

UN GISEMENT DE *PYRITOSPHAERA BARBARIA* DANS LE CAMBRIEN DE LA VALLÉE DU BAYEHON

(ARDENNES BELGES)

Par J.-C. DUCHESNE

Laboratoire de Pétrographie et Géochimie de l'Université de Liège.

RÉSUMÉ

Des *Pyritosphaera barbaria* LOVE, 1957 ont été trouvées dans un quartzite pyriteux du Revinien. On peut distinguer trois types de formes : des individus isolés, des « colonies » et des formes mixtes. Ces *Pyritosphaera* ont probablement contenu à l'origine de la pyrite framboïdale qui a été mobilisée pour recristalliser sous forme cubique. Sans émettre d'avis définitif, l'auteur pense que l'on peut considérer ces formes comme des microorganismes. Dans cette hypothèse, les trois types de formes ne seraient que les principaux stades d'un cycle de reproduction.

INTRODUCTION

En 1923, SCHNEIDERHÖHN décrit dans le Kupferschiefer de Mansfeld des agrégats microsphériques de sulfures de fer et de cuivre. Il en définit plusieurs formes dont le nombre est ramené à deux par NEUHAUS (1940). Le type « Kieskügelchen », très caractéristique, désigne des masses sphériques de 5 à 20 μ , de diamètre composées d'un agrégat serré de particules de sulfures de la taille de 1/2 à 3 μ . La littérature moderne use pour désigner ces agrégats du terme de « structure framboïdale » ou « framboïde ». SCHNEIDERHÖHN et NEUHAUS, se basant sur la comparaison avec certaines bactéries du soufre que l'on rencontre dans les environnements réducteurs, supposent que les framboïdes de sulfures sont le produit de la réaction des granules de soufre fabriqués par ces bactéries avec des ions de l'eau de mer. Ce concept de « bactéries minéralisées » (« vererzte Bakterien ») est par la suite vivement combattu par différents auteurs dont SCHOUTEN (1946) sans toutefois que soit abandonnée pour la pyrite l'hypothèse de sa formation syngénétique. L'importance dans ces processus du rôle des bactéries sulfato-réductrices n'y est pas non plus contestée.

Par ailleurs, de très nombreuses occurrences de pyrite à structure framboïdale ont été signalées et décrites dans des terrains d'âge divers.

En 1957, LOVE innove une technique d'étude qui jette une lumière nouvelle sur le problème. Il isole d'un schiste noir du Carbonifère inférieur d'Écosse des framboïdes de pyrite dont il dissout le sulfure par attaque oxydante (HNO_3)⁽¹⁾. Il dégage ainsi un résidu de matière organique auquel il donne le nom de *Pyritosphaera barbaria* LOVE. Il affirme que si une *Pyritosphaera barbaria* s'avérait systématiquement présente dans des framboïdes, il faudrait lui reconnaître un rôle important dans la genèse du sulfure. La grande régularité de la structure, son abondance et sa composition chimique seraient des indices pour affirmer que *Pyritosphaera barbaria* est un *microorganisme*, probablement l'un de ceux qui facilitent la formation de FeS_2 .

Après avoir poursuivi avec succès ses recherches sur d'autres occurrences de pyrite framboïdale, notamment sur le gisement de Mansfeld (1962a) et les schistes Carbonifères et Liasiques (1962b), LOVE a néanmoins constaté (1962c) que la structure organique contenue dans les framboïdes de sédiments récents était rare ou absente. Il écrit (communication personnelle) : « Other possibilities must be considered because the organic matter is *not* universal inside Recent pyrite spheres. It may be, though, that in the shallow-water sediments examined some oxidation had temporarily occurred to remove it. But the same structure *Pyritosphaera barbaria*, as an interstitial mass and left as a «sponge» on solution of the pyrite, could be secondary to the framboïdal structure of the latter ; perhaps it originated as migratory bituminous material or as some other organic matter happening to be present where the pyrite crystallised. Therefore, while undoubtedly the pyrite spheres may be seen as *very early diagenetic* in origin, I cannot at present maintain the hypothesis that *P. barbaria* is a fossil micro-organism ».

⁽¹⁾ Dans ses travaux postérieurs, il utilise $\text{HNO}_3 + \text{Br}$ qui donne de meilleurs résultats.

Le présent travail est une contribution à cette intéressante question. Les *P. barbaria* que nous considérons ont comme particularité d'être observables directement en lame mince et non plus, comme chez LOVE, dans le résidu d'attaque des framboïdes de pyrite.

SITUATION ET DESCRIPTION DU GISEMENT

Dans la vallée du Bayehon, à une centaine de mètres en amont du pont qu'emprunte la route de Longfaye à Oviat, on trouve de gros cristaux de pyrite à faces striées dans des phyllades, quartzophyllades et quartzites bleu foncé qui, du point de vue stratigraphique, appartiennent à la partie supérieure du Revinien 5 (Rv 5) (GEUKENS — 1952 et comm. pers.).

La pyrite est surtout abondante dans des niveaux d'une dizaine de cm d'épaisseur qui, en lame mince, apparaissent comme des *quartzites hétérogranulaires cataclastiques schistoïdes* contenant des matières organiques. On y observe une très grande quantité de formes de 20 à 250 μ de taille dont nous réservons la description de la structure pour le paragraphe suivant. Elles résistent à l'attaque sulfofluorhydrique. On peut donc les considérer comme composées de substances organiques.

La pyrite se présente sous deux faciès : des cubes et des microspherules. Les *cubes*, très abondants, ont des dimensions variant entre 1/2 et 10 mm. Ils sont entourés par une auréole d'étirement de quartz avec quelques paillettes de muscovite. Le faciès *microsphérule* de la pyrite quoique très accessoire n'en est pas moins important. Les microspherules sont, en effet, *toujours* associées aux formes organiques dont elles remplissent certaines alvéoles. Leurs dimensions sont de l'ordre de 35 μ mais il n'est pas rare de rencontrer des grains de beaucoup plus petite taille encore, quelquefois nettement idiomorphes.

DESCRIPTION DES STRUCTURES ORGANIQUES

En lame mince, les formes dont nous venons de parler sont grises et partiellement transparentes. La finesse des détails qu'on y observe, la constance de l'aspect et des dimensions (comprises entre 20 et 250 μ) permettent très facilement de les distinguer du reste des matières organiques.

La déformation qui a affecté la roche y a induit, outre l'auréole d'étirement autour des cubes de pyrite, une cataclase des corpuscules détritiques les plus grandes et localement une texture schisteuse du liant argileux. Ces phénomènes ont agi sur les structures organiques en les déformant et même en les disloquant partiellement. Dans certaines parties de la roche moins affectées par les déformations et les écrasements, on observe néanmoins des structures très bien conservées.

Nous proposons la synthèse des formes organiques en trois types qu'illustrent les quelques figures de la planche.

Type I. — *Individus isolés* (fig. 1 à 3).

Ces formes sont parfaitement sphériques. Leurs dimensions sont comprises entre 20 et 70 μ (en moyenne 35 μ). Elles sont caractérisées par une disposition en sphères concentriques très régulières de petites logettes, elles-mêmes sphériques. Ces logettes sont de dimensions remarquablement constantes dans un même individu. D'une forme à l'autre, elles varient entre 1 et 5 μ . Enfin, chaque individu est entouré par une enveloppe qui, dans certains cas (fig. 3), est assez épaisse.

Ces formes et certaines du type II répondent à la description que donne LOVE (1957, 1962b) des *Pyritosphaera barbaria* et des substances organiques qui leur sont associées.

Type II — « *Colonies* » (fig. 9 à 13).

Ce sont des formes de grandes dimensions, supérieures à 100 μ et ne dépassant pas 250 μ . De part leur taille, elles sont plus mutilées que les formes des autres types et, très souvent, une partie seulement en est observable. Néanmoins, leur aspect est assimilable à une sphère. Leur caractéristique principale est d'être composées de plusieurs *Pyritosphaera barbaria* qui très souvent sont sensiblement de même taille. La « colonie » est généralement assez compacte — on note alors dans certains cas la présence d'une enveloppe d'épaisseur variable — mais il n'est pas rare de rencontrer des agrégats lâches et sans enveloppe.

Type III — *Formes mixtes* (fig. 4 à 7).

Les formes du troisième type, moins abondantes, présentent des analogies avec celles des deux types précédents ; néanmoins, elles peuvent en être différenciées. Elles sont sphériques, de taille comprise entre 25 et 100 μ , pourvues d'une enveloppe et contenant des logettes. Mais, à la différence du type I (individus isolés), ces logettes ne sont pas de taille constante pour un même individu et ne se groupent pas d'une façon symétrique dans la structure. A la différence du type II (colonies), les logettes sont petites et généralement vides. On ne peut donc pas considérer les formes de ce type comme des colonies de *P. barbaria*. Néanmoins, on voit apparaître dans certaines des plus grosses logettes (fig. 6) une sorte de ponctuation très fine qui n'est pas sans rappeler, en plus petit, la structure interne des *P. barbaria*. Nous pensons que leur taille et leurs caractéristiques internes permettent de les considérer comme intermédiaires aux types I et II.

L'essai de synthèse en trois types de structures n'est en quelque sorte qu'une façon commode de représenter la multitude des formes existant dans ce gisement. En fait, il serait assez dangereux de tracer des limites nettes entre ces différents types. L'observation montre au contraire que l'on peut passer d'un type à l'autre par une série de formes de transition.

Ainsi, la figure 8 montre la coexistence (dans une enveloppe) de plusieurs logettes avec un individu plus grand (20 μ). Les logettes sont ponctuées et de l'ordre de 6 à 7 μ ; l'individu unique présente nettement la structure d'une *P. barbaria*. Cette forme peut-elle toujours être considérée comme forme mixte (type III) ou est-elle déjà une colonie (type II) ? Pour nous, elle assure la transition entre ces deux types.

RELATION ENTRE LA PYRITE ET LES PYRITOSPHAERA BARBARIA

LOVE fait remarquer que les *Pyritosphaera barbaria* n'ont jamais été observées autrement qu'après la mise en solution de pyrites framboïdales.

Les structures que nous décrivons ici ne sont pas remplies de pyrite. Elles paraissent à première vue posséder une certaine autonomie vis-à-vis du sulfure. Toutefois, nous l'avons dit, certaines d'entre elles contiennent des microsphérules de la dimension d'une *Pyritosphaera barbaria* (35 μ) et, de plus, la pyrite est présente dans la roche sous forme de cubes de grande taille. D'autre part, on admet, dans la théorie classique, que la forme cubique est le produit d'une recristallisation du sulfure et que la pyrite framboïdale est d'origine très précoce, pratiquement contemporaine de la sédimentation.

En regard à ces considérations, on peut supposer que, originellement, tout ou une partie de la pyrite se présentait sous la forme framboïdale associée aux *Pyritosphaera barbaria*. A la suite d'un léger métamorphisme ou peut-être même pendant la diagenèse, la presque totalité de cette pyrite a dû être mobilisée pour donner, par recristallisation, des cubes. Les *Pyritosphaera* ont été ainsi isolées de la pyrite qui les contenait par un processus naturel de mise en solution, qui rappelle le procédé employé en laboratoire par LOVE.

Signalons de plus que, outre les gros cubes et les microsphérules, on observe quelques grains très petits à contours idiomorphes. On peut les considérer comme le produit d'une recristallisation *sur place* de la pyrite microsphérulaire. Ce phénomène n'apparaît que très sporadiquement à côté de la mobilisation qui a donné les gros cubes. Néanmoins, il est probablement à rapprocher de certaines anomalies qui affectent la forme des logettes dans quelques structures. De sphériques, les logettes peuvent prendre une forme cubique. Tout se passe comme si certaines structures avaient été déformées par une recristallisation *sur place* avant d'être vidées de leur pyrite par la mobilisation principale.

Ceci ne ferait donc que renforcer les relations qui existaient à l'origine entre les *Pyritosphaera barbaria* et la pyrite.

MICROORGANISMES ou « EPONGE » DE MATIERES ORGANIQUES ?

L'examen en lame mince a comme avantage sur les procédés employés par LOVE de mieux montrer la structure interne des *Pyritosphaera*. D'autre part, il permet de se rendre compte des relations existant entre elles et le reste des matières organiques de la roche.

Nous constatons que quelquefois les *Pyritosphaera* peuvent soit se greffer sur des débris de matières organiques de grande dimension ou soit se trouver simplement environnées par des nuages de fines particules bitumineuses. Mais cette association est tout à fait *exceptionnelle* si bien que l'on voit mal comment un « migratory bituminous material » se fixerait préférentiellement dans les framboïdes de pyrite sans qu'on en trouve en grande quantité aux alentours.

Si l'on considère les *Pyritosphaera* comme des « éponges » de matières organiques, il faut nécessairement attribuer l'origine de la pyrite framboïdale à un phénomène de coagulation régi probablement par une tension superficielle déterminée. Cette hypothèse peut rendre compte de la grande symétrie de disposition, des logettes dans les individus isolés (type I). Elle devient cependant difficilement applicable lorsqu'il s'agit de justifier la diversité des dimensions des logettes dans les formes mixtes (type III) et l'absence de symétrie de leur arrangement. De plus, elle devrait impliquer que, à quelques microns de distance seulement dans le sédiment, les conditions de coagulation soient suffisamment différentes pour donner des formes de types différents *très voisines* l'une de l'autre.

Par contre, l'autre hypothèse qui propose les *Pyritosphaera* comme microorganismes pourrait justifier à la fois l'existence de trois types de formes et la grande homogénéité de cette population, homogénéité qui, nous l'avons dit, est assurée par les formes de transition entre chaque type. Il suffit de supposer l'intervention d'un *cycle de reproduction* de l'espèce. *L'individu isolé* (type I) voit au cours de sa vie ses logettes grossir, certaines plus vite que d'autres. Il perd de ce fait sa symétrie et devient une *forme mixte* (type III). Ensuite, une ponctuation apparaît sur les logettes les plus grosses et annonce ainsi la formation d'une *Pyritosphaera* miniature. Le processus en se continuant, conduit enfin au type II dans lequel les *Pyritosphaera* sont groupées en *colonies*. Par ailleurs, l'enveloppe qui existe au départ persiste et se distend tout au long du phénomène. Quand les *Pyritosphaera* de la colonie ont atteint une certaine taille, cette enveloppe crève et permet l'essaimage des formes qu'elle contient et qui, dès ce moment là, deviennent des *individus isolés* du type I. Le cycle est alors bouclé.

Les différentes observations concordent pour renforcer une interprétation en faveur de l'existence de microorganismes. Toutefois, dans l'état actuel de nos connaissances, une réponse définitive serait prématurée. D'autres techniques doivent être utilisées pour scruter la nature de la matière organique des *Pyritosphaera*. La microchimie et le microscope électronique pourront peut-être donner la solution à ce problème.

BIBLIOGRAPHIE

- GEUKENS, F., 1952 — Étude de la partie Nord-Ouest du massif Cambrien de Stavelot. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, t. XVI, pp. 79-170.
- LOVE, L. G., 1957 — Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, v. 113, pp. 429-440.
- LOVE, L. G., 1962a — Biogenic primary sulphide of the Permian Kupfer-schiefer and Marl State. *Econ. Geol.*, v. 57, pp. 350-366.
- LOVE, L. G., 1962b — Further studies on micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite. *Palaeontology*, vol. 5, part. 3,
- LOVE, L. G., 1962c — Pyrite spheres in sediments. In *The biogeochemistry of the Sulfur Isotopes. Symposium. Ed. M. L. Jensen. Yale University.*
- NEUHAUS, A., 1940 — Über die Erzführung des Kupfermergelscher Haaseler und der Gröditzter Mulde in Schleisien. *Zeit. f. angew. Miner.*, v. 2, pp. 304-343.
- SCHNEIDERHÖHN, H., 1923 — Chalcographische Untersuchung des Mansfelder Kupferschiefers. *N. Jahrb. f. Miner.*, B. 47, pp. 1-38.
- SCHOUTTEN, C., 1946 — The role of Sulfur bacteria in the formation of so-called sedimentary copper ores and pyrite ores bodies. *Econ. Geol.*, v. 41, pp. 517-538.

TEXTE EXPLICATIF DES MICROPHOTOS DE LA PLANCHE

- Fig. 1.** — Gross. 470 x.
Type I — Diamètre moyen 50 μ ; logettes 4 μ .
- Fig. 2.** — Gross. 500 x.
Type I — diamètre 20 μ ; logettes 1,5 μ .
- Fig. 3.** — Gross. 290 x.
Type I — diamètre 70 μ ; logettes 5 μ ; enveloppe 10 μ d'épaisseur.
- Fig. 4.** — Gross. 345 x.
Type III — diamètre env. 60 μ ; logettes de 5 à 20 μ . On notera la présence de restes de microsphérules de pyrite dans les logettes.
- Fig. 5 et 6** Gross. 385 x.
Type III — diamètre env. 60 μ ; logettes de 5 à 20 μ . La fig. 5 est une vue équatoriale qui montre nettement l'enveloppe très fine. La fig. 6 est une vue apicale du même individu : la logette centrale notamment montre une fine ponctuation.
- Fig. 7.** — Gross. 500 x.
Type III — diamètre 25 μ ; logettes de 8 μ maximum. C'est le plus petit individu de ce type que nous ayons pu observer.
- Fig. 8.** — Gross. 300 x.
Type II ou III (voir texte p. 127) — longueur max. 110 μ ; enveloppe 10 μ .
- Fig. 9.** — Gross. 250 x.
Type II — diamètre 100 μ ; Pyritosphaera de 35 μ de diamètre.
- Fig. 10.** — Gross. 300 x.
Type II incomplet — Pyritosphaera de 25 μ de diamètre.
- Fig. 11.** — Gross. 110 x.
Type II sans enveloppe — Pyritosphaera de 60 μ .
- Fig. 12.** — Gross. 220 x.
Type II avec enveloppe partielle — diamètre 120 μ ; Pyritosphaera mal conservées de 25 μ de diamètre.
- Fig. 13.** — Gross. 225 x.
Type II sans enveloppe — longueur max. 150 μ ; Pyritosphaera de 30 μ .

