
 n \text{ K} = 62 \\
 n \text{ Na} = 29 \\
 n \text{ Mg} = 129 \\
 n \text{ Fe}'' = 121 \\
 n \text{ Al} = 569
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\} 910$$

Il reste dès lors pour l'andalousite exprimée :

$$n \text{ Si O}_5 = 421 \qquad n \text{ Al} = 421$$

A chacun des nAl de l'andalousite, dont la formule est SiO_5Al_2 et dont le poids moléculaire est 162, correspond un poids du minéral exprimé par 162 : 6 ou 27 mg. Le poids des micas s'établit par la sommation des produits des nombres d'équivalents par la valeur des équivalents respectifs. Ainsi à $n \text{ Si}_3\text{O}_{11} = 910$ correspond un poids $\text{Si}_3\text{O}_{11} = 910 \times (18 + 8)$ (première note, art. 3). Le résultat des calculs donne : poids des micas — aq = 36.802 mg.

6. Le poids du quartz est donné par :

Silice de l'analyse	64.280 mg.
Si O_2 de la zoïsite	...	$39 \times 13,846 =$	540
Si O_2 des micas	...	$910 \times 18 =$	16.380
Si O_2 de l'andalousite	...	$421 \times 10 =$	4.210
Silice combinée	...	21.130	21,130 mg.
Quartz par différence	...		43.150 mg.

7. Les micas ont été évalués globalement. Il est possible de séparer la muscovite de la biotite. Mais le calcul sera toujours *conventionnel*. Il n'existe, en effet, pas plus de muscovite et de *paragonite* totalement dépourvues de fer et de magnésium qu'il n'existe de biotite sans addition de micas blancs (troisième note, art. 43 et 44). Dans les micas ferro-magnésiens *théoriques* à chacun des $n \text{ Fe}'' + n \text{ Mg} = 6$ correspond $n \text{ Na} + n \text{ K} = 1$. Dès lors, les $n \text{ Na} + n \text{ K}$ de la biotite contenue dans le schiste de Mariposa County seront donnés par $n \text{ K} + n \text{ Na} = (129 + 121) : 6$ ou par $n \text{ K} + n \text{ Na} = 41,667$. Il restera pour les micas blancs :

$$n \text{ K} + n \text{ Na} = 62 + 29 - 41,667 \text{ ou } 49,333.$$

Si, *conventionnellement*, nous évaluons les micas blancs en muscovite — aq dont la molécule pèse 380, nous trouvons :

Muscovite — aq = $49,333 \times 380$ ou 18.747 mg. Il reste pour la biotite : $36.802 - 18.747 = 18.055$ mg.

8. Pour vérifier complètement les estimations de Turner, il nous reste à prouver que les micas sont séricités. Nous avons :

H ₂ O + du quartz, de l'andalousite et des M.A. ...	0 mg.
H ₂ O + de la zoïsite $39 \times 0,692$	27 mg.
H ₂ O + des micas $910 \times 1,8$	1.638 mg.
	<hr/>
Nous obtenons ainsi un total de	1.665 mg.

inférieur à celui de H₂O de l'analyse. La séricitation s'évalue donc *grossièrement* par un apport de $2.720 - 1.665 = 1.057$ mg d'eau.

9. Le tableau II résume les calculs que nous venons d'effectuer et donne ainsi la *composition réelle* du schiste à andalousite de Mariposa County. Si l'on ne craignait un affreux néologisme, il serait plus exact de dire que ces calculs fournissent un *mode approché*. Nous ne sommes, en effet, ni exactement fixés sur la présence de zoïsite, ni parfaitement renseignés sur les minéraux M.A. Le tableau II fournit à la fois des évaluations équivalentaires et pondérales. Les premières suffisent *généralement* pour autant que le poids du quartz soit calculé (quatrième note, art. 48). Les calculs peuvent dès lors être considérablement écourtés.

J'ai dû rectifier le poids total obtenu, parce que, conformément aux habitudes, j'ai joint une faible quantité de baryum au calcium. J'ai donc remplacé un nBa par un nCa. Plus exactement, à nBa = 1, j'ai substitué nCa = 1. Il en résulte que BaO = 100 de l'analyse a été remplacé par CaO = 28. D'où une erreur de 72 mg, dont il y a lieu de tenir compte.

TABLEAU II.

617. A. Schiste à andalousite de Mariposa County.
Composition réelle ou mode approché.

Minéraux	Milliéquivalents		Milligrammes	
Quartz				43.150
Zoïsite	n Si ₆ O ₂₅ =	39	n Ca = 12	12 × 111,25 = 1.335
			n Al = 27	
Micas	n Si ₃ O ₁₁ =	910	n K = 62	36.802
			n Na = 29	
			n Fe" = 121	
			n Mg = 129	
			n Al = 569	
Andalousite	n Si O ₅ =	421	n Al = 421	421 × 27 = 11.367
Apatite	n P O ₄ =	11	n Ca = 11	11 × 51,7 = 569
Calcite	n C O ₃ =	20	n Ca = 20	20 × 50 = 1.000
Ilménite	n Ti O ₃ =	16	n Fe" = 16	16 × 76 = 1.216
Magnétite	n Fe ₂ O ₄ =	14	n Fe" = 14	14 × 116 = 1.624
	n A =	1.431	n B = 1.431	97.063
H ₂ O ₊	n OH =	151	n H = 151	2.720
H ₂ O ₋	n OH =	11	n H = 11	200
	N h =	1.593	N h = 1.593	99.983
Ba = 100 remplacé par Ca O = 28.				72

100.055

Répartition conventionnelle des micas : Muscovite 18,747, Biotite 18.055 mg.

10. Voyons si l'analyse pourrait se rapporter à un schiste à séricite et à chlorite. Dans cette hypothèse, les micas théoriques seraient blancs et représentés par :

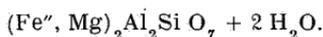
$$\begin{array}{l}
 n \text{ Si}_3\text{O}_{11} = 910 \\
 \left. \begin{array}{l} n \text{ K} = 62 \\ n \text{ Na} = 29 \\ n \text{ Al} = 819 \end{array} \right\} 910
 \end{array}$$

Il resterait pour les chlorites :

$$\begin{array}{l}
 n \text{ Sil} = 421 \\
 \left. \begin{array}{l} n \text{ Al} = 171 \\ n \text{ Mg} = 129 \\ n \text{ Fe}'' = 121 \end{array} \right\} 421
 \end{array}$$

La transformation est donc possible.

11. Le radical acide des chlorites est double. On considère, en effet, ces minéraux comme un mélange d'amésite (radical Si O_7) et d'antigorite (radical Si_2O_7). Dans ces deux minéraux, fer et magnésium se remplacent isomorphiquement. L'antigorite est dépourvue d'aluminium. L'amésite plus ou moins ferreuse est représentée par



Dès lors, à $n \text{Al} = 6$ de l'amésite correspondent $n \text{Si O}_7 = 10$ et pour le schiste de Mariposa County, on trouve :

$$n \text{Si O}_7 = (10 \times 171) : 6 = 285.$$

Il reste pour l'antigorite

$$n \text{Si}_2\text{O}_7 = 421 - 285 = 136.$$

Le calcul du quartz donne

$$Q = 42.930 \text{ mg.}$$

Celui de H_2O_+ donne

$$\text{H}_2\text{O}_+ = 3.505 \text{ mg.}$$

Mais, il nous est impossible d'établir la quantité d'eau nécessaire à la séricitisation. Comme H_2O_+ est néanmoins supérieur à H_2O_+ de l'analyse, on peut dire que *la transformation en schiste à séricite et à chlorite n'est possible qu'à la faveur d'une hydratation supplémentaire du schiste à andalousite.* Réciproquement, le schiste à andalousite proviendrait de la *déshydratation partielle*, par cuisson d'un séricito-schiste à chlorite.

Le tableau III donne le résultat des calculs de la transformation en schiste à séricite et à chlorite.

12. La composition réelle du schiste à andalousite et la transformation dite à un mica et à chlorite ont pu être déterminées parce que le calcul de base donne assez de $n \text{Al}$ et de $n \text{Sil}$ pour qu'il soit possible d'employer tous les $n \text{K} + n \text{Na}$ à former des micas. En pareil cas, nous dirons que la roche a la *prédisposition phylliteuse*. Mais si nous reprenons, par exemple, l'analyse d'un granite de Madagascar (première note, art. 2), nous trouvons : $n \text{Na} + n \text{K} = 167$ et $n \text{Sil} = 909$. Il nous faudrait $n \text{Sil}$ égal ou supérieur à 167×10 pour pouvoir intégrer la

totalité de la soude et de la potasse dans les micas. Or pour l'orthose et l'albite, on a :

$$n \text{Si}_3\text{O}_8 = 4 (n \text{Na} + n \text{K})$$

et non

$$n \text{Si}_3\text{O}_{11} = 10 (n \text{Na} + n \text{K}),$$

comme dans les micas.

TABLEAU III.

**617. A. Schiste à andalousite de Mariposa County.
Transformation en schiste à sérícite et à chlorite.**

Minéraux	Milliéquivalents		Milligrammes	
Quartz				42.930
Zoïsite	$n \text{Si}_6\text{O}_{25} = 39$	$n \text{Ca} = 12$		1.335
Muscovite	$n \text{Si}_3\text{O}_{11} = 620$	$n \text{Al} = 27$		
		$n \text{K} = 62$	62×380	23.560
		$n \text{Al} = 558$		
Paragonite	$n \text{Si}_3\text{O}_{11} = 290$	$n \text{Na} = 29$	29×364	10.556
		$n \text{Al} = 261$		
Chlorite	$n \text{SiO}_7 = 285$	$n \text{Mg} = 129$		14.273
	$n \text{Si}_2\text{O}_7 = 136$	$n \text{Fe}'' = 121$		
		$n \text{Al} = 171$		
M.A.	$n \text{M.A} = 61$	$n \text{M.A} = 61$		4.409
	$N \text{A} = 1.431$	$n \text{B} = 1.431$		97.063
Eau de l'analyse et erreur due à Ba O.				2.992
				100.055

Nous dirons, pour cette raison, que l'analyse du granite de Madagascar indique une *prédisposition feldspathique*. Bien entendu, d'autres minéraux que l'orthose et l'albite réalisent la condition :

$$n \text{Si}1 = 4 (n \text{Na} + n \text{K}).$$

Telles sont la leucite, la néphéline, la jadéite et la glaucophane idéales.

13. La déshydratation d'une roche à prédisposition phylliteuse n'exclut d'ailleurs pas des transformations en roches

feldspathiques. Pour le montrer, établissons la *norme équivalente* du schiste de Mariposa County (troisième note, art. 34, 35 et 37). On m'excusera d'indiquer également le symbole et la région dont nous aurons grand besoin plus tard. Les résultats du calcul donnant la composition virtuelle sont fournis par le tableau IV. Le poids de $H_2O + n$ y a d'autre signification que de permettre l'évaluation du total pondéral. Il est ici de 100.055 mg, comme dans les tableaux II et III. Le total de l'analyse de Hillebrand est 100.060 mg.

TABLEAU IV.

617. A. Schiste à andalousite de Mariposa County.
Composition virtuelle. Norme.

Minéraux	Milliéquivalents		Milligrammes	
Quartz				39.680
Orthose	$n Si_3O_8 = 248$	$n K = 62$	62×278	17.236
		$n Al = 186$		
Albite	$n Si_3O_8 = 116$	$n Na = 29$	29×262	7.598
		$n Al = 87$		
Anorthite	$n SiO_4 = 48$	$n Ca = 12$	12×139	1.668
		$n Al = 36$		
Corindon	$n O = 708$	$n Al = 708$	708×17	12.036
Hyperstène	$n SiO_3 = 250$	$n Fe'' = 121$	121×66	14.436
		$n Mg = 129$	129×50	
Apatite	$n PO_4 = 11$	$n Ca = 11$		569
Calcite	$n CO_3 = 20$	$n Ca = 20$		1.000
Ilménite	$n TiO_3 = 16$	$n TiO_3 = 16$		1.216
Magnétite	$n Fe_2O_4 = 14$	$n Fe'' = 14$		1.624
	$n A = 1.431$	$n B = 1.431$		97.063
Eau de l'analyse et erreur due à Ba O.				2.992
				100.055

Région R.I. Symbole I.A.3.a.II.

Si E = 46,92 %; I Q = +39,68 %; I C = 78,34 %; I a = 6,36 %.

Plagioclase: 18,00 % d'anorthite.

14. Pour transformer le schiste de Mariposa County en une *roche feldspathique à deux micas*, on part de la norme. On suppose, ce qui n'est pas très exact, que toute l'orthose est transformable en micas, alors qu'on enlève ce privilège à

l'albite. De la sorte, $n\text{Si}_3\text{O}_{11}$ des micas est égal à dix fois les $n\text{K}$ de l'orthose. Dans notre exemple à $n\text{K} = 62$ correspondent $n\text{Si}_3\text{O}_{11} = 620$, dont 416 vont à la biotite et 204 à la muscovite. J'en accepte l'augure !

Si nous voulons former *un gneiss à un seul mica*, la biotite, nous retransformons les $n\text{Si}_3\text{O}_{11} = 204$ de la muscovite en orthose, ce qui a pour effet d'augmenter le poids de Al_2SiO_5 . On peut aussi répartir les $n\text{Mg} + n\text{Fe}''$ entre la *cordiérite* et l'*enstatite*. Les $n\text{Al} = 708$ du corindon normatique peuvent, en effet, se joindre à $n\text{Mg} + n\text{Fe}'' = 708 : 3$. Il restera $n\text{Mg} = 14$ pour l'enstatite.

TABLEAU V.

**617. A. Schiste à andalousite de Mariposa County.
Mode, norme et hypothèses de transformation.**

	1	2	3	4	5	6	7
Quartz	42.930	43.150	41.288	40.028	39.680	29.375	29.060
Orthose	0	0	0	5.838	17.236	17.236	17.236
Albite	0	0	7.598	7.598	7.598	7.598	7.598
Anorthite	0	0	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668
Corindon	0	0	0	0	12.036	0	0
Hyperstène	0	0	0	0	14.436	0	0
Enstatite	0	0	0	0	0	0	700
Muscovite	23.560	18.747	7.980	0	0	0	0
Paragonite	10.556	0	0	0	0	0	0
Biotite	0	18.055	18.406	18.406	0	0	0
Zoïsite	1.335	1.335	0	0	0	0	0
Chlorite	14.273	0	0	0	0	0	0
Al_2SiO_5	0	11.367	15.714	19.116	0	0	0
Almandin.	0	0	0	0	0	1.743	0
Cordiérite	0	0	0	0	0	35.034	36.392
M.A.	4.409	4.409	4.409	4.409	4.409	4.409	4.409
H_2O (BaO—CaO) .	2.992	2.992	2.992	2.992	2.992	2.992	2.992
	100.055	100.055	100.055	100.055	100.055	100.055	100.055

1. Transformation en roche phylliteuse à séricite et chlorite
2. *Composition réelle* : roche phylliteuse à andalousite, micas clairs et micas foncés.
3. Transformation en roche feldspathique dite à deux micas.
4. Transformation en roche feldspathique à biotite et sillimanite.
5. *Composition virtuelle*. Norme.
6. Transformation en roche feldspathique à grenats et cordiérite.
7. Transformation en roche feldspathique à cordiérite et enstatite.

Si les $nAl = 708$ vont à la cordiérite et aux *grenats ferreux*, ce qui n'est pas absolument impossible en paragéнесе instable, on notera que pour les *grenats*, le rapport $nAl : (nMg + nFe)$ est égal à l'unité. Il est de six à un dans la *staurotite*. Toutes ces transformations trouvent leur traduction pondérale au tableau V. La composition réelle porte le n° 2 et la norme équivalente le n° 5. Le *disthène*, la *cyranite*, l'*andalousite* et la *sillimanite* sont désignés par la formule Al_2SiO_5 . Les paragénèses se situent sans triangles d'orientation et sans équations de passage.

15. Nous venons de montrer que la composition réelle des roches à prédisposition phylliteuse peut s'obtenir en partant directement du calcul de base. Celle des roches à prédisposition feldspathique appelle, en supplément, un calcul de la norme équivalente.

Une fois de plus, le mode et la norme s'assistent ! Il va de soi que les roches faiblement silicatées ou même dépourvues totalement de silicates auront leurs fiches équivalentaires dans des tiroirs n° 6 (première note, art. 12). Pour celles-ci, le calcul des minéraux du groupe des minerais et de l'apatite va prendre une importance capitale.

Wasmès, le 14 février 1952.

BIBLIOGRAPHIE.

- G. CESÀRO, Sur la loi de constance du nombre d'atomes contenus dans des poids égaux des différentes roches éruptives (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XLI, 1919).
- F. W. CLARKE, The data of geochemistry, fourth edition 1920.
- G. VAN ESBROECK, Diagramme chimico-minéralogique pour la comparaison des analyses des roches éruptives (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XLVII, 1924, Mém.).
- P. NIGGLI, Ueber Molekularnormen zur Gesteinsberechnung (*Bull. suisse de Minér. et de Pétr.*, vol. XVI, 1936).
- M. ROQUES, Les schistes cristallins de la partie Sud-Ouest du Massif central français (*Mém. de la Carte géol. dét. de la France*, 1941).
- J. DELECOURT, Roches éruptives, rayons X et équivalents (*Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. LV, 1946).
- M.-E. DENAEYER, Tableaux de Pétrographie (Éditions Lamarre, Paris, 1951).
- H. BUTTGENBACH, Qu'est-ce qu'un minéral ? (*Bull. Soc. géol. de Belgique*, t. LXXIII, juin 1950).