

Les organismes du Précambrien terminal du craton ouest africain

E. BOUREAU*

RÉSUMÉ

Le Précambrien terminal (Lipalien) du Craton occidental de l'Afrique, dans l'Adrar de Mauritanie a livré, notamment dans le Guelb er Richât, de nombreux organismes à structure archaïque, souvent très simple. Il s'agit de coccoïdes groupés souvent en sphéroïdes plus ou moins complexes suivant un schéma évolutif qui a pu être établi avec précision. La compréhension des formes fossiles du Précambrien résulte en grande partie d'une interprétation que l'on fait d'un 'point noir' contenu, comme de celle que l'on adopte pour les émissions de substance que ces formes produisent. Comparés aux espèces actuelles, les organismes du Précambrien rappellent les Bactéries coccoïdes et les Cyanophycées.

Ces microorganismes sont à l'origine d'oolithes nullement minérales car elles contiennent des glucides colorables par le réactif de Schiff après action de l'acide périodique. Ces formes généralement sphériques, sont classées parmi les Oncolithes.

Ces organismes sont également à l'origine de puissants récifs calcaires ou dolomitiques qui atteignent des épaisseurs considérables et qui contiennent des Stromatolites connus en de nombreux points du globe. Les Stromatolites sont des *Conophyton*, des *Collenia* . . . Elles sont sphériques, lamellaires ou columnaires. Ces formations récifales atteignent en Afrique une épaisseur de 3 000 m dans l'Adoudounien à *Collenia* de l'Anti-Atlas, de 600 m dans le Zemmour, de 150 m dans l'Adrar de Mauritanie, de 100 m dans la falaise du Hank au nord du Bassin de Taoudeni.

ABSTRACT

THE ORGANISMS OF THE TERMINAL PRECAMBRIAN OF THE WESTERN AFRICAN CRATON

The terminal Precambrian (Lipalian) of the western African Craton, in the Adrar of Mauritania, has provided, especially in the Guelb er Richât, many organisms with an archaic structure, often very simple. It concerns some coccoïdes, often grouped in more or less complex spheroides according to an evolutionary pattern that could be accurately established. The understanding of fossil forms from the Precambrian is, to a great extent, the result of an interpretation made of an included 'black spot', which one adopted for the emissions of substance produced by these forms. Compared to the present species, the Precambrian organisms recall the coccoïd Bacteria and the Cyanophyceae.

These microorganisms are oolites in origin and are by no means mineral, since they contain stain-sensitive glucides with Schiff's reagent following the action of periodic acid. These forms, usually spherical, are classified amongst the Oncolithes.

These organisms are also responsible for the massive calcareous or dolomitic reefs reaching considerable thickness and containing some known stromatolites in many parts of the world. Stromatolites are *Conophyton*, *Collenia* . . . They are spherical, lamellate or columnar. These reef formations of Africa reach a thickness of 3 000 m in the Adoudounian of *Collenia* of the Anti-Atlas, of 600 m in the Zemmour, of 150 m in the Adrar of Mauritania, of 100 m in the cliff of Hank in the north of the Taoudeni Basin.

GÉNÉRALITÉS

De nombreux organismes peuplent abondamment plusieurs gisements extrêmement fossilifères du Sahara occidental dans le Précambrien terminal (= Précambrien supérieur; = Infracambrien; = Lipalien). L'un des plus importants est celui du Guelb er Richât, dans l'Adrar de Mauritanie (Fig. 1).

Les fossiles qui y furent découverts se révèlent comparables et synchrones avec ceux de certains gisements du Riphéen III de Sibérie et même avec ceux des Bitter Springs d'Australie.

Les couches des Richât ont été classées C₂ et C₅ par Théodore Monod. Elles ont donné à Clauer, en 1973, par la méthode de datation du Rubidium-Strontium 964 ± 32 M.a. et 860 ± 35 M.a. Les fossiles étudiés proviennent des couches de C^{11bis} datées -800 M.a. et qui précèdent largement la tillite de base du Cambrien à -600 M.a.

Pour comprendre les différentes formes des Richât de Mauritanie, on peut déterminer l'évolution probable à partir de certaines formes archaïques

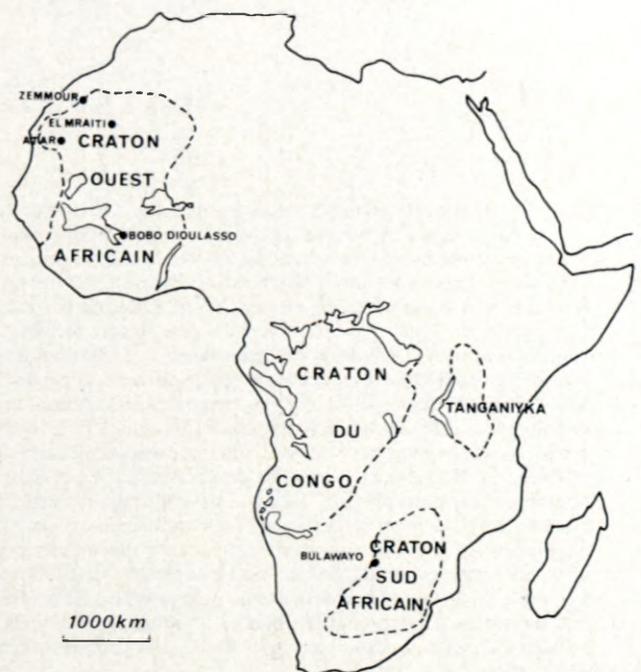


Fig. 1.—Répartition des divers Cratons au Précambrien en Afrique.

* Université de Paris VI, Paleobotanique, 12 Rue Cuvier, Paris 75005, France.

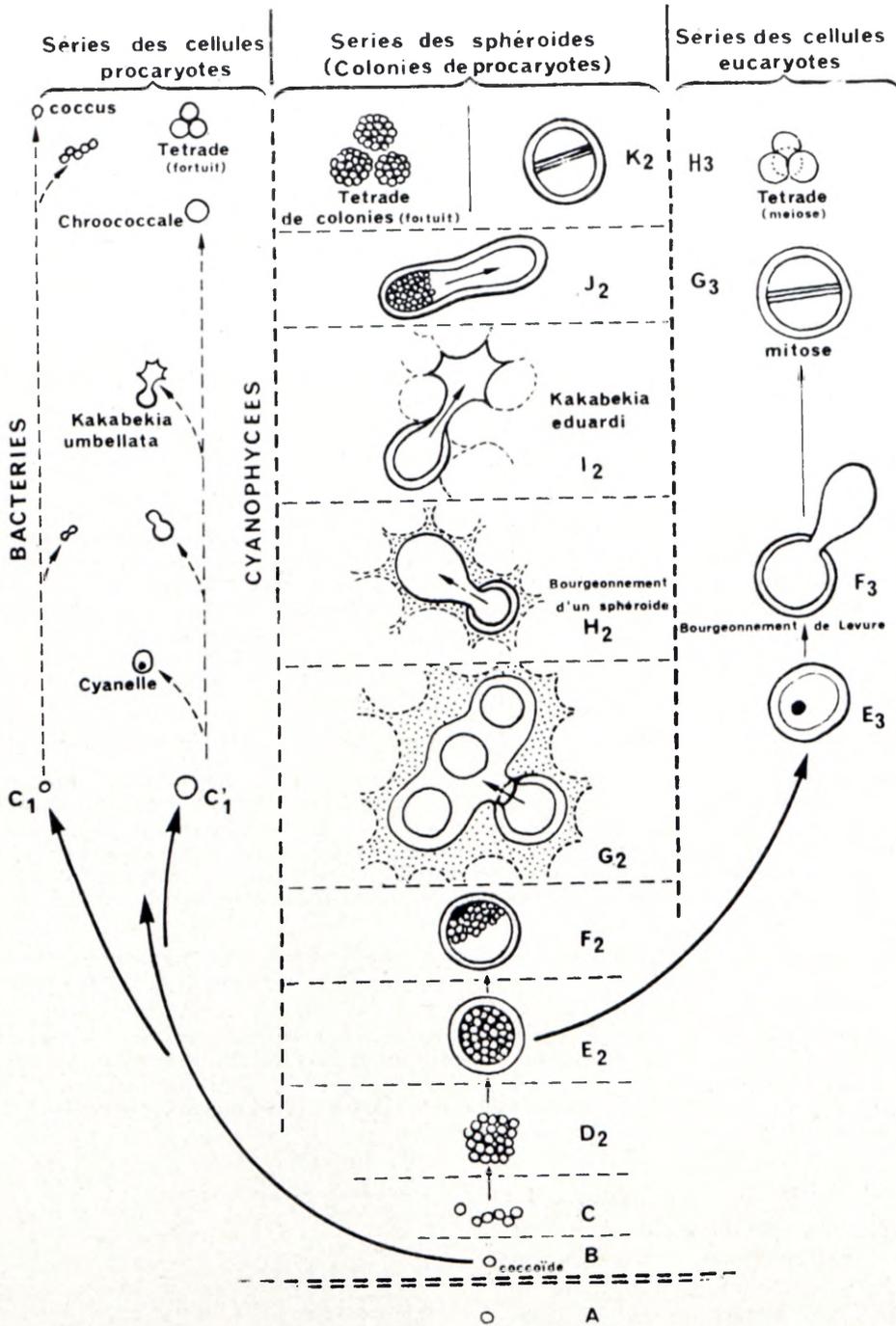


FIG. 2.—A, Sphérule issue d'un microocervat donnant naissance à un coccoïde vivant (B). **Série des cellules procaryotes.** C₁, Coccoïde isolé, souche d'une série d'organismes pouvant se diviser en conduisant aux Bactéries modernes: coccus... etc. C₁, Coccoïde isolé, souche de la série des Cyanophycées, montrant parfois des formes dégradées (Cyanelles) à 'globe énigmatique' ayant l'aspect d'un pseudo-nucleus ('point noir'), pouvant être l'objet d'une division cellulaire ou donner naissance à un organisme ombelliforme *Kakabekia umbellata* Barghoorn) à la suite de l'écrasement d'une émission par les coccoïdes resserrés dans le voisinage. A cette série, appartiennent les Chroococcales, Cyanophycées unicellulaires, puis les formes filamenteuses. Les dispositions en tétrades sont fortuites: cf. *Nostocites vesiculosa* Maslov, 1929. **Série des sphéroïdes.** C₂, Les coccoïdes se divisent de façon répétitive et donnent des filaments. D₂, Des colonies massives en grappes se constituent rappelant *Sphaerocongregus*. E₂, Une paroi commune entoure les colonies de coccoïdes: cf. *Vesicularites saharianum* Boureau (1970). F₂, Les coccoïdes se localisent en un point précis de la paroi qui à ce niveau est lysée et donne un pore germinatif: cf. *Africano-spheroides fertilis* Boureau (1975). G₂, Par le pore germinatif une substance mucilagineuse est émise qui atteint un grand développement à la suite de l'adsorption des molécules situées dans un grand espace disponible. Plusieurs sphéroïdes peuvent s'y différencier. H₂, l'espace disponible devenant limité l'émission est restreinte les substances adsorbées sont moins riches. Il s'agit d'une bourgeonnement simple (Fig. 4.2). I₂, Les sphéroïdes resserrés écrasent l'émission qui prend une forme en ombelle (*Kakabekia eduardii* Locquin, 1979) dont les côtés concaves épousent les marges convexes des sphéroïdes voisins. J₂, A la suite du pincement médian de la paroi d'un sphéroïde, on observe une émission interne allant d'une moitié dans l'autre. K₂, dans un sphéroïde du type E₂, on observe souvent un cloisonnement équatorial avec un 'phragmoplaste' qui se différencie en diaphragme-iris. = La disposition en tétrades riches, assez fréquente est fortuite. **Série des cellules eucaryotes.** E₃, La différenciation de certains coccoïdes, transformés les uns en noyau, d'autres en mitochondries, d'autres en chloroplastes, aboutit à créer une cellule eucaryote avec ses organites. F₃, Une cellule eucaryote de Levure émet un bourgeonnement simple comme en H₂. G₃, Au cours de la mitose, on retrouve les aspects de K₂. H₃, Le groupement en tétrades résulte d'une méiose.

dont les sphérules de 0,5 à 4 μm , à morphologie proche des coacervats, semblent bien à l'origine des coccoïdes du Précambrien. On pourrait objecter que les organismes du Précambrien terminal doivent différer notablement des premiers organismes du Précambrien inférieur, étant séparés d'eux par près de 3 milliards d'années. Or, on constate que de tels organismes éloignés dans le temps ont une morphologie très peu différente de celle des plus anciens qui soient connus. L'oxygène étant assez rare, l'évolution, de toute évidence, a été extrêmement lente.

Le développement de certains organismes précambriens a pu être défini suivant des modalités du tableau ci-contre (Fig. 2).

Pour déterminer des organismes du Précambrien, il faut tenir compte de leur diamètre, surtout de la nature chimique et la structure de la paroi et enfin, pour une bonne part de l'interprétation d'un 'point noir', organite souvent contenu à l'intérieur.

On a pu dans de nombreux cas, penser que certains des fossiles des Richât avaient une constitution purement minérale et qu'il s'agissait plutôt d'oolithes sans rapport avec une origine biologique quelconque. De fait, certains sphéroïdes ont perdu tout leur contenu qui aurait pu démontrer leur caractère vivant, mais dans de nombreux cas, il est possible de déceler dans leur paroi même, dans leur intérieur et à l'extérieur dans le mucilage émis, la présence de glucides à l'aide de la coloration spécifique obtenue avec la réaction de Schiff, après oxydation par l'acide periodique. Une coloration carmin très nette montre la présence évidente des polysaccharides.

D'ailleurs, le caractère vivant est dans certains cas, déjà clairement démontré par des interruptions caractéristiques de la paroi (Fig. 7.2).

Le 'point noir' a été l'objet de diverses appellations: 'minute granular body', 'black point', 'black body', 'black dot'.

L'interprétation qui en résulte est également très variable, et comme noyau ou pyrénioïde, dans les deux cas, elle indique une cellule eucaryote.

Or, cet organite peut être rapproché du 'corps énigmatique' (quelquefois double) signalé dans les Cyanelles (Lafargue & Duclaux, 1979)* ou des pseudonucleus observés dans des cellules de Cyanophycées dégradées 'post mortem' (Awramik, Golubic & Barghoorn, 1972).

Ainsi, le *Pilavia maculata* D. Z. Oehler, 1978 (diamètre moyen: 3,5 μm) d'Australie qui était considéré comme difficile à déterminer (1 500 mA) contient un ou deux 'corps internes' de diamètre 0,5 à 0,9 μm) et il s'agit non pas d'une cellule eucaryote mais presque sûrement d'une Chroococcale. Il en est de même du *Caryosphaeroides pristina* Schopf, et du *Glenobotrydion aenigmaticus* Schopf des Bitter Springs d'Australie (1968).

Tous ces amas internes surtout uniques au sein des organismes généralement sphériques et de tous

diamètres sont constitués d'unités très petites qui lysent la paroi à la suite d'une production d'enzymes (Boureau, 1979) en un point précis permettant ainsi un bourgeonnement vers l'extérieur.

Ces observations peuvent parfaitement être étendues aux organismes des Richât, qu'il s'agisse de très petits coccoïdes, de colonies de forme irrégulière ou sphérique, ou encore de très grands organismes collectifs.

Il faut admettre en outre que dans leur évolution particulière à la fois longue et lente, les organismes précambriens ont pu conserver longtemps certains caractères archaïques des coacervats de départ sans atteindre le degré d'évolution assez avancé des formes actuelles placées en fin de phylum. Cela est très vraisemblable pour les Bactéries et les Cyanophycées, espèces procaryotes que l'on rencontre tout au long du Précambrien pendant une durée qui atteint près de 3 milliards d'années.

Les organismes des Richât de Mauritanie s'expliquent alors en fonction de ces dérivations. D'autre part, les échecs ont été très nombreux, car, rares sont les organismes qui sont parvenus au terme de leur développement. Il en résulte que les fossiles rencontrés dans le Précambrien représentent diverses étapes qui jalonnent toutes ces tentatives arrêtées plus ou moins tôt dans leur course vers la cellule eucaryote, objectif terminal très rarement atteint.

LES ORGANISMES SPHÉRIQUES DU PRÉCAMBRIEN DU CRATON D'AFRIQUE OCCIDENTALE

Mauritanie

On retrouve dans le Précambrien terminal de Mauritanie des formes déjà signalées dans d'autres gisements parfois éloignés dans l'espace et dans le temps. Il est fréquent de trouver des appellations différentes. Le Guelb er Richât de Mauritanie a livré:

1. *Metallogenium personatum* Perfil'yev (1962),
2. *Nostocites vesiculosus* Maslov (1929),
3. *Africanosphaeroides fertilis* Boureau (1975), Figs 2 F₂ & 3.4,
4. *Kakabekia umbellata* Barghoorn (1965), Fig. 2,
5. *Monodites princeps* Boureau (1977), Fig. 7.2,
6. *Asterosphaeroides monodii* Boureau (1976), Fig. 4.3,
7. *Asterosphaeroides richatensis* Boureau (1970),
8. *Babetosphaera africana* Boureau & Monod (1958), Fig. 4.2,
9. *Polysphaerula globulosa* Boureau (1975),
10. *Osagia mauritanensis* Boureau (1970),
11. *Vesicularites saharianum* Boureau (1970),
12. *Kakabekia eduardii* Locquin (1979), Fig. 2 I₂,
13. *Nubecularites* sp. Maslov (1937). Il s'agit probablement d'émissions de substances à partir d'un sphéroïde disparu pendant la fossilisation,
14. *Stellasphaeroides similis* Boureau (1975).

* Certaines références du texte, volontairement omises de la Bibliographie sommaire en raison de leur trop grand nombre, figurent dans les travaux signalés.

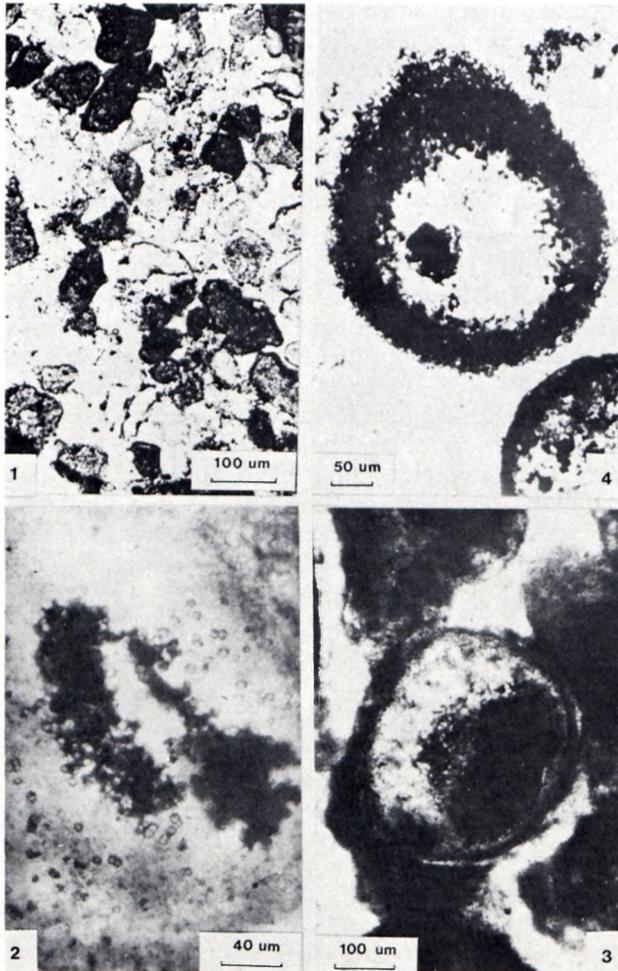


FIG. 3.—Précambrien terminal du Guelb er Richât de Mauritanie. Les parties noires de ces photographies indiquent la présence de glucides dans de lames minces entièrement colorées en carmin par le réactif de Schiff après action de l'acide périodique (sauf la photographie 4 préparée avant l'utilisation de ces réactifs). 1, Les amas sombres de forme irrégulière contiennent des cocci avec leur mucilage très nettement coloré et une paroi commune en voie d'élaboration (comparable à E₂ de la Fig. 2. 2, Détail des cocci parfois isolés, en chaînettes ou accompagné d'un mucilage abondant; 3, Les cocci contenus dans un sphéroïde se sont concentrés en un point précis de la paroi commune qui subit à leur niveau, sous des influences enzymatiques, une lyse localisée avec production d'un pore (forme intermédiaire entre E₂ et F₂ de la Fig. 2. 4, *Africanosphaeroides fertilis* Boureau. Grand sphéroïde montrant de face un 'point noir' bien défini.

Certaines colonies ramifiées peuvent se rapprocher de formes décrites en URSS (Fig. 6):

Ramulostroma ramulosum Vologdin (1962),
Cyanostroma versiforme Vologdin (1962).

Africanosphaeroides fertilis Boureau, 1975 revêt une grande importance. L'espèce-type représente un sphéroïde de diamètre 400µm, avec un volumineux point noir de 80µm en rapport avec une concentration de micro-organismes internes visiblement responsables de l'ouverture de la paroi. Ce pore placé dans une petite dépression est lié à un cône d'émission placé sur les organismes dérivés.

La Fig. 2 D₂ rappelle le *Sphaerocongregus* Moorman (1973) de l'Alberta, Canada et Alaska (Allison & Moorman, 1973) qui montre des colonies dont le diamètre va de 5 µm à 16 µm et des cellules

périphériques de 0,8 µm à 2 µm. Elles font également penser aux formes dites 'framboïdes' comme *Pyritosphaera barbaria* de 35 µm (Love, 1961) du Carbonifère d'Ecosse et retrouvées dans le Cambrien des Ardennes (Duchesne, 1963) ainsi qu'aux *Globulites* de 5 à 25 µm de Skripchenko (1968).

Mali

Les couches de Nara prospectées par René Dars au Mali ont un âge qui se rapproche de celui des couches des Richât. Le gisement lipalien de Korera a livré:

1. *Asterosphaeroides darsii* Boureau (1976),
2. *Osagia nersinica* Yakschin (1972).

De telles formes souvent associées se retrouvent au Sénégal (Dars, 1960).

Dans le synclinal de Taoudeni, en Afrique occidentale, l'âge précambrien supérieur des grès de Nara de Labbezanga semble appuyé par des fossiles signalés par Lopuchin (1971), jusque dans la tillite et notamment:

1. *Polyporama incrustata* Lopuchin (1971),
2. *Spumiosa spumosa* Naumova,
3. *Menneria roblotae* Lopuchin (1971).

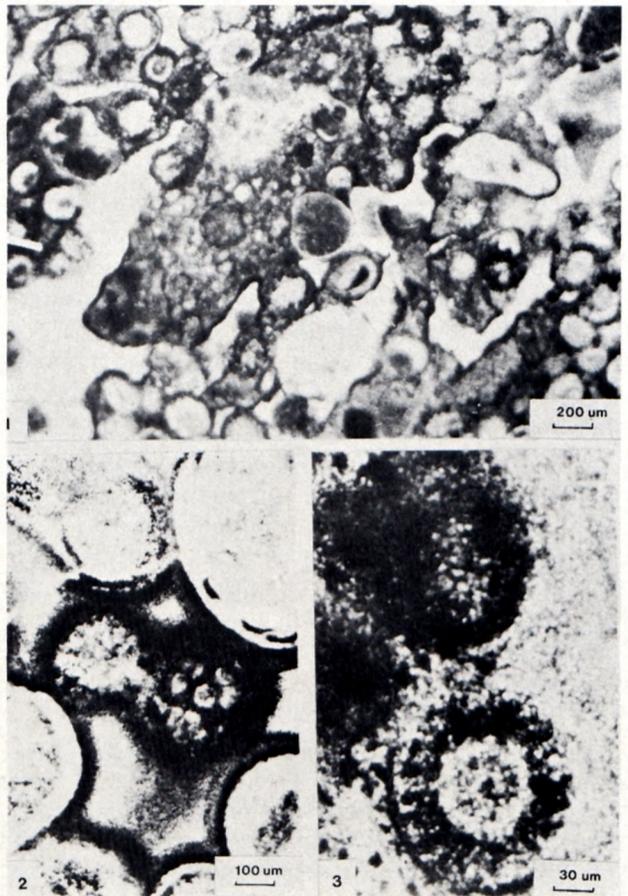


FIG. 4.—Précambrien terminal du Guelb er Richât de Mauritanie. 1, Issues de deux sphéroïdes, émissions de substance s'opposant dans un grand espace disponible (comparables à G₂ de la Fig. 2); 2, Sphéroïde *Babetosphaera africana* Boureau et Monod (1958) en voie de bourgeonnement (se reporter à la H₂ de la Fig. 2); 3, Organisme collectif en vue diamétrale (en bas); *Asterosphaeroides monodii* Boureau (1976) et en vue polaire (en haut), *Babetosphaera africana* Boureau et Monod (1958). Remarquer la disposition spiralee des filaments dressés sur un corps central et la paroi commune qui atteste le caractère vivant de l'ensemble.

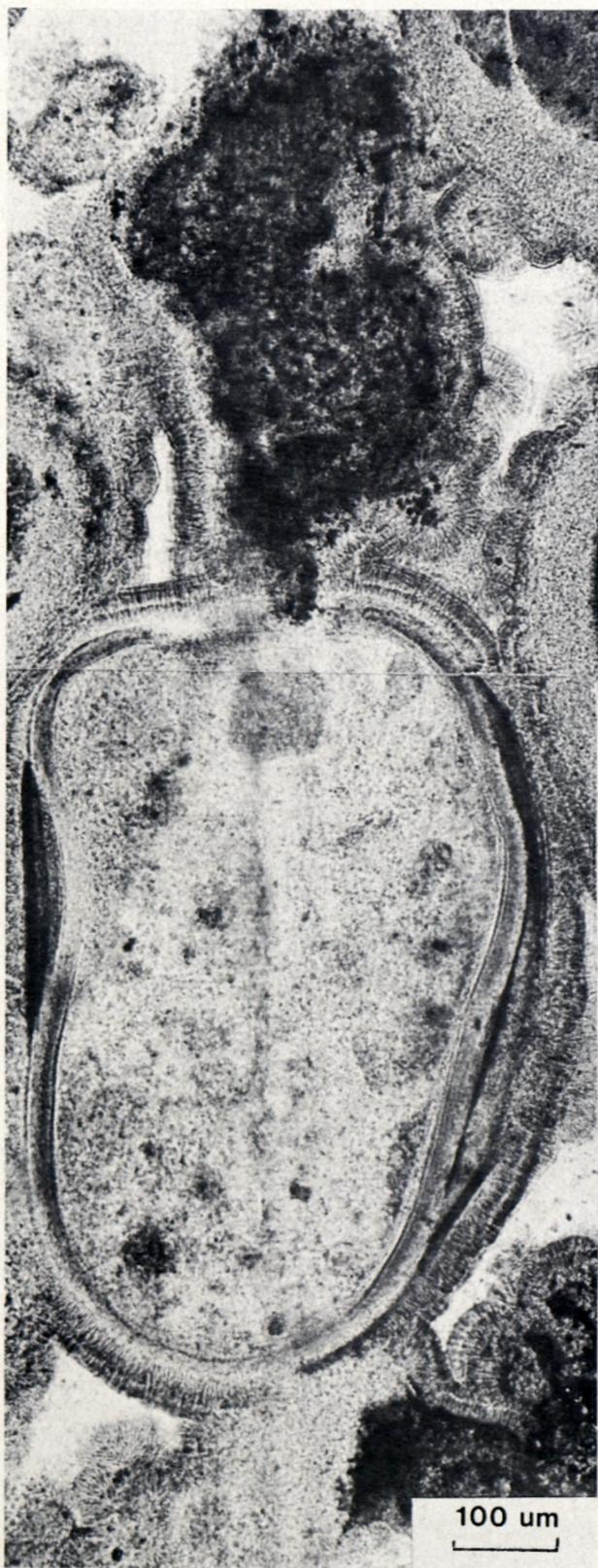


FIG. 5.—Précambrien des Richât de Mauritanie. Grand organisme à paroi lamellée, contenant des microorganismes, ouverte en un point permettant une émission externe de substance.

Côte d'Ivoire

Une microflore a *Birimarnoldia antiqua*, âgée de 2 milliards d'années a été découverte en Côte d'Ivoire dans un sédiment birrimien de grauwackes et de pélites en rapport avec des formations volcaniques. Cette microflore décrite par R.

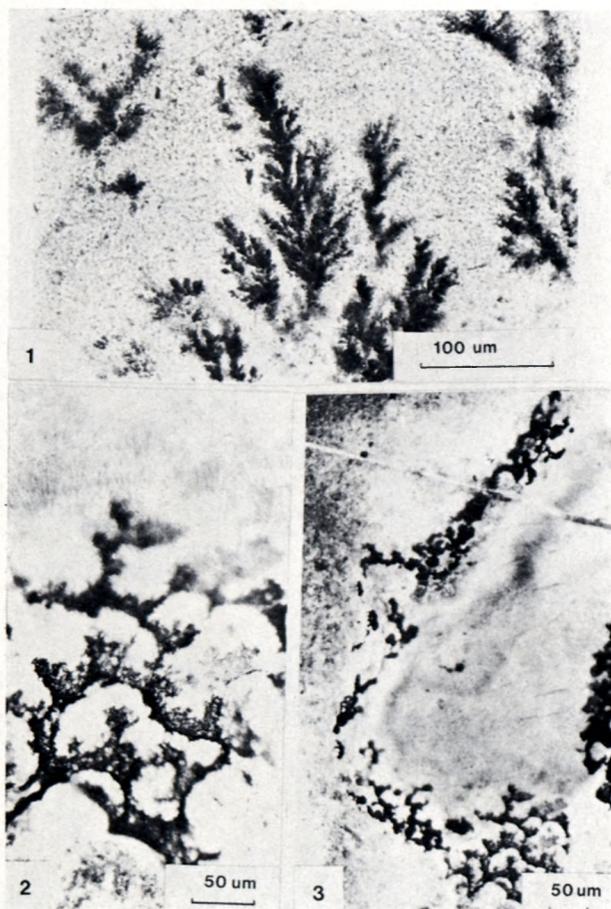


FIG. 6.—Précambrien terminal du Guelb er Richât de Mauritanie. Embranchement des Cyanophyta. Classe des Hormogoneae. Ordre des Sarmaellales. Famille des Plexostromataceae Vologdin (1962). 1, *Ramulostroma ramulosum* Vologdin (1962); 2 et 3, *Cyanostroma versiforme* Vologdin (1962). Colonies ramifiées-arquées sous deux grossissements.

Hovasse et R. Couture en 1961, contient des sphéroïdes de diamètre allant de 35 à 800 μm . Pour Hovasse, ces organismes pourraient être des Foraminifères alors que G. Deflandre y voyait avec raison sans doute, le résultat d'une activité bactérienne.

LES STROMATOLITES

On entend par stromatolites des structures organo-sédimentaires de dimensions inégales, allant du millimètre au décimètre qui s'accroissent à la suite de laminations créées par des sédiments fins sur des surfaces porteuses de microorganismes. L'activité métabolique de ces microorganismes producteurs de mucilages, joue un rôle de ciment pour les particules sédimentaires qui se trouvent ainsi piégées.

Les Stromatolites sont contenus dans de puissants récifs calcaires ou dolomitiques qui vont depuis le Sud marocain jusqu'en Afrique du Sud. Ils atteignent dans le Craton ouest-africain des épaisseurs considérables. Ils sont sphériques, lamellaires ou colonnaires. Ces formations atteignent 3 000 mètres dans l'Adoudounien à *Collenia* de l'Anti-Atlas, de 600 mètres dans le Zemmour, de 150 mètres dans l'Adrar de Mauritanie, de 100 mètres dans la falaise du Hank au Nord du Bassin de Taoudeni, où la mer à stromatolites a été signalée pour la première fois par N. Menchikoff. C'est la

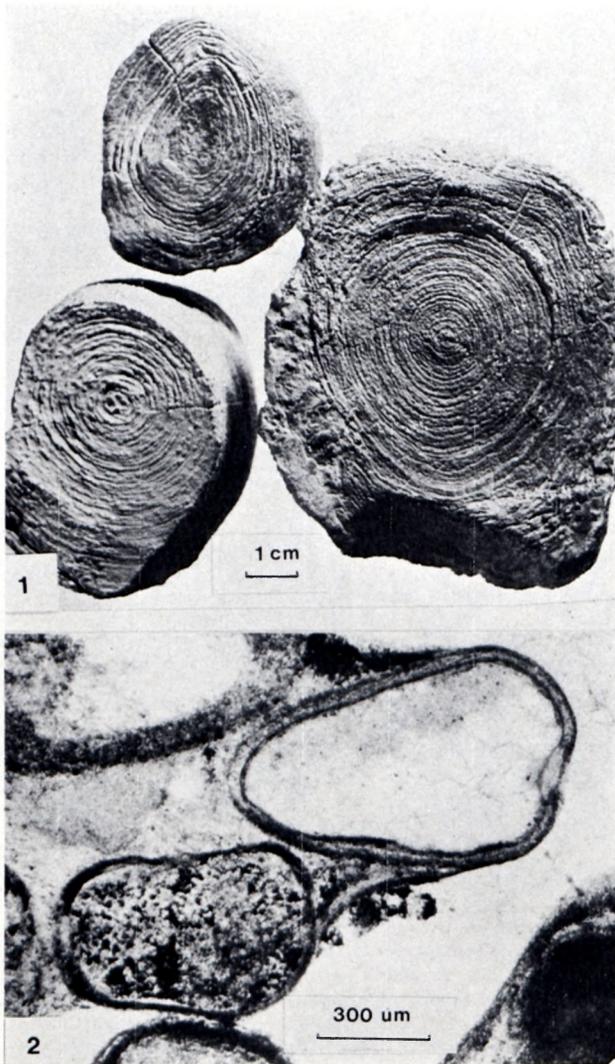


FIG. 7.—1, *Conophyton*. Stromatolites de l'Adrar de Mauritanie; 2, *Monodites princeps* Boureau (1977) montrant un pore unique. L'autre grand organisme placé au-dessous montre plusieurs ébauches de pores avec un contenu plus abondant en microorganismes.

série des Calcaires à stromatolites d'Atar avec les travaux de nombreux auteurs, F. Jacquet et Théodore Monod, ainsi que par Cl. Bense, René Dars, J. Delpy, J. Sougy, R. Trompette, M. Zimmermann.

En 1970, J. Bertrand-Sarfati et M. E. Raaben ont pu établir une étroite comparaison entre les Stromatolites de l'Oural et ceux du Sahara occidental. En 1972, J. Bertrand-Sarfati a fait une étude très complète des Stromatolites colonnaires du Précambrien supérieur du Sahara Nord-occidental (Tableau 1). Janine Bertrand-Sarfati (1972) distingue 4 modes de laminations dans les Stromatolites colonnaires:

1. Cas des *Conophyton ressoiti* et *Baicalia mauritanica*.

Les microstructures en étui montrent une succession de minces feuilles de couleur sombre alternant avec des assises de calcite parfois traversées par des filaments d'Algues.

2. Cas de *Gymnosolen directus* et de *Tungussia nodosa*.

Les microstructures algales formant un tapis, sont

souvent rassemblées en paquet et séparées par de grandes couches claires de calcite ou aragonite (sparite).

3. Cas de *Serizia radians* et de *Tungussia globosa*.

Les microstructures sont réparties en touffes.

4. Cas de *Tifounkeia globulosa* et de *Linella minuta*.

Des microstructures grumeleuses varient d'une colonne à l'autre ou dans une même colonne.

TABLEAU 1.—Craton ouest-africain: groupe des Stromatolites. (D'après J. Bertrand-Sarfati, 1972.)

Super-groupe	Groupe
Conophytonides	<i>Conophyton</i> Maslov
Kussiellides	<i>Jurusiana</i> Krylov <i>Tarioufetta</i> Bertrand-Sarfati
Tungussides	<i>Tungussia</i> Semikhatov <i>Jacutophyton</i> Schapovalova <i>Baicalia</i> Krylov <i>Tilemsina</i> Bertrand-Sarfati <i>Parmites</i> Raaben <i>Kasaia</i> Bertrand-Sarfati <i>Serizia</i> Bertrand-Sarfati <i>Noutila</i> Bertrand-Sarfati <i>Tifounkeia</i> Bertrand-Sarfati <i>Linella</i> Krylov
Gymnosolenides	<i>Gymnosolen</i> Steinmann <i>Inseria</i> Krylov

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BARGHOORN, E. S. & SCHOPF, J. W., 1965. Micro-organisms from the late Precambrian of central Australia. *Science* 150,3694: 337–339.
- BARGHOORN, E. S. & TYLER, S. A., 1965. Micro-organisms from the Gunflint Chert. *Science* 147,3658: 563–577.
- BERTRAND, J., 1968. Découverte de microorganismes dans les stromatolites de la série pourprée (Tanezrouft oriental). *Bull. Soc. géol. Fr.* 7, 10: 569–576.
- BERTRAND-SARFATI, J., 1972. *Les stromatolites colonnaires du Précambrien supérieur du Sahara nord-occidental; inventaire, morphologie et microstructure des laminations; corrélations stratigraphiques*. pp. 245. Thèse, Montpellier.
- BOUREAU, E., 1958. Paléobotanique africaine. *Bull. scient. Com. Trav. hist. scient.* pp. 64.
- BOUREAU, E., 1970. Sur des organismes de l'Infra-cambrien du Guelb-er-Richât, dans l'Adrar de Mauritanie. *C.r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 271, Sér. D.: 31–33.
- BOUREAU, E., 1973. Sur des organismes riphéens de l'Adrar de Mauritanie. *Sciences Terre* 28: 139–166.
- BOUREAU, E., 1974. Nouvelles observations sur l'évolution des organismes archaïques précambriens des Richât de Mauritanie. *C.r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 279, Sér. D: 1575–1577.
- BOUREAU, E., 1975. Les *Babetosphaera* précambriens représentent une structure intermédiaire au cours d'un enrichissement exogène des cellules procaryotes. *C.r. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 279, Sér. D: 1669–1672.
- BOUREAU, E., 1975. Evolution paléocytologique des organismes précambriens des Richât de Mauritanie. *C.r. hebd. Séanc. Sci. Paris* 280, Sér. D: 2321–2325.
- BOUREAU, E., Sur des organismes collectifs nouveaux du Précambrien de l'Ouest africain. *C.r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris* 281, Sér. D.
- BOUREAU, E., 1980. Biogénèse. *Encyclopaedia Universalis* 276–284.
- BOUREAU, E., 1980. Sur les premières traces de la vie cellulaire. *Total-Information* 82: 14–16.
- BOUREAU, E., 1980. Recherches cytochimiques sur certains organismes de Précambrien africain. *C.r. 105e Congr. Socs. sav. Caen* 1: 7–19 (en coll. avec M. Locquin).

- CLOUD, P. E., LICARI, G. L., WRIGHT, L. A. & TROXEL, B. W., 1969. Proterozoic Eucaryotes from eastern California. *Proc. natn. Acad. Sci. U.S.A.* 62, 3: 623-630.
- DARS, R., 1960. *Les formations sédimentaires et les dolérites du Soudan occidental* 1-309. Thèse, Paris.
- LOPUCHIN, A. S., TROFINOV, D. M. & BOROVSKIJ, U. V., 1974. Discovery of microfossils in Upper Precambrian Tillites, Sub-Tillitic and Supra-Tillitic deposits of the Taoudeni Syncline (West Africa). *Int. Geol. Rev.* 46, 1: 80-82.
- MONOD, T. & POMEROL, C., 1973. Contributions à l'étude de l'accident circulaire des Richât (Adrar de Mauritanie). *Sciences Terre* 28.
- REITLINGER, E. A., 1959. Atlas of microscopic organic remains and problematica of ancient deposits of Siberia. *Trudy Inst. geol. Nauk. Mosk.* 25: 1-26.
- SCHOPF, J. W., 1968. Microflora of the Bitter Springs formation, late Precambrian, central Australia. *J. Paleont.* 42: 651.
- SCHOPF, J. W., 1970. Electron microscopy of organically preserved Precambrian micro-organisms. *J. Paleont.* 44.
- SCHOPF, J. W., 1972. Evolutionary significance of the Bitter Springs (late Precambrian) microflora. *Proc. XXIV International geol. Congress, sect. 1, Precambrian geology, Montreal*, 68-77.
- SCHOPF, J. W. & BARGHOORN, E. S., 1968. Paleobiology of the Bitter Springs (Late Precambrian of central Australia) *J. Paleont.*
- SIEGEL, S. M. & GIUMARRO, C., 1965. Survival and growth of terrestrial micro-organisms in ammonia-rich atmospheres. *Icarus* 4: 37-40.
- SIEGEL, S. M. & GIUMARRO, C., 1966. On the culture of a micro-organism similar to the Precambrian microfossil *Kakabekia umbellata* Barghoorn in NH₃-rich atmosphere. *Proc. natn. Acad. Sci. U.S.A.* 55: 349-353.
- SIEGEL, S. M., ROBERTS, K., NATHAN, H. & DALY, O., 1967. Living relative of the microfossil *Kakabekia*. *Science* 156: 1232-1234.
- SIEGEL, S. M. & SIEGEL, B. Z., 1968. A living organism morphologically comparable to the precambrian genus *Kakabekia*. *Am. J. Bot.* 55,6: 684-687.