

**LES CALCAIRES A FUSULINES**

**DE L'INDO-CHINE**

## LES CALCAIRES A FUSULINES DE L'INDO-CHINE <sup>1</sup>

PAR **Henri Douvillé**

PLANCHES XVII-XVIII

Les Fusulinidés sont assez rares dans l'Europe occidentale : Barrois a signalé des *Fusulinella* dans le Culm (Dinantien) des Asturies, Schellwien a décrit une faune assez complète de *Fusulinella*, *Fusulina* et *Schwagerina* découverte dans les Alpes Carniques, enfin Gemmellaro nous a fait connaître les calcaires à *Fusulines* de Sicile avec une riche faune d'Ammonites permienes. Mais c'est plus à l'Est que ces fossiles se développent surtout : en Russie des couches entières sont formées par des accumulations de *Fusulinella*, de *Fusulina* ou de *Schwagerina*, M. de Morgan a retrouvé les *Fusulinella* en Perse, les calcaires à *Neoschwagerina* et les calcaires à *Fusulina* sont développés au Turkestan (Futterer et Schellwien), Schwager a décrit des *Fusulina* et des *Schwagerina* (*Doliolina*, *Neoschwagerina*) découverts en Chine (Richthofen) et au Japon, Verbeek et Fennema, puis Volz nous ont fait connaître une faune très analogue provenant de l'île de ~~Java~~ ; enfin le japonais Yabe a publié plusieurs travaux intéressants sur les Fusulinidés du Japon. C'est donc en Asie que ces fossiles ont eu leur développement maximum ; leur présence en Indo-Chine est par suite naturelle et les explorations des géologues français dans cette région et au Yunnan nous ont fourni de nombreux matériaux d'étude.

Par l'ensemble de leur faune ces couches à Fusulinidés de la région indo-chinoise se rapprochent incontestablement des calcaires à *Productus* de l'Inde ; elles établissent ainsi une liaison des plus intéressantes entre ceux-ci et les formations permo-carbonifériennes du Turkestan, de Sumatra, de la Chine et du Japon. Mais avant d'en étudier la faune rhizopodique, je passerai rapidement en revue les travaux dont ces Foraminifères ont été l'objet.

### RÉSUMÉ DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

La première étude sur la structure des Fusulines est due à Carpenter<sup>2</sup> : on sait que cet auteur a donné une grande impor-

1. Communication faite à la séance du 5 Novembre 1906.

2. CARPENTER, PARKER et RUPERT JONES. Introduction to the Study of the Foraminifera, 1862, p. 304.

tance dans sa classification à la nature perforée ou imperforée du test, or voici ce qu'il dit à ce sujet :

« Dans les Fusulines, comme dans beaucoup d'autres fossiles du Calcaire carbonifère, la texture de la coquille a été tellement altérée par le métamorphisme qu'il est impossible d'indiquer ses caractères avec certitude. Mais dans plusieurs des sections que j'ai faites, je trouve l'apparence d'une porosité ressemblant à celle des Nummulites et des Rotalines, cette apparence, autant que j'en peux juger, étant produite par des pores tubuleux rapprochés et parallèles, intermédiaires par leur diamètre entre les pores fins des premières et les pores beaucoup plus gros des secondes ».

C'est d'après ces observations de Carpenter que les Fusulines ont toujours été placées dans le groupe des Perforés.

Quelques années plus tard von Möller <sup>1</sup> a publié une étude très complète et très approfondie des Fusulinidés de Russie ; il montre que dans *Fusulina* les cloisons présentent des plis contrariés, ce qui produit l'apparence d'une division en logettes ; il figure les perforations du test dont le diamètre varie de 0 mm. 005 à 0,012, leurs intervalles ayant à peu près la même dimension, mais étant quelquefois beaucoup plus petits. Il décrit l'espèce type du genre *Schwagerina*, qu'il avait proposé l'année précédente <sup>2</sup> pour *Borelis princeps* EHRENBERG, et qui est caractérisé par des cloisons simples, non plissées, plus ou moins bifurquées et anastomosées près des pôles. Je laisse de côté le genre *Hemifusulina* fondé sur une fausse apparence due à la fossilisation, pour arriver au genre *Fusulinella* MÖLLER (1877), sphéroïde ou lenticulaire, à cloisons non plissées, mais placé dans un groupe tout différent, celui des Imperforés.

La répartition de ces Foraminifères dans les différentes assises est indiquée avec précision et a une grande importance : les *Fusulinella* apparaissent dans le Calcaire carbonifère inférieur où elles sont représentées par une seule espèce lenticulaire ; ce genre est ensuite largement développé dans l'étage moyen (Moscovien) où il est associé aux premières *Fusulina*, il l'est beaucoup moins dans l'étage supérieur (Ouralien) caractérisé par l'apparition des *Schwagerina* et l'abondance des *Fusulina*. Enfin celles-ci persistent dans le Permien inférieur (Artinskien).

Peu après Schwager <sup>3</sup> publiait un très remarquable mémoire sur les Foraminifères rapportés de Chine par von Richthofen. Les

1. Die spiral gewundenen Foraminiferen des russischen Kohlenkalks. *Mem. Ac. Sc. St-Petersbourg*, 7<sup>e</sup> série, t. xxv et t. xxvii, 1878 et 1879.

2. *Neues Jahrb.*, 1877, p. 143.

3. Carbonische Foraminiferen aus China und Japan (in Richthofen, China, IV, 1883).

*Fusulina* sont toujours indiquées comme ayant un test poreux et des cloisons se terminant en coin dans la lame spirale. A côté des *Schwagerina* typiques, dont il donne le véritable caractère, une rangée d'ouvertures régulières à la partie inférieure des cloisons, il signale dans *Schw. Verbeeki*, l'apparition de côtes transversales, basales, dit-il, et de section arrondie ; elles sont beaucoup plus développées dans *Schw. lepida*. Enfin dans *Schw. craticulifera* ces côtes se transforment en véritables cloisons transversales qui viennent se combiner avec des cloisons secondaires longitudinales, incomplètes et dépendant de la lame spirale ; il en résulte une sorte de réseau à mailles rectangulaires, plus ou moins arrondies, qui donne à ce type une apparence très particulière. Quand au genre *Fusulinella*, il le rapproche des précédents, en supposant qu'il devait être également perforé, mais que les pores ont été effacés par la fossilisation.

Peu après, le même auteur <sup>1</sup> décrivait les trois espèces de *Fusulina*, trouvées dans l'étage inférieur des calcaires à *Productus* de l'Inde, *F. kattaensis*, n. sp., *F. pailensis*, n. sp., *F. longissima* MÖLLER.

Une nouvelle série de travaux débute dix ans plus tard par la description des principaux Foraminifères de Java, due à deux géologues néerlandais Verbeek et Fennema <sup>2</sup>. Ceux-ci décrivent à nouveau deux espèces trouvées dans le Permo-Carbonifère de cette région, *Fusulina granum-avenæ* ROEMER et *Schwagerina Verbeeki* GEINITZ, et en donnent de très bonnes figures.

Dès 1891, Schellwien avait inauguré ses études sur les Foraminifères par une thèse sur la Faune des calcaires à Fusulines des Alpes carniques, mais c'est seulement en 1898 qu'il fait paraître la description de ce dernier <sup>3</sup> : il décrit un grand nombre de *Fusulina*, une nouvelle espèce de *Schwagerina* et également une espèce de *Fusulinella* ; il distingue 4 niveaux, les 2 inférieurs avec *Fusulinella* et *Fusulina*, tandis que les deux supérieurs se différencient par l'apparition des *Schwagerina*. Il propose un nouveau sous-genre *Möllerina* pour les Schwagerines du type *Schw. lepida*, où les côtes transverses (basalskelet) sont nettement développées ; mais ce nom ayant déjà été employé, il le change un peu plus tard <sup>4</sup> en celui de *Doliolina*, dans lequel il comprend en outre

1. *Paleontologia indica*, Salt range fossils, série XIII, p. 983, 1885.

2. Description géologique de Java et Madoura, 1896, t. II, p. 1131.

3. Die Fauna des Karnischen Fusulinenkalks, *Palaeontographica*, vol. 44, 1898.

4. SCHELLWIEN, Paleozoische und triadische Fossilien aus Ostasien (in FUTTERER, Durch Asien, vol. III, livr. I, p. 125 174, 5 pl.).

*D. Verbeeki* et *D. craticulifera*. Très peu après, M. Yabe <sup>1</sup> reprend l'étude des Fusulinidés du Japon et il divise le genre *Fusulina* en quatre sous-genres : *Fusulina*, s. str., type *F. cylindrica*, — *Schwagerina*, type *Sch. princeps*, — *Doliolina*, type *D. lepida*, — *Neoschwagerina*, nov. subgen, type *N. craticulifera*, ce dernier sous-genre étant caractérisé par la coexistence de cloisons longitudinales secondaires et de cloisons transverses.

L'année suivante, M. Volz <sup>2</sup> propose un genre *Sumatrina* pour une espèce nouvelle (*S. Annæ*), caractérisée par des cloisons transverses et un réseau de poutrelles dépendant de la lame spirale (dachskelet) ; celui-ci comprend 2-3 demi-cloisons longitudinales et autant de demi-cloisons transversales par logette.

Tout récemment, M. Yabe <sup>3</sup> est revenu sur le même sujet et pense que ce nouveau genre rentre dans le sous-genre *Neoschwagerina* qu'il avait proposé antérieurement en 1903.

#### STRUCTURE DU TEST

De ce long résumé il résulte que :

1° Carpenter, tout en reconnaissant l'état imparfait de conservation de ses échantillons de *Fusulina*, les a attribués au groupe des Foraminifères perforés, parce qu'il ne connaissait, comme il le dit expressément, rien d'analogue dans les imperforés.

2° Von Möller a placé dans un groupe séparé, celui des imperforés, le genre *Fusulinella*, malgré ses grandes analogies avec *Fusulina*.

3° Schwager, frappé par ces affinités évidentes, a rapproché les *Fusulinella* des *Fusulina*, en supposant que le test était primitivement poreux, mais que les pores avaient été oblitérés par la fossilisation.

Quelle est la vérité au milieu de ces affirmations un peu contradictoires ? Les calcaires à Fusulines de Pong-Oua (Laos) recueillis par M. Monod vont nous fournir de précieuses indications à ce sujet ; les fossiles y sont conservés d'une manière très remarquable, de telle sorte que les moindres détails de leur organisation sont visibles. En outre, les Fusulinidés sont tellement abondants que la

1. On a *Fusulina* limestone with *Helicoprion*. *Journ. géol. Soc. Tokyo*, vol. X, n° 113. 1903.

2. Zur Geologie von Sumatra (Beobachtungen und Studien) *Geol. und pal. Abh. herausgegeben von Koken*, vol. X, cahier 2; Neue Folge, vol. VI.

3. A contribution to the genus *Fusulina*, with Notes on a *Fusulina*-limestone from Korea. *Journ. of the College of Science, imperial University Tokyo*, vol. XXI, article V, 1906.

roche tout entière paraît en être formée : la Planche XVII peut en donner une idée, elle représente la photographie d'une plaque mince grossie un peu plus de 6 fois.

1° *Fusulina*. Examinons d'abord les Fusulines : elles sont faciles à reconnaître aux plis contrariés de leurs cloisons qui dessinent des mailles rhomboïdales arrondies ; les coupes transversales sont également faciles à reconnaître. La figure 1 ci-contre reproduit à un grossissement de 50 fois environ la texture de la lame spirale et des cloisons : la première est constituée par une couche externe continue de couleur foncée, très mince, *imperforée* ; celle-ci est

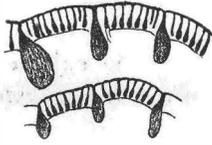


Fig. 1. — Coupe transversale d'une *Fusulina* de Pong-Oua; gr., 50 fois environ.

soutenue par des poutrelles d'abord très minces ( $7 \mu$ ), puis s'épaississant un peu et s'arrondissant vers le bas; leur hauteur est d'environ 0 mm. 07, et elles paraissent noyées dans un dépôt de calcaire transparent. Les cloisons ont une section de même forme mais elles sont plus longues et beaucoup plus épaisses; elles se terminent en pointe dans l'épaisseur de la lame spirale,

comme il a été justement indiqué par les auteurs. Les poutrelles sont au nombre de huit à dix par loge.

Une coupe tangentielle (fig. 2) montre entre les cloisons un réseau à mailles pylogonales constitué précisément par les poutrelles dont nous venons de parler; la largeur des mailles est d'environ 0 mm. 03 ou  $30 \mu$ ; elle se réduit quelquefois à la moitié, soit  $15 \mu$ .

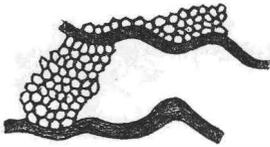


Fig. 2. — Coupe tangentielle d'une *Fusulina* de Pong-Oua; gr., 45 fois environ.

Il en résulte que le test est constitué par une lame mince imperforée soutenue par un réseau de poutrelles consti-

tuant des alvéoles : cet élément de couleur foncée paraît lui-même renforcé par un dépôt surajouté de calcaire ; cette disposition a du reste été parfaitement figurée par Schellwien sur la coupe d'une Fusuline américaine <sup>1</sup>.

La figure donnée par cet auteur montre des lignes noires renflées vers l'intérieur de la loge et se *bifurquant* quelquefois du côté externe, alternant avec des parties claires ; il n'est pas douteux que l'auteur ait pris ces lignes foncées pour des pores canaliculés ; car il dit expressément que cette figure montre la *bifurcation* (Theilung) des canaux du côté externe. Or, si l'on se reporte à des

1. Loc. cit. *Paleontographica*, vol. 44, pl. XXII, fig. 3.

sections tangentielles comme celle que nous avons figurée (fig. 2), il est facile de voir que les parties foncées correspondent au contraire aux pleins et les parties claires aux vides; du reste cette disposition est également très bien indiquée par Schellwiein sur les figures 5 et 6 de la planche en question qui représentent des sections tangentielles de *Schw. princeps*. Il en résulte que dans la figure 3 l'auteur a pris les pleins pour des vides et réciproquement. Du reste, dans les Foraminifères les perforations sont toujours cylindroïdes et ne présentent jamais le renflement inférieur très bien figuré par Schellwein.

Les parties claires représentent incontestablement des vides; mais ce ne sont pas des perforations, comme le montre la lame même de test qui les ferme à l'extérieur; elles atteignent des dimensions qu'on ne rencontre dans les perforations d'aucun Foraminifère connu; en outre elles sont fréquemment plus larges que les pleins et il en résulterait une constitution du test sans exemple dans toute la classe des Foraminifères.

Du reste nos connaissances sur ces animaux sont un peu plus avancées qu'il y a quarante ans; nous connaissons d'autres exemples bien nets de cette structure réticulée ou alvéolaire; il suffira de citer les *Orbitolina* et la *Loftusia*. Ici en effet, comme le montrent les figures 3 et 4, 5 et 6, et comme je l'ai indiqué dans



Fig. 3 et 4. — Sections transversale et tangentielle d'*Orbitolina subconca* de Vinport; gr., 50 fois environ.

des travaux précédents<sup>1</sup>, le test est également constitué par une lame mince imperforée, opaque, soutenue par un réseau alvéolaire de poutrelles et nous savons de plus que cette disposition se rencontre toujours dans des formes dont le test est arénacé. Nous ne pouvons donc plus



Fig. 5 et 6. — Sections transversale et tangentielle de *Loftusia persica* du pays des Baktyaris gr., 50 fois environ.

dire comme Carpenter qu'il n'existe rien dans les Imperforés qui rappelle la structure du test des Fusulines, puisque bien au contraire, comme nous venons de le voir, un certain nombre de

1. Sur la structure des Orbitolines. *B. S. G. F.*, (4), IV, p. 653, pl. xvii, fig. 5, 1904. — *Loftusia persica*, in *Mission scientifique en Perse*, de M. de Morgan, partie VI, Paléontologie, p. 251, pl. xxxiv.

ceux-ci présentent une structure identique ; nous pourrions en citer bien d'autres, récemment étudiés par Schlumberger, comme les *Spirocyclus*, les *Choffatella* et les *Dictyoconus* <sup>1</sup>.

2° *Doliolina*. — On rencontre dans le même gisement quelques spécimens assez rares de *Doliolina Verbeeki*, caractérisés par la présence de faibles côtes transverses, intercalées entre les ouvertures des cloisons. C'est bien une *Doliolina* d'après la définition de ce genre, mais cependant par sa forme générale sphéroïdale, par la minceur et la rectitude de ses cloisons, cette espèce se rapproche bien davantage des Schwagerines typiques que des véritables Doliolines (*D. lepida*). Le seul point que nous ayons à signaler maintenant c'est que la lame spirale a exactement la même structure alvéolaire que dans *Fusulina*, seulement les mailles sont plus petites et ont une largeur de 5  $\mu$  seulement ; elles sont séparées par des poutrelles ayant 4  $\mu$  d'épaisseur.

3° *Neoschwagerina*. — L'espèce la plus abondante (Pl. XVII, Pl. XVIII, fig. 1 et 2) est une forme un peu allongée, renflée au milieu et qui est voisine de *N. craticulifera*, mais le nombre des cloisons secondaires est plus nombreuse, ce qui la rapproche davantage de *N. globosa* YABE. Ici également le test est alvéolaire avec une petite maille de 4 à 5  $\mu$  comme dans l'espèce précédente.



Fig. 7. — Section transversale, perpendiculaire aux cloisons, de *Sumatrina Annæ*, de Pong-Oua ; gr. 50 fois environ.

4° *Sumatrina*. — C'est le type le plus curieux des marbres de Pong-Oua (Pl. XVIII, fig. 3, 4 et 5) : une coupe transversale (fig. 7) montre une couche externe mince imperforée, soutenue par des poutrelles espacées, au nombre de trois ou quatre par loge, minces d'abord, puis renflées à la partie inférieure ; elles ont exactement la même forme que les poutrelles des *Fusulina*, mais plus accentuée. Aussi, toute méprise était

ici impossible et les auteurs ont bien considéré les parties foncées comme des pleins ; l'analogie de couleur, de disposition et de forme de ces cloisons avec les poutrelles des Fusulines (fig. 1) est incontestable ; elles sont seulement moins serrées et leur renflement est plus accentué : c'est une confirmation des plus nettes de la thèse que nous avons soutenue.

De distance en distance on observe les cloisons elles-mêmes, ayant la même forme que les poutrelles, mais plus grandes.

<sup>1</sup> SCHLUMBERGER et H. DOUVILLÉ. Sur deux Foraminifères éocènes. B. S. G. F., (4), V, pl. IX, fig. 4 et 5.

Une coupe tangentielle (fig. 8) montre le même réseau alvéolaire polygonal que dans les formes précédentes, mais à mailles plus larges ( $40 \mu$ ).

Les coupes longitudinales (fig. 9) montrent des cloisons transverses percées d'une ouverture dans leur partie médiane et venant se relier vers le haut au réseau alvéolaire, comme le montre la figure 10. C'est exactement la disposition caractéristique du genre *Sumatrina* Volz et je ne vois même pas de différence spécifique avec le type du genre *S. Annæ*, bien que la taille soit plus petite.

Seulement ce que Volz appelle le « dachskelet » n'est pas autre chose que la lame spirale elle-même avec la même structure alvéolaire que celle qui existe dans *Fusulina*, *Schwagerina*, *Doliolina*, *Neoschwagerina*, mais à mailles notablement plus larges.

En résumé nous voyons que dans tous les genres que nous venons d'examiner le test est toujours constitué de la même manière : il se compose d'une mince couche externe imperforée, de texture finement arénacée, soutenue par un réseau alvéolaire de poutrelles dont les mailles sont de grandeur très variable depuis  $4$  à  $5 \mu$  dans *Neoschwagerina* jusqu'à 10 fois plus dans *Sumatrina*, disposition qui rappelle tout à fait celle des Foraminifères dits à test réticulé, *Orbitolina*, *Loftusia*, *Dictyoconus*, etc. C'est la conclusion que j'avais indiquée dans une note préliminaire précédemment publiée<sup>1</sup>. La largeur que les mailles peuvent atteindre et la minceur des cloisons qui les séparent, diffèrent entièrement de tout ce que l'on observe dans les Foraminifères perforés.

#### CLASSIFICATION

Les indications que je viens de donner permettront de préciser les définitions des divers genres de la famille des Fusulinidés.

1° *Fusulinella* MÖLLER, 1877 : test compact, imperforé, probablement finement arénacé,

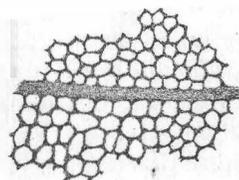


Fig. 8. — Section tangentielle de *Sumatrina Annæ* de Pong Oua; gr., 50 fois environ.



Fig. 9. — Section longitudinale de *Sumatrina Annæ* de Pong-Oua; gr., 50 fois environ.



Fig. 10. — Section tangentielle un peu oblique de *Sumatrina Annæ*, montrant le raccordement des cloisons et du réseau alvéolaire; gr., 50 fois environ.

cloisons à peu près planes percées d'une ouverture médiane, étroite et un peu allongée, se traduisant sur les échantillons usés par une bande lisse équatoriale. La forme est ou lenticulaire ou sphéroïdale. Ce genre apparaît dans le Dinantien (Asturies, Russie) et paraît persister jusque dans le Permien. Type : *Fusulinella Bocki* (du Calc. carbonifère supérieur près de Kresty); cette espèce, décrite seulement en 1878, est clairement indiquée par son niveau et sa localité dans la définition du genre publiée l'année précédente.

2° *Fusulina* FISCHER DE W., 1829 : test imperforé à structure alvéolaire, cloisons plissées dans leur partie inférieure et à plis contrariés; ouverture simple, en fente, ayant les mêmes caractères que dans le genre précédent; la forme générale est en fuseau plus ou moins allongé. Ce genre apparaît dans le Moscovien et persiste jusqu'au Permien; les espèces sont très difficiles à distinguer les unes des autres et les caractères donnés par les auteurs paraissent souvent indiquer plutôt de simples variétés.

3° *Schwagerina* MÖLLER, 1877 : dérive directement de *Fusulinella* et en diffère par la multiplication des ouvertures qui forment une rangée à la base des cloisons. Le test est alvéolaire comme dans *Fusulina*; il paraît ne renfermer qu'une seule espèce, *Schw. princeps*, dont l'apparition caractérise l'Ouralien, et presque immédiatement se montrent les côtes transverses, basales, caractéristiques du genre suivant.

4° *Doliolina* SCHELLWIEN, 1903 (remplaçant *Möllerina* SCHELLWIEN, 1898, déjà employé) : est caractérisé, comme nous venons de le voir, par l'existence de côtes transverses développées entre les ouvertures, et appuyées sur la lame spirale du tour précédent (basalskelett); fusiforme, ordinairement renflé au milieu; test imperforé alvéolaire; cloisons à peu près planes; ouvertures des cloisons formant une rangée, comme dans le genre précédent; apparaît dans le Permien. Type : *D. lepida* SCHWAGER.

5° *Neoschwagerina* YABE, 1903 : dérive du précédent par l'intercalation de cloisons secondaires méridiennes entre les cloisons principales : elles dépendent directement de la lame spirale et sont formées par le simple allongement d'un groupe de poutrelles (dachskelett); même forme que *Doliolina*; cloisons percées d'une rangée d'ouvertures; apparaît dans le Permien. Type : *N. craticulifera*.

6° *Sumatrina* VOLZ : paraît dériver directement de *Doliolina* dont il diffère par le développement des côtes basales qui deviennent

ici des cloisons complètes percées d'une ouverture médiane. Le test est alvéolaire; les poutrelles sont analogues à celles des genres précédents, mais elles sont beaucoup plus espacées et plus renflées à leur partie inférieure, sans cependant qu'on puisse y voir des cloisons secondaires.

L'apparition de véritables cloisons transverses indique un type plus évolué que *Doliolina*, et plus récent: il caractérise les couches les plus élevées des calcaires à Fusulines que nous attribuons au Permien supérieur. La forme générale est toujours celle d'un fuseau renflé au milieu. Type: *S. Annæ* Volz.

Les formes de la période secondaire ne se différencient des précédentes que par des caractères de faible importance: le principal est la nature du test qui est calcaire, mais nous verrons reparaître dans la Craie supérieure un type à test réticulé ou alvéolaire.

7° *Alveolina* D'ORBIGNY, 1826: test calcaire, compact; fusiforme; cloisons droites, percées à la base d'une rangée d'ouvertures; cloisons transverses complètes. Les *Alveolina* paraissent exister à Madagascar dès le Bathonien; elles se montrent en France dans le Jurassique supérieur, puis dans l'Albien supérieur et le Cénomaniens (*A. cretacea* D'ARCH.), et en outre dans la Craie supérieure à Belvès. Elles prennent un développement considérable dans l'Eocène et pullulent dans le voisinage des rivages. Elles disparaissent presque complètement dans nos régions à partir de l'Eocène supérieur. On peut considérer comme type *Alv. Bosci* du Calcaire grossier.

8° *Loftusia* CARP. et BRADY, 1869: se rapproche des *Fusulina* par son test alvéolaire, mais il est bien plus grossièrement arénacé; les cloisons sont très obliques et percées comme une pomme d'arrosoir; l'endosquelette est très irrégulier. Le type, *L. persica*, atteint une taille considérable; il a été trouvé en Perse dans le Maëstrichtien. Des côtes transverses commencent à se montrer dans une espèce un peu plus récente, *L. Morgani*, probablement danienne.

9° *Alveolinella* n. gen.: se distingue d'*Alveolina* parce que les cloisons présentent plusieurs rangées d'ouvertures. C'est là un caractère important et qui n'a pas été rencontré jusqu'ici avant l'époque actuelle; il nous paraît motiver l'établissement d'un genre nouveau, dont le type sera *Alv. Quoyi* (bien figuré par Carpenter dans son Introduction à l'étude des Foraminifères, pl. VIII). L'endosquelette est aussi bien plus complexe: non seule-

ment on distingue des cloisons transverses perforés d'une ou deux ouvertures dans le voisinage de la cloison, mais il existe encore d'autres cloisons secondaires plus ou moins complètes, parallèles à la lame spirale et qui viennent s'intercaler entre les rangées d'ouvertures des cloisons.

#### AGE DES CALCAIRES A FUSULINES

Le niveau le plus inférieur qui ait été observé dans l'Indo-Chine correspond aux marbres noirs à *Spirifer mosquensis* de la Montagne de l'Elephant, près Haï-Phong, et à ceux de la baie d'Along ; il renferme surtout des Polypiers.

Dans le Kouang-Si ils ont fourni *Schwagerina princeps*<sup>1</sup>. Au même niveau, M. Mansuy a signalé *Fusulina* cf. *kattaensis*<sup>2</sup>. Comme M. le professeur Frech l'a très bien mis en évidence, les Schwagerines apparaissent dans l'Ouralien, c'est donc à cet étage qu'il faut attribuer les marbres noirs du Tonkin.

Un niveau plus élevé est représenté par le complexe de couches qui affleurent dans les environs de Lou-Nan, et qui par l'ensemble de leur faune se rattachent de très près aux calcaires à *Productus* moyen et supérieur de l'Inde. On y distingue des marbres gris plus ou moins foncés avec Fusulines renflées se rapprochant de *F. montipara* EHRB., et des marbres plus clairs de couleur nankin qui renferment une faune très caractérisée : *Fusulina* cf. *Richthofeni* SCHWAGER (un peu plus petite que le type), *Doliolina Verbeeki* GEINITZ, *D. lepida* SCHWAGER, *Neoschwagerina craticulifera* SCHWAGER. Les Doliolines, et surtout *D. lepida*, sont très caractéristiques pour ce niveau qui se retrouve au Japon et à Java : il paraît succéder immédiatement aux couches à Schwagerines, ce qui conduit à le rattacher au Permien inférieur ou moyen, c'est-à-dire à un horizon un peu plus ancien que je ne l'avais fait tout d'abord. Des couches analogues se trouvent près de Talifou et du lac de Yunnan-Sen.

Le troisième niveau correspond aux marbres bruns foncés de Pong-Oua (Laos) dont la faune présente également des caractères très particuliers : tout d'abord une Fusuline de 5 à 6 millimètres de longueur sur 1,5 à 1,7 de diamètre ressemblant à *F. exilis*, mais un peu plus renflée et moins cylindrique dans sa partie médiane ;

1. H. DOUVILLÉ. Examen des fossiles rapportés de Chine par la mission Leclère. *CR. Ac. Sc.*, 26 fév. 1900.

2. MANSUY. Examen des fossiles rapportés de Yunnan par la mission Lantenois. *CR. Ac. Sc.*, 6 mars 1905.

le nombre des tours est de 6, mais la largeur de la spirale paraît croître très lentement dans les derniers tours. Il est probable que c'est une espèce particulière, mais comme elle ne m'est connue que par des coupes, il m'a paru prudent de m'abstenir de lui donner un nom nouveau, d'autant plus que les caractères spécifiques des Fusulines paraissent bien incertains; tous ceux que les auteurs indiquent, la taille, la forme de la spirale varient beaucoup dans une même espèce. Cette Fusuline est accompagnée de *Doliolina Verbeeki* assez rare; par contre les *Neoschwagerina* sont extraordinairement abondants et représentés par une forme (Pl. XVIII, fig. 1 et 2) qui paraît plus évoluée que *N. craticulifera*; elle présente un plus grand nombre de cloisons méridiennes secondaires et je la rapproche de *N. globosa* YABE. Ce niveau est en outre caractérisé par une forme très spéciale, *Sumatrina Annæ* VOLZ; les spécimens du Laos (Pl. XVIII, fig. 3, 4 et 5) sont notablement plus petits que le type, environ moitié, mais la forme, le nombre de tours (8) et la structure sont tellement identiques qu'il me paraît impossible de les séparer. La même association de *N. globosa* avec *S. Annæ* a été signalée au Japon par M. Yabe.

Ce niveau bien distinct du précédent par sa faune et paraissant un peu plus récent représenterait alors le Permien supérieur.

Nous aurions ainsi dans l'Indo-Chine et le Sud-Est de l'Asie trois niveaux correspondant aux trois niveaux des Calcaires à *Productus* de l'Inde et caractérisés de la manière suivante :

- 1° Ouralien, caractérisé par *Schwagerina princeps* EHR.
- 2° Permien inférieur, avec *Fusulina*, cf. *montipara*, *F.* cf. *Richthofeni*, *Doliolina Verbeeki*, *D. lepida*, *Neoschwagerina craticulifera*.
- 3° Permien supérieur, avec *F.* cf. *exilis*, *Doliolina Verbeeki*, *Neoschwagerina globosa* YABE, *Sumatrina Annæ* VOLZ.

Ces niveaux paraissent largement représentés dans toute l'Asie depuis le Turkestan jusqu'au Japon et aux îles de la Sonde. Il faudrait encore ajouter à la base deux niveaux inférieurs surtout développés en Russie, le Moscovien avec *Fusulina cylindrica* et *Fusulinella* et probablement le Dinantien, ou apparaît *Fusulinella*.

## EVOLUTION ET ENCHAÎNEMENTS DES FORAMINIFÈRES <sup>1</sup>

PAR **Henri Douvillé**

PLANCHE XVIII

La classification des Foraminifères est encore en grande partie artificielle ; la principale raison en est que jusqu'à présent on s'est plus préoccupé des différences à établir entre les types que de leurs rapports ; en outre nous ne connaissons qu'une partie des formes fossiles. Mais cette dernière lacune se comble peu à peu et on peut dès maintenant se demander comment on pourrait établir une classification naturelle, c'est-à-dire phylogénique, et quelle est, à ce point de vue, l'importance relative des caractères que présentent ces animaux. Je vais essayer de répondre à cette question et je passerai ensuite rapidement en revue les principaux enchaînements qu'il est possible de reconstituer parmi les Foraminifères fossiles.

La première classification, celle de d'Orbigny, a été fondée uniquement sur la forme extérieure.

Plus tard Carpenter a montré qu'il était essentiel de tenir compte de la nature du test perforé ou imperforé. A son exemple l'école moderne a attaché une grande importance aux caractères internes tels qu'ils sont mis en évidence par la méthode des sections en plaques minces : un des résultats de cette étude a été de faire voir que la nature du test était différente dans des formes voisines et que même elle pouvait varier dans un même individu, certaines formes (*Orbitolites*) présentant dans le jeune un test perforé qui devenait imperforé dans l'adulte.

On voit ainsi que ni la forme extérieure, ni la nature du test ne peuvent donner des caractères d'une valeur absolue : il est donc nécessaire de les examiner de plus près. Les modifications que présentent les dépôts qui se produisent à l'intérieur des loges ont également une grande importance au point de vue de l'évolution, comme je le ferai voir plus loin.

### I. — REVISION DES CARACTÈRES

1<sup>o</sup> **Forme générale** : Les formes si variées des Foraminifères paraissent toutes dériver d'une *forme fondamentale* enroulée en

spirale et symétrique. Cette forme résulte non de la constitution de l'animal, mais seulement de son mode de croissance. On sait en effet que la coquille de ces animaux se compose d'une série de loges de grandeur régulièrement croissante et régulièrement disposées : la forme la plus générale qui satisfasse à cette double condition est précisément l'enroulement en spirale symétrique autour de la loge initiale. Nous la retrouvons du reste dans des animaux très différents des Foraminifères, chez les Céphalopodes par exemple, et uniquement parce que la coquille de ces derniers satisfait également aux conditions que nous venons d'énoncer, c'est-à-dire qu'elle est formée de loges successives de grandeur régulièrement croissante et régulièrement disposées<sup>1</sup>.

*Les formes dérivées* sont extrêmement nombreuses et variées :

1. La symétrie bilatérale est d'abord conservée dans les formes déroulées et simplement arquées (Dentalines) ou même droites (Nodosaires), puis la forme peut changer dans l'adulte et des coquilles d'abord spirales peuvent devenir droites (Lituoles), tantôt coniques, tantôt cylindriques suivant le rétrécissement plus ou moins grand des dernières loges.

D'autres fois les loges s'élargissent beaucoup ; elles embrassent alors les loges précédentes et peuvent même devenir annulaires (Cyclostègues de d'Orbigny) la phase initiale spiralée se réduit plus ou moins et peut même disparaître complètement (*Orbitolites*).

2. La symétrie bilatérale disparaît et l'enroulement se fait en spirale conique comme dans certains Céphalopodes (*Turrilites*). C'est le cas pour les Rotalies ; dans certains cas la coquille se développe en ligne droite dans l'adulte.

1. Cette analogie de forme avait frappé les anciens naturalistes qui plaçaient dans un même groupe toutes les coquilles multiloculaires. C'est par exemple ce que fait Lamarck dans une curieuse lettre adressée à DeFrance, receveur d'enregistrement à Bourg-Égalité, à la date du 25 Vendémiaire an XIII, où il annonce qu'« il va commencer l'étude des univalves multiloculaires qui avoisinent les Nautilus, les Spirules et d'autres comme les Rotalites, les Nummulites, les Miliolites qui appartiennent à cette division ». Très peu après le même auteur publiait cette étude dans un de ses mémoires sur les fossiles des environs de Paris, réunissant dans le même groupe les Nautilus, Ammonites, Nummulites, etc. ; il s'autorise de la découverte récente de l'animal de la Spirule par Péron, pour ranger tous ces animaux dans les Céphalopodes. Plus tard, D'Orbigny distingue deux groupes parmi les Céphalopodes, les *Siphonifères*, dans lesquels un siphon traverse toutes les loges, et les *Foraminifères*, dans lesquels les loges communiquent directement par une ou plusieurs ouvertures. Ce n'est que bien plus tard et après les travaux de Dujardin (1835) que la vraie nature de ces derniers organismes fut enfin admise par les naturalistes.

Quelquefois il n'existe qu'un petit nombre de loges par tour et celles-ci peuvent se disposer en lignes régulières (*Verneuillina*). Quand il n'y a que deux loges par tour, chacune d'elles est à 180° de la précédente, et elles forment deux rangées qui alternent régulièrement (Textulaires).

Dans d'autres cas le nombre des loges peut se réduire avec l'âge et passer de 3 à 2 (*Gaudryina*) ou même à 1 (*Clavulina*).

3. Une modification très particulière conduit aux Miliolidés. Le point de départ est une forme en spirale régulière, à tours étroits et découverts comme *Spiroloculina* et ayant deux loges par tour, de telle sorte que les ouvertures se trouvent alternativement aux deux extrémités d'un même diamètre. Imaginons qu'une des loges s'écarte un peu du plan de la loge précédente et soit, par exemple, légèrement déplacée vers la droite ; si la déviation continuait dans le même sens, elle produirait une coquille conique largement ombiliquée ; mais cette forme serait bien fragile et par suite peu avantageuse ; aussi, la loge suivante, au lieu de suivre la même direction, se dévie de la même quantité, mais, *symétriquement*, c'est le genre *Sigmoilina*.

Si la déviation est un peu plus grande, si elle atteint par exemple une trentaine de degrés, la loge se placera non plus obliquement par rapport à l'avant-dernière, mais à côté et alternativement à droite et à gauche ; ainsi se produira le genre *Quinqueloculina* où les loges se recouvrent seulement de six en six. Si les loges sont plus larges, la troisième pourra occuper tout l'espace laissé libre entre les deux précédentes, c'est le genre *Triloculina*. Une nouvelle augmentation de la largeur des loges aura pour résultat que l'une quelconque des loges s'appuyant à droite par exemple sur la précédente la touchera également à gauche ; c'est la disposition caractéristique de *Biloculina* et la symétrie bilatérale se trouvera rétablie. On voit aussi que le pelotonnement des Miliolidés dérive d'un enroulement spiral ordinaire par deux modifications successives, d'abord la réduction des loges à deux par tour, puis une déviation latérale de chacune d'elles, alternativement à droite et à gauche.

L'étude du développement des Miliolidés montre en outre que fréquemment le mode de pelotonnement change avec l'âge : certaines formes débutent comme Quinqueloculines, puis passent par une phase Triloculine et aboutissent enfin à une forme de Biloculine : ce changement résulte, comme nous venons de le voir, d'un simple élargissement des loges.

Lister a fait observer à ce sujet que les formes mégasphériques A

et microsphériques B se comportent d'une manière différente; ainsi, les premières seront Biloculines dès le commencement, tandis que les secondes passeront par les divers stades que nous venons d'indiquer. Il rapproche ce fait des différences bien connues entre le développement des générations parthénogénétiques et de celles qui résultent d'une fécondation, dans certains Arthropodes par exemple : les secondes seules passent par des formes larvaires, tandis que les premières naissent dans la forme de leurs parents.

2° Nature du test : Les Foraminifères les plus simples sont nus et dans ce cas ils sont à la merci immédiate de toutes les actions d'osmose provoquées par les moindres changements qui se produisent dans la nature du milieu ambiant. C'est pour se mettre à l'abri de ces actions que l'animal se recouvre d'une carapace : la plus simple est *chitineuse* : elle est produite par un simple exsudat du protoplasme qui se concrète et se durcit. C'est un phénomène analogue à celui qui donne naissance à l'épiderme ou drap marin des coquilles de Mollusques.

L'animal peut obtenir une plus grande solidité de sa carapace, avec une moindre dépense de chitine, en lui incorporant des corps étrangers, grains de sable, spicules d'éponges, tantôt employés pêle-mêle, tantôt triés par grosseur ou par nature. Le test est dit alors *arénacé* : les éléments en sont empruntés directement aux dépôts du fond de la mer. Cette texture du test ne pourra donc se rencontrer que chez les Foraminifères qui vivent sur ce fond même. Certains de ces animaux présentent une disposition curieuse correspondant à une plus grande résistance pour une moindre dépense : le test est alors constitué par une couche très mince soutenue par des poutrelles disposées en une sorte de réseau polygonal : cette texture *alvéolaire* a des propriétés de résistance toutes particulières ; on la rencontre dans des formes paléozoïques (Fusuliniés), jurassiques (*Spirocyclina*, *Choffatella*), crétacées (*Orbitolina*, *Loftusia*) et tertiaires (*Dictyoconus*).

Quand ces animaux habitent la zone des algues calcaires, le protoplasme devient plus riche en sels de calcium ; ceux-ci passent dans l'exsudat et sont transformés en carbonate de chaux par l'action de l'acide carbonique du milieu ambiant. La coquille est alors plus ou moins calcaire ; elle peut être imperforée, ce qui est le cas surtout pour les Foraminifères qui rampent sur les pierres ou vivent sur les algues ; elle est au contraire perforée dans toutes les formes nageuses (*Globigérines*) et dans le plus grand nombre des espèces littorales.

On voit ainsi que la nature du test paraît dépendre essentielle-

ment de l'habitat, il est arénacé, compact ou alvéolaire dans les formes de fond, — calcaire imperforé dans les animaux de la zone des algues calcaires, — calcaire perforé dans les formes nageuses.

On comprend alors qu'un simple changement d'habitat suffise pour entraîner des modifications profondes dans la nature du test : les Miliolidés ordinairement porcelanés deviennent arénacés dans les grands fonds ; des formes nageuses et perforées dans le jeune âge peuvent devenir porcelanées dans l'adulte si elles se fixent sur les algues (*Orbitolités*).

3° **Cloisons** : Cè qui précède s'applique surtout à la muraille externe des loges (lame spirale des formes spiralées) ; très souvent celles-ci sont limitées en avant par une cloison dont la constitution est différente de celle de la muraille ; c'est ainsi qu'elle est formée de tissu compact dans un grand nombre de perforés, comme les *Operculina*, *Nummulites*. Elle est alors nécessairement percée d'une ou plusieurs ouvertures : l'ouverture unique peut être simple ou à bords découpés (*Dendritina*) ; quand il en existe plusieurs elles peuvent être disposées régulièrement en une (*Schwagerina*, *Alveolina*) ou plusieurs rangées (*Alveolinella*, *Orbitolites*) ou irrégulièrement, de manière à constituer une sorte de crible (*Orbitopsella*, *Dictyoconus*).

Dans les Miliolidés il n'y a pas de cloison proprement dite ; mais celle-ci est remplacée dans certaines espèces par le trématophore.

Dans certains perforés la cloison est également perforée et ne se distingue pas de la muraille elle-même ; la communication entre les loges successives peut se faire alors exclusivement par les pores eux-mêmes, c'est le cas par exemple pour les *Globigérines*, mais il peut également exister des ouvertures soit entre les cloisons, soit même s'ouvrant directement dans l'ombilic.

4° **Canaux** : Il existe dans *Operculina* des canaux ramifiés dans l'intérieur des cloisons imperforées, et qui paraissent se prolonger dans la partie médiane ou carène, de la lame spirale. Il est très difficile de constater l'existence de canaux analogues dans les formes fossiles : dans certains cas ils pourraient être mis en évidence par des injections d'hématite, c'est ce qui a été signalé par exemple dans les gisements de minerai de fer du Kressenberg : les préparations de ces *Nummulites* en lame mince, que nous avons pu examiner, montrent bien en effet l'existence de canaux soit dans les cloisons, soit dans la carène, mais leur irrégularité et leur disposition en zigzags semblent bien indiquer qu'il s'agit là non pas de véritables canaux analogues à ceux des *Operculines*,

mais de galeries creusées par un organisme perforant, analogue ou peut-être même identique avec les *Orbitophages* de Schlumberger; on sait que leurs galeries simulent des ouvertures de communication entre les loges des Orbitoïdes, ouvertures qui manquent toujours dans les échantillons intacts.

5° **Endosquelette** : Je désignerai sous ce nom les dépôts qui se forment à l'intérieur des loges; on les observe principalement dans les formes qui présentent des ouvertures multiples ou compliquées : dans les Miliolidés trématophorées un dépôt de cette nature vient recouvrir la loge sous-jacente (*basalskelett*); d'autres fois on observe des épaisissements de la lame spirale produisant des côtes ou cloisons secondaires plus ou moins complètes (*Neoschwagerina*); mais le plus ordinairement l'endosquelette est formé par des piliers ou des lamelles qui se développent sur la cloison postérieure de la loge et dans les intervalles des ouvertures; on dirait que les bourgeons de protoplasme sortant par ces ouvertures, conservent une certaine individualité et ont une tendance à sécréter du test dans les parties où ils n'arrivent pas immédiatement en contact avec les bourgeons voisins. Ces piliers ou lamelles peuvent du reste prendre la forme de côtes lorsqu'ils s'appuient sur le tour précédent (*Doliolina*) ou donner naissance à des cloisons plus ou moins complètes dans une (*Sumatrina, Alveolina, Orbitolites*) ou dans deux directions (*Alveolinella*).

## II. — QUELQUES EXEMPLES D'ENCHAÎNEMENTS DE FORAMINIFÈRES

1° **Fusulinidés**. — Examinons successivement les différents caractères que nous venons de passer en revue : la forme générale est toujours ici la forme fondamentale, résultant d'un enroulement spiral symétrique : d'abord lenticulaire dans *Fusulinella Struvei*, elle devient sphéroïdale puis définitivement fusiforme à partir de *Fusulina*. Cette même forme persiste sans modification jusqu'à l'époque actuelle. Le test d'abord finement arénacé dans *Fusulinella*, devient alvéolaire pendant toute la série des temps primaires; il est calcaire à partir de l'époque secondaire et jusqu'à nos jours. Il faut toutefois signaler une réapparition du type arénacé alvéolaire dans *Loftusia* de la Craie supérieure. Les *Alveolina* calcaires très abondantes dans l'Eocène vivent dans la zone littorale, tandis que les Fusulinidés paléozoïques arénacés sont associés à des faunes de Brachiopodes.

La cloison est d'abord percée d'une ouverture simple dans *Fusulinella* et *Fusulina*, puis d'une rangée d'ouvertures dans les

autres genres paléozoïques, *Schwagerina*, *Neoschwagerina*, *Doliolina*, etc., secondaires et tertiaires, *Alveolina* : une seule exception correspond au genre *Loftusia* dont les cloisons paraissent criblées d'ouvertures éparses. A l'époque actuelle, *Alveolinella* présente des ouvertures disposées en plusieurs rangées régulières.

Les cloisons présentent dans *Fusulina* une disposition toute spéciale et caractéristique, elles sont plissées dans leur partie inférieure et les plis sont opposés dans les cloisons consécutives.

Le développement de l'endosquelette est intimement lié à la présence d'ouvertures multiples ; il est d'abord représenté par des côtes basales dans *Doliolina*, se transformant en cloisons transverses dans *Sumatrina* et *Alveolina*. Des cloisons méridiennes secondaires caractérisent *Neoschwagerina*, tandis qu'*Alveolinella* voit apparaître des cloisons secondaires parallèles à la lame spirale.

En résumé :

- 1° La forme fondamentale persiste sans modifications ;
- 2° Le test d'abord arénacé devient calcaire imperforé ;
- 3° Les ouvertures des cloisons deviennent de plus en plus nombreuses ;
- 4° L'endosquelette se développe en même temps.

Toutes ces modifications se font d'une manière régulière et progressive ; elles montrent qu'il s'agit bien de l'évolution d'un type unique, qui, à certaines époques, se développe, s'épanouit d'une manière véritablement extraordinaire, c'est le cas pour les Fusulinidés du Permo-Carbonifère et pour les Alvéolines de l'Éocène.

On observe en outre quelques variations accidentelles, comme celle qui correspond aux cloisons à plis contrariés des *Fusulines*, ou à la réapparition du type arénacé alvéolaire dans les *Loftusia*.

2° **Orbitolitidés.** — Ce groupe se développe parallèlement au précédent ; il présente normalement un enroulement en spirale symétrique, mais certaines formes deviennent plus ou moins rapidement cyclostègues, c'est-à-dire que les loges prennent la forme annulaire. Il est naturel de faire dériver tout le groupe d'une forme lenticulaire analogue aux premières *Fusulinelles*, mais le développement, au lieu de se faire dans le sens de l'axe, comme dans les Fusulinidés, s'est effectué, au contraire, dans une direction perpendiculaire à cet axe.

Les formes les plus anciennes, *Orbitopsella* MUN.-CHALM. (*Orb. præcursor*) du Lias, *Spirocyclina* M.-CH., du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur deviennent rapidement cyclostègues et ont un test arénacé alvéolaire ; les cloisons sont criblées d'ouvertures

et l'endosquelette présente sa forme la plus générale : il est composé de piliers plus ou moins lamelliformes irrégulièrement intercalés entre les ouvertures. *Choffatella* SCHLUM., qui accompagne la dernière de ces formes, présente la même constitution mais l'enroulement reste spiral dans l'adulte.

La dernière des formes arénacées alvéolaires est *Orbitolina*, qui se distingue par une double modification ; elle devient dissymétrique tout en restant cyclostègue, et les ouvertures s'alignent suivant les rayons de la base ; il en résulte que les piliers de l'endosquelette se réunissent pour former des cloisons qui divisent les loges en logettes, et comme les ouvertures d'une même rangée communiquent alternativement avec deux logettes contiguës, la cloison est régulièrement plissée.

Une nouvelle branche se développe à partir du Cénomaniens : elle débute par une forme simple, cyclostègue, à test finement arénacé, *Cyclolina* D'ORB., mais le test devient rapidement calcaire et porcelané à partir de la Craie supérieure : on distingue successivement *Brækina* avec une ouverture en fente, *Præsorites*<sup>1</sup> avec deux rangées d'ouvertures et un commencement d'endosquelette, sous forme de cloisons transverses qui se complètent peu à peu (*Sorites*). Dans *Orbitolites* la division des loges en logettes est complète, les logettes ne communiquent plus directement entre elles ; les ouvertures sont beaucoup plus nombreuses et s'alignent normalement aux bases ; comme dans *Orbitolina* les ouvertures d'une même rangée communiquent alternativement avec deux logettes contiguës, d'où résulte pour la cloison un plissement caractéristique.

Le type primitif, simple et très plat, reparaît dans le Tertiaire avec *Archiacina*, cyclostègue, qui présente une seule rangée d'ouvertures et des loges non subdivisées, et enfin avec *Peneroplis* simplement spiralé.

Les formes spiralées lenticulaires à tours embrassants sont représentées dans le Crétacé supérieur par *Meandropsina* et par *Fallotia* avec endosquelette formant une maille analogue à celle de *Præsorites* ; dans les mers actuelles, le même type correspond à *Orbiculina* avec une maille de *Sorites*.

On voit ainsi, comme précédemment, que :

- 1) La forme fondamentale persiste, mais qu'elle est souvent remplacée par une forme dérivée cyclostègue ;
- 2) Le test d'abord arénacé devient ensuite calcaire ;
- 3) Les ouvertures des cloisons sont nombreuses dès l'origine, mais

1. H. DOUVILLÉ, Essai d'une revision des Orbitolites. *Bull. Soc. Géol. de France*, 4<sup>e</sup> série, t. II, p. 289, 1902.

disposées sans ordre et accompagnées d'un endosquelette irrégulier; celui-ci se transforme en cloisons de plus en plus complètes quand les ouvertures se disposent en lignes régulières.

Un cas des plus curieux est celui du genre *Discospirina* (*Orbitolites italica* COSTA = *O. tenuissima* CARP.): le jeune est un Miliolidé du genre *Ophthalmidium*, intermédiaire entre *Cornuspira* et *Spiroloculina*; puis brusquement le mode de croissance change et devient cyclostègue: les loges annulaires sont alors divisées par des cloisons incomplètes rappelant celles de *Præsorites*. C'est un de ces phénomènes de convergence, comme on en observe souvent et qui ne correspondent à aucune parenté réelle.

3° Les Miliolidés ont probablement une origine commune avec le groupe précédent; elles ont par exemple une mégasphère identique à celle de *Præsorites*; seulement, les loges ont une forme différente, elles sont longues et étroites, au lieu d'être courtes et larges; de là résulte, comme nous l'avons vu, leur pelotonnement caractéristique. Les trois groupes Fusulidinés, Orbitolitidés et Miliolidés correspondent ainsi à 3 formes de loges différentes, qui se développent — soit parallèlement à l'axe de la spirale, — soit dans un plan perpendiculaire et transversalement à la spirale — ou enfin dans la direction même de la spirale.

L'endosquelette se montre dans les formes dont l'ouverture est fermée par une lame criblée (*Fabularia*) ou par un trématophore.

Le test est ordinairement calcaire et imperforé (porcelané); mais il existe des formes paléozoïques se rapprochant de la forme primitive *Cornuspira* qui sont arénacées (*Trochammina*); on sait aussi que les formes qui vivent dans les eaux profondes sont également arénacées. Il en résulte qu'il convient de caractériser les Miliolidés non par la nature de leur test, mais par la forme fondamentale de leur loge, longue et étroite. Les seuls caractères que l'on puisse considérer comme correspondant à l'évolution de ce groupe sont fournis par la complication de l'ouverture (trématophore, lame criblée), accompagnée par la formation de l'endosquelette.

4° Il existe d'assez nombreuses formes paléozoïques que l'on rapproche habituellement des Lituolidés et qui sont caractérisées par un test manifestement arénacé et un enroulement en spirale conique. Dans certaines formes également paléozoïques, le test paraît avoir la même texture que celui des Fusulines, c'est-à-dire qu'il est alvéolaire et non perforé, c'est le cas notamment pour *Valoulina Youngi* figuré par Brady<sup>1</sup>. Il semble donc que la faune

1. Carb. and Perm. Foraminifera. *Pal. Soc.* 1876, vol. xxx, p. 86, pl. IV, fig. 6, 8, 9.

des Foraminifères paléozoïques est presque entièrement composée d'arénacés. Ces formes, comme nous l'avons vu pour les groupes précédents, vont devenir calcaires à l'époque secondaire, mais elles seront perforées : C'est ainsi qu'on a rapproché les *Saccamina* des *Nodosaires*, les *Cribrostomum* des *Textulaires*, les *Valulina* paléozoïques arénacés des *Valulina* proprement dits, qui sont perforés. Un changement d'habitat a suffi pour amener cette transformation.

5° Les *Nummulitidés* constituent un rameau dont le développement est des plus remarquables et qui paraît venir se greffer sur celui des *Cristellariidés*; il en diffère par la position de l'ouverture placée contre le retour de la spire. La forme primitive paraît être *Operculina*, caractérisée par ses loges non embrassantes; on sait qu'elle présente de curieux canaux qui se ramifient dans les cloisons et se prolongent dans la carène.

Les *Assilina* se rattachent directement aux *Operculines* dont elles diffèrent seulement par un test plus épais et par des tours plus serrés et plus nombreux.

Les *Nummulites* représentent un retour à la forme fondamentale avec leurs loges embrassantes; l'endosquelette y prend la forme très particulière de fines ramifications des cloisons qui arrivent à constituer un véritable réseau dans le groupe des Réticulées et qui quelquefois se renflent par places de manière à former des granules.

De véritables cloisons secondaires subdivisant les loges en logettes se montrent dans *Heterostegina*, dérivant d'*Operculina* et dans *Spiroclypeus*, où les loges sont embrassantes comme dans les *Nummulites*.

J'ai signalé précédemment qu'il ne paraît pas exister dans les formes fossiles et particulièrement dans les *Nummulites*, de canaux analogues à ceux des *Operculines*; ceux que j'ai pu observer sont toujours très irréguliers et paraissent dus à des organismes perforants (orbitophages); le véritable caractère du groupe est donné par l'association d'une lame spirale perforée avec des cloisons compactes.

6° Les *Rotalidés* constituent un groupe particulier, remarquable par la grandeur et le développement des pores; à l'exemple de Reuss j'y comprends les *Globigerina* et le genre fossile *Siderolites*. Les premiers sont remarquables parce que les ouvertures des loges débouchent directement à l'extérieur et que les communications de celles-ci se font uniquement par les pores: les cloisons sont formées par la muraille elle-même.

Dans *Siderolites* la cloison est également perforée comme la muraille ; ici la forme est spirale symétrique et les loges sont embrassantes. Ce genre a été institué par Lamarck en 1801 pour le *S. calcitrapoides* de la Craie de Maëstricht, « coquille en étoile ou en chausse-trappe, à disque subgranuleux, convexe en dessus et en dessous, et à circonférence munie de plusieurs pointes grossières, inégales, divergentes comme des rayons ».

D'Orbigny en 1826<sup>1</sup> établit une deuxième espèce sous le nom de *Siderolina lævigata* pour une autre forme du même niveau (modèle n° 89), lisse, quadrangulaire ou plutôt présentant quatre épines obtuses, biconvexe : les cloisons sont complètement masquées, dit-il, par un épaississement du test<sup>2</sup>. En même temps (ibid., p. 276), il instituait le genre *Calcarina* pour une forme vivante également munie de pointes rayonnantes, mais enroulée en spirale conique et à loges non embrassantes ; il est donc impossible de confondre ce genre avec le précédent comme l'ont fait les paléontologues anglais. L'espèce vivante très bien figurée par Carpenter<sup>3</sup> montre que les loges sont d'abord constituées par une paroi mince qui s'épaissit ensuite progressivement mais du côté extérieur seulement. Cette disposition est également très marquée dans *Siderolites*.

Il est facile de voir que pour ce dernier genre le caractère essentiel n'est pas fourni par les longues pointes que présente l'espèce type, mais par le mode d'enroulement, la forme embrassante des loges et la porosité des cloisons. En effet on trouve à Maëstricht même une autre forme plus rare qui est presque circulaire et présente sur son pourtour de nombreuses denticulations aplaties et souvent très peu saillantes (Pl. XVIII, fig. 6, 7 et 8) ; la disposition interne est exactement la même que dans *Sid. calcitrapoides* ; je la considère comme une espèce nouvelle que je propose de nommer *Sid. denticulatus*.

Elle forme le passage à une autre espèce qui a été recueillie par notre collègue et ami M. Vidal, inspecteur général des Mines, à Barcelone, dans les marnes de la Craie supérieure de Pablo de Ségur ; celle-ci est lenticulaire à bords tranchants, et continue, avec un mamelon central très renflé ; la surface de ce mamelon est fortement granuleuse. Sur les parties latérales les granules sont

1. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. *Ann. sc. nat.*, t. VII, p. 297.

2. PARKER, JONES et BRADY, Nomenclature of the Foraminifera, *Ann. and. Mag. of Nat. Hist.* Juillet 1865, p. 19.

3. *Introd. to the study of Foraminifera*, Pl. XIV.

plus petits et alignés suivant les cloisons ; cette espèce se distingue nettement des précédentes par son bord non denticulé et par son ornementation très élégante (pl. XVIII, fig. 9) ; je la désignerai sous le nom de *Sid. Vidali*, en la dédiant au savant géologue de Barcelone.

Nos confrères, MM. de Grossouvre et Arnaud, m'ont communiqué de leur côté un curieux Foraminifère recueilli dans le Campanien de la Charente et qui ressemble beaucoup extérieurement à un *Orbitoides* (Pl. XVIII, fig. 10 à 15) : il est lenticulaire aplati et à test fortement granulé, mais les sections (Pl. XVIII, fig. 16-17) montrent qu'il est enroulé en spirale symétrique comme *Siderolites*. La lame spirale présente une structure très particulière : elle est formée par un empilement de chambres ou vacuoles plates et arrondies, traversées par des piliers coniques correspondant aux granules de la surface externe : c'est exactement la structure des parties latérales des Orbitoïdes. Dans le plan équatorial la lame spirale s'épaissit beaucoup et constitue une large crête fibreuse. Par l'ensemble de ses caractères, cette forme vient se placer entre *Siderolites* et *Orbitoides* et établit ainsi une liaison entre ces deux genres ; c'est une forme nouvelle que nous dédions aux géologues qui l'ont découverte :

*Arnaudiella*, nov. gen. :

Coquille mince, lenticulaire, ayant 5 à 7 millimètres de diamètre,

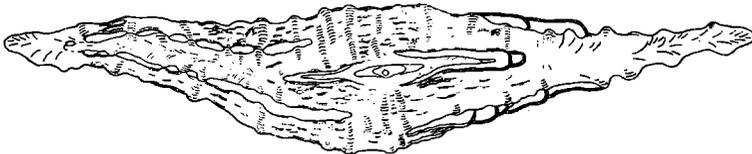


Fig. 12. — Section méridienne d'*Arnaudiella Grossouvrei*, de Chalais, montrant l'enroulement spiral, les vacuoles et les piliers de la lame spirale, et la minceur de cette dernière sur les dernières loges (sur la gauche de la figure) ; gr., 14 fois environ.

un peu renflée au centre où elle atteint 1 millimètre à 1,2 d'épaisseur ; la surface est granuleuse. Elle est symétrique par rapport

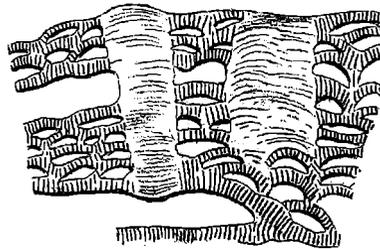


Fig. 11. — Détail de la section méridienne d'*Arnaudiella Grossouvrei*, montrant la structure vacuolaire de la lame spirale et les piliers ; gr. 50 fois environ.

au plan équatorial et présente un enroulement spiral : on distingue habituellement 4 tours de spire. Les loges sont embrassantes, nombreuses et séparées par des cloisons arquées rappelant celles des *Operculines* (Pl. XVIII, fig. 16). La lame spirale est fortement épaissie par plusieurs couches (3 ou 4 et plus) de vacuoles arrondies et aplaties, analogues aux chambres latérales des *Orbitoïdes* ; elles sont traversées par des piliers correspondant aux granules de la surface. Dans le plan diamétral la lame spirale se prolonge en une sorte de crête large et d'apparence fibreuse par suite des nombreuses perforations qui la traversent.

Une seule espèce connue jusqu'à présent, *A. Grossouvrei*, n. sp. à laquelle se rapporte la description précédente.

Voisine de *Siderolites*, cette espèce s'en distingue par la présence des chambres creusées dans l'épaisseur de la lame spirale. Elle se distingue aussi par le même caractère de *Pellatospira* BOUSSAC ; ce dernier genre présente aussi une large crête à texture fibreuse, mais les loges ne sont pas embrassantes et leur forme est très différente.

*Gisement.* Dans le Campanien de la Charente (P<sup>s</sup> de M. Arnaud), en particulier dans l'arrondissement de Barbezieux, à Chalais (Arnaud) et à Piaud (de Grossouvre).

Le groupe des *Orbitoïdes* se rattache naturellement, comme nous venons de le voir, aux *Arnaudiella* et par suite aux *Siderolites* ; il en représente une dérivation cyclostégue : les loges sont devenues annulaires et subdivisées en logettes.

Le genre *Linderina* dépourvu de chambres latérales se rattache plus particulièrement aux *Siderolites* ; le type *L. Brugesii* SCHLUMB.<sup>1</sup>

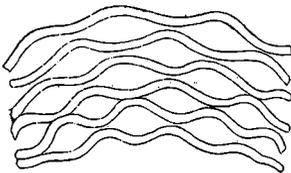


Fig. 13. — Cloisons de *Linderina* (d'après Schlumberger).

présente cette particularité (loc. cit., p. 121) que les cloisons sont à plis contrariés comme celles des *Fusulines*, ce qui simule une division en logettes : si les plis étaient un peu plus accentués la disposition caractéristique des loges équatoriales des *Orbitoïdes* de la craie se trouverait réalisée. Il semble donc qu'on puisse

considérer également celle-ci, comme résultant du plissement de la cloison, tandis que dans *Orthophragmina* il existe un véritable cloisonnement secondaire formé par l'endosquelette.

1. Note sur les genres *Trillina* et *Linderina*. *Bull. Soc. Géol. de France*, 3<sup>e</sup> série, t. XXI, p. 118, 1863.

M. Arnaud a recueilli dans le calcaire campanien à *Alveolina* des environs de Belvès un Foraminifère dont la section (Pl. XVIII, fig. 18) reproduit exactement la disposition caractéristique des *Linderina* ; la section équatoriale a par contre beaucoup d'analogie avec celle des *Orbitoïdes* ; la forme générale est la même, mais la surface paraît lisse et dépourvue de granules. Elle avait été jusqu'à présent confondue avec *O. media* ; il est préférable de la rattacher au moins provisoirement au genre *Linderina* jusqu'à ce qu'il soit possible de se procurer des matériaux plus complets ; il est possible que ce soit un précurseur des *Orbitoïdes*.

Un autre genre voisin, *Omphalocyclus*, présente des loges équatoriales disposées d'une manière analogue, mais elles se subdivisent dans le sens de la hauteur, de manière à former successivement deux et trois couches de loges. Il n'existe pas de loges latérales, de sorte que la forme générale est biconcave comme dans les *Orbitolites* ; mais l'existence de pores bien marqués montre qu'il faut rapprocher ce genre des *Orbitoïdes*.

Les *Orbitoïdes* elles-mêmes doivent être considérées comme une dérivation cyclostège des *Arnaudiella*, avec loges annulaires limitées par des cloisons plissées comparables à celles des *Linderina*, mais à plis plus accentués. Il est possible, du reste, que ce genre soit hétérogène et ait des origines multiples. Ainsi, comme l'a très bien remarqué Schlumberger, l'*O. gensacica* présente à son centre un noyau polycellulaire qui rappelle tout à fait un jeune *Polytrema miniaceum*<sup>1</sup>, de sorte qu'on devrait le considérer comme ayant une origine commune avec ce dernier genre.

Quant aux *Lepidocyclina*, leur origine est encore insuffisamment établie. Les formes microsphériques B présentent à l'origine une courte phase spiralée ; elle est beaucoup plus accentuée dans *Miogypsina*, où elle se montre également dans les formes mégasphériques A.

Enfin, dans *Gypsina* et *Baculogypsina*<sup>2</sup> il n'y a plus de loges équatoriales, mais un simple empilement des chambres tout autour du centre ; celles-ci correspondent aux chambres latérales des *Orbitoïdes* ; au centre, Schlumberger signale des loges embryonnaires disposées comme dans *Globigerina*.

1. SCHLUMBERGER. Foram. Monaco. *Mém. Soc. Zool. Fr.*, t. V, p. 197, 1892.

2. *Tinoporus* CARPENTER, non Monfort. Voir : SCHLUMBERGER. Note sur le genre *Tinoporus*. *Mém., Soc. Zool. Fr.*, 1896, t. IX, p. 87.

### Conclusions

Dans les Foraminifères imperforés les meilleurs caractères évolutifs sont fournis : 1<sup>o</sup> par le nombre et la disposition des ouvertures qui traversent les cloisons, et — 2<sup>o</sup> par le développement et la disposition de l'endosquelette. Ce deuxième caractère étant du reste dans la dépendance immédiate du premier.

Ces caractères ne sont plus applicables aux Foraminifères perforés, puisque les loges peuvent communiquer directement par les pores; l'évolution se traduit ici par la disposition des loges et par la forme et la disposition des cloisons qui, dans les Nummulites par exemple, se rapprochent plutôt de l'endosquelette par leur texture compacte et leurs ramifications.

Dans les Rotalidés les meilleurs caractères sont fournis par la forme générale et par la nature de l'épaississement de la lame spirale qui s'accroît par sa surface externe.

Dans tous les groupes on est frappé en outre de l'irrégularité du développement dans le temps. Certaines branches végètent pendant une ou plusieurs périodes géologiques sans éprouver de modifications sensibles, puis brusquement elles se développent d'une manière véritablement extraordinaire, c'est le cas par exemple pour les Fusulinidés dans le Permo-Carbonifère, pour les Alvéolines et les Nummulites dans l'Eocène, pour les Orbitolines dans la Craie inférieure, pour les Orbitoïdes dans la Craie supérieure et dans le Tertiaire. Dans ces périodes d'épanouissement les Foraminifères évoluent rapidement et deviennent presque toujours d'excellents fossiles.

---

## EXPLICATION DE LA PLANCHE XVII

Photographie d'une plaque mince taillée dans le calcaire de Pong-Oua et grossie 6 fois environ. Elle renferme des *Fusulina* reconnaissables à leurs cloisons plissées et à plis contrariés, des *Neoschwagerina globosa* caractérisés par leur double système de cloisons, fausses cloisons et côtes orthogonales (voir pl. XVIII, fig. 1 et 2), et des *Sumatrina Annæ*, remarquables par la grandeur du réseau alvéolaire qui constitue la lame spirale (voir pl. XVIII, fig. 3, 4 et 5).

**NOTE DE M. Henri Douvillé**

Bul. Soc. Géol. de France

S. 4; T. VI; Pl. XVII (5 Nov. 1906)



## EXPLICATION DE LA PLANCHE XVIII

- Fig. 1. — Portion de la plaque mince de la planche XVII (calc. de Pong-Oua) grossie 10 fois, pour mettre en évidence la structure caractéristique de *Neoschwagerina globosa*.
- Fig. 2. — Section équatoriale de *Neoschwagerina globosa* (grossie 10 fois), passant par la loge initiale (calc. de Pong-Oua).
- Fig. 3. — Section méridienne de *Sumatrina Annæ* passant par la loge initiale et montrant la grandeur du réseau de la lame spirale.
- Fig. 4. — Autre section méridienne de la même espèce.
- Fig. 5. — Section transversale de la même espèce.  
Même localité: Pong-Oua, et même grossissement: 10 fois, pour les trois figures 3, 4 et 5.
- Fig. 6, 7 et 8. — *Siderolites denticulatus*, n. sp. de Maëstricht, grossi 4 fois; fig. 8, type de l'espèce; les deux autres figures représentent des variétés à bords simplement ondulés.
- Fig. 9. — *Siderolites Vidali*, n. sp. de la Craie supérieure de Pablo de Segur (gr.: 4 fois); le centre est mamillé et granulé, les lignes saillantes de la région marginale correspondent aux cloisons.
- Fig. 10 à 15. — *Arnaudiella Grossourei*, n. gen., n. sp., du Campanien de Barbezieux; gr.: 4 fois; on distingue les granulations plus ou moins accentuées de la surface; quand la conservation est parfaite la dernière partie de la lame spirale est lisse. Loc.: fig. 11 (type) et 14, Chalais; 10, 12, 13 et 15, Chez Piaud.
- Fig. 16. — Le même, coupe tangentielle oblique montrant les cloisons se prolongeant jusqu'au pôle; on distingue en outre les petites vacuoles arrondies qui se développent dans l'épaisseur de la lame spirale. Gr.: 10 fois.
- Fig. 17. — Le même; coupe axiale montrant l'emboîtement des tours successifs et l'empilement des loges latérales dans l'épaisseur de la lame spirale (voir dans le texte: la fig. 12, p. 599). Gr.: 10 fois. Loc.: Chalais.
- Fig. 18. — *Linderina*, de la Craie supérieure à Alvéolines de Belvès; coupe axiale montrant l'absence de loges latérales. Gr.: 10 fois.

NOTE DE M. Henri Douvillé

Bul. Soc. Géol. de France

S. 4; T. VI; Pl. XVIII (5 Nov. 1906)

