

SUR LA STRUCTURE GLOBULITIQUE D'UNE PYRITE  
SÉDIMENTAIRE DU CAMBRIEN DE ROCHELINVAL  
(MASSIF DE STAVELOT) (\*)

par PAUL ANTUN (\*\*)

*Remarque préliminaire*

Cette note paraîtra en deux parties. La première correspond à l'état de nos recherches relatives à des échantillons qui furent soumis à l'auteur en avril 1955 par M. R. ANTHOINE pour examen. Sur son invitation nous avons présenté une communication à la séance du 15 juillet 1955 de la Société Géologique de Belgique à laquelle correspond le texte suivant. Lors de la discussion, nous étions avertis que des études, restées inédites, avaient été effectuées sur les mêmes matériaux antérieurement aux nôtres. Pour cette raison, nous avons alors postposé la publication dont seul le titre a paru à l'époque (ANTUN, 1955). Nous nous voyons ainsi obligé de revenir d'abord sur notre texte original. La deuxième partie aura trait aux observations complémentaires effectuées depuis lors sur une nouvelle série d'échantillons recueillie à RochelINVAL.

PREMIÈRE PARTIE

RÉSUMÉ

Un banc pyriteux, interstratifié dans une série de phyllades noirs à intercalations de bancs de quartzite d'âge revinien inférieur, affleure dans une tranchée du chemin de fer Luxembourg-Liège à hauteur de RochelINVAL où il a été découvert par M. R. ANTHOINE. Ce banc présente les particularités structurales suivantes : 1° La pyrite y forme des globules de taille assez uniforme, de 250 microns en moyenne. 2° Ces globules sont des superstructures constituées elles-mêmes par un assemblage de globules plus petits, de 10 à 50 microns de diamètre. 3° Ces globules élémentaires sont constitués par un assemblage de petits cristaux de pyrite auxquels se sont fréquemment substitués des silicates. 4° Dans chaque superglobule ou colonie, le diamètre des globules élémentaires reste sensiblement constant, petit, moyen ou grand. 5° Des colonies cassées et les détails de la stratification montrent que l'accumulation pyriteuse résulte de phénomènes de concentration mécaniques, contemporains du dépôt. L'origine des structures est brièvement discutée. 6° Une partie de la pyrite sédimentaire a recristallisé en engendrant des cubes porphyroblastiques à inclusions de chalcopyrite et de pyrrotine.

ABSTRACT

A pyritic bed, interstratified with Revinian black phyllites and quartzites, outcrops in the Luxembourg-Liège railway cutting at RochelINVAL where it was discovered by Mr. R. ANTHOINE. The bed has the following characteristics :

1. The pyrite forms globules of approximately uniform size, about 250 microns on average.

(\*) Communication présentée le 3 avril 1973 par M. Bartholomé, manuscrit reçu le 18 avril 1973.

(\*\*) Adresse actuelle : P. ANTUN, prof. ord. à la Faculté Polytechnique de l'Université Nationale du Zaïre, B.P. 1825 LUBUMBASHI — ZAIRE.

2. These globules are aggregates, and are themselves formed of smaller globules from 10 to 50 microns in diameter.
3. These constituent globules are formed from an assemblage of small pyrite crystals which are often replaced by silicates.
4. In each « super-globule » or « colony » the diameter of the constituent globules is roughly constant, whether small, medium or large.
5. Broken colonies, together with the detailed features of the stratification, show that the pyritic accumulation resulted from mechanical concentration contemporaneous with the deposition of the sediments. The origin of the structures is briefly discussed.
6. Part of the sedimentary pyrite has recrystallised and given rise to porphyroblastic cubes with inclusions of chalcopyrite and pyrrhotite.

#### MODE D'OCCURRENCE

On sait que le Revinien du Massif de Stavelot est une formation géosynclinale terrigène d'âge cambrien, formée de phyllades et quartzophyllades noirs à intercalations de bancs de quartzite peu micacés, foncés. Ces roches doivent leur teinte en premier lieu à du carbone finement divisé, présent à raison de 0.3 à 0.5 % (cf. C. KLEMENT, 1888), et subsidiairement à de la pyrite. Ce minéral se rencontre dans presque toutes les roches reviniennes, soit sous une forme finement grenue, soit sous forme de cubes porphyroblastiques, et il est souvent abondant. Ces faits indiquent que, non obstant l'absence de restes d'organismes supérieurs, le bassin de sédimentation abritait une vie prolifique et dont les restes furent soustraits à l'oxydation complète, quoique le fond était balayé par des courants qui ont laissé leur trace dans la stratification oblique fine des quartzites. L'abondance de la pyrite est sans doute en relation avec la présence de matières organiques et indique que le milieu était vraisemblablement marin, riche en ions sulfate utilisé par des bactéries anaérobies sulfatoréductrices.

A côté de cette pyrite disséminée existent des concentrations interstratifiées dont un banc a été signalé par R. ANTHOINE (1939). Il est intéressant par sa structure globulitique très particulière, sommairement décrite dans le mémoire cité par I. DE MAGNÉE et M. LEGRAYE.

Le Revinien a été affecté par les orogénèses calédonienne et hercynienne et, à Rochelival, la série recoupée dans les tranchées du rail et de la route est très chiffonnée, à petits plis déversés au Nord et recoupés par de nombreuses failles, comme figuré par R. Anthoine. On se trouve dans les phyllades d'Ennal, soit dans le Revinien basal, et l'abondance locale de bancs de quartzite foncé a conduit à distinguer ici un niveau particulier, dit de Rochelival. Cet ensemble est soujacent aux quartzites verts devilliens, plus anciens, du bord Nord de l'anticlinal de Grand-Halleux, qui s'y superposent par l'intermédiaire d'une faille plate.

Au sujet de la couche pyriteuse, Monsieur Anthoine s'est exprimé comme suit dans une lettre privée : « Le banc pyriteux décrit est compris dans un ensemble très chiffonné formé de phyllades noirs et de quartzites gris-bleu. Le mur géométrique de la formation pyriteuse est constitué de phyllades noirs laminés. L'intercalation intéressante est visible sur 5 à 6 mètres suivant l'inclinaison. Elle a une épaisseur de 20 centimètres. Au toit, elle se soude intimement à un banc de quartzite gris-bleu veiné de quartz dont l'épaisseur est en moyenne de 40 centimètres. Ce banc se place sous 10 cm de phyllade noir; sur le joint de stratification on lit comme mesures : direction E.W., inclinaison 28° S.

A ce phyllade noir succède un autre banc de quartzite de 15 cm d'épaisseur.

Telles sont les conditions de gisement générales du banc pyriteux intéressant. Elles n'ont donc rien de particulier. »

#### COMPOSITION ET STRUCTURE DES GLOBULES DE PYRITE

Le banc pyriteux a une structure très finement oolithique visible à l'œil nu. Il est formé de globules de pyrite dont la taille, sensiblement uniforme, varie entre 200 et 300 microns et qui sont réunies en partie par un ciment gris-verdâtre quartzochloriteux ainsi que par des plages de pyrite hypidiomorphe.

Près du contact avec le phyllade du mur la roche pyriteuse présente quelques indications de stratification interne. On y remarque une laie microconglomératique à grosses particules foncées et gros grains de quartz roulés. En outre, on observe dans le quartzite du toit de l'accumulation principale de petites lentilles pyriteuses de même type qui suivent la stratification inclinée de ce dernier.

Au microscope, on vérifie que les globules macroscopiques ont des dimensions très constantes, de 250 microns de diamètre en moyenne. Ils sont constitués à leur tour par un assemblage souvent compact, d'autres fois un peu plus lâche de petits globules de 10 à 50 microns de diamètre et nous appellerons par la suite les superstructures « colonies, sans vouloir pour cela présumer de leur mode de formation. Les petits globules seront qualifiés d'élémentaires.

Les colonies présentent des aspects variables :

1. Dans le cas le plus simple, elles sont formées de globules élémentaires entièrement pyriteux réunis par un ciment transparent silicaté, fait de grains de quartz et de chlorite poecilites qui se raccordent parfois à des grains de la pâte. Quant aux globules élémentaires, ils sont constitués par un assemblage de grains de pyrite semblant jointifs et qui peuvent se projeter avec des formes propres, correspondant le plus souvent à des faces hexaédriques, sur la périphérie des globules élémentaires.

2. La place du ciment silicaté interne des colonies peut être prise par de la pyrite, soit partiellement — et alors de préférence en périphérie —, soit totalement. Dans ce cas, la colonie peut apparaître en section comme un disque indifférencié à contour circulaire très régulier, lisse. La plupart du temps, on peut cependant découvrir l'un ou l'autre reste de mamelon trahissant la nature complexe de l'ensemble.

3. Dans bon nombre de colonies, à pores pyritisés ou non, on aperçoit parmi les globules élémentaires pyriteux, massifs, l'un ou l'autre transparent, « creux », formé de silicate (voir plus loin). Ces globules transparents peuvent se multiplier au point d'envahir, et cela souvent sans relation avec la symétrie sphérique, toute la colonie, n'épargnant que quelques éléments. Si un ciment pyriteux s'est développé dans les pores, il résiste généralement mieux et forme le squelette de l'éponge. Dans les cas les plus avancés de la substitution de la pyrite par les silicates, l'ancienne structure ne se reconnaît plus que par l'alignement de granules très fins de pyrite dessinant des contours de globules.

Dans le détail, on constate en premier lieu, qu'alors que la pâte réunissant les colonies est formée de quartz et de chlorite, le remplissage des globules creux comprend une très forte proportion de mica blanc de biréfringence quelque peu faible, probablement de phengite, qui prédomine fréquemment sur la chlorite et le

quartz. En second lieu, on constate que si, parfois, un globule élémentaire délimite une seule particule silicatée monocristalline et que, dans le cas où celle-ci correspond à du mica blanc, son contour peut même être légèrement déformé en ellipse aplatie parallèlement au clivage de l'inclusion, tel n'est pas le cas normal. En effet, les plages silicatées monocristallines se prolongent généralement à travers plusieurs globules adjacents et le cas anormal, évoqué ci-dessus, est réalisé de préférence là où il n'existe qu'un globule creux isolé. En troisième lieu, l'observation montre que les intergranulaires des silicates poecilites recoupent à l'emporte-pièce les contours des globules élémentaires : Ainsi, p. ex., une paillette de mica, délimitée par le plan de clivage, peut recouper plusieurs globules de façon radiale ou sécante, laissant intactes des hémisphères ou calottes pyriteuses sectionnées par le clivage. Il en est de même pour des intergranulaires planes entre mica et chlorite ou quartz : ces plans ne sont aucunement influencés par la structure multiglobulitique recoupée qui appartient donc en propre à la pyrite. On note, en outre, que cette structure subsiste — beaucoup mieux d'ailleurs dans la chlorite que dans le mica — à l'intérieur des silicates sous forme de points de pyrite dessinant les contours des globules élémentaires et aussi (dans la chlorite) sous forme d'un nuage de poussières submicroscopiques de pyrite à l'intérieur des globules ainsi définis. Par ailleurs, les paillettes micacées ne montrent le plus souvent aucun arrangement systématique : elles sont dirigées en toutes directions à travers le domaine d'une colonie, des fois isolées, des fois à ce point fines et abondantes que la structure globulitique élémentaire n'est pratiquement plus discernable et que la colonie se présente comme une pelote sphérique de phyllites enchevêtrées à ciment pyriteux.

Tout au début de nos observations, il nous parût que des structures aussi complexes et aussi régulières devaient être difficiles à expliquer par des causes purement inorganiques. N'avait-on pas déjà fréquemment qualifié dans la littérature des globules pyriteux isolés, de la taille de nos globules élémentaires, de bactéries à soufre pyritisées ? Il apparût cependant vite que l'hypothèse d'une origine organique, mis à part tout essai d'attribution des structures à des organismes connus, se heurtait à des difficultés encore plus sérieuses : Comme déjà remarqué par MM. De Magnée et Legraye (R. ANTHOINE, 1939), les globules élémentaires ont des tailles variant de 10 à 50 microns. Nous devons préciser que, en dépit de la taille constante des colonies, chaque ensemble était caractérisé par des globules élémentaires de diamètre sensiblement égal. On rencontre donc dans le banc pyriteux côte à côte et distribuées au hasard des colonies à petits globules, des colonies à grands globules, des colonies à globules moyens, une relation difficile à concilier avec un phénomène de croissance. Jamais d'ailleurs, ni les colonies, ni les globules élémentaires ne montrent de phénomènes de bourgeonnement ou d'étranglements menant à des séparations.

Après avoir éliminé la possibilité d'un précurseur organique de nos structures qui aurait pu expliquer la question des globules creux, qui nous rendaient perplexes, nous nous sommes tournés à la recherche d'un éventuel précurseur inorganique. On sait que M. LEGRAYE (1931) a décrit des structures quelque peu comparables aux nôtres dans des houilles de Liège qui montrent des concentrations subsphériques de grains de sidérite arrondis, pris dans un réseau charbonneux, grains de taille d'ailleurs bien supérieure (0.5 à 2 mm) à celle de nos globules élémentaires. Effectivement, on trouve dans la roche de Rochelival par-ci, par-là une colonie montrant une ou plusieurs sections de contour losangique, attribuables à un carbonate rhomboédrique épigénisé par du quartz et de la chlorite.

Nous ne pouvons donc exclure catégoriquement la possibilité que les globules et colonies pyriteuses aient eu un précurseur qui leur aurait légué sa structure

générale. Ce précurseur devrait, il est vrai, avoir eu une composition particulière, riche en fer (p. ex. de la sidérite fibroradiée), la matrice n'ayant pas été pyritisée.

D'un autre côté, nous pouvons rejeter l'hypothèse d'une syncrystallisation de la pyrite et des silicates des globules creux. Comme indiqué plus haut, la structure globulitique est propre à la pyrite et elle subsiste grâce à elle à l'état fantomatique dans les phyllites qui sont, dans leur masse, plus tardives, épigénétiques.

Quant à la constitution des globules élémentaires, les sections polies nous montrent que l'on a affaire à un agrégat de cristaux jointifs qui peuvent ou ne peuvent pas se projeter à la périphérie, le premier cas étant le plus fréquent. La granularité des cristaux est sensiblement constante dans les globules élémentaires individuels et dans tous les globules d'une même colonie. D'une colonie à l'autre, elle est cependant fort variable (d'un à plus de 5 microns) et ce en fonction du diamètre des globules élémentaires : les gros globules sont formés par de gros cristaux de pyrite, les petits par de la pyrite parfois excessivement finement grenue. Cette relation entre les diamètres des uns et des autres n'est cependant pas linéaire. Il s'agit d'une règle très générale. De toute façon, elle confirme une conclusion importante que l'on pouvait déjà déduire de la taille uniforme des éléments globulitiques d'une colonie, à savoir que chaque colonie constitue une entité pourvue de caractères qui lui sont propres et ne résulte donc pas d'une agglomération fortuite de globules élémentaires quelconques.

#### GENÈSE ET TRANSFORMATIONS DU BANC PYRITEUX

Comme indiqué plus haut, la série dans laquelle la concentration pyriteuse est interstratifiée est faite de schistes et quartzophyllades noirs, riche à Rochelival en intercalations de bancs décimétriques de quartzites gris-bleu.

Les échantillons des premières roches montrent une alternance de laiettes plus sombres et plus claires à stratification fine fréquemment perturbée ou oblique. Les laies sombres sont formées par de la séricite et de la chlorite auxquelles se joint une quantité non négligeable de grains de quartz de 25 microns en moyenne. Une partie des phyllites est détritique, relativement grenue, à paillettes constituées souvent par des sandwichs de chlorite et de mica blanc; l'autre a subi une recristallisation mitigée parallèlement à la stratification mais se trouve en grande partie sectionnée et entraînée le long des plans serrés du clivage transversal très développé. Le pigment foncé, opaque en lame mince, est formé par un nuage de particules charbonneuses concentrées le long des clivages et par des paillettes isolées de carbone graphitoïde fortement anisotropes. Une autre partie du pigment est formée par de minuscules cubes de pyrite de 2 à 50 microns d'arête. Ils suivent avant tout les plans de stratification, mais aussi les clivages transversaux. On rencontre, en outre, des cubes porphyroblastiques atteignant 3 mm de diamètre, éparpillés, et qui occasionnent de belles auréoles d'éirement. On y observe des inclusions de séricite et de rutile authigène non résorbés, ainsi que de petits lambeaux de pyrrhotine, chalcopryrite et galène, dépourvus de forme propre.

Les quartzites de Rochelival sont vitreux et tenaces. Dans les tranchées ils paraissent massifs par manque d'altération, mais ils sont en fait souvent finement zonaires grâce à une faible variation de grain et ils montrent souvent de la stratification oblique. D'après R. ANTHOINE (1939), la série de base reviniennne serait renversée à Rochelival. Un examen attentif de la stratification oblique devrait permettre de résoudre cette question controversée. Les quelques observations qu'il nous a été possible d'effectuer sur des tranches sciées du banc minéralisé semblent indiquer que

la série est déversée, mais non renversée de la manière imaginée par Anthoine. Dans les bancs examinés, le grain du quartz varie entre 80 et 120 microns, mais il s'y ajoutent parfois des grains détritiques atteignant 200 à 400 microns et exceptionnellement 800 microns de diamètre. On note des grains schisteux foncés de même taille, voire encore plus gros. La roche ne contient que des traces de feldspath (albitique) et montre parfois sur certains plans de stratification des concentrés de minéraux denses ubiquistes, rarement un grain de grenat, ainsi que beaucoup d'opaques rutilisés. En dépit des intercalations schisteuses qui ont dû prendre sur elles le gros de la déformation tectonique, les quartzites ont été eux-aussi laminés : les grains de quartz sont généralement indentés, aplatis suivant la stratification, tordus et souvent granulés sur leur périphérie. Les anciennes intergranulaires, quoique déformées, sont marquées par de minuscules paillettes de séricite et de chlorite prises dans le quartz. La pyrite des quartzites a plusieurs manières d'être : elle forme de nombreux globules élémentaires mesurant en moyenne 15 microns, mais pouvant atteindre exceptionnellement 50 microns; des globules de taille souvent inégale peuvent former des essais lâches sans régularité; enfin la pyrite forme fréquemment des colonies de globules du type de celles de la concentration pyriteuse, quoique généralement un peu plus petites. A part ces diverses formes globulitiques, on observe de nombreux cristaux hexaédriques de 0.5 mm de diamètre moyen. Il n'est pas inutile de remarquer que les globules et agrégats pyriteux sont plus abondants dans les laies montrant des concentrés de minéraux denses détritiques : zircon, tourmaline, rutil roulés et nombreux opaques titanifères rutilisés. Il pourrait s'agir de globules et colonies pyriteux remaniés, mais on ne peut le prouver et on ne peut exclure que les causes de cette abondance de pyrite hâtive résident dans la présence de sables noirs riches en magnétite, martite et ilménite, soit en fer qui aurait été sulfuré.

Quant au banc qui nous intéresse en premier lieu, on y observe dans sa moitié supérieure les mêmes faits que ceux rapportés pour les quartzites en général. Vers sa base essentiellement pyriteuse, des lenticules riches en colonies et qui suivent l'allure de la stratification oblique se multiplient. Le toit de la couche pyriteuse est assez net. Il en est de même de la base au contact du schiste sousjacent, dans laquelle nous avons noté quelques gros grains de quartz et de grosses particules de schiste roulés, certainement détritiques. Les colonies sont entassées d'une manière assez compacte et forment, ensemble avec la pyrite tardive hexaédrique environ 50 % du dépôt. Elles peuvent se souder entre elles et cela surtout suivant des plans sub-parallèles au litage, c'est-à-dire normalement à la pression lithostatique, probablement par « impressionnement ». On peut imaginer que la matière solubilisée a contribué, ensemble avec celle des globules « creux », à la formation de cristaux de pyrite idiomorphes, peocilitiques, qui moulent les colonies. Une partie du ciment ainsi épigénisé aurait échangé sa place avec la pyrite globulitique dissoute, en particulier la séricite. Le moteur de ce processus n'est pas très apparent et on ne peut faire que des rapprochements entre observations. Il est de même difficile de reconstituer l'état originel du ciment des colonies, car il a fortement recristallisé, la séricite a émigré vers les globules pyriteux et, finalement, toute la roche a subi un laminage intense durant lequel la pyrite, colonies et cristaux tardifs, s'est montrée très résistante à la déformation. Si les colonies épigénisées en grande partie par des silicates sont étirées, les colonies pleines et les cristaux ne montrent, par contre, pas d'altération de leurs contours, à des cassures près, et ces grains occasionnent de forts halos d'étirement tels qu'une première calotte, formée de chlorite, a été suivie par la précipitation de quartz en tiges subperpendiculaires aux contacts avec la pyrite.

A ces modifications considérables n'ont échappé que de très gros grains détritiques, mais on peut affirmer que la masse des silicates du ciment a dû être plus finement grenue que les colonies pyriteuses, probablement du calibre normal des grains de ces quartzites (100 microns).

Parmi les colonies entières, on découvre d'assez nombreuses colonies cassées par le milieu et formant des hémisphères et calottes couchées dans la plan de la stratification, à convexité tantôt vers le haut, tantôt vers le bas, rarement en position redressée. La roche n'offre aucun argument capable d'expliquer ces colonies « incomplètes » comme engendrées sur place et limitées dans leur développement par l'un ou l'autre obstacle. Des coins anguleux de colonies cassées suivant plusieurs plans se voient d'ailleurs, si même rarement, et ces faits, combinés à 1) la taille étonnamment uniforme des colonies 2) la présence de gros grains détritiques et 3) la stratification oblique des lenticules qui font suite vers le toit à l'accumulation principale nous portent à affirmer que le banc pyriteux n'a pas été engendré par un phénomène de pyritisation anormal, mais qu'il correspond à un concentré mécanique de colonies remaniées et classées hydrauliquement.

Une telle origine rend plus compréhensible aussi le mélange de colonies de divers types à l'intérieur du banc. Comme exposé antérieurement, chacune de ces colonies représente une unité génétique. Il est plus facile de concevoir la genèse, en un temps et lieu déterminé, soit dans des conditions spécifiques, de nombreuses colonies toutes plus ou moins semblables, et la genèse, dans des conditions légèrement différentes, c'est-à-dire ailleurs et peut-être aussi avec un décalage de temps, de colonies d'un autre type semblables entre elles, un remaniement mécanique les mélangeant par après.

Pour ce qui est de la genèse des globules élémentaires et des colonies elles-mêmes, nous croyons avoir avancé des arguments éliminant toute hypothèse qui les interpréterait comme « pseudomorphoses » d'organismes. D'un autre côté, ni les globules élémentaires — faits de cristaux de taille uniforme —, ni les colonies — faites de globules de taille uniforme à pyrite de même granularité — ne peuvent être interprétés comme des agrégats fortuits.

Dans ces conditions, nous penchons vers une hypothèse qui attribue la forme sphérique des globules et des colonies à des effets de tension superficielle d'un précurseur colloïdal. Il se serait produit d'abord de grosses gouttes déterminant la taille des colonies. Pour des raisons que l'on ne peut que supputer (perte d'eau, concentration concomitante d'un agent émulsifiant?), ces grosses gouttes seraient devenues instables et ce seraient décomposées en globules « élémentaires ».

On sait que B. Doss (1912) a signalé l'occurrence, dans des argiles miocènes de la région de Samara (Russie) d'une forme de sulfure de fer microcristalline, la melnicovite, qu'il croit résulter d'une réaction entre un gel d'hydrotroïlite et du soufre élémentaire fourni par des bactéries à soufre. Cette forme de sulfure de fer de composition proche du bisulfure semble métastable et se convertir avec le temps en pyrite. Dans son travail, B. Doss passe en revue un grand nombre de gisements interstratifiés dans des sédiments et dont la pyrite se présente en petits globules qu'il croit pouvoir attribuer à un précipité d'hydrotroïlite colloïdal ainsi transformé.

## OUVRAGES CITÉS

- ANTHOINE, R., 1939. — La fenêtre de Falize — Ligneuville. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. **63**, pp. M. 1-48.
- DOSS, B., 1912. — Melnikovit, ein neues Eisenbisulfid, und seine Bedeutung für die Genesis der Kieslagerstätten. *Zschr. f. prakt. Geol.*, t. **20**, pp. 453-483.
- KLEMENT, C., 1888. — *Bull. Mus. Roy. Hist. Nat. Belg.*, V, p. 184.
- LEGRAYE, M., 1931. — A propos de quelques types de concrétions des couches de houille. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. **54**, pp. B. 331-338.